

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 65 (1974)

Heft: 4

Artikel: Brandentstehung und Brandverhütung = Incendies et moyens de les prévenir

Autor: Wyss, F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915358>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 19.04.2026

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

Brandentstehung und Brandverhütung

Von F. Wyss

Incendies et moyens de les prévenir

Par F. Wyss

Wenn ich den Rahmen meines Referats etwas weiter fasse, als Sie vielleicht erwarten mögen, so deshalb, weil mir daran liegt, Ihnen die Denk- und Betrachtungsweise der Brandschutzleute etwas näherzubringen. Das Referat würde seinen Zweck dann erfüllen, wenn das in Ihren Kreisen im allgemeinen in erfreulichem Mass vorhandene Verständnis für die Brandschutzbelange weiter vertieft würde. Die abschliessende Diskussion könnte dann vielleicht dazu dienen, mir Ihre Ansichten zu den aufgeworfenen Fragen darzulegen, damit ich meinerseits sehe, wo Sie der Schuh drückt.

Das Feuer steht seit Urzeiten im Dienst der Menschen als Lichtquelle und Wärmespender. Es wurde aber auch seit jeher mystifiziert als Sinnbild des Lebens und der Leidenschaft. Damit ist die besondere Beziehung der Menschen zum Feuer bereits umrissen, eine Beziehung, wie sie der Mensch sonst zu keiner andern Naturerscheinung hat.

Nun hat es von jeher Feuer gegeben, das dem Menschen in seinen Verrichtungen nützte (Nutzfeuer), und anderes, das ihn darin hemmte und ihm sogar schadete (Schadenfeuer). Als Brand bezeichnet man heute ein Schadenfeuer, ein Feuer also, das seinen bestimmungsmässigen Herd verlässt oder überhaupt ausserhalb eines solchen entsteht. Leider folgt aber das Brandgeschehen nicht einfachen Gesetzmässigkeiten, sondern es handelt sich um ein ziemlich verwickeltes Zusammenwirken chemischer und physikalischer Vorgänge. Im folgenden will ich versuchen, diese vereinfachend und nur soweit darzustellen, als sie zum Verständnis der weiteren Ausführungen unabdingbar sind.

Die Verbrennung ist ein Oxydationsvorgang, bei dem sich also im Normalfall ein Brennstoff mit Sauerstoff vereinigt. Einige Stoffe zeigen allerdings Verbrennungsvorgänge auch in sauerstoffloser Umgebung. Andere Oxydationen mit Sauerstoffbeteiligung sind beispielsweise die Atmung, die Gärung und die Verwesung.

Allen diesen Reaktionen gemeinsam ist die Rückbildung chemisch energiereicher Substanzen (hoher Heizwert) in ihre Ausgangsprodukte wie Wasser, Kohlendioxyd (bei unvollständiger Verbrennung auch Kohlenmonoxyd), Metall-oxyd (bei Verbrennung von Metallen). Dabei wird Energie in Form von Wärme und – im Falle der Verbrennung – Licht abgegeben, oder besser in solche umgewandelt. Eine wichtige Tatsache aller Verbrennungsvorgänge, wie überhaupt aller chemischen Vorgänge, muss hier erwähnt werden: Das Gesetz von der Erhaltung der Masse. Dies bedeutet, dass nichts verlorengehen kann. Bei der Verbrennung bleibt also die Art und Anzahl der beteiligten Atome gleich. Es ändern sich nur ihre gegenseitigen Bindungsverhältnisse. Der Brennstoff wird somit durch das Feuer nicht einfach in Nichts aufgelöst, sondern dessen Atome zusammen mit der entsprechenden Zahl von Sauerstoffatomen finden sich in gleicher Zahl in den Verbrennungsrückständen (Asche) und den Brandgasen wieder. Diese haben daher insgesamt das gleiche Gewicht

Par cette conférence, je voudrais essayer de vous familiariser quelque peu avec le langage et les vues des spécialistes en matière de prévention d'incendie afin de préparer le terrain pour les conférences suivantes.

Il est vrai que le feu au service de l'homme a joué un rôle de première importance durant toute l'histoire de l'humanité. Et même de nos jours bon nombre d'activités humaines ne peuvent se concevoir qu'à l'aide du feu en tant que source de chaleur ou de lumière. Et le fait que la flamme est entrée dans les mythes comme symbole de la vie et de la passion, nous le devons probablement à son importance vitale dans la vie quotidienne.

Mais le feu utile, dont je viens de vous parler, peut tourner en feu néfaste, c'est-à-dire en incendie dès qu'il quitte son foyer. Ces définitions font règle partout où il s'agit de délimiter les deux notions donc par exemple dans la législation ou en matière d'assurance.

Malheureusement le feu ne suit pas des lois simples. Il s'agit plutôt d'un concours de phénomènes chimiques et physiques que j'essayerai de vous présenter par la suite et ceci en simplifiant dans la mesure du possible.

La combustion est une oxydation, c'est-à-dire une réaction chimique mariant en général un combustible à l'oxygène. Cependant, il est certains matériaux ayant la faculté de se consumer malgré l'absence d'oxygène. La respiration, la fermentation, la putréfaction sont d'autres exemples d'oxydations avec le concours de l'oxygène. Toutes ces réactions sont caractérisées par la décomposition de matière riche en énergie chimique (puissance calorifique élevée) en reconstituant ses matières premières telles que l'eau, dioxyde de carbone (monoxyde dans le cas de la combustion incomplète), oxydes de métaux (dans le cas de la combustion de métaux). Toute oxydation dégage de l'énergie sous forme de chaleur et dans le cas de la combustion aussi sous forme de lumière. Il est nécessaire de vous rappeler maintenant une loi fondamentale régissant toute réaction chimique donc également la combustion: la conservation de la masse, cela veut dire que rien ne se perd. Lors de la combustion par exemple, la nature et le nombre des atomes concernés n'est pas modifié. Ce ne sont que leurs liaisons chimiques qui se modifient. Par conséquent, le combustible n'est pas mis à néant par le feu, mais ses atomes se retrouvent en nombre égal-réunis au nombre correspondant d'atomes d'oxygène – dans les résidus (cendres, gaz de combustion). Ceux-ci sont donc du même poids que les matières premières. Ainsi s'explique la grosse quantité de gaz produits lors de la combustion de 1 kg de charbon par exemple.

