Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 74 (1983)

Heft: 13

Artikel: XLPE und EPR/EPDM für Kabelisolationen

Autor: Sarbach, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904833

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 21.01.2026

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

XLPE und EPR/EPDM für Kabelisolationen

E. Sarbach

XLPE (Polyäthylen) oder EPR/EPDM (Äthylen-Propylen-Terpolymerkautschuk), das ist für viele Kabelanwender die Frage. Der Aufsatz behandelt einige relevante Aspekte und soll bei der Bestimmung des für einen bestimmten Fall optimalen Isolationssystems behilflich sein.

XLPE (polyéthylène) ou EPR/EPDM (élastomère terpolymère d'éthylène et propylène), c'est la question qui se pose pour maints utilisateurs de câbles. L'article en traite certains aspects et peut aider à déterminer le système d'isolement optimal pour un cas donné.

Adresse des Autors

Ewald Sarbach, dipl. Ing. ETH, Studer, Draht- und Kabelwerk AG, 4658 Däniken.

1. Einleitung

In der Schweiz werden vernetztes Polyäthylen (XLPE) und Äthylen-Propylen-Terpolymerkautschuk (EPR/EPDM)[1] in den letzten Jahren vermehrt als Kabelisolationen eingesetzt [1]. In umliegenden Ländern, wie z. B. Frankreich und Deutschland, wird EPDM praktisch nur für Spezialanwendungen eingesetzt, während in Italien beide Isolationssysteme angewandt werden.

Für viele Anwender in der Schweiz stellt sich die Frage XLPE oder EPR/EPDM, oder beides nebeneinander. Die Entscheidungsfindung ist selbst für den Fachmann nicht einfach, weil mechanische, thermische, elektrische und anwendungsspezifische Vor- und Nachteile beiden Isolationssystemen anhaften. Die Eigenschaften sind zudem stark temperaturabhängig. Beide Isolationssysteme haben einen hohen technischen Stand erreicht und können hinsichtlich Betriebssicherheit bedenkenlos eingesetzt werden.

Die Eigenschaften von EPDM können in weiten Grenzen, abhängig von der Rezeptur, beeinflusst werden; der Versuchung, Perspektiven etwas einseitig darzustellen, ist sowohl der Hersteller wie auch der Anwender ausgesetzt. Im vorliegenden Aufsatz werden hauptsächlich Aspekte genannt und gewertet, die aus der Sicht des Anwenders wichtig sein können. Etwas näher betrachtet werden die Wirtschaftlichkeit der Herstellung und Verarbeitung, die Verlege- und Montagefreundlichkeit sowie thermische und dielektrische Gesichtspunkte.

[1] Kurzbezeichnung: EPR vornehmlich in der französischen Schweiz und EPDM hauptsächlich in der deutschen Schweiz

2. Bewertung von EPR/EPDM und XLPE

Die folgende Bewertung ist aus der Sicht eines Kabelherstellers durchgeführt, der sowohl EPDM als auch XLPE im Lieferprogramm vollumfänglich führt und deshalb beide Materialien aus eigener Erfahrung kennt. Weltweit wird EPDM in sehr vielen unterschiedlichen Mischungen hergestellt, so dass sich die Endprodukte teilweise hinsichtlich mechanischer, elektrischer und thermischer Eigenschaften wesentlich unterscheiden. Aus diesem Grunde findet man in der Literatur für EPDM stark abweichende Messwerte. Der interessierte Leser findet eine umfassende Zusammenstellung vergleichender Messwerte der Eigenschaften von EPDM und XLPE in [2]. Leider unterlassen es viele Autoren anzugeben, auf welche Mischung sich ihre Messwerte beziehen und deshalb können diese nicht unbesehen auf schweizerische Verhältnisse übertragen werden.

