

**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

**Herausgeber:** Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

**Band:** 52 (1974)

**Heft:** 11

**Artikel:** Erdnetze aus verzinktem Kupferband [Schluss] = Réseaux de mise à terre en rubans de cuivre zingué [fin]

**Autor:** Brunold, Armin

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-874782>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 25.04.2025

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

# Erdnetze aus verzinktem Kupferband (Schluss)<sup>1</sup>

## Réseaux de mise à terre en rubans de cuivre zingué (fin)<sup>1</sup>

Armin BRUNOLD, Bern

621.316.99.620.193.7;620.197,67:669.586.5

Zusammenfassung. Grössere Erdnetze haben sich immer wieder als gefährliche Korrosionsverursacher an erdverlegten Leitungen aus unedleren Metallen (Wasserleitungen, Bleimantelkabel usw.) erwiesen. Diese nachteilige Eigenschaft des Kupfers ist auf das hohe Gleichgewichtspotential im Kontakt mit der Bodenfeuchtigkeit zurückzuführen. Durch Verzinken der blanken Kupferoberfläche soll nun bezweckt werden, die grossen Potentialdifferenzen zwischen Kupfererdern und mitverbundenen Leitungen auszugleichen. Weil man bisher keine Veranlassung hatte, das an sich korrosionsbeständige Kupfer zu verzinken, mussten wir das Verhalten von Kupfer in der Zinkschmelze zuerst untersuchen, bevor ein praktisches Verfahren zur Verzinkung von Kupfererdern entwickelt werden konnte. Die dazu durchgeführten Untersuchungen und Betriebsversuche werden besprochen.

Résumé. Les grands réseaux de terre se sont toujours révélés être de dangereux générateurs de la corrosion de conduites en métaux moins nobles enterrées (conduites d'eau, câbles sous gaine de plomb, etc.). Cette propriété préjudiciable du cuivre est due au potentiel d'équilibre élevé au contact de l'humidité du sol. En zinguant la surface nue du cuivre, on vise à compenser les grandes différences de potentiel entre les dispositifs de mise à la terre en cuivre et les lignes qui y sont reliées. Etant donné que, jusqu'ici, il n'y avait pas de raison de zinguer le cuivre en soi résistant à la corrosion, il a fallu tout d'abord étudier son comportement dans le bain de zinc fondu, avant de pouvoir mettre au point une méthode pratique de zingage du ruban de terre en cuivre. Les analyses faites à ce sujet et les essais en service sont exposés dans le présent article.

### Reti di messa a terra di nastri di rame zincato

Riassunto. Reti di messa a terra di una certa importanza si sono rivelate a più riprese quali pericolose fonti di corrosione alle linee posate sotto terra provviste di manti di metallo meno pregiato (condutture d'acqua, guaine di piombo di cavi). Questa qualità negativa del rame a contatto con l'umidità del suolo è dovuta a un alto potenziale dello stato di equilibrio. La zincatura della superficie nuda del rame ha lo scopo di compensare la grande differenza di potenziale tra le messe a terra di rame e le condutture che vi sono allacciate. Siccome finora non v'era motivo di zincare il rame, molto resistente alla corrosione, si dovette anzitutto analizzare il comportamento del rame nel zinco fuso, prima di poter sviluppare un procedimento di zincatura dei nastri di rame. Si discutono gli esami compiuti e le prove d'esercizio eseguite.

### 3. Fabrikationsversuche

#### 3.1 Applikationsbedingungen und Beschreibung des Verfahrens

Nachdem wir das Verhalten von Kupfer im Zinkbad aufgrund der Laboruntersuchungen kennen, lassen sich auch die wichtigsten Applikationsbedingungen für die Verzinkung von Kupferband festlegen. Massgebend sind dazu folgende Ergebnisse der Laborversuche:

