

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 41 (1963)

Heft: 2

Artikel: Temperaturmessungen an der Koaxialkabelleitung Bern-Neuenburg : im Hinblick auf eine Grobregulierung der Kleinkoaxialkabelleitungen mit Kontaktthermometern

Autor: Jeschko, A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874314>

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: 07.01.2026

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

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von den Schweizerischen Post-, Telephon- und Telegraphen-Betrieben - Publié par l'entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses. - Pubblicato dall'Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

A. Jeschko, Bern

621.315.212.091.1.072:536.58

Temperaturmessungen an der Koaxialkabelleitung Bern-Neuenburg

im Hinblick auf eine Grobregulierung der Kleinkoaxialkabelleitungen mit Kontaktthermometern

Einleitung

Die Leitungsdämpfung von Koaxialanlagen wird durch die äusseren Temperatureinwirkungen auf das Kabel verhältnismässig stark beeinflusst. Die Temperaturänderung wirkt sich so aus, als ob das Kabel bei zunehmender Temperatur etwas länger beziehungsweise bei abnehmender Temperatur etwas kürzer würde.

Mit Rücksicht auf die Stabilität der Fern- und Bezirksleitungen ist eine weitgehende Konstanz der vorgesehenen Restdämpfung erwünscht. Auch bei langen Leitungen lässt man keine grösseren zeitlichen Restdämpfungsschwankungen als etwa 0,15 N zu. Würde man nun zum Beispiel auf einer 70 km langen Koaxialanlage die Auswirkungen der Temperaturschwankungen auf das Kabel nicht korrigieren, so ergäbe sich bei einer Temperaturänderung von beispielsweise 10° C für die im obersten Frequenzband übertragenen Kanäle eine unzulässige Dämpfungsänderung von 1 N.

Eine einfache und wirtschaftliche Methode für die Grobregulierung würde nun darin bestehen, die Leitungsentzerrer in den Zwischenverstärkern durch Kontaktthermometer, die ebenfalls im Verstärker eingebaut würden, zu steuern. Für den Erfolg dieser Methode ist selbstverständlich erste Bedingung, dass die im Verstärkerschacht gemessene Temperatur tatsächlich angenähert der Kabeltemperatur entspricht. Dies war durch die nachfolgend beschriebene Untersuchung abzuklären.

Die Messungen konnten in der Zeit vom 11. September 1961 bis 18. Januar 1962 an der Koaxialkabelleitung Bern-Neuenburg, in Zusammenarbeit der *Generaldirektion PTT*, der *Kreisteledirektion Bern* und der Firma *Hasler AG Bern*, durchgeführt werden.

Die Resultate sind im Folgenden zusammengestellt und mit den mittleren Kabeltemperaturen verglichen, die aus den Pilotpegeln und Temperaturkorrektor-Einstellungen abgeleitet wurden. Die zu erwartenden Eigenschaften einer Kleinkoaxialkabelleitung mit Kontaktthermometer-Regulierung werden diskutiert.

1. Gemessene Grössen (s. Fig. 5)

1.1 Aussentemperatur F (Frauenkappelen)

Kurve 1: Tagesmittelwert der Temperaturen, gemessen unterhalb des Eisenrostes eines Kellerfensters an der Ostseite der Telefonzentrale Frauenkappelen. Die täglichen Temperaturvariationen erreichten im Maximum etwa 10° C, weshalb die Mittelwerte über 24 Stunden gebildet wurden.

1.2 Kabelkellertemperatur G (Gümmenen)

Kurve 2: Temperatur der Innenseite der Kellerwand «Süd» im Zwischenverstärkerhäuschen Gümmenen in einer Tiefe von 40 cm unter der Erdoberfläche.

1.3 Schachttemperatur F

Kurve 3: Temperatur am Boden des Kabalkanal beim Kabelschacht S 39 der Koaxialkabelleitung Bern-Neuenburg, in Frauenkappelen, 2,40 m unter der Strassenoberfläche. Die tägliche Temperaturvariation ist vernachlässigbar klein.

1.4 Gleichstromwiderstand des Kabels G

Kurve 4: Die mittlere Temperatur des Kabelabschnittes wurde aus dem Gleichstromwiderstand bestimmt. Mittelwert aus 1.4 und 1.5.

