

VPE-isolierte Mittelspannungskabel Zustandsbeurteilung - aber wie ?

D. Meurer

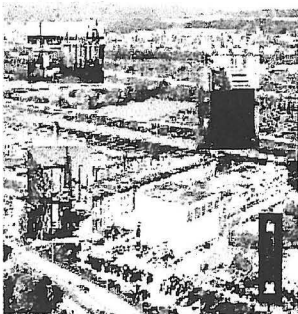
Nexans Deutschland Industries AG & Co. KG, Hannover

Im Rahmen des Micafil-Symposiums 1999 stand für das Betriebsmittel Kabel, genauer Kabelsysteme für Mittel- und Hochspannung, die Frage im Mittelpunkt, ob diagnostische Maßnahmen überhaupt angebracht und hilfreich sind.

Dazu wurden die Alterungsphänomene der verschiedenen im Netz betriebenen Kabelbauarten einschließlich Garnituren diskutiert, die Wirksamkeit der Maßnahmen zur Alterungsprävention und die möglichen Diagnoseansätze dargestellt.

Als Ergebnis dieser Überlegungen wurde zusammengefasst, dass Maßnahmen zur Alterungsdiagnose bei Vorliegen eines konkreten Diagnosezieles durchaus gerechtfertigt sein können, dass sie jedoch nach derzeitigem Stand der Kenntnisse auch weiterhin nicht als integraler Bestandteil des Betriebes von Kabelstrecken betrachtet werden müssen.

Wartung von
Isolationssystemen in Betriebsmitteln
Transformator - Schaltanlagen - Kabel



MICAFIL

29. September bis
30. September 1999
in Stuttgart

Kabelsysteme für Mittel- und Hochspannung Installieren und vergessen ?

➤ ...

➤ Alterungsdiagnose:

falls begründet: ja

„betriebsbegleitend“: eher nein

➤ ...

sekundär: Kenntnis des Alterungszustandes

- primär:**
- **Betriebssicherheit nach Fehlern**
 - **Netzzuverlässigkeit**
 - **Austauschplanung/ Prioritätenliste**
 - **Investitionsplanung**
 - **Netzplanung/ Bestandsaufnahme**

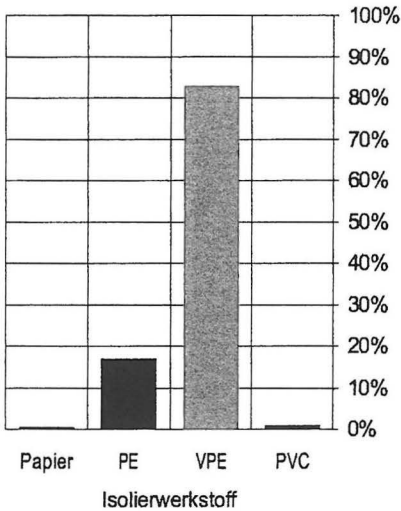
Welche Kabel sind besonders interessant ?

Maßnahmen zur Alterungsdiagnose verursachen Kosten, die durch den Nutzen im Hinblick auf das Diagnoseziel gerechtfertigt sein müssen.

Auf Grund der spezifischen Langzeiteigenschaften von Kabelsystemen, muss deshalb der ingenieurmäßig verständliche Wunsch nach der Kenntnis der Zustand eines Kabelnetzes eher als sekundäres Diagnoseziel eingestuft werden.

Einige von Betreibern aktuell als primär erkannte Gründe, Kabelnetze oder Teile davon diagnostisch zu untersuchen sind oben aufgelistet und lassen sich grob in 2 Bereiche einteilen:

- die eher kurzfristige technische Sicherstellung der erforderlichen Versorgungssicherheit und
- die mittel- und langfristige, ökonomisch vertretbare Planung einer angestrebten Netzqualität.



Kabelbauart: Mittelspannung

Untersuchung: Alterungsdiagnose

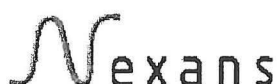
Beobachtungszeitraum: 1977 - 2000

**Aufteilung der untersuchten
Kabel nach dem Isolierwerkstoff**

Die Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur Alterungsdiagnose findet insbesondere bei denjenigen Kabelbauarten statt, die in einer überschaubaren Vergangenheit signifikant am Fehlgeschehen beteiligt waren.

Ein Abbild dieses Fehlgeschehens ist - mit gewissen Einschränkungen - sicher die Verteilung der zwischen 1977 und 2000 in den Labors von Nexans und seinen Vorgängerunternehmen durchgeführten Untersuchungen an Kabeln aus Betrieb, die von Kunden und Betreibern in der Regel nach Kabelstörungen in Auftrag gegeben wurden.

Erwartungsgemäß wird die Verteilung von Kabeln mit einer Isolierung aus vernetztem Polyethylen dominiert, was allerdings weniger ein Indiz ist für die mangelhafte Qualität dieser Kabel, sondern vielmehr die Tatsache widerspiegelt, dass die gesamte frühe Anwendungsphase mit allen "Kinderkrankheiten" der damals neuen Technologie innerhalb des Untersuchungszeitraumes liegt.



