



## Zertifizierung von Elektroisoliersystemen nach UL-Standard 1446 Ed.8

Leitfaden des Fachverbands Electrical Winding & Insulation Systems

# Inhalt

1	Einleitung	3
2	Wie ist die UL 1446 zu verstehen?	4
3	Zuverlässigkeit elektrischer Betriebsmittel	4
4	Aufbau und Komponenten eines elektrischen Isoliersystems	5
5	UL-Zertifizierung des elektrischen Isoliersystems	6
	5.1 Full Thermal Aging Test (FTA)	7
	5.2 Verträglichkeitsprüfung CCT-Test (Sealed Tube Chemical Compatibility Test)	9
	5.3 Übernahme eines bestehenden EIS	10
	5.4 Weitere spezifische UL-Zulassungsverfahren für Isolierstoffe	11
	5.5 Prüfstandards und Bewertungsverfahren	13
	5.6 Von der spez. Materialauswahl zum Isoliersystem und zur Endprodukt Zulassung	14
6	Abkürzungen / Glossar	16
7	Referenzen	17
8	Bildquellen	17
9	Zusammenfassung für Querleser	17

# 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.

## **Underwriters Laboratories**

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

UL ist 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, rückt bei UL das Gesamtsystem in den Fokus der Tests.

Die im November 2016 veröffentlichte Edition 7 der Norm UL 1446 brachte einige Neuerungen und mehr Klarheit in den Zertifizierungsablauf von Elektroisoliersystemen (EIS) bei UL. Zur den Vorgänger-Versionen 1-6 unverändert geblieben ist der Geltungsbereich der Norm für EIS, bei denen die thermische Belastung der ausschlaggebende Faktor für die Alterung ist. (Die UL1446 Edition 1 bis 6 konzentrierte sich auf Konsumgüter, d.h. Anwendungen, die im Spannungsbereich unter 1 kV betrieben werden, und den amerikanischen Markt.)

Neu hingegen war, dass bei Prüfdurchführungen bevorzugt auf IEC (International Electrotechnical Commission) Normen verwiesen wird. Die bisher üblichen nord-amerikanischen ASTM (American Society for Testing and Materials) Normen werden als technisch äquivalent geführt. Weiterhin konzentrierte sich UL1446 Ed.7 auf die thermische Bewertung und Klassifizierung von EIS unabhängig von der Betriebsspannung. UL 1446 Ed.7 bezog sich erstmals auf die IEC 61857-2: „Elektrische Isoliersysteme - Verfahren zur thermischen Bewertung - Teil 2: Auswahl der geeigneten Prüfmethode zur Bewertung und Klassifizierung von elektrischen Isoliersystemen“.

Diese Änderung erleichtert das Verständnis, wie die Anforderungen an Isoliermaterialien – abhängig vom beabsichtigten Einsatz – zu verstehen, sind deutlich. Die neue Gliederung ermöglicht zudem den direkten Einstieg in den entsprechenden Abschnitt der Norm

Seit November 2019 ist Edition 8 gültig, welche sich auf die neuesten ANSI und SCC-Zulassungsdaten sowie Anforderungen für die Prüfung der thermischen Alterung mit definierter Lebensdauer bezieht. Die entsprechende Testmethode finden Sie in dieser Broschüre beschrieben.

Die UL 1446 Ed.8 stellt in der aktualisierten Form einen anwenderfreundlichen, harmonisierten und praktikablen Standard zur Verfügung.

Bitte beachten Sie, dass die Informationen in diesem Dokument die Sichtweise des ZVEI darstellen und nicht unbedingt der Position, Strategie oder Meinung von UL LLC entsprechen.

## 2 Wie ist die UL 1446 zu verstehen?

Der Standard UL 1446 ist eine Mischung aus administrativen Vorgaben rund um die Erstellung und Erweiterung von Elektroisoliersystemen und der Beschreibung von entsprechenden Prüfdurchführungen.

Wesentlicher Bestandteil ist u.a. die Tabelle 1, welche eine Einteilung von Systemkomponenten in elektrische Isoliermaterialien (EIM) und nicht als elektrische Isolierung eingesetzte Materialien (NIM) vornimmt und somit die Vorgabe für daraus abgeleitete Prüfanforderungen der einzelnen Materialien ist.

Ein informativer Anhang über die Substitution von Lackdraht mit Benennung der IEC-Typen rundet die Norm ab.

Die Norm UL 1446 ist insofern ein genereller Leitfaden zu Erstellung und Erweiterung von Elektroisoliersystemen.

## 3 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 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 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.

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

Die aufgeführten Alterungsmechanismen führen zu einer Schwächung der Isolationsmaterialien, welche die elektrische Betriebssicherheit bestimmen. Im schlimmsten Fall kann es zu einer gefährlichen Betriebssituation (Brandgefahr, Gefahr des elektrischen Schlags) kommen.