Mais de quelle façon le combustible est-il enflammé? Il faut y amener une certaine quantité d'énergie, l'énergie d'activation. Dès lors la combustion continue en dégageant de l'énergie. Celle-ci correspond à l'énergie qui fut nécessaire primitivement pour constituer chimiquement le combustible.

wie die Ausgangsprodukte. Daraus erklärt sich die grosse Brandgasmenge beim Verbrennen von beispielsweise 1 kg Kohle.

Wie nun wird aber der Brennstoff überhaupt entzündet? Es muss ihm eine bestimmte Menge Energie – die Aktivierungsenergie – zugeführt werden. Erst wenn dies geschehen ist, läuft der Verbrennungsvorgang von selbst unter Energieabgabe weiter. Diese entspricht dem Energieaufwand, der seinerzeit nötig war, um den Brennstoff chemisch aufzubauen. In den meisten Fällen handelt es sich bei der so investierten Energie um Licht- und Wärmestrahlung, deren Quelle letztlich die Sonne ist. Wir haben es also im Grunde mit einem Kreisprozess zu tun, der sich in der Mechanik etwa so darstellen liesse:

Eine schwere Kugel wird langsam auf 20 m Höhe in das oberste Stockwerk eines Hochhauses getragen. Wenn man sie nun noch um einen weiteren Meter auf die Fensterbrüstung hebt und dafür die Aktivierungsenergie aufwendet, kann die Kugel wieder zum Erdboden hinunterfallen und dabei die ganze investierte Energie wieder loswerden. Sie sehen, dass jeder Verbrennungsvorgang vor allem ein Energieproblem ist. Es ist also nicht so sehr die zur Verfügung stehende Leistung, die massgebend ist, sondern deren Produkt mit der Zeit.

Damit haben wir alle für das Entstehen eines Brands wesentlichen Faktoren genannt, die zusammen das Feuerdreieck bilden:

Brennstoff – Sauerstoff – Aktivierungsenergie (Zündenergie)

Hat nun die Zündung stattgefunden, läuft der weitere Vorgang in Form einer Kettenreaktion ab. Gelingt es, die chemische Reaktionskette abubrechen, so tritt Erlöschen ein. Jede Brandlöschung beruht auf dieser Erkenntnis. Wie man dies im einzelnen erreicht, werden Ihnen in den folgenden Referaten die Herren J. Meyer und H. P. Thalmann darlegen.

Man kann sich nun fragen, wie gross die Zündenergie für einen gegebenen Brennstoff sein muss. Für feste Stoffe lassen sich keine eindeutigen Werte nennen, weil für die Zündung der Durchmischungsgrad mit dem Sauerstoff wesentlich ist und vorher eine Vergasung des Materials stattfinden muss. Je nachdem ob 1 m³ Holz in Form von Balken oder Hobelspänen vorliegt, bewegt sich die zur Zündung ausreichende Energiemenge (Mindestzündenergie) in weiten Grenzen. Dazu kommt noch der kühlende Einfluss der Umgebungs- bzw. Verbrennungsluft, der bei langsamen Zündvorgängen nicht vernachlässigbar ist. Bei eigenen Messungen haben wir für lockere Watte etwa 100 Ws festgestellt, für trockenes Holz etwa 2400 Ws. Für Flüssigkeiten können ebenfalls keine festen Zahlen genannt werden, weil diese zuerst verdampft werden müssen. Erst die Dämpfe lassen sich entflammen. Für Acetondämpfe beispielsweise beträgt die Mindestzündenergie 1,15 m Ws. Bei Stoffen, die bereits gasförmig sind, ist die Mindestzündenergie allgemein bekannt und findet sich in der Literatur. So beträgt sie etwa für Acetylen oder Wasserstoff 0,02 m Ws.

Die Zufuhr der nötigen Zündenergie kann nun von aussen in bekannter Weise durch Wärmestrahlung, Konvektion oder Wärmeleitung erfolgen. Sie kann aber auch im Brennstoff selber durch exotherme chemische Reaktionen aufgebracht werden. In diesem Fall spricht man von Selbstentzündung.

Dans la plupart des cas, cet investissement d'énergie a été fait par le soleil sous forme de radiation de lumière et de chaleur. Il s'agit donc au fond d'un cycle d'énergie. Son équivalent en mécanique serait le cas d'une bille portée à 20 m d'altitude dans l'étage supérieur d'une maison-tour. Si l'on monte encore la bille de 1 m sur l'accoudoir en fournissant l'énergie d'activation, la bille peut retomber à terre en perdant toute l'énergie investie. Vous vous rendez compte certainement que toute combustion est d'abord un problème d'énergie. Ce n'est donc pas la puissance qui est déterminante, mais son produit par le temps.

Tous les facteurs importants dans un incendie ont ainsi été cités. Ils forment le triangle du feu:

Combustible – oxygène – énergie d'activation (énergie d'inflammation)

Dès que l'inflammation s'est faite, le processus continue sous forme de réaction en chaîne. Si l'on réussit à interrompre la chaîne, le feu est éteint. Toute lutte contre l'incendie est basée sur ce principe. Les moyens d'y arriver vous seront exposés par MM. Meyer et Thalmann.

Pour un combustible déterminé, quelle énergie d'inflammation est nécessaire? Pour les corps solides, il n'est pas possible de citer des valeurs précises étant donné que le degré de la combinaison avec l'oxygène est déterminant et qu'au paravant la matière doit être gazéifiée. Lors de l'inflammation de 1 m³ de bois, l'énergie varie largement suivant qu'il s'agit de bois façonné (poutres, etc.) ou de copeaux ou sciure. En cas d'inflammation ralentie, il s'y ajoute l'effet refroidissant de l'air ambiant ou de l'air de combustion. Lors d'essais, nous avons mesuré pour de la ouate 100 Ws environ, pour du bois sec 2400 Ws. La même observation est valable pour les liquides, car eux aussi doivent être évaporés au préalable. Ce ne sont que ces vapeurs qui peuvent être enflammées. Pour l'acétone par exemple 1,15 m Ws sont nécessaires. Pour les gaz inflammables, des valeurs précises se trouvent dans la documentation en la matière. L'énergie d'inflammation de l'acétylène et de l'hydrogène par exemple est de 0,02 m Ws.

