

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 42 (1951)  
**Heft:** 8

**Artikel:** Essai d'étamage des conducteurs de cuivre étamés  
**Autor:** Zürcher, M. / Lüder, J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1056855>

#### 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:** 05.02.2026

**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 selbstständig 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.

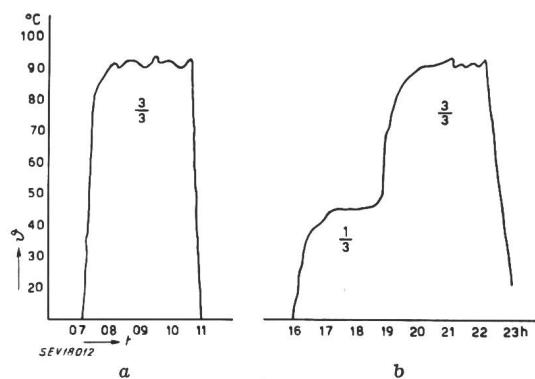


Fig. 7  
Oberflächentemperaturverlauf der Fussbankheizelemente  
a hinterste Bank im linken Schiff; b 4. Bank in Schiff-Mitte

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 Heiz-

körper 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 m<sup>3</sup> Rauminhalt beträgt 3,48 kWh. Die mittlere jährliche Gebrauchsduer 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 ausgenutzt werden können.

Abschliessend kann gesagt werden, dass die Ergebnisse der ersten Heizperiode den Beweis erbracht haben, dass die elektrische Fussbankheizung sowohl hinsichtlich Wirtschaftlichkeit wie Sauberkeit jeder anderen Kirchenheizungsart überlegen ist und zudem, da sie frei von Luftzugscheinungen 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.

## Essai d'étamage des conducteurs de cuivre étamés

Par M. Zürcher et J. Lüder, Zurich

621.315.51.0014

*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.*

*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.*

### 1. Introduction

D'après la méthode de Schürmann et Blumenthal concernant l'essai d'étamage des conducteurs de cuivre, ceux-ci sont plongés dans une solution ammoniacale de persulfate d'ammonium qui attaque le cuivre aux parties non étamées et le dissout sous forme de complexe cuprico-ammonique bleu dont le dosage peut se faire par colorimétrie. Comme la vitesse de dissolution du cuivre, donc la quantité de cuivre dissous, dépend de la diffusion soit des ions cupriques du métal vers la solution, soit des ions oxydants de la solution vers le métal, l'on ne peut s'attendre à des résultats concordants qu'en réalisant les conditions expérimentales nécessaires à l'obtention d'une couche de diffusion constante. La méthode d'essai utilisée jusqu'ici n'apporte aucune précision sur la nécessité d'agiter le liquide,

respectivement le métal, de sorte que l'épaisseur de la couche de diffusion varie au hasard de conditions locales parfaitement incontrôlables. Il résulte donc de l'absence d'agitation un arrêt prématuré de la réaction, par saturation locale en sels cupriques de la couche liquide voisine du métal, et par son appauvrissement en ions oxydants, d'où une diminution de la spécificité des résultats donnés par l'essai d'échantillons différents. Il semble par conséquent judicieux d'agiter vigoureusement la solution par rapport au métal, ceci afin d'éviter ces effets locaux de saturation et d'appauvrissement, et de rendre à la réaction son caractère propre de phénomène de diffusion à couche constante. Dans le but de mettre en évidence les différents facteurs qui interviennent essentiellement dans la réaction, une série d'essais ont été effectués en variant systématiquement les

conditions expérimentales de l'essai d'étamage pratique.

## 2. Essais

### a) Influence de la durée pour une surface de cuivre constante

Ces expériences ont été effectuées dans un verre à essai de 4 cm de diamètre et de 12 cm de hauteur, pourvu d'un agitateur à ailettes de 3 cm de diamètre tournant à la vitesse de 525 tours par minute. 100 cm<sup>3</sup> d'une solution fraîchement préparée de 2 % d'ammoniaque et de 1 % de persulfate d'ammonium ont été utilisés chaque fois pour l'attaque du cuivre. Ce dernier, sous la forme de fils de cuivre électrolytique de 50 à 150 mm<sup>2</sup> de surface suspendus dans la solution à un support de verre, était, avant chaque essai, dégraissé par double lavage au chloroforme fraîchement distillé, puis soumis pendant 2 minutes à une solution ammoniacale de persulfate de même teneur que la solution d'essai, ceci afin d'obtenir une surface équivalente à celle engendrée au cours de l'expérience. La quantité de cuivre dissous durant l'essai était suivie gravimétriquement. Il ressort des résultats, représentés graphiquement par la fig. 1,