Gleichstromwiderstand einer in Müntschemier geschlaufenen Stammleitung eines Füllvierers des Koaxialkabels vom Typ 2,6/9,5 \times 4, gemessen beim Trennbügel des Kabelendverschlusses in Gümnenen.

Länge der Schlaufe: $8910 \pm 2 \text{ m} \times 2$

Eigenschaften: Durchmesser 0,6 mm, Cu
Widerstandsbelag $59 \Omega/\text{km}$
bei 20°C
Temperaturkoeffizient:
 $3,65\text{--}3,90 \text{ } \%/^\circ \text{C}$
(gemäss V-25.274 PTT)

Kabelverlegung: Kabel hauptsächlich direkt im Boden verlegt.

1.5 Gleichstromwiderstand des Kabels F

Kurve 4: Die mittlere Temperatur des Kabelabschnittes wurde aus dem Gleichstromwiderstand bestimmt. Gegenüber der Messung 1.4 besteht kein Unterschied der grösser ist als die Messunsicherheit.

Gleichstromwiderstand einer in Bern geschlaufenen Stammleitung eines Füllvierers des Koaxialkabels vom Typ 2,6/9,5 \times 4, gemessen beim Trennbügel des Kabelendverschlusses in Frauenkappelen.

Länge der Schlaufe: $8915 \pm 2 \text{ m} \times 2$

Eigenschaften: gleich wie Kabel G

Kabelverlegung: Kabel hauptsächlich in Gussrohr verlegt.

1.6 Pilotpegel und Temperaturkorrekturstellungen in Neuenburg

Kurve 6: Mittlere Temperatur des Koaxialkabels Bern-Neuenburg, berechnet mit Hilfe der registrierten Pilotpegel und Temperaturkorrekturstellungen des Verstärkeramtes Neuenburg.

Länge der Strecke: 44,87 km

2. Messapparaturen und -methoden

2.1 Registrierthermometer PTT für 1.1 und 1.3

Messfehler: $< \pm 1^\circ \text{C}$

2.2 Kontaktthermometer für 1.2

Schaltung nach Figur 1.

Messfehler: $< \pm 1^\circ \text{C}$ für die 6 diskreten Temperaturwerte.

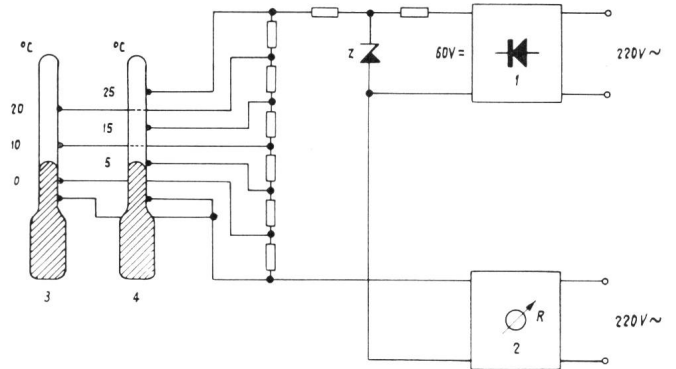


Fig. 1. Kontaktthermometer

- 1 Netzgleichrichter Hasler
- 2 Registriergerät Esterline-Angus (1 mA Vollausschlag, 1400 Ω)
- 3 Kontaktthermometer 0, 10, 20 $^\circ \text{C}$
- 4 Kontaktthermometer 5, 15, 25 $^\circ \text{C}$
- Z Zenerdiode Z 7

2.3 Mess- und Registriergerät

für Gleichstromwiderstand 1.4 und 1.5

Schaltung nach Figur 2.

Diese Apparatur ermöglichte eine Widerstandsmessung und Registrierung im Bereiche 920–1240 Ω während vierer Monate, mit einem Fehler von $\pm 2 \cdot 10^{-3}$. Dieser Fehler wurde durch periodische Kontrollmessungen (Eichung mit Widerstandsdekade) bestimmt.

