

Isolations-Merkblatt Nr. 1

FV Electrical Winding & Insulation Systems

Durchschlagsfestigkeit und Lebensdauer

überarbeitete Fassung Januar 2024

Die Durchschlagspannung in Datenblättern gibt dem Ingenieur an, bei welcher Spannung ein Isolationsmaterial versagt. Stillschweigend wird dabei die Kenntnis vorausgesetzt, dass dieser Wert nur im „Neuzustand“ Gültigkeit besitzt. Für die Prüfung dieses Durchschlagens durch den Isolationswerkstoff hindurch wird meistens ein Spannungsanstieg von 500 V/s verwendet. Die Durchschlagsspannung wird dann normiert auf die Dicke als z.B. kV/mm angegeben.

Doch dieser Wert verringert sich im Laufe der Einsatzzeit immer mehr (siehe Fig.1). Eine Vielzahl von Faktoren ist daran beteiligt, die Isolationsfähigkeit eines Werkstoffes negativ zu beeinflussen. Darum reicht es je nach Anwendung auch nicht, den einzelnen Einflussfaktor zu betrachten. Man muss vielmehr die Summe aller Belastungen im konkreten Fall zusammengefasst in ihren Auswirkungen berücksichtigen.

Im Folgenden soll mit dem Schwerpunkt auf Isolationsfolien versucht werden, anhand der am häufigsten vorkommenden Belastungsarten einen Eindruck zu gewinnen, worauf man achten sollte:

1. Temperatur

Ganz allgemein kann festgestellt werden: umso höher die Temperatur, desto stärker werden u. a. korrosive und oxidative Einflüsse der Umgebungsluft wirksam. Oder noch allgemeiner gesagt erhöht sich mit steigender Temperatur die Geschwindigkeit der Alterung, wobei die meisten Prozesse der sogenannten Arrhenius-Kurve gehorchen.

Als Faustregel aus der Elektronik rechnet man vereinfacht mit einer Halbierung der Lebensdauer je 10 °C Temperaturerhöhung.

Isolationsmaterialien werden über Normen wie die IEC 60085 in Wärmeklassen (z. B. B=130 °C, F=155 °C, H=180 °C) eingeteilt. Diese Klassen geben an, bei welcher Dauergebrauchstemperatur die Isolationsmaterialien nach 20.000 Stunden noch 50 Prozent der Durchschlagsspannung haben, die sie im Neuzustand hatten.

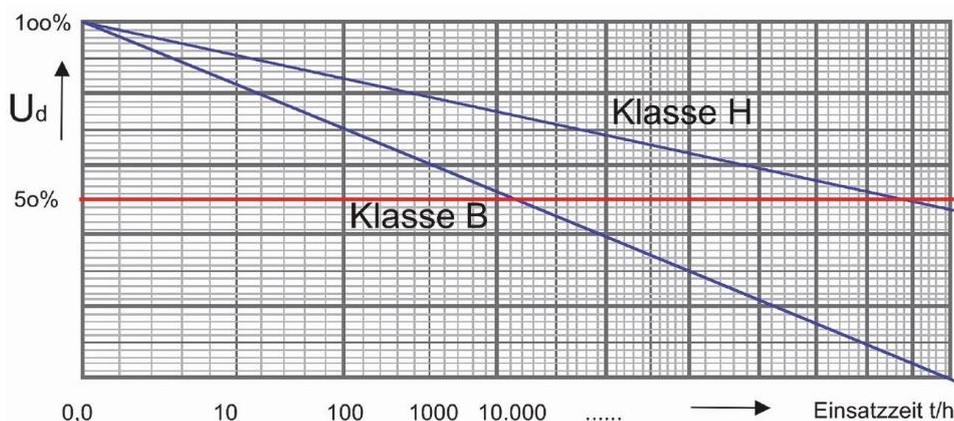


Fig. 1: Erreichen der halben Durchschlagsspannung nach UL 746 (Quelle: CMC)

Etwas anders formuliert bedeutet dies, dass ein Material nach nur zweieinhalb Jahren Einsatz bei maximaler erlaubter Temperatur die Hälfte seiner Schutzfunktion gegen einen elektrischen Schlag eingebüßt hat.

Will man also bei einer gegebenen Arbeitstemperatur eine höhere Lebensdauer erzielen, setzt man ein Isolationsmaterial einer höheren Wärmeklasse ein. Das übliche End-of-life-Kriterium der „halbierten Durchschlagsspannung“ wird auf diese Weise viel später erreicht.

Bezüglich der maximal auftretenden Wärme sollte man u. a. auch Wärmestaus innerhalb von Wicklungen, höchste mögliche Umgebungstemperatur sowie ggf. gelegentlich auftretende Fehlfunktionen mit in die Betrachtung aufnehmen.

