Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 72 (1981)

Heft: 5

Artikel: Kabelfehler in elektrischen Netzen

Autor: Weber, B. W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905083

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: 09.12.2025

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

Kabelfehler in elektrischen Netzen

Von B. W. Weber

621.315.21: 621.316.14;

Kabelfehler beeinträchtigen die Zuverlässigkeit von elektrischen Netzen. Aus den heute publizierten Daten ist ersichtlich, dass Kabelfehler gegenüber anderen Ursachen bei Netzstörungen von untergeordneter Bedeutung sind. In der Schweiz lassen sich keine Fehlerhäufigkeiten bei einzelnen Kabelkonstruktionen erkennen. Bei den besonders in den USA festgestellten hohen Fehlerhäufigkeiten handelt es sich bei älteren Polyäthylenkabeln vor allem um ungenügende Kabelkonstruktionen, ungenügende Verlegeerfahrung und sehr harte Betriebsbedingungen. Die Anstrengungen in der Qualitätssicherung bei der Kabelherstellung und die Einführung der Trockenvernetzung sind Voraussetzungen für die weitere Erhöhung der Zuverlässigkeit von Kunststoff-Kabelanlagen.

Les défauts de câbles réduisent la fiabilité des réseaux électriques, mais dans une beaucoup moins grande proportion que les causes d'autres perturbations. En Suisse, les défauts ne sont pas plus fréquents pour un type de câble que pour un autre. Les fréquents défauts constatés aux USA, notamment, sont ceux d'anciens câbles isolés au polyéthylène: construction insuffisante, tirage par des ouvriers inexpérimentés et très sévères conditions d'exploitation. Une meilleure assurance de la qualité au cours de la fabrication et l'introduction de la réticulation à sec contribuent à accroître la fiabilité des installations de câbles à isolation synthétique.

1. Einleitung

Die sichere Stromversorgung ist zu einer Selbstverständlichkeit geworden. Mit zunehmender Grösse und Komplexität elektrischer Netze wird deren Zuverlässigkeit immer wichtiger. Kabel sind bedeutende Elemente bei der Verteilung und Übertragung elektrischer Energie. Daher interessiert der Beitrag der Kabelanlagen an die geforderte, extrem hohe Verfügbarkeit der elektrischen Energie. Schon immer wurden in der Schweiz Kabel mit grossen Leistungsreserven gebaut und verlegt. Erst seit kurzem versucht man, diese Reserven zu quantifizieren und eine bestimmte Anzahl Kabelfehler pro Länge und Jahr schon bei der Entwicklung neuer Kabel zu definieren. Seit einigen Jahren wird besonders aus den USA über die Zunahme der Fehlerhäufigkeiten bei Kunststoffkabeln berichtet. Dies könnte den Verdacht erwecken, Kunststoffkabel seien anfälliger auf Fehler als die klassischen Papierkabel. Es ist daher nötig, sich mit diesen Informationen kritisch auseinanderzusetzen.

Kabel sind im Gegensatz zu Freileitungen nicht direkt atmosphärischen Störungen ausgesetzt. Kabelfehler sind deshalb weniger häufig als Störungen an Freileitungen. Ein Kabelfehler ist jedoch in der Regel schwierig zu orten und zieht eine kostspielige und zeitaufwendige Reparatur nach sich. Kabel müssen deshalb aus wirtschaftlichen Gründen auch in Zukunft äusserst zuverlässig sein und mit kleinsten Ausfallraten betrieben werden können. Um die Fehlerwahrscheinlichkeit klein zu halten, sind unter anderem folgende Forderungen zu beachten:

1. Kabelanlagen dürfen nicht dauernd in der Nähe der Leistungsgrenze betrieben werden. Es müssen angemessene Reserven eingehalten werden.

