Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 42 (1951)

Heft: 8

Artikel: Prüfung der Verzinnung von verzinnten Kupferleitern

Autor: Zürcher, M. / Lüder, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1060987

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: 08.08.2025

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

tags schon am Samstag vorausgeahnt werden muss. Die Schaltuhr muss am Samstag vom Mesmer eingestellt werden, damit sie am Sonntagmorgen zur richtigen Zeit selbständig einschalten kann. Wird die Einschaltzeit schlecht gewählt, so kann eine Über- oder Unterheizung während des Gottesdienstes auftreten. Wie aus der Kurve der Fig. 6 hervorgeht, gelang es bereits in der ersten Heizperiode auf Grund der gesammelten Erfahrungen eine praktisch genügende Annäherung an den idealen Temperaturverlauf zu erreichen.

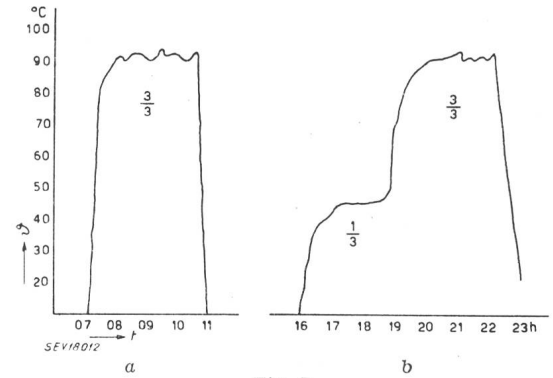

Fig. 7
Oberflächentemperaturverlauf der Fussbankheizelemente
a hinterste Bank im linken Schiff; *b* 4. Bank in Schiff-Mitte

Fig. 7 zeigt den Verlauf der an den einzelnen Heizröhren der Fussbankheizkörper gemessenen Oberflächentemperatur, wobei die Zahlen 1/3 und 3/3 sich auf die eingeschaltete Leistung der Heizkörper beziehen. Diesem Problem wurde schon bei der Projektierung der elektrischen Heizung volle Aufmerksamkeit geschenkt, denn von der Oberflächentemperatur des Heizkörpers hängt im wesentlichen das Behaglichkeitsgefühl des Menschen ab.

Der mittlere Energieverbrauch der Anlage pro m³ Rauminhalt beträgt 3,48 kWh. Die mittlere jährliche Gebrauchsdauer der Gesamtanlage ist mit 164 h allerdings etwas niedrig. Da der Energiebezug aber ausserhalb der Spitzenbelastungszeiten und zudem vorwiegend am Wochenende und am Sonntag erfolgt, ist die Kirchenheizung für das Elektrizitätswerk trotzdem von Interesse. Bei der beschriebenen Anlage liegen die Verhältnisse zudem insofern besonders günstig, als sich in ihrer unmittelbaren Nähe eine Unterstation befindet, deren Transformatoren durch den Energiebezug für die Kirchenheizung und Beleuchtung besser ausgenützt werden können.

Abschliessend kann gesagt werden, dass die Ergebnisse der ersten Heizperiode den Beweis erbrachten, dass die elektrische Fussbankheizung sowohl hinsichtlich Wirtschaftlichkeit wie Sauberkeit jeder anderen Kirchenheizungsart überlegen ist und zudem, da sie frei von Luftzugerscheinungen ist und keine Ventilatorgeräusche auftreten, ein Gefühl angenehmer Wärme zu erzeugen vermag.

Adresse des Autors:
D. Leserf, Chefmonteur des Elektrizitätswerkes der Stadt Schaffhausen, Lindenweg 6, Schaffhausen.