Für den nicht spezialisierten Anwender ist es mühsam, aus der Fülle der Literatur über relevante Vor- und Nachteile der beiden Isoliermaterialien ein schlüssiges Urteil zu erarbeiten. Dazu kommt, dass Vertreter der einen wie der anderen Seite oft spezifische Vorteile darstellen, ohne auch Nachteile zu erwähnen. Dies trifft stärker für EPDM zu, weil durch entsprechende Rezeptur einzelne Messwerte verbessert werden können, was aber in der Regel gleichzeitig andere ungünstig beeinflusst. Praktisch alle Eigenschaften beider Isoliermaterialien sind temperaturabhängig, so dass die Temperatur oder der Temperaturbereich, bei dem verglichen wird, anzugeben ist. Der Überblick wird wesentlich erleichtert, wenn nur zwei Temperaturbereiche betrachtet werden; in vielen

Bewertung von EPDM und XLPE Tabelle I

Eigenschaften und Rohstoffkosten	Beurteilungskriterien / Auswirkungen	Bewertung, Vorteile erhalten ein oder zwei Kreuze			
		EPDM		XLPE	
		bis 90 °C	über 90 °C	bis 90 °C	über 90 °C
Thermische Volumenausdehnung	Aufbau / Konstruktion		(+)[1]		
Wärmeleitfähigkeit	Strombelastbarkeit / Verluste			(+)	(+)
Wärmeinhalt / spezifische Wärme	Belastbarkeit (kurzzeitig)			(+)	(++)
Druck-E-Modul	Stauchung / Beschädigung bei mech. äussere Beanspruchung		(+)	(++)[2]	
Zug- und Biege-E-Modul	Beschädigung beim Einziehen bei mech. äussere Beanspruchung			(+)	
	«Weichheit» / Flexibilität	(++)			
max. Zugfestigkeit	Beschädigung beim Einziehen			(+)	
Zähigkeit	Beschädigung beim Einziehen			(+)	
Bruchdehnung	Beschädigung beim Einziehen			(+)	
«tragende» Festigkeit	Widerstand gegen Deformation		+	(+)	
Stabilität mech. Eigenschaften	Alterung				
Beständigkeit gegen Kabelöl	Betriebssicherheit			(+)	
50-Hz-Durchschlagsspannung	Betriebssicherheit		(+)	+	
Stossspannungsfestigkeit	Betriebssicherheit		(+)	(+)	
Dielektrische Verluste	Verluste			++[3])	
Teilentladungsfestigkeit	Lebensdauer	(+)	(+)		
Treeing	Lebensdauer	(+)	(+)		
Rohstoffpreis	auf Kabelpreis			++	
Kosten Granulatherstellung				+	

[1]) Klammer bedeutet: Vorteil in speziellen Situationen
[2]) Zwei Kreuze bedeuten: Vorteil ausgeprägter als bei einem Kreuz
[3]) nur für Hochspannung

Fällen genügt diese Grobklassierung den Bedürfnissen des Anwenders: ein Bereich bis 90 °C und ein zweiter Bereich über 90 °C.

In Tabelle I sind die Eigenschaften im jeweiligen Bereich gemittelt, und es ist der vorteilhaftere Wert mit einem bzw. zwei Kreuzen bezeichnet. Eine Klammer soll darauf hinweisen, dass der Vorteil bei Netzkabeln zweitrangig ist. Das seit einigen Jahren in der Schweiz zur Kabelisolation verwendete EPDM wird nach einer Rezeptur, wie sie in Abschnitt 3 aufgeführt ist, hergestellt. Die Vergleiche beziehen sich demnach auf diesen Typ EPDM.

Folgende Aspekte und Kriterien sollen etwas näher betrachtet werden:

- Eigenschaften, die die Wirtschaftlichkeit der Herstellung und damit die Herstellkosten betreffen;
- Aspekte, die sich auf das Verlegen, speziell das Einziehen in Rohranlagen und das Absetzen beziehen;
- elektrische und thermische Eigenschaften sowie Fragen der Lebensdauer.