Die Summe aller elektrischen Isoliermaterialien (EIMs) in einem Gerät wird als EIS (Electrical Insulation System) bezeichnet und ist oft sehr individuell bezüglich Design und Applikation zusammengestellt. Die Zuverlässigkeit des EIS hängt von der Kompatibilität der EIM-Materialien zueinander und damit ihrer Reaktion als System ab. Die UL 1446 umfasst die Richtlinien und Prüfmethode zur Bewertung der Wärmeleistung von Isolierstoffen und deren Zusammenspiel als Gesamtsystem unter Wärmebelastung.

## 4 Aufbau und 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 ist. Komponenten wie Flächenisolierstoffe, die Imprägnierlacke/-harze, die Zuleitungslitzen, die Isolierschläuche, aber auch die möglicherweise zur Anwendung kommende Vergussmasse dienen dazu, die Handhabung und den Betrieb abzusichern.

Das zuverlässige 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).

Underwriter Laboratories (UL) unterscheidet prinzipiell zwischen Systemkomponenten, die als elektrisch isolierende Materialien (EIM) und als nicht für die elektrische Isolation eingesetzte Materialien (NIM<sup>1</sup>).

---

<sup>1</sup> Hinweis: die bisherige Bezeichnungen Major und Minor Components werden nicht mehr verwendet. Näheres hierzu im Abschnitt 5 Tabelle 1.

## 5 UL-Zertifizierung des elektrischen Isoliersystems

Es gibt zwei Kategorien von elektrischen Isoliersystemen: Die erste Kategorie wird als „Systems, Electrical Insulation - Components (OBJY2)“ bezeichnet und umfasst ein UL anerkanntes EIS für beispielsweise einen spezifischen Motor oder Transformator. Die zweite Kategorie „Component - Electrical Insulation System Components (OBJS2)“ 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, die a) in Komponenten mit Isolierfunktion (EIM) und b) Komponenten, deren Aufgabe nicht in erster Linie eine Isolierfunktion ist (NIM), aufgeteilt werden. Die Differenzierung beruht auf der Annahme, dass Komponenten mit Isolierfunktion von besonderer Bedeutung für die Schutzwirkung bezüglich elektrischer Sicherheit und Brandverhalten sind, d. h. die isolierende Barriere zwischen den verschiedenen el. Potentialen darstellen. Dahingegen werden die anderen Komponenten (NIM) überwiegend für nicht-elektrische Zwecke eingesetzt, d.h. im weitesten Sinne aus physikalischen (mechanischen) Gründen wie Festigkeit oder Aufnahme von thermischem oder mechanischem Stress. Komponenten mit Isolierfunktion werden im deutschen Sprachgebrauch als Primärisolation bezeichnet.

Funktion	Beschreibung	Komponente
Elektrische Isolierfunktion EIM	Komponenten, deren Ausfall gravierende Sicherheitseinbußen zur Folge haben	Kupferlackdraht Spulenkörper Flächenisolierstoff Imprägniermittel <sup>2</sup>
Andere Funktion NIM	Komponenten, deren Ausfall keine wesentlichen Sicherheitseinbußen zur Folge haben  (typischerweise solche, die für die thermische oder mechanische Verbindung genutzt werden)	Zuleitungslitzen Isolierschläuche Lagenisolierstoffe Wickelbänder Vergussmassen

Tabelle 1: Beispiele zu wichtigen Komponenten

Für weitere Beispiele und einen Überblick siehe UL 1446-Ed.7 Tabelle 4.1

Hinweis: Eine Zertifizierung für den kanadischen Markt kann in der Projektphase, vor Testbeginn, mit beantragt werden.

<sup>2</sup> Imprägniermittel werden dann als Komponenten mit Isolierfunktion eingestuft, wenn sie im ursprünglichen Full Thermal Aging Test mitgetestet wurden und die Gesamtleistung des Systems beeinflusst haben. Ansonsten werden sie als Komponente mit nicht isolierender Funktion eingestuft und sind über eine Verträglichkeitsprüfung (siehe 5.2) einzufügen.

## 5.1 Full Thermal Aging Test (FTA)

Um eine Anerkennung als UL Recognized<sup>3</sup> Insulation System zu bekommen ist ein sogenanntes „Full Thermal Aging (FTA) Test Program“ notwendig. Für die Anpassung eines bereits zertifizierten Systems kann eventuell die sogenannte Verträglichkeitsprüfung CCT (Chemical Compatibility Testing), auch bekannt als Sealed Tube Testing, ausreichend sein.