2. Neuentwicklungen dürfen nur langsam, schrittweise und erst nach gründlichen Langzeitprüfungen eingesetzt werden.

2. Kabelfehlerstatistiken

Viele Elektrizitätsunternehmen in der Schweiz wurden in letzter Zeit auf Kabelfehlerstatistiken aufmerksam, wurden doch letztes Jahr verschiedene Statistiken im Rahmen der CIGRE [1], der VDEW [2], der VEÖ [3] und des VSE [4] diskutiert. Im CIGRE-Beitrag werden die Fehler an Papierkabeln in den USA, die von 1923 bis 1966 durch das Edison Electric Institute gesammelt wurden, sowie die Kabelfehlerstatistiken von Polyäthylen- und vernetzten Polyäthylenkabeln seit 1964 bzw. 1969 kommentiert. Die Statistik ist für die Vereinigten Staaten wertvoll, da nahezu die Hälfte aller installierten Mittelspannungs-Kunststoffkabel erfasst werden. Die Schäden, die äusseren mechanischen Einwirkungen zuzuschreiben sind, z. B. Bauschäden, die weitaus den grössten Anteil bei unterirdisch verlegten Kabeln ausmachen, werden in diesen Statistiken nicht berücksichtigt. Beunruhigend ist die Tatsache, dass bei Kunststoffkabeln die Fehlerraten jetzt noch von Jahr zu Jahr zunehmen, während sie bei Papierkabeln in letzter Zeit nahezu konstant geblieben sind. Um die drei erfassten Arten von Kabelisolationen zu charakterisieren, wurde die Zeitdauer abgeschätzt, in welcher die kumulative Fehlerrate um den Faktor 10 ansteigt. Diese beträgt 6,2 Jahre für Polyäthylenkabel, 7,5 Jahre für Kabel mit vernetzter Polyäthylenisolation und rund 100 Jahre für papierisolierte Kabel (Fig. 1).

Eine VDEW-Umfrage [2] vergleicht die Kunststoffkabelfehler in der Bundesrepublik Deutschland mit den in den Vereinigten Staaten gesammelten Werten (Tabelle I). Auffallend sind einerseits die wesentlich kleineren Fehlerraten in Deutsch-

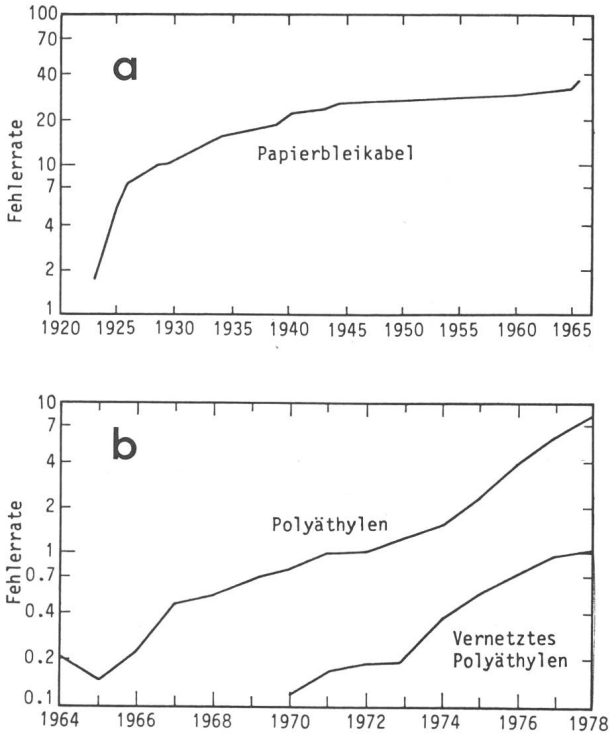

Fig. 1 Kumulative Fehlerraten pro 100 km Kabellänge in den USA [1]
a Papierbleikabel
b Polyäthylen bzw. vernetztes Polyäthylen

Schäden an PE- und XLPE-Kabeln in den USA und in der Bundesrepublik Deutschland Tabelle I

		USA 5 bis 35 kV 1978		Bundesrepublik Deutschland 10 bis 30 kV Mitte 1980	
		PE	XLPE	PE	XLPE
Systemlänge km		25 666	25 670	7 612	10 942
Mittlere Betriebsdauer	a	5,6	3,3	6	5
Schäden	Anzahl	6 339	835	114	19
	pro 100 km	24,7	3,25	1,49	0,17
	pro 100 km · a	4,4	0,98	0,25	0,03

land, anderseits die viel kleineren Werte bei vernetztem Polyäthylen, verglichen mit normalen Polyäthylenkabeln. Der grosse Unterschied in den Fehlerraten zwischen den USA und der BRD wird den Konstruktionen, den Verlege- sowie den Betriebsarten der Kabel zugeschrieben. Die wesentlich kleineren Fehlerraten bei vernetzten Polyäthylenkabeln, verglichen mit den thermoplastischen Polyäthylenkabeln, hängen in erster Linie von der Konstruktion, der Herstellungsart und dem meist späteren Herstellungsjahr zusammen. Die von den Wissenschaftlern gefundene und vielfach bestätigte geringere Empfindlichkeit von vernetztem Polyäthylen auf die Bildung von Wasserbäumchen ist für die heutigen Kabelfehler von untergeordneter Bedeutung.

