Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 36 (1945)

Heft: 15

Artikel: Die Alterung von Transformatorenölen bei Abwesenheit von Kupfer : das Oel im Transformator mit Aluminiumwicklung

Autor: Zürcher, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1060237

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: 16.12.2025

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:
Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:
Zürich, Stauffacherquai 36 ◆ Telephon 23 77 44
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXXVI. Jahrgang | N° 15 | Mittwoch, 25. Juli 1945

Die Alterung von Transformatorölen bei Abwesenheit von Kupfer

Das Oel im Transformator mit Aluminiumwicklung*)

Von *M. Zürcher*, Zürich
(Mitteilung der Materialprüfanstalt des SEV)

621.315.615.2.0046

Die Alterung von Transformatorölen in Gegenwart von Eisen und Aluminium und in Abwesenheit von Kupfer, entsprechend den Betriebsbedingungen im Transformator mit Aluminiumwicklungen, wird untersucht. In Anlehnung an die Vorschriften des SEV wird eine modifizierte Methode der Alterung beschrieben, deren Resultate sich mit denjenigen der SEV-Methode vergleichen lassen, und die gestattet, Oele unter definierten Bedingungen in Gegenwart verschiedener Metalle zu altern. An verschiedenen Mustern wird gezeigt, dass viele der heute auf dem Markt befindlichen Oele, welche in Gegenwart von Kupfer ungünstige Alterungseigenschaften aufweisen, sich in Abwesenheit von Kupfer bedeutend besser bewähren und daher zweckmässig in Transformatoren mit Aluminiumwicklungen verwendet werden können.

Examen du vieillissement des huiles pour transformateurs en présence de fer et d'aluminium et en l'absence de cuivre, c'est-à-dire dans un cas analogue à celui des transformateurs à enroulements en aluminium. Description d'une méthode de vieillissement qui s'écarte quelque peu de la méthode préconisée par l'ASE et permet, avec des résultats comparables à ceux de cette dernière, de procéder à un vieillissement des huiles dans des conditions définies, en présence de différents métaux. Des échantillons montrent que de nombreuses huiles actuelles, dont le vieillissement est fort rapide en présence du cuivre, se comportent beaucoup mieux en l'absence de ce métal et peuvent par conséquent être utilisées avantageusement dans des transformateurs à enroulements en aluminium.

Unter dem Begriff der Alterung von Transformatorölen werden diejenigen chemischen Vorgänge zusammengefasst, die sich im Laufe längerer Betriebszeit in den Oelen abspielen. Dabei handelt es sich um Polymerisations- und Oxydationsvorgänge komplizierter Natur, welche einerseits eine Bildung von unlöslichen Produkten, anderseits eine Erhöhung der Säurezahl bewirken. Der dabei entstehende Schlamm verursacht eine Hemmung der Oelzirkulation, wodurch Störungen im Wärmeaustausch und lokale Ueberhitzungen eintreten können. Durch die sich bildenden Säuren kann ein Angriff der Baumwollisolation erfolgen, der namentlich dann hervortritt, wenn sich als Zwischenprodukte der Oxydation gleichzeitig peroxydartige Verbindungen bilden, die besonders rasch eine Zerstörung der Baumwolle verursachen.

Die Reaktionsgeschwindigkeit der Alterung hängt ab vom Raffinationsgrad und von der Natur des Oeles, ferner von der Temperatur und, da es sich in der Hauptsache um Oxydationsvorgänge handelt, vom Luftzutritt. Da besonders die Oxydationsreaktionen durch die Gegenwart von Metallen sehr stark katalytisch beeinflusst werden, spielt die Gegenwart von Metallen für den Alterungsvorgang der Mineralöle eine ausschlaggebende Rolle. Systematische Untersuchungen [1]) haben gezeigt, dass Kupfer die Alterung der Oele in hohem Masse beschleunigt.