Prüfung der Verzinnung von verzinnten Kupferleitern

Von *M. Zürcher* und *J. Lüder*, Zürich

621.315.51.0014

Es wird eine Ergänzung der Verzinnungsprüfung nach Schürmann und Blumenthal beschrieben, die darin besteht, dass durch eine intensive Rührung der Einfluss der Diffusion beherrscht wird, wodurch die Resultate spezifischer und gut reproduzierbar werden. Die Faktoren, welche die Auflösungsreaktion massgeblich beeinflussen, werden einzeln in Modellversuchen studiert, wodurch die Aufstellung einer zweckmässigen Arbeitsvorschrift möglich wird.

Les auteurs se proposent d'améliorer la méthode de Schürmann et Blumenthal dans le sens d'un contrôle de l'influence de la diffusion par une agitation intense, ce qui augmente la spécificité et la reproductibilité des résultats. Les différents facteurs qui régissent la réaction de manière essentielle sont étudiés expérimentalement, et une méthode d'essai est suggérée, qui tient compte de leurs influences respectives.

1. Einleitung

Bei der Verzinnungsprüfung nach *Schürmann* und *Blumenthal* werden die verzinnten Kupferleiter mit einer ammoniakalischen Lösung von Ammoniumpersulfat behandelt, wobei sich von den blanken Stellen das Kupfer als tiefblauer Cupri-Amminkomplex auflöst und kolorimetrisch bestimmt werden kann. Da die Auflösegeschwindigkeit und damit die aufgelöste Menge Kupfer durch die Diffusion bedingt ist, welche einerseits die komplexen Kupferionen von der Metalloberfläche weg- und anderseits die lösenden Ionen an die Metalloberfläche heranführt, können nur brauchbare Resultate erwartet werden, wenn die Versuchsbedingungen so definiert sind, dass mit einer konstanten Diffusionsschicht gerechnet werden kann. Die bisherigen Vorschriften äussern sich nicht darüber, ob und wie stark der Draht, beziehungsweise die Flüssigkeit gerührt werden soll, so dass die Dicke der Diffusionsschicht durch die zufälligen lokalen Verhältnisse bedingt ist. Dies bewirkt, dass bei zu geringer Rührung die Auflösung infolge lokaler Übersättigung an Kupfersalz, beziehungsweise Verarmung an lösenden Ionen frühzeitig zum Stillstand kommt, wodurch die Unterschiede zwischen verschieden gut verzinkten Proben verwischt werden. Es erscheint daher zweckmässig, durch eine möglichst intensive Bewegung der Flüssigkeit gegenüber dem Metall dafür zu sorgen, dass keine lokalen Übersättigungen und Verarmungen auftreten, wodurch erreicht wird, dass die Auflösung als reiner Diffusionsvorgang mit konstanter Diffusionsschicht in Erscheinung tritt. Um die für die Auflösung bei intensiver Rührung massgebenden Einflüsse exakt zu erfassen, wurden vorerst in einer Reihe von Modellversuchen diejenigen Faktoren

systematisch variiert, welche für die praktische Prüfung ausschlaggebend sind.

2. Modellversuche

a) Einfluss der Zeit bei konstanter Kupferoberfläche

Diese Versuche wurden in einem Probeglas von 4 cm Durchmesser und 12 cm Höhe ausgeführt, in dem ein Flügelrührer von 3 cm Durchmesser mit rund 525 U./min rotierte. Zur Auflösung dienten 100 cm³ einer 2%igen Ammoniaklösung, zu welcher 1% Ammoniumpersulfat zugegeben wurde. Die Lösung wurde unmittelbar vor dem Versuch angesetzt. Das Kupfer wurde in Form eines Elektrolytkupferdrahtes von rund 50...150 mm² Oberfläche angewendet, welcher an einem Glashalter frei in der Lösung gehalten wurde. Vor dem Versuch wurde der Kupferdraht durch zweimaliges Einlegen in frisch destilliertes Chloroform gereinigt und während zwei Minuten mit einer frisch bereiteten ammoniakalischen Persulfatlösung vorgeätzt, um die gleiche Oberfläche zu erzeugen, wie sie nachher bei den Versuchen entsteht. Nach verschiedenen Zeiten wurde der Kupferdraht herausgenommen und die aufgelöste Menge Kupfer gravimetrisch bestimmt. Die Kurven (Fig. 1) zeigen die gemessenen Werte,

