

Polyolefin-Folien als Elektroisolation [*]

VON DR.-ING. E. GWINNER

ANWENDUNGSTECHNISCHE ABTEILUNG DER FIRMA KALLE AG., WIESBADEN-BIEBRICH

Die neuere Entwicklung auf dem Gebiet der Polyolefine und ihrer Verarbeitung zu Folien hat zu Folientypen geführt, die auch für elektrotechnische Zwecke verwendet werden können. Dieses Gebiet war den Polyolefin-Folien bisher kaum erschlossen. Die Entwicklung ist noch im Fluß, es dürfte aber bereits heute lohnen, sich mit den neuen Polyolefin-Folientypen zu beschäftigen.

Ein Werkstoff, der als Isolator verwendet werden soll, muß eine hohe Durchschlagfestigkeit und einen hohen spezifischen Widerstand, auch bei erhöhten Temperaturen, haben. Weiterhin ist ein Oberflächenwiderstand über 10^{12} Ohm und ein möglichst niedriger dielektrischer Verlustfaktor erwünscht. Die meisten Kunststoffe, so weit sie nicht Weichmacher, Stabilisatoren usw. in größerer Menge enthalten, haben diese Eigenschaften. Polyolefin-Folien nehmen insofern eine Sonderstellung ein, als sie infolge Fehlens polarer Gruppen einen besonders niedrigen dielektrischen Verlustfaktor (10^{-3} bis 10^{-4}) und eine Dielektrizitätskonstante von nur etwa 2,3 besitzen. Beide sind beim Polyäthylen weitgehend frequenz- und temperatur-unabhängig. Eine weitere wichtige Eigenschaft für einen guten Isolierstoff ist geringe Wasseraufnahme. Auch diese Eigenschaft besitzen Polyolefin-Folien in besonderem Maße. Dagegen sind normale Polyolefin-Folien einer Dauertemperaturbeanspruchung über 100°C , wie sie die Elektromotoren-Industrie fordert, nicht gewachsen.

Eine Verbesserung des Wärmeverhaltens kann man erreichen, wenn man Hochdruckpolyäthylen durch Bestrahlung mit energiereichen Strahlen vernetzt. Es entsteht ein nicht mehr schmelzendes Produkt, das als Isoliermaterial für die Wärmeklasse A (bis 105°C) empfohlen wird (Irrathene®-Folie der General Electric). Das Material hält noch wesentlich höhere Temperaturen aus, wenn es keiner chemischen oder mechanischen Beanspruchung ausgesetzt wird. Oberhalb 110°C wird Irrathene gummiähnlich. Deformationen sind reversibel, d.h. sie sind elastisch, nicht plastisch.

Bei Alterungen in inerter Atmosphäre und geschlossenen Systemen ändern sich die physikalischen oder elektrischen Eigenschaften nicht. Auch bestrahltes Polyäthylen ist jedoch bei hohen Temperaturen gegen Oxydation empfindlich, weshalb einige Irrathene-Typen zusätzliche Stabilisatoren enthalten. Diese Typen sollen Dauertemperaturen bis 125°C und kurzzeitig noch höhere Temperaturen aushalten. Die Oxydation lässt sich auch durch andere Maßnahmen (Einbetten in Tränkarze oder Öle usw.) verhindern. In keinem Fall aber werden Dauertemperaturen über 105°C ausgehalten, wenn die Folie in direktem Kontakt mit Metallen (Kupfer, Zinn, Eisen) und Luft ist, da die Oxyda-

tion hierdurch katalytisch beschleunigt wird. Dies gilt in gleichem Maße auch für andere Polyäthylenfolien. Im folgenden werden die Eigenschaften von fünf Folientypen einander gegenübergestellt:

1. Hochdruckpolyäthylen, Blasschlauchfolie.
Dichte = $0,92 \text{ g/cm}^3$, Dicke = $0,050 \text{ mm}$.
2. Niederdruckpolyäthylen, Extruder-Flachfolie.
Dichte = $0,95 \text{ g/cm}^3$, Dicke = $0,050 \text{ mm}$.
3. Niederdruckpolyäthylen, biaxial verstreckt.
Dichte = $0,96 \text{ g/cm}^3$, Dicke = $0,050 \text{ mm}$.
4. Polypropylen, Extruder-Flachfolie.
Dichte = $0,89 \text{ g/cm}^3$, Dicke = $0,050 \text{ mm}$.
5. Polypropylen, biaxial verstreckt.
Dichte = $0,91 \text{ g/cm}^3$, Dicke = $0,040 \text{ mm}$.

Zur Herstellung der Niederdruckpolyäthylen-Folien wurde ein Rohstoff mit besonders geringem dielektrischen Verlustfaktor verwendet.