3. Wirtschaftlichkeit der Herstellung

Der wesentlichste Unterschied betrifft den Rohstoffpreis und die Granulatherstellung. Das zurzeit in der Schweiz hauptsächlich zur Kabelherstellung eingesetzte EPDM basiert auf der Richtrezeptur von Tabelle II. Die darin angegebenen Marktpreise beziehen sich auf den Stand von Dezember 1982. Mit diesen Werten (ohne Position Bleimennige) errechnet man:

Rohstoffpreis (ohne Granulatherstellung)	Fr. 3.20/kg bzw. 4.16/dm³
Dichte	1,3 kg/dm³

EPDM-Richtrezeptur Tabelle II

	Gewichtsteile	Marktpreise Fr./kg
Propylenanteil	100	3,9
LD-Polyäthylen	42	2,6
Zinkoxid	7	3,8
Alterungsschutzmittel	2	5,2
Kaolin-Füllstoff	170	1,8
Silan	1,5	25,4
Vernetzungshilfsmittel	3	54,3
Bleimennige (nur für Hochspannung)	5	5,0

Die Granulatherstellung von EPDM ist aufwendig. Selbst bei grösseren Mengen und wirtschaftlicher Aufbereitung sind mit Aufbereitungskosten von Fr. 1.50 bis Fr. 2.– pro kg zu rechnen. Mit einem Mittelwert von Fr. 1.75/kg ergeben sich demnach Granulatkosten von etwa Fr. 5.–/kg (Fr. 3.20 + Fr. 1.75) bzw. etwa Fr. 6.50/dm³. Demgegenüber liegt der Marktpreis von PE-Granulat für XLPE, wie für Hochspannungskabel verwendet, bei etwa Fr. 3.50/kg bzw. Fr. 3.20/dm³. Da für die Isolation der Volumenpreis massgebend ist, ergibt sich die Kostenrelation 1:2 zugunsten von XLPE.

Je nach Kabeltyp wirken sich diese Unterschiede auf die Herstellkosten der Kabel recht verschieden aus. Da die Herstellkosten von vielen nicht direkt vergleichbaren Kosten abhängen, sind im folgenden Vergleich für zwei typische Beispiele (Tabelle III) die Kostenanteile der Isolationen auf mittlere Netto-Marktpreise der Kabel bezogen (Stand Ende 82).

Anteil der Granulatkosten bei XLPE- und EPDM-Kabeln Tabelle III

Kabeltyp	Granulatkosten bezogen auf Marktpreis Kabel (%)
H20-XKT-F 3×1×95/25 mm², 20/12 kV	4,6
H20-GKT-F 3×1×95/25 mm², 20/12 kV	9,0
XKT 3×95+95 mm², 3PN	0,6
GKT 3×95+95 mm², 3 PN	1,2

In der Bezeichnung der Kabeltypen bedeutet G = EPDM und X = XLPE = VPE (VPE = vernetztes Polyäthylen).

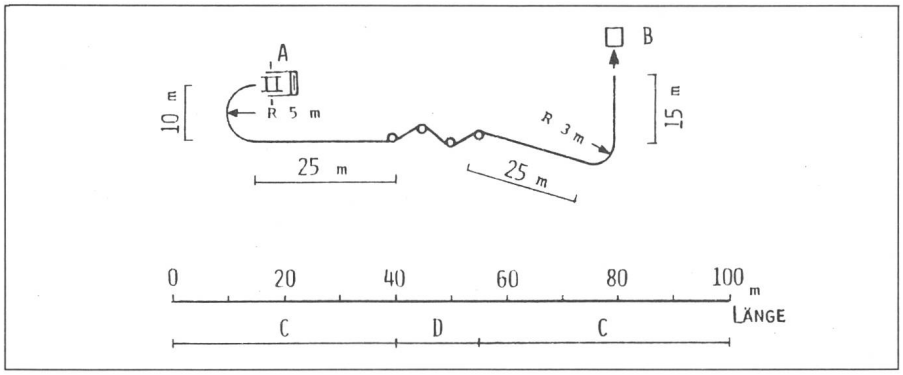

Fig. 1 Versuchsstrecke Kabeleinzug

A Verlegefahrzeug (Lancier)
B Kabelziehwinde (Plumett TL-25 DRH) mit Kraftmessung
C PE-Rohre, 100 NW, Formbogen
D Umlenkrollen

Die Strecken C, D, C unter der Figur entsprechen der Abwicklung mit Längenangabe.

