

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 49 (1958)  
**Heft:** 18

**Artikel:** Netzstörungen durch Kulturberechnungsanlagen  
**Autor:** Irresberger, G.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059742>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 27.12.2025

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

## Netzstörungen durch Kulturberechnungsanlagen

Von G. Irresberger, Gmunden

621.315.1.004.6 : 631.347.2

Im Energieversorgungsgebiet der Oberösterreichischen Kraftwerke Aktiengesellschaft (OKA), Linz/Donau, Landesgesellschaft für die Energieversorgung Oberösterreichs, kam es vor einiger Zeit — wie im Bulletin SEV darüber bereits berichtet wurde [1]<sup>1)</sup> — bei einer 25-kV-Transformatorstation zu einer schweren Betriebsstörung. Diese wurde durch den gegen die Hochspannungseinführungen dieser Station abgetriebenen Jauche-Sprühnebel eines Flächenberechnungsapparates mit selbsttätig rotierender Strahldüse ausgelöst; der Jauche-Sprühnebel (Fig. 1) bildete trotz nur kurzer Einwirkungsdauer eine zusammenhängende, gut leitende Oberfläche fremdschicht an der Freiluftisolation und führte als Folge starker Isolationsminderung schliesslich Lichtbogenüberschläge mit schwerem Sachschaden herbei.



Fig. 1

Typisches Wurfbild (Berechnungsfläche) eines Regners

Um sich vom Grad der Gefährdung — sowohl für die Bediener als auch für die Anlagen selbst — ein Bild machen zu können, wurden auf Grund dieses Vorfalles in der Folgezeit mehrere Versuche mit Regnern an einer eigens hiezu erstellten 25-kV-Drehstrom-Freileitung sowie Versuche mit 30-kV-Isolatoren im Hochspannungsprüffeld des erwähnten Unternehmens durchgeführt. Um die Versuchsbedingungen möglichst weitgehend den wahren Verhältnissen nachzubilden, wurde für diese Freileitung auf Holzgestänge das im Mittelspannungsnetz des erwähnten Betriebes am häufigsten verwendete Mastkopfbild (Leiter in Dreieck-Anordnung) sowie der am meisten benützte Isolatorentyp (VHD) verwendet. Die zu den Porzellanisolatoren gehörigen Isolatorenstützen waren nicht geerdet. Lediglich bei einzelnen Versuchen waren — um Verhältnisse wie bei Stahlgittermasten mit Stützisolatoren oder bei Holzmasten mit Freileitungstrennern, deren Befestigungskonstruktion und Antriebsgestänge geerdet wird, nachzuahmen — die Stützen untereinander metallisch verbunden und geerdet. Von einigen Versuchen mit verminderter Prüfspannung abgesehen, wurde die Versuchs-Freileitung stets mit 25 kV betrieben. Die Versuchs-Berechnungsanlage wurde zwecks Klärung von Vorfragen zuerst mit Leitungswasser (von  $330 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  Leitfähigkeit bei  $18^\circ\text{C}$ ) aus dem Städtischen Wasserleitungsnetz Gmunden, in der Folge ausschliesslich mit Jauche betrieben. Die bei den Versuchen verwendete Jauche hatte eine Leitfähigkeit, welche etwa vierzigmal so gross wie die des Gmündner Leitungswassers war, dennoch aber nur einen Bruchteil der maximalen Leitfähigkeit (von  $75\,900 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

bei  $18^\circ\text{C}$ ) aufwies, welche bei den Messungen an zahlreichen Jauche-Proben<sup>2)</sup> gefunden wurde. Die Experimente wurden mit Voll- und Sprühstrahlen durchgeführt, wobei bei der jeweiligen Regnerform je nach Bedarf die Strahlrichtung, die Strahllänge und der Strahldruck eine Änderung erfuhren. Um die zu erwartenden Vorgänge der Stromübergänge und ihren zeitlichen Ablauf besser verfolgen zu können, wurden diese photographisch festgehalten.

