wenige 100 m gegen Stacheldrähte auszuwechseln sind. Bei neuen Anlagen bestehen die Mehrkosten nur in dem Mehrpreis des Leitungsmaterials und den etwas höheren Verlegungskosten. Die Betriebskosten dürften sich durch den Einbau des Schutzes überhaupt nicht erhöhen, denn eine besondere Wartung ist nicht erforderlich.

Es sollen hier auch die Nachteile nicht verschwiegen werden, die der Stacheldrahtschutz mit sich bringt. Diese sind einmal unter Umständen ein kleiner dauernder Verlust, falls die Betriebsspannung nicht tief genug unter der Anfangsspannung liegt, und dann die erhöhte Belastung der Gestänge durch das Gewicht des Drahtes selbst und besonders durch die Zusatzlast bei Schneefall und Reifbildung, die überdies bei Stacheldraht gefährlicher sind für die Festigkeit, weil sie zu größeren Belastungen anwachsen werden. Auch der Winddruck wird bei Stacheldraht größer. Diesen Umständen muß bei Neuanlagen durch etwas engere Maststellung oder Wahl kräftigerer Maste im Bereich der Schutzstrecke Rechnung getragen werden.

Ein abschließendes Urteil über den Wert des Stacheldrahtschutzes zur Bekämpfung von Überspannungen kann natürlich nur die Praxis ergeben. Bisher haben zwei Werke, nämlich die Überlandzentrale Berggeist A.-G. (R. W. E.) und das E.-W. Trier sich zum Bau von Versuchsstrecken an besonders gefährdeten Stellen bereit erklärt. Ferner hat die Felten & Guillaume-Carlswerk A.-G., Köln-Mülheim, die technische Ausbildung und Herstellung des Stacheldrahtmaterials in die Hände genommen.

Zur Frage der Messung von Oberflächentemperaturen in der Elektrotechnik.

(Erwiderung auf die Bemerkungen des Herrn Fr. Kade.)

Von

Max Jakob.

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

1. In diesem Archiv¹⁾ habe ich auf Mängel der durch die Verbandsnormalien vorgeschriebenen Methode der Oberflächentemperaturmessung hingewiesen, mit Rücksicht auf Vidmars Vorschlag, die Oberflächentemperatur von elektrischen Spulen mehr wie bisher zur Beurteilung der Höchsttemperatur heranzuziehen.

Herr Kade²⁾ schließt demgegenüber etwa folgendermaßen: Beträchtliche Fehler in der Messung der Oberflächentemperatur von Spulen müßten die Prüffeldingenieure aus dem Ergebnis der Widerstandsmessungen unbedingt erkennen. Da sie solche Fehler bisher nicht bemerkt hätten, könne das Ergebnis meiner Arbeit nicht der Wirklichkeit entsprechen. Da aber der Rechnungsgang dieser Arbeit einwandfrei sei, könne die „Anlage“ der Rechnung nicht stimmen.

Was nicht stimmt, ist die Prämisse dieser sonderbaren Schlußfolgerung. Wohl jeder Prüffeldingenieur (ich selbst war als solcher bei zwei elektrotechnischen Großfirmen tätig) weiß, daß die Messung der Oberflächentemperatur von Spulen nach der zur Zeit gültigen Vorschrift ganz ungenaue Ergebnisse liefert. Wenn die gemessene Oberflächentemperatur nur geringer war als die aus der Widerstandsmessung

¹⁾ M. Jakob, Archiv f. Elektrotechnik 8. S. 126. 1919.

²⁾ Fr. Kade, Archiv f. Elektrotechnik 8. S. 296. 1919.

gewonnene mittlere Temperatur, so gab man sich bisher im allgemeinen zufrieden; um wieviel, danach fragte man nicht; denn der Vidmarsche Vorschlag, der diese Frage gerade wichtig macht, lag ja noch nicht vor.