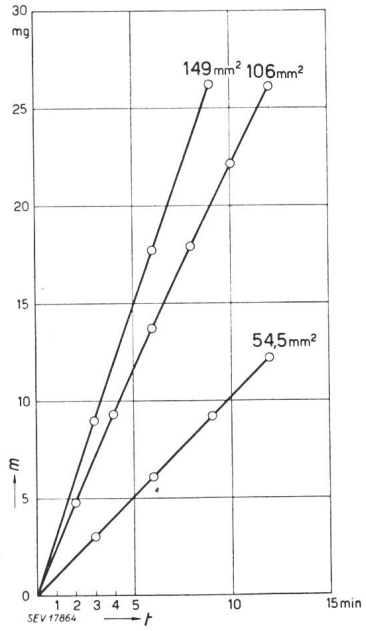

Fig. 1
Aufgelöstes Kupfer in Funktion der Zeit
m aufgelöste Kupfermenge

aus denen hervorgeht, dass die aufgelösten Kupfermengen, sofern nicht mehr als etwa 25 mg Kupfer pro 150 mm² Oberfläche aufgelöst wird, streng proportional der Zeit sind.

b) Einfluss der Oberfläche bei konstanter Zeit

Drähte von 20 mm und 2 mm Durchmesser, mit Oberflächen von 50...150 mm² wurden an einen Glasstab geklemmt und unter sonst gleichen Verhältnissen, wie unter *a* beschrieben, während 12 Minuten aufgelöst und gewogen. Die erhaltenen Werte für das aufgelöste Kupfer (Fig. 2) zeigen, dass dieses porportional der Oberfläche ist.

c) Einfluss der Rührgeschwindigkeit

Ein Kupferdraht von 74 mm² Oberfläche, der an einem Glasstab befestigt war, wurde während 12 Minuten mit verschiedenen Rührgeschwindigkeiten unter den Bedingungen der Versuche *a* und *b* aufgelöst. Es wurden die in Fig. 3 aufgetragenen Werte erhalten, aus denen hervorgeht, dass bei geringer

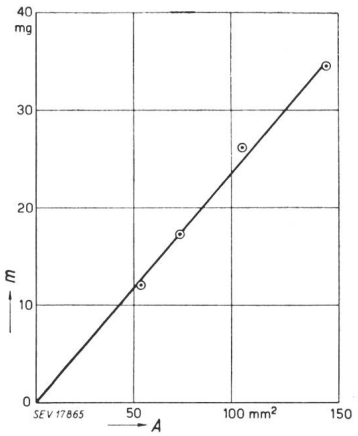

Fig. 2
Aufgelöstes Kupfer in Funktion der Oberfläche
m aufgelöste Kupfermenge
A Kupferoberfläche

Rührgeschwindigkeit die Auflösung durch die Rührung sehr stark beeinflusst wird. Dieser Einfluss wird geringer, je höher die Rührgeschwindigkeit ist, so dass bei höheren Rührgeschwindigkeiten praktisch konstante Diffusionsverhältnisse reproduziert werden können. Um konstante und gut reproduzierbare Diffusionsverhältnisse zu gewährleisten, wurde für die endgültigen Versuche die in Fig. 4 abgebildete Apparatur verwendet. Sie besteht aus einem Probeglas von 4 cm Durchmesser und 17 cm Höhe mit halbkugeligem Boden. Als Rührer dient ein