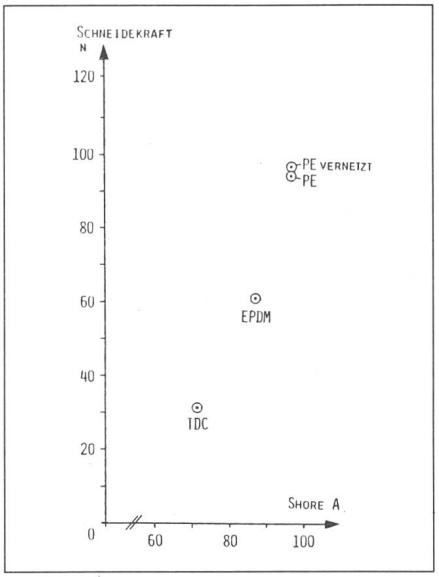

Fig. 3 Schneidekraft bei Abisolierung verschiedener Isoliermaterialien in Abhängigkeit der Shore-Härte

Probedicke 2 mm
Prüftemperatur 19 °C
Abzug 100 m/min
Abisoliermesser mit Fuss
TDC Thermoplastische Isolation

4. Verlege- und Montagefreundlichkeit

Beide Aspekte werden im Zusammenhang mit Vor- und Nachteilen häufig genannt, doch wenn man auf Fakten zurückgreifen will, gerät man meistens in Verlegenheit. Die im folgenden beschriebenen Versuche können nicht alle Fragen beantworten, aber sie möchten einen kleinen Beitrag diesbezüglich leisten.

4.1 Zugvergleiche in einer Rohranlage

An einer bestehenden Rohranlage, durch Formbögen und Kabelrollen auf 100 m ausgebaut, war es möglich, praxisnahe Einzugsversuche mit folgenden Kabeltypen durchzuführen:

XKT 3×150+95 mm² (auf Spule 2600 mm ∅)
GKT 3×150+95 mm² (auf Spule 2600 mm ∅)
XKT 3× 95+95 mm² (auf Spule 2200 mm ∅)
GKT 3× 95+95 mm² (auf Spule 2200 mm ∅)
XKT 3× 25+25 mm² (auf Spule 1650 mm ∅)
GKT 3× 25+25 mm² (auf Spule 1650 mm ∅)

Die Versuchsstrecke ist in Figur 1 dargestellt, die Zugkräfte in Funktion der Länge in Figur 2. Die Unterschiede zwischen den vergleichbaren XLPE- und EPDM-Kabeln sind ohne praktische Bedeutung. Die durchweg etwas höhere Zugkraft beim Kabeltyp GKT (G ≙ EPDM) in der Anfangsphase, d.h., im PE-Rohr kann man auf ein satteres Anliegen des Kabels im Rohrbogenstück zurückführen.

4.2 Montagefreundlichkeit

Die Montage von Garnituren wird bei EPDM-isolierten Kabeln etwas erleichtert, weil der Zug- und Biege-E-Modul der Isolation im üblichen Verlegetemperaturbereich etwa 2,5mal kleiner ist im Vergleich zur VPE-Isolation (VPE = vernetztes Polyäthylen). Betrachtet man als Beispiel ein Einleiter-Hochspannungskabel für 20 kV, 95 mm², Cu-Seil, so ergibt der Biegeversuch mit einem Biegeradius von 12,5 D (D: Durchmesser über Isolation) ein Verhältnis der Kraftaufwendung VPE- zu EPDM-isoliertem Seil von 1,4...1,5 [3]. EPDM-isolierte Leiter lassen sich also mit kleinerem Kraftaufwand biegen, was von den Monteuren besonders bei engen Platzverhältnissen geschätzt wird.