Da zurzeit hochwertige und sorgfältig raffinierte Oele nur schwer erhältlich sind, ist man darauf angewiesen, für die Füllung von Transformatoren sehr oft Oele geringerer Qualität zu verwenden. Anderseits sind jetzt sehr viel kupferfreie Transformatoren mit Aluminiumwicklungen im Betrieb, und es muss die Frage geprüft werden, wie weit sich diese Kriegsöle in kupferfreien Transformatoren verwenden lassen. Zur Klärung dieser Frage wurde eine Reihe von verschiedenen Oelen, welche der Materialprüfanstalt des SEV zur Prüfung eingesandt wurden, in Gegenwart von Kupfer einerseits und in Gegenwart von Eisen und Aluminium anderseits einer Alterung unterzogen. Da die Prüfung eines Transformatoröles nach den Vorschriften des SEV [2]) durch eine beschleunigte Alterung in einem Kupferbecher erfolgt und zudem eine ziemlich grosse Menge Oel erfordert, wurde eine leicht geänderte Prüfmethode angewendet, die aber der Alterungsmethode nach SEV weitgehend entspricht und sich mit dieser ohne weiteres vergleichen lässt.

Ausführung der künstlichen Alterung

Die künstliche Alterung wurde jeweils mit 150 cm³ Oel in Glasgefässen von 4 cm Durchmesser und 18 cm Höhe («Stockpunktgefässe» nach SEV) ausgeführt. Die Metalle wurden in Streifen von 1 cm Breite und ca. 5...10 cm Länge angewendet, welche in das Gefäss gestellt wurden, so dass sie

*) Siehe auch den Diskussionsbeitrag des Autors an der Transformatorentagung des SEV, Bull. SEV 1944, Nr. 23, S. 680.

[1]) H. Stäger, Bull. SEV 1924, Nr. 3, S. 93.

[2]) Techn. Bedingungen für Isolieröl; Publikation Nr. 124 des SEV.

vollkommen vom Oel überdeckt waren. Um ein Zusammenkleben der Metallstreifen zu verhindern, wurden sie leicht geknickt oder verdreht, so dass ihre ganze Oberfläche vom Oel umspült wurde. Als Mass für die Menge des katalytisch wirksamen Metalls wird die Oberfläche der Metallstreifen angenommen. Die Alterung erfolgte wie nach den Vorschriften des SEV während 7 Tagen bei einer Temperatur von 110° C. Die Glasgefässe wurden soweit in einen Oelthermostaten mit Rührung eingetaucht, dass das Niveau des Versuchsöles ca. 2 cm unter das Niveau des Thermostatenöles zu liegen kam. Um den Luftzutritt zu ermöglichen, wurden die Gefässe offen in den Thermostat gestellt. Zur Prüfung der Einwirkung auf Baumwolle wurde ein 10 mm dicker Glasstab eingesetzt, der mit Baumwollfaden, wie solcher für die Oelprüfung nach SEV verwendet wird, umwickelt war. Die Reissfestigkeit der Baumwolle wurde vor und nach dem Versuch bestimmt.

Alterung in Gegenwart von Kupfer

Um den Vergleich mit der bisherigen Alterungsprobe nach den Vorschriften des SEV im Kupferbecher zu gewinnen, wurden vorerst verschiedene Oele im Glasgefäss unter Anwendung von steigenden Mengen Kupfer gealtert. Nach 7tägiger Alterung bei 110° C wurde, nach den Vorschriften des SEV, der Schlamm durch Ausfällen mit Petroläther und die Säurezahl durch Titration mit wässeriger 0,1 normaler Kalilauge, mit Alkaliblau als Indikator, bestimmt. Das Kupfer wurde folgendermassen vorbehandelt: Die Blechstreifen wurden mit ca. 20 %iger Salpetersäure blank gebeizt und mit Wasser gründlich gespült. Hierauf wurden sie über dem Bunsenbrenner auf ca. 400° C erhitzt und noch heiss in ein Reagenzglas aus schwerschmelzbarem Glas gebracht, welches einige Tropfen Methylalkohol enthielt, wodurch sofort Reduktion zu blankem Kupfer eintrat. Das Reagenzglas wurde sofort an die Wasserstrahlpumpe angeschlossen, damit Methylalkohol und der gebildete Formaldehyd verdampfen und die Kupferstreifen im Vakuum erkalten konnten. Sie wurden unmittelbar nachher in das zu prüfende Oel gebracht.

