

<b>Zeitschrift:</b>	Technische Mitteilungen / Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung = Bulletin technique / Administration des télégraphes et des téléphones suisses = Bollettino tecnico / Amministrazione dei telegrafi e dei telefoni svizzeri
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung
<b>Band:</b>	24 (1946)
<b>Heft:</b>	2
<b>Artikel:</b>	Das Papier als Dielektrikum in Fernsprechkabeln
<b>Autor:</b>	Keller, H.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-873213">https://doi.org/10.5169/seals-873213</a>

### 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:** 10.01.2026

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

# TECHNISCHE MITTEILUNGEN

HERAUSGEGEBEN VON DER SCHWEIZ. TELEGRAPHEN- UND TELEPHON-VERWALTUNG

## BULLETIN TECHNIQUE

PUBLIÉ PAR L'ADMINISTRATION DES TÉLÉGRAPHES ET DES TÉLÉPHONES SUISSES

## BOLLETTINO TECNICO

PUBBLICATO DALL'AMMINISTRAZIONE DEI TELEGRAFI E DEI TELEFONI SVIZZERI



**Inhalt — Sommaire — Sommario:** Das Papier als Dielektrikum in Fernsprechkabeln. — Neue Entwicklungen im automatischen Telephonbetrieb. — Ueber die Definition der Bezugsdämpfung. — Gittergesteuerte Quecksilberdampfgleichrichter für Abbildungsbetrieb. Redresseurs à vapeur de mercure commandés par la grille pour la marche compensée. — Nebenstellenanlagen. Installations secondaires. — Zur Frage eines neuen Organisationsgesetzes der Schweiz. Post-, Telegraphen- und Telephonverwaltung. — Verschiedenes. Divers. — Personennachrichten. Personnel. Personale.

### Das Papier als Dielektrikum in Fernsprechkabeln

Von H. Keller, Bern

621.315.614.6

In der Fernsprechtechnik spielen die im Boden verlegten Orts- und Fernkabel für die Uebertragung der Telephonströme eine wichtige Rolle. Solange die Telephonie zur Uebertragung nur den Tonfrequenzbereich benützte, war kein Anlass vorhanden, das bewährte Isoliermaterial der Kabel, das Nadelholzpapier, kritisch zu betrachten. Seine mechanischen und elektrischen Eigenschaften waren jedem anderen Isolierstoff weit überlegen. Die Technik von heute ist zur Vielfachausnutzung der Aderpaare übergegangen. Die sogenannte Trägertelephonie beansprucht verhältnismässig weite Frequenzbänder. Beim Zwölfkanalsystem wird das Band von 12...60 kHz und beim Vierundzwanzigkanalsystem der Bereich von 12...108 kHz benutzt. Der in Bern, Winterthur, St. Gallen und in Graubünden eingeführte Hochfrequenztelephonrundspruch belegt das Band sogar von 175...340 kHz. Besitzt nun das Papier als Dielektrikum der Kabelpaare die nötigen Hochfrequenzeigenschaften? Wenn nicht, lassen sich durch chemische Veränderungen des Papiers, beispielsweise durch Veresterung oder Verätherung, die elektrischen Eigenschaften wesentlich verbessern? Schon vor dem Kriege haben ja auch die sogenannten Baumwollkabel ihren Rang, den sie in den Zentralen innehatten, mehr und mehr verloren. Als Isolierstoffe kamen Papiere mit Spezialimprägnierungen, Kunststoffe und die Cotopa. Cotopa ist veresterte Baumwolle und wird von der Chemischen Fabrik Sandoz AG., Basel, hergestellt. Von dieser Firma ist denn auch die Anregung ausgegangen, Versuche anzustellen über die Frage, ob verestertes Papier für die Kabelfabrikation Vorteile haben könnte.

Ausser dem vorhandenen Lignin bestehen die Holzschliffpapiere aus mehr oder weniger reiner Zellulose. Die Kabelpapiere aus Nadelhölzern bestehen aus flachen, unregelmässigen Bändern von zwei bis vier Millimetern, aufgebaut aus konzen-

trisch verlaufenden Fibrillen. Die Faserstruktur der Zellulose bleibt im Papier erhalten. Das Ganze ist ein luftiges Gebilde mit ausserordentlich grosser Oberfläche. Durch Mikroskopie, durch Untersuchungen mit Röntgenstrahlen, Viskositätsuntersuchungen und chemische Verfahren hat man seit langem ein genaues Bild von der Struktur der Zellulose. Man kennt sie nicht nur bis hinunter in ultramikroskopische Abmessungen, sondern auch ihren komplizierten Molekülaufbau. Bei 1000facher Vergrösserung lassen sich bereits die kleinsten Unterfaserchen feststellen. Noch feinere Untersuchungen führen auf die Kristallstruktur ihrer Unterteile, der sogenannten Micellen. Die Baueinheit der Zellulose ist die Glukose mit ihrer sechsatomigen Ringstruktur. Der Ring besteht aus fünf Kohlenstoffatomen und einem Sauerstoffatom. An die Atome im Ring sind weitere Atome oder Molekülgruppen gebunden. Zwei Glukoseeinheiten ( $\alpha$  und  $\beta$  Form) bilden das sogenannte Zellobiosemolekül, siehe Figur 1.

