

Fachbereich Elektrotechnik/Informationstechnik
verantw. Hochschullehrer: Prof. Dr. Ing. K.D.Haim
Versuchsbetreuer: Dipl.-Ing. (FH) R. Ernst/ Dipl.-Ing. (FH) R. Cervinka

1. Versuchsziel

Vertiefung der Kenntnisse zur thermischen Beanspruchung elektrischer Betriebsmittel
Kennenlernen moderner Meßsysteme zur Ermittlung von Temperaturverläufen und sehr kleiner Verbinderwiderstände.

2. Vorschriften

- DIN 43670 Stromschienen aus Aluminium, Bemessung für Dauerstrom. 12.75
- DIN 43671 Stromschienen aus Kupfer, Bemessung für Dauerstrom. 12.75
- DIN VDE 0103 Bemessung von Starkstromanlagen auf mechanische und thermische Beanspruchung
- DIN VDE 0298 Teil 1 und 2 Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen. 07.90
- DIN EN 61238 – 1 (VDE 0220 Teil 100) Pressverbinder und Schraubverbinder für Starkstromkabel für Nennspannungen bis einschließlich 36 kV ($U_m = 42$ kV)

3. Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist in zwei Baugruppen unterteilt:

- Stromschienensysteme
- Kabelverbinder

Folgende Stromschienen sind fest installiert:

- blank, hochkant, Umgebung Luft
- gestrichen, hochkant, Umgebung Luft
- blank, flach Umgebung Öl
- blank, flach Umgebung Schrumpfschlauch (eine Lage)
- blank, flach Umgebung Schrumpfschlauch (zwei Lagen)
- blank, flach Umgebung

Folgende Schraubverbinder sind fest installiert:

- Aluminium Schraubverbinder (4 Schrauben) 95 – 240 mm² auf Kabel Al 240 mm²

Für die Stromversorgung der Schienen und Kabelverbinder wird ein Hochstromtransformator verwendet, dem ein Regeltransformator vorgeschaltet ist. Die Temperaturmessung erfolgt an fest installierten Messstellen, die über Messleitungen an ein modulares Mess- und Auswertesystem mit PC angeschlossen sind. Damit sind gleichzeitig alle interessierenden Messwerte erfassbar, die in Messwert-Zeit-Diagramm (bzw. Zahlenwerten) dargestellt und über einen Drucker ausgedruckt werden können.

Da die Erwärmungs- und Abkühlungsvorgänge relativ große Zeitkonstanten besitzen, wird der Erwärmungsvorgang ca. 6 h vor Praktikumsbeginn durch das Laborpersonal gestartet.

4. Versuchsaufgaben

4.1 Baugruppe Stromschienen

Für die vorgegebenen Stromschienenanordnungen sind auf der Basis der Erwärmungskurven die Endtemperaturen zu bestimmen und für zwei ausgewählte Anordnungen mit berechneten Werten zu vergleichen. Die Ergebnisse sind zu diskutieren und Schlussfolgerungen - insbesondere hinsichtlich der Strombelastbarkeit - zu ziehen.

Die Aufnahme und der Ausdruck der Erwärmungskurven $\delta = f(t)$ für alle unter Pkt. 3 angegebenen Stromschienenanordnungen - bei einem konstanten Belastungsstrom von $I = 800 \text{ A}$ - erfolgt durch das Laborpersonal.

4.1.1 Bestimmung der Übertemperaturen zur Zeit $t = 0$ und $t \rightarrow \infty$ aus den ausgedruckten Erwärmungskurven.

4.1.2 Bestimmung der thermischen Zeitkonstanten für die Schienenanordnungen:

- Stromschiene blank, hochkant, Umgebung Luft
- Stromschiene gestrichen, hochkant, Umgebung Luft

4.1.3 Für die Schienenanordnungen in 4.1.2 sind mittels Wärmenetzmethode die Übertemperaturen für $t \rightarrow \infty$ zu berechnen. Die hierzu benötigten Werte wie: Physikalische Eigenschaften Emissionszahlen, Korrekturglieder etc. sind den Umdrucken zum Kapitel „Thermische Beanspruchung“ zu entnehmen.