Da bei dieser Ausführung der Alterung im Glasgefäss die Metallstreifen völlig in das zu untersuchende Oel eingetaucht sind, wird die katalytisch wirksame Metalloberfläche genau definiert und konstant gehalten, während bei der Alterung nach SEV die Berührungsfläche Oel-Metall-Luft durch die an der Becherwand und am Deckel kondensierenden und zurücklaufenden Oeldämpfe in konstanter aber schwer zu definierender Weise vergrössert wird.

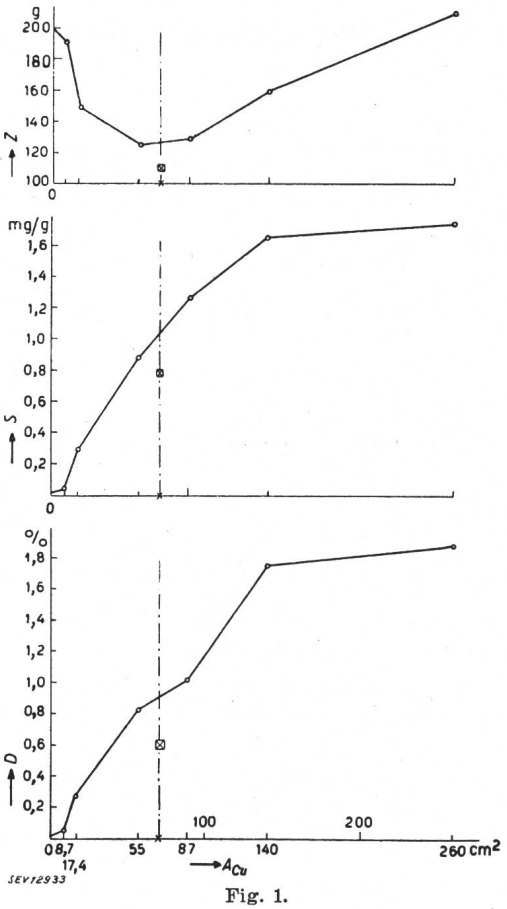

Fig. 1.
Reissfestigkeit, Säurezahl und Schlammgehalt als Funktion der Kupferoberfläche

A_{Cu} Oberfläche in cm² Cu/150 cm³ Oel
D Schlammgehalt in Gewichtsprozenten
S Säurezahl in mg KOH/g Oel
Z Reissfestigkeit in g

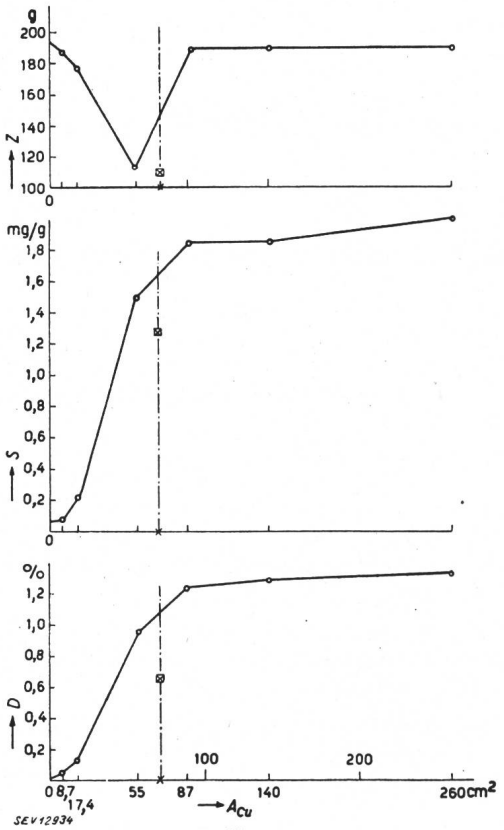

Fig. 2.
Reissfestigkeit, Säurezahl und Schlammgehalt als Funktion der Kupferoberfläche

A_{Cu} Oberfläche in cm² Cu/150 cm³ Oel
D Schlammgehalt in Gewichtsprozenten
S Säurezahl in mg KOH/g Oel
Z Reissfestigkeit in g

In Tabelle I und II, sowie in Fig. 1 und 2 sind als Beispiele die Alterungsresultate von 2 Oelmustern in Abhängigkeit von der Kupferoberfläche wiedergegeben. Wie zu erwarten war, steigt die Schlamm- und Säurebildung in Gegenwart von wenig Kupfer mit zunehmender Kupferoberfläche ziemlich rasch an, um dann bei grossen Kupfermengen annähernd konstant zu bleiben. Ein auf-

Tabelle I.