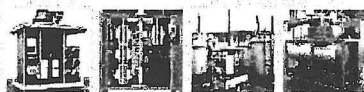
MICAFIL

**VPE-isolierte
Mittelspannungskabel
Alterungsdiagnose: aber wie?**

Symposium 2002

20. 03. – 21. 03. 2002
Filderhalle Stuttgart

*Wartung von Isolationssystemen in Transformatoren,
Schaltanlagen und Kabeln:
Beiträge zu einem kostengünstigen Assetmanagement und
innovativer Instandhaltungsstrategie*



Dr.-Ing. D. Meurer

Leiter Engineering Energiekabel

Nexans Deutschland Industries AG & Co. KG

Kabelkamp 20 - 30179 Hannover

Tel: +49 (0) 511 676-2072 - Fax: +49 (0) 511 676-2261

Dietmar.Meurer@nexans.com - + 49 (0) 171 470 57 37

Energy Networks/Engineering/Dr. Meurer

VPE-MS Kabel-Alterungsdiagnose / Folie 4

Unter der Annahme, dass eines der erwähnten Diagnoseziele die Planung und Durchführung diagnostischer Maßnahmen rechtfertigt, sollen im Rahmen dieses Symposiums mögliche Schritte zur praktischen Zustandsbestimmung an Kabeln vorgestellt und Alternativen aufgezeigt werden.

Zur Eingrenzung des Themas und auch vor dem Hintergrund der aktuellen Interessenslage deutscher Netzbetreiber wird beispielhaft das VPE-isolierte Mittelspannungskabel zur Darstellung möglicher Diagnosestrategien ausgewählt.



Diagnoseobjekt - Basisdaten

Welches Objekt will ich untersuchen und was weiß ich davon ?

- **Kabeltyp**
- **Fertigungsjahr**
- **Hersteller**
- **Betriebszeit**

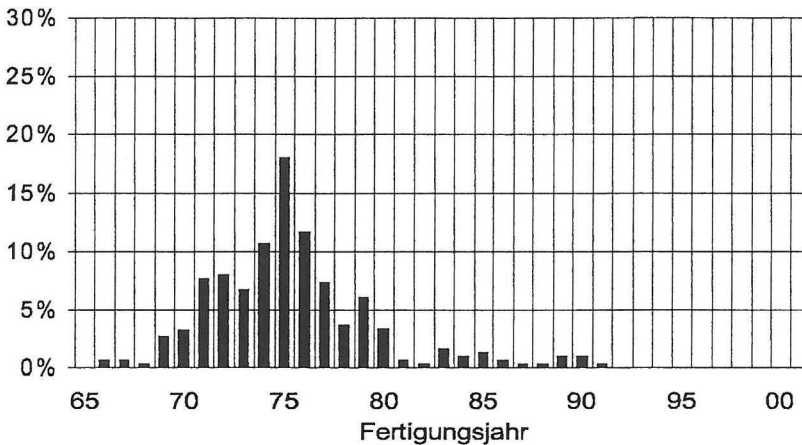
- **Kabellänge**
- **Verlegebedingungen**
- **Betriebsbedingungen**
- **bisheriger Schadensverlauf**

- **Bedeutung der Strecke**

Messwerte, gewonnen ausschließlich durch die Anwendung physikalischer Verfahren an Kabelendverschlüssen, oder Kabelmuster, oft zufällig in der Nähe eines Fehlers aus der Strecke geschnitten, liefern in der Regel keine tragfähige Basis für den Aufbau einer seriösen Diagnosestrategie.

Erst zusätzliche Informationen zum Kabel selbst, aber auch zu Fragen der Betriebsbedingungen und möglicherweise des bisherigen Schadensverlaufes erlauben vor dem Hintergrund umfangreicher Erfahrungen eine frühzeitige Einschätzung des zu erwartenden Alterungszustandes und eine angepasste Zuordnung diagnostischer Maßnahmen.

Mit Sicht auf den Kostenaspekt ist sicher auch eine realistische Einschätzung der Bedeutung der zur Untersuchung anstehenden Strecke hilfreich.

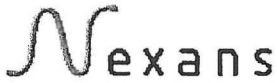


**Verteilung der untersuchten Kabel
über die Fertigungsjahre**

Als Beispiel für die Bedeutung dieser Basisdaten ist die Verteilung der untersuchten VPE-MS-Kabel nach Störungen im Betrieb über die Fertigungsjahre angegeben.

Die Gründe für solche charakteristischen Verteilungen sind heute im wesentlichen bekannt und die veröffentlichten Schadensstatistiken erlauben sogar eine Aufschlüsselung nach verschiedenen Herstellern.

Die Zuordnung einer zur Diagnose anstehenden Kabelstrecke im Rahmen statistischer Auswertungen prüft die Zugehörigkeit des Kabels zu einer statistischen Gruppe und erlaubt dadurch mit einer gewissen statistischen Sicherheit ohne weitere Untersuchungen die Übertragung des singulären Diagnoseergebnisses auf ähnliche andere Kabel.