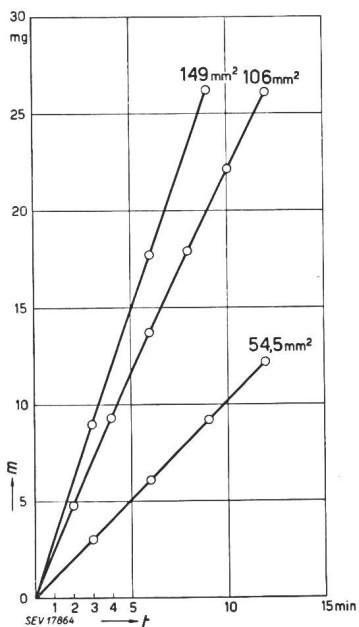


Fig. 1  
Cuivre dissous en fonction du temps  
 $m$  quantité de cuivre dissous

que la quantité de cuivre dissous est linéairement proportionnelle à la durée, ceci pour autant que cette quantité ne dépasse pas 25 mg pour 150 mm<sup>2</sup> de surface.

### b) Influence de la surface pour une durée constante

Des fils de cuivre de 20 mm de longueur et 2 mm de diamètre, ce qui correspond à des surfaces de 50 à 150 mm<sup>2</sup>, furent soumis pendant 12 minutes à l'action du persulfate, sous les conditions expérimentales indiquées plus haut. Les résultats, fig. 2, montrent la linéarité qui existe entre la surface et la quantité de cuivre dissous.

### c) Influence de l'agitation

Un fil de cuivre de 74 mm<sup>2</sup> de surface fut traité au persulfate pendant 12 minutes, avec des vitesses d'agitation différentes, sous les conditions expérimentales de a) et b). On peut conclure des résultats, fig. 3, que, lors d'une faible agitation, la vitesse de dissolution est fortement influencée par

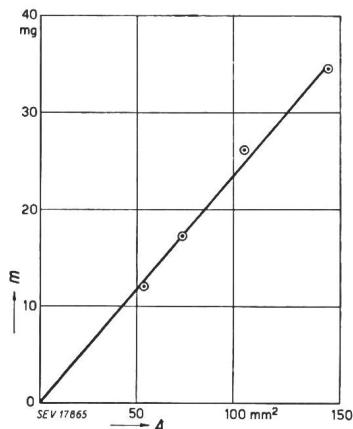


Fig. 2  
Cuivre dissous en fonction de la surface  
 $m$  quantité de cuivre dissous  
 $A$  surface du cuivre

l'agitation. Cette influence diminue avec l'augmentation de la vitesse d'agitation, de sorte que pour de grandes valeurs de cette dernière, il devient possible d'obtenir des effets de diffusion pratiquement constants et parfaitement reproductibles. C'est dans ce but précisément que les essais définitifs ont été effectués au moyen de l'appareil représenté par la fig. 4 et qui comprend un verre à essai à fond semi-sphérique de 4 cm de diamètre et de 17 cm de hauteur, muni, en fait d'agitateur, d'une baguette de

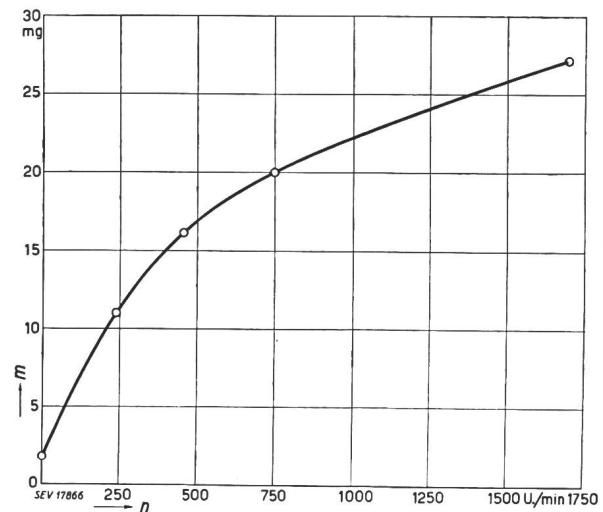
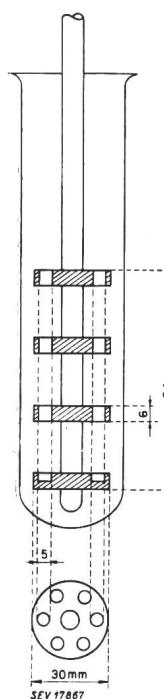


Fig. 3  
Dissolution en fonction de la vitesse d'agitation  
 $m$  quantité de cuivre dissous  
 $n$  vitesse d'agitation

verre sur laquelle ont été fixés à chaud 4 disques de plexiglas de 3 cm de diamètre. De ces disques, les trois supérieurs sont percés chacun de six ouvertures, tandis que le quatrième a 6 enfoncements correspondants. La disposition respective de ces



ouvertures est telle que les échantillons de fils à examiner peuvent y être introduits et tournent avec l'agitateur pendant l'essai.