L'énergie d'inflammation peut être amenée par l'extérieur de façon connue par radiation, convection ou conduction de chaleur. Mais elle peut aussi être fournie à l'intérieur du combustible par une réaction exothermique: l'autocombustion. Les matériaux sujets à l'autocombustion sont de faible stabilité chimique déjà à la température ambiante, favorisant ainsi une oxydation lente. Il peut s'agir de phénomènes biologiques comme par exemple dans le cas du foin ou d'autres matériaux végétaux. Dans d'autres cas, la présence d'un catalypte est nécessaire. Celui-ci réduit l'énergie d'activation. Reprenant notre exemple de la maison-tour, ceci reviendrait à baisser l'accoudoir. Il est alors plus facile d'y passer la bille. Parfois le catalypte fait disparaître complètement l'accoudoir. Un exemple bien connu est l'autocombustion du coton (étoupes, chiffons) lorsqu'il est imbibé d'huile de lin ou d'autres huiles contenant des acides non saturés. A la température ambiante, les huiles qui ne sèchent pas ne représentent pas de danger (huiles d'olive, huiles minérales). Néanmoins à des températures élevées, ces huiles peuvent également provoquer une autocombustion, comme ce fut le cas à la centrale nucléaire de Mühlberg en 1971. Mais dans un tel cas, il ne s'agit plus d'une autocombustion proprement dite.

ding. Dazu neigen Stoffe, die bereits bei Zimmertemperatur chemisch wenig stabil sind, so dass eine langsame Oxydation einsetzen kann. Abgesehen von biologischen Vorgängen (Selbstentzündung von Heu und anderen pflanzlichen Stoffen), ist hier die Anwesenheit eines Katalysators wesentlich. Dieser bewirkt eine Herabsetzung der Aktivierungsenergie, etwa so, wie wenn im vorigen Beispiel die Fensterbrüstung im Hochhaus tiefer gesetzt würde. Die Kugel kann viel leichter darüber gehoben werden. Manchmal bringt der Katalysator die Fensterbrüstung überhaupt zum Verschwinden. Das bekannteste Beispiel einer Selbstentzündung ist diejenige von Baumwolle (Putzfäden, Putzlappen), die mit Leinöl oder andern Ölen, die ungesättigte Fettsäuren enthalten, getränkt ist. Nichttrocknende Öle wie Olivenöl, Mineralöl sind bei Zimmertemperatur ungefährlich. Bei höheren Temperaturen können aber auch diese Öle zur Selbstentzündung gelangen, wie das Beispiel des Brandes im Kernkraftwerk Mühleberg 1971 gezeigt hat. In diesem Fall kann man aber nicht mehr von reiner Selbstentzündung sprechen.

Weniger bekannt ist vielleicht die Selbstentzündungsneigung ungesättigter Polyesterharze, die z. B. mit Glasfasern zusammen Verbundwerkstoffe ergeben, wie sie im Schiffs- und Fahrzeugbau verwendet werden. Durch Zusetzen von organischen Peroxyden und eventuellen Beschleunigern härtet der Stoff unter Wärmeentwicklung aus. Unter bestimmten Voraussetzungen wie Wärmestauung kann dabei die Zündtemperatur erreicht werden. Die Glasfasern erhöhen dabei die Brandneigung, weil sie wie Kerzendochte die Verbrennung fördern.

Wir haben an den erwähnten Beispielen gesehen, dass Brände bereits bei Zimmertemperatur ohne weitere äussere Energiezufuhr zustande kommen können. Welche Rolle spielt denn nun eigentlich die Einwirktemperatur ganz allgemein? Grob gesagt bewirkt ihr Ansteigen eine Beschleunigung des Oxydationsvorgangs: Die Reaktionsgeschwindigkeit verdoppelt sich bei einer Temperaturzunahme von 10 °C. Der noch aufzubringende Betrag von Aktivierungsenergie nimmt also, anders gesagt, mit zunehmender Temperatur ab. Dies ist der Grund für die allgemein bekannte Erscheinung, dass ein Brand bei höherer Temperatur leichter entstehen kann. Andererseits gelingt es nicht, in den Polargebieten Streichhölzer zu entzünden. Der Kopf verbrennt zwar, aber das Holz entflammt sich nicht.

Es ist nun nötig, dass ich Sie mit weiteren Brandkenngrössen vertraut mache, die bei der Zündung eine Rolle spielen. Es handelt sich um Flamm-, Brenn- und Zündpunkt. Der Flammpunkt ist eine Kenngrösse von brennbaren Flüssigkeiten und ist diejenige Temperatur, welche die Flüssigkeit erreichen muss, damit oberhalb derselben genügend Dämpfe entstehen, die mit einer Flamme oder einem elektrischen Lichtbogen gezündet werden können. Anders gesagt: Der Dampfdruck der Flüssigkeit muss soweit ansteigen, dass die untere Zündgrenze überschritten wird. Es kann vorkommen, dass nach erfolgter Zündung Erlöschen eintritt, weil die Temperatur nicht ausreicht, um fortlaufend Dämpfe in genügender Menge zu bilden. Der Brennpunkt ist diejenige Temperatur einer Flüssigkeit, bei der – anders als beim Flammpunkt – genügend Dämpfe gebildet werden, damit das bereits entzündete Dampf-Luft-Gemisch selbständig weiterbrennt. Er liegt also etwas oberhalb des Flammpunkts. Der

Moins connue est certainement la tendance à l'autocombustion des résines aux polyesters non saturés telles qu'elles sont employées (armées de fibres de verre) dans la construction de carrosseries et de bateaux. En dégageant de la chaleur, la résine se durcit en y ajoutant des peroxydes organiques et d'éventuels accélérateurs. La température d'inflammation peut être alors atteinte sous certaines conditions comme par exemple une accumulation de chaleur. Les fibres de verre facilitent l'inflammation à cause de leur effet de mèche.

Nous venons de constater qu'à la température ambiante déjà des incendies peuvent commencer sans apport d'énergie extérieur. Quel est le rôle de la température de manière générale? En principe, son augmentation accélère l'oxydation. En d'autres termes, l'énergie d'activation diminue lorsque la température augmente. Ainsi s'explique le fait bien connu qu'un incendie peut débuter plus facilement à des températures élevées. En revanche, à cause des températures particulièrement basses des régions polaires, il n'est même pas possible d'enflammer une allumette. Malgré l'inflammation du soufre, le bois de l'allumette ne prend pas feu.