Diagnosestrategie

Diagnoseobjekt - Basisdaten

Diagnose Vor-Ort

Diagnose im Labor

Spannungsprüfung

dielektrische
Messungen

nichtelektrische
Untersuchungen

elektrische
Untersuchungen

am
Mantel

Aufbau
Abmessungen

dielektrische
Messungen

am
Isoliersystem

äußerer
Zustand

AC-
Stepptest

Transparentprüfung
"Aufklartest"

mikroskopische
Untersuchung

Die angesprochenen Basisdaten einer Kabelstrecke bilden den Ausgangspunkt der Diagnosestrategie.

Noch unabhängig von den speziellen Mess- und Untersuchungsverfahren kann zwischen 2 grundsätzlichen Vorgehensweisen unterschieden werden:

- der Diagnose an der verlegten Kabelstrecke Vor-Ort
- der Diagnose an Prüflingen im Labor

Beide Methoden können alternativ eingesetzt werden oder im Rahmen einer umfassenden Diagnostik sich gegenseitig ergänzend.

	Vorteile	Nachteile
Diagnose Vor-Ort	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Prüfung erfasst gesamte Strecke (Garnituren, unterschiedlich gealterte Abschnitte) ➤ Betriebsunterbrechung vergleichsweise kurz 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Anzahl untersuchbarer Alterungsindikatoren ist beschränkt ➤ Spannungsprüfungen weisen nur Mindestrestfestigkeit nach ➤ Risiko des Kabeldurchschlages
Diagnose im Labor	<ul style="list-style-type: none"> ➤ alle bekannten Alterungsindikatoren können untersucht werden ➤ Restfestigkeit der Kabelprobe direkt bestimmbar 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Kabelstrecke muss geschnitten und mit 2 Reparaturmuffen wiederhergestellt werden ➤ Zustand der Garnituren wird in der Regel nicht erfasst

Die Alterungsdiagnose an Kabeln Vor-Ort und die Untersuchung von Kabelproben im Labor unterscheiden sich im Hinblick auf das Diagnosepotenzial und den Diagnoseaufwand.

Aus technischer Sicht wird die Zuverlässigkeit einer Diagnoseaussage sicher optimiert, wenn beide Wege für alle zu untersuchenden Kabelstrecken parallel verfolgt werden.

Da dies in der Regel wirtschaftlich nicht realisierbar ist, muss vor dem Hintergrund statistischer Überlegungen und Erfahrungswerte ein Stichprobenplan erarbeitet werden, in dem beide Ansätze berücksichtigt werden.



Vor-Ort: Spannungsprüfung

Fehlersuche am Mantel:

Gleichspannung (DC): $\leq 3\text{kV}$ bei PVC ; $\leq 5\text{kV}$ bei PE

Spannungsprüfung am Isoliersystem:

Gleichspannung (DC): $\leq 6-8U_0$ (nicht zu empfehlen)

Wechselspannung (AC): $\leq 2U_0$; 45-65 Hz;

VLF-Spannung (0,1 Hz): $\leq 3 U_0$

Stoßspannung (IV): $\leq 6-8U_0$

Spannungsprüfungen mit TE- Messung (neu):

an Garnituren : Fehlerortung möglich

Oscillating Voltage : Ortung möglich, TE-mapping

Spannungsprüfungen an den Komponenten von Kabelsystemen stehen auch heute noch im Mittelpunkt der Vor-Ort durchgeführten Alterungsdiagnose an Kabeln.

Auf Grund des vergleichsweise geringen Diagnosepotenzials und eines relativ hohen Risikos der Schädigung durch die Prüfung ist allerdings für VPE-isolierte MS-Kabel die Gleichspannungsprüfung in der Zwischenzeit weitgehend aus der Prüfpraxis verschwunden.

Hinzugekommen und derzeit gerade im Bereich der kommerziellen Umsetzung ist die Kombination von Spannungsprüfungen mit ortselektiven TE-Messungen, die insbesondere für die diagnostische Einbindung von Garnituren einen wesentlichen Fortschritt versprechen.



Diagnose - dielektrische Messungen

	0,1 Hz Verlustfaktor	Wiederkehr- spannung	IRC-Analyse
Spannung	bis $2U_0$	bis $2U_0$	etwa 1 kV
Prüf- / Zykluszeit	Minuten	< 1h	< 1h
Messsignal	$U, I \rightarrow \tan\delta$	DC-Spannung (V)	Strom (pA – nA)
Störfestigkeit (Leckströme, TE)	mittel	niedrig	hoch
Alterungsindikator	$\tan\delta = f(U)$	$U_{rec} = f(U_{pol}, t)$	$I_{relax} = f(t)$
Klassifizierung des Alterungszustandes	ja	ja	ja
Prognose der Restfestigkeit	nein	nein	ja
Prognose der Restlebensdauer	nein	nein	nein

Energy Networks/Engineering/Dr. Meurer

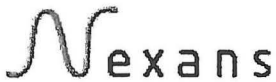
VPE-MS Kabel-Alterungsdiagnose / Folie 10

Ein Ergebnis der Suche nach neuen Alterungsindikatoren für VPE-isolierte Kabel war, dass sich offensichtlich wesentliche Alterungsprozesse, die auch die elektrische Festigkeit beeinflussen, im komplexen Polarisationsverhalten des dreischichtigen Isoliersystems aus teilkristallinen Kunststoffen nachweisen lassen.