#### d) Influence de la teneur en ammoniaque

Un échantillon de fil de cuivre de  $97 \text{ mm}^2$  de surface fut introduit sur l'agitateur et soumis à l'action du persulfate pendant 5 minutes à une vitesse de rotation de 1100 tours par minute. Les autres conditions expérimentales étant celles mentionnées sous a, il a été obtenu, pour des concentrations d'ammoniaque différentes, les quantités de cuivre indiquées au tableau I.

Fig. 4  
Appareil pour l'essai des conducteurs de cuivre étamés

Tableau I

Teneur en ammoniaque %	Cuivre dissous mg
1	17,3
2	16,5
4	16,2

Il s'ensuit que, pour les concentrations ci-dessus, dont le choix a été dicté par leur importance pratique, la vitesse de dissolution est sensiblement indépendante de la teneur en ammoniaque.

#### e) Influence de la teneur en persulfate

Un essai analogue effectué en variant la teneur en persulfate donna les résultats suivants :

Tableau II

Teneur en persulfate d'ammonium %	Cuivre dissous mg
0,5	8,7
1,0	16,2
1,5	23,0

La vitesse de dissolution est donc proportionnelle à la teneur en persulfate, ce qui rend évidente la nécessité de contrôler celle-ci le plus exactement possible.

#### f) Stabilité de la solution de persulfate

Les solutions de persulfate se décomposent facilement et doivent être préparées immédiatement avant chaque essai. On peut toutefois les considérer comme stables pendant un temps d'essai d'une quinzaine de minutes. C'est ainsi qu'une solution ammoniacale de persulfate fraîchement préparée dissolvait 15,5 mg de cuivre sous des conditions données, alors que cette même solution n'en dissolvait plus que 14,5 mg après 3 heures de vieillissement et sous les mêmes conditions.

#### g) Influence de la couche d'étain

Comme, en pratique, ce ne sont pas des échantillons de cuivre pur, mais de cuivre étamé que l'on soumet à l'attaque du persulfate, une série d'expériences ont été faites dans le but de mettre en évidence une influence éventuelle de la couche d'étain, par exemple par formation d'éléments locaux, sur la vitesse ou le mécanisme de la réaction. Pour cela, des fils de cuivre fortement étamés, d'environ 1,5 mm de diamètre, furent débarrassés de leur couche d'étain sur leur demi-longueur par traitement à l'acide chlorhydrique, l'autre tronçon étant protégé par une couche de paraffine, puis soumis, après éloignement de cette dernière, à l'action du persulfate sous les mêmes conditions que précédemment. Les essais effectués en variant soit la durée de réaction, soit la surface nue de ces fils, montrèrent que la couche d'étain n'exerce pas d'influence sensible sur le cours de la réaction, et que les proportionnalités mentionnées plus haut entre la durée, la surface et la quantité de cuivre dissous restent inchangées.

#### h) Mécanisme de la réaction

Il ressort des essais de a) à g) que la vitesse de dissolution du cuivre est essentiellement dépendante de la vitesse d'agitation et de la teneur en persulfate, et qu'elle est proportionnelle à la surface et à la durée. Vitesse d'agitation et concentration se laissent elles-mêmes définir avec suffisamment d'exactitude pour fournir des bases solides à l'essai d'étamage, à condition toutefois que les quantités de cuivre dissous soient relativement faibles, ceci afin d'éviter un appauvrissement notable en persulfate et une saturation appréciable en complexe cuprique de la solution d'essai. Dans le but de déterminer jusqu'à quel point ces conditions sont réalisées dans l'essai d'étamage pratique, des courbes de dissolution, telle la courbe I, fig. 5, ont été prises sous les conditions expérimentales suivantes, en partie déjà énoncées sous a: lame de cuivre de  $612 \text{ mm}^2$ , solution de 2 % d'ammoniaque contenant