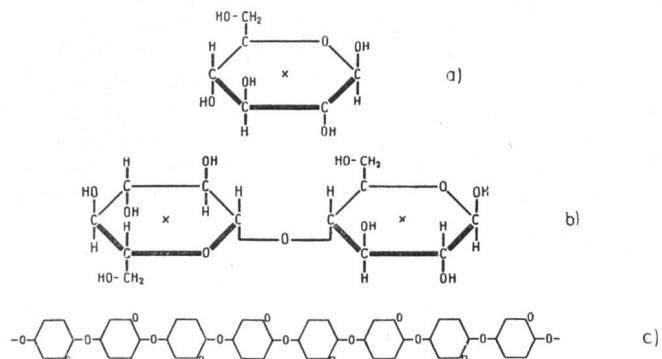


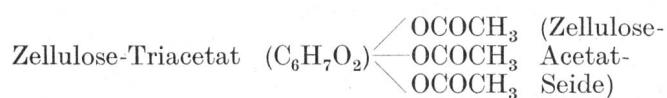
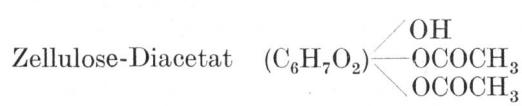
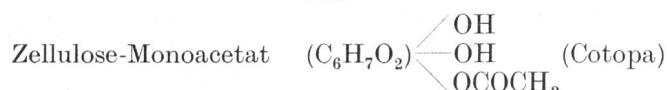
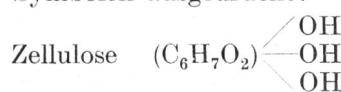
Fig. 1.

a)  $\beta$ -Glukose, b) Zellobiose, c) Zellulose-Hauptkette (schematisiert) $x$  = Molekularebene des Ringes

—OH = Hydroxylgruppen der Hauptkette (3 für jede Einheit)

Solche Zellulosemoleküle verbinden sich zu langen Ketten von 100...200 Glukoseeinheiten. Diese Ketten haben daher ein Molekulargewicht von 30 000...40 000, bezogen auf Wasserstoff ( $H = 1$ ). Diese Molekulketten gruppieren sich zu langen und dünnen Kristallen, den sogenannten Micellen. Diese bilden wiederum als Gruppen die kleinsten Unterfaserchen, die im Mikroskop noch feststellbar sind. Da auch zwischen den Micellen noch Lufträume vorhanden sind, erklärt sich die ausserordentlich grosse Oberfläche des Papiers. Im Zusammenhang damit steht die Begierigkeit zur Wasseraufnahme, auf die im nachfolgenden noch näher eingegangen wird. Auf die Molekularstruktur der Zellulose musste deshalb näher eingegangen werden, weil das Vorhandensein von je drei frei beweglichen Hydroxylgruppen auf jede Einheit der Hauptkette für das elektrische Verhalten des Papiers von grosser Wichtigkeit ist und deshalb ebenfalls näher behandelt wird.

Bei der Veresterung von Baumwolle oder Zellulosepapier werden eine, zwei oder alle drei Hydroxylgruppen einer Einheit der Hauptketten durch konzentrierte Essigsäure gebunden. Es entstehen, je nach dem Grade der Veresterung, Mono-, Di- oder Tri-Acetat der Zellulose. In einfachen chemischen Symbolen ausgedrückt:



Das Zellulose-Monoacetat der Baumwolle ist bekannt unter dem Namen Cotopta. Das günstigste Säurebad für die Veresterung besteht aus 15% Essigsäure-Anhydrid als Katalysator, 5% Zinkchlorid-Anhydrid zur Wasserentziehung und 80% konzentrierter Essigsäure. Der Grad der Veresterung wird nach dem Gehalt an konzentrierter Essigsäure bewertet. Er beträgt für Monoacetat 29%. Der Elektrolytgehalt muss durch intensive Waschprozesse auf ein Minimum gebracht werden. Durch die Veresterung quillt das Papier auf und wird schwerer, entsprechend der Aufnahme von konzentrierter Essigsäure. Eigene Versuche zeigten, dass, mit Rücksicht auf die mechanischen Eigenschaften des Kabelpapiers, nicht weiter als bis zum Monoacetat verestert werden darf.

Um mehrere Hydroxylgruppen binden zu können, würde vielleicht die Verätherung des Papiers bessere Resultate zeitigen als die Veresterung. Die Verätherung an Papier hat aber Nachteile, weil sie nicht nachträglich an fertigen Papierbahnen vorgenommen werden kann, wie dies bei der Veresterung der Fall ist. Es sind hier Zwischenreaktionen mit Laugen nötig, die die Papiere auflösen und in die einzelnen Fasern zerlegen, wodurch die Verätherung an ganzen

Papierstücken unmöglich wird. Dies war der Grund, warum vorläufig von derartigen Versuchen abgesehen wurde. Es ist auch wahrscheinlich, dass, wie bei der Veresterung, eine weitgehende Verätherung die mechanischen Eigenschaften des Papiers verschlechtert.

Welche elektrischen Eigenschaften bestimmen die Qualität des Kabelpapiers? Kabel, in denen zur Übertragung höhere Frequenzen benutzt werden, müssen sich auszeichnen durch kleine Betriebskapazität und kleine Wechselstromverluste, das heißt, die Dielektrizitätskonstante  $\epsilon$  und der Verlustwinkel  $\tan \delta$  müssen möglichst klein gehalten werden.  $\epsilon$  und  $\tan \delta$  bestimmen C und G und sind daher mitbestimmend für die spezifische Kabdämpfung, für die hier am besten die bekannte Näherungsformel

$$\beta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

betrachtet wird. In der Formel bedeuten R, C, L und G die bekannten Kabelkonstanten: Widerstand, Kapazität, Induktivität und die Ableitung für die Längeneinheit. Sie sind frequenzabhängig.  $\epsilon$  ist der Faktor, mit dem die Kapazität eines Kondensators eingeht, wenn statt Luft ( $\epsilon = 1$ ) das betrachtete Dielektrikum zwischen die Elektroden gebracht wird. Zur Definition von  $\tan \delta$  betrachten wir ein Blatt Papier, das zwischen zwei Elektroden liegt. Das Ersatzschema ist ein Kondensator, dem ein Widerstand parallel geschaltet ist (Fig. 2).

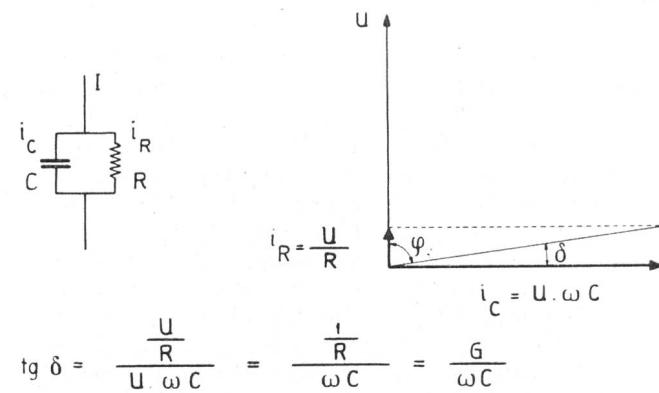


Fig. 2.