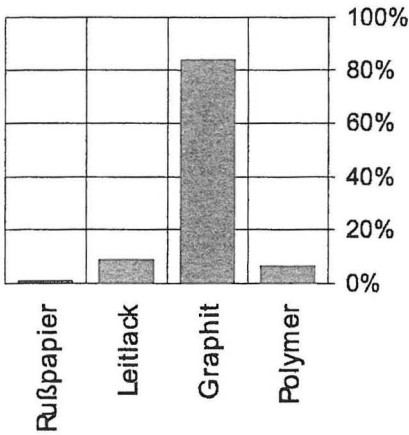
In der Zwischenzeit sind Verfahren und Geräte kommerziell verfügbar, die mit hoher Empfindlichkeit durch Messungen im Zeit- oder Frequenzbereich alterungsrelevante Eigenschaften des Polarisationspektrums ermitteln können.

Durch die Verknüpfung mit Datenbanken und moderne statistische Verfahren ist aus den Ergebnissen dieser zerstörungsfreien dielektrischen Messungen eine Prognose der Restfestigkeit möglich.

Eine statistisch abgesicherte Prognose der Restlebensdauer ist hingegen wegen der bis heute nur unzureichend beschreibbaren Dynamik des Alterungsprozesses auch in Ansätzen nicht erkennbar.



Labor: Aufbau/Abmessungen



Kabel aus Betrieb 1977 - 2000
Verteilung nach der Bauart
der äußeren Leitschicht

Wanddicken und Durchmesser

LSI: innere Leitschicht

ISO: Isolierung

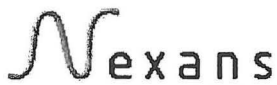
LSA: äußere Leitschicht

	Probe 1 Ø in mm Dicke in mm	Probe 2 Ø in mm Dicke in mm	Probe 3 Ø in mm Dicke in mm
Leiter	11,4 --	11,6 --	11,4 --
LSI	13,3 0,95	13,5 0,94	13,3 1
ISO	24,6 5,7	25 5,7	25 5,9
LSA	graphitisiert		
Mantel	32,7 2,6	32,9 2,7	32,7 2,6

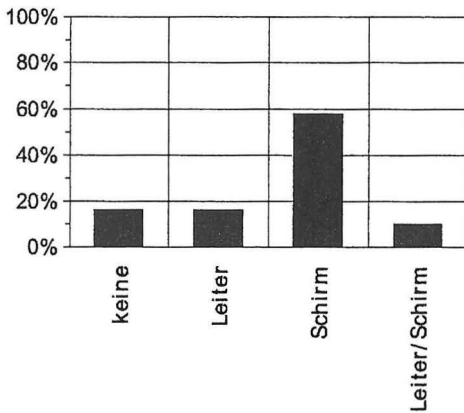
Den ersten Schritt einer Kabeldiagnose im Labor bildet in der Regel eine eingehende Aufbauuntersuchung. Dabei werden alle konstruktiven Merkmale des Kabels erfasst, die nicht aus den Basisdaten abgelesen werden können.

Dazu gehört z.B. die Bauart der inneren Leitschicht (s.o.), die sich im Zuge der Weiterentwicklung VPE-isolierter MS-Kabel mehrfach veränderte und nachweislich einen Einfluss auf das Alterungsverhalten ausübt.

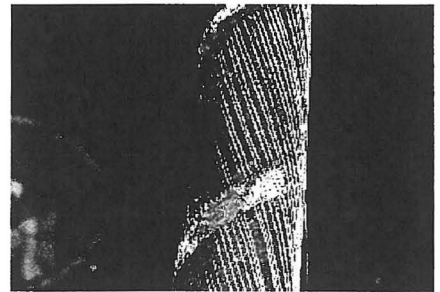
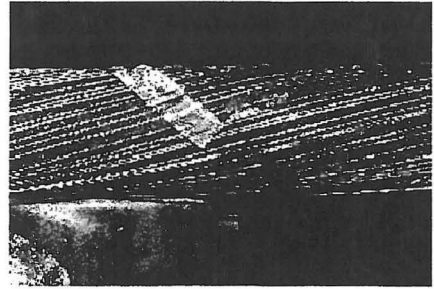
Eine Überprüfung der Kabelgeometrien gibt Hinweise darauf, ob z.B. bei diesem Prüfling mit spezifischen Phänomenen gerechnet werden muss.