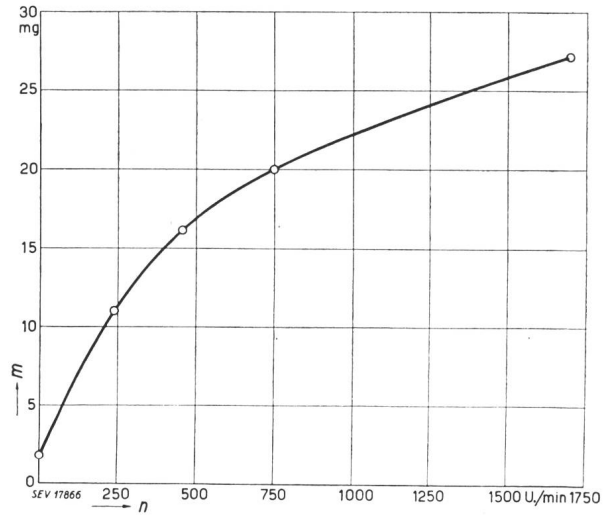

Fig. 3
Abhängigkeit der Auflösung von der Rührgeschwindigkeit
m aufgelöste Kupfermenge
n Rührgeschwindigkeit

Glasstab, auf den 4 Plexiglasscheiben von 3 cm Durchmesser warm aufgepresst sind. Die drei oberen Scheiben sind mit je 6 Löchern von 5 mm Durchmesser versehen, die unterste Scheibe weist entsprechende Ansenkungen auf, so dass die zu prü-

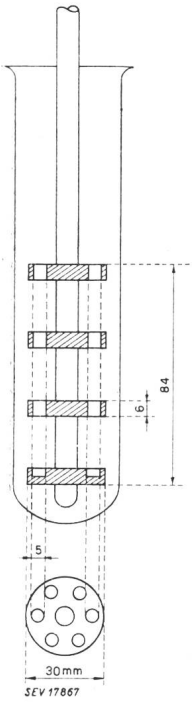

Fig. 4
Apparatur zur Prüfung verzinnter Kupferdrähte

fenden Drahtstücke in die Löcher des Rührers eingesteckt werden können und während des Versuches mit diesem rotieren.

d) Einfluss der Ammoniakkonzentration

Kupferdraht von 97 mm² Oberfläche wurde auf den Rührer aufgesteckt und während 5 Minuten bei einer Rührgeschwindigkeit von 1100 U./min aufgelöst. Bei sonst gleichen Verhältnissen wie unter *a* wurden bei verschiedenen Ammoniakkonzentrationen die in Tab. I zusammengestellten Mengen Kupfer aufgelöst.

Tabelle I

Gehalt an NH_3 %	Aufgelöstes Kupfer mg
1	17,3
2	16,5
4	16,2

Bei den untersuchten Konzentrationen, die bei der praktischen Prüfung angewendet werden, wird die Auflösungsgeschwindigkeit nicht merklich durch die Ammoniakkonzentration beeinflusst.

e) Einfluss der Persulfatkonzentration

Der entsprechende Versuch wurde ausgeführt unter Veränderung der Persulfatmenge und ergab

Tabelle II

Gehalt an Ammoniumpersulfat %	Aufgelöstes Kupfer mg
0,5	8,7
1,0	16,2
1,5	23,0

die in Tab. II zusammengestellten Werte, aus denen hervorgeht, dass die Auflösung im wesentlichen durch die Persulfatmenge bedingt ist; daraus folgt, dass die Konzentration an Persulfat sehr genau eingehalten werden muss.

f) Beständigkeit der Persulfatlösung

Lösungen von Persulfat sind nicht beständig und müssen unmittelbar vor dem Versuch frisch hergestellt werden. Während der Versuchszeit von rund 15 Minuten kann jedoch die Persulfatlösung als praktisch beständig angesehen werden. So wurde zum Beispiel bei Verwendung einer frisch hergestellten Ammoniak-Persulfatlösung unter gegebenen Bedingungen eine Kupfermenge von 15,5 mg aufgelöst; die gleiche Lösung löste nach 3stündigem Stehen unter gleichen Bedingungen noch 14,5 mg auf.