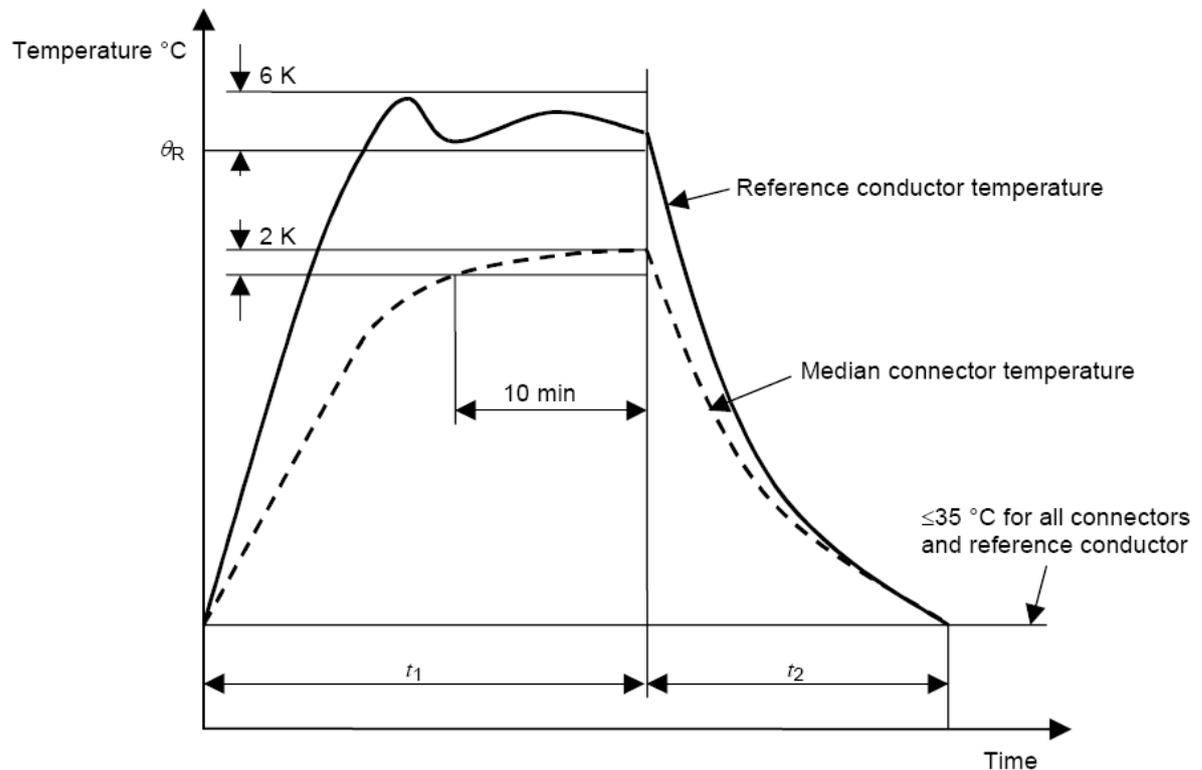
4.2 Baugruppe Schraubverbinder

- Aufnahme der Lastwechselkennlinie.
- Messung der Verbinderwiderstände für die Verbinder und Berechnung der k - Faktoren.

