

Neuartige Tränkmassen bei papierisolierten Starkstromkabeln

Autor(en): **Linke, G. / Schenck, H.-J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **69 (1978)**

Heft 24

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-914970>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Neuartige Tränkmassen bei papierisolierten Starkstromkabeln

Von G. Linke und H.-J. Schenck

621.315.211.2:621.315.614.6;

Die historische Entwicklung der Kabeltränkmassen lässt sich an der Abnahme der dielektrischen Verluste von Mittelspannungskabeln seit der Einführung um die Jahrhundertwende ablesen. Jetzt scheint ein gewisses Optimum durch die Verwendung einer bestimmten, molekülgrössenmässig relativ schmalen Polyisobutenfraktion als Trankmittelbasis für normale Masse- und Haftmassekabel erreicht zu sein. Die günstigen Praxiserfahrungen werden auf die im Versuch festgestellte Reinheit, Gleichmässigkeit, Oxidations- und Alterungsunempfindlichkeit und auf das im gesamten Anwendungsbereich ausgezeichnete dielektrische Verhalten der Massen zurückgeführt.

Le développement des masses d'imprégnation de câbles pour moyennes tensions est caractérisé par la réduction progressive des pertes diélectriques, depuis le début de ce siècle. Il semble que l'on soit maintenant parvenu à un certain optimum par l'emploi d'une certaine fraction de polyisobutène, comme base des imprégnants pour câbles à masse adhérente ou non. Les bonnes expériences pratiques sont dues à la pureté, à l'uniformité, à l'insensibilité à l'oxydation et au vieillissement constatés au cours des essais, ainsi qu'à l'excellent comportement diélectrique des masses dans tout leur domaine d'emploi.

1. Papiermassekabel

Die mit Masse getränkten Papierkabel mit Blei- oder Aluminiummänteln, kurz Massekabel genannt, werden seit etwa der Jahrhundertwende hergestellt und für die Energieübertragung eingesetzt. Sie sind die ersten echten Kabel im heutigen Sinne und lösten sehr bald die im Anfangsstadium benutzten Kabel verschiedener Art, wie z.B. die Guttaperchakabel, ab.

Erst in den Jahren nach dem letzten Kriege entstand ihnen im Kunststoffkabel ein Konkurrent, d.h. in einem Kabel, bei dem der Leiter direkt mit thermoplastischem oder thermoelastischem Kunststoff umspritzt ist. Im 1-kV-Bereich sind heute die Kunststoffkabel wegen ihrer Montage- und Preisvorteile weitaus dominierend. Auf dem Mittelspannungsgebiet decken nach der Jahresstatistik 1976 [1]¹⁾ Massekabel noch 75% des 10-kV-Bereichs und gegen 50% des 20-/30-kV-Bereichs. Diese Massekabel sind meist Bleimantelkabel.

Im Laufe der Anwendungszeit wurden die Massekabel laufend verbessert. Das zeigt sich z.B. in der Abnahme der dielektrischen Verluste der Mittelspannungskabel [2]. Der mittlere dielektrische Verlustfaktor betrug für Kabel mit Mineralöl-Tränkmasse z. B.

1900: $\tan \delta = 2000 \cdot 10^{-4}$

1930: $\tan \delta = 60 \dots 80 \cdot 10^{-4}$

1970: $\tan \delta = 40 \dots 50 \cdot 10^{-4}$

Eine weitere Verbesserung, über die hier berichtet wird, erfolgte dann durch Einführung einer Masse auf der Basis von Polyisobuten (PIB), wodurch die $\tan \delta$ -Werte auf etwa 20 bis $30 \cdot 10^{-4}$ gesenkt werden konnten. Dadurch wird der Abstand zu einer Grössenordnung höher liegenden Kunststoff Polyvinylchlorid (PVC) weiter vergrössert und zu den eine Grössenordnung niedriger liegenden Kunststoffen Polyäthylen (PE) und vernetztes Polyäthylen (VPE) verringert. Das PIB-Papier-Dielektrikum behält seine guten dielektrischen Eigenschaften über den ganzen, praktisch wichtigen Temperaturbereich und auch im Kabel-Dauerbetrieb.