Zunächst erhebt sich die Frage, welche Gefährdung durch Einwirkung von Elektrizität für die Bediener von ambulanten, mit Wasser oder Jauche gespeisten Berechnungsanlagen besteht [3; 13]. Schon den rein physikalischen Überlegungen nach liegen hier ähnliche Verhältnisse vor wie bei dem in äussersten Notfällen möglicherweise notwendig werdenden Ablöschen von Bränden mittels Wasser in der Nähe von Hochspannungsleitungen [4; 5]. In der Reihe der Faktoren, die mitbestimmend für das Gefahrenmoment sind, steht auch die Leitfähigkeit des Wassers. Wie nicht anders zu erwarten, sah man sich daher gezwungen, für die in den einzelnen Ländern gegebenen besonderen Verhältnisse sowohl Sicherheitsabstände, geltend für nur Süsswasser bzw. nur Meerwasser, festzulegen, obschon auch diejenigen Fälle verhältnismässig selten sind, bei denen Feuerwehrleute durch Stromeinfluss zwischen Hochspannungsleitung und Seewasserstrahl ums Leben kamen. Da insbesondere Abwasser eine stark unterschiedliche elektrische Leitfähigkeit besitzen, muss bei solchen Untersuchungen die jeweilige Leitfähigkeit des Abwassers berücksichtigt werden.

Was die Versuche anbetrifft, kann zusammenfassend gesagt werden, dass die Widerstände von Jauche-Strahlen in guter Übereinstimmung mit den in den VDE-Vorschriften 0143/1956 «Vorschriften und Richtlinien für das Abspritzen verschmutzter Hochspannungsisolatoren unter Spannung» wie-



Fig. 2

Überschlag an einem Hochspannungs-Isolator (Typ VHD) infolge Auflösung und Rückwurfes des den Mastzopf treffenden Jauchestrahles

dergegebenen Kurvenscharen für die Widerstände von Wasser-Strahlen stehen, wenn hiebei anstelle der Bezugsgrösse für Leitungswasser ( $360 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) die elektrische Leitfähigkeit von Jauche eingesetzt wird. Lediglich bei aufgelösten Jauchestrahlen ergeben sich demgegenüber etwas geringere

<sup>2)</sup> In einer inzwischen erfolgten Veröffentlichung [2] gibt F. Stumpf hiefür  $50\,000 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  an.

Widerstände, was auf unterschiedliche Auflösungen von Strahlen der beiden in ihrer Konsistenz verschiedenartigen Medien zurückzuführen sein dürfte. Die Versuche zeigten, dass bei Vollstrahlen im Wege der Flüssigkeitssäule lebensgefährliche Stromstärken zustandekommen und damit Bedienende bei zufällig gleichzeitigem Berühren oder insbesondere Anheben des Regnerstativs unter ungünstigen Verhältnissen ernstlich gefährdet werden können; dieselben Versuche zeigten zugleich aber auch, dass die noch grössere Gefahr des Zustandekommens von Überschlägen mit ihren Folgen bei grossen Kurzschlussleistungen im Netz (Abschmelzen von Leitungsseilen und Zertrümmerung von Isolatoren infolge Stehlichtbogens) selbst bei weitgehender Strahlaulösung, also grösseren Strahlenentfernungen, gegeben ist, wenn beispielsweise bei starkem Wind Jauchetröpfchen oder Jauchenebel die Isolatoren allseitig benetzen und damit an diesen eine ausserordentlich starke Verminderung der Isolation herbeiführen.