Die Folien sind weitgehend beständig gegen starke und schwache Alkalien und Säuren mit Ausnahme oxydierender Säuren. Weiterhin sind sie bei Raumtemperatur beständig gegen die meisten organischen Lösungsmittel (Ester, Ketone, Glykole, Alkohole) und gegen niedere aliphatische Kohlenwasserstoffe. Aromatische und chlorierende Kohlenwasserstoffe wirken quellend, bei höheren Temperaturen auch lösend.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Eigenschaften der fünf Folientypen. Biaxiale Verstreckung erhöht die Festigkeit. Dies zeigt sich nicht nur an der Reißfestigkeit, sondern kommt auch in einer sehr hohen Kanteneinreißfestigkeit in Folienrichtung und quer dazu zum Ausdruck. Bei den elektrischen Eigenschaften ist vor allem auf den äußerst geringen dielektrischen Verlustfaktor der Folien aus Niederdruck-Polyäthylen (2 und 3) hinzuweisen, der dem von Polystyrol gleichkommt. Einen derartig günstigen Verlustfaktor erreicht man allerdings nur bei Verwendung eines Rohstoffes besonderer Reinheit.

Die Abhängigkeit des dielektrischen Verlustfaktors der biaxial verstreckten Folie aus Niederdruck-Polyäthylen von Frequenz und Temperatur zeigt Abb. 1. Bei mittleren und niederen Frequenzen ändert sich der dielektrische Verlustfaktor im untersuchten Bereich nicht mit der Temperatur. Erst bei Frequenzen über 1 MHz nimmt er mit steigender Frequenz und auch mit steigender Temperatur zu.

[*] Nach einem Vortrag auf der Tagung der GDCh-Fachgruppe „Kunststoffe und Kautschuk“ am 11. April 1962 in Bad Nauheim.

Tabelle 1. Eigenschaften von Polyolefin-Folien

	Folie					Prüfverfahren
	1	2	3	4	5	
Physikalische Eigenschaften						
Rohdichte g/cm ³	0,92	0,95	0,96	0,89	0,91	DIN 53479
Reißfestigkeit längs [kp/cm ²]	250	400	1600	550	1600	DIN 53371
quer [kp/cm ²]	220	300	1200	300	1600	DIN 53371
Reißdehnung längs [%]	450	1100	90	1200	70	DIN 53371
quer [%]	950	500	120	750	70	DIN 53371
Elektrische Eigenschaften						
Durchschlagsfestigkeit bei 20 °C/50 Hz [kV/cm]	1800	1600	2700	2000	2500	VDE 0303 (in Palatino [®])
spezifischer Widerstand [Ω·cm]	$4 \cdot 10^{17}$	$5 \cdot 10^{17}$	$2 \cdot 10^{17}$	$1 \cdot 10^{18}$	$2 \cdot 10^{17}$	VDE 0303
Oberflächenwiderstand [•]	VZ 13	VZ 13	VZ 14	VZ 13	VZ 13	VDE 0303
relative Dielektrizitätskonstante bei 800 Hz	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	VDE 0303
dielektrischer Verlustfaktor bei 800 Hz	0,0002	0,0002	0,0002	0,0011	0,0007	VDE 0303
Thermische Eigenschaften						
Schmelzbereich [°C]	110 - 112	129 - 132	130 - 133	165 - 167	167 - 172	
Schrumpfung bei 80 °C						
längs [%]	1,7	0,2	1,3	0,2	1,5	
quer [%]	+1,2 [+]	0	1,0	0	1,7	
Schrumpfung bei 120 °C						
längs [%]	-	2,0	7,5	+0,2 [+]	5,0	
quer [%]	-	0,5	5,5	0,5	7,0	
Chemische Eigenschaften						
Wasseraufnahme [%]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	DIN 53472
Leitfähigkeit des wässrigen Extraktes [μS/cm] [**]	2-3	2-4	4-7	3-4	4-7	VDE 0315

[*] Angaben wie VZ 13 (= „Vergleichszahl 13“) bedeuten, daß der Isolationswiderstand zwischen den Meßelektroden $\geq 10^{13}$ und $< 10^{14}$ Ohm ist.

[**] 1 S = 1 Siemens = 1 (Ohm) $^{-1}$

[+] Hier trat keine Schrumpfung, sondern eine Längenzunahme ein.

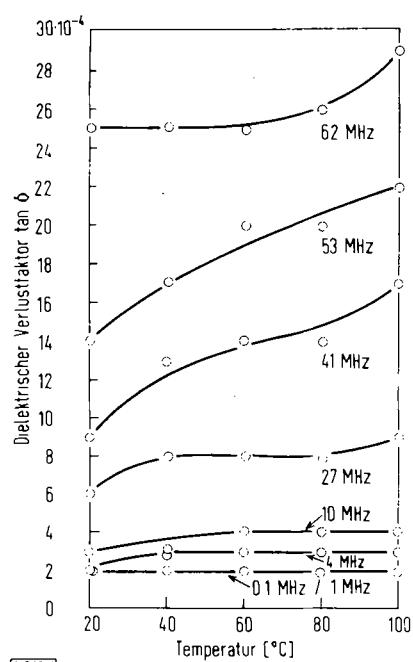


Abb. 1. Abhängigkeit des dielektrischen Verlustfaktors $\tan \delta$ von biaxial gerecktem Niederdruckpolyäthylen von Frequenz und Temperatur [1]

Sehr eingehend haben Krämer und Helf [2] die Dielektrizitätskonstante und den dielektrischen Verlustfaktor von Polypropylenfolie zwischen 0 und 300 kHz sowie zwischen -75 und ± 140 °C untersucht.