Eine Kabeltränkmasse hat bekanntlich die Aufgabe, die elektrische Festigkeit der Papierisolierung zu erhöhen. Dazu ist es notwendig, dass sie alle Hohlräume in der Papierisolierung und unter dem Metallmantel gut ausfüllt, d.h. eine satte Kabeltränkung bewirkt. Erfahrungsgemäss erfüllen Tränkmassen diese Aufgabe, wenn sie bei 50 °C eine Viskosität von 1000 bis 4000 mm²/s und bei Tränktemperatur von etwa 120 °C eine solche von 20 bis 120 mm²/s haben. Solche Massen wurden in den letzten Jahrzehnten von fast allen Kabelwerken verwendet.

Für die Fälle, dass die Kabel grössere Höhenunterschiede überbrücken müssen, wurden vor etwa 20 Jahren ebenfalls auf der Basis von Polyisobuten sog. «non-draining» (nd) oder Haftmassen entwickelt, deren Aufgabe und Vorzug ist, dass sie von der niedrigsten zulässigen Kabeltemperatur beim Verlegen bis zu den höchsten zulässigen Leitertemperaturen im Kabelbetrieb Weichwachs-Konsistenz haben, d.h. nicht wandern. In dieser Hinsicht weisen Haftmassekabel ähnliche Vorteile wie Kunststoffkabel auf.

Die beiden erwähnten synthetischen Massen, die eine im Betrieb zähflüssig und die andere wachsartig, gestatten es, optimale Papier-Mittelspannungskabel herzustellen. Ihre Eigenschaften sollen hier eingehender behandelt werden.

2. Historische Entwicklung der Tränkmassen bis zur Polyisobutenmasse

Tab. I zeigt die dielektrischen Eigenschaften von verschiedenen Massen, die für die historische Entwicklung der Massekabeltechnik typisch sind, und die Veränderung der dielektrischen Verluste nach einer Kurzalterung in Gegenwart von Luft und Kupfer. Basis war Kabeldicköl (gemischt paraffin-naphtenbasisches Mineralöl). Vor etwa 40 Jahren wurde Naturharz hinzugesetzt, das verdickend und chemisch stabilisierend wirken sollte. Eine deutliche Verbesserung wurde erreicht, als Kohlenwasserstoffharze, Erdöl- oder Steinkohlenteer-Destillationsprodukte, als Harzkomponente eingeführt wurden. Ein weiterer dielektrischer Fortschritt ergab sich, als das Syntheseharz in dieser Masse durch ähnliche Mengen eines höherviskosen Polyisobutens ersetzt wurde. Verschiedene Alterungsprüfungen bei 115...120 °C an Luft mit und ohne Kupfer zeigten aber immer noch eine Alterungsempfindlichkeit dieser Kombination auf. Das bringt z.B. den Nachteil mit sich, dass bei der Fertigung nach wenigen Kabeltränkungen die dielektrischen Verluste der Rücklaufmasse so weit ansteigen, dass diese Masse in einer besonderen Aufbereitungsanlage mit Bleicherde regeneriert werden muss.

Während die Polyisobutene seit Anfang der vierziger Jahre z.B. unter dem Namen Oppanole bekannt sind und u.a. auch als Zusätze in speziellen Kabeltränkmassen und später auch gelegentlich allein verwendet wurden, waren sie lange Zeit zu teuer, um einen verbreiteten Einsatz zu finden. In den sechziger Jahren sind jedoch die Verfahren der Petrochemie zur Isolierung und Reinigung des Isobutens aus der C₄-Fraktion der Olefin-Crackung, seine Polymerisation zu unterschiedlich viskosen Polyisobutenprodukten und deren Abtrennung durch Vakuumdestillation so verbessert worden, dass diese nach

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

		Mineralöl								Polyisobuten (PIB)	
				+ Naturharz		+ synthet. Harz		+ PIB		a	b
		a	b	a	b	a	b	a	b		
Verlustfaktor $\tan \delta$ in 10^{-4}	20 °C	20	40	20	40	9	14	1	5	< 1	< 1
	80 °C	50	120	200	370	8	26	6	40	< 1	< 1
Isolationswiderstand in $10^{12} \Omega \text{ cm}$	20 °C	1 500		200		2 000		2 100		> 100 000	
	80 °C	5		0,3		30		70		> 1 000	
Dielektrizitätszahl	20 °C	2,63		2,60		2,43		2,36		2,22	
	80 °C	2,50		2,52		2,36		2,26		2,12	

a frisch b gealtert: ASTM D 1934-68, Verfahren B (95 h bei 115 °C mit Kupferdraht)

entsprechender Reinigung (z. B. mit Bleicherden) ab etwa 1970 auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten für einen allgemeinen Einsatz als Tränkmittel interessant wurden. Auf die Eigenschaften einer dieser als Tränkmittel geeigneten PIB-Qualitäten und deren Vorzüge als Tränkmittel für Kabel soll nun näher eingegangen werden.