Labor: äußerer Zustand



Kabel aus Betrieb 1977 - 2000 Korrosion der metallischen Aufbauelemente



Energy Networks/Engineering/Dr. Meurer

VPE-MS Kabel-Alterungsdiagnose / Folie 12

Der äußere Zustand aller metallischen und nichtmetallischen Aufbauelemente lässt wichtiger Rückschlüsse auf den elektrischen Zustand des Isoliersystems zu.

Dabei geben insbesondere Korrosionserscheinungen am Schirm und am Leiter Hinweise auf die Lebensgeschichte und die Betriebsbedingungen des Kabels.

Eine Klassifizierung des Befundes und eine Abschätzung der Ursachen spezifischer Phänomene ist allerdings in der Regel schwierig und erfordert eine große Erfahrung im diagnostischen Bereich.



Labor: äußerer Zustand

	Probe 1	Probe 2	Probe 3
Leiter	- trocken - keine Korrosion	- freies Wasser - starke Korrosion	- trocken - keine Korrosion
Isolierung	- dampfvernetzt - auf der Oberfläche leichte Riefen	- dampfvernetzt - auf der Oberfläche leichte Riefen	- dampfvernetzt - auf der Oberfläche leichte Riefen und eine Rippe
Schirm	- keine Korrosion	- starke Korrosion	- beginnende Korrosion
Bänder	leitendes Krepppapier unter Schirm und bituminiertes Krepppapier über Schirm leicht feucht	leitendes Krepppapier unter Schirm und bituminiertes Krepppapier über Schirm nass, teilweise verrottet	leitendes Krepppapier unter Schirm und bituminiertes Krepppapier über Schirm leicht feucht
Mantel	leichte Verleges Spuren	leichte Verleges Spuren	leichte Verleges Spuren

Energy Networks/Engineering/Dr. Meurer

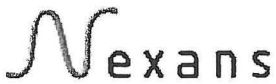
VPE-MS Kabel-Alterungsdiagnose / Folie 13

Da Wasser für das VPE-Isoliersystem als wesentlicher Alterungsbeschleuniger gilt, ist die Suche nach Feuchtigkeit wesentlicher Bestandteil der Aufbauuntersuchung.

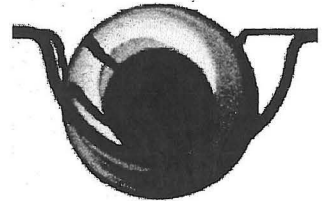
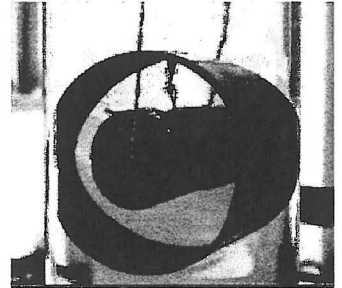
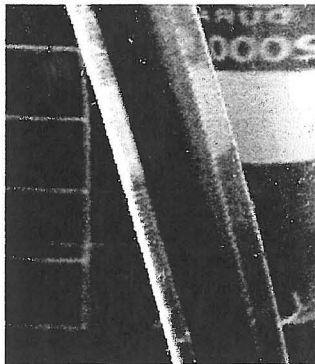
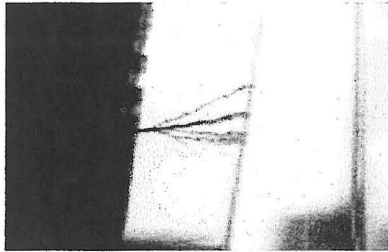
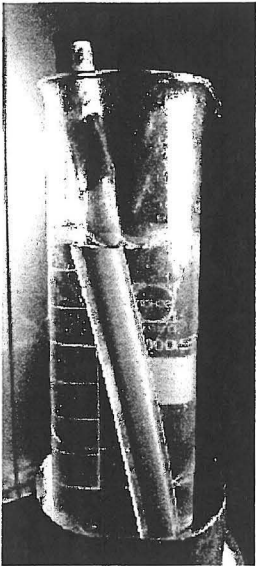
Der Nachweis erfolgt direkt durch Vorliegen von freiem Wasser oder nassen Befunden oder indirekt über die Korrosionsspuren der metallischen Komponenten Leiter und Schirm.

Folie 13 zeigt beispielhaft den realen Befund der Aufbauuntersuchung im Rahmen einer Alterungsdiagnose.

Probe 2 unterscheidet sich in diesem Fall signifikant von Probe 1 und Probe 3. Sowohl vom Leiter, als auch vom Schirm her, hat hier offensichtlich über lange Zeit Wasser am Isoliersystem angestanden. Es kann deshalb in Verbindung mit der vorliegenden Konstruktion mit einer deutlich weiter fortgeschrittenen Alterung dieser Probe gerechnet werden.



Labor: Transparentprüfung



Energy Networks/Engineering/Dr. Meurer

VPE-MS Kabel-Alterungsdiagnose / Folie 14

Bei einer Temperatur über dem Kristallitschmelzpunkt von ca. 110° C geht vernetztes Polyethylen in einen optisch transparenten Zustand über.