Für die UL-Anerkennung eines EIS nach UL 1446 ist ein in der IEC 61857-21 beschriebener Testaufbau notwendig. Dieser Testaufbau, das sogenannte Mehrzweckmodell (general purpose model, GPM), wird umgangssprachlich auch Motorette genannt (Vereinfachtes Modell eines Motors). Zur Ermittlung der Temperaturklasse, bis zu der ein EIS eingesetzt werden darf, werden die GPM-Modelle bei mindestens drei unterschiedlichen Temperaturen gealtert.

Systemklasse	Max. Spitztemperatur [°C]
120 (E)	120
130 (B)	130
155 (F)	155
180 (H)	180
200 (N)	200
220 (R)	220
240 (S)	240
Über 240 (C)	über 240

Tabelle 2: Systemklassen gem. UL 1446. Für weitere Details siehe auch IEC 61857-1

Nebenbestandteile (Isoliermaterialien ohne elektrische Isolationsaufgabe; NIM) können, müssen aber nicht Bestandteil des Tests sein. Sie können nachträglich durch verkürzte Tests wie z.B. mittels CCT-Test (Sealed Tube Test) ergänzt werden.

Ziel der Spannungsprüfungen ist es festzustellen, wie stark die Abhängigkeit der Spannungsfestigkeit der Komponenten 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<sub>eff</sub> (Phase-Phase und Phase-Masse) bzw. 120 V<sub>eff</sub> (Wicklung-Wicklung) aufweist.

---

<sup>3</sup> UL verwendet die Bezeichnung „Zertifizierung“, um sich auf den Prozess zu beziehen. der Prozess der Bewertung gemäß dem entsprechenden Standard. UL verwendet zwei zusätzliche Begriffe, um zwischen einem gebrauchsfertigen Produkt und einer Komponente / einem Artikel zu unterscheiden, von denen erwartet wird, dass sie bei der Herstellung eines Produktes verwendet wird.

**Listed:** Diese Bezeichnung wird für gebrauchsfertige Produkte wie Geräte, Computer, Lüfter, Pumpensysteme, Elektrowerkzeuge und alle anderen Fertigwaren verwendet.

**Recognized:** Diese Bezeichnung wird für alle Komponenten jeglicher Art verwendet, von denen erwartet wird, dass sie nicht alleine verwendet werden, sondern als Komponenten irgendeiner Art in einem gebrauchsfertigen Produkt. Dazu gehören tatsächliche Komponenten als auch technische Informationen, wie der Bericht über die Bewertung und Klassifizierung eines Materials oder eines EIS.

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

Die nachfolgende Tabelle gibt die Alterungszyklen der verschiedenen Testabläufe wieder:

Zunächst der Testzyklus UL 1446:

Testzyklus UL 1446	Durchführung
Temperaturtest (Alterung)	Höchste Temperatur: 24 – 72 Stunden-Zyklus Nächst niedrigere Temperatur: 48 – 168 Stunden-Zyklus Nächst niedrigere Temperatur: 96 – 336 Stunden-Zyklus Niedrigste Temperatur: 168 – 672 Stunden-Zyklus

Tabelle 3: Testzyklus UL 1446

Im Vergleich hierzu der Testzyklus IEC 61857:

Testzyklus IEC 61857-1	Durchführung
Temperaturtest (Alterung)	Höchste Temperatur: 24 – 72 Stunden-Zyklus Nächst niedrigere Temperatur: 48 – 336 Stunden-Zyklus Niedrigste Temperatur: 504 – 840 Stunden-Zyklus

Tabelle 4: Testzyklus IEC 61857-1

Es werden mindestens 10 Mehrzweckmodelle (GPM) je Temperatur benötigt. Die anzusetzenden Temperaturen richten sich nach der angestrebten Wärmeklasse und den Möglichkeiten, über die angestrebte Wärmeklasse hinaus die Materialien zu belasten. Ein 180(H) System kann z.B. bei 200°C, 220°C und 240°C geprüft werden.