3. Eigenschaften der Polyisobutenmasse

Das wasserhelle viskose Polyisobuten vom durchschnittlichen Molgewicht 900 kann heute mit Eigenschaften ähnlich Tab. II von mehreren Firmen geliefert werden. Die Masse fällt unter Class II, Type 1, der CEI-Publ. 465A (1977). Sie wird in Tab. II mit einer Syntheseharz-Mineralölmasse, die in den sechziger Jahren eingesetzt wurde, verglichen.

Das PIB hat einen etwas flacheren Viskositäts-Temperaturverlauf, was für den Betrieb bei höheren Temperaturen von Vorteil ist. Typisch für die PIB-Masse und zuerst etwas ungünstiger erscheinend sind die höheren Abdampfverluste und der niedrigere, aber allen Sicherheitsanforderungen voll genügende Flammpunkt im geschlossenen Tiegel. Dies war zu Beginn eines der wichtigsten Entwicklungsprobleme.

Die dielektrischen Werte des PIB im Temperaturbereich von -20 bis $+100$ °C sind ausgezeichnet. Die $\tan \delta$ -Kurven

von Mineralöl und Mineralöl-Harz-Kombinationen haben von $+30$ °C nach tieferen Temperaturen hin Dipolmaxima. PIB zeigt erst unter -20 °C einen geringen Anstieg. Die Leitfähigkeitsverluste der PIB-Masse bleiben andererseits auch bis $+100$ °C zu vernachlässigen. Die Verluste der bisher benutzten Kabeldickölmassen steigen dagegen von etwa $+50$ °C an logarithmisch an, und besonders ungünstig verhält sich die früher gebräuchliche naturharzhaltige Masse, deren Verluste schon ab etwa 35 °C steil ansteigen.

Auch bei den schon erwähnten Alterungsprüfungen an Luft (bis zu 6 Monaten bei 120 °C) hat sich PIB überlegen gezeigt. Um die Alterungsbeständigkeit verschiedener Massekabel-Dielektrika praxisähnlich, aber im Zeitraffversuch vergleichen zu können, wurden Modelladern mit Kupferleitern hergestellt. Die getrockneten Adern wurden in Glasrohren mit den verschiedenen Tränkmitteln getränkt, evakuiert und eingeschmolzen. In dieser Kabelimitation wurden sie bei Temperaturen von 100 , 120 , 140 und 160 °C verschiedene Zeiten bis zu 12 Monaten erhitzt; im Vergleich zur Praxisbeanspruchung fehlte also nur das elektrische Feld. Die anschließend untersuchten, vom Tränkmittel befreiten Isolierpapiere waren nur den Temperaturbeanspruchungen entsprechend geschädigt, ohne dass spezifische Tränkmiteleinflüsse erkennbar waren.

	Prüfverfahren	PIB-Masse	Masse aus Mineralöl + synthetischem Harz
Farbe	ASTM DIN 51578	< 1	6...6,5
Dichte 20 °C, g/cm ³	DIN 51757	0,887	0,96
Bromzahl	DIN 51774	16...20	–
Viskosität mm ² /s	DIN 51561	50 °C	1400
		80 °C	160
		100 °C	55
		120 °C	25
m-Wert der Viskosität	5,02 · tan α (Umstätter)	2,7	4,2
Stockpunkt °C	DIN 51583	< 0	+ 14
Mittleres Molgewicht	osmometrisch	etwa 900	–
Abdampfverlust %	4 h, 135 °C	0,75	0,1
Flammpunkt °C (Pensky-Martens)	DIN 51758	176	> 200
Zündpunkt °C	DIN 51794	375	> 400
Wärmeleitfähigkeit $W \cdot 10^{-2}/K \cdot m$	ATM, V 9223-2 Zylinderverfahren	19	23
Wärmeausdehnungskoeffizient $\text{cm}^3 \cdot 10^{-4}/(\text{cm}^3 \cdot K)$	pyknometrisch	6,7	9