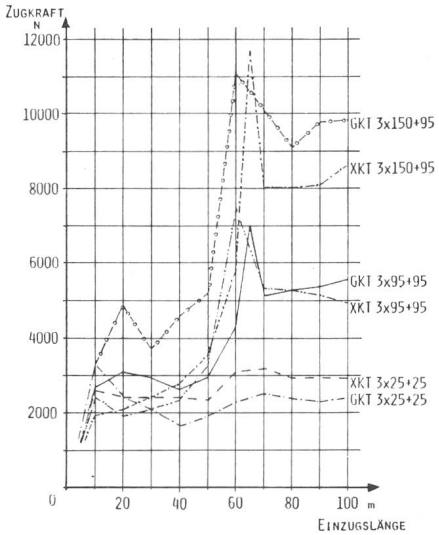

Fig. 2 Ergebnisse der Zugkraftmessung für verschiedene Kabeltypen in Funktion der Einzugslänge (nach Fig. 1)

GKT: EPDM-isoliertes Kabel
150 Querschnitt des Leiters mm²
95 Querschnitt des konz. Schutzleiters mm²
XKT: vernetztes PE (Aufbau wie GKT)
Umgebungstemperatur etwa 5 °C
Gleitmittel wurden keine verwendet

Auch braucht es weniger Kraft, den Leiter abzuisolieren: EPDM liegt diesbezüglich etwa in der Mitte zwischen VPE und einer weichen PVC-Mischung. Die Schneidekraft, an 2 mm dicken Isolationen ermittelt, ist in Figur 3 in Funktion der Shore-Härte dargestellt. Der Montagefreundlichkeit stehen aber auch Nachteile gegenüber, die dann von Bedeutung sein können, wenn das Kabel beim Verlegen starker mechanischer Beanspruchung ausgesetzt ist. Im Verlegetemperaturbereich ist VPE gegen mechanische Beschädigung weniger empfindlich als EPDM.

5. Thermische Aspekte

5.1 Beständigkeit

Ein EPDM nach der vorerwähnten Rezeptur weist eine hohe thermische Beständigkeit auf. In Anlehnung an die SEV-Prüfvorschriften werden die Prüfkörper bei mindestens drei verschiedenen Temperaturen so lange in einem Wärmeschrank mit natürlicher Luftumwälzung gelagert, bis die festgelegte Mindestanforderung unterschritten wird. Die so ermittelte «Lebensdauer» der Prüfkörper wird in Funktion der Alterungstemperatur in ein Diagramm eingetragen. Die Prüfdauer ist in Anlehnung an die Arrhenius-Methode logarithmisch dargestellt.

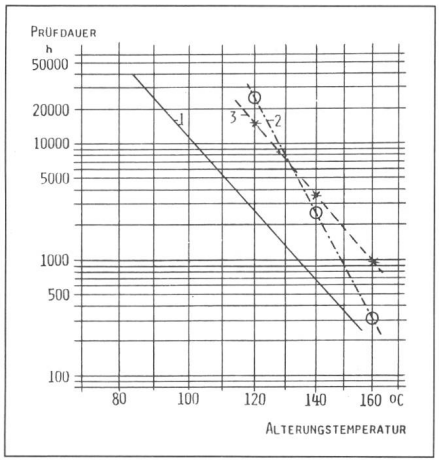

Fig. 4 Thermische Beständigkeit von EPDM unterschiedlicher Rezeptur und XLPE

1 EPDM alte Rezeptur gemäss [5]
2 EPDM nach beschriebener Rezeptur
3 XLPE peroxydisch vernetztes PE

Prüfkriterien: Abfall auf 50% Bruchdehnung Absolutwert

In Figur 4 sind Messwerte bezüglich des Abfalles der Bruchdehnung auf 50% absoluten Wertes aufgetragen. Auffallend ist der Unterschied zwischen den Geraden 1 und 2; er zeigt, dass Zusatzstoffe die Eigenschaften von EPDM wesentlich beeinflussen können. Aus Figur 4 kann auch der Temperaturindex herausgelesen werden. Nach CEI 216 [4] entspricht er jener Temperatur, bei der die Bruchdehnung eines Materials nach einer Verweilzeit von 20 000 h auf 50% Absolutwert absinkt. Für ein EPDM gemäss Rezeptur (Gerade 2) und XLPE (Gerade 3) beträgt er etwa 120 °C. Genauere Wertangaben sind nicht sinnvoll, weil derartige Messungen nicht präzise durchführbar sind und weil auch die Extrapolation mit Fehlern behaftet ist.