Die österreichischen Elektrizitätswerke erfassen die Störungen und Schäden in ihren Netzen nach im Jahr 1966 festgelegten Richtlinien. An den im Jahre 1979 erfassten 7200 Störungen [3] waren vor allem ungünstige Witterungsbedingungen und nur zu einem sehr geringen Teil Kabelschäden beteiligt. Alle Kabelschäden, auch mechanische Einwirkungen, betrugen im 10-kV-Netz 4,1, im 20-kV-Netz 3,6 und im 30-kV-Netz 1,6 pro 100 km. Bei den höheren Spannungen wurden in diesem Jahr keine Kabelfehler registriert.

Die Aufzählung von Kabelfehlerstatistiken könnte auf andere Länder ausgedehnt werden, doch würden keine generell neuen Tendenzen sichtbar. Da der Zweck und die Randbedingungen solcher Statistiken sehr verschieden sind, können nur grobe Ergebnisse herausgelesen und nur beschränkt Quervergleiche angestellt werden. Die Einzelheiten, die für die Verbesserung und Weiterentwicklung der Kabeltechnik so wichtig sind, sind nur aus der genauen Untersuchung von Einzelfällen und aus Vergleichen mit ähnlichen Kabelfehlern ableitbar.

In der Schweiz haben die drei Kabelwerke Brugg, Cortaillod und Cossonay seit 1968 die ihnen gemeldeten Kabelfehler gesammelt [5], um Impulse für gemeinsame Entwicklungsprojekte zu gewinnen. Die Fehlerraten liegen ähnlich den in Deutschland publizierten Werten, sind aber weniger vollständig erfasst, da nur ein Teil des Marktes einbezogen worden ist. Umfassendere Angaben wird in den nächsten Jahren die Arbeitsgruppe des VSE «Schweizerische Störungs- und Schadenstatistik» herausgeben können. Die erste Statistik über Nichtverfügbarkeit, Störungen und Schäden elektrischer Netze im Jahre 1978 [4] wurde publiziert. Tabelle II zeigt eine Übersicht der erfassten Kabelleitungen. Von insgesamt rund 3000 km Kabeln sind erst knapp 50 km Kunststoffkabel erfasst worden. In der VSE-Statistik wird angestrebt, alle Netzunterbrüche zu registrieren. Bei den insgesamt über 4000 gemeldeten Netzstörungen handelte es sich in den meisten Fällen um geplante Ausschaltungen. Aussagen über die Zuverlässigkeit von Kabeln werden erst nach einigen Jahren gemacht werden können, wenn umfangreichere Resultate vorliegen. Es wäre zu wünschen, dass nicht eindeutig durch Betriebsstörungen verursachte Kabelfehler zukünftig separat aufgeführt werden. Die VSE-Statistik soll in Zukunft zuverlässige Angaben über die Fehlerhäufigkeiten an Freileitungen und Kabelanlagen in der Schweiz enthalten und als Planungsunterlage für die Verkabelung von Höchstspannungsleitungen dienen. Den Kabelhersteller interessiert bei Fehlerstatistiken zusätzlich zu den vorhandenen Angaben vor allem: Einzelheiten der Kabelkonstruktion, Herstellungsjahr, Verlegeart, Betriebsbedingungen und Fehlerart. Da diese Details nur mit grossem Aufwand zu beschaffen sind, lassen sich aus den vorliegenden Untersuchungen noch keine weiteren Schlüsse ziehen. Insbesondere kann durch das Zahlenmaterial nicht belegt werden, ob Kunststoffkabel oder Papierkabel störanfälliger sind.

Im folgenden werden einige Kabeleigenschaften kommentiert, die oft im Zusammenhang mit Kabelschäden ins Gespräch kommen.

3. Reserven der Spannungsfestigkeit bei alten Papierkabeln

Die elektrische Festigkeitsreserve von Kabelanlagen ist zugleich ein Mass für die zu erwartende Fehlerhäufigkeit. Oft treten Elektrizitätswerke mit dem Wunsch an die Kabelwerke heran, ihre Kabelnetze mit höheren Spannungen zu betreiben. Auf Grund von Versuchen in den Laboratorien mit verschiedenen Isoliersystemen wurde folgende Faustformel aus dem Lebensdauergesetz abgeleitet:

Erhöhung der Betriebsspannung um 8...10 % = Halbierung der Lebensdauer

Erfasste Kabelleitungen, VSE-Störungsstatistik 1978 Tabelle II

Spannung	Gesamtschweiz geschätzt	In der VSE-Statistik 1978 erfasst						
	Freileitungen und Kabel	Freileitungen und Kabel	Kabel total	Massekabel	Ölkabel	Gasdruckkabel	PE-Kabel	XLPE-Kabel
kV	km	km	km	km	km	km	km	km
10	7 200	1 395	1 195	1 018	165	–	10	2
20	26 800	4 320	1 550	1 514	5	–	30	–
50	5 500	2 937	354	86	263	3	2	–
150	3 100	917	73	–	68	4	1	–
220	4 700	3 138	13	–	13	–	–	-
380	1 300	621	–	–	–	–	–	–

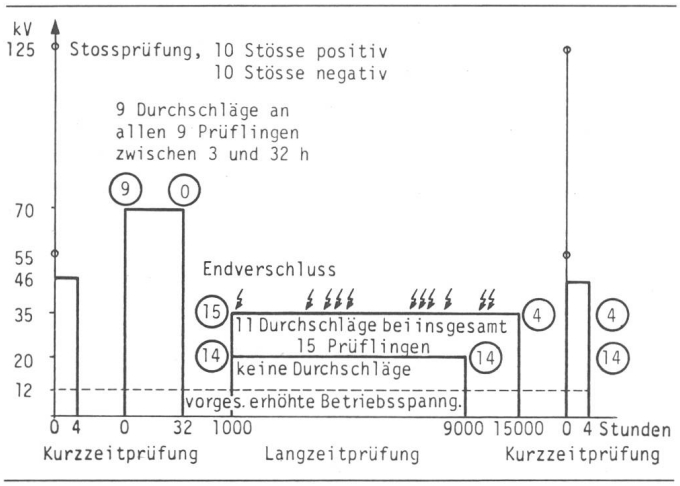

Fig. 2 Elektrische Prüfungen an alten Papierkabeln
Total 39 Prüflinge zu je ca. 10 m Länge

Für den Betreiber eines Kabelnetzes heisst dies wohl, dass er mit einer erhöhten Ausfallrate rechnen muss, aber quantifizieren lässt sich dieser Zusammenhang nur grob. Bei älteren Papierkabeln mit einem Bleimantel und einem Korrosionsschutz aus bitumierter Jute liegen die Schwachstellen, abgesehen von der Masseabwanderung in Gefällstrecken, nicht im elektrisch beanspruchten Teil des Kabels, sondern beim Mantel, der mechanischen Beanspruchungen und verschiedenen Korrosionseinwirkungen ausgesetzt ist. Die Praxis zeigte, dass beschränkte Spannungserhöhungen nicht zu vermehrten Kabeldurchschlägen führten [6]. Das Mittelspannungspapierkabel ist also vom elektrischen Standpunkt aus gesehen eher zu stark dimensioniert.

Neuere Prüfungen an 16-kV-Papierkabeln, die von den Kantonswerken zur Verfügung gestellt worden sind, bestätigen frühere Erkenntnisse. Kabelstücke aus den Jahren 1950 bis 1972 wurden im Jahre 1976 aus dem Betrieb genommen und eingehenden elektrischen Nachprüfungen unterzogen. Vor und zum Teil auch nach der Dauerprüfung wurden die Kabellängen folgenden Typenprüfungen unterzogen: Verlustfaktormessungen; 50 Hz, 1 min, 55 kV; ferner 50 Hz, 4 h, 46 kV; Stoßspannungsprüfung 125 kV, je 10 Stösse negativ und positiv. Die Prüfresultate sind in Fig. 2 dargestellt. Die durchgeführten Langzeitprüfungen entsprechen gemäss Lebensdauergesetz bei der vorgesehenen Betriebsspannung einer extrem langen Lebensdauer.

Diese Prüfungen, wie sie sonst nur an neuen Fabrikationslängen durchgeführt werden können, haben die bemerkenswerte Reserve an elektrischer Langzeitfestigkeit erneut bestätigt. Auf Grund der gesammelten Erfahrungen ist eine Spannungserhöhung an Papierkabeln durchaus verantwortbar, sofern das Kabelzubehör die höhere Spannung zulässt, die Kabelisolation gut durchtränkt ist und die Kabelmäntel in gutem Zustand sind. Um diese Bedingungen zu überprüfen, ist eine eingehende Untersuchung an Ort und Stelle unumgänglich.

4. Reserven der Spannungsfestigkeit bei alten Kunststoffkabeln

Während die Schwachstellen der alten Papierkabel im Mantel liegen, sind diejenigen der alten Kunststoffkabel in der elektrisch beanspruchten Isolation zu finden. Dieser grundsätzliche Unterschied führt zwangsläufig zur These, dass Kunststoffkabel auf die elektrische Beanspruchung anfälliger sind als Papierkabel. Wohl sind auch Kunststoffkabel elektrisch vorsichtig dimensioniert. Analoge, systematische und umfangreiche Untersuchungen an alten Kunststoffkabeln, wie sie im vorhergehenden Abschnitt beschrieben worden sind, sind nicht durchgeführt worden. Sie wären für Prognosen an neuen Kunststoffkabeln wenig aussagekräftig, da durch konstruktive und technologische Verbesserungen heute Produkte mit höherer Langzeitspannungsfestigkeit zur Verfügung stehen. Im grösseren Rahmen wurden bei Kunststoffkabeln vor allem «Patienten» untersucht, d.h. Kabel, die im Betrieb nach einigen Jahren ersetzt werden mussten. Bei allen untersuchten Kunststoffkabeln, die mehrere Jahre im feuchten Erdboden gelegen hatten, konnten durch geeignete Färbetechniken Wasserbäumchen in der Isolation sichtbar gemacht werden. Ist deren Anzahl und Ausdehnung gross, so ist eine reduzierte Spannungsfestigkeit der Isolation feststellbar. Das Vorhandensein von Wasserbäumchen allein muss aber nicht zwangsläufig zu einem vorzeitigen Kabeldurchschlag führen. Erst wenn die Wasserbäumchen so weit gewachsen sind, dass sie einen grossen Teil der Isolationsdicke überbrücken oder sich in elektrische Entladungskanäle umgewandelt haben, sind Kabelschäden zu erwarten. Kunststoffkabel zeigen einen grundsätzlich anderen Störungsmechanismus als Papierkabel. Er wird in den Laboratorien gründlich untersucht. Über neue Erkenntnisse wird in der Fachliteratur laufend berichtet.

5. Verbesserung der bestehenden Kabelkonstruktionen und Herstellungsverfahren

Die Verbesserungen der Papierkabel, die sich vor allem auf die Einführung der Haftmasse, die Manteltechnik und den Korrosionsschutz konzentrierten, sind schon eingehend beschrieben worden [7], ebenso diejenigen der Kunststoffkabel [8; 9; 10]. Die Einführung der Trockenvernetzung zur Herstellung vernetzter Polyäthylenkabel muss als eigentlicher Durchbruch gewertet werden. Es ist dadurch möglich geworden, Isolationen mit geringerem Feuchtigkeitsgehalt herzustellen als mit der Dampfvernetzung. Darüber hinaus gestattet beispielsweise das MDCV-(Mitsubishi-Dainichi-Continuous Vulcanisation)Verfahren, das unter einer japanischen Lizenz in der Schweiz eingeführt wird, die zahlreichen technologischen Verbesserungen, die die Mittelspannungs-Kunststoffkabel erfahren haben, auf die Höchstspannungskabel auszudehnen. Es handelt sich dabei um ein Kontaktrohr-Trockenvernetzungsverfahren, das es ermöglicht, selbst bei grossen Leiterquerschnitten grosse Isolationswandstärken konzentrisch und ohne Mikrohohlräume aufzubringen.

Kunststoffkabel haben eine lange Entwicklungsperiode hinter sich. Auch wenn die Durchschlagstheorie sowie der Mechanismus der Bäumchenbildung noch nicht geklärt sind, so konnten doch Hersteller und Betreiber in den letzten Jahren schrittweise merkliche Verbesserungen verwirklichen. Es liegt heute ein Kunststoffkabelisolierstoff mit guten elektrischen und mechanischen Langzeiteigenschaften vor.

6. Qualitätssicherung

Zur Reduktion der Kabelfehler im Betrieb gehört eine umfassende Qualitätssicherung, die sich über den ganzen Werdegang der Kabel vom Einkauf über Materialprüfung, Forschung und Entwicklung, Fabrikation, Schlussprüfung, Spedition,

Fig. 3 Langzeitprüfungen in Verbois; Stromtransformatoren zum Heizen der Prüfkabel

Verkauf, Transport und Montage erstreckt. Erhöhte Prüfspannungen und verlängerte Prüfdauer bezwecken, Frühausfälle im Betrieb zu vermeiden, diese aber im Prüfstand zu erzwingen. Sind die vorgeschriebenen Typenprüfungen im Laboratorium erfüllt, so müssen Langzeitversuche an längeren Fabrikationsabschnitten durchgeführt werden, um die Qualität der Kabel nachzuweisen.