Als empfindliches Alterungskriterium der Tränkmittel wurden die dielektrischen Verluste benutzt. Tab. III enthält charakteristische Ergebnisse von 3 Tränkmitteln: PIB, Mineralöl mit PIB-Zusatz und einem gut raffinierten, naphthenbasischen-aromatenhaltigen Mineralöl. Obwohl es sich nicht um das Kabeldicköl von Tab. I handelt, dürften die Ergebnisse in der Tendenz auch für dieses zutreffen, bei diesem eher noch schlechter sein. Nur PIB blieb bei diesem verschärften Langzeittest ausgesprochen verlustarm, während der PIB-Zusatz zu Mineralöl die Alterung nur wenig bremsen konnte.

In der Verarbeitung ergaben sich bei PIB-Masse keine Besonderheiten.

4. Auswirkungen der Tränkmittel auf die Kabeleigenschaften

In Fig. 1 sind die Werte des dielektrischen Verlustfaktors dargestellt, die als Mittelwerte an vielen Kabelprüflingen gemessen wurden (einadrige 20-kV-Kabel). Da bei beiden Kabeltypen nur die Tränkmassen, nicht die Papiere verschieden waren, ist die durch PIB-Masse erreichte Verbesserung eindeutig.

Die erreichten Verlustfaktorwerte entsprechen denen von Höchstspannungskabeln. Da die dielektrischen Verluste dauernd auftreten, solange das Kabel an Spannung liegt, also wesentlich längere Zeit als die Stromwärmeverluste, hat ihre Senkung eine wesentliche Bedeutung für die Verlustbilanz einer Übertragungsstrecke.

Die für die Netzplanung ebenfalls wichtige Grösse der Wechselstromkapazität (20-kV-Kabel, 95 mm²) konnte von etwa 0,33 µF/km bei üblichen Massekabeln auf etwa 0,31 µF/km bei PIB-Kabeln leicht gesenkt werden, was Vorteile für den Betrieb mit sich bringt.

Wenn auch der Isolationswiderstand der Massekabel in den geltenden Vorschriften nicht gesondert verankert ist, so gibt er doch zusätzliche Hinweise über die Eigenschaften der verwendeten Isolierwerkstoffe. Durch die Einführung der neuen Tränkmasse stieg der Mittelwert von rund 2800 MΩ · km auf mehr als 10000 MΩ · km an (wieder an 20-kV-Kabeln mit 95 mm² Leiterquerschnitt ermittelt).

Anstelle weiterer Kabel-Langzeitversuche seien als Ergänzung zu den oben beschriebenen Kabelmodellversuchen noch Kurzzeit-Spannungsbeanspruchungen als Kriterium für die Spannungsfestigkeit der geschichteten Dielektrika aufgeführt: Steigerungsdurchschläge an den Prüflingen des 20-kV-Kabels

Änderung der dielektrischen Verluste $\tan \delta$ verschiedener Kabelmassen bei Alterung von Modellkabeln

Tabelle III

Vorbehandlung	frisch	nach 12 Mon. 100 °C	nach 6 Mon. 120 °C
Messtemperatur °C	20 80	20 80	20 80
Kabelmasse			
PIB	<1 <1	1 3	1 6 10 ⁻⁴
Mineralöl + PIB	1 7	8 100	20 150 10 ⁻⁴
Mineralöl	<1 6	50 210	60 210 10 ⁻⁴

Modellaufbau: 180 × 1200 mm Isolierpapier S 105/0,8 um vorgereinigte Kupferstränge von 9 mm \varnothing und 200 mm Länge gewickelt; Wicklung bei 120 °C unter 0,13 mbar in Glasrohr von 30 mm \varnothing und 400 mm Länge getrocknet; mit je 100 cm³ 120 °C warmem Tränkmittel unter 0,13 mbar getränkt und 6 h unter Vakuum belassen, dann einige Zeit bei 120 °C unter 1 bar; bis 0,13 mbar evakuiert und Rohr abgeschmolzen.