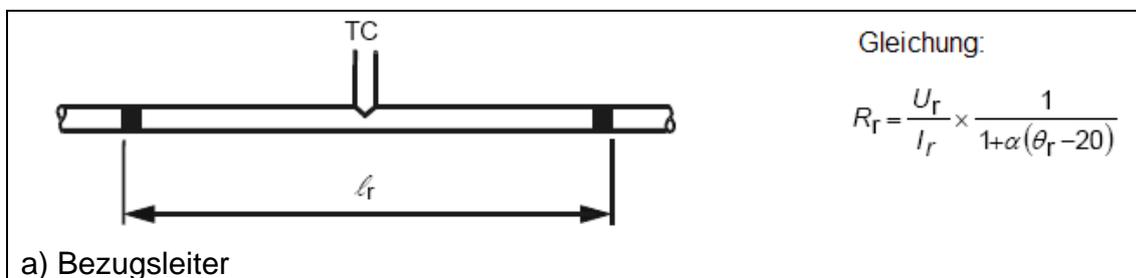
- Auswertung einer vorgegebenen Messreihe und Entscheidung, ob der Verbindertyp die Prüfung nach DIN EN 61238 -1 bestanden hat.

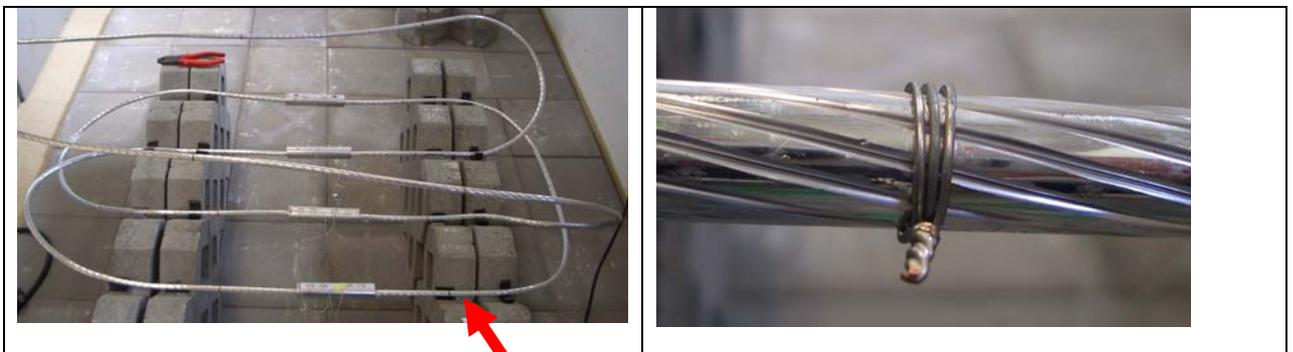
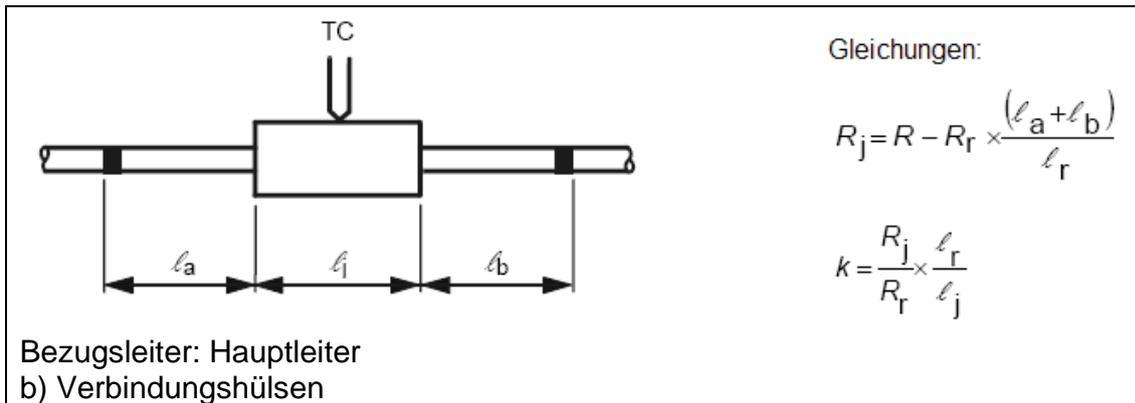
4.3 Grundlagen zur Verbinderprüfung