Fig. 3

Überschlag an einem Hochspannungs-Isolator (Typ VHD) infolge Auflösung und Rückwurfes des eine Isolatorenstütze treffenden Jauchestrahles

Solche Oberflächen-Fremdschichtüberschläge werden nicht nur eingeleitet, wenn der Jauchestrahle direkt am Isolator auftrifft; es ergab sich vielmehr, dass je nach Dauer der Einwirkung auch Überschläge dann zustandekommen können, wenn der Jauchestrahle lediglich am Mastzopf (Fig. 2) [12] oder auf den Isolatorenstützen (Fig. 3) auftrifft und durch zurückspritzende Jauchetröpfchen mit der Zeit eine allseitige Benetzung der Isolatorenoberfläche herbeigeführt wird. Bei Versuchen, zwischen zwei unter Spannung stehenden Leitern im Wege des Flüssigkeitsstrahles einen Kurzschluss herbeizuführen, kamen bemerkenswerterweise auch Überschläge vom Leiterseil zum Jauchestrahle zustande, wenn dieser innerhalb der Schlagweite einem Hochspannung führenden Leiter genähert wurde.

Schliesslich galt eine Versuchsserie der Feststellung der Verminderung der Isolation an derart fremdschichtbehafteten Freileitungsisolatoren im betauten Zustand. Ähnlich den bekannten Oberflächen-Fremdschichtüberschlägen an Isolatoren infolge atmosphärischen Salzstaubes bei in der Nähe von Meeresküsten verlaufenden Hochspannungsleitungen [6...10] (Fig. 4) — vorwiegend bei Tau und Nebel hervorgerufen — muss es nämlich auch bei Einwirkung von Jauche nicht immer sofort zum Überschlag kommen; es kann aber dann gerade bei Eintritt der erwähnten atmosphärischen Verhältnisse ein ausserordentlicher Gefahrenzustand zufolge grosser Verminderung der Isolation bestehen. Abgesehen davon besitzen sol-

che Flüssigkeitsbeläge, wie orientierende Versuche zeigten, zudem noch stark staubbundene Eigenschaften.

Das eingangs geschilderte Vorkommnis zeigt, dass im Gegensatz zu mit Wasser versorgten bei mit Jauche oder Gülle gespeisten Beregnungsanlagen eine erhöhte Gefahr für die in der Nähe befindlichen elektrischen Anlagen, unter besonders ungünstigen Verhältnissen aber zugleich auch eine Gefahr für Bedienende durch Einwirkung von Strom oder Strom-

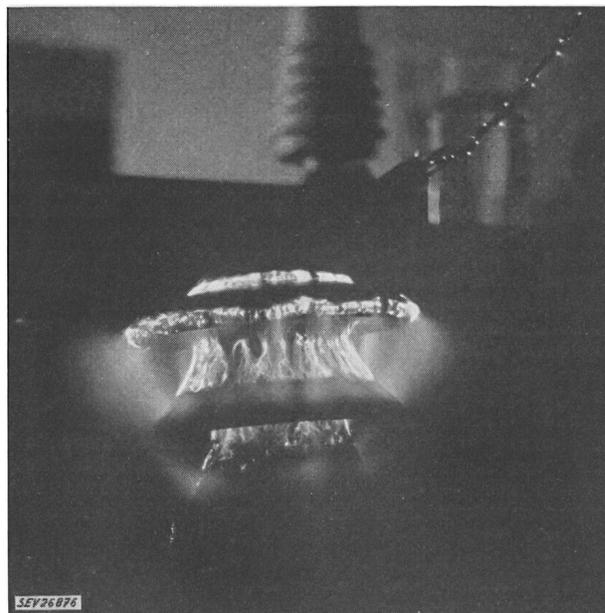


Fig. 4

Entladungserscheinungen an einem mit Jauche besprühten Hochspannungs-Isolator (Typ VHD) im betauten Zustand

stössen besteht. Unfälle sind wohl lediglich bei dem an sich schon seltenen Zusammentreffen verschiedener ungünstiger Bedingungen denkbar. Es erfordert aber auch, der Verhütung von Betriebsstörungen mit allen ihren Folgen dem Betrieb solcher landwirtschaftlicher Beregnungsanlagen in der Nähe von Freiluftanlagen und Freileitungen, im Sinne der in den Vorschriften einzelner Länder gegebenen Hinweise, ein erhöhtes Augenmerk zuzuwenden.

#### Literatur

- [1] *Irrsberger, G.*: Gefahren elektrischer Natur durch landwirtschaftliche Beregnungsanlagen. Bull. SEV Bd. 48(1957), Nr. 8, S. 398...403.
- [2] *Stumpf, F.*: Brandbekämpfung und Brandverhütung in Kraftwerken. Prakt. Wissen Bd. 30(1956), Nr. 7, S. 193...201, Nr. 8, S. 225...236; Nr. 9, S. 268...272.
- [3] *Mortimer, E. S.*: Spray Irrigation Contacting Lines May Endanger Farmers. Electr. Wld. Bd. 142(1954), Nr. 24, S. 145, 148, 156.
- [4] *Müller*: Feuerwehr und Starkstrom. Schweiz. Feuerwehr-Ztg. Bd. 55(1929), Nr. 2, S. 21...24.
- [5] *Sameli, H.*: Ist das Anspritzen von Leitern einer Hochspannungsleitung für den Strahlrohrführer unbedingt lebensgefährlich? Schweiz. Feuerwehr-Ztg. Bd. 61(1935), Nr. 2, S. 14...15.
- [6] *Anfossi, G.*: Sul funzionamento degli isolatori nelle linee in vicinanza del mare. Atti Ass. elettrotecn. ital. Bd. 11(1907), Nr. 4, S. 326...334. [Referat: Elektrotechn. Z. Bd. 28(1907), Nr. 52, S. 1235.]
- [7] *Blanchart, C.*: Isolement des lignes à haute tension soumises à des brouillards. Congrès de Paris de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique, Juli 1932: Rapport du Comité n° III-B. [Referat: E und M Bd. 51(1933), Nr. 12, S. 147.]
- [8] *Pessano, A.*: De quelques inconvénients se manifestant sur les conducteurs des lignes électriques au voisinage de la mer. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), Paris 1937, Bd. 2, Rapp. 225, 9 S. [Referat: E und M Bd. 55(1937), Nr. 48, S. 589; Elektrotechn. Z. Bd. 59(1938), Nr. 11, S. 292.]
- [9] *Oriol y Urquijo, J. M. de* und *J. P. Molina Herranz*: L'isolement des lignes de haute tension dans la région occidentale du Maroc Espagnol. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), Paris 1937, Bd. 2, Rapp. 209,

- 9 S. [Referat: E und M Bd. 55(1937), Nr. 48, S. 591; Elektrotechn. Z. Bd. 59(1938), Nr. 11, S. 292.]
- [10] Cron, H. von: Essais des isolateurs recouverts superficiellement de couches étrangères reproductibles. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), Paris 1956, Bd. 2, Rapp. 203, 36 S. [Referat: ETZ Bd. 78(1957), Nr. 1, S. 29.]
- [11] Irresberger, G.: Stromunfälle von Fremdpersonen an Starkstrom-Freileitungen. Berufsgenossenschaft Bd. -(1956), Nr. 7, S. 277...281.
- [12] Irresberger, G.: Stromgefahren in der Landwirtschaft. Berufsgenossenschaft Bd. -(1958), Nr. 2, S. 51...55.
- [13] Pol, P. de: La fertirrigazione nei riguardi degli elettrodotti. Risultati di alcune prove, Energia elettr. Bd. 32(1955), Nr. 7, S. 574...580.

Adresse des Autors:

G. Irresberger, Ingenieur, Direktionsassistent der OKA, Anton-Bruckner-Strasse 5, Gmunden (Oberösterreich).

## Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

### Symposium on Insulating Oils

082.621.315.615

Am 5. März 1958 veranstaltete das «Institute of Petroleum» zusammen mit der «Institution of Electrical Engineers» in London ein zweites Symposium über Isolieröle. Es wurden die neueren Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Isolierölchemie in neun Arbeiten, über die im folgenden kurz referiert sei, schriftlich vorgelegt und an der Sitzung diskutiert.

F. Morton und R. T. T. Bell (Dept. of Chemical Engineering, College of Science and Technology, Manchester) unterbreiten eine grundlegende Literaturübersicht, welche die Entwicklung der heutigen Vorstellungen über die Oxydation von flüssigen Kohlenwasserstoffen bei Temperaturen bis zu 150 °C umfasst. Allgemein wird angenommen, dass die sog. Alterung in einer Oxydation durch den Luftsauerstoff besteht, wobei intermediär Peroxyde gebildet werden. Ganz allgemein werden drei aufeinanderfolgende Systeme von Reaktionen unterschieden, die für die einzelnen Stufen der oxydativen Alterung charakteristisch sind:

1. Die Einleitung der Reaktion, die sog. Induktionsperiode, während welcher einzelne Kohlenwasserstoffmoleküle unter Bildung von aktiven Molekülresten angegriffen werden.

2. Die Ausbreitung oder Fortsetzung der Reaktion, während welcher die aktivierten Reste mit weiteren nicht aktiven Bestandteilen reagieren. Es herrschen mannigfaltige Reaktionsfolgen vor, welche sehr oft den Charakter von autokatalytischen Kettenreaktionen aufweisen und durch das Vorhandensein von instabilen Zwischenprodukten gekennzeichnet sind.

3. Abbruch der Reaktion, wobei die endgültigen stabilen Endprodukte gebildet werden.

Wird schematisch ein Kohlenwasserstoffmolekül mit RH bezeichnet, wobei H eines der im Molekül vorhandenen Wasserstoffatome, R den übrigen Molekülrest bedeutet, so kann die Induktionsperiode durch  $RH \rightarrow R^* + H$  dargestellt werden, wobei mit  $R^*$  der aktivierte Molekülrest und mit H das abgespaltene Wasserstoffatom bezeichnet sei.  $R^*$  reagiert nun in der zweiten Periode mit Luftsauerstoff  $R^* + O_2 \rightarrow ROO-$  unter Bildung von reaktionsfähigen Peroxyden  $R-O-O-$ , die ihrerseits wieder befähigt sind, mit weiteren nicht aktivierten Molekülen in Reaktion zu treten:  $ROO- + RH \rightarrow ROOH + R^*$ , wobei neue aktivierte Moleküle entstehen, die ihrerseits wieder Sauerstoff anlagern können. Während der Beendigung der Reaktion, dem sog. Kettenabbruch, können die aktivierten Reste miteinander unter Bildung von stabilen Anlagerungsprodukten reagieren:



Da ein Kohlenwasserstoffmolekül viele Wasserstoffatome aufweist, welche gleichzeitig oder stufenweise in Reaktion treten können, und zudem die aktivierten Moleküle befähigt sind, mit sich selbst oder mit anderen Molekülen Verbindungen einzugehen, resultiert eine grosse Mannigfaltigkeit von Zwischen- und Endprodukten, welche letzten Endes als unlöslicher Schlamm oder als Säuren in Erscheinung treten. Für eine Reihe von reinen Kohlenwasserstoffen sind die Oxydationsprodukte untersucht worden, welche unter bestimmten, genau definierten Bedingungen entstehen, ebenso die Wechselwirkung verschiedener Kohlenwasserstoffe aufeinander. Auch kann durch Messung des Sauerstoffverbrauches in Abhängigkeit der Zeit der kinetische Verlauf der gesamten Reaktion verfolgt werden. Dabei ergeben sich Kurven, die für einzelne Fälle charakteristisch sind, jedoch alle Varianten zwischen einer stark beschleunigten, einer beinahe linearen und einer verzögerten Geschwindigkeit, sowie gemischte Typen aufweisen können.

Über den ersten Schritt, der Einleitung der Oxydation während der Induktionsperiode bestehen verschiedene Anschauungen: Einerseits wird angenommen, dass durch die Energieaufnahme besonders energiereiche Moleküle, sog. angeregte Moleküle, wie sie von photochemischen Reaktionen her bekannt sind, gebildet werden, andererseits besteht die Auffassung, dass sich freie Radikale bilden, welche dank ihrer Reaktionsfähigkeit weiter reagieren. Für den Weiterverlauf der Alterungsreaktionen sind am meisten die Peroxyverbindungen massgebend, deren Zerfall, welcher stark temperaturabhängig ist, die Reaktionsfolge steuert.

Es ist allgemein bekannt, dass gewisse Metalle beschleunigend auf die Oxydation einwirken. Als öllösliche Salze, z. B. Naphthenat, zugesetzt, wirken Metalle, z. B. Kupfer, Eisen, Kobalt, Mangan, welche in 2 Wertigkeitsstufen auftreten können, als Red/Ox-Katalysatoren beschleunigend. Vom praktischen Standpunkt aus muss natürlich dem Kupfer, welches in elektrischen Apparaten immer vorkommt, besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Sein Verhalten ist daher auch am besten untersucht. Kinetische Studien zeigten, dass die Reaktionsgeschwindigkeit hauptsächlich vom Typus des Kohlenwasserstoffes, von der Temperatur und von der Metallkonzentration abhängt, jedoch vom Sauerstoffpartialdruck nur wenig beeinflusst wird. Es wird angenommen, dass das Kupfer nicht die Bildung der Peroxyde während der Induktionsperiode beeinflusst, sondern vielmehr ihren Zerfall und die Weiterreaktion unter Bildung von Reaktionsketten mit freien Radikalen steuert.

Nicht nur gelöstes, sondern auch metallisches Kupfer wirkt katalytisch. Die Frage, ob bei metallischem Kupfer eine heterogene Katalyse vorliegt, d. h. ob die Reaktion in der Oberfläche des Metalls, also in der Phasengrenze Öl/Kristallgitter stattfindet, wurde in den letzten Jahren ausgiebig studiert. Allgemein besteht heute die Meinung, dass dies nicht der Fall ist, sondern dass durch die während der Induktionsperiode gebildeten Säuren und organischen Verbindungen, welche befähigt sind Kupfer komplex zu binden, Spuren von Kupfer gelöst werden. Diese wirken dann im gelösten Zustande katalytisch, so dass eine homogene Katalyse im flüssigen System vorliegt. Die für die Katalyse erforderlichen Kupfermengen sind sehr gering und liegen in der Grössenordnung von einigen mg pro kg Öl.

Da schon im Öl selbst eine grosse Mannigfaltigkeit von Kohlenwasserstoffen, aliphatischer, cyclischer und gemischter Natur vorliegen können, welche die verschiedenartigsten Reaktionsmöglichkeiten bieten, lassen sich auch über die stabilen Endprodukte keine Angaben machen. Öle mit geringem Raffinationsgrad weisen im allgemeinen eine starke Schlamm- und Säurebildung auf und bilden wenig Säure, während bei steigendem Raffinationsgrad die Säurebildung zunimmt, die Schlamm- und Säurebildung aber abnimmt.

Das Problem der Oxydationsinhibitoren steht heute im Vordergrund der Forschung und wird besonders für Schmieröle, aber auch für Transformatorenöle von verschiedenen Seiten sehr intensiv bearbeitet, wodurch die Erkenntnisse über den Oxydationsmechanismus eine wesentliche Bereicherung erfahren haben. Grundsätzlich handelt es sich dabei um Verbindungen, welche befähigt sind die während der Induktionsperiode entstehenden aktiven Moleküle zu deaktivieren und damit einen Kettenabbruch zu bewirken.

P. W. L. Gossling (C. C. Wakefield & Co. Ltd) berichtet zusammenfassend über die Arbeiten der CEI<sup>1)</sup> und der British Electrical and Allied Industries and Research Association (ERA), welche sich mit der künstlichen Alterung von

<sup>1)</sup> Commission Electrotechnique Internationale.