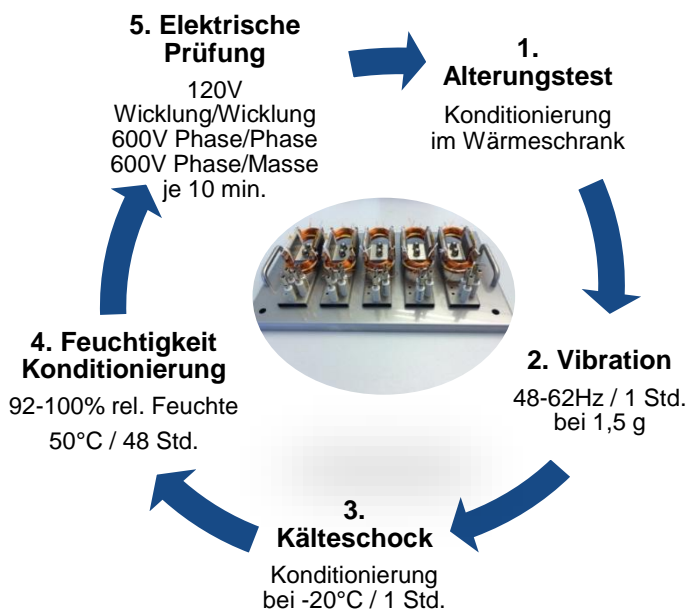


Abbildung 1: Testablauf FTA, Bildquelle Synflex



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

- 1.) Vollständiger Alterungstest (FTA)
- 2.) Ergänzung der Nebenbestandteile und auch Hauptbestandteile (Unter Berücksichtigung der Vorgaben gem. UL 1446) durch Sealed Tube Test (CCT)
- 3.) Einsatz des EIS in der Endanwendung

Bis zur Zulassung eines gänzlich neu aufgebauten EIS vergeht i.d.R., zusätzlich zur Projektvorbereitung, ca. ein Jahr an Testzeit.

## 5.2 Verträglichkeitsprüfung CCT-Test (Sealed Tube Chemical Compatibility Test)

Alternativ zu einem zeitintensiven vollständigen Alterungstest nutzen viele Anwender die Möglichkeit, mittels Verträglichkeitsprüfung die gewünschten Komponenten ohne Isolierfunktion (NIM) bestehenden EIS hinzuzufügen. Dies ist in der IEC 61858 Anhang B beschrieben. Ganz deutlich muss man betonen, dass es nur im begrenzten Umfang möglich ist, Komponenten mit Isolierfunktion (EIM) bei einem bestehenden EIS zu ergänzen oder auszutauschen. Zulässige Veränderungen an einem Isoliersystem sind in der IEC 61858 beschrieben. Hingegen können Kupferlackdrähte gemäß den Bedingungen in UL 1446 respektive IEC 61858 Anhang A ergänzt / ausgetauscht werden.

Die Verträglichkeitsprüfung ist ein standardisiertes Verfahren, dass die chemische Verträglichkeit der Haupt-Isolationsmaterialien in Bezug auf die Wechselwirkungen mit den beigefügten Nebenbestandteilen (z.B. Isolierschläuche, Isoliermaterialien, Klebebänder, Anschlusslitzen, Vergussmassen, Kordeln etc.) prüft.



Abbildung 2+3: Glaskolben (Sealed Tube) und Wärmeschrank (Bildmaterial Synflex)

Hauptaugenmerk wird auf die elektrische Festigkeit der lackisolierten Drähte gelegt. Diese wird nach 14-tägiger gemeinsamer Lagerung aller Bestandteile des EIS in einem luftdichten Glaskolben (Sealed Tube) ermittelt. Die Alterung erfolgt bei der angestrebten Wärmeklassen Temperatur, plus

25°C. Als Referenz wird ein weiterer luftdichter Glaskolben (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 nach entsprechender Alterung erreicht. Nach Durchführung des Sealed Tube Tests kann das modifizierte EIS nach der Registrierung bei UL eingesetzt werden.

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 „Authorization-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 CCT zusammenstellen.

Aufgrund der Erfahrung bei UL besteht bei Elektroisoler-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.

Ein CCT ist eine Möglichkeit, die Liste der akzeptablen Materialien nach einem FTA oder in einem bestehendem EIS-System zu erweitern, ohne auf ein vollständiges FTA zu warten. Diese Bewertung dauert ca. 4-8 Wochen unter Voraussetzung der Materialverfügbarkeit.

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 UL-File dokumentiert. 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)).

### 5.3 Übernahme eines bestehenden EIS

Die schnellste, kostengünstigste Methode, ein eigenes EIS zu definieren, ist die Übernahme eines bereits bestehenden EIS ohne jegliche Modifikation.

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 „Authorization Letters“ notwendig.

Modifikationen sind bei der Übernahme eines bestehenden EIS möglich:

Die Modifikation muss stets mit UL abgestimmt werden. Die Ähnlichkeit zweier Produkte wird durch einen Vergleich der IR-Spektren ermittelt. Diese IR-Analyse wird ausschließlich durch UL

durchgeführt. Bei ausreichend hoher Gleichartigkeit können die Produkte, nach Zustimmung durch UL, ohne weitere Tests ergänzt werden.

## **5.4 Weitere spezifische UL-Zulassungsverfahren für Isolierstoffe**

Neben dem kompletten Alterungstest (Full Thermal Aging Test, FTA), gibt es weitere spezielle Testprogramme wie z.B.: DLTA und STTA.