1. Temperaturverlauf nach DIN EN 61238 - 1



2. Temperaturmessung am Bezugsleiter und Verbinder

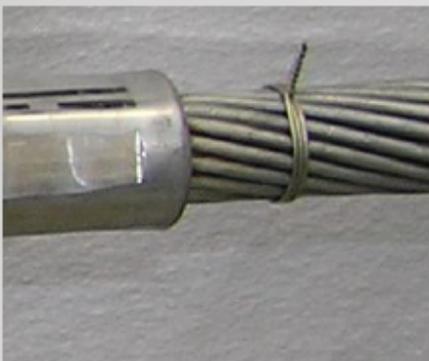




Verbinderanordnung und Drahtbund als Ausgleicher für die Widerstandsmessung

Potentialmessstellen

- Der Drahtbund erfasst das gemittelte Potential der äußeren Seillage
- geschweißte oder gepresste Ausgleicher messen das Potential über den gesamten Leiterquerschnitt



3. Widerstandsmessung

Mit dem im Bild dargestellten Präzisionsmessgerät sind die Widerstände entsprechend der Angaben auf dem Messgerät für beide Verbindertypen zu bestimmen.



Messgerät zur Bestimmung der Verbinderwiderstände

4. Auswertung der Ergebnisse

Bei der Auswertung der Messergebnisse werden die folgenden Parameter berechnet:

Verbinderwiderstandsfaktor k

Der Widerstand, bezogen auf 20 °C, der sich zwischen den Messpunkten eines Verbinders ergibt, ist

$$R_{20} = \frac{U}{I} \times \frac{1}{1 + \alpha(\theta - 20)}, \quad (1)$$

wobei der Temperaturkoeffizient α des Widerstandes im Sinne dieser Norm für Kupfer und Aluminium gleich angesetzt wird zu: $\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1}$

Der Widerstand des Bezugsleiters, bezogen auf 20 °C, ist

$$R_{r20} = \frac{U_r}{I_r} \times \frac{I}{I + \alpha(\theta_r - 20)} \quad (2)$$

Der Widerstand R_j des Verbinders ergibt sich zu

$$R_{j20} = \frac{U_j}{I_j} \times \frac{I}{I + \alpha(\theta_j - 20)} = R_{20} - R_{r20} \times \frac{(l_a + l_b)}{l_r} \quad (3)$$

und der Widerstandsfaktor k des Verbinders ist

$$k = \frac{R_{j20}}{R_{r20}} \times \frac{l_r}{l_j} \quad (4)$$

Anfangswertstreuung δ

Die Anfangswertstreuung zwischen den sechs vor Beginn der Erwärmungslastwechsel gemessenen Anfangswerten von k ist wie folgt berechnet:

Berechnung des Mittelwertes:
$$\bar{K}_0 = \frac{1}{6} \sum_I^6 k \quad (5)$$

dann die Berechnung der Standardabweichung:
$$s_0 = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_I^6 (k - \bar{K}_0)^2} \quad (6)$$

und schließlich die Berechnung der Streuung:
$$\delta = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{s_0}{\bar{K}_0} t_s \quad (7)$$

mit:

t_s als Student-Koeffizient

$t_s = t_{5,0,995} = 4,032$ für 99% zweiseitigen Vertrauensbereich mit 5 Freiheitsgraden