2. Spannung (Stress, TE)

Bereits ab 400 V entsteht Corona-Entladung. Dabei werden durch die entstehende Feldstärke freie Elektronen soweit beschleunigt, dass sie weitere Ladungsträger aus ihrer stabilen Position schleudern. Es entwickelt sich eine Ladungsträgerlawine, die dann in eine Teilentladung (Corona- bzw. Gleitentladung) mündet.

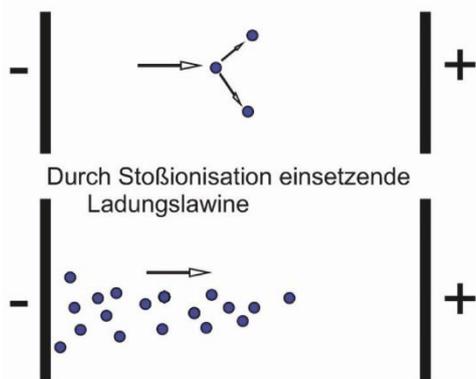


Fig.2: (Quelle: CMC)

In Gerätestromkreisen moderner Geräte wie Netzgeräten, Filterkomponenten und Powermodul-Antrieben kommt es vermehrt zu sich wiederholenden, energiereichen Impulsen (Schaltimpulse). Sie haben kurze Anstiegszeiten und Scheitelspannungen deutlich über dem Nennwert der Versorgungsspannung.

Diese Impulse lassen Isolationssysteme auf andere Weise altern wie unter herkömmlicher, netzfrequenter Wechselspannung:

- Teilentladungen zerstören die Isolation durch aggressive Abbauprodukte, UV-Strahlung und Ozon
- Elektromechanische Ermüdung auf Grund der Stromimpulse
- Dielektrische Erwärmung wegen der hochfrequenten Anteile der Spannungsimpulse

Selbst wenn die Nennspannung unterhalb der TE-Einsatzspannung liegt, können überlagerte Impulse Teilentladungen zünden. Dabei beeinflussen die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit, die Impulsform, -polarität und -wiederholungsrate wesentlich die Degradationsgeschwindigkeit der Werkstoffe.

Ein ausreichender Abstand zur TE-Verlöschungsspannung ist also immer ratsam. Diese erreicht man – neben konstruktiven Maßnahmen – durch Verwendung ausreichend spannungsfester, sprich „dicker“ Isolationen.

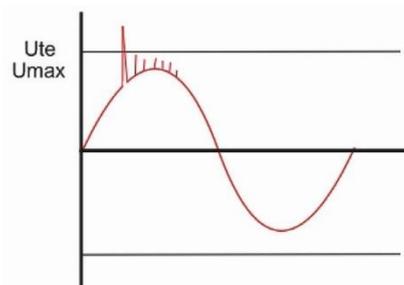


Fig.3: Getriggert TE-Einsatz durch Überspannungsimpuls auch bei Betriebsspannung unter TE-Einsatzspannung (Quelle: CMC)

Das widerspricht allerdings den Anforderungen nach möglichst wenig Isolationsmaterial innerhalb von Transformatoren und Generatoren. Denn nur die „Eisen- und Kupferanteile“ in einem Transformator sind elektrisch wirksam. Außerdem wird sich die Situation der kapazitiven und induktiven Kopplung deutlich ändern.

Kann man die Gefahr von Teilentladungen nicht ausschließen, verwendet man Materialien, die besonders TE-beständig sind. Dazu gehören alle anorganischen Isolationsstoffe wie Glas, Keramik oder der Naturstoff Glimmer (Mica). Sie werden von Corona Entladungen nicht geschädigt. Eine erhöhte Corona Beständigkeit bei Flächenisolationstoffen, wie z. B. NOMEX®-Aramidpapier T 418, wird durch die Einbringung von Feinglimmerplättchen erreicht. In herstellerspezifischen Lösungen kann dadurch die Corona-Beständigkeit von Hochspannungsmaschinen (Generatoren, Motoren) verbessert werden. Dies gilt natürlich auch für den Isolationaufbau von Motoren, die an Frequenzumrichtern (Inverttern) betrieben werden.

In großen Anlagen (Motoren, Generatoren, Verteiltransformatoren) kann man halbleitende Materialien einsetzen, um diese Gleit- und Glimmentladung so weit wie möglich zu vermeiden. Auch kann auf diese Weise das elektrische Feld soweit geformt werden, dass keine Feldlinienkonzentrationen entstehen können.