g) Einfluss des Zinnbelages

Da bei der praktischen Prüfung nicht reines Kupfer, sondern Kupfer, welches mit einem Zinnüberzug versehen ist, geprüft wird, wurde versucht, ob der Zinnbelag, allenfalls durch Bildung von Lokalelementen, die Reaktionsgeschwindigkeit oder den Reaktionsmechanismus verändert. Es wurden Kupferdrähte von rund 1,5 mm Durchmesser auf der ganzen Länge sehr stark mit reinem Zinn verzinnt. Auf der einen Hälfte des Drahtes wurde mit Salzsäure das Zinn wieder weggelöst, wobei die andere Hälfte durch einen Paraffinüberzug geschützt blieb. Nach Entfernen des Paraffins wurden mit den teilweise verzinnten Kupferdrähten die oben beschriebenen Auflöseversuche ausgeführt unter Variation von Zeit und Kupferoberfläche, indem vom blanken Teil jeweils mehr oder weniger abgeschnitten wurde. Es zeigte sich, dass die Verzinnung keinen merklichen Einfluss auf den Reaktionsverlauf ausübte und die am blanken Kupfer beobachtete Proportionalität zwischen Fläche, Zeit und aufgelöstem Kupfer bestehen bleibt.

h) Der Reaktionsmechanismus

Aus den Modellversuchen *a...g* geht hervor, dass die Auflösungsgeschwindigkeit des Kupfers in ammoniakalischer Persulfatlösung im wesentlichen bedingt ist durch die Rührgeschwindigkeit und die Persulfatmenge, und dass sie mit der Zeit und der Fläche praktisch proportional verläuft. Experimentell lassen sich Rührgeschwindigkeit und Persulfatkonzentration mit genügender Genauigkeit regeln, wodurch für die praktische Verzinnungsprüfung eine sichere Grundlage geschaffen werden kann. Dabei ist Voraussetzung, dass nur verhältnismässig geringe Mengen Kupfer aufgelöst werden, so dass merkliche Verarmung an Persulfat und merkliche Sättigung an komplexem Kupfersalz ver-

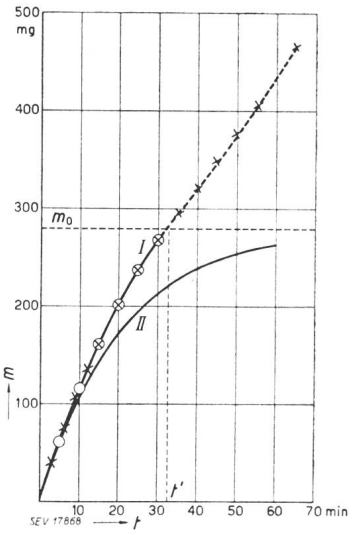

Fig. 5
Auflösung von Kupfer in Ammoniak-Persulfat

m aufgelöste Kupfermenge
O berechnete Werte
× gefundene Werte

mieden wird. Um festzustellen, ob für die praktischen Verzinnungsprüfungen diese Voraussetzungen zutreffen, wurden Auflösungskurven, wie sie zum Beispiel in Fig. 5 in Kurve *I* dargestellt sind, unter folgenden, teilweise bereits unter *a)* erwähnten Bedingungen aufgenommen: Kupferblech 612 mm²;

2%ige Ammoniaklösung, welche 1% Ammoniumpersulfat enthält; Flügelrührer von 3 cm Durchmesser; 600 U./min, wobei die Auflösung extrem lang weitergeführt wurde, was für die praktische Prüfung nicht zulässig ist.