Il est d'autres facteurs influençant l'inflammation. Il s'agit des points d'éclair, de combustion et d'auto-ignition. Le point d'éclair est la température d'un liquide à laquelle des vapeurs sont dégagées en quantité suffisante pour être enflammées par une flamme ou un arc électrique. En d'autres termes, la pression de la vapeur doit être supérieure à la limite d'allumage inférieure. Il peut arriver qu'à cette température, la flamme s'éteint à défaut de vapeurs en quantité suffisante. Le point de combustion en revanche est la température d'un liquide à laquelle des vapeurs sont produites en plus grande quantité de sorte que le mélange de vapeurs et d'air continue de brûler après l'inflammation et ceci sans apport d'énergie. Par conséquent le point de combustion est légèrement supérieur au point d'éclair. Le point d'auto-ignition est la température d'un matériau solide, liquide ou gazeux à laquelle des vapeurs ou gaz s'enflamment sans source d'allumage externe. Il est donc nécessaire de porter la température artificiellement à la valeur voulue en y apportant de l'énergie, ce qui n'est pas le cas pour l'autocombustion du fait que l'énergie est fournie dans ce cas par la réaction exothermique. Le point d'auto-ignition correspond à la «température d'inflammation» définie dans la publication N° 79-4 de la CEI. Le point d'auto-ignition des différents matériaux permet de les grouper dans les classes de température T1-T6 des nouvelles prescriptions de l'ASE pour le matériel antidéflagrant. Il est évident que ces températures sont nettement inférieures à celles qui sont atteintes lors de la combustion. Les températures atteintes par un incendie d'immeuble varient entre 1000 °C et 1500 °C. Elles peuvent être aisément déterminées après l'incendie à l'aide des points de fusion des métaux fondus par le feu.

Quels sont les matériaux pouvant servir de combustibles? En principe toute matière pouvant former des oxydes. Plus sa faculté d'en former est grande, plus facilement il s'enflammera. En réalité, la classification des matériaux telle qu'elle est par exemple contenue dans les directives pour les prescriptions sur la police du feu de l'Association des établissements cantonaux d'assurance contre l'incendie sert à juger l'inflammabilité d'un matériau déterminé:

Zündpunkt nun ist diejenige Temperatur eines festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffs, bei der eine Zündung der Gase oder Dämpfe ohne fremde Zündquelle eintritt. Von der Selbstentzündung unterscheidet sich dieser Vorgang dadurch, dass hier eine Zufuhr von Fremdenergie in Form einer künstlichen Temperaturerhöhung nötig ist, während dort eine solche infolge der inneren exothermen Reaktion im Stoff selbst dahinfällt.

Die Zündpunkte der verschiedenen Stoffe bilden die Grundlage für deren Einteilung in die Zündgruppen, wie sie beispielsweise in den SEV-Vorschriften für explosions-sicheres Material enthalten sind, wobei eine tieferliegende zulässige Sicherheits-Grenztemperatur zugrunde gelegt wird. Die genannten Temperaturen liegen alle wesentlich unter denjenigen, die dann bei der eigentlichen Verbrennung entstehen. Die bei Gebäudebränden praktisch erreichten Werte bewegen sich zwischen 1000 °C und 1500 °C, was sich besonders anhand der im Feuer geschmolzenen Metalle und deren Schmelzpunktes nachträglich feststellen lässt.

Welche Stoffe kommen praktisch als Brennstoff im weiteren Sinn in Frage? Allgemein gesprochen jeder Stoff, der die Fähigkeit hat, Oxyde zu bilden. Je leichter er dies tut, desto leichter brennt er auch. In der Brandschutzpraxis dient zur Beurteilung der Brennbarkeit die Klassierung der Stoffe, wie sie in der Wegleitung für Feuerpolizeivorschriften der Vereinigung kantonalschweizerischer Feuerversicherungsanstalten niedergelegt ist.

- I Explosionsgefährlich
- II Leichtentzündbar und rasch abbrennend
- III Leichtbrennbar
- IV Mittelbrennbar
- V Schwerbrennbar
- VI Nichtbrennbar

Danach ist leichtbrennbar ein Stoff, der mit einem Zündholz entflammt werden kann und selbständig und rasch weiterbrennt. Mittelbrennbar ist ein Stoff, wenn er nach seiner Entzündung ohne zusätzliche Energiezufuhr selbständig weiterbrennt. Als schwerbrennbar gelten Stoffe, die nur schwer entflammen und nur bei weiterer Wärmezufuhr langsam verkohlen. Nach Wegnehmen der Wärmequelle müssen etwaige Flammen sofort erlöschen und es darf kein längeres Nachglimmen auftreten. Schliesslich sind nichtbrennbar Stoffe, die nicht entflammt werden können und auch nicht verkohlen oder veraschen. Diese Klassen werden mit römischen Ziffern gekennzeichnet. Weiter wird auch die Qualmbildung in die Beurteilung einbezogen, was dann zu Brennbarkeitsziffern nach folgenden Beispielen führt.

Tannenholz	IV. 3
Spanplatten	IV. 3
Mineralisierte Holzwolle	V. 3
Epoxydharz	IV. 1
Celluloid	II. 2
Polyäthylen PE	III. 3
Hart-PVC	V. 2
Weich-PVC	IV. 2
Polystyrol PS	III. 1
Polyurethan PUR	III. 2-V. 2

Die Prüfung selbst wird in der Schweiz durch die EMPA, Dübendorf, durchgeführt, die bei der Ausarbeitung der Prüfbestimmungen mitwirkte.

Im allgemeinen nicht brennbar sind die anorganischen Stoffe, also alle chemischen Elemente und deren Verbindun-

- I Explosifs
- II Matières s'enflammant facilement et se consumant rapidement
- III Matières facilement combustibles
- IV Matières moyennement combustibles
- V Matières difficilement combustibles
- VI Matières incombustibles

Ainsi, un matériau est considéré facilement combustible lorsqu'il prend feu à la flamme d'une allumette dans l'air atmosphérique et qu'il se consume rapidement sans apport d'énergie supplémentaire. Moyennement combustible est un matériau qui continue de brûler sans apport d'énergie supplémentaire après son inflammation dans l'air atmosphérique. Difficilement combustible est un matériau qui ne s'enflamme qu'avec peine et qui ne se consume lentement que sous l'apport d'énergie supplémentaire. Dès que la source d'énergie disparaît, la flamme doit s'éteindre aussitôt et le feu cesser de couvrir. Incombustible finalement est un matériau qui ne peut être ni enflammé ni carbonisé ou réduit en cendres. Ces classes sont caractérisées par des chiffres romains. La classification tient compte également de la production de fumée et on arrive à des indices comme par exemple

Sapin	IV.3
Bois aggloméré	IV.3
Laine de bois minéralisée	V.3
Résines époxydes	IV.1
Celluloïde	II.2
Polyéthylène PE	III.3
Polychlorure de vinyle, dur PVC	V.2
Polychlorure de vinyle, mou PVC	IV.2
Polystyrolène PS	III.1
Poly-uréthane PUR	III.2-V.2

En Suisse, les matériaux sont essayés en vue de leur classification par la station fédérale d'essais de matériaux (EMPA) Dübendorf.