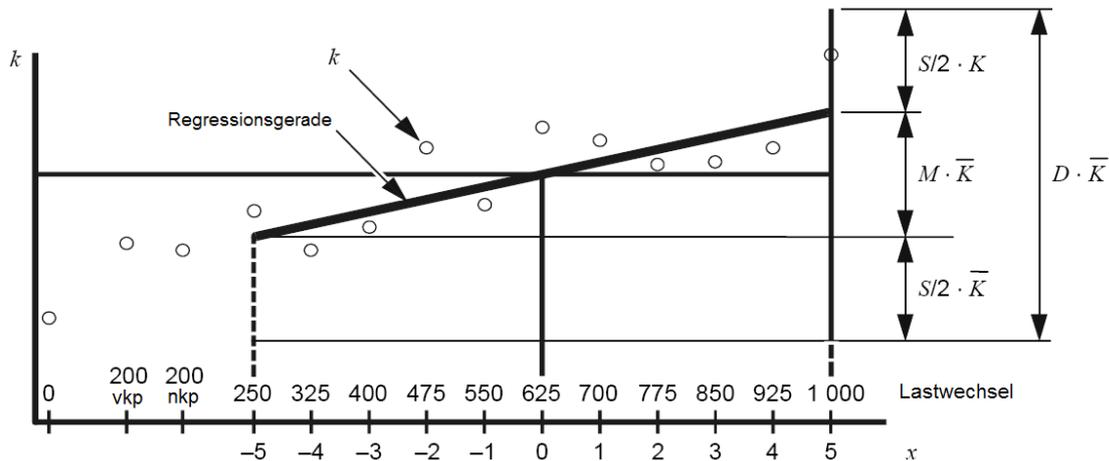
folgt daraus:

$$\delta = 1,65 \frac{s_0}{\bar{K}_0} \quad (8)$$

Mittelwertstreuung β

Diese Streuung wird unter Verwendung der letzten 11 Widerstandswerte bestimmt. Diese 11 Messungen beginnen beim 250. Lastwechsel und werden dann alle 75 Last-

wechsel bis zum 1000. Lastwechsel vorgenommen. Auch bei Grenzabweichungen von ± 10 Lastwechseln für jede Messung gelten die in dieser Norm aufgeführten statistischen Gleichungen. Außerhalb dieser Grenzabweichung ist eine detaillierte statistische Bearbeitung erforderlich. Zur Vereinfachung der Berechnung wird der Ausgangswert übertragen auf den Mittelpunkt der 11 Messungen und die statistische Variable x ($x = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \pm 5$) wird eingeführt.



vkp: vor der Kurzschluss-Prüfung
 nkp: nach der Kurzschluss-Prüfung

Abbildung 1: Beispiel der Auswertung eines einzelnen Verbinders der Klasse A

Für jeden Verbinder wird sein Mittelwert zwischen dem Intervall $x = -5$ bis $+5$ berechnet.

$$\bar{k} = \frac{1}{11} \sum_{-5}^{+5} k \quad (9)$$

Sechs Werte werden also erhalten. Der Mittelwert dieser sechs Werte ist dann:

$$\bar{K} = \frac{1}{6} \sum_1^6 \bar{k} \quad (10)$$

Die Standardabweichung ist:
$$s = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_1^6 (\bar{k} - \bar{K})^2} \quad (11)$$

und die Streuung:
$$\beta = \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot \frac{s}{\bar{K}} t_s, \quad \text{mit } t_s = 4,032$$

Daraus folgt:
$$\beta = 1,65 \frac{s}{\bar{K}} \quad (12)$$

Änderung in den Widerstandsfaktoren D

D ist die Änderung der während der letzten 11 Messintervalle gemessenen Werte von k , bezogen auf den Mittelwert von k in diesem Intervall.

Für die Berechnung der möglichen Veränderung des Widerstandsfaktors eines Verbinders während der letzten 11 Messungen wird zur Bestimmung der Regressionsgeraden das Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate angewendet. Der Veränderung des Widerstandsfaktors dieser Geraden wird eine Größe hinzugefügt, deren Größenordnung abhängt vom Vertrauensbereich der Streuung der Widerstandsfaktorwerte für die Regressionsgerade.

Die Steigerung der Regressionsgeraden über den Bereich $x = -5$ bis $+5$ ist gegeben durch:

$$b = \frac{\sum_{-5}^{+5} x k}{\sum_{-5}^{+5} x^2} \quad (13)$$

Folglich ist die relative Veränderung des Widerstandsfaktors:

$$M = 10 \frac{b}{\bar{k}} \quad (14)$$

wobei \bar{k} den Wert aus Gleichung (E.3) hat. Der Parameter M wird für alle sechs Verbinders ausgewertet.