Die Auflösung des Kupfers kann schematisch durch die folgenden Grundreaktionen dargestellt werden, die nebeneinander verlaufen:

$$Cu + O\,(S_2O_8'') + NH_3 \rightarrow [Cu\,(NH_3)_4]^{\cdot\cdot} \quad (1)$$

$$[Cu\,(NH_3)_4]^{\cdot\cdot} + Cu \rightarrow 2\,[Cu\,(NH_3)_2]^{\cdot} \quad (2)$$

$$Cu^{\cdot} + \frac{1}{2}\,O\,(S_2O_8'') \rightarrow Cu^{\cdot\cdot}$$

oder:

$$[Cu\,(NH_3)_2]^{\cdot} + \frac{1}{2}\,O\,(S_2O_8'') \rightarrow [Cu\,(NH_3)_4]^{\cdot\cdot} \quad (3)$$

Zur Vereinfachung wurde für den Cuprokomplex das Di-Ammin, für den Cuprikomplex das Tetrammin angenommen, obwohl es sich in Wirklichkeit um Gleichgewichte zwischen verschiedenen Komplexen handeln dürfte.

Unter den Annahmen, dass die Reaktion (3), solange Persulfat im Überschuss vorhanden ist, so rasch verläuft, dass sie für die Reaktionsgeschwindigkeit des Auflösevorganges nicht bestimmend ist, und dass der Einfluss des Luftsauerstoffes in Persulfatlösung zu vernachlässigen ist, kann die in Kurve *I* der Fig. 5 wiedergegebene Reaktion durch die Gleichung (4) dargestellt werden. Dabei soll nur der ausgezogene Kurvenast berücksichtigt werden, da bei hohen Konzentrationen an Kupfersalz der Reaktionsverlauf ein grundsätzlich anderer ist.

$$m_t = m_0 \frac{k_1}{k_1 - k_2} \left(1 - e^{-(k_1 - k_2)\,t}\right) \quad (4)$$

Dabei bedeuten die durch Kreuze bezeichneten Punkte in der Figur 5 experimentell bestimmte Werte, ferner

m_0 die zur Zeit 0 vorhandene gesamte Persulfatmenge, ausgedrückt in mg Kupfer;
m_t gelöstes Kupfer zur Zeit t in mg;
k_1 Geschwindigkeitskonstante der Reaktion (1);
k_2 Geschwindigkeitskonstante der Reaktion (2).

Aus dem durch die Einwaage an Persulfat gegebenen Wert $m_0 = 279$ mg Kupfer und dem der experimentell bestimmten Kurve entnommenen Wert $t' = 32{,}5$ min, für die Zeit, nach welcher die aufgelöste Kupfermenge der ursprünglich vorhandenen Persulfatmenge entspricht, wurden die Werte $k_1 = 0{,}0480$ und $k_2 = 0{,}0183$ berechnet. k_1 und k_2 sind Geschwindigkeitskonstanten der Diffusionsvorgänge und hängen im wesentlichen von den Rührverhältnissen und der Kupferoberfläche ab. Durch Einsetzen dieser Werte in Gleichung (4) werden die in Fig. 5 durch Kreise eingezeichneten Punkte erhalten, die auf der experimentell gefundenen Kurve liegen, so dass angenommen werden kann, dass die zur Aufstellung der Gleichung (4) gemachten Voraussetzungen zu Recht bestehen.

In Kurve *II* wurde aus den Daten $m_0 = 279$ mg und $k_1 = 0{,}0480$ die Zeitabhängigkeit der Kupferauflösung berechnet, unter der Annahme, dass die Reaktion (1) nur durch die Oxydationswirkung des Persulfates in Gang gehalten werde und dass die Reaktion (2) nicht stattfinden soll. Die Kurve berechnet sich aus der Gleichung

$$m = m_0 \left(1 - e^{-k_1 t}\right) \quad (5)$$

Wie ersichtlich, fallen die Kurven *I* und *II* bis zu Kupfermengen von rund 60 mg praktisch zusammen, das heisst, man darf den Auflösungsvorgang als einzig und allein durch die Persulfatmenge bedingt betrachten, solange das aufgelöste Kupfer nicht mehr als 20% des anfänglich vorhandenen totalen Persulfates entspricht. Ferner kann in diesem Gebiet die Kurve ohne Fehler als linear, die Auflösung also als proportional der Zeit angenommen werden.