### **5.4.1 Defind Life Thermal Aging (DLTA)**

DLTA ist ein thermischer Alterungstest für eine definierte Lebensdauer des Elektroisoliersystems.

Das DLTA-Programm ist für Isoliersysteme vorgesehen, die in Anwendungen eingesetzt werden, in denen die betriebsmäßig vorgesehene Lebensdauer 5.000 Stunden oder weniger beträgt. Dieses Zertifizierungsprogramm ist eine Alternative zum vollständigen Wärmealterungsprogramm und dient zur Bewertung eines EIS mit einer Lebensdauer von 1500, 2500, 4000 oder 5000 Stunden.

Es benötigt im Vergleich zur herkömmlichen vollständigen thermischen Alterung weniger Proben und weniger Prüfzeit. Die Prüfanforderungen sind in der IEC 61857 Teil 31 "Anwendungen mit einer Lebensdauer von 5 000 h oder weniger" enthalten.

Nach Beendigung eines DLTA Programmes kann ein CCT Projekt eröffnet werden, um das System zu optimieren.

Mit Hilfe des CCT Test, können unter bestimmten Bedingungen vor allem NIM-Materialien einem bestehenden EIS hinzugefügt werden. Beim CCT Test wird die chemische Interaktion bei erhöhten Temperaturen aller Bestandteile des erweiterten EIS geprüft. Beurteilungskriterium ist die Spannungsfestigkeit des im Probekörper mit befindlichen, verdrehten Lackdrahtes (Twisted Pairs, siehe auch 5.2).

### **5.4.2 Short Term Thermal Aging (STTA)**

STTA ist ein thermischer Kurzzeit-Alterungstest für Elektromotoren.

Das STTA-Programm ist ein neuer Service, welcher ein Elektroisoliersystem für Motoren in Niederspannungs-Anwendungen. ( $\leq 1000$  Volt) evaluiert.

Der Short-Term Thermal Aging (STTA) Test für Motoren wurde speziell entwickelt, um die Markteinführung für Kunden gem. der UL 1004 - Serie "Rotierende elektrische Maschinen" zu beschleunigen. Die Prüfanforderungen sind in ANSI/UL/IEC 60335-1 Anhang C enthalten und beinhalten einen Alterungsprozess von sechs Produktionsmotoren bei erhöhten Temperaturen und Feuchtigkeitseinflüssen. Die Einhaltung der Anforderungen wird durch eine elektrische Prüfung (Fehlerstrom und elektrische Festigkeit) festgestellt.

Nachfolgend aufgeführt die Testzeit, welche aus der gewünschten Temperaturklasse und entsprechender Temperaturerhöhung festgelegt wird.

Testzeit	Temperaturerhöhung zur gewünschten Temperaturklasse
1000h	40°C
2000h	30°C
4000 h	20°C
8000 h	10°C

Tabelle 5: Temperaturerhöhung zur gewünschten Temperaturklasse bei verschiedenen Test-Zeiten

#### Bevorzugte Muster

- Kleine Baugröße (NEMA 56 frame oder kleiner)
- High resistance Motoren

#### Vorteile des Programms

- Verkürzte Zeit zum Markt durch kurze Evaluierungszeit (ca. 3 Monate)
- Geringer Musteraufbau somit Kosten- / und Zeiteinsparung gegenüber dem aktuellen Motoren Test-Programm.

#### Zulassung / Klassifizierung

Die Ergebnisse der STTA-Bewertung sind motordesign- und typspezifisch und bieten eine begrenzte Flexibilität bei der Materialbeschaffung und den Endverwendungsmöglichkeiten im Vergleich zum traditionellen FTA-Programm. Motoren, die dieses Programm durchlaufen, werden alle drei Jahre überprüft, um sicherzustellen, dass Abweichungen in den Prozessen der Motorenfertigung die Leistung des EIS nicht beeinträchtigt haben.

Ein positiver STTA-Test mündet in der UL-Kategorie OBJY3 zum Gebrauch für Motorkonstruktionen gem. dem Standard UL 1004 Serie (Elektrische Rotierende Maschinen). Systeme die die Anforderung gem. IEC 60335-1 Anhang C erfüllen, erhalten einen System Certification Report, der beschreibt, welche Isoliermaterialien zur Evaluierung genutzt wurden. Das Isoliersystem kann für andere Motoren der gleichen Serie genutzt werden, unter Berücksichtigung der identischen Isoliermaterialien.

Wichtig: Es können maximal 2 EIM-Materialien (Elektrisch Isolierende Materialien), früher „Major Components“ genannt, getestet und verbaut werden.