Solange  $G = \frac{1}{R}$  ein gewöhnlicher Ableitwiderstand ist, hervorgehend aus der Wasserraut, die im porösen Papier dieses durchsetzt, sinkt  $\tan \delta$  mit steigender Frequenz, weil R konstant bleibt und  $\omega$  grösser wird. Handelt es sich aber um dielektrische Verluste durch Energieabsorption im Dielektrikum, dann wird G mit zunehmender Frequenz grösser und der Verlauf von  $\tan \delta$  nimmt in Funktion der Frequenz andere Formen an. Bei Papier wird im allgemeinen  $\tan \delta$  grösser mit steigender Frequenz. Diese beiden Kriterien sind für das folgende sehr wesentlich. Die Verlustleistung im Paperkondensator kann geschrieben werden:

$$N_V = UI \cos \varphi = UI \cos (90^\circ - \delta) = UI \sin \delta = UI \tan \delta \text{ (kleine Winkel).}$$

$\delta$  liefert das Mass für die Verluste.

Ueber die Gründe der Energieabsorption in Zellulosen, Phenoplasten und Thermoplasten, die zu Isolierzwecken gebraucht werden, bestehen eine Reihe von Theorien. Die wichtigsten sollen hier gestreift werden. Dr. H. Stäger, von der Abteilung für industrielle Forschung an der Eidg. Technischen Hochschule in Zürich, und seine Mitarbeiter haben hier wohl die interessantesten Erkenntnisse geliefert. Nach ihrer Auffassung, die durch Versuchsreihen bestätigt ist, ist für das dielektrische Verhalten der Isolierstoffe vor allem die Beweglichkeit der polaren Hydroxylgruppen massgebend, in zweiter Linie die Kettenlängsbeweglichkeit der Makromoleküle, sofern sie nicht dreidimensional vermascht sind. Nach dieser Theorie besitzen die Hydroxylgruppen der Zellulose (drei für jede Einheit der Hauptkette) eine Art Dipolmoment, indem im Wechselfeld die H-Atome der Hydroxylgruppen gewisse Schwingungen oder Rotationen veranlassen und damit Energie absorbieren. Dieser nachteilige Einfluss der polaren Hydroxylgruppen kann dadurch herabgesetzt werden, indem man die Gruppen durch Veresterung oder Verätherung bindet. Ferner kann bei den Makromolekülen, wie sie bei der Zellulose vorkommen, eine Beweglichkeit unter den Makromolekülen eintreten, die ebenfalls durch das angelegte Wechselfeld gesteuert wird. Diese Trift unter den Makromolekülen wird ganz bedeutend verstärkt, wenn der Molekülaufbau unsymmetrisch ist und zugleich Ionisierung eintritt. L. Hartshorn<sup>1)</sup> unterscheidet daher vier ausgeprägte Absorptionsbänder für das ganze Frequenzspektrum bis in den infraroten Bereich, und zwar von unten nach den höchsten Frequenzen: Ionentrift, Dipolrotation, Atomresonanz und Elektronenresonanz. Im Frequenzbereiche, den wir im folgenden betrachten werden, ist nur mit Ionentrift und Dipolrotation zu rechnen.

Die Kabelpapiere der ersten Versuchsserie stammen aus den Kabelwerken Brugg. Die veresterten Papiere sind durch chemische Nachbehandlung der fertigen Papierbahnen durch die Firma Sandoz AG. in Basel hergestellt worden. Der Gehalt an konzentrierter Essigsäure beträgt 29%, entsprechend dem Monoacetat der Zellulose. Das auffallendste Resultat beim Vergleich von gewöhnlichem mit acetyliertem Kabelpapier ist das ungleiche Wasseraufnahmevermögen. Durch die Veresterung verändern sich die Zellulosekomplexe in ihrem beanspruchten Raume. Es ist wahrscheinlich, dass die leitenden Kanäle zwischen den Micellen oder Kristallen für die rohen und die acetylierten Papiere verhältnismässig weiter oder enger sind. Röntgenbilder von feuchten und trockenen Papierfasern zeigen für beide Papiersorten den gleichen Charakter. Daraus wird der Schluss gezogen, dass das anhaftende Wasser grösstenteils nicht in das Innere der Kristalle selbst eindringt. Die leitenden Kanäle sind daher die Räume zwischen den Fäserchen und die Räume zwischen den Micellen. In das Innere der Micellen selbst dringt offenbar kein Wasser ein.<sup>2)</sup>

#### Versuche über die Feuchtigkeitsaufnahme von Kabelpapieren

Wieviel Feuchtigkeit nimmt das Kabelpapier in freier Luft auf? Mit welcher Geschwindigkeit erfolgt die Feuchtigkeitsaufnahme?

Verwendete Papiermenge:

Rohpapier (R) 1,43 dm<sup>2</sup>, trocken 0,9469 g;  
acetyliertes Papier (A) 1,43 dm<sup>2</sup>, trocken 0,9396 g.

Die Trocknung erfolgte im Vakuum, die Wasseraufnahme aus der Zimmerluft (siehe Tabelle 1 und Figur 3).

Tabelle 1.

	bei 47 % relater Feuchtigkeit		bei 65 % relater Feuchtigkeit	
	R	A	R	A
Gewicht des trockenen Papiers.....	0,9469 g	0,9396 g	0,9469 g	0,9396 g
Gewicht des klimatisierten Papiers .	1,0222 g	0,9741 g	1,0285 g	0,9780 g
Gewichtszunahme nach 24 Stunden	0,0753 g	0,0345 g	0,0816 g	0,0384 g
Bezogen auf das Papiergeicht ....	7,95%	3,67%	8,63%	3,93%

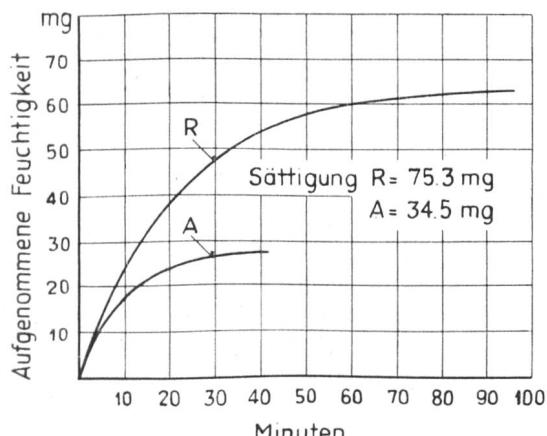


Fig. 3.