Es unterscheidet sich damit von allen anderen Feststoffisolierungen und erlaubt die visuelle Beurteilung des inneren Zustandes des Isoliersystems. Dazu gehört die Qualität der Grenzflächen zwischen Isolierung und Leitschichten, die Sauberkeit der Isolierung und insbesondere auch alterungsbedingte Veränderungen des Systems.

Die Transparentprüfung, üblicherweise in Silikonöl durchgeführt, ist damit ein zentrales Element diagnostischer Untersuchungen VPE-isolierter MS-Kabel.

	Probe 1	Probe 2	Probe 3
innere Leitschicht	viele kleine Pickel, „raue“ Oberfläche (Stand der Technik)	viele kleine Pickel, Schleifspuren	viele Pickel und Blasen, 2 electrical trees (Länge ca. 1,5mm)
Isolierung	Fließstrukturen (wolkenartig) viele kleine Inhomogenitäten	keine Besonderheiten	viele kleine Inhomogenitäten
äußere Leitschicht (Graphit)	Rattermarken vented trees (z.T. dicht an dicht)	Orangenhautoberfläche	viele lange vented trees (>60% ISO, netzförmig verteilt), fast jeder vt trägt einen electrical tree

Folie 15 zeigt ein Beispiel für das Ergebnis einer Transparentprüfung mit einer Vielzahl an beobachteten Phänomenen.

Dazu gehören die Alterungsindikatoren selbst, die aussagefähige Hinweise auf den Zustand des Isoliersystems geben (siehe Probe 3, äußere Leitschicht):

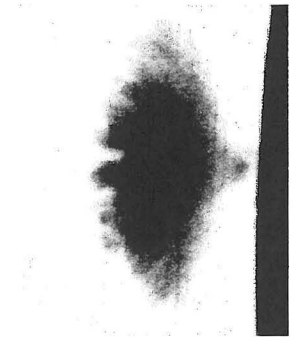
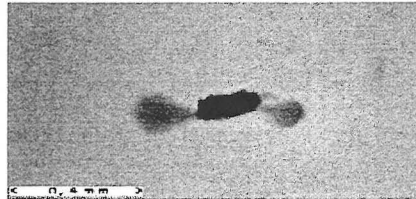
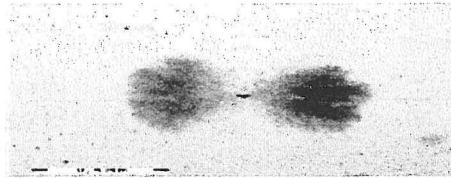
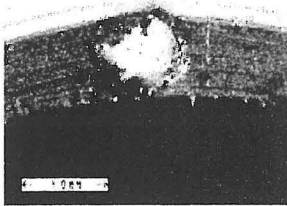
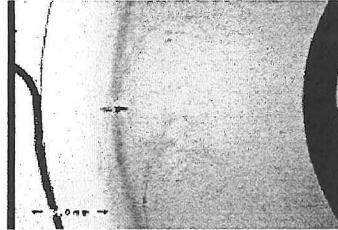
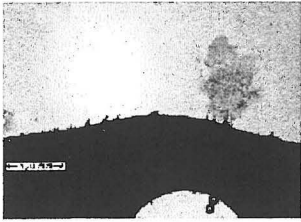
- viele lange vented trees (vt)
- mehr als 60% der Isolierung überbrückt .
- auf vielen vt haben electrical trees gezündet

aber auch typische Qualitätsmerkmale einer Isolierung (Pickel, Blasen, Rattermarken, Fließstrukturen).

Bei Kenntnis des technologischen Hintergrundes der verschiedenen im Netz befindlichen Kabelgenerationen sind aus diesen Qualitätsmerkmalen Rückschlüsse auf das spezifische Alterungsverhalten und in gewissem Umfang auch auf die Alterungsdynamik möglich.



Labor: mikroskopische Untersuchungen



Energy Networks/Engineering/Dr. Meurer

VPE-MS Kabel-Alterungsdiagnose / Folie 16

Nach der qualitativen Beurteilung des Isoliersystems im transparenten Zustand werden im Zuge der Alterungsdiagnose in der Regel die grob lokalisierten Unregelmäßigkeiten herauspräpariert und unter dem Lichtmikroskop weiter untersucht.

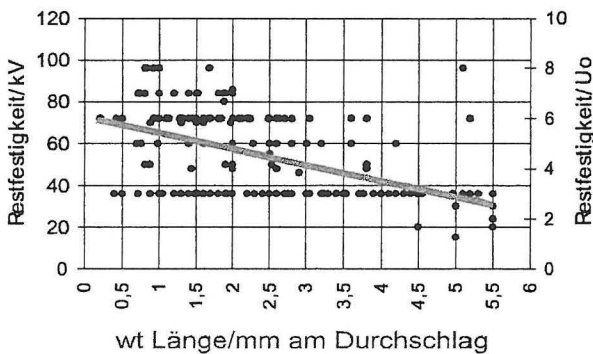
Präparation umfasst in diesem Zusammenhang das Anfertigen von Dünnschnitten mit dem Mikrotom und zum besseren Nachweis von water trees das Einfärben der Proben.