Les matériaux anorganiques sont en général incombustibles. Il s'agit donc de tous les éléments chimiques et de leurs dérivés, exception faite de ceux du carbone avec l'hydrogène, l'oxygène, l'azote et quelques autres éléments. Il existe toutefois quelques éléments et liaisons anorganiques qui sont inflammables tels que l'hydrogène, le soufre, le phosphore et les métaux alcalins resp. leurs nitrates et chlorates. Cet état de choses est d'ailleurs bien connu par tout pyrotechnicien. Mais les matériaux organiques et plus spécialement certains dérivés du carbone sont beaucoup plus importants en matière d'incendie. Il s'agit surtout des hydrocarbures qui comprennent entre autres les synthétiques beaucoup utilisés de nos jours. La combustion des hydrocarbures se fait dans une réaction en chaîne en arrachant pas à pas les atomes d'hydrogène par l'oxygène. Les produits de la combustion peuvent réagir avec l'oxygène à leur tour ou reconstituer de nouvelles liaisons chimiques.

Le bois doit être traité séparément, car sa composition chimique et son inflammabilité sont très complexes. Le bois se compose de deux tiers de cellulose qui est en principe facilement combustible. Mais le bois est classé dans la catégorie IV.3. Jusqu'à des températures de 70 °C environ, le bois est desséché. La décomposition débute à des températures supérieures et il atteint progressivement l'état pyrophore. A cet état, la combustion spontanée a lieu. Par rapport aux constructions métalliques, le bois a l'avantage de garder ses qualités mécaniques jusqu'à des températures éle-

gen mit Ausnahme derjenigen des Kohlenstoffs mit Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und einigen weiteren Elementen. Einige Elemente und anorganische Verbindungen allerdings sind gut brennbar, wie z. B. Wasserstoff, Schwefel, Phosphor und die Alkalimetalle bzw. deren Nitrate und Chlorate, wie ja jeder Feuerwerker weiss. Einen viel wichtigeren Platz im Brandgeschehen nehmen aber die organischen Stoffe ein und hier speziell die Verbindungen mit Kohlenstoff. Von besonderer Bedeutung sind hier die Kohlenwasserstoffe, zu denen u. a. die heute viel verwendeten Kunststoffe gehören. Die Verbrennung der Kohlenwasserstoffe geschieht durch schrittweises Abspalten der Wasserstoffatome durch Sauerstoff in einer Kettenreaktion. Die Abbauprodukte können selber wieder mit Sauerstoff reagieren oder auch neue Verbindungen aufbauen.

Holz muss hier besonders erwähnt werden, weil sein chemischer Aufbau wie sein Brandverhalten komplex ist. Es besteht zu etwa zwei Dritteln aus Cellulose, die an sich leichtbrennbar ist. Holz selber hat die Kennziffer IV. 3. Bei Temperaturen bis etwa 70 °C wird das Holz lediglich ausgetrocknet. Bei höheren Temperaturen setzen die Abbauvorgänge ein, und es gerät langsam in einen pyrophoren Zustand, wo die Selbstentzündung eintritt. Gegenüber Metallen hat es aber den Vorteil, dass es seine Festigkeit und Tragfähigkeit bis zu höheren Temperaturen beibehält. Stahl beispielsweise verliert ja seine Festigkeit bereits bei etwa 500 °C. Für Holz liegt der entsprechende Wert bei etwa 700 °C. Natürlich hat sich bei dieser Temperatur das Holz bereits entzündet, weshalb die Festigkeit einer solchen Tragkonstruktion zeitlich begrenzt ist.

Für die Rettungsaktion im Brandfall kann dies aber seine Bedeutung haben. Durch Flammschutzbehandlung kann die Feuerwiderstandsfähigkeit von Holz verbessert werden. Nachteilig ist dabei nur die zeitlich begrenzte Wirksamkeit einer solchen Behandlung.

Für Ihre Belange wichtiger sind aber sicher die Kunststoffe. Einleitend ist dazu zu sagen, dass es heute noch praktisch keine Kunststoffe gibt, die im Sinne der vorher erwähnten Definition unbrennbar wären. Sie liegen also in den Klassen leicht- bis schwerbrennbar. Kunststoffe sind durch ihre grossen – also schweren – Moleküle gekennzeichnet, die aus kleineren Molekülen durch Polymerisation, Polykondensation oder Polyaddition gebildet werden. Bei der Verbrennung von Kunststoffen entsteht im allgemeinen in hohem Masse Qualm, der bei der Brandbekämpfung sehr hinderlich sein kann.

In dieser Kategorie seien zuerst die reinen Kohlenwasserstoffverbindungen genannt wie z. B. Polyäthylen PE, Polypropylen PP, Polystyrol PS sowie Natur- und Kunstkautschuk. Sie alle sind leichtbrennbar und können durch Zusätze heute bestenfalls mittelbrennbar gemacht werden. Nachteilig ist, dass bei Erwärmung des Stoffs diese Zusätze meist entweichen und die Brennbarkeit wieder ihren ursprünglichen Wert annimmt. Die Verwendung von Polyäthylen als Isoliermaterial im Kabelbau ist Ihnen sicher bekannt. Polystyrol wird wegen seiner Billigkeit leider häufig für Abdeckhauben im Relais- und Schützenbau verwendet.

Für die Elektrotechnik haben weiter die Kohlenwasserstoffe, die Sauerstoff enthalten wie z. B. Acrylglas, Polyester UP und PETP und Epoxydharze EP, Bedeutung. Normales

Acier par exemple perd sa résistance mécanique à partir d'environ 500 °C. La valeur équivalente pour le bois est de l'ordre de 700 °C. Il est évident qu'à cette température, le bois se sera déjà enflammé. La résistance mécanique d'une telle construction est donc limitée dans le temps. Mais cette propriété peut jouer un rôle primordial lors du sauvetage. On parvient à améliorer la résistance à la chaleur du bois par des traitements spéciaux. Malheureusement, ces traitements perdent leur efficacité au bout d'un certain temps.