Wasseraufnahme von Kabelpapier bei 47% relater Luftfeuchtigkeit.

R = Rohpapier 0,9469 g,

A = acetyliertes Papier 0,9396 g

Das rohe Papier nimmt demzufolge ungefähr doppelt soviel Feuchtigkeit auf wie das acetylierte Papier. Ein Blatt Papier von 1 dm<sup>2</sup> Fläche nimmt in wenigen Sekunden messbare Mengen Wasser auf. Diese Eigenschaft des Kabelpapiers hat grosse Bedeutung für die Kabelfabrikation und die Montage-technik.

Murphy und Walker<sup>3)</sup> haben bewiesen, dass der Logarithmus des Isolationswiderstandes einer Zellulose in Funktion des Logarithmus des Feuchtigkeitsgehaltes derselben eine gerade Linie ist, deren Lage und Steilheit abhängig ist von der chemischen Struktur der Faser und ihrem Elektrolytgehalt. Da wir aber im folgenden nicht den Gleichstrom-Isolations-

<sup>1)</sup> Hartshorn, L. Mechanism of Dielectric Heating. Wireless World 51 (1945) Nr. 1, p. 2.

<sup>2)</sup> Astbury. Fundamentals of Fibre Structure. Oxford, University Press 1933.

<sup>3)</sup> Murphy and Walker. J. of Phys. Chem. 32 (1928), p. 1761.

widerstand, sondern die Wechselstromverluste ( $\operatorname{tg} \delta$ ) für höhere Frequenzen untersuchen wollen, geben uns auch die interessanten Abhandlungen von A.A. New<sup>4)</sup> über „Mit Ester behandelte Faserstoffe als Isoliermaterial“ keine weiteren Anhaltspunkte.

### Bestimmung von $\epsilon$ und $\operatorname{tg} \delta$ an Papiermustern

Für diese subtilen Messungen erschien eine Scheringbrücke nach den Angaben der Abteilung für industrielle Forschung (AFIF) der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich am geeignetsten. Die Fig. 4 zeigt deren Aufbau. Die beiden oberen Brückenzweige sind hohohhmig und erhalten die verhältnismässig hohen Spannungen von ungefähr 40 Volt gegen Erde. Die beiden unteren Brückenzweige sind niederohmig. Die ganze Anordnung ist gegen parasitäre Widerstände nach Erde sehr unempfindlich und gestattet daher eine zuverlässige Messung der kleineren Kapazitäten im Einschiebekondensator nach Grösse und Phase.

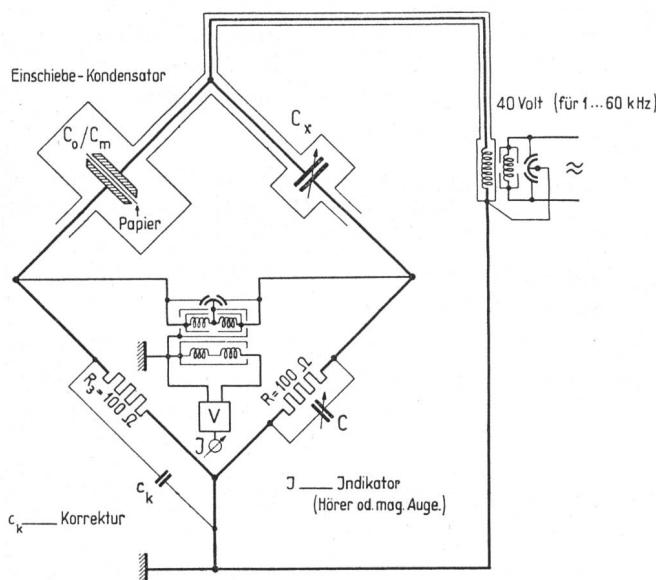


Fig. 4.

Brückenschaltung zur Messung von  $\epsilon$  und  $\operatorname{tg} \delta$  von Papierblättern

Der Einschiebekondensator ist ein Präzisions-Plattenkondensator mit kreisrunden Elektrodenflächen von  $F = 100 \text{ cm}^2$ . Der Plattenabstand  $d = 0,0300 \text{ cm}$  wurde durch elektrische Kontrolle mit 1/1000 genau auf dem errechneten Wert der Kapazität als Luftkondensator gehalten. Entsprechend dem kleinen Plattenabstand und der Form der Elektroden konnte auf die Berücksichtigung der Randprobleme des Plattenkondensators verzichtet werden, um so mehr, als die Bestimmung der Dicke der Papierblätter mindestens gleich grosse Unsicherheit in die Messung brachte. Durch das Einschieben der Papiermuster von  $0,008 \dots 0,012 \text{ cm}$  Dicke wurde die Kapazitäts- und Winkeländerung gegenüber dem reinen Luftkondensator beobachtet.  $\epsilon'$  und  $\operatorname{tg} \delta'$  erhält man durch Regulieren von  $C_x$  und  $C$  und ihre Werte errechnen sich aus

$$\epsilon' = \frac{C_m}{C_0} \quad \text{und} \quad \operatorname{tg} \delta' = \omega RC.$$

<sup>4)</sup> New, A. A. Elektrisches Nachrichtenwesen 13 (1934/35), S. 226 und S. 372, sowie 14 (1935/36), S. 214.