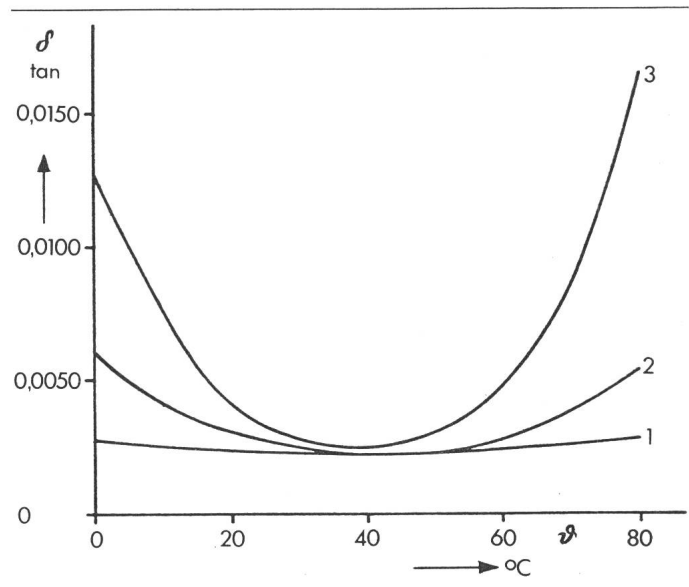


Fig. 1 Dielektrischer Verlustfaktor $\tan \delta$ in Abhängigkeit von der Temperatur bei 20-kV-Massekabeln mit unterschiedlichen Tränkmassen

Messspannung 0,5 U_0

1 Polyisobutenmasse

2 Mineralöl-Syntheschwarz-Masse

3 Mineralöl-Naturharz-Masse

ergaben mit Durchschlagsspannungen von über 180 kV etwas höhere Werte, als sie bei solchen Kabeln üblich sind. Auch eine vorherige Biegeprüfung beeinträchtigte die Werte nicht. Die Einhaltung des Stoßspannungspegels, der z.B. bei diesen Kabeln bei 145 kV liegt, steht im allgemeinen bei Papier-Massekabeln ausser Frage. Mit Durchschlagswerten im Bereich von etwa 600 kV, d.h. bei etwa 125 kV/mm Leiterfeldstärke, sind hier keine Probleme vorhanden – ein Grund, weshalb diese Prüfungen auch nur selten ausgeführt werden.

Auch bei weiteren Prüfungen an 10- und 1-kV-Kabeln gingen die erreichten Werte stets weit über diejenigen hinaus, die für den sicheren Kabelbetrieb gefordert werden müssen.

Zu erwähnen ist, dass Massen auf Basis PIB und mit Kohlenwasserstoffharz eingedickter Mineralöle im Mischungsbereich 30...80% allmählich Trübungen durch fein dispergiertes Harz bilden. Durch verschärfte Modellversuche wurde nachgewiesen, dass in dem Fall, dass beiderlei Massen aufeinander treffen, das Dielektrikum einwandfrei bleibt – prinzipiell ähnlich wie bei einer nd-Masse. Nur aus optischen Gründen wird empfohlen, zum etwa notwendigen Nachfüllen von Massekabelendverschlüssen spezielles Kabeldicköl zu verwenden, das mit beiderlei Massen klare homogene Mischungen bildet, ebenso übrigens wie mit allen anderen bekannten Kabelmassen.

5. Eigenschaften von PIB-Synthesewachs-Haftmassen

Die Entwicklung der Haftmassen ging über ähnliche Rohstoffbasen vor sich wie diejenige der zähflüssigen Massen. Bis heute gibt es Massen auf Basis Mineralöl mit Zusatz grösserer Mengen hochschmelzender Harz-Mikrowachs-Gemische oder reiner Mikrowachse. Unterhalb des meist zwischen 90 und 100 °C liegenden Tropfpunkts erstarren die durchsichtigen Schmelzen zu hellen, weichfettigen bis talgartigen Massen. Der Verformungswiderstand, den die Masse bietet, wird bei Raumtemperatur durch Einwirkenlassen eines Messkonus auf die

Oberfläche bestimmt: je tiefer die Eindringstrecke (Penetration), um so weicher die Masse. Erfahrungsgemäss lässt sich der Tränkmittelüberschuss am besten von den Adern abstreifen und lassen sich die fertigen Kabel ohne Schaden biegen und verlegen, wenn die Penetration etwa 90 und mehr beträgt. Andererseits ist zu fordern, dass mindestens bis zu den im Betrieb zugelassenen Leitertemperaturen die Masse formbeständig bleibt. Das kann z. B. mit Hilfe des Absorptionsindex geprüft werden.