Danach können z.B. die wt-Strukturen vermessen und nach ihrer Form und Größe bewertet, aber auch die innere Struktur der Leitschichten und die Herkunft von Grenzschichtinhomogenitäten geklärt werden.



Labor: mikroskopische Untersuchung

Ergebnis wt-Untersuchung (nach DIN VDE 0276-605/A1)											
vented trees innen (vti)				bow tie trees (btt)				vented trees außen (vta)			
0,20- 0,49 mm	0,50- 0,99 mm	≥ 1,00 mm	max. mm	0,20- 0,49 mm	0,50- 0,99 mm	≥ 1,00 mm	max. mm	0,20- 0,49 mm	0,50- 0,99 mm	≥ 1,00 mm	max. mm
2	1	0	0,74	100	0	0	0,34	30	10	0	0,62



**Kabel aus Betrieb
1977 - 2000
Bauart: VPE 12/20 kV**

Energy Networks/Engineering/Dr. Meurer

VPE-MS Kabel-Alterungsdiagnose / Folie 17

Folie 17 zeigt die Auswertung einer mikroskopischen wt-Untersuchung, wie sie für VPE-isolierte MS-Kabel nach der Alterungsprüfung in der DIN VDE 0276-620 vorgeschrieben ist.

Dort werden als Maß für die fortschreitende Alterung die vt an der inneren/äußeren Leitschicht und die btt in der Isolierung in drei Größenklassen gezählt und zusätzlich der längste gefundene tree dokumentiert.

Das Diagramm der elektrischen Restfestigkeit über der wt-Länge belegt die Korrelation beider Größen, zeigt aber auch die typischen statistischen Streuungen, die eine Prognose der Restfestigkeit nur aus der wt-Auswertung unmöglich machen.



Diagnose - dielektrische Messungen

	0,1 Hz Verlustfaktor	Wiederkehr- spannung	IRC-Analyse
Spannung	bis $2U_0$	bis $2U_0$	etwa 1 kV
Prüf- / Zykluszeit	Minuten	< 1h	< 1h
Messsignal	$U, I \rightarrow \tan\delta$	DC-Spannung (V)	Strom (pA – nA)
Störfestigkeit (Leckströme, TE)	mittel	niedrig	hoch
Alterungsindikator	$\tan\delta = f(U)$	$U_{rec} = f(U_{pol}, t)$	$I_{relax} = f(t)$
Klassifizierung des Alterungszustandes	ja	ja	ja
Prognose der Restfestigkeit	nein	nein	ja
Prognose der Restlebensdauer	nein	nein	nein

Dielektrische Messungen an Kabeln zur Bestimmung des alterungsabhängigen Polarisationsverhaltens (siehe Seite 10) können auch bei diagnostischen Untersuchungen im Labor wichtige Informationen zum globalen Alterungszustand des Prüflings liefern.

Insbesondere die Prognose der Restfestigkeit aus dem IRC-Verfahren in Verbindung mit der tatsächlich erreichten Durchschlagspannung im Steptest und der Auswertung lokaler Alterungsphänomene in der mikroskopischen Untersuchung kann bei der abschließenden Bewertung der Diagnoseergebnisse hilfreich sein.

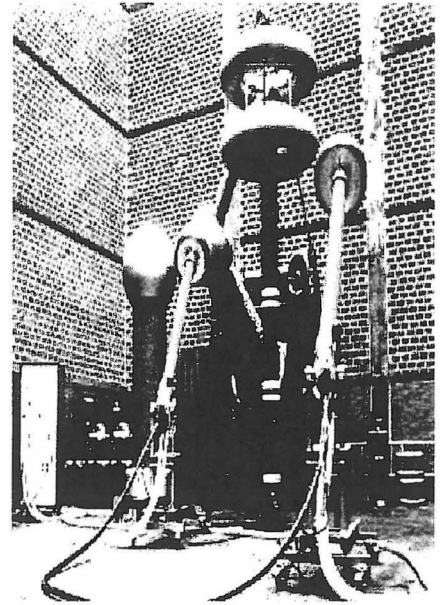


Labor: AC-Steptest

„FGH“-Steptest für gealterte 12/20 kV VPE-Kabel

1. Stufe:	3 U ₀	60 min	36 kV
2. Stufe:	4 U ₀	15 min	48 kV
> 3. Stufe:	Stufenhöhe U ₀ / Stufendauer 5 min		

**Die Spannung wird bis zum
Durchschlag gesteigert.**



Energy Networks/Engineering/Dr. Meurer

VPE-MS Kabel-Alterungsdiagnose / Folie 19

Aktuelle Festigkeitswerte VPE-isolierter Kabel müssen immer in Verbindung mit dem Prüfspannungsverlauf bis zum Durchschlag bewertet werden. Eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist nur bei gleicher Beanspruchung gegeben.

Zur Ermittlung der Restfestigkeit von gealterten VPE-Kabelstrecken hat sich seit langem in Deutschland der sogenannte FGH-Steptest etabliert (s.o.).