Ein CCT Projekt kann ebenfalls nach einem STTA durchgeführt werden, ist aber auf NIM (nicht-elektrische Isoliermaterialien) beschränkt, wie z.B. Bänder, Schläuche, Kabelbinder, Zuleitungen und Kordeln (siehe auch 5.2).

Komplexere Materialien (z.B. Folienlamine, Lacke, Vergussmassen und Imprägnierharze) müssen durch ein zusätzliches STTA- oder FTA-Programm bewertet werden.

Die Materialüberprüfung erfolgt in den von UL durchgeführten (Follow Up) Inspektionen vor Ort (am Produktionsstandort).

## 5.5 Prüfstandards und Bewertungsverfahren

Es gibt verschiedene Wege ein Elektroisoliersystem zu generieren bzw. zu verändern. Die hierzu herangezogenen Prüfstandards sind in der nachfolgenden Tabelle beschrieben. Als bevorzugte Testmethode wird die IEC herangezogen. Sollten keine IEC-Standards vorliegen, werden die ASTM / bzw. die IEEE Standards herangezogen.

ASTM Standards
ASTM D1676, Standard Test Methods for Film-Insulated Magnet Wire
ASTM D2307, Standard Test Method for Thermal Endurance of Film-Insulated Round Magnet Wire
ASTM D2519, Standard Test Method for Bond Strength of Electrical Insulating Varnishes by the Helical Coil Test
ASTM D3145, Standard Test Method for Thermal Endurance of Electrical Insulating Varnishes by the Helical Coil Method
ASTM D3251, Standard Test Method for Thermal Endurance Characteristics of Electrical Insulating Varnishes Applied Over Film-Insulated Magnet Wire
ASTM D5642, Standard Test Method for Sealed Tube Chemical Compatibility Test
ASTM E178, Standard Practice for Dealing with Outlying Observations

IEC Standards
IEC 60172, Test Procedure for the Determination of the Temperature Index of Enamelled and Tape Wrapped Winding Wires [ASTM D2307, Standard Test Method for Thermal Endurance of Film-Insulated Round Magnet Wire]
IEC 60317, Specifications for Particular Types of Winding Wires (all parts) [ASTM D1676, Standard Test Methods for Film-Insulated Magnet Wire]
IEC 60455-2, Resin Based Reactive Compounds Used for Electrical Insulation – Part 2: Methods of Test
IEC 60455-3, Resin Based Reactive Compounds Used for Electrical Insulation Part 3: Specifications for Individual Materials (all sheets for individual resins) [ASTM D3251, Standard Test Method for Thermal Endurance Characteristics of Electrical Insulating Varnishes Applied Over Film-Insulated Magnet Wire]
IEC 60493-1, Guide for the Statistical Analysis of Ageing Test Data – Part 1: Methods Based on Mean Values of Normally Distributed Test Results
IEC TR 60493-2, Guide for the Statistical Analysis of Ageing Test Data – Part 2: Validation of Procedures for Statistical Analysis of Censored Normally Distributed Data [ASTM E178, Standard Practice for Dealing with Outlying Observations]
IEC 60505, Evaluation and Qualification of Electrical Insulation Systems
IEC 60851, Winding Wires – Test Method (all parts)
IEC 61033, Test Methods for the Determination of Bond Strength of Impregnating Agents to an Enamelled Wire Substrate

[ASTM D2519, Standard Test Method for Bond Strength of Electrical Insulating Varnishes by the Helical Coil Test]

IEC 61857, Electrical Insulation Systems – Procedures for Thermal Evaluation (all parts)

IEC 61858-1, Electrical Insulation Systems – Thermal Evaluation of Modifications to an Established Electrical Insulation System

(EIS) – Part 1: Wire-Wound Winding EIS [ASTM D5642, Standard Test Method for Sealed Tube Chemical Compatibility Test]

### IEEE Standards

IEEE 1, Recommended Practice – General Principles for Temperature Limits in the Rating of Electrical Equipment and for the Evaluation of Electrical Insulation

IEEE 99, Recommended Practice for the Preparation of Test Procedures for the Thermal Evaluation of Insulation Systems for Electric Equipment

IEEE 101, Guide for the Statistical Analysis of Thermal Life Test Data

## 5.6 Von der spezifischen Materialauswahl zum Isoliersystem und zur Endprodukt Zulassung

Elektromagnetische Geräte, die bei erhöhten Temperaturen ( $\geq 120^\circ\text{C}$ ) betrieben werden (einschließlich Motoren, Transformatoren, Generatoren und Magneten), benötigen zur Erlangung einer UL-Zertifizierung oft eine explizite Überprüfung des elektrischen Isolationssystems (EIS).