- Kupfer wird in flüssigem Zink sehr rasch oberflächlich aufgelöst, wobei gleichzeitig verschiedene Legierungsschichten aufwachsen, ohne dass dadurch der Lösungsvorgang wesentlich gehemmt wird.
  - Die Legierungsschichten bauen sich im Zinkbad in wenigen Sekunden auf, ohne bei längeren Reaktionszeiten weiter anzuwachsen.
  - Das Stärkenverhältnis der einzelnen Legierungszonen bleibt - von der Tauchzeit und der Badtemperatur weitgehend unabhängig - stets etwa dasselbe
- |                            |             |
|----------------------------|-------------|
| «anliegende Schicht»       | < 1... 3 µm |
| «weisse Legierungsschicht» | 10...20 µm  |
| «Zwischenschicht»          | 5... 8 µm   |
| «Reinzinkschicht»          | 15...25 µm  |
| Gesamtschichtdicke         | 30...60 µm  |
- Das gelöste Kupfer reichert sich im flüssigen Zink bis zu einem Gehalt von etwa 2% an, wobei eine feste Legierungsphase auskristallisiert, die sich am Boden des Zinkbades absetzt (ähnlich der Hartzinkbildung bei der Eisenverzinkung).
  - Kupfermengen von weniger als 0,7% beeinflussen die Eisen-Zink-Reaktion nicht, sofern Tauchzeiten von weniger als 8 min eingehalten werden. Dagegen treten schon

<sup>1</sup> Der erste Teil erschien in den Techn. Mitt. PTT Nr. 10, S. 361...373

### 3. Essais de fabrication

#### 3.1 Conditions d'application et description du procédé

Maintenant que le comportement du cuivre dans le bain de zinc est connu, à la suite des essais de laboratoire, il est possible de déterminer les conditions d'application les plus importantes pour le zingage des rubans de cuivre. Les résultats suivants des essais sont déterminants:

- le cuivre plongé dans le zinc liquide est très rapidement dissous en surface et différentes couches d'alliages se forment, sans que le processus de dissolution soit notablement ralenti
  - les couches d'alliages se forment dans le bain de zinc en quelques secondes, et ne continuent pas à croître pour des temps de réaction plus longs
  - l'épaisseur des différentes zones d'alliage reste pratiquement toujours la même et ne dépend que très peu de la durée d'immersion et de la température du bain. Les valeurs suivantes ont été relevées
- |                            |            |
|----------------------------|------------|
| «couche en contact direct» | <1... 3 µm |
| «couche d'alliage blanche» | 10...20 µm |
| «couche intermédiaire»     | 5... 8 µm  |
| «couche de zinc pur»       | 15...25 µm |
| épaisseur totale           | 30...60 µm |
- le bain de zinc s'enrichit jusqu'à une limite d'environ 2%; ensuite une phase solide d'alliage cristallise et se dépose au fond du bac (de façon analogue à la formation de zinc dur lors du traitement de pièces en fer)
  - des quantités de cuivre inférieures à 0,7% dans le bain n'influencent pas la réaction fer-zinc, en tant que les durées d'immersion peuvent être maintenues en dessous

<sup>1</sup> Première partie voir Bulletin technique PTT n° 10, p. 361...373

bei kurzen Tauchzeiten erhebliche Störungen der Eisen-Zink-Legierungsbildung auf, wenn der Kupfergehalt der Zinkschmelze 1% oder mehr ausmacht.

Aus diesen Ergebnissen lassen sich nachstehende verfahrenstechnische Forderungen ableiten:

- Es ist mit möglichst kurzen Verweilzeiten des Kupfers in der Zinkschmelze zu arbeiten (Tauchzeit maximal 1 min).
- Die Zinkbadtemperatur soll möglichst niedrig gehalten werden (430...460° C).
- Die Kupferanreicherung im flüssigen Zink muss überwacht werden, um eine Störung der Eisenverzinkung zu vermeiden.

Neben diesen aus dem Verhalten von Kupfer in flüssigem Zink abgeleiteten Forderungen muss berücksichtigt werden, dass ein der üblichen Eisenbandverzinkung möglichst angeglichenes Verfahren zu wählen ist, damit keine kostspieligen Spezialeinrichtungen gebaut werden müssen.

Nachdem sich eine für Bandverzinkung eingerichtete Verzinkerei bereit erklärt hatte, Betriebsversuche mit Kupferband durchzuführen, verzinkten wir im April 1971 eine erste Länge von 100 m. Der Versuch fiel erfolgversprechend aus, so dass wir es wagen durften, einen weiteren Versuch grösseren Ausmasses vorzusehen. Im Oktober 1971 bot sich dazu Gelegenheit, weil für die Mehrzweckanlage Sarnen ein ausgedehntes Antennenerdnetz ausgelegt werden musste. Die aggressiven Bodenverhältnisse zwangen zur Wahl von Kupfer als Erdermaterial. Für das Netzwerk benötigte man insgesamt 5000 m Erdband aus Kupfer mit einem Querschnitt von 25×2 mm. Etwas später waren ausserdem 5000 m Erdband aus Kupfer mit einem Querschnitt von 40×3 mm für die Zentralschweizerischen Kraftwerke zu verzinken. Im November 1971 konnten wir deshalb bei der Ausführung dieses Verzinkungsauftrags weitere Beobachtungen anstellen und auswerten.

Für alle diese Betriebsversuche benutzten wir die vorhandene Eisenbandverzinkungsanlage. Bei dieser wird das Eisenband am Rande eines 4,5 m langen und 2,5 m breiten Zinkbades in etwa 50 cm Tiefe durch die Zinkschmelze gezogen. Gleichzeitig kann das Bad von der gegenüberliegenden Längsseite her für die Stückverzinkung benutzt werden. Um zu vermeiden, dass der ganze Badinhalt von etwa 100 t Zink durch gelöstes Kupfer verseucht wird, liessen wir bei unsern Versuchen das Kupferband zum vorneherein nicht wie bei der Eisenbandverzinkung direkt in das Bad eintauchen, sondern stellten einen schmalen Stahlblechkasten in die Zinkschmelze des grossen Bades und füllten diesen Behälter mit etwa 450 kg flüssigen Zinks, durch welches das Kupferband dann gezogen werden konnte.

In *Figur 23* haben wir die Anlage skizziert, die wie folgt beschrieben werden kann:

Die Windungen der angelieferten Kupferringe werden gelockert und auf die Vorrichtung A gesetzt. Von diesem Drehtisch wird das Band abgewickelt, taucht im 5 m langen Beiztrog B in etwa 20%ige Salzsäure, durchfährt auf einer Strecke von 2 m den Flussmitteltrog C, so dass auf der noch säurefeuchten Bandoberfläche Ammoniumchloridpulver kleben bleibt. Dann taucht das Kupferband in den mit flüssigem Zink gefüllten Stahlbehälter D, der indirekt durch die Zinkschmelze des Zinkessels E beheizt wird, verlässt die Zinkwanne über die Umlenkrolle F und wird nach einer Kühlstrecke von 12 m mit der elektrisch angetriebenen Wickelmaschine G zu Ringen aufgewickelt. Die Durchlaufgeschwindigkeit des Bandes kann vom Antrieb her reguliert werden.

de 8 minutes. En revanche, des perturbations importantes dans la formation de l'alliage fer-zinc apparaissent pour des temps d'immersion courts, dès que la teneur en cuivre du bain atteint ou dépasse 1%.

Ces résultats permettent de fixer les exigences suivantes quant au procédé de zingage:

- les temps d'immersion dans le bain de zinc doivent être aussi courts que possible (au maximum 1 min)
- la température du bain doit être maintenue aussi basse que possible (430...460° C)
- l'augmentation de la teneur de cuivre dans le bain de zinc doit être contrôlée, afin d'éviter des perturbations lors du zingage du fer.

En plus de ces conditions, déterminées en fonction du comportement du cuivre dans le zinc liquide, il y a lieu de rechercher, pour le traitement des rubans en cuivre, une méthode analogue à celle qui est employée pour le zingage du fer, en vue d'éviter la mise en place de coûteux dispositifs spéciaux.

Une zinguerie équipée pour le traitement de rubans ayant accepté de participer à des essais d'exploitation, nous avons pu traiter une première longueur de 100 m en avril 1971. L'essai étant prometteur, il fut décidé de le poursuivre sur une plus grande échelle. L'occasion se présenta en octobre 1971, vu qu'un réseau étendu de mise à terre d'antenne devait être mis en place pour l'installation à usages multiples de Sarnen. La nature agressive du sol imposa le choix du cuivre en tant que matériau de mise à terre. 5000 m de ruban, d'une section de 25×2 mm furent utilisés. Un peu plus tard, 5000 m de ruban de mise à terre en cuivre, de 40×3 mm, devaient être zingués pour le compte des Entreprises électriques de Suisse centrale. Il nous fut donc possible, en novembre 1971, de faire d'autres observations au cours de ce travail et d'en tirer certaines conclusions.

Nous avons utilisé pour les essais l'installation de traitement existante, dans laquelle les rubans de fer sont tirés à travers le bain de zinc, à une profondeur d'environ 50 cm, sur le côté longitudinal d'un bac de 4,5 m de long et 2,5 m de large. La partie opposée du bac est réservée au zingage de pièces isolées. Afin d'éviter que l'ensemble du bain de 100 t de zinc ne soit pollué par du cuivre en solution, nous n'avons pas tiré le ruban de cuivre directement dans le bac, comme cela se fait normalement pour les rubans en fer. Nous avons placé un récipient en tôle d'acier dans le bain principal et l'avons rempli avec environ 450 kg de zinc en fusion. Les rubans de cuivre étaient ensuite tirés à travers ce dispositif.

La *figure 23* représente une esquisse de l'installation décrite ci-après:

Les anneaux des torches de cuivre livrées sont décollés les uns des autres et placés sur le tambour A. La bande déroulée est plongée tout d'abord dans un bac de décapage B de 5 m de long, contenant une solution d'acide chlorhydrique à 20%. Elle traverse ensuite, sur une longueur de 2 m, le bac C, contenant le fondant une couche de chlorure d'ammonium en poudre se dépose sur la surface de la bande encore humide d'acide chlorhydrique. Le ruban est alors plongé dans le récipient D contenant le zinc en fusion, maintenu indirectement à la température voulue par le bain principal du bac E. Il quitte le dispositif de zingage pour être conduit, par le biais d'un rouleau de guidage F, au système de refroidissement, de 12 m de long, et au tambour d'enroulement G mù électriquement. La vi-

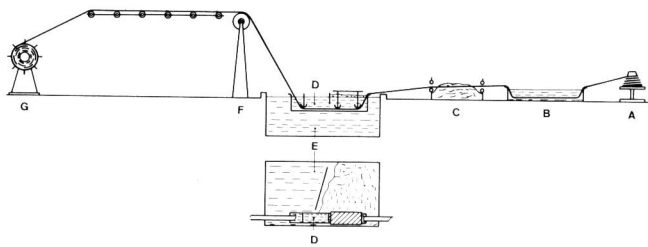


Fig. 23  
Bandverzinkungsanlage, wie sie während unseren Betriebsversuchen benutzt wurde – Installation de zingage utilisée pendant les essais d'exploitation

- A Drehbare Abwickelvorrichtung – Tambour de déroulement
- B Beiztrog mit 20%iger Salzsäure – Bac de décapage avec solution d'acide chlorhydrique à 20%
- C Kasten mit pulverisiertem Ammoniumchlorid als Flussmittel – Récipient contenant du chlorure d'ammonium en tant que fondant
- D Mit 400...700 kg flüssigem Zink gefüllter Stahlbehälter – Bac en acier contenant 400...700 kg de zinc liquide
- E Zinkbad, in dem während der Kupferbandverzinkung Eisenteile im Handtauchverfahren (Stückverzinkung) verzinkt werden. Inhalt rund 100 t Zink – Bain de zinc dans lequel des pièces de fer sont zinguées manuellement pendant le traitement des rubans de cuivre. Contenu 100 t de zinc environ
- F Umlenkrolle – Rouleau de guidage
- G Ringwickelmaschine mit Antriebmotor – Dispositif d'enroulement en torche avec moteur d'entraînement

### 3.2 Praktische Probleme der Kupferbandverzinkung

Um die mit Hilfe der Laboruntersuchungen gefundenen günstigsten Applikationsbedingungen zur Kupferverzinkung in die Praxis umzusetzen, waren einige Betriebsversuche notwendig. Dabei hatten wir zusammen mit den Fachleuten des Versuchsbetriebes noch einige Schwierigkeiten zu überwinden, bis es schliesslich gelang, mit der zur Verfügung stehenden Eisenbandverzinkungsanlage auch Kupferbänder befriedigend zu verzinken. Die wichtigsten dabei aufgetretenen Probleme sollen im folgenden besprochen werden.

#### 3.2.1 Zinkbadtemperatur

Aufgrund der Laborversuche wissen wir, dass Kupfer bei möglichst niedriger Temperatur der Schmelze verzinkt werden muss, damit die Kupferanreicherung im Zink gering bleibt und eine starke Auflage erstarrten Zinks erreicht wird. In der Praxis muss das Kupferband jedoch bei der für die Eisenverzinkung üblichen Temperatur verzinkt werden, weil man neben dem Kupferband im gleichen Bad auch Eisenkonstruktionen verarbeiten will. Solange die normale Verzinkungstemperatur von  $455^{\circ}\text{C}$  nicht überschritten wird, ist ein Parallelbetrieb der Kupfer- und Eisenverzinkung ohne nachteilige Wirkung für das eine oder andere Verzinkungsgut möglich. Wird aber die Badtemperatur um etwa  $20^{\circ}\text{C}$  erhöht, wie dies im Laufe eines unserer Versuche geschah, so nimmt die in Lösung gehende Kupfermenge beträchtlich zu. Während wir die ersten 5000 m Kupferband mit einer Gesamtoberfläche von  $270\text{ m}^2$  bei  $455^{\circ}\text{C}$  verzinkten, sind total 8 kg Kupfer aufgelöst worden. Beim zweiten Versuch verzinkten wir 5000 m Kupferband grösseren Querschnitts. Die Temperatur war jedoch auf  $470^{\circ}\text{C}$  eingestellt, weil zu diesem Zeitpunkt spezielle Eisenkonstruktionen, die eine höhere Verzinkungstemperatur erforderten, im gleichen Bad getaucht wurden. Wir konnten dann ein rascheres Ansteigen des Kupfergehaltes in der Zinkschmelze beobachten, so dass bei gleicher Fläche verzinkten Materials etwa die 2fache Menge Kupfer in Lösung gegangen ist. Die Stückverzinkung ist darum derart zu konzipieren, dass nur Material getaucht wird, das keine erhöhte Badtemperatur erfordert, solange nebenher Kupferband durch die gleiche Zinkschmelze läuft.

tesse de passage dans le bain peut être réglée par le dispositif d'entraînement du tambour d'enroulement.

### 3.2 Problèmes pratiques touchant le zingage des rubans en cuivre

Quelques essais en exploitation furent nécessaires pour permettre la mise en pratique des conditions d'application requises pour le zingage du cuivre, telles qu'elles avaient été déterminées par les essais de laboratoire. Quelques difficultés durent être surmontées en collaboration avec les spécialistes de la zinguerie participant aux travaux, avant qu'il devînt possible de traiter de façon satisfaisante les rubans de cuivre avec l'installation de zingage des rubans en fer. Les problèmes les plus importants à résoudre furent les suivants.

#### 3.2.1 Température du bain de zinc

Les essais de laboratoire ont démontré que le cuivre devait être traité à une température aussi basse que possible, afin que la pollution du bain en cuivre reste dans des limites acceptables et pour obtenir une forte couche de zinc solidifié. En pratique, les rubans de cuivre doivent être traités aux températures couramment utilisées pour le fer, vu que des pièces de fer sont immergées simultanément dans le même bain. En tant que la température normale de  $455^{\circ}\text{C}$  n'est pas dépassée, le zingage en parallèle de rubans de cuivre et de pièces de fer ne présente aucun inconvénient pour l'un ou l'autre des matériaux. Si, en revanche, la température du bain est élevée d'environ  $20^{\circ}\text{C}$ , comme cela se produisit au cours des essais, la quantité de cuivre passant en solution dans le bain augmente notablement. Ainsi, au premier essai, lors du zingage à  $455^{\circ}\text{C}$  de 5000 m de ruban de cuivre, correspondant à une surface de  $270\text{ m}^2$ , la quantité de cuivre dissoute dans le bain fut de 8 kg au total. Le second essai portait sur le traitement de 5000 m de ruban de cuivre de section plus grande. La température du bain fut fixée à  $470^{\circ}\text{C}$ , vu que des constructions de fer exigeant une température d'application plus élevée étaient immergées en même temps. Une augmentation plus rapide de la teneur en cuivre du bain de zinc put être observée, à tel point qu'à surface égale de matériel traité, elle avait doublé par rapport au premier essai. Il est donc indispensable de concevoir le zingage de pièces isolées de façon que seuls des échantillons n'exigeant pas une température plus élevée du bain soient traités pendant le zingage de rubans de cuivre.

#### 3.2.2 Temps d'immersion

Après quelques secondes de réaction déjà, les couches d'alliage sont entièrement développées et une prolongation du temps d'immersion ne permet pas d'en améliorer la qualité. D'autre part, l'attaque du cuivre croît linéairement avec la durée du traitement. Il s'ensuit que les rubans de cuivre ne devraient pas rester plus d'une minute en contact avec le zinc en fusion. La vitesse de travail de l'installation utilisée pour les essais est normalement de 3 m/min. Des vitesses de déroulement supérieures se révélèrent défavorables, vu que l'exploitation ne pouvait plus être surveillée par un seul homme.

Le temps d'immersion ne dépend pas seulement de la vitesse de déroulement, la longueur du bac de traitement joue également un rôle. Lors du premier essai, le ruban était plongé sur une longueur de 1 m dans le zinc en fusion, ce qui correspondait à un temps de contact favorable de 20 s. Quelques centaines de mètres de ruban purent être

### 3.2.2 Tauchzeit

Weil schon nach wenigen Sekunden Reaktionsdauer die Verzinkungsschichten vollständig entwickelt sind und längere Tauchzeiten die Zinkauflage nicht verbessern, der Kupferangriff aber mit der Verweilzeit linear ansteigt, sollte Kupfer nicht länger als etwa 1 min mit dem flüssigen Zink in Berührung bleiben. An der Bandverzinkungsanlage des Versuchsbetriebs wird gewöhnlich mit einer Geschwindigkeit von 3 m/min gearbeitet. Höhere Geschwindigkeiten erwiesen sich beim Verzinken von Kupferband als ungünstig, weil sich der Berieb dann nicht mehr von einem einzigen Mann überwachen liess.

Die Tauchzeit ist ausser von der Laufgeschwindigkeit auch von der Tauchstrecke abhängig. Beim ersten Versuch führten wir das Band darum auf einer Strecke von 1 m durch die Zinkschmelze, so dass sich eine günstige Verweilzeit von 20 s ergab. Nachdem wir auf diese Weise einige 100 m Kupferband fehlerfrei verzinken konnten, beobachteten wir, dass in zunehmendem Masse Flussmittel an der auftauchenden Bandoberfläche hängen blieb. Diese Erscheinung führten wir auf die sich auf dem Zinkspiegel ansammelnde Flussmittelschmelze zurück, die vom durchfahrenden Band vermehrt mitgerissen wurde und schliesslich innerhalb der kurzen Verweilzeit im flüssigen Zink nicht mehr völlig abzukochen vermochte. Eine Verlängerung der Tauchstrecke auf 2 m brachte dann tatsächlich ein deutliches Abklinken dieses Effektes; jedoch erst nachdem wir die Tauchstrecke auf 3 m verlängert hatten, gelang es, das Einbrennen von mitgerissenen Flussmittelrückständen weitgehend zu verhindern. Es musste dadurch allerdings eine Tauchzeit von 1 min in Kauf genommen werden.

### 3.2.3 Störung der Eisenverzinkung durch die Kupferanreicherung im Zinkbad

Selbstverständlich können wir von keiner Verzinkerei erwarten, dass sie sich bereit erklärt, Kupfer zu verzinken, solange man befürchtet, die Zinkbäder würden durch die Kupferanreicherung verseucht, bis schliesslich kein Eisen mehr verzinkbar wäre. Wir haben deshalb bei unseren Betriebsversuchen die mit dem Kupfer in Berührung stehende Menge flüssigen Zinks zum vorneherein vom übrigen Badinhalt abgetrennt. Die dazu längs des Zinkbades eingehängten Stahlkästen dimensionierten wir zuerst so klein als möglich, um nur geringe Zinkmengen mit Kupfer zu «verseuchen». Wie unter 3.2.2 beschrieben, mussten wir aber die Behälter vergrössern, so dass schliesslich eine Stahlwanne von 700 kg Zinkinhalt bei einer Länge von 4 m, einer Breite von 10 cm und einer Einfülltiefe von 25 cm benutzt wurde.

An dieser Stelle müssen wir auf einen Fehler aufmerksam machen, der während der Betriebsversuche zu Störungen führte. Es muss nämlich unbedingt darauf geachtet werden, dass zwischen dem Zinkspiegel des grossen Bades und jenem in der Stahlwanne kein Niveauunterschied entsteht. Weil der Inhalt des für die Kupferbandverzinkung eingehängten Stahlbehälters nur indirekt durch die Zinkschmelze des grossen Zinkessels beheizt wird, kühlt sich die Zinkoberfläche in der Stahlwanne bis zum Erstarrungspunkt ab, wenn das Niveau der äusseren Zinkschmelze zu stark absinkt. Es ist darum notwendig, dass die mit der Stückverzinkung beschäftigte Mannschaft die parallellaufende Kupferbandverzinkung nicht völlig ausser acht lässt.

Man kann sich nun fragen, ob eine Abtrennung der mit dem Kupfer in Kontakt stehenden Zinkschmelze vom übrigen

trahiert de cette façon sans défauts, jusqu'au moment où l'on devait constater qu'une quantité toujours plus importante de fondant restait fixé à la surface du ruban sortant du bain. Cet effet fut attribué à la couche de fondant liquide toujours plus importante se formant à la surface du bain de zinc. Les quantités de fondant toujours plus grandes entraînés par le ruban en mouvement ne pouvaient plus être éliminées normalement pendant l'immersion. Une prolongation de la longueur du bac à 2 m devait conduire à une amélioration de la qualité du zingage. Mais ce n'est toutefois qu'après avoir porté à 3 m la longueur du récipient contenant le zinc en fusion qu'il devint possible d'éviter dans une large mesure la cuisson de particules de fondant restées sur le ruban. Il fallut cependant prendre en considération une durée d'immersion d'une minute.

### 3.2.3 Perturbations du zingage du fer dues à l'enrichissement en cuivre du bain de zinc

On ne peut évidemment attendre d'aucune zinguerie qu'elle accepte de traiter du cuivre aussi longtemps que la «pollution» des bains de zinc par le cuivre, jusqu'à les rendre inutilisables pour le traitement d'objets en fer, est à craindre. C'est pourquoi, lors de nos essais d'exploitation, nous avons, dès le début, séparé du reste du bain le zinc liquide en contact avec le cuivre. Les dimensions des récipients en tôle d'acier immergés dans le bac principal furent tout d'abord réduites au minimum, afin de ne soumettre qu'une quantité de zinc aussi faible que possible à l'influence du cuivre. Cependant, comme indiqué sous 3.2.2, ces récipients durent être agrandis jusqu'à l'obtention d'un bac de 4 m de long, 10 cm de large et 25 cm de profondeur de remplissage. Leur contenance est de 700 kg de zinc.

Il y a lieu d'attirer ici l'attention sur une erreur qui conduisit à des perturbations au cours des essais. Il est absolument indispensable de veiller à ce qu'aucune différence ne puisse apparaître entre le niveau du zinc en fusion dans le récipient d'acier et celui dans le bac principal. En effet, le zinc contenu dans le récipient en acier n'étant qu'indirectement chauffé par le métal en fusion dans le bac principal, la surface du zinc dans le récipient en acier peut se refroidir jusqu'à solidification si le niveau à l'extérieur de ce dernier baisse trop fortement. C'est pourquoi il est nécessaire que l'équipe occupée au zingage de pièces isolées ne quitte pas totalement des yeux le zingage du ruban de cuivre se déroulant en parallèle.

Il y a également lieu de se demander s'il est absolument nécessaire de séparer du reste de la masse en fusion le bain de zinc en contact avec le cuivre. Nos investigations ont montré qu'une concentration jusqu'à 0,7% de cuivre dans le bain de zinc ne perturbait pas la réaction fer-zinc, en tant que les temps d'immersion pouvaient être maintenus inférieurs à 8 minutes. Lors des essais d'exploitation, 10 km de ruban de cuivre ont été zingués, représentant un poids de 7300 kg. Les mesures effectuées ont permis de déterminer qu'environ 30 kg de cuivre avaient passé dans le bain de zinc. Rapportée au contenu global du bac, cette valeur correspond à une concentration de 0,03%.

En tant que seuls quelques kilomètres de ruban de cuivre doivent être zingués occasionnellement, une zinguerie disposant de suffisamment de bains importants pourra traiter le cuivre comme les autres pièces. Si, en

Inhalt des Zinkbades wirklich notwendig ist. Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Kupfergehalt bis zu 0,7% der Zinkschmelze die Eisen-Zinkreaktion nicht stört, sofern normale Tauchzeiten von weniger als 8 min eingehalten werden. Bei unseren Betriebsversuchen verzinkten wir insgesamt 10 km Kupferband mit einem Gewicht von 7300 kg. Dabei sind nach unseren Messungen total etwa 30 kg Kupfer in die Zinkschmelze gelangt. Auf den vollen Badinhalt von 100 t Zink verteilt, hätte dies zu einem Kupfergehalt der Zinkschmelze von 0,03% geführt.

Sofern demnach nur gelegentlich einige Kilometer Kupferband verzinkt werden müssen, kann ein Verzinkereibetrieb, der über genügend grosse Zinkbäder verfügt, das Kupfer ohne weiteres wie das übrige Verzinkungsgut behandeln. Sollte die Nachfrage nach verzinktem Kupfererdband jedoch derart ansteigen, dass der Anfall an gelöstem Kupfer in den Verzinkereien ein kritisches Ausmass annimmt, so müssten den jeweiligen Verhältnissen entsprechende Schutzmassnahmen getroffen werden.

#### 4. Ausblick

Die beschriebenen Untersuchungen haben gezeigt, dass Kupferbänder in grossem Massstab verzinkt werden können, sofern gewisse Applikationsbedingungen eingehalten werden.

Sicher ist auch, dass Erdnetze aus verzinktem Kupferband gegenüber mitverbundenen, erdverlegten Leitungen sich korrosionstechnisch günstiger verhalten als blanke Kupferkonstruktionen.

Mittlerweile laufen zudem Feldversuche, über die später berichtet werden soll. Vorwegnehmend kann aber gesagt werden, dass die Versuchsergebnisse bis anhin den theoretischen Erwartungen entsprechen. Unter anderem wurde das Verhalten von verzinktem Kupferband im Vergleich zu andern Erdermaterialien in Zusammenarbeit mit dem Schweizerischen Elektrotechnischen Verein (SEV) untersucht (Versuchsfelder Einsiedeln und Sulgen). Die PTT-Betriebe haben inzwischen bereits zwei grössere Antennenanlagen mit verzinktem Kupferband geerdet. Diese Anlagen werden von uns periodisch kontrolliert, um zu erfahren, ob die Verzinkung auf Jahre hinaus wirksam bleibt.

Unabhängig von den technischen Vorteilen, die verzinkte Kupferbänder als Erdermaterial mit sich bringen, muss indessen in jedem Einzelfall geprüft werden, ob ihre Verwendung auch wirtschaftlich zu verantworten ist.

revanche, la demande en rubans de cuivre zingué devait augmenter de telle façon que les proportions de cuivre dissous dans les bains de zinc risquent de prendre des valeurs critiques, il y aurait lieu d'avoir recours aux méthodes de protection adaptées aux conditions rencontrées dans chaque cas.

#### 4. Perspectives

Les essais décrits ont montré que le zingage de grandes quantités de cuivre pouvait être réalisé, en tant que certaines conditions d'application soient respectées.

Il est également certain que les réseaux de mise à terre en rubans de cuivre zingué se comportent mieux que ceux en cuivre nu, du point de vue de la corrosion, à l'égard d'autres constructions métalliques enfouies dans le sol qui pourraient entrer en leur contact.

Actuellement, des essais en campagne sont en cours, sur lesquels nous reviendrons ultérieurement. Relevons, cependant, que les résultats obtenus correspondent à ce que la théorie laissait prévoir. Le comportement de rubans de cuivre zingué, comparé à celui d'autres matériaux de mise à terre a été examiné entre autres, en collaboration avec l'Association suisse des électriciens (ASE) dans les installations d'Einsiedeln et de Sulgen. Pour sa part, l'Entreprise des PTT a mis deux installations d'antennes importantes à terre à l'aide de rubans de cuivre zingué. Ces installations sont contrôlées périodiquement, afin de déterminer si l'effet du zingage subsiste pendant de nombreuses années.

Indépendamment des avantages techniques que peut apporter l'utilisation de rubans de cuivre zingué dans les réseaux de mise à terre, il y a lieu d'examiner, dans chaque cas particulier, si le recours à cette méthode se justifie sur le plan économique.

#### Bibliographie

- [1] *Vögtli K.* Betoneisen, eine immer häufigere Korrosionsursache. Bern, Techn. Mitt. PTT 51 (1973) Nr. 11, S. 502-519.
- [2] *Jänecke E.* Handbuch aller Legierungen. Berlin, Verlag Kiepert (1940), S. 207-218.
- [3] *Brunold A.* Untersuchungen der Feuerverzinkung an Kabelschutzseisen. Bern, Techn. Mitt. PTT 49 (1971) Nr. 3, S. 107-134.
- [4] *Maas P.* und *Peissker P.* Handbuch Feuerverzinken. Leipzig, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie (1970), S. 126.
- [5] *Nell E.* Der Einfluss eines geringen Kupfergehaltes im Zinkbad. Vortrag anlässlich 9. Internationaler Verzinkertagung, Düsseldorf, 7.-12.6.70.