2. Unter der Annahme, daß die Oberflächentemperatur nach der Vorschrift der Verbandsnormalien gemessen wird, habe ich zwei extreme Werte berechnet, zwischen denen die gemessene Temperatur liegen muß. Zu diesen Grenzwerten gelangt man durch folgende Betrachtung:

Denkt man sich durch den Rand der Meßfläche f und die Spule eine Schnittfläche gelegt, durch die jener Teil abgegrenzt wird, in welchem vor dem Aufsetzen des Thermometers die f durchsetzende Wärmemenge erzeugt wird und strömt, so sind nach dem Aufsetzen des Thermometers zwei extreme Fälle denkbar: entweder es ist jeder Wärmeausgleich durch die genannte Schnittfläche ausgeschlossen oder es findet ein vollkommener Wärmeausgleich statt, was z. B. bei vollkommen leitender Oberflächenschicht der Spule der Fall wäre. Im ersteren Fall würde sich in der Meßfläche f eine Temperatur $t = \beta t_0$ (nach Kades Bezeichnungsweise) einstellen, im zweiten Fall die Temperatur $t = t_0$, wenn nur die Fläche f klein ist gegenüber der gesamten Oberfläche. Ob die gemessene Temperatur dem einen oder anderen Grenzwert näher liegt, kommt auf die Verhältnisse an und ist allgemein schwer zu beurteilen. Ich habe daher bei meinen überschlägigen Berechnungen das Mittel der Grenzwerte mit der wirklichen zu messenden Temperatur verglichen. Dies wird von Herrn Kade beanstandet.

3. Nach Herrn Kades Ansicht hat die dem Wert βt_0 zugrunde liegende Annahme völlig auszuschneiden und trifft die andere Annahme das Richtige. Nur darin, daß sich Herr Kade für den einen der beiden extremen Werte entscheidet, während ich das Mittel daraus für wahrscheinlicher halte, vermag ich einen wesentlichen Unterschied zwischen meiner und seiner Rechnungsweise zu erblicken. Oder sollte die bessere „Anlage“ seiner Rechnung darin bestehen, daß er nicht $t = t_0$ setzt, sondern $t = t_1$, wobei $t_0 - t_1$ die Temperaturdifferenz bedeutet, die sich ergibt, wenn man mehr oder weniger von der vollkommen leitenden Oberfläche abdeckt? Da das Verhältnis der abgedeckten zur ganzen Oberfläche und damit auch $t_0 - t_1$ bei Oberflächentemperaturmessungen im allgemeinen ganz gering ist, so hätte er sich die Mühe, t_1 als Funktion des Oberflächenverhältnisses zu berechnen, sparen können und wäre dann einfach zu dem Resultat gekommen, daß man nach der Vorschrift der Verbandsnormalien völlig richtig mißt. Mit anderen Worten: Er hätte meinen Grenzwert $t = t_0$ als zutreffend gefunden. Herrn Kades Annahme $t_1 = t$ ist aber unzulässig, weil die äußerste Schicht einer Spule keinesfalls vollkommen leitend ist. Diese Schicht besteht aus Isoliermaterial und sie liegt an der Stelle des größten Temperaturgradienten. Es wird sich also, ebenso wie senkrecht zur Oberfläche ein starkes Temperaturgefälle vorhanden ist, auch in der Tangentialebene der Oberfläche ein bedeutendes Gefälle einstellen, wenn man die Temperaturverteilung durch Aufbringen einer Meßvorrichtung stört¹⁾. Um diese lokale Störung handelt es sich bei meinem Grenzwert βt_0 . Ich weiß sehr wohl, daß ein gewisser Temperatúrausgleich auch tangential zur Oberfläche erfolgt. Aber darum habe ich ja den berechneten Temperaturwert βt_0 als extremen Grenzwert bezeichnet und den unter 2. erwähnten Mittelwert für die Überschlagsrechnungen benutzt.

4. Es würde sich nach den obigen Ausführungen erübrigen, auf die Nachrechnung einzugehen, die Herr Kade meinen Beispielen angedeihen läßt.