[1] Nach Messungen von Dr. Suhr, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Berlin.

[2] H. Krämer u. K.-E. Helf, Kolloid-Z. 180, 114 (1962).

In Abb. 2 und 3 sind die Änderungen der relativen Dielektrizitätskonstanten und des dielektrischen Verlustfaktors bei 800 Hz aufgetragen. Erstere ändert sich bei allen Folien nur unwesentlich. Der Verlustfaktor nimmt bei den Polyäthylenfolien mit steigender Temperatur nur wenig ab und bleibt bei der biaxial verstreckten Niederdruckpolyäthylen-Folie unverändert. Dagegen findet man bei den Polypropylen-Folien ausgesprochene Temperaturmaxima. Krämer und Helf stellten bei Extruderflachfolie ein Tieftemperaturdispersionsgebiet bei etwa 30 °C und ein Hochtemperaturdispersionsgebiet bei

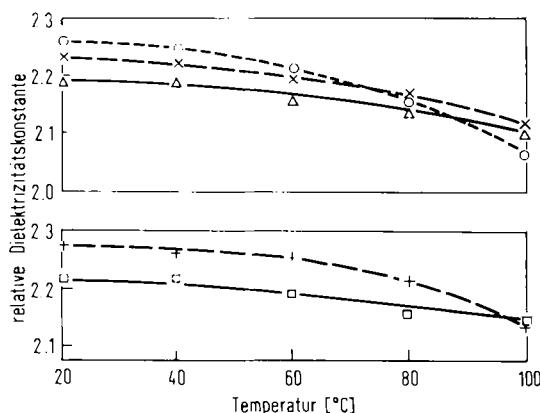


Abb. 2. Relative Dielektrizitätskonstante bei 800 Hz in Abhängigkeit von der Temperatur.

○ - - - - ○ Hochdruckpolyäthylen, Schlauchfolie
 △ - - - - △ Niederdruckpolyäthylen, Extruder-Flachfolie
 x - - - - x Niederdruckpolyäthylen, biaxial verstreckt
 □ - - - - □ Polypropylen, Extruder-Flachfolie
 + - - - - + Polypropylen, biaxial verstreckt

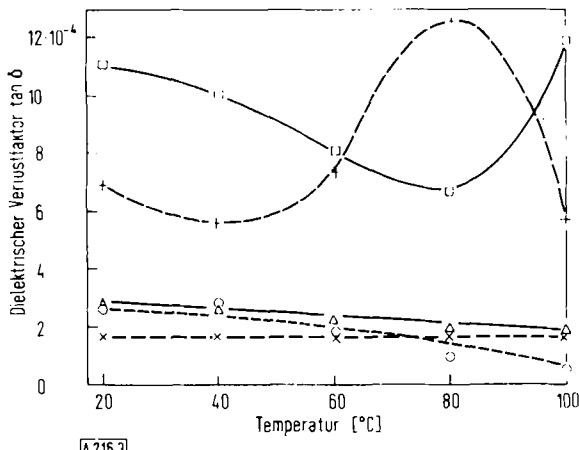


Abb. 3. Dielektrischer Verlustfaktor bei 800 Hz in Abhängigkeit von der Temperatur.

Erläuterungen siehe Legende zu Abb. 2

etwa 120 °C fest. Durch die Verstreckung verschiebt sich die Temperaturlage der beiden Maxima um 20 bis 40 °C zu tieferen Temperaturen. Es wird angenommen, daß das Tieftemperaturmaximum auf Bewegungen von Segmenten der Molekülhauptketten des amorphen Anteils zurückzuführen ist, während das Hochtemperaturmaximum analog dem kristallinen Anteil zugeschrieben wird [3].

Die Abhängigkeit des spezifischen Widerstandes von der Temperatur zeigt Abb. 4. Die Erhöhung der Temperatur von 20 auf 100 °C bringt bei Folien aus Hochdruckpoly-

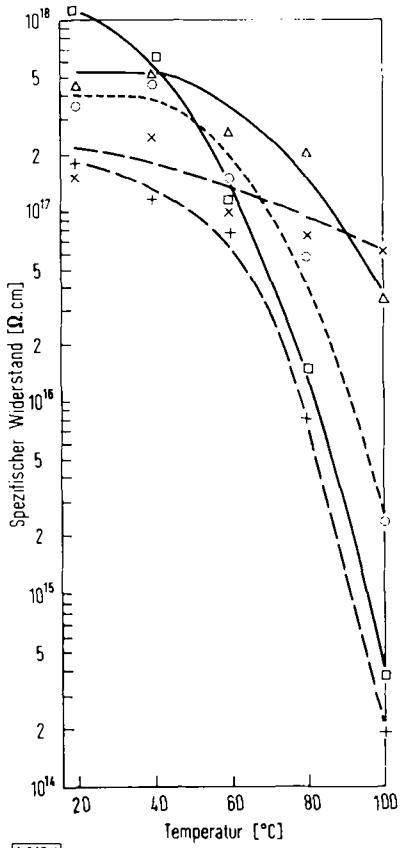


Abb. 4. Abhängigkeit des spezifischen Widerstandes von der Temperatur.
Erläuterungen siehe Legende zu Abb. 2

[3] Siehe auch H. Oberst u. L. Bohn, *Rheol. Acta* 1, 601 (1961).

