

# Einfluß von Grenzflächen auf die Lebensdauer elektrischer Isolierungen

Grundlagen, Diagnostik, Betriebserfahrungen

# 76

**ETG-Fachbericht**

*Vorträge der ETG-Fachtagung  
am 21. und 22. September 1999  
in Bad Nauheim*

*Energietechnische Gesellschaft im VDE (ETG)*

# Einfluß von Grenzflächen auf die Lebensdauer elektrischer Isolierungen

Grundlagen, Diagnostik, Betriebserfahrungen

Vorträge der ETG-Fachtagung  
am 21./22. September 1999 in Bad Nauheim

Wissenschaftliche Tagungsleitung:  
Prof. Dr.-Ing. D. König, TU Darmstadt

Veranstalter:  
Energietechnische Gesellschaft im VDE (ETG)  
ETG-Fachbereich 9  
„Werkstoffe in Betriebsmitteln, Prüfung und Diagnostik“  
in Zusammenarbeit mit EUREL  
(Convention of National Societies of Electrical Engineers of Europe)

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Einfluß von Grenzflächen auf die Lebensdauer elektrischer Isolierungen :**

Grundlagen, Diagnostik, Betriebserfahrungen ; Vorträge der ETG-Fachtagung am 21./22. September 1999 in Bad Nauheim / Verant.: Energietechnische Gesellschaft im VDE (ETG), ETG-Fachbereich 9 „Werkstoffe in Betriebsmitteln, Prüfung und Diagnostik“ in Zusammenarbeit mit EUREL (Convention of National Societies of Electrical Engineers of Europe). Wiss. Tagungsleitung: D. König. - Berlin ; Offenbach : VDE VERLAG, 1999 (ETG-Fachbericht ; 76)  
ISBN 3-8007-2474-X

ISSN 0341-3934

© 1999 VDE VERLAG GMBH, Berlin und Offenbach, Bismarckstraße 33, D-10625 Berlin

Alle Rechte vorbehalten

Druck: Gerhard Weinert GmbH, Berlin

9909

## Vorwort

Die Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit der Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Anwendung elektrischer Energie hängt entscheidend von der Funktionsfähigkeit der in den Betriebsmitteln eingesetzten Isolierungen ab. Ein frühzeitiges Erkennen alterungsbedingter Schwachstellen trägt dazu bei, Schäden zu begrenzen und Folgeschäden sowie die damit verbundenen Kosten zu vermindern.

Durch gezielte Schwachstellenbeseitigung wird die Lebensdauer wertvoller Einrichtungen verlängert.

Dies setzt vertiefte und neue Kenntnisse über die für die Alterung wesentlichen Phänomene voraus. Besonderes Augenmerk ist in diesem Zusammenhang auf die Bereiche zu richten, die als Grenzflächen bezeichnet werden ("interface"-Problematik). Grenzflächen zwischen verschiedenen Dielektrika treten in technischen Isolierungen sowohl makroskopisch in Form "äußerer" aber auch mikroskopisch in Form "innerer" Grenzflächen auf. Die hier ablaufenden Vorgänge bestimmen im wesentlichen das Alterungsverhalten des gesamten Isoliersystems.

Ziel der Fachtagung ist es daher, neue Erkenntnisse über die Vorgänge in Grenzflächenbereichen zu vermitteln. Weiterhin werden neue Möglichkeiten der Diagnostik im Hinblick auf die Entwicklung neuer Produkte sowie im Hinblick auf die Ermittlung betriebsbedingter Veränderungen aufgezeigt. Die Anwendung dieser neuen Erkenntnisse und Möglichkeiten sowie ihrer Grenzen ist bedeutend für alle energietechnischen Betriebsmittel, wie Generatoren, Transformatoren, Strom- und Spannungswandler, Schaltgeräte und Schaltanlagen, Durchführungen und Freileitungsisolatoren, Kabel und Kabelgarnituren.

In einigen Bereichen haben sich in den letzten Jahren durch Einsatz neuer Werkstoffe und Konstruktionen bahnbrechende Entwicklungen vollzogen, die bei der Fachtagung vorgestellt und diskutiert werden sollen.

Ein besonderes Anliegen der Fachtagung ist es, neben dem Erfahrungsaustausch der Fachleute auch eine fundierte Information des Ingenieur Nachwuchses über die wissenschaftlichen Grundlagen und die Praxisrelevanz der behandelnden Grenzflächenproblematik zu ermöglichen.

Diese Fachtagung setzt die Reihe überaus erfolgreicher Veranstaltungen des ETG-Fachbereichs 9 „Werkstoffe in Betriebsmitteln, Prüfung und Diagnostik“ fort. Beispielhaft seien hier die Fachtagungen „Isoliersysteme der elektrischen Energietechnik“, „Teilentladungserfassung an elektrischen Isoliersystemen“, oder „Silikonelastomere“ genannt.