Die Kabelwerke Brugg, Cortaillod und Cossonay betreiben bei den Services Industriels de Genève in Verbois ein Prüfgelände, um solche Langzeitversuche durchzuführen. Fig. 3 zeigt 60-kV- sowie 30-kV-Kabel mit einer Isolation aus vernetztem Polyäthylen. Die Kabel werden bei 69 kV (2 U_0 bzw. 4 U_0) geprüft und täglich Lastzyklen unterworfen.

Auch Messungen an bestehenden Kabelanlagen und Überwachungen mit der Absicht, mögliche Ausfälle frühzeitig zu erkennen und Folgen von Kabelschäden geringzuhalten, gehören zu einem sicheren Betrieb. Die Kabelwerke besitzen modern ausgerüstete Messwagen, die es ihnen erlauben, in nützlicher Frist Fehlerortungen und Spezialmessungen durchzuführen. Sie arbeiten an der Entwicklung diagnostischer Prüfmethoden, um einen Beitrag zur weiteren Erhöhung der Zuverlässigkeit der Kabelanlagen zu leisten.

7. Schlussfolgerungen

1. Kabelfehlerstatistiken aus verschiedenen Ländern können nur dem Trend nach miteinander verglichen werden, da ihnen unterschiedliche Bedingungen wie Betriebsarten der Kabel, Kabelkonstruktionen, Verlegearten usw. zugrunde liegen.

2. Die bestehenden Kabelfehlerstatistiken sind in Zusammenarbeit zwischen Elektrizitätsunternehmungen und Kabelherstellern weiterzuführen und zu verbessern, damit die für die Weiterentwicklung notwendigen Unterlagen sichergestellt werden können.

3. Viele Neuentwicklungen auf dem Kabelgebiet zeigen ihre Schwachstellen noch nicht bei künstlichen Alterungsprüfungen an relativ kurzen Kabellängen und müssen während vieler Jahre vervollkommnet werden.

4. Kunststoffkabel nähern sich in ihrer Betriebssicherheit dem Papierkabel. Die zum Teil hohen Fehlerraten bei früheren Generationen können durch ungenügende Herstellungs- und Verlegeerfahrung erklärt werden. Reinere Rohmaterialien, bessere Fabrikationsverfahren, erhöhte Prüfbedingungen machen es heute möglich, zuverlässige Kunststoffkabel auch für Spannungen über 60 kV herzustellen.

Literatur

[1] *W. A. Thue, J. W. Bankoske* et *R. R. Burghardt:* Experience d'exploitation et d'essais de câbles secs. Rapport CIGRE N° 21–10, 1980.

[2] *H. H. Blechschmidt:* Erfahrungen mit Mittelspannungs-Kunststoffkabeln. Elektrizitätswirtsch. 79(1980)26, S. 1006...1116.

[3] *E. Schuh:* Auswertung der Störungs- und Schadensstatistik der österreichischen Hochspannungsfreileitungs- und Kabelnetze des Jahres 1979. ÖZE 33(1980)11, S. 420...470.

[4] VSE-Störungsstatistik 1978. Zürich, Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke, 1978.

[5] *P. Dürmüller:* Kabelfehler, Kabelfehlerortung. Mitteilungen der Kabelfabriken Brugg, Cortaillod und Cossonay –(1976)7, S. 15...22.

[6] *E. Schilling:* Untersuchungen über die Eignung von verlegten 8- und 10-kV-Kabeln für höhere Betriebsspannung. Bull. SEV 45(1954)6, S. 169...173.

[7] *B. Weber, W. Hofmann* und *E. Buchmann:* Papierhochspannungskabel. Mitteilungen der Kabelfabriken Brugg, Cortaillod und Cossonay –(1980)15, S. 3...8.

[8] *B. W. Weber:* Kunststoffkabel für Elektrofilter. Bull. SEV/VSE 71(1980)21, S. 1151...1153.

[9] *R. Furter:* Eigenschaften strahlenvernetzter Isolierstoffe. Bull. SEV/VSE 69(1978)2, S. 57...61.

[10] *B. Weber:* Strahlenvernetzung von Polyäthylen-Hochspannungskabeln. Bull. SEV/VSE 67(1976)6, S. 311...313.

Adresse des Autors

B. Weber, dipl. Ing. ETH, Kabelwerke Brugg AG, 5200 Brugg.