äthylen und Polypropylen einen Abfall um zwei bzw. drei Zehnerpotenzen; die elektrisch besonders hochwertigen Folien aus Niederdruckpolyäthylen besitzen dagegen auch bei 100 °C noch den beachtlichen Widerstand von etwa $5 \cdot 10^{16}$ Ohm·cm.

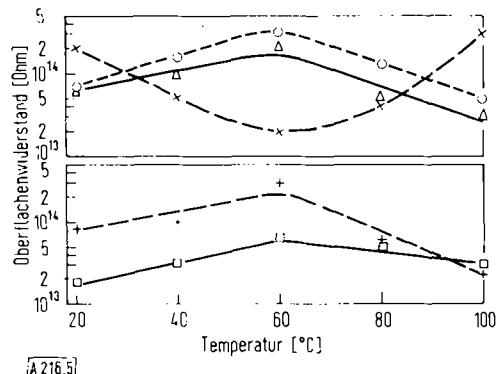


Abb. 5. Änderung des Oberflächenwiderstandes in Abhängigkeit von der Temperatur

Erläuterungen siehe Legende zu Abb. 2

Die Änderung des Oberflächenwiderstandes der Folien gibt Abb. 5 wieder. Mit steigender Temperatur nimmt dieser bis etwa 60 °C zunächst leicht zu und dann bis 100 °C in etwa gleicher Weise wieder ab. Etwas überraschend und nicht geklärt ist das umgekehrte Verhalten der biaxial gereckten Niederdruckpolyäthylenfolie. Möglicherweise steht dies im Zusammenhang mit Gleitmittel- oder sonstigen Zusätzen.

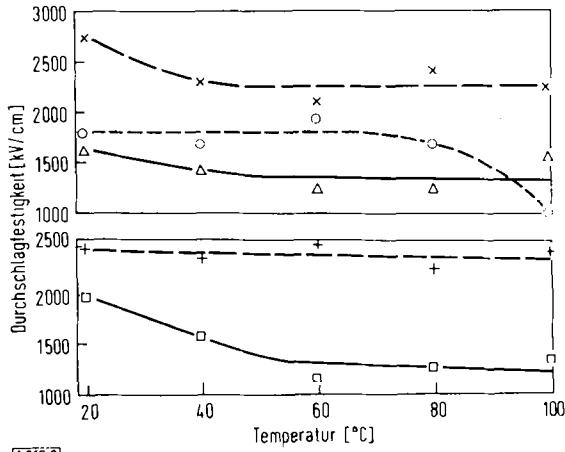


Abb. 6. Abhängigkeit der Durchschlagsfestigkeit von der Temperatur.
Erläuterungen siehe Legende zu Abb. 2

Abb. 6 zeigt die Abhängigkeit der Durchschlagsfestigkeit nach VDE 0303 von der Temperatur. Zu bemerken ist, daß zur Vermeidung von Randdurchschlägen unter [®]Palatinol C (Dibutylphthalat) gemessen wurde. Messungen an der Luft ergeben naturgemäß niedrigere Werte. Es ist zu erkennen, daß die verstreckten Folien eine höhere Durchschlagsfestigkeit besitzen als die Extruder-Flachfolien.

Bei Wechselspannung hängt die Durchschlagsfestigkeit von der Frequenz ab. Messungen an der biaxial gereckten Folie aus Niederdruckpolyäthylen ergaben einen gleichmäßigen Abfall der Durchschlagsfestigkeit von etwa 2900 kV/cm bei 50 Hz auf 100 kV/cm bei 10^7 Hz.

Eine Folie von 0,050 mm Dicke, für die die Durchschlagsspannung bei 50 Hz 14,5 kV beträgt, hält bei 10 MHz nur noch 500 V aus. Während Folien größerer Dicke (0,05 mm und mehr) als praktisch homogene Isolierkörper angesehen werden können, trifft dies für sehr dünne Folien nicht mehr zu.

Bei der Messung der Durchschlagsfestigkeit, machen sich bei Foliedicken unter etwa 0,025 mm Inhomogenitäten in der Folie als elektrische Schwachstellen bemerkbar. Mit abnehmender Foliedicke treten in steigendem Maße auch durchgehende Mikroporen auf. Biaxial verstreckte Folien aus Niederdruckpolyäthylen und Polypropylen weisen hier ein sehr viel günstigeres Verhalten auf als gleichstarke Extruder-Flachfolien.

Eine zur Bestimmung von Poren brauchbare Methode ist, die Folie auf eine als Trommel ausgebildete Elektrodenfläche zu legen und eine starke Gleichspannung anzulegen, so daß Glimmentladungen eintreten. In der Dunkelkammer ist dann an Stellen, an denen in der Folie durchgehende Poren vorhanden sind, Glimmentladung sichtbar, und man kann die Poren direkt auszählen. Nicht geklärt ist allerdings, welche kleinste Porengröße so noch festgestellt werden kann. Diese ist sicher von der angelegten Spannung und der Foliedicke abhängig. Das Verfahren ist jedoch für Vergleichsmessungen sehr gut geeignet.

Eine weitere Methode, die einen direkten Aufschluß über elektrische Schwachstellen gibt, besteht darin, daß man eine Art „selbstheilenden“ Plattenkondensator aufbaut und die Zahl der elektrischen Durchschläge bei einer bestimmten Prüfspannung auszählt. Man bringt die Folie als Dielektrikum zwischen zwei im Vakuum metallisierte Folien und legt an diese die Prüfspannung. Je nach Art, Höhe und Dauer der angelegten Spannung erhält man eine unterschiedliche Zahl von Durchschlägen. An den Durchschlagsstellen verdampft der dünne Metallbelag der Elektrodenflächen, und man kann die Durchschlagsstellen auszählen. Die Zahl der Durchschläge pro Flächeneinheit ist ein Maß für die Häufigkeit von Schwachstellen im geprüften Folienstück. Die in Tabelle 2 angegebenen Werte wurden mit 2000 V Wechselspannung (100 V/0,001 mm) bei 1 min Prüfdauer gemessen.

Tabelle 2. Poren und Schwachstellen in normaler Extruder-Flachfolie und biaxial verstreckter Folie aus Polypropylen

Folienart	Dicke [mm]	Poren/m ²	Schwachstellen / 1000 cm ²
Polypropylen normale Extruder-Flachfolie	0,020	58	45
Polypropylen biaxial verstreckt	0,020	4	1,5

Die Ergebnisse lassen die Überlegenheit der biaxial verstreckten Folie gegenüber normaler Flachfolie erkennen. Der Befund ist bei anderen Folienarten, z. B. aus Niederdruckpolyäthylen, qualitativ gleichartig.

Gegen Glimmentladungen sind auch die Polyolefin-Folien, wie eigentlich alle Kunststoffe, auf die Dauer nicht beständig. Praktisch wirkt sich die sehr niedere Dielektrizitätskonstante von Polyolefin-Folien günstig auf die Glimmeinsatzspannung in Luft aus [4]. Dies ist darauf zurückzuführen, daß in einem gemischten Dielektrikum das elektrische Feld in das Dielektrikum mit niedrigerer DK (Luft = 1) verdrängt wird. Je höher die Dielektrizitätskonstante des Isolierstoffes ist, um so eher wird das Auftreten einer Glimmentladung in der umgebenden Luft begünstigt.

Bei erhöhten Temperaturen treten bei den Polyolefinen kristalline und chemische Veränderungen, insbesondere

Oxydation, ein, die schließlich zu einer Versprödung führen. Art und Menge der verwendeten Stabilisatoren beeinflussen die Temperaturbeständigkeit [5]. Die im folgenden beschriebenen Ergebnisse sind also nur für die untersuchten Folien charakteristisch.

Versprödungserscheinungen an Folien sind vor allem am Abfall der Dehnung beim Zerreißversuch erkennbar. In Abb. 7 und 8 ist für Niederdruckpolyäthylen und Polypropylen die Änderung der Reißdehnung längs bei Lagerung im Trockenschrank bei 100 bzw. 120 °C wiedergegeben. Der nach relativ kurzer Zeit bei den Ex-

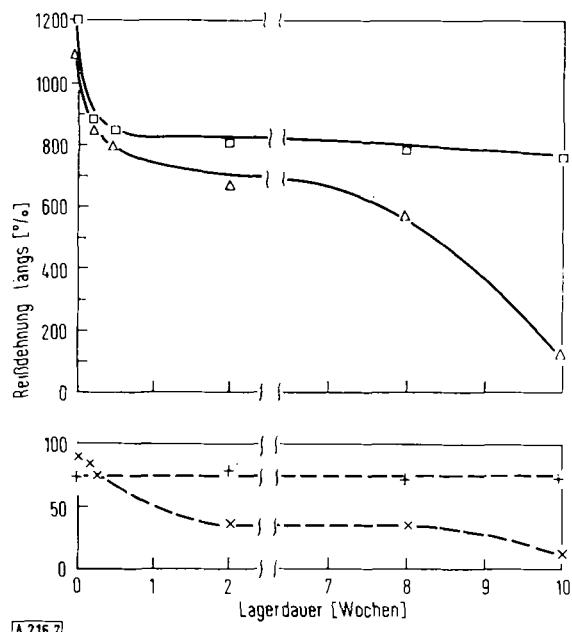


Abb. 7. Änderung der Reißdehnung längs bei Lagerung an Luft im Trockenschrank bei 100 °C.
Erläuterungen siehe Legende zu Abb. 2