Als Absorptionsindex ist die Ausbreitung (in mm) definiert, die ein Massezylinder von 30 × 30 mm auf einer Unterlage von Kabelpapier nach 16stündigem Erwärmen auf eine vorgeschriebene Temperatur als durchschnittliche Durchmesser-Vergrößerung erkennen lässt. Als höchste Temperatur sind zurzeit 80 °C für 1-kV-Kabel zugelassen, daher wird meist bei dieser Temperatur geprüft.

Tab. IV zeigt rechts charakteristische Werte von Haftmassen auf Mineralölbasis: sie sind meist härter als erwünscht, wenn sie gerade noch wärmestandfest sind. Auffallend sind die schlechten dielektrischen Eigenschaften bei höheren Temperaturen und deren Verschlechterung nach einer Kurzalterung.

Aus diesem Grunde wurde 1956/57 zunächst eine Haftmasse I auf PIB-Basis entwickelt und seit 1969 die daraus weiterentwickelte Haftmasse II eingesetzt, die sich nur wenig von derjenigen unterscheidet, über deren praktische Erprobung *Couppé* und *Terramorsi* 1971 berichtet haben [5]. Die erreichten besseren Verarbeitungseigenschaften gingen zu Lasten eines

Weitere Eigenschaften der Haftmasse II

Tabelle V

Dichte bei 20 °C	DIN 51757	0,90 g/cm ³
Bromzahl	DIN 51774	15
Viskosität bei 100 °C	DIN 51561	210 mm ² /s
120 °C		90 mm ² /s
140 °C		50 mm ² /s
m-Wert der Viskosität	5,02 · tan α (Umstätter)	3,1 -
Abdampfverlust	4 h, 135 °C	0,75 %
Flammpunkt (Pensky-Martens)	DIN 51758	169 °C
Wärmeausdehnungskoeffizient bei 20...100 °C	pyknometrisch	7,0 cm ³ · 10 ⁻⁴ /cm ³ · K
>100 °C		6,5 cm ³ · 10 ⁻⁴ /cm ³ · K

Teiles der zunächst ausserordentlich hohen Wärmestandfestigkeit. Die PIB-Haftmasse II, deren sonstige charakteristischen Eigenschaften in Tab. V aufgeführt sind, weisen bis zur Prüftemperatur 120 °C die nach den Erfahrungen gemäss Tab. I zu erwartenden guten dielektrischen Eigenschaften auf, die auch bei Wärmealterung weitgehend erhalten bleiben (Tab. IV).

Im folgenden seien die weiteren Vorteile der PIB-Haftmasse II gegenüber anderen Haftmassen zusammengefasst: Durch gleichmässige Kristallisation einer kleinen zugesetzten Mikrowachsmenge über einen weiten Temperaturbereich ist der Ausdehnungskoeffizient bei allen genutzten Temperaturen gering und gleichmässig, und die Masse erstarrt homogen ohne Einschluss von Vakuolen; hierdurch und durch den vollsynthetischen Charakter der Masse schwankt die Qualität nur geringfügig; die Haftung an anderen Werkstoffen, besonders auch an Papier, ist wegen der Eigenklebrigkeit des PIB verbessert; gute Wasserstoffaufnahme [3; 4] und andererseits relativ hoher Dampfdruck von Monomeren und Oligomeren können als Vorbeugung gegen Glimmentladungen an etwaigen Überbeanspruchungsstellen wirken.

Kabel, die mit der PIB-Haftmasse II getränkt sind, erfüllen auch alle Anforderungen von BS 6480, insbesondere die Auslaufprüfungen. Man muss jedoch beachten, dass Prozentbruchteile gewisser Verunreinigungen, wie z. B. von Vaseline oder Polyäthylen ebenso wie ein ungenügendes Aufschmelzen vor dem Erstarren die Wärmestandfestigkeit erheblich reduzieren.

In einigen Ländern wird auch daran gedacht, 80...85 °C Leitertemperatur für entsprechende Haftmassenkabel und sogar für normale Massekabel mit dickerer Isolierung zuzulassen [6; 7; 8]. Dazu ist zu sagen, dass hierfür zwar ausreichend wärmeformbeständige Haftmassen entwickelt werden könnten, dass aber ein solches System in Gefahr wäre, die zulässige Grenztemperatur der verwendeten Werkstoffe zu überschreiten.