Für die praktische Prüfung von Verzinnungen müssen die Arbeitsbedingungen so gewählt werden, dass im Gebiet der vollständigen Proportionalität gearbeitet wird, was durch die folgende Arbeitsvorschrift erreicht wird.

3. Arbeitsvorschrift für die Verzinnungsprüfung

Es werden verzinnte Drahtstücke von 20 bis 30 cm² gesamter Oberfläche verwendet. Die Drahtenden werden durch Verzinnen geschützt, wodurch gleichzeitig bei Litzendrähten die einzelnen Drähte zu einem oder mehreren Bündeln zusammengefasst werden. Die Drahtstücke werden durch zweimaliges Eintauchen in frisch destilliertes Chloroform entfettet und nach dem Trocknen in die Öffnungen des Rührers eingesteckt, der während des Versuches mit 1100 U./min rotiert.

Die ammoniakalische Persulfatlösung wird hergestellt, indem 26 cm³ konzentrierter Ammoniak (27%ig) auf 260 cm³ verdünnt wird; dann werden 2,6 g Ammoniumpersulfat zugegeben. 130 cm³ dieser Lösung werden sofort in das Probeglas gebracht und während 10 Minuten gerührt. Zur Bestimmung des gelösten Kupfers werden die nicht verwendeten 130 cm³ der Ammoniak-Persulfatlösung aus einer Mikrobürette tropfenweise mit Kupfersulfatlösung versetzt, bis die Lösung den gleichen Farbton aufweist wie die Probelösung. Die Kupfersulfatlösung enthält 30 mg Kupfer im cm³ und wird hergestellt durch Auflösen von 29,46 g $CuSO_4 \cdot 5\,H_2O$ in 250 cm³ Wasser. Die Mikrobürette ist in 0,01 cm³ geteilt. Sofern der Farbvergleich der beiden Lösungen, infolge ungeeigneter künstlicher Beleuchtung oder infolge ungenügender Farbempfindlichkeit des Beobachters, Schwierigkeiten bereitet, empfiehlt es sich, ein Kolorimeter, zum Beispiel das Pulfrichphotometer von Zeiss oder ein ähnliches Instrument, zu verwenden. Dies wird jedoch für die praktischen Prüfungen meist nicht erforderlich sein, da bei geringen Kupfergehalten der visuelle Vergleich sehr gut geht, während bei unbrauchbaren Verzinnungen mit grossen Kupfermengen die zah-

Versuchsergebnisse der Verzinnungsprüfung

Tabelle III

Versuch Nr.	Durchmesser mm	mg Cu / 20 cm² Oberfläche
1	1	ca. 680
2	0,2	110
3	1,12	60
		46
4	0,15	55
5	0,15	36
6	0,28	34
7	0,28	29
8	0,20	16
9	0,20	16
10	0,15	14
11	0,15	18
12	0,47	11
13	0,47	9,2
14	0,15	3,6
15	0,15	4,3
16	0,20	8,0
17	0,20	18
18	2,75	12
19	0,24	13
20	0,24	8
21	0,24	9
22	0,24	12
23	0,24	12
24	0,19	4
25	0,19	4
26	0,4	11
27	0,4	12
28	0,15	11
29	0,15	15
30	0,15	12
31	0,15	10
32	0,99	11
33	1,5	5

lenmässige Bewertung nicht mehr von grosser Bedeutung ist. Zudem liegt die grösste Fehlerquelle nicht in der Einzelbestimmung, sondern in der Inhomogenität des Drahtes in seiner Längsrichtung, was nur durch Probenahme an verschiedenen Stellen berücksichtigt werden kann. Die aufgelöste Menge Kupfer berechnet sich aus der verbrauchten Menge Kupfersulfatlösung und aus der verwendeten Drahtoberfläche und wird angegeben in *mg Kupfer pro 20 cm² Drahtoberfläche.*

4. Resultate

In der Tabelle III sind die Resultate von laufend ausgeführten Prüfungen angegeben, aus denen hervorgeht, dass für eine gute Verzinnung eine Kupfermenge von weniger als 20 mg Cu pro 20 cm² verzinnte Drahtoberfläche gefordert werden kann.