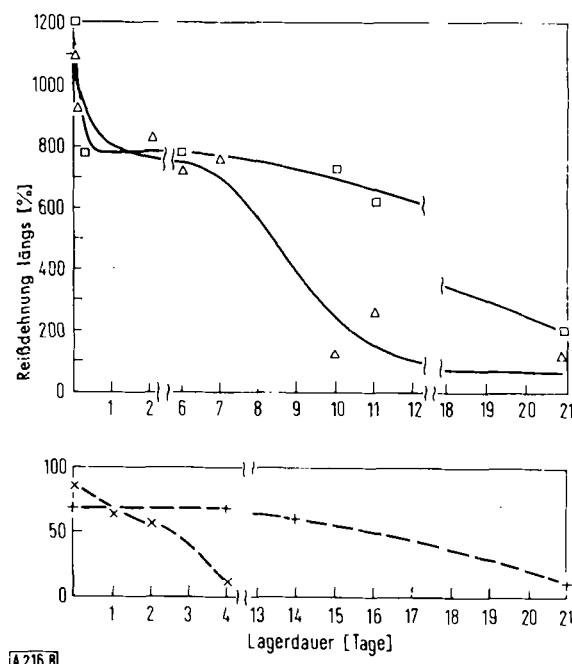


Abb. 8. Änderung der Längsdehnung bei Lagerung an Luft im Trockenschrank bei 120 °C.
Erläuterungen siehe Legende zu Abb. 2

[4] H. Suhr, Kunststoff-Rundschau 7, 216 (1960).

[5] P. Nowak, Kunststoffe 51, 480 (1961).

truderfolien eintretende Dehnungsabfall dürfte auf Kristallbildung und ähnliche Vorgänge zurückzuführen sein. Eine Röntgenaufnahme von einer Polypropylen-Folie, die 2 Wochen bei 100 °C an der Luft gelagert wurde, läßt eine starke Kristallbildung erkennen; die nicht getemperte Folie enthielt eine größere Menge amorpher Anteile.

Bei 120 °C tritt bei allen Folien bereits nach Tagen Versprödung ein; selbst die Folie mit dem günstigsten Verhalten, nämlich biaxial gerecktes Polypropylen, wird nach 21 Tagen spröde. Bei 100 °C war nach 8 Wochen Prüfzeit nur bei der Niederdruckpolyäthylen-Extruderfolie eine Versprödung zu erkennen. Zweifellos ist dieses günstige Verhalten nicht zuletzt auf zugesetzte Stabilisatoren zurückzuführen. Es muß damit gerechnet werden, daß deren Wirkung sich nach langer Beanspruchungsdauer erschöpft, so daß aus dem gezeigten Kurvenverlauf keineswegs geschlossen werden darf, daß die Folien 100 °C als Dauertemperatur über Jahre hinaus

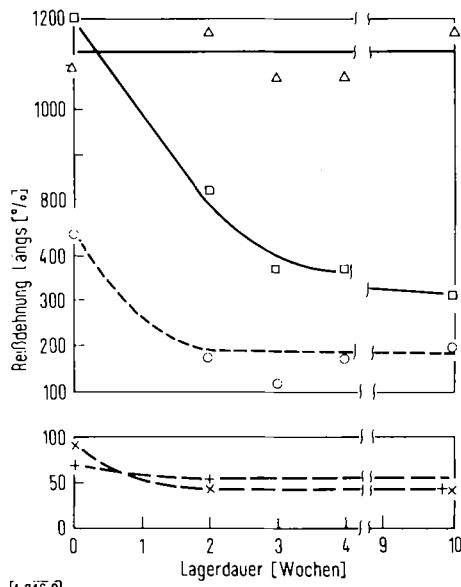


Abb. 9. Änderung der Reißdehnung längs bei Lagerung in Shell-Öl K 8 bei 80 °C.

Erläuterungen siehe Legende zu Abb. 2

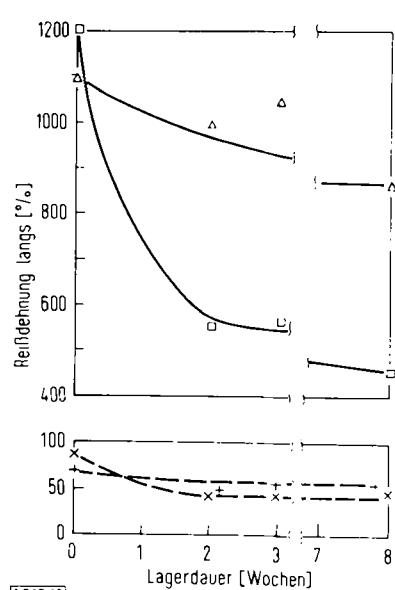


Abb. 10. Änderung der Reißdehnung längs bei Lagerung in Shell-Öl K 8 bei 100 °C.

Erläuterungen siehe Legende zu Abb. 2

ohne Versprödung ertragen. Hochdruckpolyäthylenfolie wurde nur bei 80 °C gelagert. Nach 10 Wochen Lagerdauer zeigte sich eine geringe Dehnungsabnahme.