Bei kleineren Baugrößen empfiehlt sich der Einsatz von Kapton® CR oder Fluorpolymere wie z. B. FEP. Bei Kapton® CR wird die TE-Beständigkeit durch die Zugabe von anorganischen Werkstoffen in die Polymermasse drastisch erhöht. Fluorpolymere bestehen durch ihre geringe Reaktivität, haben jedoch andere Nachteile (Dehnbarkeit, Kaltfluß).

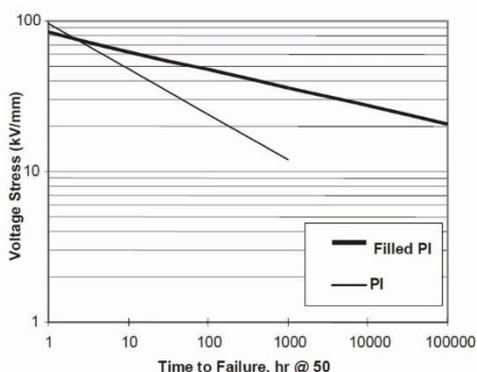


Fig. 4 Lebensdauer-Unterschied zwischen Kapton HN (PI) und Kapton CR (filled PI) bei Belastung durch Teilentladungen (Quelle: DuPont)

Wie bei den Betrachtungen zu dem Einfluss der Temperatur gilt auch hier, dass der Einsatz einer höherwertigen Folie (also z. B. statt Class B eine Class F Folie, Kapton® CR statt Kapton® HN oder 50 µm statt 25 µm Folienstärke) den Zeitpunkt der Zerstörung deutlich verschiebt. Die Spannungsfestigkeit bleibt im Dauerbetrieb damit länger oberhalb der Spannung, bei der Teilentladungen einsetzen.

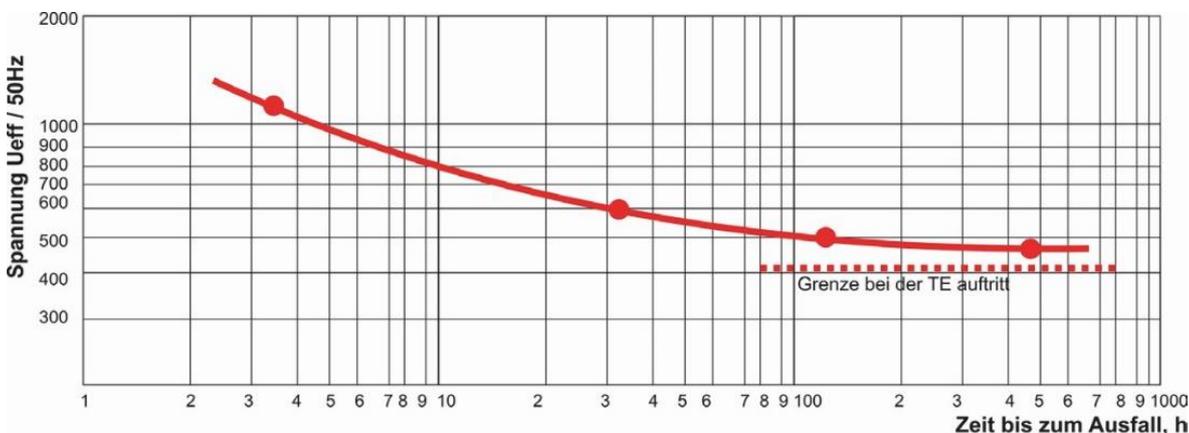


Fig.5: Die Vermeidung von Teilentladungen im Isolationssystem bleibt jedoch trotz verbesserter Fig.5 Dauer, bis Kapton unter Spannungstress die TE-Einsatzspannung erreicht (Quelle: DuPont)

In der IEC 60343 (Recommended test methods for determining the relative resistance of insulating materials to breakdown by surface discharges; ähnlich, aber nicht gleich ASTM 2275) wird die Testanordnung so gewählt, dass ein Ausfall der Proben zwischen 100 Stunden und 1.000 Stunden liegt. Aus den Ergebnissen kann man dann die Zeit bis zum Ausfall bei geringerer Spannungsbelastung extrapolieren.

Eine weitere wichtige Norm zu dem Thema ist die DIN IEC/TS 61934 (Elektrische Messung von Teilentladungen (TE) bei sich wiederholenden Spannungsimpulsen mit kurzer Anstiegszeit).

Die Vermeidung von Teilentladungen im Isolationssystem bleibt jedoch trotz verbesserter Isolationsmaterialien oberstes Gebot bei der Auslegung von elektrischen Betriebsmitteln.

Das bei solchen Coronaentladungen entstehende UV-Licht, die aggressiven Abbauprodukte sowie das reaktive Ozon beeinträchtigen ganz allgemein die umgebenden Materialien und nicht nur die direkt betroffene Folie.

Anmerkung 1: die Messung der Höhe von TE in einem elektrischen Bauteil ist heute gängige Methode der Fertigungsüberwachung.

Anmerkung 2: Positive bzw. negative Gleichspannung belastet Isolationsmaterialien auf unterschiedliche Weise. Es entstehen jedoch keine Verluste wie durch das Wechselfeld.

3. Frequenz

In sehr vielen „elektrischen“ Basisnormen wird normalerweise mit sinusförmiger Spannung bei 50 Hz gemessen. Moderne Schaltnetzteile arbeiten jedoch mit bedeutend höheren Frequenzen. Dadurch steigt der Stress für das Isolationsmaterial.

Exkurs: Die elektrische Größe „Spannung“ macht eine Aussage über die Kraft, die notwendig ist, um eine Ladungseinheit zu bewegen. Und diese „Arbeit“ wird bei steigender Wechsel-Frequenz immer häufiger in das Isolationsmaterial eingebracht. Es entsteht ein mechanischer Stress und „Reibungswärme“. Unpolare Werkstoffe wie Keramiken oder Glas sind davon wenig betroffen. Die organischen Isolationsfolien wie PE, PP, PET, PA, PI usw. sind jedoch mehr oder weniger polar.

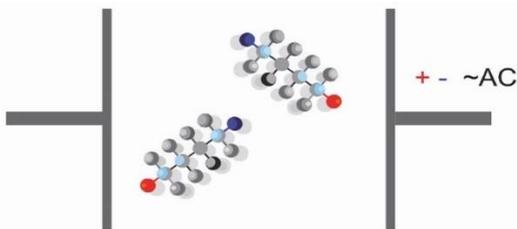


Fig.6: Umpolarisierungsverluste in Isolationswerkstoffen (Quelle:CMC)

Die komplexen Polymerketten bilden Dipole, die versuchen, sich nach dem äußeren elektrischen Feld auszurichten. Es entsteht ein mechanischer Stress und materialintern „Reibungswärme“. Die Folge ist eine verringerte Spannungsfestigkeit.

Bei dem Hochfrequenzschweißen macht man sich diese Umpolungsverluste im Material sogar zunutze, um den Kunststoff aufzuschmelzen (dipolartige Kunststoffe wie PVC, PA und Acetate; hohe dielektrische Verluste). Grob kann man sagen: je höher das angelegte elektrische Feld und je höher die Frequenz, desto mehr Wärmeenergie wird in das Material eingetragen.

Material	Dielekt. Verlustfaktor; (x10e-4)	
	50 Hz	1 MHz
PTFE	0,5	0,7
PP	2,5	3,5
PI	3	11
PET	20	210
PVC	120	300
PA luftfeucht	3900	1300

Fig.7: Übersicht einiger Isolationsstoffe und ihrer Verluste im elektrischen Wechselfeld bezog auf zwei verschiedene Arbeitsfrequenzen

Was beim Schweißen erwünscht ist, ist für eine Isolationsfolie im Dauereinsatz schädlich. Denn diese „innere“ Erwärmung bleibt häufig unbeachtet bei Alterungsbetrachtungen und wird über übliche Norm-Messungen (z. B. UL 746) nicht abgebildet.

Frequenzumrichter und Schaltnetzteile belasten heute Isolationen mehr als früher, denn Motoransteuerungen oder z. B. Computernetzteile verwenden pulsweitengesteuerte Spannungen im Bereich von 20 kHz und mehr.

Die dabei entstehenden Oberwellen haben Frequenzen bis weit über 15 MHz und es entstehen z. B. durch Resonanzen und induktive oder kapazitive Kopplung Spitzenspannungen weit oberhalb der Betriebsspannung.

Die hohen Schaltgeschwindigkeiten dv/dt belasten erheblich die verwendeten Isolationsmaterialien ($P = U^2 \omega C \tan \delta(T) \triangleq$ Verlustleistung im Material). Zusätzlich können Wellenreflektion, Stehwellen und Rückwirkungen aus dem gespeisten Gerät weiteren Stress für die Isolation bewirken. Außerdem erhöht sich die Belastung durch die kapazitive Kopplung z. B. von Phase zu Erde oder Phase zu Phase.

Das folgende Diagramm stellt diesen Zusammenhang für die häufig verwendete Polyesterfolie dar:

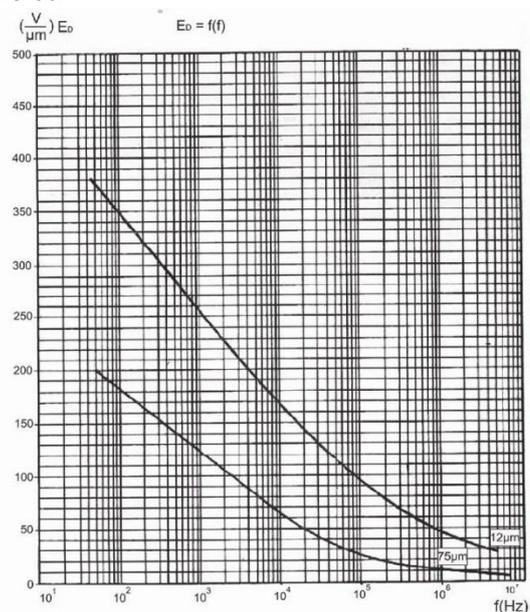
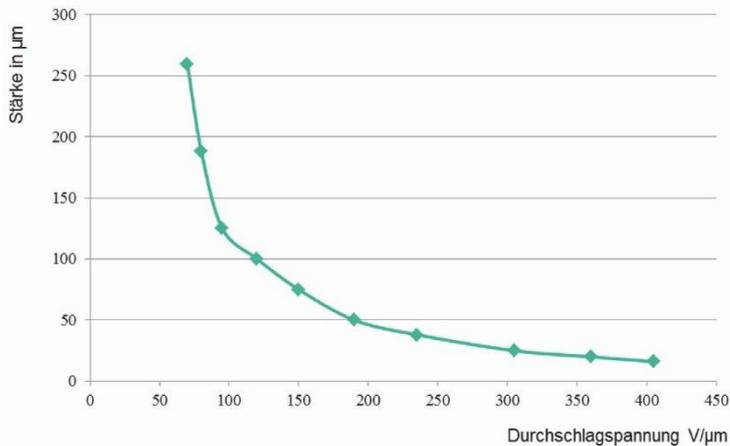


Fig. 7: Abhängigkeit der Durchschlagsspannung von der Frequenz (Quelle: Hoechst)

Die Angabe der Durchschlagsspannung für Elektroisierstoffe erfolgt in vielen Datenblättern bezogen auf eine Arbeitsfrequenz von 50/60 Hz sinusförmigen Stroms. Wie im Diagramm oben dargestellt, reagieren viele der Standardisolationfolien bei höheren Frequenzen mit einer verringerten Durchschlagsspannung.

Auch sei noch darauf hingewiesen, dass die normierte Durchschlagspannung bei zunehmender Folienstärke nicht linear wächst. Vielmehr wird durch die Verluste innerhalb des Materials die Durchbruchspannung in $V/\mu\text{m}$ bei größerer Stärke signifikant geringer.



Reduktion der normierten Durchbruchspannung ($V/\mu\text{m}$) bei steigender Materialstärke (Bsp.: PET, Quelle CMC)

Neben der Alterung durch Temperatur und die Schwächung des Materials durch Teilentladungen bestimmt also auch die Frequenz maßgeblich die Überlegungen zur Auslegung eines elektrischen Gerätes.

4. Verhalten bei Verschmutzung

Werden Oberflächen von Isolierstoffen durch Feuchtigkeit und Staub verunreinigt, entstehen bei einsetzenden Gleitentladungen langsam, aber sicher Leitpfade. Diese bestehen aus karbonisierten Überresten der Verschmutzung und dem zerstörten Isolationsstoff. Diese Leitpfade breiten sich meist in Verästelungen (treeing) immer weiter aus und können am Ende zum Versagen der Isolation führen.



Fig. 8: Ausbildung eines leitfähigen Pfades auf oder in Isolationsmaterialien (Quelle: CMC)

Ein wesentlicher Aspekt dabei ist die mögliche Wasseraufnahme des Isolierstoffes, denn dadurch wird die Zerstörung auch innerhalb des Werkstoffes beschleunigt. Bestimmte Produkte, die mittels Polykondensation (z. B. Polyesterfolien) hergestellt werden, können bei Anwesenheit von Feuchtigkeit und Temperaturen ab

80 °C sogar relativ schnell durch Hydrolyse geschädigt werden

Um angeben zu können, wie leicht ein Werkstoff dazu neigt, auf der Oberfläche leitfähige Pfade auszubilden, verwendet man den sogenannten CTI-Wert. Der Comparative Tracking Index wird wie folgt gemessen: Zwei Elektroden werden auf die zu messende Oberfläche aufgelegt. Dazwischen wird eine leitfähige Salzlösung getropft und eine Spannung angelegt (Fig.9). Diejenige Spannung, bei der durch Überschläge die Oberfläche des Werkstoffes abgetragen wird, klassifiziert ihn dann in eine von 6 Stufen.

Diese besondere Kombination aus Gleitentladung und verschmutzter Oberfläche führt noch schneller als trockene Teilentladungen zur Zerstörung des Isolationswerkstoffes. Besonders bei elektrischen Einrichtungen, die im Außenbereich mit der Möglichkeit zur Betauung eingesetzt werden, sind deswegen erhöhte Abstände vorgeschrieben (siehe u. a. IEC 61558).

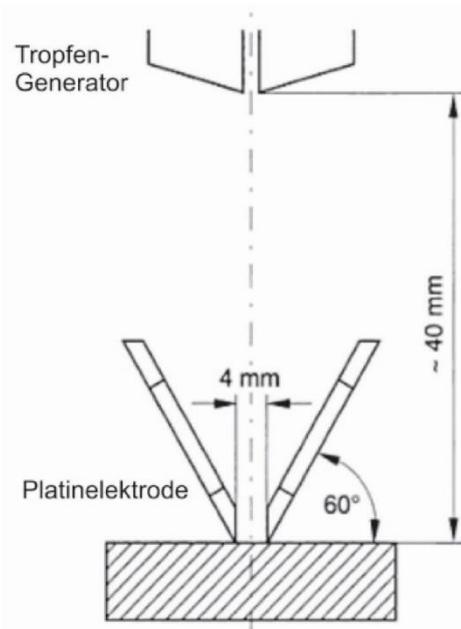


Fig. 9 Messung des CTI-Wertes an Isolierstoffen (Quelle: UL 746)

5. Konstruktive Maßnahmen

Es gibt mehrere Möglichkeiten, um die elektrische Sicherheit auch nach Tausenden von Betriebsstunden sicherzustellen.

Die Erhöhung von Luft- und Kriechstrecken trägt als wesentlicher Schutz dazu bei, dass auch bei gealtertem Isolationsmaterialien durch die dann verringerte Spannungsfestigkeit nichts passiert. Die erforderliche Luft- und Kriechstrecke ist insgesamt eine Funktion von CTI, Verschmutzungsgrad, Überspannungskategorie, Frequenz und Einsatzgebiet (Haushalt, Industrie, Medizin).

Zusätzlich kann man zum Beispiel die Konstruktion fehlertoleranter gestalten. Relativ einfach und dennoch hochwirksam ist oft der Einsatz eines Isolationsstoffes der nächsthöheren Isolations- bzw. CTI-Klasse. Die Zeit bis zum Versagen kann so normalerweise um mindestens das Doppelte erhöht werden.

Außerdem ist die Qualität der verwendeten Materialien mitbestimmend für die Leistungsfähigkeit über die gesamte Betriebszeit. So ist zum Beispiel die Wärmestandfestigkeit einer Polyimid-Folie deutlich abhängig vom Herstellverfahren. Die gleiche chemische Bezeichnung bedeutet nicht automatisch gleiche Eigenschaften.

Schlussendlich sind natürlich auch die mechanischen Belastungen bei der Verarbeitung und die mögliche Vorschädigung durch Testverfahren zur Fertigungsüberprüfung (z. B. Hochspannungstest) mit lebensdauerbestimmend.

6. Weitere Ursachen

Temperatur, Spannungsstress, ungünstige Materialeigenschaften und Teilentladungen sind gewiss die am stärksten wirkenden Abbau-Mechanismen für Polymere. Es gibt jedoch weitere Faktoren, die je nach Einsatzort eine Rolle spielen können.

Nahezu alle Kunststoffe werden durch Strahlung (UV-Licht, Radioaktivität) geschädigt. Die energiereiche Strahlung zerstört die Polymerketten und führt z. B. zu einer geringeren mechanischen Festigkeit.

Etwas Ähnliches kann bei speziellen Kunststoffen wie Polyester, Polyamid und Polyimid durch die sogenannte Hydrolyse passieren. Dabei werden bei ausreichend hoher Energie (z. B. Wasserdampf bei 90 °C) die Bindungen der Polymerkette durch den Dipol H O aufgespalten. Tests an 50 µm starker Polyesterfolie haben gezeigt, dass bereits nach 1.500 Stunden bei 85 °C / 85 % H_{rel} die mechanische Festigkeit weitgehend verloren geht. Die Folie bricht bei einem Knickversuch (DIN EN61234, Prüfverfahren für die Hydrolysebeständigkeit von Elektroisolationstoffen).

Der sogenannte „Motoretten-Test“ (z. B. UL 1446) berücksichtigt bei der Beurteilung von Isolierstoffen auch deren Beständigkeit gegenüber mechanischer Vibration, wie sie in drehenden Maschinen vorkommen. Damit wird geprüft, ob der Kunststoff unter Reibeinwirkung zur Erosion neigt und damit verringerter Spannungsfestigkeit.

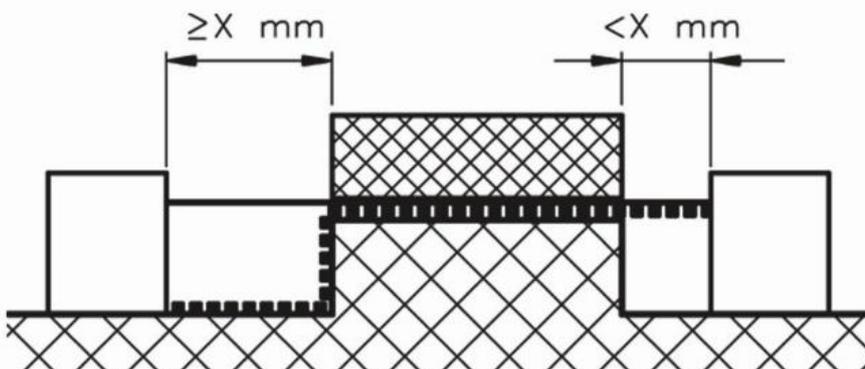


Fig.10: Erhöhung von Luft- und Kriechstrecken zur Vermeidung von alterungsbedingten Durchschlägen (Quelle: EN 61558)

Ein ständiger Temperaturwechsel (z. B. nur zeitweiser Betrieb) belastet besonders Verbünde aus Isolationsmaterial und Kernmaterial bzw. Lackdrähte. Die Ausdehnungskoeffizienten von Kunststoffen liegen üblicherweise weit über denen von Metallen. Dies kann vor allem in vergossenen Systemen zu Spannungsrissen führen.

Eine weitere Ursache für die mangelnde Lebensdauer einer elektrischen Isolierung kann an einem falsch gewählten Härtingsprozess (Verguss, Überzuglacke) liegen. Eine nicht vollständige und damit unzureichende Vernetzung oder eine zu schnelle Vernetzung führen unweigerlich zu einer reduzierten Lebensdauer.

Die heute verwendeten Isolierharze härten fast ausschließlich chemisch aus. Dabei ändern sich viele physikalische Eigenschaften der Harze. Unter anderem durch die drastische Zunahme der Viskosität auch die Dichte der Werkstoffe. Dies äußert sich in einem Volumenschrumpf. Dieser Schrumpf lässt sich minimieren, aber nie ganz verhindern. Folgen können z. B. Hohlräume, Risse oder Delaminierungen sein. Je langsamer und bei umso niedrigerer Temperatur ein Harz gehärtet wird, desto geringer wird diese Gefahr.

Eine weitere Ursache insbesondere bei hermetisch geschlossenen Maschinen ist eingeschlossene Feuchtigkeit in den Isolierstoffen, Spaltprodukte bei der Härtingsreaktion und Abbauprodukte während der Alterung. Der Konstrukteur eines Gerätes sollte Maßnahmen vorsehen, damit diese Stoffe die Maschine verlassen können oder an Stellen auskondensieren, wo sie keine Schäden verursachen.

Schlussendlich spielt auch die chemische Kompatibilität aller verwendeten Materialien in einem im Isoliersystem (UL 1446, IEC 61858 und IEC 61857) eine Rolle bei der Alterungsbeständigkeit der einzelnen Komponenten. In Langzeit-Alterungstests oder verkürzten Prüfungen (Sealed Tube Test) wird das Zusammenspiel aller Isolationswerkstoffe bei Alterung geprüft. Inkompatibilitäten zeigen sich durch eine reduzierte Spannungsfestigkeit.

Material	Ausdehnungskoeffizient
	in (10^{-6} K^{-1})
Aluminium	23,1
Eisen	11,8
Kupfer	16,5
PET – Polyester	~80
PA – Polyamid	~120
PI – Polyimid	~56
PE – Polyethylen	~200

Fig. 11: Ausdehnungskoeffizient verschiedene Materialien (Quelle: EN 61558)

7. Zusammenfassung

Heutige Geräte werden unter der Maxime „kleiner, schneller, leistungsfähiger“ konstruiert. Entwickler versuchen durch möglichst kleine Isolationsabstände (bei erschwerter Entwärmung) und durch deutlich höhere Frequenzen diesen Anforderungen gerecht zu werden.

Die Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG (E-Motoren auch 2009/640/EG) zwingt zudem spätestens seit Ende 2011 Hersteller zu energieeffizienterem Design, was meist gleichbedeutend ist mit einer höheren Energiedichte und den daraus resultierenden Folgen.