Mais ce qui vous intéressera davantage, c'est le comportement des matériaux synthétiques. D'ores et déjà, il faut reconnaître qu'à l'heure actuelle il n'existe aucun synthétique qui soit incombustible dans le sens de la définition ci-dessus. Les synthétiques utilisés aujourd'hui se situent tous dans les classes facilement à difficilement combustibles. Les synthétiques sont caractérisés par les grandes molécules (qui sont donc lourdes) qu'on obtient de molécules plus petites par polymérisation, polycondensation ou polyaddition. Les synthétiques ont tendance à gêner la lutte contre l'incendie du fait qu'ils dégagent de la fumée en grande quantité lors de leur combustion.

Dans cette catégorie se classent les hydrocarbures purs tels que le polyéthylène PE, le polypropylène PP, le polystyrène PS et les caoutchoucs naturels et synthétiques. Il s'agit de matériaux facilement combustibles qu'on peut rendre moyennement combustibles à l'aide de certains additifs. Le polyéthylène est bien connu par les électriciens du fait de son utilisation comme isolant de câbles, etc.

Les hydrocarbures contenant de l'oxygène, tel que le verre organique (plexiglas), les polyesters et les résines époxydes sont aussi utilisés en électrotechnique. La résine aux polyesters normale est facilement combustible. A l'aide d'additifs on la rend moyennement combustible. Le plexiglas et la résine époxyde (employée p. ex. dans la construction de transformateurs d'intensité et de potentiel) sont moyennement combustibles. Le polycarbonate PC se comporte de façon semblable aux polyesters, mais s'enflamme en général moins facilement.

Les synthétiques contenant de l'azote n'ont pas une inflammabilité uniforme. Elle dépend de la présence d'azote pur ou de ses liaisons avec l'hydrogène et le carbone. Le synthétique le plus ancien, la nitrocellulose CN (celluloïde) appartient au premier groupe. Sa tendance à l'autocombustion est très connue par les incendies de cinémas causés par les films d'ancienne fabrication. De plus, la nitrocellulose s'enflamme très facilement. Le second groupe est connu sous le nom d'aminoplastiques (résines d'urées HF, résines de mélamine MF) qui sont employés pour la fabrication de plaques isolantes ou de produits injectés. Les aminoplastiques sont difficilement combustibles. Mais des produits de la même catégorie chimique, les polyamides PA (Nylon) et les polyuréthanes PUR (mousse synthétique) sont facilement combustibles.

Les hydrocarbures contenant un halogène sont très répandus. Généralement on se sert de chlore ou de fluore. Les halogènes freinent l'inflammabilité ce qui est utilisé dans la technique de la lutte contre les incendies. L'halogène sature les produits de combustion et interrompt la chaîne de réactions. Ainsi s'explique l'autoextinguibilité du PVC. Mais le PVC est sujet à une décomposition pyrolytique à partir

Polyester ist leichtbrennbar und kann durch Zusätze mittelbrennbar gemacht werden. Acrylglas und Epoxydharz, wie es im Giessharzwandlerbau verwendet wird, ist mittelbrennbar. Polycarbonate PC haben ein den Polyestern ähnliches Brandverhalten, sind aber meistens weniger gut entflamm- und brennbar.

Die Kunststoffe, die Stickstoff enthalten, zeigen unterschiedliches Brandverhalten, je nachdem ob reiner Stickstoff oder dessen Verbindungen mit Wasserstoff oder Kohlenstoff vorliegen. Die erstere Gruppe ist wohl der älteste Kunststoff überhaupt, nämlich die Nitrocellulose CN, als Celluloid bekannt. Dessen Neigung zur Selbstentzündung, wie die beim früher verwendeten Filmmaterial häufigen Kinobrände bezeugen, ist vielleicht weniger bekannt, dafür aber die ausserordentlich leichte Entflammbarkeit. Bei der zweiten Gruppe handelt es sich um die Aminoplaste (Harnstoffharze HF und Melaminharze MF) – in der Elektrotechnik für Beschichtungen oder Pressmassen verwendet – in der Klasse schwerbrennbar, die Polyamide PA wie Nylon und die Polyurethane PUR (als Schaumstoff oder Giessharz verwendet), die beide leichtbrennbar sind.

Einen grossen Anwendungsbereich haben ferner die halogenierten Kohlenwasserstoffverbindungen. Als Halogene werden meistens Chlor oder Fluor verwendet. Die Halogene wirken bremsend auf die Entzündlichkeit, was in der Löschtechnik ausgenützt wird. Das Halogen sättigt dabei die Abbauprodukte und unterbricht dadurch die Kettenreaktion. Daher rührt die selbstlöschende Eigenschaft z. B. von PVC. Allerdings entsteht bei höheren Temperaturen ab etwa 120 °C eine pyrolytische Zersetzung des PVC. Zudem erhöhen etwaige Weichmacher die Brennbarkeit, indem diese bei der Erhitzung verdampfen und sich an der Oberfläche des PVC entflammen. Auf diese Weise kann die weitere Verbrennung unterhalten werden. In der Elektrotechnik wird PVC bekanntlich vor allem als Isolationsmaterial für Niederspannungskabel verwendet, wobei Weichmacher zur

d'environ 120 °C. De plus, d'éventuels produits amollissants augmentent l'inflammabilité du fait qu'ils s'évaporent et s'enflamment à la surface du PVC en les chauffant. La combustion peut, de cette manière, se maintenir malgré la disparition de la source de chaleur. Le PVC contient 55 % poids de chlore. 1 kg PVC dégage avec le concours de la vapeur d'eau 1,2 kg d'acide chlorhydrique concentré qui cause les dégâts de corrosion bien connus. Mais un câble Tdc de 2,5 m de long et de $4 \times 16 \text{ mm}^2$ de section contient déjà 1 kg de PVC. Le PVC pur est difficilement combustible, le PVC mou, généralement utilisé pour la fabrication de feuilles, d'éponges, etc. est moyennement combustible. Le chlore peut être remplacé par le fluor. Ceci est le cas par exemple dans le tétrafluorure d'éthylène PTFE (Teflon). Le Teflon n'est pas inflammable et il ne se décompose thermiquement qu'à partir d'environ 300 °C et chimiquement à partir de 400 °C. Cependant, des gaz nocifs sont dégagés.