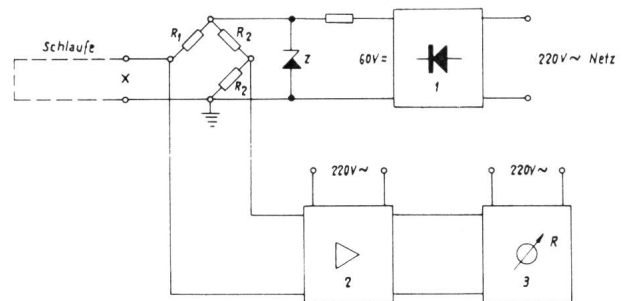


Fig. 2. Mess- und Registriergerät

- 1 Netzgleichrichter Hasler
- 2 Gleichstrom-Kompensationsverstärker Gossen
- 3 Registriergerät Esterline-Angus (1 mA Vollausschlag, 1400 Ω)
- R_1 900 Ω } hochstabile Widerstände
- R_2 1000 Ω }
- Z Zenerdiode Z 7

Die zeitlichen Temperaturänderungen können mit Hilfe der Figur 3 aus den Widerstandsänderungen mit einem Fehler von $\pm 0,5^\circ \text{C}$ bestimmt werden.

Die absolute Temperatur hingegen kann nicht genauer als auf $\pm 2^\circ \text{C}$ angegeben werden, weil keine Widerstandsmessungen der betreffenden Leitungen bei genau bekannter Temperatur vorliegen, sondern nur die Messungen an der Koaxialkabelanlage Zürich-Basel (Fig. 3).

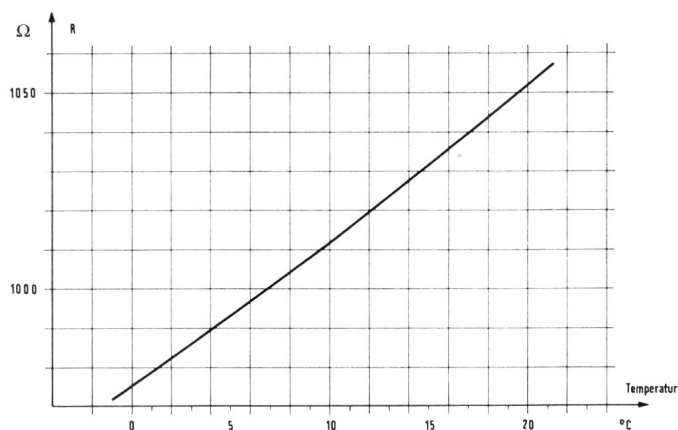


Fig. 3. Schlaufenwiderstand von 8910 m Fülladerpaar 0,6 mm, gemäss den Messungen an der Koaxialkabelanlage Nr. 5 Zürich-Basel, PTT-Kurvenblatt V - 25.274 vom 6. 8. 59

2.4 Berechnungsmethode für 1.6 (Fig. 4)

Die mit der Frequenz ansteigende Wellendämpfung eines Koaxialkabels ändert sich mit der Temperatur, und zwar so, wie wenn sich seine Länge ändern würde.

Mit den Temperaturkorrektoren (TK) werden von der Empfangsstation aus die Pilotpegel p_{308} und p_{4092} möglichst konstant gehalten und auf gleichen Wert reguliert. Die Einstellungen der TK sowie die Pilotpegel werden täglich notiert. Aus diesen Angaben lässt sich die Temperaturänderung berechnen.

Länge der Strecke: 44,87 km

α_{308} = Wellendämpfungsbelag bei 308 kHz und 25°C:
152 mN/km

α_{4092} = Wellendämpfungsbelag bei 4092 kHz u. 25°C:
560 mN/km

Temperaturkoeffizienten des Wellendämpfungsbelages bei 25°C: 0,002/°C (1).

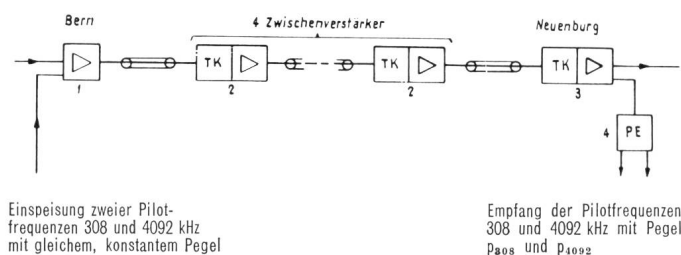


Fig. 4.

- 1 Sendeverstärker
- 2 Zwischenverstärker mit von der Empfangsstation aus stufenweise fernsteuerbaren Temperaturkorrektorschaltungen
- 3 Empfangsverstärker
- 4 Pilotempfänger

Daraus berechnet man die Änderung der Wellendämpfungsdifferenz bei 4092 kHz und 308 kHz je Grad Celsius für eine Länge von 44,87 km:

$$44,87 (\alpha_{4092} - \alpha_{308}) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,0367 \text{ N/}^\circ\text{C}.$$

Aus der Anzahl n der eingeschalteten Temperaturkorrektoren, von denen jeder einen Dämpfungsunterschied von 0,183 N zwischen 4092 und 308 kHz hervorruft, und den Pilotpegeln p_{308} und p_{4092} ergibt sich:

$$\Delta T = T_0 - T = \frac{p_{4092} - p_{308} + n \cdot 0,183}{0,0367} [^\circ\text{C}]$$

T = Temperatur des Kabels

T_0 = Bezugstemperatur (etwa 25°C)

Bei dieser Berechnung ist T_0 nicht genau bekannt. Es ist aber auch nur ΔT für uns interessant.

Die Kurve 6 wurde so gelegt, dass über längere Zeit der Mittelwert von 6 auf die Kabeltemperatur (Kurve 4) fällt. So werden die relativen Unterschiede am besten sichtbar.

Der Fehler dieser Messmethode – unter der Voraussetzung, dass die Pilotpegel am Einspeisungspunkt während der ganzen Messperiode konstant waren – beträgt $\pm 1^\circ\text{C}$.

3. Diskussion der Messresultate (Fig. 5)

Die Temperaturverläufe 1–6 bestätigen, dass Ausentemperaturschwankungen in 80 cm Tiefe im Boden stark gedämpft sind und sich nur mit einer Verzögerung auswirken. Es war hingegen unbekannt, in welchem Masse die Temperatur in Kabelschächten und Kellern bei starken Schwankungen der Aussentemperatur von der mittleren Kabel- oder Bodentemperatur abweicht.

Wie aus dem vorhergehenden Abschnitt hervorgeht, sind die absoluten Werte der meisten angegebenen Temperaturen mit einem grösseren Fehler behaftet, als die Werte der zeitlichen Temperaturänderungen. Diese sind aber in unserem Falle interessant, weshalb sich die Diskussion darauf beschränken muss, die Schwankungen der Differenz zwischen je zwei Temperaturen in der Messperiode zu betrachten.

Der Maximalwert dieser Grösse sei folgendermassen definiert:

$$\Delta T_{n,m} = [T_n(t_1) - T_m(t_1)]_{\max} - [T_n(t_2) - T_m(t_2)]_{\min}$$

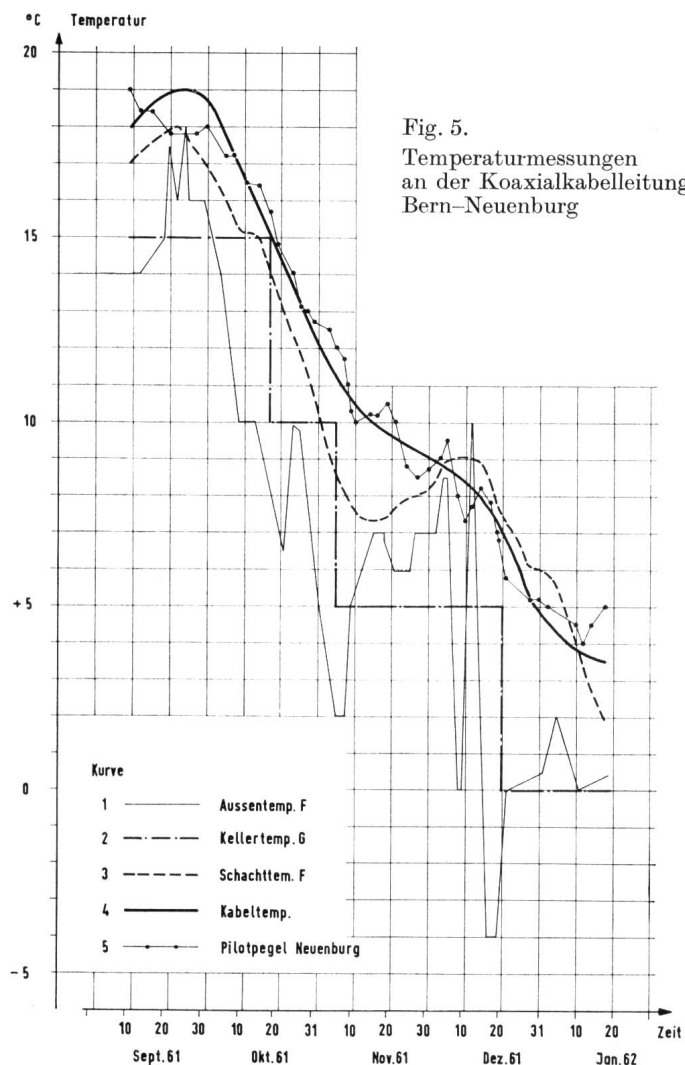
$T_n(t)$ = Temperaturwert der Kurve n zur Zeit t

$T_m(t)$ = Temperaturwert der Kurve m zur Zeit t

t_1 = Zeit, bei der $T_n - T_m$ maximal wird

t_2 = Zeit, bei der $T_n - T_m$ minimal wird.

Die Schwankung $\Delta T_{4,5}$ der beiden Kabelabschnitte F und G beträgt 2°C . Sie ist also gleich gross wie die Summe der Messfehler unserer Apparatur. Immerhin erkennt man daraus, dass die beiden Kabelabschnitte mit verschiedenartiger Verlegungstechnik (Gussrohr oder direkt im Boden) nur kleine Unterschiede in der Kabeltemperatur aufweisen. Kurve 4 in Figur 5 zeigt den Mittelwert aus 1.4 und 1.5.



Die Schwankung $\Delta T_{3,4}$ von Kabel F und Schachttemperatur F beträgt 4°C , wobei die grösste Abweichung vom Mittelwert während der Zeit der starken Aussentemperaturvariationen, Anfang Dezember 1961, festzustellen ist.

In Gümnen ergab die Schwankung $\Delta T_{4,2}$ nur 2°C , allerdings mit nur drei Messpunkten der Kellertemperatur G verglichen.

Eine gute Kontrolle unserer Kabeltemperaturmessungen bot sich in der Auswertung der Pilotpegel in Neuenburg. Die Schwankung zwischen der Kabeltemperatur des Teilstückes G und der mittleren Temperatur der ganzen Koaxialleitung ergibt den Wert: $\Delta T_{4,6} = 3^\circ \text{C}$.

Die Resultate der Messungen mit Hilfe der Pilotpegel sind allerdings mit einem Fehler behaftet, den eine Pilotpegelvariation am Einspeiseort mit sich bringt.

Zu unserer Messung der Aussentemperatur ist noch zu bemerken, dass diese zwar zum Vergleich mit den Temperaturen der Kabel interessant ist, dass aber kein eindeutiger Zusammenhang zwischen diesen beiden Messungen besteht. Die Kabeltemperatur

hängt sogar stärker von der Sonnenbestrahlung, der Oberflächenbeschaffenheit und den Wärmeleiteigenschaften des Bodens ab, als von der Aussentemperatur der Luft.

4. Grobregulierung einer Kleinkoaxialkabelleitung mit Kontaktthermometern und Temperaturkorrektoren

Im Abschnitt 2.4 wurde bereits die Methode beschrieben, die bei den bisherigen Koaxialleitungen zur Korrektur der Temperatureinflüsse auf die Wellendämpfung verwendet wurde. An die Stelle der Temperaturkorrektoren in den Zwischenverstärkern, die man von der Empfangsstation aus manuell schaltet, treten Korrektoren, die durch ein im Zwischenverstärkergehäuse angebrachtes Kontaktthermometer direkt gesteuert werden.

Unsere Messungen zeigten, dass ein Thermometer in einem Keller oder Kabelschacht die mittlere Kabeltemperatur mit einem Fehler von etwa $\pm 2^\circ \text{C}$ misst. Mit Kontaktthermometern, wie sie in Abschnitt 2.2 beschrieben wurden, lässt sich eine Temperaturmessung auf einfachste Weise in Kontaktkriterien umwandeln, welche ihrerseits in einem Dämpfungskorrektor stufenweise die Wellendämpfungsänderungen einer Kabelstrecke korrigieren. Gegenüber den zur Messung 2.2 verwendeten Thermometern weisen die in Zukunft zu verwendenden einen Kontaktabstand von 8°C auf, was bei zwei gestaffelten Thermometern einen Kontaktabstand von 4°C (gegenüber 5°C bei unserer Messung) ergibt.

Im Folgenden werden nun, unter Benützung der gewonnenen Messresultate und der Daten des Kleinkoaxialkabels, die zu erwartenden Eigenschaften einer Leitung mit Kontaktthermometer-Regulierung betrachtet.

Sehen wir uns zunächst ein einzelnes Verstärkerfeld von normalerweise 5,94 km Länge näher an. Zu dieser Kabelstrecke gehört ein Temperaturkorrektor mit Kontaktthermometer, der die temperaturbedingten Änderungen der Wellendämpfung kompensiert.

Bei der höchsten zu übertragenden Frequenz von 1364 kHz (einer Leitungspilotfrequenz) beträgt die Wellendämpfung eines Verstärkerfeldes 4,2 N und der Temperaturkoeffizient dieser Dämpfung $0,002/^\circ \text{C}$.

Je Grad Celsius ändert sich also die Dämpfung bei 1364 kHz um 0,0084 N. Dieser Wert nimmt mit sinkender Frequenz ab.

In Figur 6 sind die Temperaturverläufe in Funktion der Zeit angegeben. Man sieht aus der graphischen Darstellung der Kontaktthermometer-Messwerte, dass es zweckmässig ist, die Temperaturkorrektoren so zu dimensionieren, dass sie bei der Messtemperatur $T^\circ \text{C}$ eine Kabeldämpfung entsprechend der Temperatur $T + 2^\circ \text{C}$ kompensieren. Dann gelingt es, das Fehlerintervall von $\pm 2^\circ \text{C}$ gleichmässig um den tatsächlichen Wert der Kabeltemperatur

ratur zu legen. Der grösste, mögliche Unterschied zwischen dem Messwert des Kontaktthermometers und der wirklichen mittleren Kabeltemperatur beträgt also $\pm 4^\circ \text{C}$, und zwar unmittelbar vor oder nach dem Zeitpunkt, in dem das Thermometer gerade schaltet.

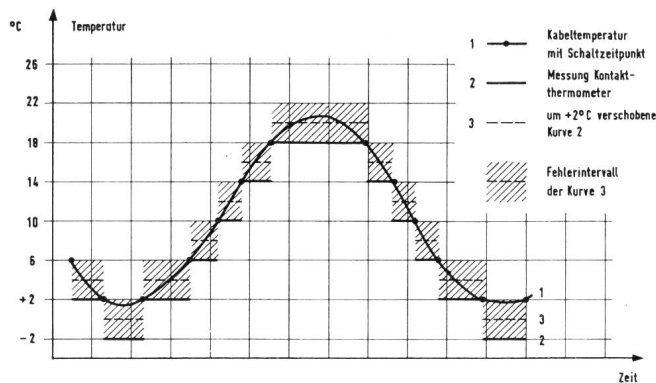


Fig. 6. Temperaturverläufe in Funktion der Zeit

Diesen $\pm 4^\circ \text{C}$ entspricht ein maximaler Unterschied von $\pm 0,0335 \text{ N}$ zwischen dem Normalwert und dem ungünstigsten Momentanwert der Wellendämpfung einer Verstärkerfeldlänge bei 1364 kHz unter der Annahme des grössten Messfehlers von $\pm 2^\circ \text{C}$. Ohne Messfehler reduzierte sich der maximale Unterschied auf die Hälfte der angegebenen Werte. Dieser Unterschied von $\pm 2^\circ \text{C}$ oder $\pm 0,0167 \text{ N}$ beruht bei einem Kontaktabstand von 4°C auf einem systematischen Messfehler. Aus Figur 6 ist ersichtlich, dass die zufälligen Messfehler auch die Tendenz haben, systematische Messfehler zu kompensieren, wenn sie entgegengesetzte Vorzeichen besitzen. Ebenso zeigt das schraffierte Fehlerintervall, wie durch den zufälligen Messfehler die Umschaltzeiten gegenüber denjenigen verschoben werden, die ohne zufälligen Messfehler auftreten würden.