$C_x$  bestimmt sowohl  $C_m$  wie  $C_0$ , das heisst, die Kapazitäten des Prüfkondensators mit und ohne Papier. Da das eingeschobene Papier dünner ist als der fixierte Plattenabstand ( $d = 0,0300 \text{ cm}$ ), besteht das Dielektrikum zwischen den Elektroden aus einer genau bekannten Schichtung von Papier und Luft. Die gemessene Dielektrizitätskonstante und der Verlustwinkel entsprechen der bestehenden Schichtung. Die wahren Werte von  $\epsilon$  und  $\operatorname{tg} \delta$  des eingeschobenen Papiers errechnen sich nach den folgenden Korrekturmöglichkeiten:

$$\epsilon = \frac{C_m \cdot b}{C_0 \cdot d - C_m(d-b)} \quad \operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \delta' \frac{\frac{C_0}{C_m}}{\frac{b}{d} - \frac{C_m - C_0}{C_m}}$$

wobei:

$C_0$  = Kapazität des Einschiebekondensators mit Luft als Dielektrikum;

$C_m$  = Kapazität des Einschiebekondensators mit Luftschiert und Papierschicht nebeneinander;

$d$  = Plattenabstand;

$b$  = Papierdicke.

Die grösste Schwierigkeit lag in der Bestimmung der Dicke des Papiers. Seine Oberfläche ist rauh und unregelmässig. Zwischen die Messplatten des Komparators gelegt, wird das Papier, je nach dem Druck der Platten, zusammengedrückt. Diesem Unsicherheitsfaktor wurde in üblicher Weise so begegnet, dass der Druck gering und für alle zu messenden Papiere gleich gehalten war. Damit erhalten die verschiedenen Messreihen für alle Papiere eine zureichende Vergleichsmöglichkeit (Auflagefläche des Komparators  $12,6 \text{ cm}^2$ , bei  $38 \text{ g Druck für den cm}^2$ ). Zur Kontrolle der Zuverlässigkeit der Dickenmessungen wurde eine neue Methode zur Bestimmung des absoluten Volumens herangezogen: das neue „Volumenmeter Notaria“ der Firma A. Utz, Werkstätten für physikalische und wissenschaftliche Apparate, in Bern. Das Gerät ist zur Bestimmung des absoluten Volumens fester, pulverisierte oder kornförmiger Körper gebaut. Die Volumenmessung erfolgt mit Hilfe des Luftdruckunterschiedes. Da Papier ja letzten Endes aus einem Gemisch von Kristallen (Micellen) und Luft besteht, wobei sich die Kristalle als solche nicht zusammenpressen lassen, kann diese Messmethode auch für Papier angewendet werden. Die beiden verwendeten Papiermuster wurden einerseits mit dem Komparator, anderseits mit dem Volumenmeter „Notaria“ gemessen, und das Verhältnis der effektiven Papierdicke zur reduzierten Papierdicke bestimmt. Für beide Papiersorten sollte dabei die gleiche Verhältniszahl resultieren.

Mit dem Komparator gemessen:

	Effektive Papierdicke	Papier- fläche	Effektives Papervolumen
Muster I	0,00960 cm	200 cm <sup>2</sup>	1,920 cm <sup>3</sup>
Muster II	0,01197 cm	200 cm <sup>2</sup>	2,394 cm <sup>3</sup>

Mit „Notaria“ gemessen:

	Reduziertes Volumen	Papier- fläche	Reduzierte Papierdicke
Muster I	0,606 cm <sup>3</sup>	200 cm <sup>2</sup>	0,00303 cm
Muster II	0,758 cm <sup>3</sup>	200 cm <sup>2</sup>	0,00379 cm

Quotienten aus den beiden Messarten:

	Effektive Papierdicke Reduzierte Papierdicke	Effektives Volumen Reduziertes Volumen
Muster I	$\frac{0,00960}{0,00303} = 3,16$	$\frac{1,920}{0,606} = 3,16$
Muster II	$\frac{0,01197}{0,00379} = 3,16$	$\frac{2,394}{0,758} = 3,16$

Für die Muster I und II ungleicher Dicke erhalten wir gleiche Quotienten. Beide Muster enthalten demnach das 3,16fache Luftvolumen, gegenüber dem Micellen-Volumen. Damit ist auch indirekt die außerordentlich grosse Oberfläche des Papiers und die grosse Durchsetzung mit Luft bewiesen. Das Papier liesse sich demnach, unter Anwendung von genügendem Druck, auf ungefähr einen Drittel seiner normalen Dicke zusammenpressen.

Tabelle 2.  
Messwerte von  $\epsilon$  und  $\operatorname{tg} \delta$  an Papiermustern in rohem und acetyliertem Zustande. Temperatur: 20° C.

Frequenz in Hz	rohes Papier ( $b = 0,01197$ cm)				acetyliertes Papier ( $b = 0,01165$ cm)			
	klimatisiert		trocken		klimatisiert		trocken	
	$\epsilon$	$\operatorname{tg} \delta$	$\epsilon$	$\operatorname{tg} \delta$	$\epsilon$	$\operatorname{tg} \delta$	$\epsilon$	$\operatorname{tg} \delta$
1 000	1,84	$39,0 \cdot 10^{-3}$	1,62	$3,6 \cdot 10^{-3}$	1,72	$44,0 \cdot 10^{-3}$	1,60	$4,0 \cdot 10^{-3}$
3 000	1,81	27,0	1,64	4,6	1,67	12,0	1,61	4,6
10 000	1,78	16,6	1,63	4,2	1,67	7,3	1,60	5,4
30 000	1,77	12,7	1,62	5,1	1,66	7,5	1,60	5,8
60 000	1,75	10,6	1,62	6,1	1,66	7,5	1,59	6,9

Die Tabelle 2 zeigt einige Versuchsergebnisse für rohes und acetyliertes Kabelpapier. Das betreffende Papier wurde jeweils für die erste Meßserie „klimatisiert“, indem es vor der Messung während 40 Stunden in einem Luftraum von 65% relativer Feuchtigkeit bei 22° Celsius gebracht wurde. Für die zweite Meßserie wurde das nämliche Papierstück im luftleeren Raum „getrocknet“ und hernach unter die Messglocke gebracht, deren Luftraum mit  $\text{PO}_5$  trocken gehalten wurde. Die verwendeten Kabelpapiere stammen von den Kabelwerken Brugg; die Acetylierung wurde von der Chemischen Fabrik Sandoz AG. in Basel übernommen. Die Papiere stammen überdies von den gleichen Papierrollen, die später zur Fabrication von Versuchskabeln verwendet wurden und die noch beschrieben werden.

#### Bewertung der Resultate aus den Papierversuchen

Das verschiedene Verhalten von rohem und acetyliertem Papier in klimatisiertem oder in trockenem Zustand ist augenfällig. Im klimatisierten Zustand ist der Verlustwinkel bei acetyliertem Papier im allgemeinen kleiner als bei rohem Papier und hängt hauptsächlich mit der verschiedenen Wasseraufnahmefähigkeit der beiden Papiersorten zusammen. Klimatisierte Papiere zeigen grössere Werte für die Dielektrizitätskonstante als in trockenem Zustand. Die Dielektrizitätskonstante ist kleiner bei acetyliertem Papier. In trockenem Zustand zeigt acetyliertes Papier keine Verbesserung von  $\operatorname{tg} \delta$ , sondern eine kleine Verschlechterung gegenüber dem Rohpapier. Im gemessenen Frequenzbereiche von 1...60 kHz bietet die Acetylierung des Papiers keine Vorteile von

praktischer Bedeutung, mit Ausnahme der an und für sich günstigen kleineren Wasseraufnahmefähigkeit und den damit zusammenhängenden elektrischen Folgen beschriebener Art.

Die Messbrücke war in ihrem gewählten Aufbau für höhere Frequenzen als ungefähr 60 kHz nicht verwendbar. Um das Verhalten des Papiers bei noch höheren Frequenzen überprüfen zu können, wurden zwei Versuchskabel fabriziert, die sich einzig in der verwendeten Papiersorte unterschieden. An ihnen konnten durch Leerlauf- und Kurzschlussmessungen, unter Verwendung normaler Hochfrequenzmessbrücken, die Erhebungen bis zu Frequenzen von 2 MHz weitergeführt werden.

#### Aufbau der Versuchskabel mit rohem und acetyliertem Papier

Das 1. Musterkabel enthält nur acetyliertes, das 2. nur rohes Papier, praktisch von der gleichen Dicke.

Die Papierdicken betragen für acetyliertes Papier  $b = 0,01165$  cm, für rohes Papier  $b = 0,01197$  cm. Kabellängen: 230 Meter. Aderzahl und Aufbau:  $10 \times 2 \times 0,8 \text{ mm } \varnothing \text{ Cu}$ . Die Kabel enthielten nur Papier von ein und derselben Rolle. Alle Adern wurden unmittelbar nacheinander auf der gleichen Maschine und mit den gleichen Elementen hergestellt; auch die Verseilung erfolgte für beide Kabel mit der gleichen Maschine. Um die Kabel wurde ein Bleimantel gepresst.

Um den Einfluss der verschiedenen Papiersorten besser hervortreten zu lassen, wurde, entgegen den üblichen Methoden, danach getrachtet, die Papierumspinnungen satt und kompakt zu erstellen, um möglichst viel Papier und wenig Luft in den Kabeln zu haben. Um jede Kupferader wurden daher zwei Papiere satt verseilt. Bleimanteldicke 2 mm (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3.

	Acetyliertes Papier		Rohes Papier
	vor der Acetylierung	nach der Acetylierung	
Gewicht $\text{g}/\text{m}^2$	58	70	71
Reisslänge längs km	9,3	6,8	10,8
Reisslänge quer km	5,1	3,3	4,3
Bruchlast längs $\text{kg}/\text{mm}^2$	6,8	4,2	7,7
Bruchlast quer $\text{kg}/\text{mm}^2$	3,0	2,1	3,1
Dehnung längs %	3,2	1,6	2,6
Dehnung quer %	6,7	4,7	6,8
Falzzahl längs	1001	259	1514
Falzzahl quer	1128	282	1379

Daraus ergibt sich, dass durch die Acetylierung die mechanischen Eigenschaften des Kabelpapiers geschwächt werden. Durch diese verminderte mechanische Festigkeit traten daher während der Fabrikation des Kabels mit acetyliertem Papier gewisse Schwierigkeiten auf, indem das Papierband häufig riss. Die Arbeitsgeschwindigkeit der Maschinen musste auf die Hälfte herabgesetzt werden. Dass auch bei der Montage (beim Spleissprozess) die acetylierten Papiere mehr Sorgfalt erfordern, liegt auf der Hand.

### Messwerte der Versuchskabel

Fig. 5 zeigt den Verlauf von  $\operatorname{tg} \delta$  der Versuchskabel mit acetyliertem (A) und mit rohem Papier (R) im Frequenzbereiche von 1 kHz bis 2 MHz.

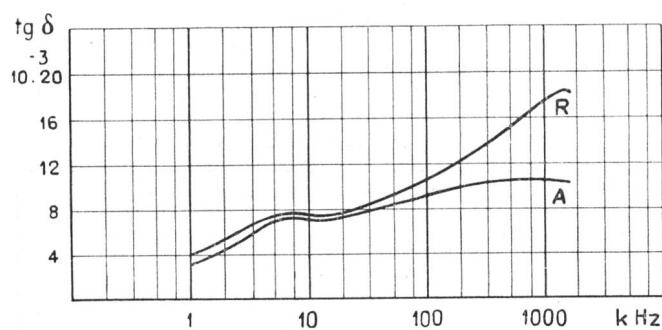


Fig. 5.

R = Kabel mit rohem Papier,  
A = Kabel mit acetyliertem Papier

Die Acetylierung zeigt ihre Vorteile von ungefähr 60 kHz an aufwärts. Die Verluste bei rohem Papier steigen wesentlich stärker als bei acetyliertem Papier. Im unteren gemessenen Bereich (bis ungefähr 60 kHz) sind die Unterschiede zwischen rohem und acetyliertem Papier geringfügig, aber zu Gunsten des letzteren, während bei den früheren Messungen an kleinen Papierblättern umgekehrt eine kleine Ueberlegenheit der rohen Papiere festgestellt wurde. Die rohen Papiere zeigen an den Musterkabeln durchwegs eine Vergrösserung des Verlustwinkels.