Die Übersichtsvorträge und die Beiträge auf der Grundlage des „Call for Papers“ dieser ETG-Fachtagung sind in dem vorliegenden ETG-Fachberichtsband zusammengefaßt.

Prof. Dr.-Ing. Dieter König  
Institut für Hochspannungs- und Meßtechnik  
Technische Universität Darmstadt  
Wissenschaftlicher Tagungsleiter

Darmstadt, im Juli 1999

# Inhalt

## Vorgänge an Grenzflächen I

Sitzungsleitung Prof. Dr.-Ing. D. König

- Vorgänge an äußeren Grenzflächen unter erschwerten Innenraum-Bedingungen** ..... 9  
D. König, TU Darmstadt
- Vorgänge an äußeren Grenzflächen unter Freiluft-Bedingungen** ..... 27  
J. Kindsberger, TU Dresden
- Grenzflächen in gefüllten und faserverstärkten Kunststoffen** ..... 37  
A. Schütz, J. Seifert, CeramTec AG, Wunsiedel
- Innere Grenzflächen in Kabeln und Garnituren** ..... 45  
W.-D. Schuppe, Alcatel Kabel AG & Co., Mönchengladbach;  
W. Weißenberg, Pirelli Kabel und Systeme GmbH, Berlin
- Makroskopische, innere Grenzflächen in Hochspannungskabelgarnituren** ..... 51  
E. Gockenbach, Universität Hannover; D. Kunze, Pirelli Kabel und Systeme GmbH, Berlin
- Neue Erkenntnisse aus der Praxis der Verarbeitung von Siliconkautschuk  
(RTV 2 und LSR) zu Isolatoren und Kabelgarnituren – Einflüsse auf die elektrischen  
Grenzflächen** ..... 59  
K. Kurda, RCC Polymertechnik GmbH, Falkensee

## Vorgänge an Grenzflächen II

Sitzungsleitung Prof. Dr.-Ing. W.-D. Schuppe

- Zur Alterung von Aluminiumnitrid und Silikonweichvergußmasse  
in Hochleistungs-IGBT-Modulen** ..... 69  
T. Rümenapp, Universität Dortmund
- Die Leiter-Leitschicht-Grenzfläche als Auslöser der „Spannungsinduzierten  
Elektrochemischen Degradation“ (SIED) der inneren Leitschicht VPE-isolierter  
Mittelspannungskabel** ..... 77  
K. Steinfeld, W. Kalkner, TU Berlin
- Untersuchung von mikroskopischen Grenzflächenveränderungen in Polyethylen  
mit Kernresonanzspektroskopie (NMR)** ..... 85  
G. Salge, RWTH Aachen

## Postersession

### Gruppe 1: Makroskopische Grenzflächen

- Grenzfläche Freiluftisolator – Luft am Beispiel des Überschlagverhaltens von Isolatoren bei Schaltstoßbeanspruchung** ..... 91  
O. Elsässer, K. Feser, Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik, Universität Stuttgart
- Cycloaliphatic Epoxy Insulators – Experiences over 30 Years** ..... 99  
U. Maßen, Ch. Beisele, Ciba Spezialitätenchemie AG, Basel
- Einfluß einer leitfähigen Störstelle auf einem Stützisolator auf das Überschlagsverhalten in reinem N<sub>2</sub>-Gas und in SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub>-Gemischen** ..... 109  
A. Moukengué Imano, K. Feser, Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik, Universität Stuttgart
- Der Einfluss von Oberflächenladungen auf die Entladungsentwicklung an Stützern unter SF<sub>6</sub>.** ..... 115  
S. Tenbohlen, Alstom Schorch Transformatoren GmbH, Mönchengladbach, G. Schröder, Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen
- Das Verhalten von Tropfen auf polymeren Isolierstoffoberflächen bei Beanspruchung mit Wechselfeldspannung** ..... 123  
S. Keim, D. König, TU Darmstadt, Fachgebiet Hochspannungstechnik
- Untersuchungen an Oberflächen polymerer Isolierstoffe unter simultaner Einwirkung von Feuchte und hoher elektrischer Feldstärke im Hinblick auf die Oberflächenalterung innerhalb der Alterungsfrühphase** ..... 129  
H.-J. Klös, ABB Calor Emag Schaltanlagen AG, Ratingen
- Oberflächenverhalten polymerer Isolierstoffe unter Multi-Stress-Bedingungen – Bewertung von EP- und PUR-Oberflächen unter Spannungs- und Feuchtebelastung in einem modifizierten Radtest** ..... 137  
H. Jahn, R. Bärsch, HTWS Zittau/Görlitz
- Einflußgrößen auf die elektrische Festigkeit von Epoxidharz/Öl-Grenzflächen** ..... 145  
M. Krins, H. Borsi, E. Gockenbach, Schering-Institut für Hochspannungstechnik und Hochspannungsanlagen, Universität Hannover
- Dauerhafte Potentialsteuerung für Ständerwicklungen großer Generatoren** ..... 153  
F. Stobbe, J. R. Weidner, Siemens AG, Mülheim a. d. Ruhr