Gemäss unseren Messresultaten werden die Kontaktthermometer im Jahr etwa zehnmal schalten. Je nach Grösse und Vorzeichen des Messfehlers sowie ansteigender oder abfallender Temperatur treten die grössten Dämpfungsunterschiede unmittelbar vor oder nach der jeweiligen Schaltungszeit auf.

Die für ein Verstärkerfeld gefundenen Eigenschaften lassen sich nun auf mehrere hintereinandergeschaltete Teilstücke einer Leitung übertragen. Leider besitzen wir noch nicht genügend vollständige Messresultate, um mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung aus den Verteilungen der einzelnen unabhängigen Messfehler auf die Wahrscheinlichkeitsverteilung des gesamten Messfehlers einer Leitung mit

mehreren Verstärkerfeldern zu schliessen. Immerhin weiss man, dass sich mit der steigenden Zahl von Feldern die zufälligen Messfehler zunehmend kompensieren.

Die längste vorgesehene Leitung zwischen zwei Hauptstationen erhält 13 Verstärkerfelder von 5,95 km Länge. Nimmt man an, dass die 12 im Boden versenkten Zwischenverstärker mit Kontaktthermometer-Regulierung ausgerüstet werden und das letzte Verstärkerfeld mit Pilotregulierung versehen ist (Regelverstärker der Empfangsstation zur Feinregulierung), so könnten sich im ungünstigsten Fall alle Dämpfungsfelder der 12 Verstärkerfelder gleichzeitig summieren. Es entsteht dann bei 1364 kHz ein Fehler von maximal $\pm 0,4 \text{ N}$.

Dank den Kompensationen und der zeitlichen Staffelung der Schaltmomente, welche die zufälligen Messfehler in den 12 Zwischenverstärkern verursachen, ist es unwahrscheinlich, dass zu irgendeinem Zeitpunkt ein grösserer Unterschied als etwa $\pm 0,25 \text{ N}$ zwischen der Wellendämpfung von 12 hintereinandergeschalteten Verstärkerfeldern und dem Sollwert auftritt.

Pegelunterschiede dieser Grössenordnung, die bei unserer Regulierung am Eingang des Empfängerverstärkers sowie in vermindertem Masse an den Eingängen und Ausgängen der Zwischenverstärker auftreten, würden den Grundgeräusch- und Intermodulationsgeräusch-Abstand in den Trägertelephoniekanälen der höchsten Frequenzlage nicht unzulässig verschlechtern, weil ein Kleinkoaxialkabelsystem Reserven dieser Grössenordnung ohnehin besitzen muss. Es bleibt jedoch offen, wieviel dieser Reserven man für die Nebenerscheinungen der Thermometerregulierung aufwenden will. Vermutlich wird sich die reine Thermometerregulierung für kurze und mittlere Leitungslängen eignen; bei langen Leitungen muss dann eher eine Kombination der genannten mit der komplizierteren Pilotregulierung gesucht werden.

Zusammenfassend darf man als Resultat der mit beträchtlichem Aufwand durchgeführten Messungen und der daraus gezogenen Schlüsse feststellen, dass ein Kleinkoaxialkabelsystem mit Kontaktthermometer-Regulierung besonders für kürzere Leitungen ohne Bedenken eingesetzt werden kann.

Adresse des Autors: Arnold Jeschko, Dipl. Ing., i. Fa. Hasler AG, Bern.

Bibliographie

- (1) F. Locher: Möglichkeiten und Grenzen eines Vielkanalsystems mit Koaxialkabeln, Technische Mitteilungen PTT, 1953, Nr. 12, S. 345 ff.