Die bisher mehr als 7jährigen Praxiserfahrungen mit PIB-Masse waren uneingeschränkt positiv. Der technische Fortschritt liegt hauptsächlich in der Reinheit und Gleichmässigkeit, in der Oxidations- und Alterungsunempfindlichkeit – auch in Kupfergegenwart – und in den ausgezeichneten, über den gesamten möglichen Temperaturbereich praktisch unverändert bleibenden dielektrischen Eigenschaften der PIB-Masse. Vorteilhaft ist, dass die gleiche PIB-Masse auch als Tränk-

Typische Eigenschaften verschiedener Haftmassen

Tabelle IV

	Haftmasse II auf Basis PIB		Haftmassen auf Basis Mineralöl + Wachs/Harz	
	frisch	gealtert	frisch	gealtert
Tropfpunkt °C DIN 51801	97		95...100	
Penetration (Konus, mm/10) DIN 51804/1	100		58...88	
Absorptionsindex (mm) Eigenmethode				
65 °C	10		11...16	
75 °C	14		19...32	
80 °C	16		28 bis verlaufen	
85 °C	verlaufen		56 bis verlaufen	
Dielektrischer Verlustfaktor tan δ in 10 ⁻⁴				
60 °C	<1	<1	5...12	20...50
80 °C	<1	<1	7...15	40...250
100 °C	<1	1	10...50	150...1050
120 °C	2	5	80...150	600...2000
Isolationswiderstand · 10 ¹² Ω · cm				
60 °C	900 000	200 000	5...5000	1...1000
80 °C	30 000	6 000	1...1000	0,1...100
100 °C	700	400	0,1...200	0,05...25
120 °C	350	100	0,01...50	0,005...5
Dielektrizitätszahl bei 60 °C	2,20	2,20	2,3...2,5	2,3...2,6

Alterung: ASTM D 1934-68, Verfahren B (95 h bei 115 °C mit Kupferdraht)

mittel in Hochspannungskabeln wie Gasaussendruck- und Hochdruckölkabeln und als nd-Masse in Gasinnendruckkabeln verwendet werden kann.

Adresse der Autoren

Dipl.-Ing. G. Linke und Dr. H.-J. Schenck, Siemens Aktiengesellschaft, Bereich Starkstromkabel und -leitungen, Postfach 140, D-1000 Berlin 13.

Literatur

- [1] G. Wanser: Kabel, Leitungen und Zubehör. Ein Rückblick auf die Hannover-Messe 1977. *Elektrizitätswirtsch.* 76(1977)14, S. 456...461.
- [2] H. Heumann: 75 Jahre technische Entwicklung von Starkstromkabeln. *Elektrizitätswirtsch.* 75(1976)20, S. 732...739.
- [3] E.H. Reynolds and R.M. Black: Evaluation of dielectric fluids by gassing cell tests. *Proc. IEE* 119(1972)4, p. 497...504.
- [4] G. Linke: Neue Apparatur zum Bestimmen der Gasfestigkeit von Isolierölen im elektrischen Feld. *Siemens Z.* 45(1971)5, S. 382...385.
- [5] G.P. Terramorsi and G.L. Coupe: Developments in non-draining cables. *Wire and Wire Products* 46(1971)1, p. 95...107.
- [6] P. Swarbrick: Developments in 11 kV underground cable systems. *Electr. Rev.* 193(1973)24, p. 818...820.
- [7] G.E. Bennet: Prospects for higher temperature paper cable compounds. *Electr. Times* -(1973)4229, p. 13.
- [8] Solid-type cables for higher temperatures. *Electr. Times* 161(1972)4180, p. 28.

Sir Humphrey Davy 1778–1829



Zentralbibliothek Zürich

Im äussersten Westen Cornwalls, in Penzance, lebte der Holzschnitzer Robert Davy. Sein Verdienst war knapp, und als er 1894 starb, hatte seine Frau für 2 Buben und 3 Mädchen zu sorgen. Sie eröffnete einen Laden und später, als sie eine kleine Erbschaft machte, ein kleines Hotel garni.