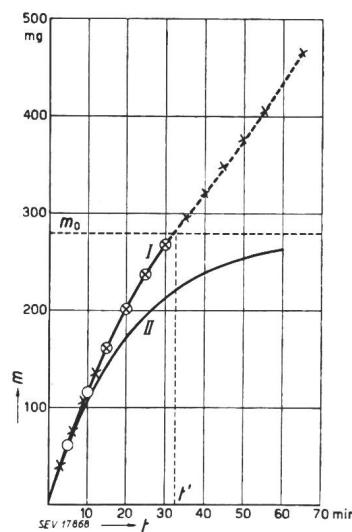


Fig. 5

Dissolution du cuivre en solution ammoniacale de persulfate

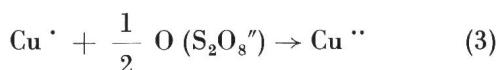
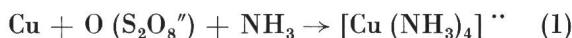
m quantité de cuivre dissous

○ valeurs calculées

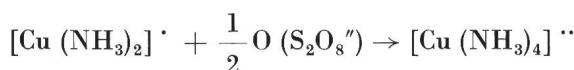
× valeurs expérimentales

1 % de persulfate d'ammonium, agitateur à ailettes de 3 cm de diamètre, tournant à 600 tours par minute. L'expérience elle-même fut poussée à l'extrême, soit bien au delà des limites de validité de l'essai pratique d'étamage.

Du point de vue chimique, la dissolution du cuivre peut être représentée schématiquement par les réactions partielles suivantes, qui ont lieu simultanément:



ou



Pour simplifier, le complexe cuivreux a été représenté sous sa forme diammonique, et le complexe cuprique sous sa forme tétrammonique, bien qu'il s'agisse en réalité d'équilibres entre différents complexes ammoniques.

Si l'on admet que, pour autant qu'il y ait un excès de persulfate, la réaction (3) est rapide et ne détermine pas la vitesse de dissolution, et que, d'autre part, la concentration de l'oxygène de l'air dans la solution est négligeable par rapport à celle du persulfate, le cours de la réaction dans le temps, représenté par la courbe I de la fig. 5, peut être rendu par l'équation (4), dont la validité est limitée au tronçon de courbe dessiné par un trait continu, tronçon au delà duquel le mécanisme de la réaction est essentiellement différent.

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

où

$m_0$  = quantité de persulfate au temps  $t = 0$ , exprimée en mg de cuivre;

$m_t$  = quantité de cuivre dissous au temps  $t$ , en mg;

$k_1$  = constante de vitesse de la réaction (1);

$k_2$  = constante de vitesse de la réaction (2).

A partir des valeurs  $m_0 = 279$  mg Cu,  $t' = 32,5$  min données l'une par la pesée initiale du persulfate et l'autre par le point de la courbe où la quantité de cuivre dissous est égale à la quantité initiale de persulfate, on trouve pour  $k_1$  et  $k_2$  les valeurs:

$$k_1 = 0,0480$$

$$k_2 = 0,0183$$

$k_1$  et  $k_2$  sont les constantes de vitesse des phénomènes de diffusion correspondants et dépendent essentiellement de la vitesse d'agitation et de la surface du cuivre.

En introduisant ces valeurs dans l'équation (4), l'on obtient une série de points (cercles) qui tombent exactement sur la courbe expérimentale (croix), ce

qui justifie les différentes hypothèses de départ énoncées plus haut.

La courbe II de la fig. 5 a été calculée à partir de l'équation

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

et des valeurs  $m_0 = 279$  mg Cu,  $k_1 = 0,0480$  à supposé que la dissolution du cuivre soit uniquement causée par l'action oxydante du persulfate sur ce dernier, selon la réaction (1), et que la réaction (2) n'ait pas lieu.

Ainsi que le montre la fig. 5, les courbes I et II sont pratiquement confondues jusqu'à environ 60 mg de cuivre, autrement dit l'on peut considérer le phénomène de dissolution comme uniquement causé par l'action du persulfate, ceci pour autant que la quantité de cuivre dissous ne dépasse pas 20 % de la quantité initiale de persulfate. De plus, le long de cette même portion de courbe, la proportionnalité entre le temps et la quantité dissoute est pratiquement linéaire.

Les conditions expérimentales de l'essai d'étamage doivent être choisies de telle sorte que l'on reste dans les limites de la proportionnalité linéaire, ce dont est tenu compte dans la méthode d'essai suivante.