	Alterung im								
	Glasgefäss								Cu-Becher nach SEV
	mit Cu							mit Al	
Metalloberfläche cm² pro 150 cm³ Oel	0	8,7	17,4	55	87	140	260	260	70
Schlamm %	0,04	0,07	0,32	0,83	1,09	1,75	1,89	0,04	0,58
Säurezahl mg KOH/g Oel	0,05	0,06	0,28	0,84	1,26	1,65	1,75	0,05	0,79
Reissfestigkeit des Baumwollfadens g	202	190	150	126	129	140	210	195	114

Tabelle II.

	Alterung im								
	Glasgefäss								Cu-Becher nach SEV
	mit Cu							mit Al	
Metalloberfläche cm² pro 150 cm³ Oel	0	8,7	17,4	55	87	140	260	260	70
Schlamm %	0,01	0,03	0,14	0,95	1,26	1,28	1,33	0,01	0,64
Säurezahl mg KOH/g Oel	0,07	0,08	0,22	1,52	1,85	1,85	2,00	0,06	1,28
Reissfestigkeit des Baumwollfadens	190	187	178	115	190	190	190	190	110

fallendes Verhalten zeigt die Abnahme der Zerreissfestigkeit des Baumwollfadens, welche bei mittleren Kupfermengen ein Maximum aufweist, um dann bei grösseren Kupfermengen wieder anzusteigen. Dieses Verhalten ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass bei Gegenwart von viel Kupfer gleich zu Anfang der Alterung viel Schlamm gebildet wird, welcher auf dem Baumwollfaden eine schützende Deckschicht erzeugt. Auch ist es denkbar, müsste aber noch nachgewiesen werden, dass in Gegenwart von viel Katalyt die stark angreifenden peroxydartigen Verbindungen rascher zerfallen. Diese Beobachtung wurde sowohl bei Baumwollfäden, die auf Glasdorne, als auch bei solchen, die auf Kupferdorne gewickelt waren, gemacht. Es stimmt mit der Erfahrung überein, dass Oele, welche sehr viel Schlamm bilden, selten eine starke Abnahme der Reissfestigkeit des Baumwollfadens verursachen.

Aus den Kurven geht hervor, dass die Kupferoberfläche, welche nach den Vorschriften des SEV wirksam ist (70 cm² Kupfer pro 150 cm³ Oel, in Fig. 1 und 2 durch eine strichpunktierte Ordinate angedeutet) gerade dem Gebiet der maximalen Abnahme der Reissfestigkeit entspricht, was für die Prüfung der Verwendungsfähigkeit von Oelen besonders wichtig ist. Umgekehrt entspricht die Kupferoberfläche nach den Vorschriften des SEV dem Gebiet, in welchem die Kurven für Schlamm- und Säurebildung sehr stark ansteigen, so dass also eine durch Versuchsfehler bedingte kleine Aenderung der Kupferoberfläche einen verhältnismässig grossen Einfluss auf die Alterung ausübt, was bei der Beurteilung der Reproduzierbarkeit und der Fehlergrenze der Methode berücksichtigt werden muss. In diesem Zusammenhang ist auch zu berücksichtigen, dass die Reaktion am 7. Tage noch nicht zu Ende ist, sondern weiterlaufen würde. Es wird also durch die Probenahme am 7. Tag nicht ein Gleichgewichtszustand gemessen, sondern die Reaktion wird an diesem Punkte abgebrochen, was praktisch mit einer Messung der Reaktionsgeschwindigkeit gleichbedeutend ist. Da aber die Reaktionsgeschwindigkeit, besonders bei katalytischen Reaktionen, von verschiedenen Faktoren sehr leicht beeinflusst wird, wirkt sich auch dieser Umstand ungünstig auf die Fehlergrenze und Reproduzierbarkeit der Resultate aus, so dass mit einer gewissen Streuung zu rechnen ist. Für die Praxis, in der sich die Methode der künstlichen Alterung nach SEV seit vielen Jahren bewährt hat, fallen diese Unregelmässigkeiten der

