

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe	10
3.1 Allgemeine Begriffe	10
3.2 Begriffe mit Bezug auf Betriebsbeanspruchungen und Alterung	11
3.3 Begriffe mit Bezug auf Prüfverfahren	12
4 Alterung	14
4.1 Alterungsmechanismus	14
4.2 Ermittlung von Alterungsmechanismen	15
4.3 Elektrische Alterung.....	16
4.4 Thermische Alterung	18
4.5 Mechanische Alterung	20
4.6 Umgebungsbedingte Alterung	22
4.7 Beschleunigte Alterung.....	24
4.8 Mehrfaktorenalterung	24
5 Grundbestandteile zum Entwurf eines Bewertungsverfahrens	24
5.1 Bausteine für die Erstellung eines Bewertungsverfahrens.....	24
5.1.1 Prüfling	24
5.1.2 Betriebsbedingungen	24
5.1.3 Lebensdauerwerte	25
5.2 Arten von Bewertungsverfahren.....	25
5.3 Die Wahl des Prüflings	27
5.4 Experimentelle Prüfverfahren	27
5.5 Folgerungen für die praktische Normung	28
6 Funktionale Alterungsprüfungen	28
6.1 Prüflinge	28
6.1.1 Aufbau der Prüflinge.....	28
6.1.2 Zahl der Prüflinge	29
6.1.3 Qualitätssicherungsprüfungen.....	29
6.1.4 Unterzyklus zur Vorbehandlung	29
6.1.5 Erste diagnostische Prüfungen	29
6.1.6 Vergleichs-EIS.....	29
6.2 Prüfbedingungen	29
6.2.1 Kontinuierliches und zyklisches Prüfen.....	29
6.2.2 Stärke von Prüfbeanspruchungen, Alterungsfaktoren und Diagnosefaktoren.....	30

	Seite
6.3 Bestimmung der EIS-Betriebslebensdauer.....	30
6.3.1 Extrapolation von Ergebnissen der Lebensdauerprüfung.....	30
6.3.2 Vergleich von Werten der Prüflebensdauer.....	30
6.4 Diagnostik.....	31
6.4.1 Diagnostische Prüfungen – Endpunkt-Kriterien.....	31
6.4.2 Besondere zusätzliche Prüfungen	32
6.5 Auswertung der Daten	32
6.6 Prüfbericht.....	32
Anhang A (informativ) Glossar / Nomenklatur.....	34
Literaturhinweise	73
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen.....	78
Bild 1 – Alterung eines EIS.....	14
Bild 2 – Intrinsische/extrinsische elektrische Alterung von EIS in der Praxis.....	16
Bild 3 – Intrinsische/extrinsische thermische Alterung von EIS in der Praxis	18
Bild 4 – Intrinsische/extrinsische mechanische Alterung von EIS in der Praxis.....	21
Bild 5 – Intrinsische/extrinsische umweltbedingte Alterung von EIS in der Praxis.....	23
Bild 6 – Bausteine von Bewertungsverfahren	24
Bild 7 – Typ des Bewertungsverfahrens.....	26
Bild 8 –Wahl des Prüflings.....	27
Bild 9 – Festlegung des Prüfverfahrens	28
Bild A.1 – Oberfläche mit Abrasionsschaden.....	34
Bild A.2 – Oberfläche mit Lackabschälung Fadenähnlich.....	34
Bild A.3 – Schematische Darstellung der Messanordnung für den Lade-/Entladestrom.....	35
Bild A.4 – Beispiel für die Probekörper-Vorbereitung.....	35
Bild A.5 – Lade-/Entladestrom auf HDPE-Folie.....	36
Bild A.6 – Verhalten der Eigenschaft über die Zeit, Bestimmung von Grenzwerten (Endpunkt, p_L) und Wartungszeit	37
Bild A.7 – Beziehung zwischen der graphischen Alterungsdarstellung der Eigenschaft p (in Rot), erhalten bei verschiedenen Beanspruchungsniveaus und der daraus resultierenden Lebenslinie	37
Bild A.8 – Beispiel für Ladungsinjektion von positiven Ladungsträgern (Löchern) mittels der Anode und von negativen Ladungsträgern (Elektronen) von der Kathode in einen PE Flach- Probekörper, ermittelt durch Raumladungsmessungen, durchgeführt mit dem PEA- Verfahren.....	38
Bild A.9 – Kraft-Dehnungs Kurve eines typischen Materials.....	39
Bild A.10 – Schematische Darstellung der Messanordnung für den Lade-/Entladestrom	40
Bild A.11 – Beispiel für die Probekörper-Vorbereitung.....	40
Bild A.12 – Lade-/Entladestrom auf HDPE-Folie.....	40
Bild A.13 – Ladestrom bei 135 °C und verschiedenen Werten des elektrischen Gleichfeldes.....	41
Bild A.14 – Ladestrom bei 120 °C und verschiedenen Werten des elektrischen Gleichfeldes.....	41

	Seite
Bild A.15 – Corona an einem Isolatorkopf	42
Bild A.16 – Corona oben und Lichtbogenbildung zur Erde.....	42
Bild A.17 – Stufen eines Dehnungsbruches (Riss).....	43
Bild A.18 – Fotografien der Anordnungen in Epoxyd-Strukturen und Hohlräumen.....	44
Bild A.19 – Entladung zwischen Leitern durch Luft	46
Bild A.20 – Durch elektrische Oberflächen-Entladungen zerstörte Papierisolierung	46
Bild A.21 – Beispiel für eine Spannungsfestigkeits-Prüfung an einer XLPE-Probe mit einer Dicke von 0,2 mm	47
Bild A.22 – Zwei-Parameter Weibull-Darstellung von Spannungsfestigkeitsergebnissen, ausgeführt an sieben XLPE-Probekörpern mit einer Dicke von 0,2 mm.....	47
Bild A.23 – Verlustwinkel eines Dielektrikums	49
Bild A.24 – Verlustfaktor für vorbehandelte und thermisch gealterte (bei 110°C und 130°C) XLPE Kabel, gemessen bei 90 °C und aufgezeichnet über der Frequenz	49
Bild A.25 – Feldlinien einer positiven Ladung über einer leitenden Ebene	50
Bild A.26 – Elektrischer Tree	51
Bild A.27 – EPDM Veraschung und Erosion an einem Bauteil	52
Bild A.28 – Fehlerhafte äußere Isolierung – Beispiel 1	53
Bild A.30 – Kritischer Ausfall einer Feststoff-Kabelisolierung (XLPE) durch elektrischen Durchschlag	54
Bild A.31 – Beispiele für Überschlag	55
Bild A.32 – Netztransformator – Freianlage	56
Bild A.33 – Hochspannungskabel – Schnittstellen verschiedener Isolationsmaterialien	57
Bild A.34 – Innere Schnittstellen in Epoxyd-Struktur und -Hohlraum	58
Bild A.35 – Beispiel für Riss- und Bruchausbildung in einem inter-lamellaren Raum unter einer mechanischen Spannung T	59
Bild A.36 – Wasser Treeing	60
Bild A.37 – UV- und Feuchteeinwirkung nach 11 Jahren Betriebsdauer	61
Bild A.38 – Zufällige (amorphe) Struktur einer Molekülkette	61
Bild A.39 – Orientierte Struktur (semi-kristallin) einer Molekülkette	61
Bild A.40 – Typische Morphologie eines in der Schmelze gewachsenen Polyäthylen-Sphärolith.....	62
Bild A.41 – Bereiche, in denen partielle Entladungen im Allgemeinen auftreten	63
Bild A.42 – Schadensgruppen: Innere-, Oberflächen- und Corona-PD.....	63
Bild A.43 – Grundaufbau eines PD Mess-Schaltkreises	64
Bild A.44 – Beispiele für relevante PD-Muster für Innere-, Oberflächen- und Corona-PD.....	64
Bild A.45 – GIS Forschung – Vorsprung an einem Metallleiter	65
Bild A.46 – Innerlich belastetes Epoxyd – Eingefrorene Belastungen in Epoxydharz infolge thermischer Beanspruchung, gemessen mittels TMA-Kurven	66
Bild A.47 – Äußerlich belastete Teile in einem Laststufenschalter (OLTC).....	66
Bild A.48 – Ein Material unter Belastung mit a) Druck, b) Zug, c) Scherung	67
Bild A.49 – Einfluss von thermisch-mechanischen Beanspruchungen, der an den Grenzflächen zu elektrischer Kriechwegbildung führt	68
Bild A.50 – Beanspruchungs/Spannungs- Kurve für einen typischen Werkstoff.....	68

	Seite
Bild A.51 – Überanspruchter Stab – gebrochen während Zugspannungsprüfung.....	69
Bild A.52 – Ein typischer Installationsfehler	70
Bild A.53 – Oberflächen-Kriechwegbildung an Verguss und Anschlussstück	70
Bild A.54 – Entgaste Trees, initiiert an Grenzflächen.....	71
Bild A.55 – Bandfalten	72
Tabelle 1 – Alterungstemperaturen	20
Tabelle 2 – Zyklische und kontinuierliche Verfahren.....	31