Nur einen Fehler im Beispiel 5 beanstandet Herr Kade mit Recht. Es ist dort versehentlich mit $\alpha = \alpha' = 0,3 \cdot 10^{-3}$ gerechnet statt mit $\alpha = \alpha' = 3,0 \cdot 10^{-3}$.

Zum Beispiel 6 aber ist folgendes zu bemerken: Gerade deshalb, weil nach dem Abstellen einer Maschine die Bedingung $W' = W$ an der Meßfläche so schwer zu

¹⁾ Unter der Oberflächenschicht liegt allerdings Kupfer; aber das verbessert den Temperatúrausgleich nur in der Wicklungsrichtung wesentlich, senkrecht dazu nur wenig.

erfüllen ist (nämlich im allgemeinen nur dadurch, daß F sehr groß gegenüber f gemacht wird, während wir in den Beispielen nur $F = 2f$ angenommen hatten), wird es meistens unmöglich sein, die im Betrieb herrschende Oberflächentemperatur rotierender oder durch die Maschinenrotation ventilierter Spulen nach Abstellen der Maschine mit der von mir beanstandeten Temperaturmeßvorrichtung zu bestimmen. Deshalb, weil die Maschine nach dem Abstellen weniger Watt abgibt, wie Herr Kade sehr richtig bemerkt, läßt sich meistens kein d mehr finden, welches richtige Messung verbürgt, aber nicht deshalb, weil die Formeln (3), (5) und (6a) hierfür nicht anwendbar wären. Diese Formeln sind unabhängig von jeder Annahme darüber, ob die Maschine steht oder läuft und ob die Wärmemengen W und W' von ihr erzeugt oder ihrer Wärmekapazität entnommen werden.

5. Am Schluß seiner Bemerkungen gibt Herr Kade zu, daß seine Annahme $t_1 = t$ nicht genau zutreffe. Wie genau, darüber kann er gar nichts sagen. Daß er dennoch mit $t_1 = t$ rechnet, das ist nur aus der vorgefaßten Meinung zu erklären, daß die Prüffeldingenieure Fehler in der Oberflächentemperaturmessung hätten bemängeln müssen, was sie bisher wohl nur unter sich, nicht in der Öffentlichkeit getan haben.

In Wirklichkeit spricht nicht mehr für die Annahme $t = t_1$ oder $t = t_0$ (vollkommen leitende Oberfläche) als für die Annahme $t = \beta t_0$ (vollkommene Absperrung gegen seitlichen Wärme- zu- oder -abfluß). Es ist daher durchaus berechtigt, überschlägig mit dem Mittelwert $t = \frac{t_0 + \beta t_0}{2}$ zu rechnen, wie ich es getan habe.

Die Bemerkungen des Herrn Kade geben somit keine Veranlassung, von dem Vorschlag abzugehen, es möchten die Vorschriften der Verbandsnormalien über die Oberflächentemperaturmessung verbessert werden.

Bestimmung der Dicke der Ölschicht bei Lagern¹⁾.

Von

V. Vieweg-Charlottenburg.

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

M. H.! Der Aufforderung des Vereins Deutscher Maschinenbauanstalten, in der Sitzung des Ausschusses für Lagerversuche einen Bericht über Versuche zur Messung der Dicke der Ölschicht bei Lagern zu erstatten, komme ich sehr gern nach. Die Versuche sind gemeinsam von mir und Herrn A. Wetthauer-Charlottenburg in dem Maschinenlaboratorium in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ausgeführt worden. Sie sind im Januar 1915 angefangen worden, mußten aber infolge des Krieges abgebrochen werden. Vgl. Tätigkeitsbericht der P. T. R., 1918, S. 18.

Die Gesetze der Lagerreibung wurden zuerst theoretisch von Petroff²⁾ behandelt, und er kam zu der Erkenntnis, daß es sich dabei im wesentlichen um ein

¹⁾ Vortrag, gehalten im Verein Deutscher Maschinenbau-Anstalten am 2. September 1919.

²⁾ Petroff, Neue Theorie der Reibung, Hamburg 1887.