Isolierstoffe kommen oft mit Isolierölen oder Tränklacken in Berührung. Unsere Folien wurden daher auch bei 80 und 100 °C in Shell-Öl K 8 gelagert (Abb. 9 und 10). Bemerkenswert ist, daß der zu Beginn der Lagerung an Luft eintretende Dehnungsabfall bei den Niederdruckpolyäthylen-Extruderfolien in Öl nicht gefunden wurde. Hochdruckpolyäthylen ist gegen Öle, auch mineralische Öle, nicht dauernd beständig. Bei 80 °C nimmt die Dehnbarkeit bereits in 10 Wochen auf etwa 1/3 des Ausgangswertes ab. Da die Lagerdauer auf 8 oder 10 Wochen beschränkt war, lassen sich Schlüsse auf das Verhalten in sehr langer Zeit nicht ziehen, doch erscheinen Langzeitversuche, insbesondere mit biaxial gereckter Folie, aussichtsreich. Zu prüfen bleibt, wie weit die Isoliereigenschaften des Öls durch Wechselwirkung mit den Folien beeinträchtigt wird. Da die Folien keinen Weichmacher enthalten, ist eine stärkere Beeinflussung nicht zu erwarten.

Anwendungen

Polyolefin-Folien sind bei höheren Temperaturen nur nach Bestrahlung mit energiereichen Strahlen (Vernetzung) brauchbar. Normale Folien kommen bei höherer Temperatur schon bei kleineren mechanischen Belastungen ins Fließen. Das große Gebiet des Elektromotorenbau ist ihnen daher bis jetzt verschlossen geblieben. Ähnlich lagen die Verhältnisse bezüglich der Kern- und Lagenisolation bei Transformatoren und Drosseln. Infolge des meist vorhandenen starken Wickelzugs besteht die Gefahr des Durchdrückens dünner Isolierlagen. Die neu entwickelten biaxial gereckten Folien verhalten sich wesentlich günstiger als normale Extruder-Folien, die bis jetzt zur Verfügung standen. So wird biaxial gerecktes Niederdruckpolyäthylen (Standard Elektrik Lorenz AG.) als Lagenisolation bei der Sekundärsplei des Zeilentransformators von Fernsehgeräten verwendet. Durch Wärmebehandlung in der Nähe des Erweichungspunktes wird die Folie stark geschrumpft. Gleichzeitig verbackt der Wickel, so daß sich eine Lacktränkung zur Vermeidung von Glimmentladungen erübrigert.

Hauptanwendungsgebiet für Folie aus Niederdruckpolyäthylen, normal extrudiert oder biaxial verstreckt, ist die Isolierung von Kabeln und Leitungen, besonders für Nachrichtenzwecke. Der geringe dielektrische Verlustfaktor läßt sogar die Verwendung in Trägerfrequenzkabeln möglich erscheinen.

Folien aus Hochdruckpolyäthylen werden wegen ihrer Weichheit nur in geringerem Umfang und in Dicken über 0,1 mm in Kabeln verwendet. Polypropylen-Folien könnten grundsätzlich ähnlich wie Folien aus Niederdruckpolyäthylen gebraucht werden, doch fehlt bis jetzt der wirtschaftliche Anreiz.

Aus etwa 0,4 mm starker Niederdruckpolyäthylen-Folie werden Isoliermanschetten tiefgezogen, welche die Ablenkspulen der Fernsehröhre gegen den Ferritkörper isolieren. Lautsprechermagnete werden außenseitig mit Niederdruckpolyäthylen-Folie überzogen.

Weitere Anwendungen, insbesondere dickerer Folien aus Niederdruckpolyäthylen, sind beispielsweise die Isolation von Sammelschienen für die stoßweise Entladung von Hochspannungskondensatoren oder die Isolation der Hochspannungsplatten von Elektrofiltern zur Staubabscheidung. Nicht zu vergessen ist die Verwendung von Polyäthylen-Folien als Träger für Isolierbänder, wobei man je nach Folientyp unterschiedliche Elastizität und Plastizität der Bänder erhält.

Ein Gebiet, in das in den letzten Jahren Kunststoff-Folien, insbesondere Folien aus Polyterephthalsäureester, in stärkerem Maße eingedrungen sind, ist die Herstellung von Wickelkondensatoren, vor allem kleinerer Kapazität bis etwa 0,5 Mikrofarad. Biaxial gereckte Polyolefin-Folien, die sich in ausgezeichneter elektrischer Qualität in Stärken unter 0,02 mm herstellen lassen, bieten eine weitere Möglichkeit, Kunststoff-Folien an Stelle von Papier als Dielektrikum zu verwenden. Die sehr geringe Temperatur- und Frequenzabhängigkeit sowie der geringe Verlustfaktor biaxial gereckter Folien aus Niederdruckpolyäthylen macht die Verwendung dieser Folie neben Polystyrol auch für den Hochfrequenz-

sektor möglich. Allerdings wirkt sich die niedrige relative Dielektrizitätskonstante der Polyolefin-Folien im Vergleich etwa zur Polyterephthalsäureester-Folie ungünstig bezüglich der Größe der Kondensatoren aus. Auch Versuche, Polyolefin-Folien in Leistungskondensatoren (Phasenschieber) zu verwenden, dürften erfolgreich sein.