5.2 Leitfähigkeit

Für thermische Berechnungen ist es unerlässlich, die Wärmeleitfähigkeit λ oder deren Reziprokwert, den spezifischen Wärmewiderstand ϱ_w zu kennen. In den CEI-Empfehlungen [6] fehlen diesbezügliche Angaben. Für Polyäthylen (PE) findet man in der Literatur λ-Werte zwischen 0,3 und 0,4 W/mK und für EPDM Werte zwischen 0,2 und 0,35 W/mK im Temperaturbereich 60...90 °C. Die Standardmessung nach DIN ist aufwendig [7], weil sie zur Bestimmung von λ der unterschiedlichsten Materialien im Bereich λ = 0,02...500 W/mK mit hoher Genauigkeit dienen soll und auch weil die Messung von λ nur an relativ grossen Platten möglich ist. Eine einfache Methode, die allerdings Einschränkungen in Kauf nehmen muss, wäre deshalb sehr wünschenswert. Mit einer eigenen, wesentlich weniger aufwendigen Messeinrichtung, die an kleinen Prüflingen von einigen cm² Fläche Messungen erlaubt, sind die in Tabelle IV aufgeführten Werte ermittelt worden. Diese Messungen können zudem rasch durchgeführt werden.

Wärmeleitfähigkeit verschiedener Isolierstoffe Tabelle IV

	Werte für Temperaturbereich 60...90 °C	
	Wärmeleitfähigkeit λ W/mK	spez. Wärmewiderstand ϱ_w mK/W
PE	0,25	4,0
XLPE	0,26	3,8
EPDM (gemäss Rezeptur)	0,23	4,3

6. Dielektrische Verluste

Es ist bekannt, dass die dielektrischen Verluste bei PE- und VPE-Kabeln bis zu den höchsten Spannungen praktisch bedeutungslos sind. Wird eine Verlustkapitalisierungsrechnung – wie weiter unten beschrieben – durchgeführt, und setzt man die Ergebnisse ins Verhältnis zum Gestehungspreis der Kabel, so liegt die Relation für alle gängigen PE/VPE-Kabeltypen, auch für 110 kV Nennspannung, unter 0,7%. Wenn auch für Kabel mit EPDM-isolierten Leitern die Verlustkapitalisation oft nur wenige Prozente des Anschaffungswertes ausmacht und deshalb häufig nicht berücksichtigt wird, ist es wichtig, Verlustenergie wo immer möglich einzusparen. In vielen Fällen liegt die Verlustkapitalisation in der gleichen Grössenordnung wie die Verlegungs- und Anschliesskosten der Kabel.

Die Kosten der Verlustkapitalisierung sind mit folgender Formel leicht errechenbar:

$$K_V = \frac{q^n - 1}{q^n (q-1)} \, e \, t \, V_K$$

K_V Kosten Verlustkapitalisierung
q = 1 + p/100; p Zinsfuss in %
n Abschreibungsdauer (Jahre)
e Kosten der kWh
t Betriebsdauer pro Jahr
V_K dielektrische Verluste des Kabels bei Betriebsspannung und mittlerer Betriebstemperatur

Beispiel: GKT-Kabel 1×400 mm² / 50 mm² für 60/34,6 kV. Annahmen: Der Zinsfuss p betrage 5%, die Abschreibungsdauer n 25 Jahre, die Kosten pro kWh Fr. 0,07, die Betriebsdauer t pro Jahr 8000 h, die dielektrische Verluste 40 W pro 100 m, und der Gestehungsnettopreis sei Fr. 7500.– pro 100 m Einleiterkabel. Die Kosten der Verlustkapitalisierung betragen unter diesen Annahmen etwa Fr. 315.– /100 m, oder bezogen auf den Gestehungspreis etwa 4,2%.

Aus diversen gerechneten Beispielen folgt, dass für EPDM-Hochspannungskabel in heute üblicher Ausführung im Spannungsbereich 30...150 kV für alle üblichen Querschnitte, mit einer auf den Gestehungspreis bezogenen Verlustkapitalisierung von 2...6% zu rechnen ist.