Die UL 1446 selbst fordert keine zusätzliche Bewertung von Materialien (EIM, NIM), die direkten Kontakt mit spannungsführenden Teilen haben. Diese zusätzliche Bewertung ist Teil der Prüfungen des Endgerätes und abhängig von der Konstruktion, der Wärmeklassifizierung, den Abständen und anderen Parametern. Diese werden oft durch den entsprechenden Endgeräte-Standard bestimmt.

Der Prozessablauf vom Material über das System zur Endproduktzulassung ist nachfolgend dargestellt. Dabei zu beachten ist, dass jeder Schritt seine eigenen, spezifischen Standards besitzt (z.B. UL 746, UL 1446, UL 1004).



Abbildung 4: Prozessablauf: Vom Material zur Endproduktzulassung, Bildquelle Synflex

Weder die Qualifizierung der einzelnen Komponenten noch des verwendeten Elektroisoliersystems alleine reichen bereits aus, eine Gerätezulassung zu erlangen. Jede Endproduktenorm kann

zusätzliche Parameter verlangen, die bereits zu Beginn der Neuentwicklung bei der Materialauswahl berücksichtigt werden sollte.

Beispiele für diese Parameter sind HWI (Hot Wire Ignition), CTI (Comparative tracking index), HAI (High Arc Ignition), usw.. Diese Parameter sind auch Grundlage für die Entscheidung, welche Materialien in einem Isoliersystem eingesetzt und getestet werden sollen.

Dabei hilfreich ist, dass die potentiell geforderten zusätzlichen Parameter, die sich von den Endgeräte Standards z.B.: UL 1004, UL 508 etc. oder IEC 61800-5-1, IEC 60034 etc. ableiten, schon bereits zum Teil in den materialspezifischen „Yellow Cards“ zu finden sind.

### Die UL-Yellow-Card

Die „Yellow Card“ listet die produktspezifischen Daten auf, die z.B. nach dem Standard UL 746-Serie getestet wurden, mit dem Fokus auf sicherheitsrelevante Eigenschaften, wie Brennbarkeit und Entflammbarkeit (UL94) auf.

Weitere typische Angaben auf der Yellow Card sind, neben Color, Min. Thickness (mm), Flame Class:

- HAI High-Current Arc Ignition
- RTI ... relativer Temperatur-Index bzgl. ...
- RTI Elec der Durchschlagfestigkeit
- RTI Imp der Zugfestigkeit
- RTI Str der Kerbschlagzähigkeit
- HVTR High Voltage Arc Tracking Rate
- CTI Comparative Tracking Index

Die Yellow Card kann aber auch erweitert werden mit Daten z.B. bezüglich RoHS oder Halogengehalt, welche in gewissen Endgeräte-Standards gefordert sein können. Zusätzlich können auch noch andere von UL getestete technische Eigenschaften in den sogenannten „White Cards“ gelistet werden. Neben Flammability zum Beispiel:

- Glow-Wire Flammability (GWFI)
- Glow-Wire Ignition (GWIT)
- IEC Comparative Tracking Index
- IEC Ball Pressure
- ISO Heat Deflection (1.80 MPa)
- ISO Flexural Strength
- ISO Tensile Impact
- ISO Tensile Strength
- ISO Izod Impact
- ISO Charpy Impact

Hinweis: Folgende Datenbanken sind seitens UL verfügbar:

1. <http://iq.ul.com/systems/>: Elektroisoliersysteme
2. <https://iq.ul.com/>: UL-Datenbankübersicht
3. <https://iq.ulprospector.com/en>: UL-Produktdatenbank

## 6 Abkürzungen / Glossar

**ASTM** – American Society for Testing and Materials

**CCT** – Components Compatibility Test: Verträglichkeitsprüfung, auch als „sealed tube test“ bekannt. Dient der Modifikation eines bestehenden EIS. (besser bekannt als "sealed tube test")

**CTI** – Comparative Tracking Index: Maß für die Kriechstromfestigkeit eines Materials. Der CTI-Wert ist bis 600V genormt.

**EIS:** Electrical Insulating System

**EIM:** Electrical Insulating Materials: Material oder Komponente, das die elektrische Isolation hauptsächlich darstellt (Primärisolation)

**FTA** – Full Thermal Ageing: Prüfprogramm für die Qualifizierung eines vollständigen EIS

**GPM** – General Purpose Model: Prüfaufbau für den FTA

**HWI** – Hot Wire Ignition: Test zur Bestimmung der Entflammbarkeit eines Kunststoffes durch einen Glühdraht

**HAI** – High-Current Arc Ignition: Test der Widerstandsfähigkeit eines Materials und dessen Oberfläche gegenüber einem Lichtbogen / Zündfunken

**IEC** – International Electrotechnical Commission

**NIM** – Non-Insulating Material: Material, dessen Funktion nicht primär die elektrische Isolation ist

**OBJY2** --- Bezeichnung aus dem UL Category code numbers System

**OBJS2** – Component-Electrical Insulation System Components  
(von der UL anerkannte Systeme, die frei verfügbar sind)

**RTI** – Relative Temperature Index: Temperaturindex eines Materials, der relativ zu einem anderen bereits bekannten Material als Referenz bestimmt wurde, z.B. durch einen Alterungstest. Diese Temperatur spiegelt die maximale Betriebstemperatur für eine definierte Lebensdauer des Produkts wider.

