

Brand der Telephonzentrale Zürich-Hottingen : chemische Probleme = Problèmes chimiques en relation avec l'incendie du central téléphonique de Zurich-Hottingen

Autor(en): **Wüthrich, Marc**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **48 (1970)**

Heft 12

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-876083>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Brand der Telephonzentrale Zürich-Hottingen – Chemische Probleme

Problèmes chimiques en relation avec l'incendie du central téléphonique de Zurich-Hottingen

Max WÜTHRICH, Bern

614.84:621.395.7
620.193.46.131:621.395.7

Zusammenfassung. Der Einfluss der beim Brand von PVC-isolierten Kabeln und Drähten entstandenen Salzsäure auf das Gebäude und die Einrichtungen der Telephonzentrale Hottingen wurde untersucht. Die chemische Analyse der Baumaterialien zeigte, dass die tragenden Stahlelemente nicht beschädigt wurden und das Gebäude durch Verputz- und Malerarbeiten wieder instandgestellt werden kann. Korrosionsversuche mit verschiedenen Apparateilen der Zentraleneinrichtungen zeigten, dass die wichtigsten Teile nur unwesentlich korrodierten. Es konnte daher eine günstige Prognose für die Funktionstüchtigkeit der Zentrale gestellt werden. Weitere Betrachtungen führten zum Schluss, dass es gegenwärtig nicht sinnvoll ist, das bewährte, preisgünstige PVC durch andere schwer- oder nichtbrennbare Isolierstoffe zu ersetzen.

Résumé. L'influence de l'acide chlorhydrique produit lors de la combustion de fils et câbles isolés au CPV, tant sur le bâtiment que sur les équipements techniques du central de Zurich-Hottingen, est examinée. L'analyse chimique d'échantillons a démontré que l'armature métallique du bâtiment n'avait pas souffert et que celui-ci pourrait être remis en état par la rénovation des crépis et peintures. Des essais de corrosion de différentes parties d'appareils ont prouvé que les éléments importants étaient peu endommagés. Cela a permis d'établir un pronostic optimiste quant aux possibilités de fonctionnement du central téléphonique. D'autres considérations ont conduit au résultat qu'il n'était actuellement pas intéressant de remplacer les isolants au CPV, économiques et éprouvés, par des matériaux incombustibles ou brûlant difficilement.

Problemi chimici in relazione all'incendio della centrale telefonica di Zurigo-Hottingen

Riassunto. È stata esaminata l'influenza dell'acido cloridrico, prodottosi durante la combustione dei fili e dei cavi isolati al CPV, sull'edificio e sugli equipaggiamenti della centrale di Zurigo-Hottingen. Dall'analisi chimica dei materiali di costruzione è risultato che le armature d'acciaio non hanno subito danni e che l'edificio può essere riattato con lavori d'intonaco e di tinteggiatura. Prove di corrosione, eseguite su alcune parti delle apparecchiature, hanno dimostrato che gli elementi più importanti avevano subito solo corrosioni insignificanti. Questo ha permesso di stabilire un pronostico favorevole sulle possibilità di funzionamento della centrale telefonica. Da ulteriori considerazioni si deduce che attualmente sarebbe sconsigliabile di sostituire il CPV, che è economico e ha finora dato buoni risultati, con altre materie isolanti incombustibili o difficilmente infiammabili.

1. Einleitung

Am 22. Februar 1969 wurde ein Teil der Telephonzentrale Zürich-Hottingen durch Brandstiftung zerstört. Für die Wiederinstandstellungsarbeiten waren eine Anzahl chemische Probleme zu bewältigen, da beim Verbrennen der PVC-Isolation der Verteilerdrähte sowie der Kabeladern und des PVC-Mantels der Zentralenkabel grössere Mengen Salzsäure entstanden waren. Nebst den eigentlichen Brandschäden kam es deshalb auch an Orten, wo das Feuer keinen Zugang hatte, durch die freigewordene Säure zu Korrosionserscheinungen an Zentraleneinrichtungen und am Gebäude selbst. Über das Ausmass dieser Säureschäden gingen die Ansichten der beteiligten Dienststellen auseinander. Man wusste nämlich nicht, in welchem Masse versteckte Schäden am Gebäude und an den Apparaturen entstanden waren, deren Folgen sich möglicherweise erst nach Wochen oder Monaten zeigen würden. Es wurde sogar die Meinung geäußert, das Gebäude müsse abgerissen werden, da der Beton und vor allem die tragenden Eisenarmierungen ohnehin schwer säuregeschädigt seien. Bei diesem Sachverhalt drängte es sich auf, das wirkliche Ausmass der Schäden festzustellen. Das chemische Laboratorium der Abteilung Forschung und Versuche PTT übernahm es deshalb, die Korrosionsschäden zu ermitteln und anhand eingehender chemischer Untersuchungen die Eindringtiefe der Salzsäure in Bauteile, Apparate und in das Mauerwerk abzuklären.

2. Brennbarkeit und Salzsäureabspaltung von Polyvinylchlorid

Polyvinylchlorid (PVC) ist einer der wichtigsten und am vielseitigsten eingesetzten synthetischen Thermoplaste. Es

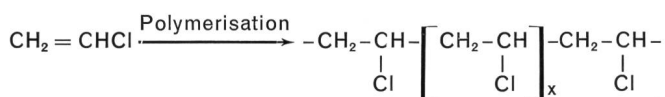
1. Introduction

Le 22 février 1969, le central téléphonique de Zurich-Hottingen fut partiellement détruit par un incendie criminel. Lors des travaux de remise en état, il fallut résoudre un certain nombre de problèmes chimiques, la combustion de l'isolation en chlorure de polyvinyle (CPV) des conducteurs de câbles et fils de renvoi ayant conduit à la formation de grandes quantités d'acide chlorhydrique. C'est ainsi que certaines parties du bâtiment ou des installations techniques qui n'avaient pas été touchées par le feu ont subi des dégâts dus à la corrosion. Les divers services intéressés étaient d'opinion différente quant à l'importance des dommages. Il était impossible de savoir dans quelle mesure le bâtiment et les équipements techniques avaient subi des dommages, pour l'heure invisibles, mais dont les effets pourraient se manifester après des semaines, voire des mois. L'idée fut même émise qu'il serait nécessaire de démolir l'immeuble abritant le central téléphonique, le béton et l'armature métallique ayant été trop fortement attaqués par la corrosion. Etant donné cette situation, il devint nécessaire de définir l'importance réelle des dégâts. Le laboratoire de chimie de la division des recherches et des essais eut donc à déterminer les effets de la corrosion et, sur la base d'essais chimiques poussés, le degré de pénétration de l'acide chlorhydrique dans les appareils et les murs du bâtiment.

2. Degré de combustibilité du chlorure de polyvinyle et importance de la production d'acide chlorhydrique lors de la combustion

Le chlorure de polyvinyle (CPV) est l'un des thermoplastiques synthétiques les plus importants et les plus répandus.

wird aus dem gasförmigen Vinylchlorid durch Polymerisation unter Druck hergestellt:

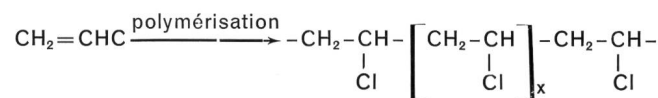


PVC ist ein weisses, bis schwach gelbliches, geschmack- und geruchloses Produkt, das nicht oder nur schwer brennt, wenig Wasser aufnimmt und gute elektrische Eigenschaften besitzt. Nachteilig wirken sich die mässige Lichtstabilität und die geringe Wärmebeständigkeit (Erweichungstemperatur 75–80° C) aus. Es zersetzt sich oberhalb 100° C unter Salzsäureabspaltung und verkohlt bei noch höherer Temperatur. Um diese Vorgänge zu verzögern, setzt man dem PVC Stabilisatoren zu. Die Zerstörung durch Sonnenlicht hemmt man durch UV-Absorber.

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen Hart-PVC und Weich-PVC. Hart-PVC enthält keinen Weichmacher und in der Regel keine Füllstoffe. Durch Zusatz von Weichmachern erlangt es indessen andere mechanische Eigenschaften und verwandelt sich dadurch in Weich-PVC. Als Weichmacher werden häufig Phthalsäureester, wie z. B. Dioctylphthalat, verwendet. Weich-PVC, wie es für Draht- und Kabelisolationen verwendet wird, enthält durchschnittlich 35% Weichmacher. Durch das Beimischen von Weichmachern, die meist selbst brennbar sind, wird die Entflammbarkeit von PVC wieder erhöht. Für die in unseren Zentralen verwendeten Ader- und Kabelisolationen aus PVC kann auf Grund von Versuchen gesagt werden, dass sie zwar in einer fremden Flamme brennen, beim Wegnehmen der Flamme aber von selbst verlöschen. Dies hat sich auch beim Brand der Telephonzentrale Hottingen bestätigt, indem die PVC-isolierten Kabel den Brand vom Hauptverteilterraum nicht in andere Räume weitergeleitet haben.

Der Chlorgehalt von reinem (Hart-)PVC beträgt 56%, ist also gewichtsmässig sehr hoch. Das für Kabelisolationen verwendete Weich-PVC enthält trotz des hohen Weichmachergehaltes immer noch 36% Chlor. Aus 1 kg Weich-PVC entstehen bei vollständiger Verbrennung 370 g Salzsäuregas (HCl). Wenn man damit eine gesättigte, wässrige Lösung herstellte, so würde diese 975 g wiegen und einen HCl-Gehalt von 38% aufweisen. *1 kg vermag somit bei vollständiger thermischer Zersetzung rund 1 kg konzentrierte Salzsäure (38%ig) zu erzeugen.* Es steht nun fest, dass sich das HCl-Gas bei einem Brand im Löschwasser oder in der auf Apparateilen oder auf dem Mauerwerk niedergeschlagenen Feuchtigkeit löst und dadurch starke Salzsäure bildet, die die gefürchteten Korrosionsangriffe auslöst. Es ist daher einleuchtend, dass bei einem Brand, bei dem grössenordnungsgemäss einige hundert kg PVC verbrennen, die entstehende Menge Salzsäure einen beträchtlichen

Il est obtenu par la polymérisation sous pression du chlorure de vinyle sous forme gazeuse:



Le CPV est un produit insipide et inodore de couleur blanc pâle, qui ne se consume pas ou que très difficilement, qui n'absorbe que peu d'eau et dont les propriétés électriques sont bonnes.

Il présente l'inconvénient d'être sensible à la lumière et de ne pas résister à la chaleur (température de ramollissement 75–80° C). Il se décompose, avec production d'acide chlorhydrique, au-dessus de 100° C et se carbonise pour des températures plus élevées. Des agents stabilisateurs sont incorporés au CPV pour ralentir ces processus. La destruction par la lumière solaire est également freinée à l'aide d'éléments absorbant les rayons ultra-violetes.

Il faut distinguer en principe deux genres de thermoplastiques, le CPV dur et le CPV mou. Le CPV dur ne contient aucun plastifiant et, en règle générale, pas de matériaux de remplissage. L'adjonction de plastifiants a pour effet de modifier les propriétés mécaniques du CPV dur, qui se transforme en CPV mou. Les plastifiants le plus souvent utilisés sont des esters phtaliques, par exemple le phtalate de dioctyle. Le CPV mou tel qu'il est utilisé pour l'isolation des fils et câbles contient environ 35% de plastifiant. L'adjonction de plastifiant, lui-même combustible, augmente l'inflammabilité du CPV. Les essais effectués ont démontré que le CPV utilisé pour l'isolation des fils et câbles rencontrés dans les centraux téléphoniques brûlait quand il était placé dans une flamme, mais s'éteignait de lui-même lorsque cette flamme était supprimée. Cela a du reste été confirmé lors de l'incendie de Hottingen, le sinistre se développant dans le local du distributeur principal n'ayant pu se propager dans d'autres locaux par l'intermédiaire des câbles isolés au CPV.

La teneur en chlore du CPV pur (dur) est de 56%, ce qui en valeur pondérée est un chiffre élevé. La teneur en chlore du CPV mou est encore, malgré la présence de plastifiant, de 36%. La combustion complète de 1 kg de CPV mou engendre la formation de 370 g d'acide chlorhydrique sous forme gazeuse. Le poids d'une solution aqueuse saturée obtenue à l'aide de ce gaz serait de 975 g et sa teneur en acide chlorhydrique de 38%. En d'autres termes, *la décomposition thermique complète de 1 kg de CPV donne lieu à l'apparition d'environ 1 kg d'acide chlorhydrique concentré titrant 38%.* Il est connu que le gaz chlorhydrique se dégageant lors d'un incendie se dissout dans l'eau utilisée pour l'extinction ou dans l'humidité qui se dépose sur les appareils ou les murs. Il se forme alors de l'acide chlorhydrique concentré qui provoque les effets de corrosion déjà mention-

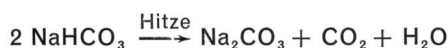
Schaden anrichten muss, selbst wenn der grösste Teil des Salzsäuregases ins Freie entweicht. Zum Glück ist durch rasches Lüften der Räume ein Teil des HCl-Gases ins Freie abgeleitet und dadurch ein noch grösserer Schaden verhindert worden.

Neben der Salzsäure entstand als Verbrennungsprodukt von PVC hauptsächlich Russ, der durch die kleinsten Öffnungen in die Apparate eindrang und zu unangenehmen Verschmutzungen führte.

3. Lösch- und Neutralisationswirkung von Löschpulver

Bei den Löscharbeiten in der brennenden Zentrale wurde von der Feuerwehr im 1. Stock bei den Wählergestellen auch Löschpulver eingesetzt. Nach Aussagen des Chefs der Brandwache Zürich fiel jedoch das Pulver grösstenteils wirkungslos zu Boden. Es musste zuletzt doch mit Wasser gelöscht werden. Wir wurden nun angefragt, ob nicht gerade bei PVC-Bränden Löschstaub eingesetzt werden sollte, da dieser möglicherweise in der Lage wäre, die entstehende Salzsäure zu neutralisieren und gleichzeitig das Feuer zu löschen.

Beim Löschpulver, wie es im vorliegenden Fall angewandt wurde, handelt es sich zu ca. 95% um Natriumbicarbonat. Daneben ist noch eine wasserunlösliche Metallseife beige-mischt, die das Zusammenbacken des Pulvers verhindern und dadurch seine Rieselfähigkeit bewahren soll. Beim Einsatz (Zerstäuben mit Kohlendioxid) findet unter dem Einfluss der Brandhitze folgender Vorgang statt:

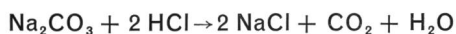


Das freiwerdende Kohlendioxid und der Wasserdampf wirken durch Verdrängung der Sauerstoffzufuhr löschend auf den Brand. Zurück bleibt Natriumcarbonat (Na_2CO_3 , Soda).

Mit Salzsäuregas entstehen nun folgende Reaktionen:



oder auch



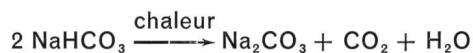
Die Salzsäure ergibt also zusätzlich Kohlendioxid, das die Löschwirkung noch verstärkt. Daneben entsteht aber das höchst unerwünschte Natriumchlorid, mit seinen in feuchtem Milieu sehr stark auf Metallteile einwirkenden, korrosionsfördernden Eigenschaften. Nur dort, wo trockenes Löschpulver auf den Einrichtungen zurückgeblieben war, fanden wir keine Korrosionen. Zu betonen ist schliesslich, dass das Löschpulver nur wirkt, wenn es Gelegenheit hat, an den brennenden Stellen liegenzubleiben. Wenn es nur durch die Flammen rieselt und zur Hauptsache auf den

nés. Il est donc clair que lors d'un incendie pendant lequel quelques centaines de kilogrammes de CPV se sont consumés, la quantité d'acide chlorhydrique dégagée entraîne des dégâts importants même si la plus grande partie du gaz peut s'échapper à l'extérieur. Par bonheur, lors de l'incendie de Hottingen, les locaux ont été rapidement aérés, des dommages plus importants ont pu être évités. En plus de l'acide chlorhydrique, le produit de la combustion du CPV était constitué principalement par de la suie, qui en pénétrant par les plus petites ouvertures dans les appareils, en a provoqué l'encrassement, avec toutes les conséquences désagréables que cela peut avoir.

3. Effets d'extinction et de neutralisation des poudres d'extinction

Au premier étage, dans la salle des sélecteurs, le service du feu combattit l'incendie à l'aide de poudre d'extinction. Selon les indications du chef des pompiers, la plus grande partie de celle-ci tombait sans effet sur le sol. Il fallut donc se résoudre à utiliser de l'eau. La question nous a été posée de savoir si, lors de feux de CPV, il ne serait pas justifié d'utiliser de la poudre comme moyen d'extinction, celle-ci pouvant éventuellement neutraliser l'acide chlorhydrique produit en même temps que permettre la lutte contre l'incendie.

La poudre d'extinction, telle qu'elle fut utilisée dans le cas qui nous préoccupe, est composée, pour 95% environ, de bicarbonate de sodium. On y ajoute un savon insoluble dans l'eau qui en empêche le durcissement et lui conserve sa faculté de ruissellement. Lors de la pulvérisation du produit (à l'aide de dioxyde de carbone), la réaction suivante a lieu sous l'influence de la chaleur:



Le dioxyde de carbone libéré et la vapeur d'eau rendent l'apport d'oxygène plus difficile et agissent comme facteurs d'extinction. Il reste alors le carbonate de sodium (Na_2CO_3 , soude).

En présence de gaz chlorhydrique, les réactions suivantes ont lieu:



ou encore



L'acide chlorhydrique conduit à une formation accrue de dioxyde de carbone, ce qui augmente l'effet d'extinction. Il y a cependant encore apparition de chlorure de sodium, qui, par les effets de corrosion qu'il développe dans un milieu humide sur les parties métalliques, est absolument indésirable. Nous n'avons en effet trouvé aucune trace de corrosion qu'aux seuls endroits où de la poudre sèche

nichtbrennenden Boden gelangt, so können die vorgeannten Reaktionen gar nicht stattfinden. Es gibt wahrscheinlich nur einen einzigen Fall, wo das Löschpulver in Zentralenräumen am Platze wäre, nämlich wenn ein PVC-Bodenbelag brennen würde. Hier könnte das Pulver voll zur Wirkung gelangen: also löschen und die Säure gleichzeitig neutralisieren. (Auf dem Boden schadet das Reaktionsprodukt NaCl wenig, weil es mit Wasser leicht weggespült werden kann.)

Zusammenfassend ist zu sagen, dass uns die Anwendung von Löschpulver bei Bränden von Zentraleneinrichtungen nicht am Platz erscheint, weil

1. die Löschwirkung problematisch ist,
2. der feine Staub überall eindringt und lästige Verschmutzungen verursacht und
3. das bei der Reaktion mit Salzsäure gebildete Natriumchlorid ebenfalls korrosionsgefährlich ist.

4. Die Einwirkung der Salzsäure auf die bauseitigen Teile der Zentralenräume

Bevor in den brandgeschädigten Räumen die zerstörten Einrichtungen wieder aufgebaut werden konnten, mussten die Räume selbst gründlich gereinigt und erneuert werden. Vorgängig war aber abzuklären, wie weit Verputz, Beton, Holzteile, Farbanstriche usw. durch die Einwirkung der Salzsäuredämpfe geschädigt worden waren. In enger Zusammenarbeit mit dem Hochbaubüro der PTT in Zürich wurden überall in den geschädigten Räumen systematisch Proben entnommen und chemisch analysiert.

4.1 Das grundsätzliche Verhalten verschiedener Bauelemente gegenüber Salzsäure

Zum besseren Verständnis der nachfolgend beschriebenen Untersuchungen soll hier zunächst dargelegt werden, wie sich die verschiedenen, in den betroffenen Räumen vorkommenden Baustoffe grundsätzlich gegenüber den Salzsäuredämpfen verhalten.

a) Gips

Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) wird chemisch durch die Salzsäure nicht verändert, dagegen kann er infolge seiner feinen Porosität Salzsäure adsorbieren. Diese adsorbierte Säure kann später wieder langsam an die Raumluft abgegeben werden; ein Teil kann aber auch weiterwandern und zum Beispiel bei einem Gips-Feinverputz in den darunter befindlichen Zementverputz gelangen.

b) Zementabrieb, Beton

Salzsäure greift den Zement an, der als Bindemittel für den sogenannten Zementabrieb und für den Beton dient.

était restée sur les installations. Il faut pour terminer relever que la poudre d'extinction n'a d'effet que si elle peut se déposer sur les matières en combustion. Les réactions mentionnées ne peuvent se produire si la poudre ruisselle à travers les flammes pour finir par s'accumuler sur le sol. L'utilisation d'extincteurs à poudre dans un central téléphonique n'est probablement intéressante que dans un seul cas, lorsque le revêtement en CPV du sol brûle. L'effet obtenu est alors maximum, soit extinction et neutralisation simultanée de l'acide. (Le chlorure de sodium comme second produit de la réaction n'est pas dangereux pour le sol étant donné qu'il peut être éliminé rapidement par lavage.)

En résumé, il semble que le recours à de la poudre pour lutter contre les incendies dans les centraux téléphoniques n'est pas une solution idéale, pour les raisons suivantes:

- l'effet d'extinction est problématique
- la fine poussière en résultant pénètre partout et provoque l'encrassement des installations
- le chlorure de sodium formé par réaction avec l'acide chlorhydrique augmente également le danger de corrosion.

4. Effets de l'acide chlorhydrique sur le bâtiment

Afin de pouvoir remettre en état les équipements détériorés par l'incendie, il a fallu nettoyer à fond et rénover les locaux détruits.

Il était cependant nécessaire, avant d'entreprendre ces travaux, d'examiner dans quelle mesure le crépi, le béton, les parties en bois et la peinture avaient été abîmés par les vapeurs d'acide chlorhydrique. C'est pourquoi, en collaboration étroite avec le bureau des bâtiments PTT de Zurich, des échantillons ont été prélevés systématiquement dans tous les locaux endommagés, et soumis à une analyse chimique.

4.1 Comportement des différents matériaux de construction à l'égard de l'acide chlorhydrique

Afin de permettre une meilleure compréhension de ce qui va suivre, examinons tout d'abord le comportement des différents matériaux de construction, utilisés dans les locaux touchés par l'incendie, à l'égard des vapeurs d'acide chlorhydrique.

a) Plâtre

Le plâtre ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) n'est pas modifié chimiquement par l'acide chlorhydrique. De par sa porosité cependant, il peut absorber une certaine quantité d'acide, susceptible d'être rendu lentement par la suite à l'atmosphère ambiante ou, pour le crépi de plâtre fin, de pénétrer dans le rustelage sous-jacent.

Die Struktur des Zementes wird dabei zerstört und das Material brüchig. Die Salzsäure selbst wird darin chemisch gebunden und neutralisiert. Dabei entstehen Chloride von Calcium, Magnesium usw. Der geschädigte Zement reagiert also nicht mehr sauer, er enthält aber Chloride, die besonders in feuchtem Beton in die Tiefe weiterwandern. Wenn sie dort auf Eisenarmierungen stossen, so können diese schwerwiegend korrodieren.

c) *Farbanstriche*

Farbanstriche schützen das darunter liegende Material weitgehend vor der Salzsäure, sofern die Farbe nicht durch die Brandhitze soweit geschädigt ist, dass sie rissig wird oder Blasen bildet und abblättert. Die Oberfläche der Farbe kann durch die Salzsäuredämpfe ebenfalls geschädigt werden, doch lässt sich diese Schicht durch ein Ablaugemittel entfernen, worauf ein neuer Anstrich angebracht werden kann.

d) *Holz, Schilfmatten*

Holz und ähnliche Naturstoffe nehmen Salzsäuredämpfe auf. Bei stärkerer Säureeinwirkung findet eine Hydrolyse der Zellulose statt, wobei sie teilweise zu Zucker abgebaut wird. Das befallene Holz kann später noch während längerer Zeit Salzsäuredämpfe an die Raumluft abgeben. Holz, das einen dichten Farbanstrich aufweist, wie Türen, Fensterrahmen, ist weitgehend vor dem Eindringen von Säure geschützt.

4.2 *Gefasste Proben und durchgeführte Versuche*

Die Materialproben wurden nicht alle gleichzeitig entnommen, sondern von Fall zu Fall, je nach dem Stand der jeweiligen Renovationsarbeiten.

Eine wichtige Frage war, ob nicht die Tragfähigkeit der eisenarmierten Decken bereits gelitten habe. Um feststellen zu können, wie tief die Salzsäure in den Beton der Deckenkonstruktion im Hauptverteilterraum und im darüberliegenden Zentralenraum Hottingen I eingedrungen war, wurden jeder Decke je ein vollständig durchgehender Bohrkern von 10 cm Durchmesser entnommen. Diese Proben wurden an Stellen gefasst, wo der Brand stark auf die Decke eingewirkt hatte. An einigen Stellen der Decke im Hauptverteilterraum war der Beton porös und die Eisenarmierung teilweise sichtbar. Dort wurden ebenfalls Betonproben entnommen, ebenso an weiteren Stellen der Decke. Ausserdem wurden zahlreiche Verputzproben an Wänden und Decken verschiedener Räume gefasst.

Der heruntergehängte Deckenteil im Hauptverteilterraum und im 1. Stock war an einem Holzrost aus Dachlatten be-

b) *Crépi de ciment, béton*

L'acide chlorhydrique attaque le ciment utilisé comme liant dans le crépi et le béton. La structure du ciment est détruite et le matériel devient friable. L'acide chlorhydrique déclenche une réaction chimique donnant lieu à la formation de chlorures de calcium, de magnésium, etc. Le ciment attaqué n'est plus acide, mais contient des chlorures qui, étant donné le milieu humide du béton, pénètrent plus avant dans la construction. Mis en présence des armatures métalliques du bâtiment, ils peuvent provoquer des corrosions importantes.

c) *Peintures*

En tant que la peinture n'a pas été endommagée par la chaleur de l'incendie, avec formation de craquelures, boursoffures, etc., les matériaux sous-jacents sont protégés dans une large mesure contre les effets de l'acide chlorhydrique. La surface de la peinture peut également être détériorée par l'acide, cependant il suffit de procéder à un lessivage avant d'appliquer une nouvelle couche de peinture.

d) *Bois, planches de roseau*

Le bois et les produits naturels similaires absorbent les vapeurs d'acide chlorhydrique. En cas d'attaque importante, une hydrolyse de la cellulose se produit, qui est alors transformée en sucre. Le bois est capable de restituer pendant longtemps à l'atmosphère ambiante les vapeurs d'acide chlorhydrique emmagasinées. Les parties en bois de la construction convenablement recouvertes de peinture, telles que portes, cadres de fenêtres, etc., sont bien protégées contre la pénétration d'acide.

4.2 *Echantillons prélevés et essais effectués*

Les échantillons de matériaux n'ont pas été prélevés simultanément, mais dans chaque cas particulier, compte tenu de l'avancement des travaux de rénovation.

Une question importante qui se posait était de savoir si la capacité de charge des dalles en béton armé n'avait pas été modifiée à la suite de l'incendie. Afin de déterminer dans quelle mesure l'acide chlorhydrique avait pénétré dans des dalles supérieures du local du répartiteur et du local du central Hottingen I, des carottes de 10 cm de diamètre ont été prélevées, sur toute l'épaisseur des dalles. Ces échantillons ont été pris aux endroits où les effets de l'incendie étaient le plus prononcés. Le béton du plafond du local du répartiteur était par places poreux et l'armature métallique partiellement visible. Là également, des échantillons ont été prélevés. De plus, de nombreux spécimens de crépi furent tirés des parois et plafonds dans les différents locaux.

Les plafonds suspendus du local du répartiteur et du central téléphonique au premier étage étaient fixés sur des

festigt. Diese Holzteile waren teilweise stark angeschwärzt. Es wurden hier ebenfalls verschiedene Holzproben entnommen.

In den erhaltenen Proben wurden durch einen entsprechenden Aufschluss das entstandene Chlorid beziehungsweise die adsorbierte Salzsäure in Lösung gebracht und darin die Chlorid-Ionen durch Titration bestimmt. Für Beton- und Zementproben wurden die Ergebnisse als Prozente Chlorid berechnet, für Holz- und Gipsproben als Prozente Salzsäure.

4.3 Versuchsergebnisse

Wir verzichten hier darauf, sämtliche Einzelergebnisse wiederzugeben, sondern begnügen uns mit den wichtigsten Einzel- und Grenzwerten.

Probe	% Chlorid bzw. Salzsäure
Beton-Bohrprobe von Decke Hauptverteiler	
unterste Partie	0,07% Cl
mittlere Partie	Spur
Beton-Bohrprobe von Decke 1. Stock	negativ
Betonproben von Decke Hauptverteiler	0,5-1,4% Cl
poröser Beton von Decke Hauptverteiler	0,025-0,04% Cl
Gipsprobe von Decke 1. Stock	0,48% Cl
Verputzproben von Wänden und Decken verschiedener Räume	0,06-0,23% Cl
Holz von Dachlattenrost, leicht braun bis geschwärzt hell, unverändert	0,05-0,16% HCl 0,01% HCl

4.4 Auswertung

Generell konnte festgestellt werden, dass überall da, wo sich russgeschwärzte Stellen befanden, seien es Decken, Wände oder Apparateile, sich Salzsäure oder Chloride nachweisen liessen. Zwei Tage nach dem Brand, als wir die Zentrale erstmals besuchten, konnte durch Auflegen eines feuchten Reagenzpapieres auf den Russ in sämtlichen Räumen Säure nachgewiesen werden. Später hat sich die Salzsäure langsam aus dem Russ verflüchtigt oder ist in die Unterlage eingedrungen.

Die Gipsdecken im Parterre und 1. Stock haben am meisten Salzsäure aufgenommen. Dadurch ist die darüberliegende Betondecke weitgehend geschützt worden. Zwar wurde die Gipsdecke im Parterre durch den Brand stellenweise zerstört und so für den säurehaltigen Rauch durchlässig, doch hat die Schilfauskleidung auf dem Beton auch absperrend gewirkt. Immerhin ist an diesen Stellen der Beton äusserlich etwas geschädigt worden, besonders an den unteren, rippenförmigen Teilen der Deckenkonstruktion.

lattes de bois, en partie noircies après l'incendie. Des échantillons de ces lattes ont également été prélevés.

Les chlorures contenus dans les échantillons ou l'acide chlorhydrique absorbé ont été, par un procédé adéquat, récoltés sous forme de solution, dont la teneur en ions de chlorure a été titrée. Le résultat des essais est exprimé, pour les échantillons de béton et ciment, en pour cent de chlorure, et pour les échantillons de bois et plâtre, en pour cent d'acide chlorhydrique.

4.3 Résultat des essais

Nous renonçons à reproduire ici les résultats détaillés des essais et nous contentons d'indiquer les valeurs les plus importantes et les valeurs limites.

Echantillon	% de chlorure ou d'acide chlorhydrique
Carotte de béton de la dalle supérieure du local du répartiteur	
partie inférieure	0,07% Cl
partie moyenne	tranches de Cl
Carotte de béton de la dalle supérieure du premier étage	pas de Cl
Echantillon de béton du plafond du local du répartiteur	0,5 à 1,4% Cl
Béton poreux du plafond du local du répartiteur	0,025 à 0,04% Cl
Echantillon de plâtre, plafond 1 ^{er} étage	0,48% Cl
Echantillons de crépi des parois et plafonds dans différents locaux	0,06 à 0,23% Cl
Echantillons de bois des lattes de fixation des plafonds	
légèrement brun jusqu'à noirci	0,05 à 0,16% HCl
clair, sans changement	0,01% HCl

4.4 Interprétation des résultats

D'une façon générale, la présence d'acide chlorhydrique ou de chlorures a été constatée, que ce soit sur les plafonds, parois ou parties d'appareils, en tout endroit noirci par la suie. Deux jours après l'incendie, alors que nous pénétrions pour la première fois dans les locaux endommagés, nous avons pu déceler la présence d'acide en appliquant un papier réactif humide sur la suie. Par la suite, l'acide chlorhydrique a lentement disparu ou a pénétré dans les matériaux sous-jacents.

Ce sont les plafonds en plâtre du rez-de-chaussée et du premier étage qui ont absorbé le plus d'acide chlorhydrique, et la couverture de béton a été protégée dans de larges mesures. Bien que le plafond de plâtre du rez-de-chaussée ait été en partie détruit par l'incendie et soit devenu, par là-même, perméable aux fumées acides, le revêtement de planches de roseau a eu un certain effet protecteur. Il y a cependant lieu de remarquer qu'aux endroits les plus touchés, le béton présentait des signes extérieurs de dom-

In der Tiefe blieb der Beton jedoch ungeschädigt. Es konnte daraus geschlossen werden, dass die Tragfähigkeit der Decken durch den Brand nirgends vermindert worden war. Es ist auch nicht anzunehmen, dass die Eisenarmierungen der Decken korrosiven Einflüssen durch wandernde Chloride ausgesetzt sind, umso weniger, als die Decke im Hauptverteilteraum schon kurz nach dem Brand wieder vollständig trocken war. Natürlich musste für die Raumsanierung die Gipsdecke samt Lattenrost (soweit er rauchgeschwärzt war) heruntergerissen werden, ebenso die Schilfauskleidung. Stellenweise war auch die oberste, brüchige Schicht des Betons abzuschlagen.

Beim Verputz der Wände lagen die Verhältnisse etwas anders als bei den Decken. Hier hat der Farbanstrich das Eindringen von Salzsäuredämpfen verhindert, solange er nicht vom Feuer geschädigt war. Im allgemeinen konnte man feststellen, dass der mit einer Russschicht überzogene Farbanstrich im unteren Drittel der Wand noch intakt war. Darunter war der Verputz nicht chloridhaltig. Die oberen zwei Drittel der Wand waren dagegen geschädigt, das heisst die Farbe war rissig, blasig oder teilweise verbrannt. Der darunterliegende Zementverputz war infolgedessen chloridhaltig, doch fanden sich nirgends Gehalte über 0,1%. Werte von 0,05% dürfte man noch als tragbar bezeichnen. Zur Vorsicht wurde aber der Verputz unter der geschädigten Farbe erneuert. Überall dort, wo der Anstrich noch intakt war, genügte es, den Russ mit einem alkalischen Waschmittel abzulaugen, um den Untergrund für einen neuen Anstrich vorzubereiten.

5. Die Einwirkung der Salzsäure auf die Zentralen-einrichtungen

Abgesehen von der direkten Brandeinwirkung im Hauptverteilteraum und teilweise im 1. Stock, waren die ausge dehntesten Schäden an den Apparaten durch die Salzsäure und durch den Rauch entstanden. Die Salzsäuregase haben vor allem auf blanke Metallteile eingewirkt, wobei die Korrosionserscheinungen im Frühstadium oft nur schwer erkennbar waren. Die Metalloberflächen waren dann lediglich leicht verfärbt. Erst unter dem Einfluss der Luftfeuchtigkeit schritten die schädlichen Reaktionen voran. In der Regel waren aber die Metallteile mit einer Russschicht überdeckt, so dass die Beurteilung mit dem blossen Auge kaum möglich war. Es war deshalb zum vornherein klar, dass Apparate, die aussen und innen stark mit Russ verschmutzt waren und dazu bereits sichtbare Korrosionsschäden, wie Rost- und Chloridkrusten, aufwiesen, nur unter gewaltigem Arbeitsaufwand zu reinigen gewesen wären. Die Frage allfälliger Spätschäden wäre dann trotzdem noch offen geblieben. Deshalb wurden solche Ausrüstungen bald-

mage, in particulier aux abords des nervures. Une détérioration en profondeur n'a toutefois pas été constatée. Nous avons pu en déduire que la capacité de charge des dalles n'était nulle part diminuée à la suite du sinistre. D'autre part, il peut être admis que l'armature métallique des dalles n'a pas été soumise à l'action corrosive de chlorures pénétrant dans le béton, d'autant plus que le plafond du local du répartiteur était déjà parfaitement sec peu de temps après l'incendie. Bien entendu, lors des travaux de rénovation, le plafond de plâtre et la construction de lattes (pour autant qu'elle fût noircie) durent être abattus. Il en est de même pour le revêtement de planches de roseau et certaines parties de la couverture de béton devenues friables.

En ce qui concerne le crépi des parois, la situation était quelque peu différente. La couche de peinture, en tant qu'elle n'a pas été détériorée, a empêché la pénétration d'acide chlorhydrique. Nous avons constaté en général que la peinture recouverte de suie dans le tiers inférieur de la paroi était encore intacte. Le crépi sous-jacent était exempt de chlorures. Les deux tiers supérieurs de la paroi étaient abîmés, la peinture étant craquelée, boursoufflée, voire partiellement brûlée. Le crépi contenait des chlorures, sans pour autant que les teneurs rencontrées excèdent 0,1%. Des valeurs de 0,05% peuvent être considérées comme acceptables. Par prudence, le crépi a été remplacé partout où la peinture n'était pas intacte. En tout endroit où la peinture n'avait pas souffert, il suffit de lessiver les parois avec un produit alcalin pour les préparer à recevoir une nouvelle couche.

5. Influence de l'acide chlorhydrique sur les équipements du central

Mis à part les dégâts dus à l'effet direct de l'incendie dans le local du répartiteur et partiellement dans celui du premier étage, les dommages les plus étendus ont été provoqués aux équipements techniques par l'acide chlorhydrique et la fumée. Les gaz chlorhydriques ont attaqué avant tout les parties métalliques nues. Il y a cependant lieu de remarquer que les effets de la corrosion ne sont pas apparus dans l'immédiat, les surfaces métalliques étant uniquement légèrement colorées. Les réactions chimiques conduisant à la détérioration ne sont déclenchées que sous l'influence de l'humidité de l'air. Les pièces de métal étaient le plus souvent recouvertes de suie empêchant pratiquement tout examen à l'œil nu. Il fut d'emblée clair que les appareils fortement encrassés par de la suie, à l'extérieur comme à l'intérieur, et présentant des traces de corrosion telles que rouille ou dépôts de chlorure ne pourraient être nettoyés sans travaux importants. De plus, il n'était pas certain que des dégâts ne puissent apparaître plus tard. C'est pourquoi ces équipements ont été remplacés le plus rapidement

möglichst ersetzt. Über mögliche Spätschäden wird im nächsten Kapitel anhand von Korrosionsversuchen berichtet.

An Kabel- und Drahtisolationen sowie an Apparateilen aus Kunststoff konnten bisher keine Säureschäden festgestellt werden. Dagegen waren noch gewisse Naturfasernstoffe in Mitleidenschaft gezogen worden. Einige Wochen nach dem Brand wurde festgestellt, dass Abbindeschnüre aus Hanf, mit denen die Kabelbündel zusammengehalten und an den Gestellen fixiert werden, rissen und zerfielen. Wir untersuchten solche Schnurstücke und fanden, dass sie sauer reagierten. Sie enthielten 0,85% Salzsäure. Es ist anzunehmen, dass kurz nach dem Brand ihr Säuregehalt über 1% betragen hat. Die Hanfschnur, die wie alle Pflanzenfasern zur Hauptsache aus Zellulose besteht, ist von der Salzsäure zersetzt worden. Dabei wird die hochmolekulare Zellulose zu niedermolekularen Bestandteilen, wie Hemicellulosen, Stärke oder sogar Zucker, abgebaut. Mit abnehmender Molekülgrösse geht sukzessive auch die Festigkeit der Faser verloren. Dieser Zersetzungsvorgang, auch Hydrolyse genannt, kann sich über Tage und Wochen hinziehen. Daher sind die Schäden an den Schnüren nicht sogleich nach dem Brand zutage getreten.

Es ist nun anzunehmen, dass die alten, zum Teil noch mit Textilfasern (Baumwolle usw.) isolierten Zentralenkabel, die nicht verbrannten, aber doch geschwärzt sind, auch Säureschäden erlitten haben, denn diese Isolationen bestehen ebenfalls aus Zellulose oder Zellulosederivaten. Es muss daher mit der Möglichkeit des späteren Zerfalles solcher Isolationen gerechnet werden. Auch eine langsame Abgabe von Salzsäuredämpfen an die Raumluft ist bei diesen Kabeln durchaus noch möglich. Wir haben daher empfohlen, die betreffenden geschädigten Kabel etwas zu überwachen und, falls in ihrer Nähe an den Ausrüstungen fortgesetzte Korrosionen auftreten sollten, zu ersetzen.

Geprüft wurde ferner ein Bandkabel, das jedoch nur Spuren von Salzsäure enthielt. Das von den Kupferdrähten befreite Band konnte von Hand nicht zerrissen werden. Es war somit offensichtlich nicht beschädigt. Das Band besteht aus einem Naturseidengewebe, das am Rand mit Baumwolle vernäht ist. Die aus tierischem Eiweiss bestehenden Naturfasern, wie Seide und Wolle, sind wesentlich widerstandsfähiger gegen Säuren als Zellulosefasern. Die Abwesenheit von Russ auf dem Bandkabel beweist, dass es im Innern der Buchten vor den Säuredämpfen und Verbrennungsgasen geschützt war.

6. Die Frage der Spätschäden

Wie wir bereits erwähnt haben, mussten bei den mit Säuredämpfen in Berührung gekommenen Apparaturen Spätschäden erwartet werden. Zu dieser Annahme führen

möglich. Nous reviendrons du reste dans le prochain chapitre sur la question des dommages qui pourraient se manifester par la suite, alors que nous rendrons compte des essais de corrosion effectués.

Jusqu'alors, nous n'avions pu constater aucune détérioration due à l'acide chlorhydrique de l'isolation CPV des fils et câbles ou de certaines parties d'appareils en matière plastique. Quelques semaines après l'incendie, nous remarquons que les attaches en ficelle de chanvre utilisées pour former les faisceaux de câbles et les fixer aux bâtis se rompaient et se décomposaient. Nous avons examiné quelques échantillons de cette ficelle et constaté une réaction acide. Leur teneur en acide chlorhydrique était de 0,85%. Il est à supposer que cette valeur excédait 1% immédiatement après l'incendie. La ficelle de chanvre, qui comme toutes les fibres végétales est constituée en majeure partie de cellulose, avait été décomposée par l'acide chlorhydrique. La réaction a conduit à la décomposition de la cellulose, de poids moléculaire élevé, en des éléments de poids moléculaire plus faible, tels que hémicellulose, amidon ou sucre. La résistance mécanique des fibres faiblit avec la diminution de grandeur des molécules. Ce processus de décomposition, appelé aussi hydrolyse, peut s'étendre sur des jours, voire des semaines. C'est pourquoi les dégâts aux attaches n'ont pas été constatés immédiatement après l'incendie. Il faut s'attendre que les anciens câbles, isolés au coton par exemple, et qui n'ont pas brûlé mais ont été noircis aient également souffert. Le coton étant composé de cellulose ou de ses dérivés, il est possible qu'une décomposition lente de l'isolation puisse se produire. La restitution de vapeurs chlorhydriques à l'atmosphère ambiante est également à envisager. C'est pourquoi nous avons recommandé de surveiller ces câbles et de les échanger si la corrosion des appareils montés à proximité devait continuer.

Nous avons également examiné un câble-ruban qui ne contenait toutefois que des traces d'acide chlorhydrique. Le ruban dégagé des fils de cuivre n'a pas pu être rompu à la main, ce qui signifie certainement que ce câble n'a pas été endommagé. Le ruban se compose d'un tissu de soie naturelle cousu dans ses bords avec du coton. Les fibres naturelles à base d'albumine animale, telles que la soie et la laine, résistent beaucoup mieux aux acides que les fibres celluloses. L'absence de suie sur le câble-ruban démontre que l'intérieur des baies était protégé contre les vapeurs d'acide et les gaz de combustion.

6. La question des dommages subséquents

Comme nous l'avons déjà mentionné, il fallait s'attendre à l'apparition tardive de dommages dans les appareils ayant été en contact avec des vapeurs d'acide. Les raisons suivantes nous ont conduit à cette supposition: les vapeurs

folgende Gründe: Die Salzsäuredämpfe bilden primär mit den verschiedenen Metallen hygroskopische Chloride, die sich später unter dem Einfluss von Feuchtigkeit und Kohlendioxid der Luft in schwer lösliche, basische Salze und Carbonate umwandeln. Dabei bildet sich intermediär wieder Salzsäure, die den Korrosionsvorgang weiterführt. Die einmal eingeleitete Korrosion kann also in feuchtem Milieu immer weiter um sich greifen.

Es war nun wichtig zu wissen, wie sich die säuregeschädigten Apparate der Zentrale Hottingen in der nächsten Zukunft störungsmässig verhalten würden. Wir prüften deshalb verschiedene Apparate, die aus stark brandgeschädigten Buchten stammten, indem wir sie einer hohen Luftfeuchtigkeit aussetzten. Als Prüflinge wurden Siemenswähler und Teile davon, wie Federn und Magnetspulen, ferner Klemmenstreifen aus dem Hauptverteiler, Siemens-Flachtyprelais Nr. 322 und 391 und zum Vergleich einige neue Standard-Flachtyprelais XD und ZXD verwendet. Diese Teile wurden in einer Kammer bei konstanter Temperatur (16–18° C) an Nylonfäden aufgehängt. Mittels einer entsprechend verdünnten Salzlösung wurde in der Kammer eine relative Luftfeuchtigkeit von 92–93% eingestellt. Es konnte sich auf diese Weise kein Kondenswasser auf den Prüfkörpern niederschlagen. Die Versuchsdauer betrug 2½ Monate. Das Aussehen der exponierten Teile wurde wöchentlich kontrolliert. An Spulen wurden Widerstandsmessungen vorgenommen, um dünne Stellen und Unterbrüche an den Kupferdrähten feststellen zu können. Die sich nach 2½ Monaten zeigenden Ergebnisse entsprachen nur teilweise unseren Erwartungen.

Alle Metallteile (besonders Eisen und Bronze), die schon vor dem Versuch sichtbar von Säure angegriffen waren, wiesen jetzt starke Krusten von Korrosionsprodukten auf.

Elektrische Kontaktstellen sind im allgemeinen von Korrosionen verschont worden. Fein- oder Edelmetallkontakte waren ohnehin nicht besonders gefährdet, da die Salzsäure sie entweder gar nicht angreift oder zum Beispiel beim Silber eine hauchdünne, wasserunlösliche Schicht von Silberchlorid bildet, die sich in feuchter Atmosphäre kaum verändert und das darunter liegende Metall vor weiterem Angriff schützt. Die Bronzekontakte der Wähler waren nach dem Korrosionsversuch ebenfalls noch ziemlich gut erhalten. Hier darf als Schutzschicht eine Mischung bestehend aus Metallabrieb, -oxid und Fett oder Öl angenommen werden.

Zu unserer Überraschung haben die Drahtanschlüsse bei den Lötstellen der Magnet- und Relaispulen, die wir als besonders gefährdet betrachtet hatten, mit einer Ausnahme nach dem Versuch keine Korrosionen aufgewiesen. Dies geht auch aus den gemessenen Widerstandswerten hervor, die sich praktisch nicht verändert haben. Nur bei der Magnet-

d'acide chlorhydrique en contact avec les métaux provoque en premier lieu la formation de chlorures hygroscopiques qui se transforment à leur tour, sous l'influence de l'humidité et du dioxyde de carbone de l'air, en sels basiques et carbonates difficilement solubles. Cette transformation est accompagnée, à l'état intermédiaire, d'une nouvelle production d'acide chlorhydrique, prolongeant le processus de la corrosion. Autrement dit, dans un milieu humide, un effet de corrosion ira toujours en se propageant.

Il était cependant important de déterminer de quelle façon les appareils du central téléphonique de Hottingen se comporteraient à plus ou moins brève échéance du point de vue des dérangements. Nous avons examiné différents composants tirés des baies les plus touchées par l'incendie en les soumettant à l'influence d'une atmosphère très humide. Les échantillons choisis étaient des sélecteurs Siemens ou leurs parties constitutives, comme certains ressorts, bobines, etc., des réglettes de distributeur, des relais plats Siemens numéros 322 et 391 et, à titre de comparaison, quelques relais plats Standard types XD et ZXD. Ces composants ont été suspendus à l'aide de fils de nylon dans une enceinte à température constante (16–18° C). A l'aide d'une solution d'un sel convenablement diluée, l'humidité relative de l'air était maintenue à 92–93%. Il ne pouvait donc pas se former d'eau de condensation sur les pièces essayées. L'expérience a duré deux mois et demi. L'aspect des échantillons était contrôlé hebdomadairement. La résistance des bobines a été mesurée afin de déceler une modification du diamètre du fil ou une interruption de l'enroulement. Les résultats obtenus n'ont confirmé que partiellement notre attente.

Toutes les parties métalliques (en particulier en fer et en bronze) qui, déjà avant l'expérience, étaient visiblement attaquées par l'acide étaient recouvertes de dépôts importants de produits de corrosion.

Les points de contact électriques n'ont en général pas été corrodés. Il est à remarquer que les contacts en métaux fins ou précieux n'étaient de toute façon pas particulièrement mis en danger, étant donné que l'acide chlorhydrique ne les attaque pas, ou alors, comme c'est le cas pour l'argent, il y a formation d'une couche très mince de chlorure d'argent insoluble dans l'eau, qui ne se modifie pour ainsi dire pas dans une atmosphère humide et protège le métal sous-jacent contre une corrosion plus poussée. Les contacts de bronze des sélecteurs étaient également assez bien conservés à la fin de l'expérience. Il est à supposer, dans le cas particulier, que la couche protectrice était formée d'un mélange de poudre métallique due aux frottements, de graisse et d'huile.

A notre surprise, les raccordements soudés des fils sur les bobines de relais et électro-aimants, que nous consi-

spule eines Kopplungsmagneten ist der Widerstand einer Wicklung von 168Ω um 8Ω auf 176Ω angestiegen. Beim Öffnen der Spule konnten wir hier tatsächlich eine korrodierte Drahtdurchführung im Spulenkörper feststellen. Der Grund, dass die Drahtanschlüsse von der Korrosion verschont geblieben sind, liegt in einer Schutzschicht aus Kolophonium, die sich beim Anlöten der Drähte über die abisolierten Enden ausgebreitet hat. Man kann die unsichtbare Schutzschicht nachweisen, wenn man unter dem Stereomikroskop die Drähte mit einem feinen Messerchen schabt, wobei sich ein gelblich-weisses Pulver ansammelt.

Auf Grund der beobachteten Korrosionserscheinungen haben wir folgende Prognose für die Telephonzentrale Hottingen gestellt: Die noch in Betrieb stehenden, salzsäuregeschädigten Apparaturen sind nicht an empfindlichen Teilen, wie Kontakten und feinen Drahtanschlüssen, geschädigt worden. Daher ist auch nicht zu erwarten, dass plötzlich grössere Ausfälle entstehen. Vielmehr ist für mindestens drei Jahre noch mit einem normalen Betrieb zu rechnen. Mit der Zeit werden sich allerdings die bereits korrodierten Stellen, je nach der herrschenden relativen Luftfeuchtigkeit, mehr oder weniger rasch verschlechtern. In den meisten Fällen hat dies aber vorläufig keinen Einfluss auf die Funktionstüchtigkeit des betreffenden Apparates. Im Laufe der Zeit werden lediglich gewisse Eisenschrauben und blanke Stahlfedern ersetzt werden müssen.

Die bisher seit dem Brand angeordneten Massnahmen scheinen sich bewährt zu haben. Für die Reinigung der Wähler- und Relaiskontakte war vorgeschrieben, nur die bewährten PTT-Reinigungsmittel zu verwenden. Ferner musste die relative Luftfeuchtigkeit so niedrig gehalten werden, wie es der Betrieb ermöglichte. Unter diesen Verhältnissen arbeitet die Zentrale wieder normal, und es stellen sich nicht mehr Störungen ein als in andern Zentralen.

7. Ersatzmöglichkeiten der PVC-Isolation durch andere nicht- oder schwerbrennbare Stoffe

Der durch den Brand von PVC-Isolationen in der Telephonzentrale Hottingen angerichtete Schaden hat in mancher Hinsicht alarmierend gewirkt, und es ist vielfach die Frage gestellt worden, warum man denn ausgerechnet ein Isoliermaterial verwendet, das so grosse Mengen Chlor enthält. Gibt es keine Isoliermaterialien, die nicht- oder schwerbrennbar sind und die vor allem beim Verbrennen keine korrosiven Gase entwickeln?

Hier ist zunächst festzuhalten, dass die Abspaltung von Salzsäure aus brennendem PVC natürlich nichts Neues darstellt, sondern von jeher bekannt war, nur war man sich wahrscheinlich der grossen Mengen Salzsäure nicht bewusst, die hier frei werden können. In letzter Zeit sind in der

dérions comme particulièrement exposés à la corrosion, ne présentaient, à une seule exception près, pas de trace d'attaque à la fin de l'expérience. Cette constatation est du reste confirmée par les valeurs mesurées de la résistance, qui n'a pratiquement pas changé entre le début et la fin des essais. Seule la résistance de la bobine d'un électro-aimant de couplage a passé de 168Ω à 176Ω . En démontant cette bobine, nous avons remarqué une attaque de corrosion au point de pénétration du fil dans le corps de la bobine. Les points de soudure ont été protégés contre la corrosion par une couche de colophane qui s'était formée au moment du soudage et répandue sur la partie non isolée des conducteurs. Il est du reste possible de démontrer la présence de cette couche en raclant légèrement, sous un microscope stéréoscopique et à l'aide d'un grattoir, l'extrémité des fils. Une poudre très fine, de couleur blanc-jaune, est alors décelable.

Etant donnés les effets de la corrosion remarqués, nous avons pu établir le pronostic suivant pour le central téléphonique de Hottingen: les équipements endommagés par l'acide chlorhydrique qui sont actuellement encore en service n'ont pas été touchés dans des parties vitales, telles que contacts ou points de soudure. Il ne faut donc pas s'attendre à une brusque augmentation des dérangements. Nous sommes au contraire d'avis que l'on peut compter avec une exploitation normale pendant au moins trois ans encore. Il est clair qu'avec le temps, et suivant les conditions d'humidité relative de l'air rencontrées, la détérioration des parties corrodées progressera plus ou moins rapidement. Dans la plupart des cas cependant, cet état de choses n'aura pas d'influence immédiate sur le bon fonctionnement des appareils considérés. Par la suite, certaines vis en fer ou certains ressorts en acier nu devront être remplacés.

Les mesures prises jusqu'ici depuis l'incendie semblent avoir fait leurs preuves. Seuls les produits de nettoyage éprouvés des PTT avaient été prescrits pour le nettoyage des sélecteurs et contacts de relais. De plus, l'humidité relative de l'air a dû être maintenue à une valeur aussi faible que possible mais permettant encore l'exploitation. Dans ces conditions, le central téléphonique fonctionne de nouveau normalement sans que le nombre des dérangements apparus soit supérieur à celui rencontré dans d'autres installations.

7. Possibilités de remplacement de l'isolation au CPV par des matériaux incombustibles ou brûlant difficilement

Les dégâts causés par la combustion de CPV lors de l'incendie du central téléphonique de Hottingen ont été à

Literatur einige Artikel über Schäden bei PVC-Bränden erschienen.

Grundsätzlich sind für die elektrische Isolation von Einzeldrähten und Kabeln zwei verschiedene Gruppen von Materialien möglich, nämlich anorganische und organische. Vollständig unbrennbare Stoffe können nur anorganischer Herkunft sein. Jedes organische, kohlenstoffhaltige Material zersetzt sich und verbrennt, wenn es einer Flamme ausgesetzt ist. Man kann wohl heute synthetische organische Verbindungen durch den Einbau gewisser Elemente (z. B. Chlor, Fluor oder Silizium) bis zu 200 oder gar 300° C hitzebeständig machen, aber keine einzige derartige Substanz kann eine Brandhitze von 500 und mehr Grad C aushalten. Die früher verwendeten Naturstoffe, wie Baumwolle, Seide usw., waren leicht brennbar, ebenso alle Kunstfasern aus Zellulosederivaten, wie Viskose, Azetatseide usw. Heute werden fast ausschließlich vollsynthetische Materialien für die Herstellung von Draht- und Kabelisolationen verwendet, doch sind noch viele mit brennbaren Fasern isolierte Zentralenkabel im Gebrauch. Der vorzügliche Isolierstoff Polyäthylen kann wegen seiner leichten Brennbarkeit in Telephonzentralen nicht verwendet werden. Es ist allerdings schon auf verschiedene Arten versucht worden, Polyäthylen schwer brennbar zu machen. So gibt es heute sogenanntes vernetztes Polyäthylen, das weniger leicht brennbar ist und vor allem beim Brennen weder schmilzt noch abtropft. Dieses vernetzte Polyäthylen wird heute bereits für militärische Zwecke und für die Luft- und Raumfahrt verwendet, ist jedoch wesentlich teurer als gewöhnliches Polyäthylen. Polyäthylen kann auch durch geeignete Zusätze schwer brennbar gemacht werden. Meist handelt es sich dabei um Antimonoxid und chlorierte Paraffine. Bis heute hat sich aber solcherart modifiziertes Polyäthylen nicht durchsetzen können, wohl wegen der Konkurrenz durch das PVC.

Die Einführung von weichgemachtem PVC als Kabel- und Aderisolation bedeutete insofern einen Fortschritt, als hier ein billiges, leicht zu verarbeitendes, gut isolierendes und schwer brennbares Material zur Verfügung stand. Trotz ihres Weichmachergehaltes sind beispielsweise brennende Z-Kabel gerade noch selbstlöschend, das heisst, wenn keine fremde Flamme die Verbrennung unterhält, erlischt das brennende PVC von selbst. Dies ist vor allem da wichtig, wo eine lokal erhitzte Stelle, zum Beispiel bei einem Kurzschluss, zu einem sich ausdehnenden Brand führen könnte. Etwas anderes ist es natürlich bei Brandstiftung, wenn die Kabel mit Benzin übergossen werden. Unter diesen Bedingungen verbrennt jedes organische Material! Es ist infolgedessen nutzlos, PVC durch einen anderen halogenierten, sicher teureren Kunststoff ersetzen zu wollen, wie Chlor kautschuk, Neopren, Teflon usw. Wohl ist Teflon heute einer der temperaturbeständigsten Kunststoffe, aber auch es zersetzt sich in der Brandhitze. Dabei entsteht die äusserst

bien des égards un signal d'alarme. La question fut maintes fois posée de savoir pourquoi on utilisait, pour isoler les câbles et fils, des matériaux contenant une pareille quantité de chlore. N'existe-t-il pas d'isolants incombustibles ou brûlant difficilement et qui avant tout ne dégagent pas de gaz corrosifs en cas d'incendie? Il faut constater tout d'abord que la production d'acide chlorhydrique en cas de combustion de CPV ne représente rien de nouveau, bien au contraire le fait était connu depuis toujours. Ce dont les spécialistes ne se sont probablement pas rendu compte, c'est la quantité d'acide chlorhydrique qui pouvait être libérée en pareil cas. Des articles traitant des dommages causés par la combustion de CPV ont cependant paru ces derniers temps dans les revues spécialisées.

En principe, les matériaux utilisables pour isoler les fils et câbles sont de deux natures, organique et inorganique. Les corps absolument incombustibles ne peuvent être que de provenance inorganique. Tout matériel organique, contenant du carbone, se décompose et se consume lorsqu'il est soumis à une flamme. Il est possible de créer de nos jours des composés organiques synthétiques, qui par adjonction de certains éléments (par exemple le chlore, le fluor ou le silicium) supportent des températures de 200 voire 300° C, mais aucune de ces substances ne résiste à la chaleur d'un incendie, qui est de 500° C et plus. Les matériaux naturels, employés par le passé tels que le coton, la soie, etc., étaient facilement combustibles. Il en est de même pour toutes les fibres synthétiques dérivées de la cellulose comme la «Viscose», la rayonne, etc. La fabrication d'isolants pour fils et câbles repose de nos jours presque uniquement sur l'utilisation de matières entièrement synthétiques. Il reste toutefois dans les centraux téléphoniques bon nombre de câbles isolés en fibres combustibles. Un isolant avantageux, le polyéthylène, ne peut malheureusement pas être appliqué dans les centraux téléphoniques, étant donné sa grande combustibilité. Plusieurs essais ont cependant été faits pour améliorer ses propriétés. C'est ainsi qu'un polyéthylène entrelacé a été mis au point, qui a l'avantage, en cas d'incendie, de ne pas fondre ni dégoutter. Il est utilisé à des fins militaires et dans la recherche spatiale, bien que beaucoup plus cher que le polyéthylène ordinaire. Le polyéthylène peut également être rendu difficilement combustible par l'adjonction d'éléments tels que l'oxyde d'antimoine ou la paraffine chlorée. Ce genre d'isolant n'a cependant pas pris pied dans la pratique, du fait probablement de la concurrence du CPV.

L'introduction du CPV mou en tant qu'isolant pour les fils et câbles est certainement un progrès, en ce sens que l'on dispose d'un matériau bon marché, facile à travailler, difficilement combustible et de bonnes propriétés électriques. Malgré leur teneur en plastifiant, les câbles utilisés dans les centraux téléphoniques ne se consomment pas

aggressive und gesundheitsschädliche Fluorwasserstoffsäure. Teflon ist zudem nicht leicht zu verarbeiten: Es muss an Ort und Stelle aufpolymerisiert werden und lässt sich kaum einfärben. Schliesslich ist sein Preis so hoch (ein Mehrfaches von PVC), dass eine allgemeine Anwendung in Telephonzentralen schon aus diesem Grund kaum in Betracht kommt.

Es ist auch möglich, PVC stärker flammhemmend herzustellen, indem schwer brennbare Weichmacher verwendet werden. So könnte zum Beispiel ein Gemisch von Phosphorsäureester + Chlorparaffin oder von Phthalsäureester + Chlorparaffin + Antimonoxid in Frage kommen. Dass hierbei der Chlorgehalt des PVC noch zunehmen würde ist offensichtlich, auch können die mechanischen und elektrischen Eigenschaften ändern.

Nichtbrennbare, anorganische Isoliermaterialien sind seit langem bekannt (Asbest, Glas, Keramik, Glimmer). Doch haben alle diese Stoffe wieder Nachteile in verarbeitungs- und anwendungstechnischer Hinsicht. So sind beispielsweise Glasfaserisolationen für Drähte, die während des letzten Krieges aufgekommen waren, heute wieder weitgehend verschwunden.

Das PVC hat sich als Isolierstoff für Montierungsdrähte und Zentralenkabel bislang bewährt. Es rechtfertigt sich zur Zeit nicht, das billige und geeignete Isoliermaterial wegen des seltenen Falles einer Brandstiftung durch ein weniger geeignetes und teureres Material zu ersetzen. Diesen Schritt sollte man erst wagen, wenn ein neuer Isolierstoff entwickelt ist, der zwar die Vorteile, nicht aber den Nachteil des PVC besitzt.

Literatur

Cerberus-Alarm: Korrosionsschäden durch PVC-Brände. Nr. 46, Juni 1968.

G. Purl: Neue Gefahrenmomente von Elektrobränden. Bulletin SEV 60 (1969) Nr. 6, S. 205...207.

G. Purl: Zum Brandschutz bei Bränden mit PVC. VFDB-Zeitschrift 18 (1969) Nr. 4, S. 156...161.

H. Vogel: Flammfestmachen von Kunststoffen. Dr. Alfred Hüthig, Verlag Heidelberg, 1966.

Keith-Bell-McAdam-Caesar: Flammhemmende PVC-Mischungen mit Chlorparaffinen. Kunststoffe 59 (1969), Teil 1: Nr. 5, S. 272...276; Teil 2: Nr. 6, S. 344...346; Teil 3: Nr. 7, S. 419...421.

d'eux-mêmes, en d'autres termes, si l'on supprime la flamme étrangère entretenant la combustion, le CPV ne continue pas à brûler. Cette propriété est importante en cas de court-circuit par exemple, la chaleur dégagée ne pouvant conduire à la propagation d'un incendie. Il en est tout autrement lorsqu'il y a malveillance et que les câbles ont été d'abord arrosés de benzine. Dans ces conditions, n'importe quel matériel organique se consume. Il serait donc inutile de remplacer le CPV par un autre corps synthétique halogéné, certainement plus cher, tel que le caoutchouc chloré, le néoprène, le téflon, etc. Il est clair que le téflon est de nos jours l'une des matières synthétiques résistant le mieux aux températures élevées. La chaleur d'un incendie cependant en provoque la décomposition, accompagnée d'une production d'acide fluorhydrique hautement agressif et dangereux pour la santé. De plus, le téflon se travaille difficilement. Il doit être appliqué sur place par polymérisation et ne peut pas être coloré. Son prix élevé, un multiple de celui du CPV, est encore un obstacle à son utilisation généralisée dans les centraux téléphoniques.

Il est également possible de produire du CPV difficilement combustible en utilisant des plastifiants appropriés. Un mélange d'ester phosphorique et de paraffine chlorée ou d'ester phtalique, de paraffine chlorée et d'oxyde d'antimoine conviendrait par exemple. Cette solution offre l'inconvénient d'augmenter la teneur en chlore de l'isolant et d'en modifier les propriétés mécaniques et électriques.

Les matériaux isolants d'origine inorganique, incombustibles, tels que l'amiante, le verre, la céramique ou le mica, sont connus depuis longtemps. Ils présentent cependant des inconvénients du point de vue de la technique de fabrication et d'utilisation. Le procédé d'isolation des fils à l'aide de fibres de verre, qui était apparu lors de la dernière guerre, a de nos jours pratiquement disparu.

Le CPV en tant qu'isolant des fils et câbles a jusqu'ici fait ses preuves. Le remplacement de ce matériau bon marché et convenant parfaitement, par une matière moins appropriée et plus chère ne se justifie pas par les seuls cas d'incendies criminels heureusement rares. Une telle décision ne devrait être prise que le jour où l'on disposera d'un isolant ayant les avantages du CPV sans en présenter les inconvénients.