Der Vertrauensbereich δ_i für die Veränderung des Widerstandsfaktors ist:

$$\delta_i = t_s \sigma \quad (15)$$

mit

t_s als Student-Koeffizient

$t_s = t_{9,0,95} = 1,833$ für einen 90% zweiseitigen Vertrauensbereich mit $(11 - 2) = 9$

Freiheitsgraden, und σ ist der von der Regressionsgeraden bei $x = -5$ oder $x = +5$ geschätzte Standardfehler. Wie gezeigt werden kann, ist σ für 11 Messungen:

$$\sigma = 0,564 \sqrt{\sum_{-5}^{+5} \frac{(k - \bar{k} - bx)^2}{9}} = 0,564 \cdot s_j \quad (16)$$

Der Ausdruck unter der Wurzel ist die Standardabweichung des Verbinders von der Regressionsgeraden. Der Wert wird als s_j bezeichnet, da er sich auf einen individuellen

Verbinder bezieht; er sollte deshalb nicht mit der Standardabweichung s der sechs Verbinder verwechselt werden, welche bei der mittleren Messposition $x = 0$ berechnet und zur Bestimmung der Mittelwertstreuung β verwendet wird.

Es sollte beachtet werden, dass der obige Ausdruck für s_j auch durch folgende Vereinfachung bestimmt werden kann zu:

$$s_j = \frac{1}{3} \sqrt{11 \left[\overline{k^2} - (\overline{k})^2 \right] - 110b^2} \quad (17)$$

wobei \overline{k} den durch Gleichung (E.3) angegebenen Wert hat und $\left(\overline{k^2} \right) = \frac{1}{11} \sum_{-5}^{+5} k^2$ ist.

Folglich ist die gesamte relative Abweichung von der Regressionsgeraden dann:

$$S = \frac{2 \cdot t_s \cdot \sigma}{\overline{k}} = \frac{2 \cdot 1,833 \cdot 0,564 \cdot s_j}{\overline{k}} = \frac{2,07 \cdot s_j}{\overline{k}} \quad (18)$$

Der Parameter S wird für alle sechs Verbinder ausgewertet.

Die statistische Veränderung des Wertes k für jeden Verbinder während der letzten Messung wird nach den Parametern M und S bestimmt.

$$D = |M| + S = \frac{|10b|}{\overline{k}} + \frac{2,07 \cdot s_j}{\overline{k}} \quad (19)$$

Widerstandsfaktorverhältnis λ

Rechenformel: $\lambda = \frac{k}{k_0} \quad (20)$

wobei

- k der Widerstandsfaktor für jeden Verbinder ist, der zum zugehörigen Zeitpunkt der Messreihen ermittelt wird;
- k_0 der Widerstandsfaktor desselben Verbinders ist, der vor dem ersten Lastwechsel gemessen wurde.

Bewertung der Ergebnisse

Die sechs Verbinder müssen den in der folgenden Tabelle genannten Anforderungen entsprechen. Wenn einer der sechs Verbinder einer oder mehreren Anforderungen nicht entspricht, ist eine erneute Prüfung zulässig. In diesem Fall müssen alle sechs neuen Verbinder den Anforderungen entsprechen.

Wenn mehr als einer der sechs Verbinder einer oder mehreren Anforderungen nicht entspricht, ist eine erneute Prüfung nicht zulässig, und der Verbindertyp gilt als nicht der Norm entsprechend.

Tabelle: Anforderungen der elektrischen Prüfung

Parameter	Bezeichnung	Abschnitt in EN 61238-1	Höchstwert
Anfangswertstreuung	δ	E.3	0,30
Mittelwertstreuung	β	E.4	0,30
Widerstandsveränderungsfaktor	D	E.5	0,15
Widerstandsverhältnisfaktor	λ	E.6	2,0
Höchsttemperatur	Θ_{\max}	E.7	Θ_{ref}
ANMERKUNG: Die in der Tabelle angegebenen Werte sind Erfahrungswerte			