Schließlich ist darauf hinzuweisen, daß dickere Polypropylen-Folien oder Polypropylen-Platten an die Stelle von Hartpapier treten können, sofern die thermoplastischen Eigenschaften keine Rolle spielen. Dicke Polypropylen-Folie ist steifer als gleich starke Folie aus Niederdruckpolyäthylen oder Hochdruckpolyäthylen und kommt in dieser Beziehung dem Hartpapier ziemlich nahe. Ein besonderer Vorzug ist, daß die Folie keine korrosionsfördernden Substanzen abgibt. Die Leitfähigkeit des wässrigen Auszuges ist sehr gering und das Material kriechstrom fest (Stufe T 5).

Dr. Krämer und seinen Mitarbeitern von der Firma Kalle AG. danke ich für elektrische Messungen.

Eingegangen am 27. März 1962 [A 216]

Eigenschaften von Folien aus Poly-[2.2-bis-(4-hydroxyphenyl)-propan-carbonat]

VON DR.-ING. H. HOFMEIER [*]

FARBENFABRIKEN BAYER AG., WERK DORMAGEN

Die Polycarbonate sind verhältnismäßig junge, aber theoretisch und praktisch interessante Kunststoffe. Die Zugfestigkeit amorpher Folien aus Poly-[2.2-bis-(4-hydroxyphenyl)-propan-carbonat] kann durch Strecken erhöht werden. Die Kristallisation hat allein keinen wesentlichen Einfluß auf die Zugfestigkeit. Erst in Verbindung mit einer Streckung bringt sie einen erheblichen Anstieg. Durch die Kristallisation wird der Erweichungspunkt zu höheren Temperaturen verschoben und die Lösungsmittelbeständigkeit erhöht.

I. Rohstoff und Herstellung der Folien

In Tabelle 1 sind die wichtigsten elektrischen Eigenschaften des Poly-[2.2-bis-(4-hydroxyphenyl)-propan-carbonates] zusammengestellt.

Die Durchschlagfestigkeit liegt mit mehr als 100 kV/mm bei 0,05 mm Dicke günstig. Der Isolationswiderstand ist ebenfalls hoch und wird durch Feuchtigkeit nur wenig verringert.

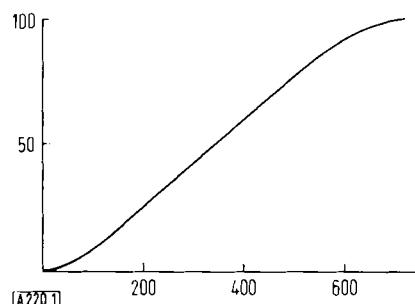


Abb. 1. Verteilung der Molekülgrößen in einem Poly-[2.2-bis-(4-hydroxyphenyl)-propan-carbonat] mit $\eta_{\text{rel}} = 1,755$.
Ordinate: Summe der Anteile [Gew.-%] mit einem Polymerisationsgrad zwischen 0 und P („Prozent-Integral“)
Abszisse: Polymerisationsgrad P

[*] Nach einem Vortrag auf der Tagung der GDCh-Fachgruppe „Kunststoffe und Kautschuk“ am 11. April 1962 in Bad Nauheim.

Tabelle 1. Elektrische Eigenschaften von Poly-[2.2-bis-(4-hydroxyphenyl)-propan-carbonat]

Eigenschaft	Meßwert	Prüf-vorschrift	Prüfkörper
Durchschlagfestigkeit [kV/mm]	> 100	DIN 53481	Folie, 0,05 mm dick
Spez. Durchgangswiderstand [$\Omega \cdot \text{cm}$]		DIN 53482	Rundscheibe 80 mm Ø, 2 mm dick
trocken	$4 \cdot 10^{17}$		
nach 4 Tagen bei 80 % rel. Feuchte	$9 \cdot 10^{15}$		
Oberflächenwiderstand [Ω]		DIN 53482	Rundscheibe 80 mm Ø, 2 mm dick
trocken	$8 \cdot 10^{14}$		
nach 24 h Lagerung in Wasser	$6 \cdot 10^{14}$		
Widerstand zwischen Stöpseln [Ω]		DIN 53482	Rundscheibe 118 mm Ø, 4 mm dick
trocken bei 100 V	$8 \cdot 10^{14}$		
trocken bei 1000 V	$4 \cdot 10^{14}$		
Dielektrizitätskonstante ϵ_r		DIN 53483	Rundscheibe 80 mm Ø, 4 mm dick
bei 1 kHz	$\approx 3,0$		
bei 1 MHz	$\approx 3,0$		
Dielektrischer Verlustfaktor ($\tan \delta$)		DIN 53483	Rundscheibe 80 mm Ø, 2 mm dick
bei 50 Hz	$10 \cdot 10^{-4}$		
bei 1000 Hz	$20 \cdot 10^{-4}$		