Die Stufenhöhen und Stufenzeiten dieser Spannungsprüfung bis zum Durchschlag wurden in umfangreichen Untersuchungen auf das spezifische Durchschlagverhalten betriebsgealterter Kabel abgestimmt.



Labor: AC-Steptest

Probe	Datum des Steptests	Steptestergebnis	IRC- Prognose
KB 99.02.01	06.04.99	7 U_0 = 84 kV / 0,5 min	6 U_0 = 72 kV
KB 99.02.02	06.04.99	8 U_0 = 96 kV / 0,5 min	7 U_0 = 84 kV
KB 99.02.03	06.04.99	7 U_0 = 84 kV / 3 min	7 U_0 = 84 kV

➤ Mikroskopische Durchschlaguntersuchung

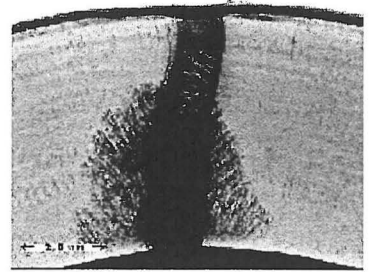
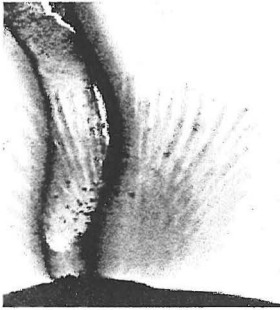
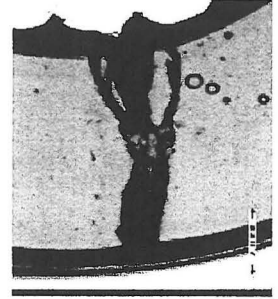
Folie 20 zeigt das Ergebnis einer Restfestigkeitsuntersuchung an 3 Kabelprüflingen. Zusätzlich ist die Festigkeitsprognose des IRC-Verfahren angegeben.

Aus der Tabelle lassen sich z.B. folgende Aussagen ableiten:

- die Durchschlagspannungen der 3 Kabel liegen eng beieinander, alle 3 Phasen des untersuchten Systems scheinen ähnlich stark gealtert zu sein (was aus vielen Gründen durchaus nicht immer der Fall ist)
- die Prognose der globalen Restfestigkeit stimmt weitgehend mit der tatsächlich ermittelten überein, die Festigkeit der Kabel wird damit offensichtlich nicht durch lokale Alterungsphänomene bestimmt, was z.B. auch auf eine angemessene Fertigungsqualität hinweist.

Nexans

Labor: Durchschlagursache



Energy Networks/Engineering/Dr. Meurer

VPE-MS Kabel-Alterungsdiagnose / Folie 21

Die mikroskopisch Suche nach der Durchschlagursache steht häufig am Ende der Alterungsdiagnose im Labor. Die Präparationstechniken sind dabei sehr ähnlich denen der wt-Untersuchung (Dünnschnitte und Einfärben).

Im Gegensatz zu Durchschlägen im Netz, deren Ursache in der Regel auf Grund des großen Ausbrandes nicht mehr zu finden ist, kann im Labor zumindest dann, wenn der Steptest mit einer vergleichsweise energieschwachen Resonanzanlage gefahren wurde, die Durchschlagursache und die Durchschlagrichtung in vielen Fällen noch festgestellt werden.

VPE-isolierte Mittelspannungskabel Alterungsdiagnose: aber wie?



1. Diagnosestrategie ✓
2. Diagnoseverfahren ✓
3. Zustandsbeurteilung ?



**Eine umfassende Zustandsbeurteilung
von gealterten Kabeln
durch Systeme ohne Experten
ist in absehbarer Zukunft unwahrscheinlich.**

Ganz allgemein kann die Alterungsdiagnose an Betriebsmitteln der Energietechnik als dreistufiger Prozess verstanden werden.

1. Vor dem Hintergrund des Diagnoseziels muss eine Diagnosestrategie mit optimiertem Kosten-Nutzen Verhältnis entwickelt werden.
2. Aus den technisch verfügbaren Diagnoseverfahren werden die im Rahmen der Diagnosestrategie sinnvollen selektiert und angewendet.
3. Die Ergebnisse der verschiedenen Diagnoseverfahren müssen analysiert, bewertet und im Sinne einer Zustandsbeurteilung zusammengefasst werden.

Insbesondere für den letzten Schritt, die Zustandsbeurteilung, wird aktuell verstärkt an einer Automatisierung unter Einbeziehung z.B. neuer statistischer Verfahren und Methoden der Fuzzy-Logik gearbeitet, gesucht wird das Expertensystem.

Zumindest für das Betriebsmittel Kabel erscheint eine umfassende Alterungsdiagnose ohne die Mitwirkung eines kompetenten Fachmanns auf Grund der komplexen Mechanismen und Wechselwirkungen im mikroskopischen und makroskopischen Bereich in absehbarer Zukunft jedoch eher unwahrscheinlich.