Bei Versuch Nr. 1 handelt es sich um blanken Kupferdraht; da sich in diesem Falle sehr viel Kupfer auflöst, mussten die Resultate aus einem Versuch mit kürzerer Dauer und kleinerer Oberfläche auf den Normalversuch umgerechnet werden. Versuche Nr. 32 und Nr. 33 wurden mit stark verzinntem Bindedraht ausgeführt.

Adressen der Autoren:

Dr. sc. techn. *M. Zürcher,* Ingenieur-Chemiker, Materialprüfanstalt des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.

J. Lüder, Ingenieur-Chemiker, Materialprüfanstalt des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Graphische Methode zur Bestimmung des resultierenden Widerstandes von mehreren parallelgeschalteten Widerständen

518.4:621.316.8.062.1

In der Praxis wird man hie und da vor die Aufgabe gestellt, den Widerstand einer Gruppe von 2 oder mehr verschieden grossen, parallel geschalteten Einzelwiderständen zu bestimmen. Die Lösung dieser Aufgabe kann rechnerisch, durch Messung oder auf graphischem Wege erfolgen.

Die Berechnung geschieht nach der bekannten Formel

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \cdots + \frac{1}{r_n}$$

woraus

$$R = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \cdots + \frac{1}{r_n}}$$

Diese Formel, so einfach sie auf den ersten Blick erscheint, ist doch oft recht unbequem, sobald man Zahlenwerte für die Einzelwiderstände einsetzt und mit der Ausrechnung beginnt. Dies ist selbst dann der Fall, wenn man die reziproken Werte der Einzelwiderstände r_1, r_2, r_3, $r_4 ... r_n$ Tabellen entnehmen kann. Die Ausrechnung wird vielfach zu lange dauern.

Die Bestimmung durch Messung wird nur ausnahmsweise möglich sein, sei es, dass die erforderlichen Instrumente nicht zur Verfügung stehen oder den Werten von r_1, r_2, r_3, $r_4 ... r_n$ entsprechende Messwiderstände fehlen.

Im folgenden sei darum eine graphische Lösung [1]) wiedergegeben, die der Schreibende in den Vorlesungen über Elektrotechnik am Technicum du Locle kennen lernte und die sich in der Praxis schon mehrfach als nützliches Hilfsmittel erwiesen hat.

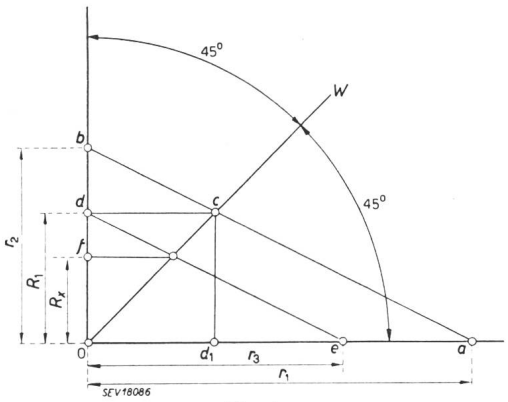

Fig. 1

Greifen wir direkt zu einem Beispiel, indem wir den Gesamtwiderstand R_x von 3 Erdplatten einer Blitzschutzanlage bestimmen, die gegenüber der Erde Widerstände von 30, 15 und 20 Ω haben. Wir tragen auf einem Schenkel eines

[1]) Auffallenderweise ist diese graphische Lösung in unsern Lehrbüchern nicht zu finden und auch sonst wenig bekannt.