### Gruppe 2: Mikroskopische Grenzflächen

- Einfluß des Füllstoffes auf das Durchschlag- und Teilentladungsverhalten hochwärmebeständiger Epoxidharzformstoffe** ..... 161  
R. Kotte, E. Gockenbach, H. Borsi, Schering-Institut für Hochspannungstechnik und Hochspannungsanlagen, Universität Hannover
- Grenzflächenprobleme in mineralisch gefüllten Epoxidharzformstoffen** ..... 169  
J. Seifert, CeramTec AG, Wunsiedel

### Gruppe 3: Prüfungen

<b>Neue Diagnosegrößen für die Bewertung der TE-Alterung in hochbeanspruchten Isolationssystemen</b> .....	177
A. Küchler, FH Würzburg, Schweinfurt, Aschaffenburg	
J. Frost, N. Koch, R. Krump, HSP Hochspannungsgeräte Porz GmbH, Köln-Pforz	
<b>Bewertung der alterungsbedingten Oberflächenveränderungen in spaltförmigen Hohlräumen mittels phasenaufgelöster Teilentladungsmessung</b> .....	185
K. Temmen, Fakultät für Elektrotechnik, Universität Dortmund	
<b>Zur Charakterisierung und Lokalisierung von Fehlstellen in Isoliersystemen mit der Puls-Sequenz-Analyse</b> .....	191
R. Patsch, F. Berton, Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik und Diagnostik, Universität Siegen	
<b>Vergleich der ‚dielektrischen Antwort‘ von laborgealterten VPE-Homo- und Copolymer-isolierten Mittelspannungskabeln</b> .....	197
M. Kuschel, T. Kumm, Prof. W. Kalkner, TU Berlin, Fachgebiet Hochspannungstechnik	
<b>Chemisch-physikalische Veränderungen der Oberfläche polymerer Isolierstoffe unter „Multi-Stress-Bedingungen“</b> .....	205
U. Kaltenborn, ABB Corporate Research Ltd., Baden, Schweiz;	
J. Kindersberger, TU Dresden	

### Prüfungen und Betriebserfahrungen

Sitzungsleitung Prof. Dr.-Ing. J. Kindersberger

<b>Prüfmethoden für Isolierungen mit äußeren Grenzflächen</b> .....	213
J. Pilling, Cellpack GmbH, Zittau; R. Bärsch, HWTS Zittau/Görlitz;	
W. Petrusch, FGH, Mannheim	
<b>Prüfmethoden für Isolierungen mit inneren Grenzflächen – am Beispiel der Diagnostik PE/VPE-isolierter Mittelspannungskabel</b> .....	225
M. Kuschel, W. Kalkner, TU Berlin	
<b>Anforderungsbedingte Grenzflächenprobleme der Wicklungsisolierung rotierender elektrischer Maschinen – Design, Diagnose, Betriebserfahrungen</b> .....	233
K. Bauer, A. Bethge, M. Kaufhold, J. Risse, K. Schäfer, Siemens AG A&D Large Drives, Berlin/Nürnberg	
<b>Prüfungen an und Betriebserfahrungen mit Garnituren für kunststoffisolierte 400 kV- und 110-kV-kunststoffisolierte VPE-Kabel</b> .....	243
K. Henningsen, BEWAG AG, Berlin	
<b>Betriebserfahrungen und Untersuchungen an Kunststoffisolatoren in einer 20 kV-Leitung auf der Insel Nordstrand</b> .....	249
R. Bärsch, HWTS Zittau/Görlitz; M. Kuhl, CeramTec AG, Wunsiedel	
<b>Verhalten von Grenzflächen zwischen Werkstoffen mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften – Beispiel eingegossener Vakuumschaltkammern –</b> .....	259
H. Straube, R. Heinemeyer, H.-J. Klös, ABB Calor Emag Mittelspannung GmbH, Ratingen	

**Langzeiterfahrungen mit Verbundisolatoren für Hochspannungsbetriebsmittel . . . . . 267**  
R. Bayer, C. Neumann, RWE Energie AG, Essen

**Podiumsdiskussion**

**Supraleitende Betriebsmittel für die Energietechnik . . . . . 275**  
D. Bonmann, ABB Transformatoren GmbH, Bad Honnef