Humphrey, der 1778 geborene ältere Sohn, besuchte die Dorfschule und kam dann in die Lehre zu einem Apotheker, dessen Bibliothek er benutzen durfte. Davon machte er regen Gebrauch. So las er auch das Werk des französischen Chemikers Lavoisier und sprach darüber mit Gregory Watt, dem Sohn des Erfinders der Dampfmaschine, der zur Erholung im Hotel von Mutter Davy weilte. Davy bezweifelte die Theorien Lavoisiers und nahm sich vor, die Zusammenhänge selber zu überdenken. Auf Empfehlung eines Freundes kam er nach der Lehre als Chemiker in ein Institut nach Bristol, in dem man versuchte, Kranke durch Behandlung mit Gasen zu heilen. Hier experimentierte er und versuchte auf sorgloseste Weise an sich selber durch Einatmen von Gasen deren Wirkung, wobei er mehrmals in Lebensgefahr geriet. Dabei entdeckte er aber das Lachgas, das für die Medizin (Narkosen) Bedeutung erlangte.

Von Bristol wurde der junge Chemiker 1801 an die Royal Institution nach London geholt, wo er nach einem Jahr zum Professor der Chemie ernannt wurde. Die erste Aufgabe bestand darin, die Anwendung der Chemie in der Landwirtschaft zu fördern. Seine 10jährige Vortragsreihe erschien später in Buchform. Regelmässig hatte er auch öffentliche Vorträge über Chemie zu halten, bei denen oft gegen 1000 Personen zuhörten.

Die Entdeckungen Voltas führten Davy zur Elektrochemie; er erkannte, dass die Stromerzeugung in der Voltasäule und in den Elementen mit chemischen Vorgängen verbunden ist. Um unbehindert elektrische Versuche anstellen zu können, liess er immer grössere Batterien bauen, deren grösste aus 2000 Platten bestand, die eine Oberfläche von 80 m² aufwies. So ausgerüstet gelang ihm die Darstellung verschiedener Elemente, so Kalium, Calcium, Natrium, Magnesium, Strontium, Chlor und Jod. 1813 demonstrierte er in der Royal Society erstmals einen elektrischen Lichtbogen zwischen Holzkohlestäbchen. Darauf basierend schuf später Foucault die Bogenlampe. Davy aber gilt als der Begründer der Elektrochemie.

Der Ruf, den ihm seine zahlreichen Entdeckungen eingetragen hatten, machte viele glauben, man könne von ihm alles verlangen. Die Marine beauftragte ihn, Abhilfe gegen die Korrosion von Kupferplatten an Schiffen zu suchen. Er fand sie im noch heute üblichen katholischen Schutz. Ebenfalls im Auftrag ersann er die nach ihm benannte Grubenlampe, durch welche Schlagwetterexplosionen verhindert werden können.

Am 8. April 1812 wurde Davy geadelt. Drei Tage später heiratete er eine wohlhabende Witwe. Die Ehe blieb kinderlos, das Geld aber ermöglichte den beiden grosse Reisen.

Am 1. März 1813 stellte Davy einen gewissen Michael Faraday, Zuhörer seiner Vorlesungen, als Laborgehilfen ein. Böse Zungen meinten später, dies sei seine grösste Entdeckung gewesen. Faraday begleitete Davy und dessen Frau auf allen Reisen als Laborgehilfe und Kammerdiener.

Da König Georg IV. sich für die in Pompeii karbonisierten Papyrusrollen interessierte, musste Davy 1818 nach Neapel reisen. Er hätte ein Mittel finden sollen, die Rollen zu öffnen, was ihm jedoch nicht gelang.

1820 wurde Davy zum Präsidenten der Royal Society gewählt. Seine Gesundheit liess bald zu wünschen übrig. Vergebens suchte er auf verschiedenen Reisen nach Italien Heilung. 1826 erlitt er einen Schlaganfall, der ihn zum Rücktritt aus der Society zwang. Von da an reiste, jagte und fischte er und machte Studien über Vulkane. Er starb auf der Heimreise von Rom am 28. Mai 1829 in Genf, wo er auf dem Friedhof von Plainpalais beigesetzt wurde. Seine Gattin stiftete zu seinem Andenken bei der Genfer Akademie einen Preis, der alle 10 Jahre dem Chemiker zugesprochen werden soll, der das neueste und fruchtbarste Experiment vorgeführt hat.

H. Wüger