

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 53 (1962)
Heft: 9

Artikel: Einführung zu den Regeln und Leitsätzen für die Bemessung und die Koordination der Isolationsfestigkeit in Wechselstrom-Niederspannungsanlagen
Autor: Wüger, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916930>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 13.05.2025

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Einführung zu den Regeln und Leitsätzen für die Bemessung und die Koordination der Isolationsfestigkeit in Wechselstrom-Niederspannungsanlagen ¹⁾

Von H. Wüger, Zürich

621.316.933 : 621.316.13.027.2.048

A. Vorbemerkung

Die Regeln und Leitsätze für die Bemessung und Koordination der Isolationsfestigkeit in Wechselstrom-Niederspannungsanlagen wenden sich im Gegensatz zu den meisten andern Regeln nicht nur an die Ingenieure und Techniker, sondern auch an Installateure mit und ohne Meisterprüfung. Daher ist es angezeigt, eine kleine Einführung, die sich auch an die Nichttechniker richtet, zu geben.

B. Werdegang

1. Aufgabenstellung

Praktisch jedes technische Problem läuft unter anderem auf eine Festigkeitsberechnung hinaus, d. h. die Festigkeit einer Konstruktion muss grösser sein als die beim Gebrauch auftretende Beanspruchung. Das scheint eine einfache und klare Forderung zu sein, aber in der Praxis sieht dieses Problem oft nicht so einfach aus. Die Forderung gilt natürlich nicht nur für die mechanische, sondern selbstverständlich auch für die elektrische Festigkeit.

Auf elektrische Anlagen angewandt, heisst die oben formulierte Forderung, dass die Isolation so stark sein muss, dass die auftretenden Spannungen gehalten werden. Wir kennen natürlich die Betriebsspannung, in unseren Anlagen also die Wechselspannung von 50 Perioden pro Sekunde. Wir wissen auch, dass Regulier- und Schaltvorgänge Abweichungen von der normalen Spannung verursachen. Dabei handelt es sich zum Teil um sehr rasche Vorgänge, die nur mit sehr schnell arbeitenden Instrumenten, den Oszillographen, festgehalten werden können. Die damit gemessenen Überspannungen betragen etwa das 2,2...2,6fache, ausnahmsweise bis etwa 3fache der Betriebsspannung.

Wären die sogenannten Betriebsüberspannungen die wirklich höchsten Beanspruchungen, so wäre die richtige Bemessung der Isolation leicht. Aber zu diesen eigentlichen Betriebsbeanspruchungen kommen noch die Gewitterüberspannungen hinzu.

2. Blitzforschung

Bis in die zweite Hälfte der zwanziger Jahre wusste man über den Charakter der Blitzentladungen sehr wenig, nämlich lediglich, dass es sich um noch raschere Vorgänge als bei den Betriebsüberspannungen und offenbar um sehr hohe Spannungen handelte. Exakte

Angaben fehlten aber, da kein Messgerät bekannt war, das so rasche Zeitabläufe wiederzugeben gestattete. Die in der Radiotechnik angewandte Braunsche Röhre schien geeignet, diesem Mangel abzuhelpen. Für die Zwecke der Hochspannungstechnik wurde zunächst in Frankreich der sogenannte Kathodenstrahl-Oszillograph (KO) entwickelt. Dem neuen Instrument hafteten jedoch viele Mängel an. In der Schweiz entschloss man sich daher, an die Verbesserung des KO zu gehen. Konstruktionsfirmen und Elektrizitätswerke, die gleicherweise an seiner Fortentwicklung interessiert waren, bildeten 1926 den Ausschuss für die Arbeiten mit dem KO, der 1930 in die Kathodenstrahl-Oszillographen-Kommission (KOK) umgewandelt wurde. Dem zielbewussten Leiter dieser Organisation, Prof. Dr. K. Berger, gelang es schrittweise, massgebende Verbesserungen des KO zu erreichen.

Praktisch alle grösseren Elektrizitätswerke führen eine Statistik über die in den Hochspannungsanlagen vorkommenden Störungen und Schäden. Daraus wusste man schon lange, dass die Gewitterstörungen praktisch die häufigsten sind. Man war sich auch klar darüber, dass es wirtschaftlich undenkbar ist, Hochspannungsanlagen so stark zu isolieren, dass sie den bei Blitzeinschlägen auftretenden Überspannungen standhalten. Daher hatte man von jeher Überspannungsableiter gebaut, denen die Aufgabe zugedacht war, bei den für die Anlage gefährlichen Spannungen eine Verbindung mit der Erde herzustellen, die nach Abklingen der Überspannung wieder unterbrochen werden musste. Aber die bis dahin gebräuchlichen «Ableiter», z. B. Funkenstrecken mit vorgeschalteten Wasserwiderständen, vermochten diesen Anforderungen nur sehr mangelhaft zu entsprechen. Zwar fehlte es nicht an Bestrebungen zur Verbesserung der Ableiter, doch glichen alle diese Anstrengungen einem Probieren, solange man über die Eigenschaften des Blitzes noch völlig im dunkeln tappte. Daran vermochten auch recht sinnreiche Neuentwicklungen mit ziemlich komplizierten Schaltungen im wesentlichen nichts zu ändern.

In der zweiten Hälfte der zwanziger Jahre gelang dann die Herstellung spannungsabhängiger Widerstände; damit war ein weiteres Element für die Entwicklung wirksamer Ableiter gefunden.

Mit diesen sogenannten «Ventilableitern» waren die übrigen Konstruktionen mit einem Schlag von der Bildfläche verdrängt. Der inzwischen zu einem sehr gebrauchsfähigen Instrument entwickelte Kathodenstrahl-Oszillograph erlaubte nicht nur die Erforschung

¹⁾ Siehe S. 486 dieses Heftes.

der Blitzvorgänge, sondern wies auch den Weg, wie die modernen Ableiter zu prüfen waren.

In dieser kurzen Einführung können natürlich nur ein paar wenige Andeutungen gemacht werden, und es wird auch bewusst auf theoretische Begründungen verzichtet. Nur soviel sei erläutert:

Die Forschungen mit dem Kathodenstrahl-Oszillographen haben gezeigt, dass die durch den Blitz erzeugten Überspannungen sogenannte «Stoßspannungen» sind. Darunter versteht man eine Spannungswelle, deren Wert von null aus in sehr kurzer Zeit (Größenordnung von 1 μ s) bis zum Scheitelwert ansteigt und dann allmählich abnimmt, wobei die Zeit, in der die Spannung auf den halben Scheitelwert sinkt, bis gegen 200 μ s beträgt; beim genormten Stoss beträgt diese Zeit 50 μ s. Der ansteigende Teil der Stoßspannung heisst «Front», der abfallende Teil «Rücken».

Will man Ableiter im Zusammenhang mit einer Anlage prüfen, so muss man solche Stoßspannungen künstlich erzeugen, da man selbstverständlich nicht warten kann, bis natürliche Blitze diese Funktion übernehmen. Das Mittel für die Erzeugung solcher Stoßspannungen sind die Stoss-Generatoren. Im Prinzip bestehen sie aus Kondensatoren, die in Parallelschaltung geladen und in Serieschaltung entladen werden. Es gelingt auf diese Weise, Stoßspannungen von mehreren Millionen Volt (MV) und Stoßströme von rund 100 000 A (100 kA) zu erzeugen.

Diese wenigen Angaben zeigen, dass, nachdem der Kathodenstrahl-Oszillograph eine gewisse Reife erlangt hatte, auch eine Menge anderer Probleme der Lösung harreten. Die KOK wurde daher im Jahre 1937 in die immer noch bestehende «Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen» (FKH) übergeführt, deren Leitung auch heute noch Prof. Dr. K. Berger inne hat. Viele Fortschritte, nicht nur auf dem Gebiet der Blitzforschung, sind der segensreichen Tätigkeit der FKH zu verdanken.

3. Die Arbeiten des Koordinationskollegiums des CES

Die Erforschung der Stossvorgänge und das Verhalten des Materials unter Stossbeanspruchung nahm das Personal der Prüflaboratorien jahrelang in Anspruch, wobei man sich zunächst nur um das Hochspannungsmaterial kümmern konnte. Polaritätseinflüsse, Wirkung von Spitzen, dann aber vor allem die ganz neuen Einblicke in den raschen Ablauf der Vorgänge und Zusammenhänge der raumzeitlichen Abläufe zwangen dazu, Vorstellungen aus der einfachen Wechselstromtechnik zu revidieren.

Am 1. Mai 1941 wurde auf Anregung von Dr. A. Roth, dem damaligen Präsidenten des FK 8, das neue Fachkollegium 28 (FK 28), Koordination der Isolation, gegründet. Seine Aufgabe war es, die neuen Erkenntnisse für die Praxis nutzbar zu machen. Der Umstand, dass die oft seltsam anmutenden Stossvorgänge zuerst richtig gedeutet werden mussten, erschwerte die Arbeiten des Kollegiums in erheblichem Masse. Als greifbares Ergebnis erschien am 16. Juni 1948 die erste Fassung der Koordinationsregeln (Publikation Nr. 183 des SEV: Regeln und Leitsätze für die Koordination der Isolation in Wechselstrom-Hochspannungsanlagen).

Schon im Verlauf der ersten Arbeiten des Fachkollegiums waren auch Probleme der Freileitungs-isolation gestreift worden. Es zeigte sich dann, dass auf diesem Gebiet wieder ganz andere Fragen auf-

tauchten, die mit den entsprechenden Spezialisten zu behandeln waren. Um die Arbeiten über die Anlagen nicht aufzuhalten, war daher am 5. Februar 1942 eine Unterkommission «Freileitungen» gebildet worden. Auch in diesem zweiten Gremium mussten die Fachleute zuerst mit den neuartigen Stoßspannungsproblemen vertraut werden. Die recht mühsamen Arbeiten konnten erst kürzlich abgeschlossen werden; die Publikation Nr. 4002.1961 des SEV «Leitsätze für Koordination, Bemessung und Prüfung der Isolation von Hochspannungsfreileitungen» steht seit dem 1. Juli 1961 in Kraft.

4. Andere Arbeiten

In den Jahren 1939 bis 1946 haben der SEV und die FKH in Zusammenarbeit mit verschiedenen Fabrikanten und Elektrizitätswerken umfangreiche Studien angestellt über das Verhalten von an Freileitungsnetzen angeschlossenen Hausinstallationen bei Stossspannungsbeanspruchung und über geeignete Schutzeinrichtungen. Eine erste Arbeit stammt von W. Herzog, der unter Leitung von Prof. Dr. K. Berger an einer Versuchsanlage im Letten Studien machte (siehe K. Berger: Der Überspannungsschutz von Hausinstallationen. Bull. SEV 1941, Nr. 25, S. 699).

Im Sommer 1942 konnten in vorhandenen Installationen eines grösseren Gebäudekomplexes der EKZ in Wetzikon und im Jahre 1945 in einem abgelegenen, an eine lange Freileitung angeschlossenen Privathaus in Uitikon Versuche und Messungen durchgeführt werden (siehe K. Berger: Stossversuche an Hausinstallationen und vorläufige Beurteilung der Möglichkeiten des Schutzes von Hausinstallationen gegen atmosphärische Überspannungen. Bull. SEV 1944, Nr. 19, S. 523; K. Berger und R. Pichard: Stossversuche an einer Hausinstallation in Uitikon a. A., 1945. Bull. SEV 1947, Nr. 18, S. 543; K. Berger: Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen in Wetzikon und Uitikon für den Schutz von Hausinstallationen gegen atmosphärische Überspannungen. Bull. SEV 1947, Nr. 18, S. 568).

Trotz dem Vorliegen dieser wertvollen Arbeiten musste man im FK 28 auf eine Behandlung der «Niederspannungskoordination» verzichten, wie man auch in gleicher Weise die Fragen der Transformatoren und der rotierenden Maschinen hatte zurückstellen müssen.

5. Gründung der Unterkommission «Niederspannung»

Am 4. Mai 1950 bildete das FK 28 eine neue Unterkommission für die Bearbeitung der «Niederspannungskoordination».

Wenn es schon nicht möglich ist, Hochspannungsanlagen so zu bauen, dass sie den Gewitter-Überspannungen ohne zusätzliche Einrichtungen gewachsen sind, so liegt es auf der Hand, dass dies bei Niederspannungseinrichtungen erst recht nicht der Fall sein kann. Aber da die niedrigere Isolation der Niederspannungsanlagen schon für eine Begrenzung der in den Hausinstallationen auftretenden Überspannungen sorgt, ist das Problem trotzdem lösbar. Die Prüfung der oben erwähnten Arbeiten und die weiteren Untersuchungen hatten eindeutig gezeigt, dass verschiedene Teile der ortsfesten Hausinstallationen den auftretenden Beanspruchungen durchaus gewachsen sind. Daneben waren aber ein grosser Teil der Verbraucher, die Zähler, gewisse Relais usw. so schwach isoliert, dass auch Ableiter sie nicht sicher zu schützen vermochten.

Da viele Anlagen, nämlich alle in Städten und grossen Ortschaften an Kabel angeschlossene Hausinstallationen praktisch nicht unter Überspannungen zu leiden haben, musste eine Lösung gesucht werden, die keine oder mindestens keine ins Gewicht fallende Verteuerung mit sich bringt. Die Arbeiten zahlreicher Firmen haben gezeigt, dass es relativ leicht möglich ist, die Isolation vieler Geräte so zu verbessern, dass sie den auftretenden Beanspruchungen gewachsen sind.

C. Technische Überlegungen

1. Welche Beanspruchung tritt auf?

Bei Hochspannung macht die Ansprech- und Restspannung der Ableiter den weitaus grössten Teil der die Isolation beanspruchenden Spannung aus. Bei Niederspannung dagegen macht der Spannungsabfall an der Erdung und an der Erdleitung oft mehr aus als die Restspannung, wobei namentlich Führung und Länge der Erdleitungen von grossem Einfluss sind. Die erwähnten Versuche zeigten, dass unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse, auch bei Anwendung von Ableitern, mit einer Stossspannungsbeanspruchung von etwa 4 kV gerechnet werden muss, weshalb für die Installation eine Stosshaltspannung von 5 kV gefordert wird.

2. Isolationsfestigkeit der Verbraucher

Leider ist es mit den heute zur Verfügung stehenden Isoliermitteln ganz ausgeschlossen, Verbraucher mit der geforderten Stossspannungsfestigkeit zu bauen, ohne dass eine sehr grosse Verteuerung und bei gewissen tragbaren Apparaten dazu eine die Verwendbarkeit einschränkende Gewichts- und Volumenvergrösserung eintreten würde. Daher musste man sich mit einer bescheidenen Isolationsforderung zufrieden geben. Das ist möglich, wenn man zulässt, dass in den seltenen Fällen höherer Überspannungen das Schmelzen von Sicherungen und, in vereinzelt Fällen, Schäden in Kauf genommen werden.

Für teure Apparate, bei denen der Besitzer grossen Wert darauf legt, dass keine Beschädigungen auftreten, kann durch den Einbau mehrerer Ableiter (auf einem der letzten Masten vor dem Haus, nach der Anschlussicherung und schliesslich beim besonders zu schützenden Gerät) ein viel besserer Schutz erzielt werden.

3. Überspannungsbegrenzer

Im Verlaufe der Beratungen hatte man erwogen, bei diesen besonders zu schützenden Geräten sogenannte Überspannungsbegrenzer einzubauen. Dabei hätte es sich z. B. um Funkenstrecken in mit Edelgas gefüllten Glasröhren gehandelt. Beim Auftreffen einer für den Apparat gefährlichen Spannung wäre ein Kurzschluss eingeleitet worden, was das Schmelzen der vorgeschalteten Sicherung zur Folge gehabt hätte. Ausgeführte Versuche bewiesen die Brauchbarkeit dieses Systems. Indessen ergab sich, dass die Zahl der Fälle, in denen solche «Überspannungsbegrenzer» zur Anwendung kommen müssen, viel zu klein wäre, um eine rationelle Herstellung zu ermöglichen. Würde man aber den Einbau überhaupt für alle empfindlichen Geräte (z. B. Radio- und Fernsehapparate usw.) fordern, so gäbe es jährlich für Hunderttausende von Apparaten eine Verteuerung von etwa Fr. 25.—, also einen in die Millionen gehenden Betrag, um einen Schaden von einigen tausend Franken pro Jahr zu

vermeiden. Daher musste dieser Gedanke fallen gelassen und empfohlen werden, in kritischen Fällen einen dritten Ableitersatz beim besonders zu schützenden Apparat einzubauen.

D. Wirtschaftliche Überlegungen

Abschätzung des Schadens, der durch Überspannungen erzeugt wird

Im Verlaufe der jahrelangen Beratungen ist auch die Frage aufgetaucht, ob es sich überhaupt lohne und rechtfertige, auch für Niederspannungsanlagen Koordinationsvorschriften und Empfehlungen für den Schutz dieser Anlagen auszuarbeiten. Es dürfte daher ganz interessant sein, einige Angaben zu machen über die auftretenden Schäden. Leider fehlen aber, im Gegensatz zu den Hochspannungsanlagen, zuverlässige Statistiken; man ist auf einige Angaben angewiesen, aus denen durch Extrapolation Schlüsse auf die Verhältnisse in der ganzen Schweiz gezogen werden müssen.

Im Bulletin des SEV 1939, Nr. 1 und 1940, Nr. 8, macht *Ch. Morel* Angaben über Schäden, die in Hausinstallationen durch Überspannung entstanden sind.

Von 1925...1936 wurden 3122 Fälle erfasst, bei denen durch indirekte Blitzschläge (vorwiegend Überspannungen) Gebäudeschäden von Fr. 542 860.— verursacht wurden. Im Durchschnitt macht das pro Jahr 260 Fälle mit einer Schadenssumme von Fr. 45 250.— aus. Auf heutigen Wert umgerechnet sind das ziemlich genau 100 000 Franken pro Jahr. Dazu kommen noch die Mobiliarschäden, bei denen es sich um eine bedeutend höhere Zahl von Fällen, aber mit kleinerem Wert pro Fall handelt. Insgesamt kann der Mobiliarschaden auf etwa das Doppelte des Gebäudeschadens geschätzt werden, d. h. pro Jahr auf 200 000 Franken, und der Totalschaden für Gebäude und Mobiliar zusammen somit auf 300 000 Franken. Diese Zahlen beziehen sich auf 18 Kantone, die eine kantonale Gebäudeversicherung besitzen. Rechnet man auf Grund der Bevölkerungszahl auf die ganze Schweiz um, so kommt man auf einen jährlichen Schaden von rund 350 000 Franken.

Die Brandstatistik der Vereinigung kantonaler Feuerversicherungsanstalten weist für das Jahr 1959 und wiederum für 18 Kantone 1115 auf indirekte Entladungen und Überspannungen zurückzuführende Schadenfälle mit einer Schadenssumme von Fr. 225 155.— aus. Für die ganze Schweiz kommt man mit dem Umrechnungsfaktor von 1,169 auf einen Gebäudeschaden von rund 263 000 Franken. Rechnet man wiederum für die Mobiliarschäden den doppelten Betrag dazu, d. h. 526 000 Franken, so ergibt sich ein Totalschaden von jährlich etwa 789 000 Franken.

Die Angaben von *Ch. Morel* aus den Jahren 1939 und 1940 dürfen wohl als überholt angesehen werden, weil seither die Anwendung der Elektrizität abermals grosse Fortschritte gemacht hat. Der durch Überspannungen erreichte Schaden an Gebäuden und Mobiliar zusammen muss heute auf über 500 000 Franken, aber wahrscheinlich noch unter einer Million Franken liegend, geschätzt werden. Dass diese Bewertung nicht zu hoch greift, möge durch folgende Überlegungen angedeutet werden:

R. Bechler, Inspektor der Brandversicherungsanstalt des Kantons Bern, der auf dem Gebiete der durch Elektrizität verursachten Brände über eine grosse Er-

fahrung verfügt, vertritt die Auffassung, dass viele Fälle, bei denen Isolationsfehler und schleichende Schlüsse Brände zur Folge haben, auf frühere indirekte Blitzschläge und Überspannungen zurückzuführen seien.

Er schreibt in einem Brief:

«Unseren Erfahrungen nach besteht nämlich kein Zweifel, dass die primäre Ursache von Bränden, die schleichenden Schlüssen zugeschrieben werden, vielfach in solchen Überspannungen liegt. Der Stromüberschlag bewirkt in diesen Fällen keinen sofort in Erscheinung tretenden Defekt; an Stellen, wo die Isolation dadurch aber — wenn auch geringfügig — beschädigt worden ist, kann der Betriebsstrom unter Feuchtigkeitseinflüssen mit der Zeit entweichen und sich auf Kriechwege begeben. Bis daraus ein zündender Schluss entsteht, können Wochen, ja Monate vergehen. Wir erleben es immer wieder, dass sich Brandausbrüche an der elektrischen Einrichtung just in Gebäuden ereignen, in denen vor kurzer oder längerer Zeit bei Gewittern Sicherungen oder Glühlampen defekt wurden...»

Besondere Probleme bei der Nachrichtenübertragung über Hohlkabel mit Millimeterwellen

Von G. Piefke, München

621.372.8.09

Die Nachrichtenübertragung mit Millimeterwellen wird im runden Hohlleiter mit der H_{01} -Welle durchgeführt, da man bei dieser Welle den Vorteil der mit der Frequenz abnehmenden Dämpfung ausnützen kann. Bei Abweichung des Kabels vom mathematisch geraden, runden Hohlleiter werden von der H_{01} -Welle unerwünschte Wellentypen angeregt, die vor allem durch Rückumwandlung eine Verzerrung des Signals verursachen können. Es wird physikalisch erläutert, dass in besonderen Arten von Hohlleitern (Ringgliederleitung, Wendelleitung) die H_{01} -Welle nur unwesentlich, die unerwünschten Wellentypen dagegen sehr stark gedämpft werden und somit eine Rückumwandlung von diesen in die H_{01} -Welle und damit eine Verzerrung des Signals nicht möglich ist. Eine mathematische Methode zur Berechnung der Ringglieder- und der Wendelleitung wird angegeben. Als Beispiel wird die Dimensionierung einer Wendelleitung für eine möglichst grosse Dämpfung der H_{12} -Welle betrachtet. Die Vorteile eines dielektrisch belasteten Hohlleiters in Verbindung mit Wellenfiltern aus Wendelleitungen werden aufgezeigt.

Da es aber nicht möglich ist, diese Angaben zahlenmässig zu bewerten, sei von einer Korrektur abgesehen. Zusammenfassend darf man also sagen, dass die Schadenhöhe es durchaus rechtfertigt, etwas zu unternehmen, dass aber andererseits der Aufwand sich in bescheidenen Grenzen halten muss. Das aber hat man sich bei der Aufstellung der Regeln zur Pflicht gemacht, was schon allein aus dem Umstand erklärt werden kann, dass Schweden und Frankreich für Niederspannungsinstallationen eine Stosshaltenspannung von 8 kV fordern, während bei uns nur 5 kV verlangt werden.

Die in jahrelangen Verhandlungen zustande gekommenen Regeln stellen eine gute Lösung des ziemlich verwickelten Problems dar und bedeuten eine namhafte Verbesserung der Sicherheit.

Adresse des Autors:

H. Wüger, Direktor der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, Postfach Zürich 22.

La transmission par ondes millimétriques a lieu au moyen de conducteurs creux en utilisant l'onde H_{01} (TE_{01}), celle-ci permettant de bénéficier de l'avantage de la diminution de l'amortissement avec l'accroissement de la fréquence. Lorsque la forme du câble s'écarte de celle du conducteur creux à section circulaire mathématiquement rectiligne des types d'ondes parasites sont excités par l'onde H_{01} qui, en premier lieu, peuvent par un phénomène de reconversion, provoquer une distorsion du signal. On démontre par la physique que pour certains types de conducteurs creux (ligne à éléments annulaires, ligne hélicoïdale) l'onde H_{01} n'est amortie que de manière insignifiante, tandis que les types d'ondes parasites le sont très fortement et qu'ainsi une reconversion de celles-ci dans l'onde H_{01} et donc une distorsion du signal ne sont pas possibles. Une méthode mathématique pour le calcul des lignes à éléments annulaires et hélicoïdales est indiquée. Le calcul des dimensions d'une ligne hélicoïdale ayant un amortissement aussi fort que possible pour l'onde H_{12} (TE_{12}) est examiné à titre d'exemple. On fait ressortir les avantages d'un conducteur creux chargé diélectriquement employé en liaison avec des filtres de mode constitués par des tronçons de lignes hélicoïdales.

1. Einleitung

Für die Nachrichtenübertragung über weite Entfernungen benützt man heute Koaxialkabel und Breitband-Richtfunksysteme. Bei Koaxialkabeln geht das Übertragungsband von 300 kHz bis 12 MHz. Über ein Kabel mit 8 Koaxialtuben kann man daher 10800 Gespräche übertragen. Der Verstärkerabstand beträgt hierbei 4,5 km. Über ein Breitband-Richtfunksystem, das im cm-Wellen-Gebiet arbeitet, kann man mit 6 radiofrequenten Kanälen heute ebenfalls 10800 Gespräche übertragen. Der Verstärkerabstand beträgt hierbei etwa 50 km. Da beim Koaxialkabel bei hohen Frequenzen die Dämpfung mit der Wurzel aus der Frequenz steigt, ist es nur durch Verringerung der Verstärkerabstände möglich, mehr Sprechkreise unterzubringen. Ebenso kann man auch in der Richtfunktechnik nicht zu beliebig hohen Frequenzen übergehen, da oberhalb von etwa 15 GHz die Absorption durch die Atmosphäre zu gross wird.

Die sogenannte H_{01} -Welle im runden Hohlleiter hat nun die günstige Eigenschaft, dass einerseits die Dämpfung mit wachsender Frequenz abnimmt und andererseits die Absorption in der freien Atmosphäre wegfällt.

Daher wird der Übertragung mit der H_{01} -Welle eine grosse technische Bedeutung zukommen [1]¹⁾.

2. Prinzipielle Übertragungseigenschaften der Hohlleiter, insbesondere des runden Hohlleiters bei der H_{01} -Welle

In [2] werden nun die prinzipiellen Übertragungseigenschaften von Hohlleitern erläutert. In diesen gibt es unendlich viele E - und H -Wellen, die mit E_{mn} - und H_{mn} -Wellen bezeichnet werden. Die E -Wellen haben in Ausbreitungsrichtung eine elektrische Feldstärke, aber keine magnetische. Bei den H -Wellen ist es umgekehrt. Bei den runden Hohlleitern bezieht sich der Index $m = 0, 1, 2, \dots$ auf die zirkuläre Abhängigkeit, der Index $n = 1, 2, 3, \dots$ auf die radiale Abhängigkeit des Feldes. Bei Rotationssymmetrie ist $m = 0$. Alle Wellen haben eine sog. «Grenzfrequenz», die von den Abmessungen des Hohlleiters und vom Wellentyp abhängt. Unterhalb der Grenzfrequenz gehen die Wellen in statisch gedämpfte Felder über und transportieren keine Energie. Oberhalb der Grenzfrequenz sind die Wellen als solche existenzfähig und transportieren

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.