Tabelle III

Lauf-Nr.	Schlamm %		Säurezahl mg KOH/g Oel		Abnahme der Reissfestigkeit von Baumwollfaden in %	
	SEV	Al+Fe	SEV	Al+Fe	SEV	Al+Fe
1	0,17	0,009	0,25	0,19	0	8
2	0,30	0,028	0,67	0,10	43	4
3	0,19	0,025	0,31	0,17	4	0
4	0,77	0,011	0,65	0,08	0	0
5	0,53	0,014	0,25	0,08	21	0
6	0,16	0,0	0,31	0,08	20	5
7	0,52	0,035	0,50	0,17	0	11
8	0,37	0,0	0,40	0,11	8	0
9	0,27	0,023	0,34	0,20	18	8
10	0,55	0,085	0,45	0,20	14	27
11	0,08	0,018	0,14	0,06	24	4
12	0,40	0,019	0,67	0,08	65	0
13	1,40	0,775	0,70	0,42	0	45
14	1,0	0,573	0,59	0,34	6	26
15	1,20	0,306	0,85	0,30	0	37
16	1,20	0,327	0,85	0,30	0	39
17	0,75	0,220	0,34	0,34	0	43
18	0,04	0,018	0,09	0,08	0	0
19	0,38	0,044	0,40	0,14	20	20
20	0,07	0,0	0,39	0,06	12	0
21	0,25	0,08	0,25	0,17	8	6
22	0,35	0,015	0,67	0,57	45	0
23	0,08	0,0	0,22	0,06	20	0
24	0,35	0,012	0,76	0,06	41	0
25	0,40	0,011	0,98	0,08	59	0
26	0,40	0,013	0,98	0,03	48	0
27	0,36	0,016	0,87	0,04	48	4
28	0,22	0,026	0,63	0,06	45	5
29	0,18	0,04	0,36	0,11	0	14
30	0,16	0,0	0,34	0,06	15	0
31	0,65	0,05	0,95	0,11	0	0
Anforderungen nach SEV	0,15		0,40		35	
Anzahl Muster, welche den Anfordg. nicht entsprechen	27	5	18	3	8	4

Resultate nicht merklich in Betracht, da die Unterschiede zwischen den verschiedenen Oelen beträchtlich grösser sind als die Fehlergrenze der Resultate.

Alterungen in Abwesenheit von Kupfer

Nachdem durch die Vorversuche festgestellt wurde, dass in der beschriebenen Anordnung im Glasgefäss mit untergetauchten Kupferblechen Alterungsresultate erhalten wurden, die sich mit denjenigen nach den Vorschriften des SEV vergleichen lassen, wurde eine grössere Anzahl Oele in Abwesenheit von Kupfer in Gegenwart von Eisen und Aluminium gealtert, was den praktischen Betriebsverhältnissen im *Transformator mit Aluminiumwicklungen* entspricht. Die Eisenblechstreifen wurden unmittelbar vor dem Einsetzen mit Salzsäure abgebeizt, mit Wasser gründlich gespült und mit Alkohol getrocknet. Bei den Aluminiumstreifen erfolgte eine entsprechende Aetzung mit Natronlauge. Zur Ermittlung der Werte in Tabelle III wurde folgender Ansatz gewählt: 150 cm^3 Oel + Eisenblechstreifen von 80 cm^2 Oberfläche + Aluminiumblechstreifen von 80 cm^2 Oberfläche. Das Verhältnis Metalloberfläche zu Oelvolumen entspricht dabei ungefähr demjenigen, das bei der Alterung nach SEV im Kupferbecher angewendet wird. Die Alterung wurde während rund 7 Tagen bei 110° C durchgeführt.

In der Kolonne «SEV» sind die Resultate der künstlichen Alterung nach SEV im Kupferbecher angeführt. In der Kolonne Al + Fe sind die nach dem erwähnten Ansatz erhaltenen Alterungsresultate aufgeführt.