RTI – Elec (nur wenn im Yellowcard Beispiel)

RTI – Imp (nur wenn im Yellowcard Beispiel)

RTI – Str (nur wenn im Yellowcard Beispiel)

**UL** Underwriters Laboratories, Inc. – US-amerikanische Organisation, die Produktstandards für elektrische Erzeugnisse definiert (ähnlich wie VDE und TÜV). Produkte können von anerkannten Prüfinstituten bezüglich verschiedener UL-Standards zertifiziert werden.

**UL 94** – Standard for Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances

**UL 1446** – Standard for Systems of Insulating Materials – General

**VDE** – Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. Zum VDE gehören u.a. die Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (DKE) und das gemeinnützigen VDE Prüf- und Zertifizierungsinstitut GmbH welches das VDE-Prüfsiegel vergibt.



## 7 Referenzen

- UL Performance materials: Electrical insulation systems and materials (EIS Brochure\_A4\_en\_final) [https://industries.ul.com/wp-content/uploads/sites/2/2015/07/UL\\_EIS-Brochure\\_A4\\_en\\_final.pdf](https://industries.ul.com/wp-content/uploads/sites/2/2015/07/UL_EIS-Brochure_A4_en_final.pdf)
- UL Brochure; Safety and performance reliability of electrical insulation systems <https://library.ul.com/wp-content/uploads/sites/40/2016/07/10193-EIS-White-Paper-R3.pdf>
- Standard for Systems of Insulating Materials – General, Standard 1446, Edition 7
- IEC 61858-1 Elektrische Isoliersysteme - Thermische Bewertung von Veränderungen an einem erprobten elektrischen Isoliersystem (EIS)
- IEC 61857 Serie, Elektrische Isoliersysteme - Thermische Bewertung von elektrischen Isoliersystemen (EIS)
- Siehe auch Abschnitt 5.5: Prüfstandards und Bewertungsverfahren

## 8 Bildquellen

Abbildungen 1-4: SynFlex Elektro GmbH, 32825 Blomberg

## 9 Zusammenfassung für Querleser

Die UL 1446 ist, abgesehen vom Full Thermal Aging Test, ein administrativer Test Standard. Mit der UL 1446 wird vor allem die chemische Kompatibilität der eingesetzten Werkstoffe bei einer gegebenen Dauereinsatztemperatur geprüft. Außer für die Wickeldrähte, Zuleitungen, Flächenisoliertstoffe (die als EIM-Material eingesetzt werden) und Isolierlacke wird keine Wärmeklasseneinstufung überprüft. Es ist daher z.T. 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 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.

Labore, welche unter dem UL Third Party Test Data Program seitens UL für die hier aufgeführten Isoliersystemprüfungen durch UL qualifiziert sind, führen entsprechende Projekte gem. dem UL-Standard 1446 wie z.B. den FTA- oder CCT-Test durch. Ebenso gibt es die Möglichkeit, die Labore als Agenten zu autorisieren, welche dann die Gesamtabwicklung entsprechender UL-Projekte durchführen.

### **Autoren:**

Heinz von der Heide, SynFlex Elektro GmbH  
Dr. Yannik Solle, SynFlex Elektro GmbH  
Gerald Friederici, CMC Klebetechnik GmbH  
Philipp Schweiger, Isovolta AG  
Stefan Becker, Sekels GmbH  
Sebastian Aumann, Isovolta AG  
Mark Jovalekic, Pucaro Elektro-Isolierstoffe GmbH  
Gunther Baumgarten, ELANTAS Europe GmbH  
Alexander Neumann, Axalta Coating Systems Germany GmbH & Co. KG  
Stefan Seifert, Wevo-Chemie GmbH

### **Kontakt**

Dr.-Ing. Rolf Winter • Geschäftsführer • FV Electrical Winding & Insulation Systems  
Mobil: +49 162 2664-937 • E-Mail: rolf.winter@zvei.org

### **Impressum**

ZVEI e.V. • Verband der Elektro- und Digitalindustrie • Amelia-Mary-Earhart-Str. 12 • 60549 Frankfurt  
Lobbyregisternr.: R002101 • EU Transparenzregister ID: 94770746469-09 • www.zvei.org

Datum: 03.01.2025