### 3. Méthode de l'essai d'étamage

Les tronçons de fil utilisés, d'une surface totale de 20 à 30 cm<sup>2</sup>, sont préalablement étamés aux sections vives, soit séparément, soit réunis en un ou plusieurs faisceaux s'il s'agit de torons, puis dégraissés par double lavage au chloroforme distillé. Après séchage, les bouts de fil ainsi préparés sont introduits dans les ouvertures de l'agitateur, dont la vitesse de rotation, pendant l'essai, est de 1100 tours par minute. 130 cm<sup>3</sup> d'une solution ammoniacale de persulfate, fraîchement préparée par dilution à 260 cm<sup>3</sup> de 26 cm<sup>3</sup> d'ammoniaque concentrée (teneur en NH<sub>3</sub>: 27 %) et addition de 2,6 g de persulfate d'ammonium, sont alors introduits dans le verre à essai. Après 10 minutes d'agitation, la quantité de cuivre dissous est déterminée en ajoutant goutte à goutte, au moyen d'une microburette, une solution titrée de sulfate de cuivre aux 130 cm<sup>3</sup> non utilisés de la solution ammoniacale de persulfate, jusqu'à ce que cette dernière atteigne la même coloration que la solution d'essai. La solution titrée contient 30 mg de cuivre par cm<sup>3</sup>, et se prépare en dissolvant 29,46 g CuSO<sub>4</sub> · 5 H<sub>2</sub>O dans 250 cm<sup>3</sup> d'eau. La microburette est divisée en 0,01 cm<sup>3</sup>. Au cas où la colorimétrie visuelle offrirait certaines difficultés, soit du fait d'un éclairage mal adapté, soit par suite d'une insuffisante sensibilité aux couleurs de l'observateur, un colorimètre, tel que le photomètre gradué de Pulfrich (Zeiss) ou autre instrument de ce genre, peut être utilisé avec succès. Dans la plupart des cas, toutefois, un tel instrument n'est pas nécessaire, car, pour de faibles teneurs en cuivre, la comparaison visuelle est aisée, alors que, pour de hautes teneurs, correspondant à un étamage insuffisant, la détermination exacte des quan-

Tableau III

N°	Diamètre mm	mg Cu / 20 cm <sup>2</sup> de surface
1	1	env. 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

tités dissoutes perd toute son importance. Il faut ajouter à cela que la plus grande source d'erreur réside non pas dans la détermination elle-même, mais dans l'inhomogénéité superficielle des fils dans le sens de leur longueur, ce dont on peut tenir compte par des prises d'échantillons sur différents tronçons. La quantité de cuivre dissous se calcule à partir de la quantité de sulfate de cuivre utilisée et de la surface des échantillons, et est donnée en mg de cuivre par 20 cm<sup>2</sup> de surface.

#### 4. Résultats

Les résultats (tableau III) sont ceux d'essais couramment effectués dans ce laboratoire. Leur comparaison permet d'exiger, pour un bon étamage, une quantité de cuivre dissous de moins de 20 mg Cu par 20 cm<sup>2</sup> de surface étamée de l'échantillon.

La valeur indiquée sous le n° 1 a été calculée en extrapolant aux conditions normales de temps et de surface le résultat d'un essai effectué sur un échantillon de cuivre non étamé de surface réduite, et pendant un temps limité. Les résultats 32 et 33 ont été obtenus d'échantillons de fil fortement étamé

#### Adresses des auteurs:

M. Ziircher, Dr ès sc. techn., ingénieur-chimiste, Station d'essai des matériaux de l'ASE, 301, Seefeldstrasse, Zurich 8.

J. Lüder, Station d'essai des matériaux, 301, Seefeldstrasse, Zurich 8.

## Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

### Graphische Methode zur Bestimmung des resultierenden Widerstandes von mehreren parallel geschalteten 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 verschiedenen 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

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

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

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  $r_1, r_2, r_3, r_4 \dots r_n$  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  $r_1, r_2, r_3, r_4 \dots r_n$  entsprechende Messwiderstände fehlen.

Im folgenden sei darum eine graphische Lösung<sup>1)</sup> 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.

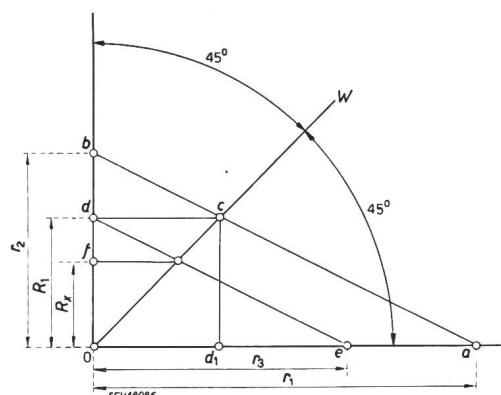


Fig. 1

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

<sup>1)</sup> Auffallenderweise ist diese graphische Lösung in unseren Lehrbüchern nicht zu finden und auch sonst wenig bekannt.