Aus Tabelle III geht hervor, dass sämtliche Oele bei Abwesenheit von Kupfer eine viel geringere Schlamm- und Säurebildung aufweisen. Die meisten Oele mittlerer Qualität, welche den technischen Bedingungen des SEV nicht entsprechen, würden dagegen diesen Anforderungen genügen, wenn sie in Abwesenheit von Kupfer gealtert werden. Nur einige ganz schlechte Oele (Nr. 13...17) zeigen auch bei Abwesenheit von Kupfer eine starke Schlamm- und Säurebildung, doch sind diese auch hier bedeutend geringer als bei Alterung in Gegenwart von Kupfer. Bei einigen Mustern von schlechter Qualität zeigt sich gegenüber der Alterung nach SEV im Kupferbecher eine Verminderung der Reissfestigkeit des Baumwollfadens, wenn sie in Abwesenheit von Kupfer gealtert werden. Dies ist, wie eingangs erwähnt, darauf zurückzuführen, dass bei der Alterung im Kupferbecher eine sehr starke Schlammbildung eintritt, welche den Baumwollfaden vor Angriff schützt.

Zufolge der herrschenden Knappheit an guten Oelen müssen heute auch Oele von schlechter Qualität verwendet werden. Es ist daher eine Verbrauchslenkung anzustreben, indem diese Oele möglichst in kupferfreien Apparaten verwendet werden sollen, so dass die guten Oele für die Verwendung in Berührung mit Kupfer reserviert bleiben können. Durch die beschriebene Alterung in Abwesenheit von Kupfer lässt sich weitgehend beurteilen, ob sich ein Oel für die Verwendung in kupferfreien Apparaten eignet.

Adresse des Autors:
Dr. sc. techn. *M. Zürcher*, Chemiker der Materialprüfanstalt des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.

Erfahrungen auf dem Gebiete des Gleichstrommaschinenbaues

Von *Emil Dick*, Gümligen *)

621.313.2

Im Anschluss an eine frühere Veröffentlichung im Bulletin SEV gibt der Verfasser weitere Erfahrungen aus seiner Tätigkeit bekannt. Es ergeben sich daraus neue Erkenntnisse, die zu einigen Aenderungen gegenüber der früheren Arbeit führen. Neben der Bürstenspannung und der Lamellenspannung werden die Vorteile der Kompensationswicklung für Gleichstrommaschinen betrachtet.

Faisant suite à un article paru précédemment dans le Bulletin ASE, l'auteur expose d'autres expériences qu'il a faites au cours de sa carrière, gagnant ainsi de nouvelles connaissances, qui l'amenèrent à modifier sur quelques points son ancien travail. Outre la tension aux balais et la tension entre lames du collecteur, il envisage également les avantages de l'enroulement de compensation pour des machines à courant continu.

Anschliessend an eine frühere Arbeit [1]) möchte ich noch über einen aussergewöhnlichen Fall berichten, der an einer mittelgrossen, mehrpoligen, im Probelauf befindlichen Dynamo festgestellt wurde. Es wurde beobachtet, dass bei leerlaufender, auf Nennspannung erregter Maschine überraschenderweise Bürstenfeuer auftrat, das aber schon bei einer verhältnismässig schwachen Belastung verschwand, um dann bei einer bestimmten Ueberlastung wieder aufzutauchen. Die Bürsten befanden sich in der neutralen Zone, und zwar in der Stellung maximaler Spannung, doch blieb das Leerlauf-Bürstenfeuer beim Verschieben der Bürsten (um etwa Lamellenbreite in beiden Drehrichtungen) auch weiterhin in gleicher Stärke bestehen; ausserdem wurde ermittelt, dass die Funkenstärke eine Funktion der Maschinenspannung war, indem mit zunehmender Spannung das Bürstenfeuer immer heftiger wurde.

Da keine Zeit zur Verfügung stund, die Sache weiter zu verfolgen, wurde die Maschine trotz ihres eigenartigen Verhaltens abgeliefert, was ja mit Rücksicht auf die sich fast über den ganzen Arbeitsbereich erstreckende, günstige Kommutierung verantwortet werden konnte. Soweit ich mich noch entsinnen kann, konnte im ganzen Aufbau der Maschine nichts entdeckt werden, was gegen die damals herrschenden Richtlinien verstossen hätte. Leider sind mir die Daten der Maschine nicht mehr bekannt.

*) Der Verfasser dieses Artikels tritt am 28. Juli 1945 sein 80. Lebensjahr an.

[1]) Bull. SEV 1943, Nr. 10, S. 294...297.