- Die Datenblattangaben von Isolierstoffen spiegeln den optimalen Wert der Isolationsfähigkeit unter standardisierten Bedingungen am Anfang der Einsatzzeit wider.
- Während des Betriebs beeinflusst Temperatur die Isolationsfolien durch beschleunigte Alterung / Versprödung und damit einhergehend verringert Spannungsfestigkeit.
- Hohe Spannung schädigt das Material z. B. durch Gleitentladungen und elektrischen Stress.

- Bei höheren Frequenzen bricht die Spannungsfestigkeit besonders bei polaren Materialien stark ein.
- Verschmutzungen und Feuchtigkeit können zur Ausbildung leitfähiger Pfade an der Oberfläche führen.
- Chemische Belastungen, Hydrolyse und mechanischer Druck während der Herstellung setzen dem Isolationsmaterial weiter zu.

Für die sichere Auslegung eines elektrischen Gerätes ist es also notwendig, alle auftretenden Einflussgrößen in ihrer Wirkung aufzusummieren. Bei diesen Überlegungen lohnt es sich, die erforderliche Spannungsfestigkeit am Ende der erwarteten Lebensdauer zu kennen. Denn sie bestimmt wesentlich mit, welche Materialien mit welchen Anfangseigenschaften eingesetzt werden sollten.

Da aber die Summe der Einflussgrößen am konkreten elektrischen Bauteil meist weder rechnerisch noch durch Tests ermittelbar ist, helfen Bauteilnormen wie die IEC 61558, Materialnormen wie die UL 510 oder IEC 60674 und Normen zur Messung wie die IEC 61934, IEC 60343, IEC 60034-27 oder UL 746 dabei, geeignete und praxiserprobte Lösungen zu finden.

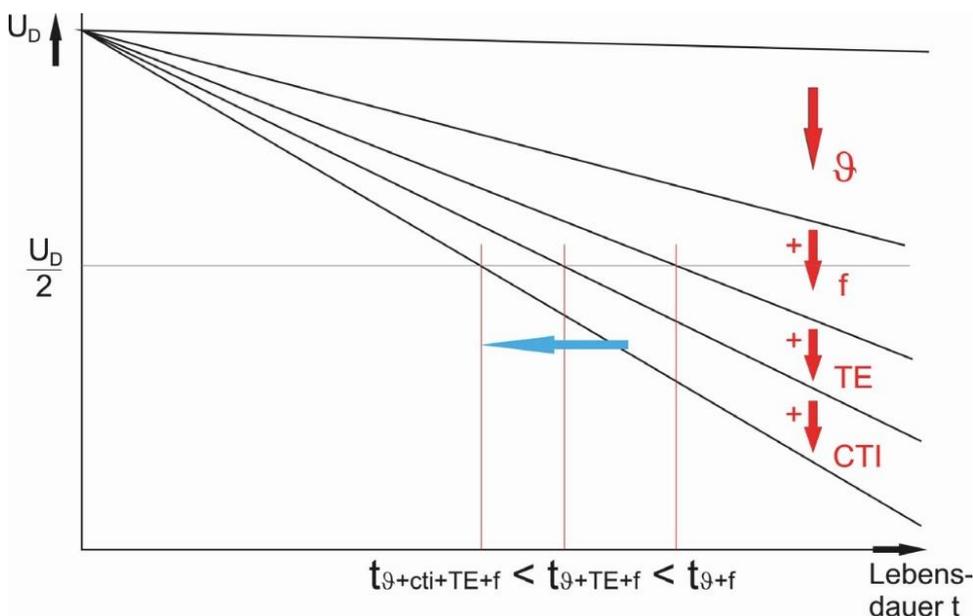


Fig. 12: Reduktion der möglichen Einsatzdauer durch Reduktion der Durchschlagsspannung aufgrund von Temperatur, Frequenz, Teilentladung (elektrischer Stress) und Umweltbedingungen (Quelle: CMC)

Revision 2.0

Erstellt durch die Technische Kommission des FV Electrical Winding & Insulation Systems.

Ansprechpartner und Sprecher der Arbeitsgruppe „Isolation“: Gerald Friederici, CMC Klebtechnik GmbH

Kontakt

Rolf Winter • Geschäftsführer • Fachverband Electrical Winding & Insulation Systems •

Tel.: +49 69 6302 402 • Mobil: +49 162 2664 937 • E-Mail: Rolf.Winter@zvei.org

ZVEI e. V. • Verband der Elektro- und Digitalindustrie • Lyoner Straße 9 • 60528 Frankfurt am Main

Lobbyregisternr.: R002101 • EU Transparenzregister ID: 94770746469-09 • www.zvei.org

Datum: 11.01.2024