Pour comprendre le phénomène de l'incendie, il est encore essentiel de connaître l'énergie dégagée c'est-à-dire la puissance calorifique des matériaux en feu. Le tableau ci-après donne quelques valeurs à ce sujet:

Bois	4 000 kcal/kg	4,7 kWh/kg
Polyéthylène	11 000 kcal/kg	12,8 kWh/kg
PVC	4 000 kcal/kg	4,7 kWh/kg
Essence	11 000 kcal/kg	12,8 kWh/kg
Propane	12 000 kcal/kg	14 kWh/kg
Acétylène	12 000 kcal/kg	14 kWh/kg
Hydrogène	30 000 kcal/kg	35 kWh/kg

La puissance calorifique des combustibles rapportés à la surface d'un local ou bâtiment donne la charge de combustion en kcal/m² ou en faisant intervenir la puissance calorifique du bois (4000 kcal/kg) en kg de bois/m². Elle se compose de la charge immobile (matériaux combustibles du bâtiment), et de la charge mobile (mobilier). Elle est un des facteurs déterminant le risque d'incendie d'un immeuble. Les autres facteurs sont les dimensions et la destination du bâtiment, le nombre de personnes s'y trouvant simultanément, le

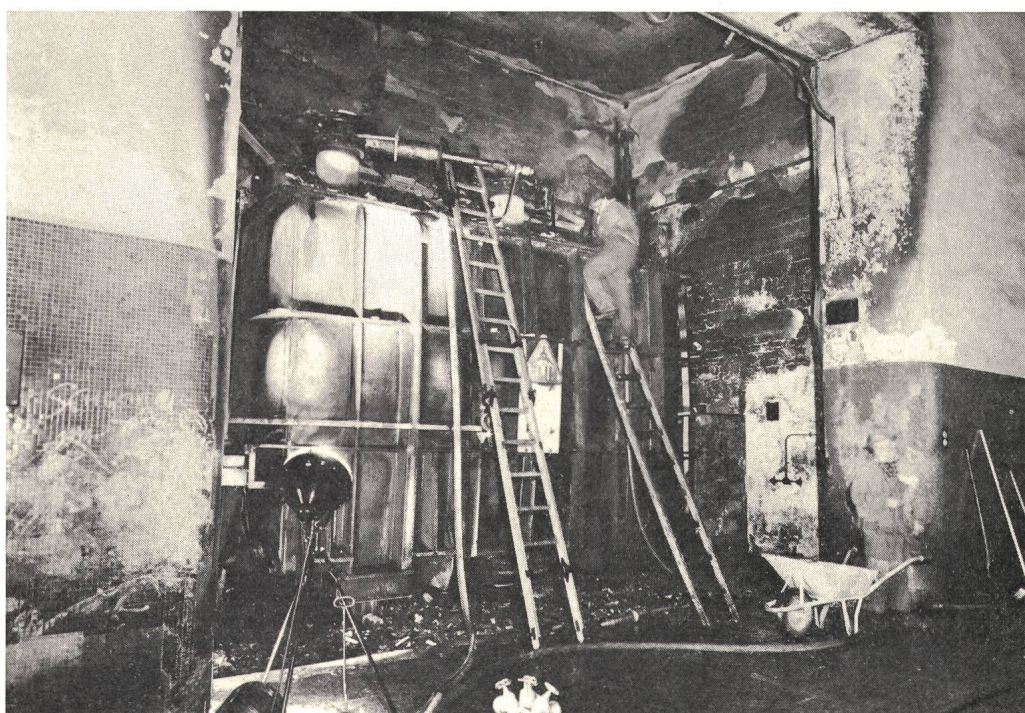
Fig. 1

Maschinentransformator in einem Grosskraftwerk

Der Transformator geriet bei einer Netzstörung in Brand und die Zellentüre wurde dabei aufgerissen. Die automatische CO₂-Löschanlage konnte deshalb nicht ihre volle Wirkung entwickeln und der Brand griff auf den Maschinensaal über.

Transformateur de machine dans une grande centrale de production

Lors d'une perturbation dans le réseau, le transformateur prit feu et la porte de la cellule fut défoncée. De ce fait, l'installation d'extinction automatique au CO₂ ne put fonctionner à plein rendement et l'incendie se communiqua à la salle des machines.



Erhaltung der Plastizität zugesetzt werden. Brände von PVC-Kabeln – meist infolge Fremdzündung – sind denn auch hauptsächlich in der Industrie, wo grössere Kabelanhäufungen vorkommen, wohl bekannt. Reines PVC enthält etwa 55 Gew.-% Chlor. Zusammen mit dem Wasserdampf entstehen dann aus 1 kg PVC 1,2 kg normale, konzentrierte Salzsäure. Diese Salzsäure verursacht dann nach Kondensation die bekannten Sekundärschäden infolge Korrosion. 1 kg PVC ist aber bereits in 2,5 m eines Tdc-Kabels von $4 \times 16 \text{ mm}^2$ Querschnitt enthalten.

PVC ist schwerbrennbar, das handelsübliche Weich-PVC für Folien, Schwämme usw. mittelbrennbar. Statt Chlor kann Fluor verwendet werden, wie es beim Tetrafluoräthylen PTFE (Teflon) der Fall ist. Dieses ist nicht entflammbar und zersetzt sich thermisch ab etwa $300 \text{ }^\circ\text{C}$. Der chemische Zerfall beginnt bei etwa $400 \text{ }^\circ\text{C}$. Dabei entstehen giftige Fluorverbindungen wie z. B. Fluorwasserstoff.

Für das Verständnis des Brandverlaufs ist neben dem Brandverhalten der beteiligten Stoffe noch wesentlich die Kenntnis der entstehenden Verbrennungswärme oder, anders gesagt, des Heizwerts. Hierüber gibt die Tabelle einigen Aufschluss:

Holz	4 000 kcal/kg	4,7 kWh/kg
Polyäthylen	11 000 kcal/kg	12,8 kWh/kg
PVC	4 000 kcal/kg	4,7 kWh/kg
Benzin	11 000 kcal/kg	12,8 kWh/kg
Propan	12 000 kcal/kg	14 kWh/kg
Acetylen	12 000 kcal/kg	14 kWh/kg
Wasserstoff	30 000 kcal/kg	35 kWh/kg

Die Verbrennungswärme der vorhandenen Stoffe, bezogen auf die Bodenfläche eines gegebenen Raums oder Gebäudes, ergibt die Brandbelastung in kcal/m^2 oder nach Umrechnung mit dem Heizwert von Holz in kg Holz/m^2 . Sie setzt sich zusammen aus derjenigen der verwendeten Baustoffe (immobile) und derjenigen des Mobiliars (mobile) und ist massgebender Faktor zur Beurteilung des Brandrisikos eines Objekts. Weitere solche Faktoren sind Grösse und Zweckbestimmung des Objekts, die Anzahl Personen, die sich im Gebäude gleichzeitig aufhalten, die Aktivierungsfahr durch technische Anlagen, die Brennbarkeit der verwendeten Baustoffe und eingelagerten oder verarbeiteten Materialien und schliesslich die Verqualmungsgefahr. All diese Faktoren bilden zusammen die potentielle Gefährdung. Ausgehend von grundlegenden Arbeiten von dipl. Ing. M. Gretener, Leiter des BVD, hat mit seiner Mitwirkung die schon genannte Vereinigung eine Berechnungsmethode für das Brandrisiko entwickelt, welche die genannten Faktoren berücksichtigt. Natürlich ist bei dieser Methode notgedrungenweise viel Empirie beteiligt, aber sie gestattet, die potentielle Gefährdung verschiedener, aber nach denselben Kriterien beurteilter Gebäude zahlenmässig miteinander zu vergleichen. Sie erlaubt auch, im Einzelfall oder generell für eine Gebäudeklasse die sich aufdrängenden Brandschutzmassnahmen festzulegen, um das Brandrisiko auf ein verantwortbares Mass zu reduzieren. Leitidee ist dabei, dass jede Erhöhung der potentiellen Gefährdung beispielsweise durch weniger feuerresistente Bauweise (unverkleidete Stahlkonstruktion), fehlende Brandabschnittbildung, grössere Brandbelastung usw. durch entsprechende zusätzliche Schutzmassnahmen wie z. B. automatische Lösch- und Feuermeldeanlagen kompensiert werden soll. Für die Versicherer ergibt sich

danger d'activation par les installations techniques, l'inflammabilité des matériaux de construction et des matériaux emmagasinés ou usinés et le danger de fumée. M. Gretener, directeur du SPI a élaboré les bases d'une appréciation méthodique de ce risque d'incendie et avec sa collaboration, l'Association déjà mentionnée vient de mettre au point une méthode d'application simple. Il est évident que cette méthode fait usage de beaucoup d'empirisme, mais elle permet néanmoins de comparer quantitativement des bâtiments taxés selon les mêmes critères. Elle permet ainsi de fixer les mesures préventives pour certaines classes de bâtiments, afin de réduire le risque d'incendie. L'idée de manœuvre est que toute augmentation du risque (p. ex. construction à faible résistance à la chaleur, compartimentage insuffisant, charge de combustion excessive) doit être compensée par des mesures préventives telles que les installations de prédétection ou d'extinction automatique. De plus, les assurances ont la possibilité de fixer leurs primes en fonction de ce risque et de récompenser des mesures prises de plein gré par l'assuré. Depuis une année environ, notre assurance applique ce principe avec des résultats réjouissants.

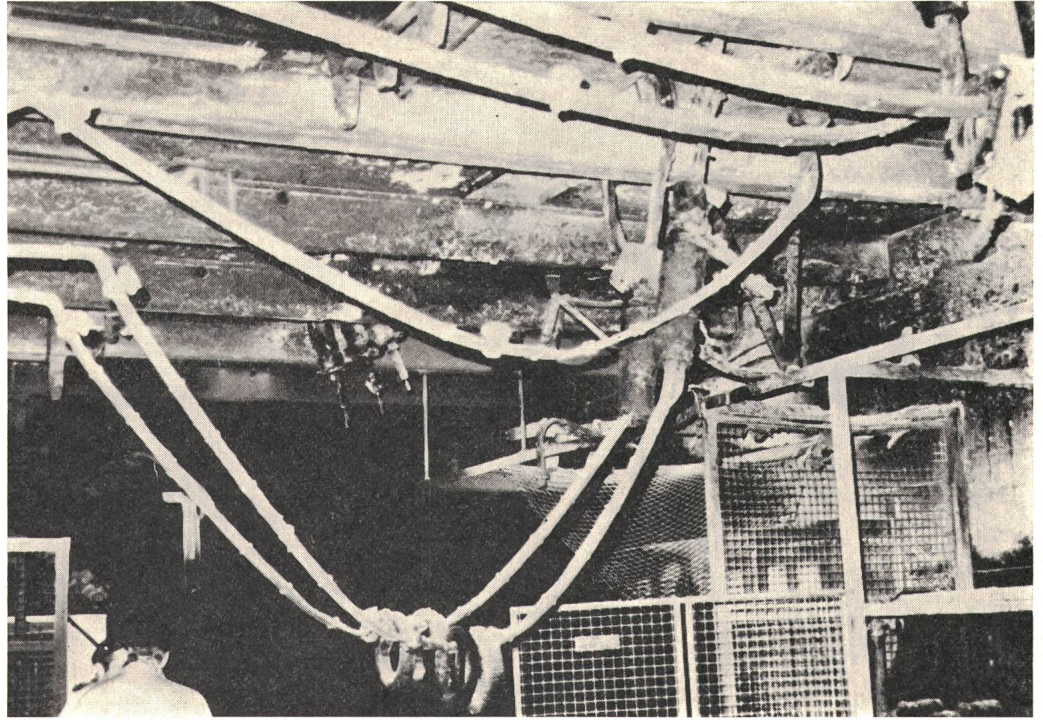
Reprenons les phénomènes physiques d'un incendie. Nous venons de voir que de la chaleur est dégagée lors d'un incendie. Dans le bilan d'énergie d'un incendie, 10 % environ sont nécessaires au maintien de la combustion. Le reste est dégagé selon les règles de la thermodynamique. La convection s'en charge en majeure partie par le fort courant de gaz de combustion. De ce fait, la pression augmente dans les locaux fermés et atteint 2 atm par exemple pour un échauffement de $600 \text{ }^\circ\text{C}$. Cela suffit amplement pour défoncer fenêtres, portes, toitures légères. Au stade initial, la température au plafond ne dépasse guère 300 à $400 \text{ }^\circ\text{C}$. Au bout d'un certain temps, elle saute à $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Ce phénomène est connu sous le nom de «overflash». Il est dû à l'inflammation soudaine des gaz de combustion. Une partie de l'énergie produite est dissipée par radiation. Celle-ci augmente avec la 4^e puissance de la température. Si par exemple la température double, l'intensité de radiation sera 16 fois plus grande. D'autre part, la radiation spécifique diminue avec le carré de la distance. Il est encore d'autres phénomènes par la combustion qui seront traités par M. Thalmann.

Parlons maintenant des causes d'incendies. Il faut reconnaître que l'homme dans ses différentes activités cause la plupart des incendies et ceci en général par mégarde, imprudence, négligence. La prévention d'incendie est par conséquent surtout un problème d'éducation. Si nous faisons passer en revue les causes plutôt techniques, nous constatons qu'au fond tout processus engendrant de la chaleur entre en ligne de compte. