

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 38 (1947)

Heft: 13

Artikel: Les systèmes de mesures pour l'enregistrement des vibrations des lignes aériennes

Autor: Preiswerk, M. / Dassetto, G.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056744>

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: 25.12.2024

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

- Frequencies. Proc". Inst. Radio Engr". Bd. 32(1944), Nr. 5, S. 276...284.
- [3] *Fränz, Kurt*: Ueber die Empfindlichkeitsgrenze beim Empfang elektrischer Wellen und ihre Erreichbarkeit. Elektr. Nachr.-Techn. Bd. 16(1939), Nr. 4, S. 92...96.
- [4] *Fränz, Kurt*: Messung der Empfängerempfindlichkeit bei kurzen elektrischen Wellen. Hochfrequenztechn. u. Elektroakustik Bd. 59(1942), Nr. 4, S. 105...112, u. Nr. 5, S. 143...144.
- [5] *Friis, H. T.*: Noise Figures of Radio Receivers. Proc". Inst. Radio Engr". Bd. 32(1944), Nr. 7, S. 419...422, u. Nr. 12, S. 729.
- [6] *Herold, E. W.*: The operation of frequency converters and mixers for superheterodyne reception. Proc". Inst. Radio Engr". Bd. 30(1942), Nr. 2, S. 84...102.
- [7] *Herold, E. W.*, und *Malter, L.*: Some Aspects of Radio Reception at Ultra-High Frequency. Proc". Inst. Radio Engr". Bd. 31(1943), Nr. 8, S. 423...438; Nr. 9, S. 491...500, u. Nr. 10, S. 567...581.
- [8] *Hill, A. G.*: Microwave phenomena and techniques. Radio News Bd. 35(1946), Nr. 3, S. 3...30.
- [9] *Kleen, W.*: Verstärkung und Empfindlichkeit von UKW- und Dezimeter-Empfangverstärkerröhren. Telefunken-Röhre Bd. 1941, Nr. 23, S. 273...296.
- [10] *Kleen, W.*: Gittersteuerung, Kathodensteuerung und Kathodenverstärker. Elektr. Nachr.-Techn. Bd. 20(1943), Nr. 2, S. 140...144.
- [11] *MacDonald, D. K. C.*: A Note on Two Definitions of Noise Figure in Radio Receivers. Phil. Mag. Bd. 35 (1944), Nr. 245, S. 386...395.
- [12] *North, D. O.*: Fluctuations induced in vacuum tube grids at high frequencies. Proc". Inst. Radio Engr". Bd. 29(1941), Nr. 2, S. 49...50.
- [13] *North, D. O.*, und *Friis, H. T.*: Discussion on «Noise figures of radio receivers». Proc". Inst. Radio Engr". Bd. 33(1945), Nr. 2, S. 125...126.
- [14] *Strutt, M. J. O.*: Die charakteristischen Admittanzen von Mischröhren für Frequenzen bis 70 Megahertz. Elektr. Nachr.-Techn. Bd. 15(1938), Nr. 1, S. 10...17.
- [15] *Strutt, M. J. O.*, und *van der Ziel, A.*: The causes for the increase of the admittances of modern high-frequency amplifier tubes on short waves. Proc". Inst. Radio Engr". Bd. 26(1938), Nr. 8, S. 1011...1032.
- Strutt, M. J. O.*, und *van der Ziel, A.*: Die Ursachen für die Zunahme der Admittanzen moderner Hochfrequenz-Verstärkerröhren im Kurzwellengebiet. Elektr. Nachr.-Techn. Bd. 14(1937), Nr. 9, S. 281...293.
- [16] *Strutt, M. J. O.*, und *van der Ziel, A.*: Verringerung der Wirkung spontaner Schwankungen in Verstärkern für Meter- und Dezimeterwellen. Physica Bd. 9(1942), Nr. 10, S. 1003...1012, u. Bd. 10(1943), Nr. 10, S. 823...826.
- [17] *Van der Ziel, A.*, und *Strutt, M. J. O.*: Suppression of spontaneous fluctuations in 2n-terminal amplifiers and networks. Physica Bd. 9(1942), Nr. 6, S. 528...538.

Adresse des Autors:

Dr. M. J. O. Strutt, N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, Nederland.

Les systèmes de mesures pour l'enregistrement des vibrations des lignes aériennes

Par M. Preiswerk et G. Dassetto, Lausanne

621.315.1.056.3.0014

Ce rapport a été établi sur demande du Sous-comité du Calcul des Lignes et des Vibrations du Comité des Conducteurs Aériens de la CIGRE. Après un aperçu sur les différents systèmes de mesure employés pour l'enregistrement des vibrations, tant en laboratoire que sur les lignes hors tension, et avoir indiqué les cas où ces mesures peuvent présenter un intérêt, on décrit le système le plus convenable de recherches sur les lignes sous tension. Une bibliographie suit.

Dieser Bericht ist auf Wunsch des Unterkomitees für Leitungs- und Schwingungsberechnung des Freileitungskomitees der CIGRE verfasst worden. Nach Aufführung der verschiedenen Messmethoden, die für die Registrierung der Schwingungen, sowohl im Prüffeld, als auch auf spannungslosen Freileitungen, angewendet worden sind, und nach Erörterung der Fälle, wo solche Messungen von Nutzen sein können, wird die geeignete Methode für die Untersuchung der unter Spannung stehenden Leitungen beschrieben. Ein Literaturnachweis folgt.

Introduction

Le premier pas le plus important vers la solution des différents problèmes relatifs aux vibrations a été, sans doute, celui de la constatation, de l'identification, de la mesure et de l'analyse des vibrations elles-mêmes.

La première indication, très ancienne du reste, de l'existence des vibrations sur les lignes électriques a été fournie par le bourdonnement bien connu des lignes de télécommunication.

Plus tard, les vibrations furent cherchées soit en appuyant l'oreille ou une baguette en bois tenue avec les dents au pylône qui vibre aussi, soit par constatation visuelle, surtout dans le cas de conducteurs à fort diamètre, lorsque les vibrations présentent des amplitudes de 1 à 2 cm, avec grandes distances nodales (4 à 8 m).

Ces premières indications, jointes aux phénomènes (ruptures) de fatigue, formèrent le cadre extérieur de l'étude des vibrations.

Dès ce moment, on constata la nécessité d'une étude détaillée de ces phénomènes afin d'aboutir aux moyens convenables pour combattre avantageusement les vibrations. Ces moyens sont désormais

bien connus et l'on peut donc se demander à quel but doivent servir ces enregistrements.

S'il s'agit de lignes anciennes, les enregistrements peuvent éventuellement donner des indications utiles sur la nécessité de les équiper avec des armatures plus convenables.

S'il s'agit de nouvelles lignes, l'équipement peut être directement choisi de façon à éviter tout danger qui pourrait découler de phénomènes vibratoires. Toute mesure de vibrations devient donc superflue.

Le fait essentiel, par contre, est le choix judicieux de la pince de suspension, qui doit surtout pouvoir suivre facilement tout mouvement ondulatoire du conducteur et ne pas devenir un point de réflexion des vibrations. Il n'est toutefois pas facile de trouver une pince qui réponde entièrement à ce but et qui présente toutes les qualités requises. A ce sujet, consulter la «Note récapitulative sur l'état actuel des vibrations de conducteurs et des moyens pour en éliminer les méfaits» présentée à ce Sous-comité à l'occasion du Congrès 1946 de la CIGRE¹⁾.

Il est cependant intéressant de résumer les moyens adoptés par le passé dans les différents cas.

¹⁾ voir Bull. ASE t. 37(1946), n° 14, p. 375...382.

Recherches de laboratoire

On débuta par des recherches de laboratoire qui servirent surtout au développement de considérations théoriques, à la déduction de formules et de lois plus au moins justes, mais ne pouvant pas reproduire exactement les phénomènes que l'on rencontre effectivement en ligne, ces derniers étant bien plus complexes, ainsi qu'à l'étude et à la mise au point des armatures, telles que pinces de suspension, amortisseurs, etc.

L'avantage de ces essais réside dans la possibilité de régler à volonté chaque élément entrant en jeu: sollicitation mécanique, fréquence, longueur d'onde, amplitude et, dans des cas particuliers, température, ainsi que dans le fait que le tronçon de câble n'étant pas sous tension, une mesure parfaite et ininterrompue et une observation des vibrations et de ses effets sont possibles.

Recherches sur les lignes

En pratique, le phénomène est plus complexe, car les éléments incidents sont tellement nombreux et variables que l'évaluation du phénomène, ainsi que son exacte interprétation théorique ne sont pas toujours aisées.

Parmi les éléments les plus importants qui concourent à la formation du phénomène, il y a lieu de rappeler:

- a) *Vente*: intensité, uniformité, direction, incidence;
- b) *Température et conditions climatiques*: chaud, froid, gel, givre, sauts de température, nuages, brouillards, orages, brises dues au lever et au coucher du soleil, jour et nuit;
- c) *Nature du terrain*: plaine, colline, montagne, mi-côté, arbres, vallons, relèvements du terrain;
- d) *Tracé*: orientation de la ligne;
- e) *Palification*: pylônes en bois, en fer, en béton armé, répartition des pylônes d'alignement et d'ancrage, présence ou manque du câble de terre;
- f) *Armatures*: Bien que les armatures ne concourent pas directement à la formation du phénomène vibratoire, elles ont (surtout les pinces de suspension) une influence non négligeable, voire même prépondérante sur ses effets, en favorisant par un poids excessif, par une forme non convenable ou par des sollicitations locales exagérées de compression du conducteur soit la réflexion des oscillations, donc leur entretien, soit des ruptures des conducteurs par fatigue du matériel;
- g) *Conducteur*: diamètre, construction, poids, disposition des phases (sur un plan ou sur des plans différents), sollicitation mécanique.

I. Lignes hors tension

La méthode graphique la plus simple pour l'enregistrement des vibrations a été celle de fixer un crayon au conducteur et de lui appliquer ensuite rapidement une feuille de papier sur laquelle reste marqué un diagramme de vibration, qui, toutefois, n'est pas complet, car il ne donne aucune indication de temps, ni aucune assurance d'uniformité d'enregistrement.

Afin d'éliminer ces inconvénients, on passa à un système comportant un tambour tournant, commandé par mouvement d'horlogerie, et une sorte de plume appuyant sur du papier noirci au noir de fumée et reliée au conducteur à l'aide d'une ficelle. Il fut ainsi possible de connaître avec une exactitude suffisante la forme des vibrations, c'est-à-dire leur amplitude et leur fréquence. Avec un moulinet, on mesura à part la vitesse relative du vent. L'inconvénient grave consistait toutefois dans l'impossibilité d'employer des diagrammes sans fin et de synchroniser les enregistrements et les mesures du vent. Cette méthode permit par contre de fixer simultanément les vibrations en amont et en aval d'une pince de suspension et d'en déduire quelques directives pour la construction de pinces convenables.

Il était intéressant, en outre, de connaître la durée, c'est-à-dire la persistance des phénomènes vibratoires. Dans ce but, on employa un circuit électrique, formé d'un tube métallique rempli d'un tiers environ de mercure et traversé par un conducteur nu, fixé aux extrémités par des bouchons en gomme et convenablement connecté à une batterie et à un appareil enregistreur. Dès qu'un mouvement vibratoire se produit, le mercure très mobile entre en contact avec le conducteur, ferme le circuit et permet ainsi l'enregistrement.

Il y a lieu de rappeler ici le système proposé par *Föppl*, qui consiste en une plaque rectangulaire suspendue directement au conducteur et sur laquelle est peint, en blanc et noir, un triangle de dimensions bien définies, divisé en zones lamellaires. Les vibrations du conducteur, exécutées synchroniquement par la plaque, produisent un effet optique de superposition partielle du triangle qui, par des mesures à effectuer à distance moyennant des jumelles, permet de déterminer approximativement la valeur des amplitudes de vibration. Cette méthode sert toutefois uniquement dans le cas de vibrations rapides, c'est-à-dire à haute fréquence.

Une méthode plus adéquate a été adoptée par la Société Anonyme pour l'Industrie de l'Aluminium à l'occasion de recherches et d'études approfondies sur un réseau suisse et qui ont conduit à la mise au point de l'amortisseur à ressort. Elle consiste en un moulinet pour la mesure de la vitesse du vent, qui est enregistrée graphiquement au moyen de relais, magnéto et aiguille; en un mesureur d'amplitude de vibration, réalisé moyennant une tige connectée rigidement avec le conducteur et qui, actionnant aussi un ensemble de roues dentées et une aiguille enregistreuse, sert en même temps à la mesure de la fréquence. De cette façon, on a pu synchroniser des indications très complètes des vibrations avec celles relatives à la vitesse du vent.

Un appareillage plus scientifique est sans doute celui employé par *Buchanan*. Il est constitué principalement par un oscillographe et de petits disques de charbon groupés en piles et servant de résistance. Ces piles ont la propriété de changer leur valeur de résistivité suivant la variation de la force de compression appliquée. En exploitant cette propriété, les piles de charbon, disposées convenablement, peu-

vent être utilisées dans chaque point de la ligne pour déterminer, même simultanément, la valeur relative des sollicitations induites dans le conducteur pendant son effort pour varier, en vibrant, le rayon de courbure. Les oscillogrammes de ces sollicitations sont, grâce à leur nature, similaires à ceux qui pourraient être fournis par des mesures directes. Cet appareillage sert parfaitement à l'analyse exacte des vibrations.

Toutefois, avec ces méthodes de mesure et de contrôle, il est nécessaire que la ligne à l'examen soit mise hors tension, chose qui n'est pas toujours réalisable.

2. Lignes sous tension

Il fallait donc rechercher des méthodes qui permettent d'étudier d'une façon ininterrompue les lignes en service.

Avec le théodolite, par exemple, on peut effectuer depuis le sol, à distance, des observations très exactes même sur les plus petits mouvements d'un conducteur. Le manque d'une vue d'ensemble sur toutes les phases de la ligne, l'individualisation difficile de chaque conducteur, la difficulté de pouvoir suivre leurs mouvements vibratoires qui, avec les constantes variations du vent, varient sans cesse leurs propres caractéristiques (fréquence, distance nodale et amplitude), ont fait abandonner cette méthode.

Un autre moyen d'observation optique est celui d'exécuter les mesures directement sur les pylônes. Mais ici aussi on rencontre des difficultés non négligeables, qui dépendent surtout des fortes oscillations des pylônes, oscillations qui conduisent à des résultats imprécis, même si les observations ont été faites à l'aide de jumelles; en outre, il y a l'inconvénient qu'en regardant dans la direction du conducteur, les petites vibrations ne se laissent pas apercevoir et que le champ de visibilité est limité à un très petit tronçon de conducteur, de sorte que la vue d'ensemble manque tant sur toute la portée que sur les autres phases de la ligne à l'étude.

Avec le stroboscope, qui pourrait très bien servir à ces observations, l'obstacle à une bonne lecture provient de la distance trop grande que la tension oblige de garder entre l'instrument et le conducteur et du fait qu'à cause de la variation presque ininterrompue de la valeur de la fréquence et de l'amplitude de vibration, l'instrument ne peut presque jamais être mis à zéro.

On a donc développé un système que l'on peut considérer le plus convenable pour les lignes sous tension, comprenant un *enregistreur de durée de vibration* et un *compteur de vibrations*. A ces instruments principaux, il faut ajouter un thermomètre et un enregistreur d'intensité et de direction du vent.

L'enregistreur de durée de vibration est fixé directement au conducteur et inscrit sur des diagrammes circulaires, à l'aide d'une pointe commandée par mouvement d'horlogerie, les temps pendant lesquels le conducteur est soumis à des mouvements vibratoires. La pointe enregistreuse est reliée à un poids convenablement soutenu par des ressorts. Par rapport à l'appareil et par conséquent au conduc-

teur, il se trouve complètement en repos. De cet enregistrement, on peut relever, par exemple, combien d'heures par jour une ligne a dû vibrer. Le seul désavantage de cet instrument consiste dans le fait qu'il est nécessaire de le démonter pour remplacer les diagrammes circulaires en papier, qui ont une durée maximum de 15 jours, sans compter qu'il faut l'ouvrir pour pouvoir prendre connaissance des enregistrements. Cet appareil peut par contre être aisément monté et démonté sous tension à l'aide d'une perche isolée.

La seule connaissance de la durée de vibration sans celle du nombre des vibrations est insuffisante pour pouvoir juger la résistance aux sollicitations alternées de flexion du matériel conducteur employé.

La maison Jaquet de Bâle a mis au point un compteur convenant à ce genre de mesures. L'appareil qui pèse seulement 360 gr est monté directement sur le conducteur. La lecture se fait à distance par des jumelles. Du fait aussi que l'instrument n'a pas besoin d'être remonté périodiquement et qu'il ne nécessite aucun contrôle spécial, toute escalade des pylônes est superflue. Par différence de lecture, on peut aisément établir la moyenne journalière du nombre des vibrations des conducteurs à l'examen.

L'appareil étant équipé d'un battant mesure uniquement les vibrations qui ont lieu dans le plan vertical. La sensibilité du compteur est de $\pm 0,7$ mm, c'est-à-dire qu'il enregistre les vibrations supérieures à ces limites, et il réagit aux fréquences comprises entre 4 et 50 pér./s.

L'enregistrement de la vitesse du vent peut être effectué, par exemple, par la mesure de la variation de la température et, par conséquent, de la résistance électrique de fils incandescents de platine. On peut exécuter de la même façon la mesure de la température. La direction du vent, donnée par une girouette, peut être transmise à l'aide d'un curseur agissant sur une résistance électrique. Toutes ces indications peuvent être enregistrées graphiquement avec la mesure simultanée du temps, qui doit également être reportée synchroniquement sur les diagrammes d'éventuelles mesures des vibrations à exécuter, par exemple, avec un tambour tournant commandé par un petit moteur.

Conclusions

Ces considérations montrent qu'il est possible, par l'intermédiaire d'enregistrements graphiques, d'interpréter les phénomènes vibratoires dont les câbles sont le siège et leur dépendance de l'action du vent et de la température.

Il faut, toutefois, rappeler que, par de nombreux essais, on est arrivé à la conclusion qu'il est difficile de constater une dépendance directe entre la vitesse du vent et les vibrations, surtout dans les régions montagneuses, comme en Suisse par exemple, où le vent souffle par à-coups, de sorte que sa vitesse change de seconde en seconde. Ces vitesses varient passablement d'un point à un autre, même le long d'une portée, et si l'on exécute des mesures de la vitesse momentanée du vent à différentes hauteurs d'un pylône, on aboutit au résultat que le coup maximum du vent a lieu au sommet du pylône

10...15 s avant qu'il ait lieu à sa mi-hauteur. Il s'ensuit que, le long d'une portée, on a sur le conducteur les vitesses de vent les plus différentes, de sorte qu'à ce point de vue déjà il n'est pas possible d'établir la dépendance en question.

Les forces qui agissent sur le conducteur doivent être recherchées dans les dépressions qui se manifestent dans l'air en mouvement aux deux côtés du conducteur. Puisque dans certaines limites (dépendant de la vitesse momentanée du vent et du conducteur) le mouvement du conducteur commande l'amorçage des tourbillons en arrière de celui-ci, on doit s'attendre à ce que les vibrations soient amplifiées lorsque la vitesse du vent se trouve dans ces limites.

Il en résulte que seuls l'enregistreur de durée de vibration et éventuellement le compteur Jacquet ont une importance pratique pour établir quand et avec quelle fréquence moyenne (nombre des vibrations divisé par le temps indiqué par l'enregistreur) le conducteur vibre. Ces constatations sont suffisantes pour pourvoir à temps, par des moyens convenables,

à ce que ces phénomènes ne risquent plus de mettre en danger l'exploitation des lignes électriques.

Ces recherches ont permis de déterminer les moyens appropriés, tels que renforceurs, amortisseurs, câbles antivibratoires et surtout pinces de suspension, indiqués dans la «Note récapitulative sur l'état actuel des vibrations des conducteurs et des moyens pour en éliminer les méfaits» déjà mentionnée.

Bibliographie

- [1] *Nefzger, J.*: Dérangements occasionnés par les oscillations mécaniques des conducteurs aériens et leur remède. CIGRE 1933, rapp. 126.
- [2] *Buchanan, W. B.*: Vibration Analysis, Transmission Line Conductors. Electr. Engng. t. 53 (1934), n° 11, p. 1478...1485.
- [3] *Dassetto, G.*: Metodi di misura delle vibrazioni su linee elettriche. 40^e réunion de l'AEI, 1935.
- [4] *Hydro-Electric Power Commission of Ontario*: Vibration in electrical conductors including allied researches (Bibliography). Toronto, 1946.

Adresses des auteurs:

M. Preiswerk, directeur de la S. A. pour l'Industrie de l'Aluminium, Lausanne-Ouchy.
G. Dassetto, ingénieur à la S. A. pour l'Industrie de l'Aluminium, Lausanne-Ouchy.

Prüfungen an elektrischen Isoliermaterialien der Draht- und Kabelisolation¹⁾

Von *M. Zürcher*, Zürich

621.315.616.96.0014

Es wird ein Ueberblick über die Versuchsmethoden gegeben, die bei der Prüfung der Draht- und Kabelisolationen, namentlich mit Rücksicht auf die seit einigen Jahren benützten Thermoplastisolationen, angewendet werden. Dieser Ueberblick erhebt keinen Anspruch auf Neuheit, besonders nicht gegenüber dem Fachmann; er soll dazu dienen, die einschlägige Prüftechnik in weitere Kreise zu tragen. [Vgl. Bull. SEV Bd. 35 (1944), Nr. 19, S. 536...540.]

Aperçu des méthodes appliquées aux essais de l'isolation des fils et des câbles, notamment en ce qui concerne les matières thermoplastiques utilisées depuis quelques années. Cet aperçu, qui n'apporte guère de nouveautés aux spécialistes, est destiné en première ligne à exposer à des milieux plus étendus la technique particulière de ces essais [cf. Bull. ASE t. 35 (1944), n° 19, p. 536...540].

In der Materialprüfung, besonders auf dem Gebiet der Draht- und Kabelisolation, sind folgende zwei Gesichtspunkte auseinanderzuhalten: 1. Die Materialprüfung im Herstellungsbetrieb, welche die Eigenschaften und Einflüsse der Rohstoffe untersucht, und 2. die Materialprüfung, welche vom Standpunkt des Abnehmers aus die Eigenschaften des fertigen Produktes, seine Eignung für bestimmte Zwecke und seine Dauerhaftigkeit erfasst. Während vom ersten Standpunkt aus die Natur und die Art der verwendeten Stoffe im Vordergrund stehen, interessiert sich der Verbraucher weniger für die Zusammensetzung, als hauptsächlich für die Gebrauchseigenschaften des fertigen Produktes, und er wird daher nicht Analysen, sondern Resultate von Gebrauchsprüfungen fordern.

Der Mangel an Gummi führte, sowohl in der Schweiz, als auch in andern Ländern, zur Verwendung von Polyvinylchloridderivaten als Isoliermaterial im Leiterbau, die unter verschiedenen Markennamen im Handel sind. Die Berücksichtigung der Eigenschaften dieses neuen Materials bedingte, besonders in bezug auf seine elektrischen Eigenschaften, eine Ergänzung der bestehenden Prüfvorschriften, über die im folgenden berichtet werden soll.

Durchschlagsspannung

Die Durchschlagsspannung ist eine grobes Mass für die elektrische Widerstandsfähigkeit eines Iso-

lierstoffes, als einzige Angabe aber vollkommen ungenügend, um seine elektrischen Eigenschaften zu charakterisieren. Unter der Durchschlagsspannung versteht man allgemein diejenige Spannung, bei welcher unter vorgeschriebenen Bedingungen ein Durchschlag erfolgt. Bei thermoplastischen Materialien erfolgt ein sogenannter Wärmedurchschlag, der folgendermassen auf die Wärmeerzeugung, hervorgerufen durch elektrische Ströme verschiedener Natur, zurückzuführen ist: Die auch bei Isolierstoffen immer noch bestehende minimale Leitfähigkeit bewirkt beim Anlegen einer Spannung einen Stromfluss, der besonders an Stellen grosser Feldstärke eine lokale Erwärmung des Isolators bewirkt. Diese Temperatursteigerung hat nun eine Erhöhung der Leitfähigkeit zur Folge, welche ihrerseits wieder eine vermehrte Erwärmung verursacht, so dass eine Art Aufschaukelung eintritt, die an einzelnen Stellen Schmelzen oder Zersetzen des Materials verursacht, was dann zum Durchschlag führt. Neben der Erwärmung, welche durch den Strom in der Isolation bedingt ist, erfolgt gleichzeitig noch eine weitere Erwärmung, die auf die dielektrischen Verluste zurückzuführen und folgendermassen zu erklären ist: Viele Moleküle weisen einen Dipolcharakter auf, d. h. sie sind in bezug auf das elektrische Feld nicht homogen und können mit einer Magnethülse

¹⁾ Vortrag, gehalten am 1. Fachkurs des Verbandes Schweizerischer Gummi- und Thermoplast-Industrieller.