Es erscheint angezeigt, hier einige Hinweise auf die Kabelfabrikation anzubringen. Wenn die Aderbündel fertig erstellt sind, werden sie vor dem Aufpressen der Bleikabelmäntel in Vakuumkesseln getrocknet. Nach diesem Trocknungsprozess vergeht immer eine gewisse Zeit, bis die Kabel durch die Bleipresse kommen. In dieser Zwischenzeit von 30 Minuten bis 2 Stunden stehen die Kabelrollen mehr oder weniger an freier Luft und werden, wie in Figur 3 dargestellt, eine gewisse Wassermenge aus der Luft absorbieren. Damit steigt  $\operatorname{tg} \delta$  der Kabelpaare. Dieser Einfluss muss bei rohem Papier sich stärker auswirken, als bei acetyliertem Papier. Da die Messungen von  $\operatorname{tg} \delta$  äusserst subtil sind, empfiehlt es sich aber, nicht allzu weitreichende Schlüsse aus den Resultaten ziehen zu wollen, trotzdem die beschriebenen Versuche mit aller Sorgfalt und Präzision erfolgten. Als einzig sichere Erkenntnis folgt, dass die Acetylierung erst von ungefähr 100 kHz an aufwärts Vorteile von praktischer Bedeutung bietet.

Die letzte Frage des Verhaltens der Dielektrizitätskonstanten  $\epsilon$  bei höheren Frequenzen konnte indirekt an den Musterkabeln ebenfalls beantwortet werden,

und zwar durch die Messung der Kapazität der Aderpaare in Funktion der Frequenz bei Kabeln mit rohem und acetyliertem Papier. Da die Kabel identisch fabriziert sind und nur durch geringfügige Unterschiede der Dicken der Kabelpapiere um ungefähr 3% voneinander abweichen ( $b = 0,01197$  cm für rohes Papier,  $b = 0,01165$  cm für acetyliertes Papier) ist anzunehmen, dass die Kapazität der Kabel mit rohem Papier ebenfalls um ungefähr 3% höher liegt. Die Bleimäntel der beiden Versuchskabel sind ja in ihrem Innendurchmesser identisch, das Kabel mit Rohpapier enthält daher mehr Papier und weniger Luft. Die Kapazitäten  $C_R$  und  $C_A$  für Aderpaare mit rohem, bzw. acetyliertem Papier sind daher eindeutig bestimmt durch ihre zugehörigen Dielektrizitätskonstanten  $\epsilon_R$  und  $\epsilon_A$ . Das Verhältnis der Kapazitätswerte gibt daher auch das Verhältnis der Dielektrizitätskonstanten. Die Zahlen sind aus der nachstehenden Tabelle 4 ersichtlich.

Tabelle 4.

Verhältnis der Dielektrizitätskonstanten der Papiere in den Musterkabeln von 15...1000 kHz.

Frequenz in kHz	Kapazitäten eines Aderpaars		Verhältnis $\frac{C_R}{C_A} = \frac{\epsilon_R}{\epsilon_A}$	Unterschied der $\epsilon$ in %
	rohes Papier	acetyliertes Papier		
15	$40,93 \cdot 10^{-9}$	$36,84 \cdot 10^{-9}$	1,112	11,2
30	40,83	36,74	1,112	11,2
50	40,73	36,65	1,112	11,2
70	40,67	36,60	1,111	11,1
100	40,53	36,53	1,110	11,0
150	40,46	36,45	1,110	11,0
200	40,39	36,39	1,110	11,0
300	40,30	36,30	1,110	11,0
500	40,17	36,17	1,110	11,1
700	40,07	36,07	1,111	11,1
1000	39,98	35,97	1,111	11,1

Im Mittel ist der Unterschied der  $\epsilon$  11,1%. Rechnet man, wie vorstehend erklärt, 3% ab, wegen der um 3% ungleichen Papierdicke der beiden Versuchskabel, so ergibt sich bei acetyliertem Kabelpapier eine Verkleinerung der Dielektrizitätskonstanten um rund 8%. Nach den reinen Papierversuchen (siehe Tabelle 2) wurde eine Verkleinerung von ungefähr 2% im trockenen Zustand und ungefähr 7% im klimatisierten Zustand gefunden. In Anbetracht der bestehenden Unsicherheitsfaktoren in der Bestimmung der Papierdicken, in der Fabrikation der Versuchskabel und in den Hochfrequenzmessungen im allgemeinen, kann die Uebereinstimmung der Resultate als gut betrachtet werden.  $\epsilon$  ist eine reine Materialkonstante und bleibt, wie die Tabelle 4 zeigt, von der Frequenz unabhängig.

### Zusammenfassung

Der Verlustwinkel  $\operatorname{tg} \delta$  für Hochfrequenz-Dielektrika sollte mindestens in der Größenordnung  $10^{-4}$  liegen. Kabelpapiere haben nur eine  $\operatorname{tg} \delta$  der Größenordnung  $10^{-3}$ . Papierkabel eignen sich vorzüglich für Tonfrequenz, wo die Verlustwinkel und damit die Ableitung G eine geringe Rolle spielen. Für Hochfrequenz eignen sich Papierkabel nur bedingt. Die Verluste wachsen rasch mit steigender Frequenz. Die Acety-

lierung der Papiere führt zu einer merkbaren elektrischen Verbesserung in den höheren Frequenzlagen. Die mechanischen Eigenschaften des Papiers werden aber verschlechtert. Die Dielektrizitätskonstante wird durch die Acetylierung um einige Prozent kleiner, was wiederum als Vorteil zu bewerten ist.

Es empfiehlt sich nicht, gewöhnliche Fernsprechkabel (Tonfrequenzbereich) mit acetyliertem Papier zu fabrizieren, da keine Vorteile resultieren. Für Trägerkabel, die im Bereich von 12...108 kHz zu

übertragen haben, wiegen die Nachteile die Vorteile auf. Einzig für Spezialstromkreise, wie zur Uebertragung des Hochfrequenz-Telephonrundspruchs (175...307 kHz), dürfte die Verwendung von acetyliertem Papier wesentliche Vorteile bieten.

Für die wertvolle Unterstützung bei der Beschaffung von acetyliertem Papier und der Herstellung der Versuchskabel möchte ich der Firma Sandoz AG. in Basel und den Kabelwerken Brugg meinen besten Dank aussprechen.

## Neue Entwicklungen im automatischen Telephonbetrieb

Von Hans Dill, Zürich  
(Fortsetzung und Schluss)

621.395.34

### 8. Umrechnung der Fernkennzahl

Zur Umrechnung der Fernkennzahlen sind in den Fernknoten- und Fernendämtern, das heisst in allen Netzgruppenhauptämtern, besondere *Fernregister* oder *Umrechner* eingebaut. Im Prinzip benötigt ein solcher Stromkreis (Fig. 12) zwei Schrittschalter  $SS_1$  und  $SS_2$  zur Aufnahme der Zehner und Einer der Fernkennzahl, einen 100teiligen Sucher (Translator) zu acht Bürsten a...h, einige Relaispaare Ag...Ah und einen Kontrollschatzer (KS).

Jeder Fernkennzahl, mit andern Worten jeder Netzgruppe, entspricht eine bestimmte Bürstenstellung des Translators. Durch sie ist die Anzahl und Grösse der Wahlziffern für die Verbindungen nach einer bestimmten Netzgruppe festgelegt. Durch die Verbindung des betreffenden c-Kontaktes des Translators mit den Relais Ag...Ah wird die Anzahl der Wahlziffern bestimmt, während die Grösse der einzelnen Ziffern (Impulszahl) aus der Verdrahtung der Translatorkontakte d...h nach dem Kontaktbogen des Kontrollschatzers (KS) hervorgeht. Der Uebersichtlichkeit halber sind in der Fig. 12 nur die Verdrahtungen für die Netzgruppen Thun (033) und Locarno (093) gezeigt, und zwar für ein in Zürich aufgestelltes Register.

Die Stromkreise in andern Fernämtern des gleichen Systems würden sich, nebenbei bemerkt, entsprechend den Leitwegen oder Wahlziffern, lediglich in der Verdrahtung des Translators von dem in Fig. 12 dargestellten Register unterscheiden.

Den Vorgang der Umrechnung selbst betrachten wir an Hand einer Verbindung Zürich—Locarno (093).

Nach dem Einstellen der Ziffer 0 (in der Figur nicht besonders gezeigt) gelangt der Zürcher Teilnehmer über einen 1. Gruppenwähler (1. GW) und den Registersucher (RS) an ein Fernregister. Die beiden nächsten Ziffern, 9 und 3, bringen die Schrittschalter  $SS_1$  und  $SS_2$  in die im Schema gezeichneten Stellungen. Hierauf beginnt der Translator zu drehen; die Bürsten a...h wandern, in der Papierebene gesehen, gleichzeitig nach rechts. Sobald der Kontakt 93 erreicht ist, schliesst sich ein Stromkreis für das Relais P mit der Erde (+) über die Translatorbürste b und Kontakt 93, Kontakt 3 und Bürste von  $SS_2$ , Bürste und Kontakt 9 von  $SS_1$ , Translatorkontakt 93 und Bürste a, über die Wicklung des Relais P nach der Batterie (—). Das Relais P spricht an und legt die Erde an seinem Umschaltkontakt um. Der

Kupplungsmagnet des Translators (TS) fällt ab und setzt denselben still. Wie aus der Figur hervorgeht, ist bei den gegebenen Bürstenstellungen der Schrittschalter  $SS_1$  und  $SS_2$  für das Relais P kein anderer Stromkreis möglich als über den Translatorkontakt 93.

Die Erde am Arbeitskontakt des Relais P erregt über die Translatorbürste c und den Kontakt 93 die Relais Ag4 und Ah4 in Serie, wodurch die Zahl der Wahlziffern für Locarno auf deren vier festgesetzt ist. Mit dem Ansprechen des Relais Ah4 wird die Erde über die Bürste e und den Kontakt 93 an den Kontakt 12 des Kontrollschatzers (KS) gelegt.

Inzwischen hat der 1. Gruppenwähler (1. GW) auf Grund der Ziffer 0 einen Ausgang nach dem automatischen Fernamt, das heisst in Bell-Aemtern wie Zürich, eine Wählende Verbindungsleitung (WVL) gefunden. Mit der Batterie am Ruhkontakte des Relais Si, über den a-Draht, die Wicklungen der Relais Is und Hs in Serie, den b-Draht und die Wicklung des Relais A nach der Erde, spricht das Relais Hs an und damit das Ueberwachungsrelais Lb und in der Folge das Relais He. Letzteres schliesst die Wicklung des Relais Hs, 15 000  $\Omega$ , kurz, wodurch die Schlaufe niederohmig wird (Sendekontrolle). Im Fernregister sprechen nacheinander die Relais A und Sd an. Das Relais Sd hält und erregt das Relais Sa, wodurch die Wicklung des Relais A kurzgeschlossen wird; gleichzeitig legt es den Wählimpulsunterbrecher (WU) an die Wicklung des Relais Si. Dieses öffnet einerseits impulsmaessig die Schlaufe a/b mit dem Relais Is und setzt anderseits den Kontrollschatzer (KS) in Gang. Das Relais Is seinerseits überträgt die Impulse nach dem Richtungsmarkierer (RM) zur Bestimmung der abgehenden Richtung, in unserem Falle Lugano.

Beim 12. Schritt findet die Bürste des Kontrollschatzers (KS) die über die Translatorbürste e durchverbundene Erde. In diesem Stromkreise zieht das Relais K auf, hält über den Kontakt BK des Kontrollschatzers (KS) und unterbricht den Haltestromkreis des Relais Sd. Mit dem Relais Sd fällt auch Si ab, womit die erste Impulsserie abgeschlossen ist. Ueber das angezogene Relais K und den Arbeitskontakt von Ag4 wird das Ah3 erregt. Ueber seinen Arbeitskontakt bereitet dieses einen Stromkreis vor für das augenblicklich noch kurzgeschlossene Relais Ag3; mit seinem Umschaltkontakt schaltet es