7. Teilentladungsfestigkeit und Treeing

Es überrascht vielleicht den Leser, dass in Tabelle I die Teilentladungsfestigkeit und das Treeing nicht positiver zugunsten von EPDM bewertet werden. Wie erwähnt, ist dort ein EPDM nach Rezeptur gemäss Abschnitt 3 zugrunde gelegt. Untersuchungsergebnisse, die sich auf ein EPDM anderer Zusammensetzung beziehen, dürfen nicht stellvertretend verwendet werden. Auch gibt es sehr viele Publikationen über Untersuchungen an EPDM, ohne dass etwas über die Rezeptur ausgesagt wird und die deshalb ebenfalls nicht in Betracht gezogen werden dürfen.

In der «Grenzflächen-Betrachtungsweise» wird postuliert, dass EPDM als quasi-amorph betrachtet werden kann und dementsprechend die Anfälligkeit auf Teilentladungen geringer sei, sofern die Mischung bezüglich Teilchengrösse und Teilchenverteilung der Zuschlagsstoffe genügend homogen ist. Dieses Postulat kann als Arbeitshypothese wertvoll sein, müsste aber durch Untersuchungen erhärtet werden. Die Morphologie könnte wahrscheinlich elektronenmikroskopisch untersucht werden, ähnlich wie das für PE mehrfach geschehen ist [8].

Das in der Schweiz für Hochspannungskabel verwendete EPDM weist, dank dem Zusatz von Bleimennige eine gute elektrische Stabilität unter extremen Bedingungen auf (direkte Lagerung der Prüfkörper im Wasser von 16 °C und 90 °C [9]. Das Kaolin

als Füllstoff reduziert gemäss [10] die Tendenz zur Bäumchenbildung.

Jede Verunreinigung im Isolierstoff schwächt diesen; deshalb wird von den Kabelherstellern der Herstellprozess unter peinlichster Sauberkeit durchgeführt. Gleiches gilt für die Aufbereitung des Granulates und die Herstellung der Komponenten. Als letzte Sicherheitsmassnahme hat es sich bewährt, in den Extruderkopf Siebpakete einzubauen. Nach bewährter Praxis wird für PE und VPE eine kleinste Maschenweite von ca. 50 μ und für EPDM eine von etwa 280 μ verwendet. Wegen der höheren Viskosität der Schmelze von EPDM gegenüber PE kann der Wert von 280 μ gemäss eigenen Erfahrungen nicht unterschritten werden.

Abschliessend darf festgehalten werden, dass der Anwender heute je nach Wunsch und Anforderung zwischen zwei bewährten Isolationen wählen kann: XLPE oder EPR/EPDM.

Literatur

[1] *B. W. Weber:* Das Sioplaskabel, ein vernetztes Polyäthylenkabel. Bull. SEV/VSE 69(1978)2, S. 62...66.

[2] *R. M. Eichhorn:* A critical comparison of XLPE and EPR for use as electrical insulation on underground power cables. IEEE Trans. EI 16(1981)6, p. 469...482.

[3] *E. Sarbach:* Vernetzte Kabelisolationen. Elektrotechnik (CH) 30(1979)1, S. 57...62.

[4] Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques. Parties I/IV. Deuxième édition. Publication de la CEI 216, 1/4, 1974/1980.

[5] *R. Furter* und *J. Wittweiler:* Verhalten von Kabelisolierstoffen im Langzeitversuch. Beitrag C 8. Symposium «Elektrische Isolationstechnik» 1972. Zürich, SEV, 1972.

[6] Calcul du courant admissible dans les câbles en régime permanent (facteur de charge 100%). Deuxième édition. Publication de la CEI 287, 1982.

[7] Wärmeschutztechnische Prüfungen: Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät. Durchführung und Auswertung. DIN 52612 Teil 1.

[8] *G. Kanig:* Direkte Beobachtung von Polyäthylen-Feinstrukturen und ihre Veränderungen beim Verstrecken und Tempern. Journal of Crystal Growht 48(1980)2, S. 303...320.

[9] *H. K. Whitlock:* The use of EPDM in medium/high voltage insulation cables. Wire Industry 48(1981)565, p. 45...47.

[10] *R. B. Blodgett:* Ethylene propylene rubber and cross-linked polyethylene as insulations for 90 °C rated medium voltage cables. Ruber Chemistry and Technology 52(1979)2, p. 410...424.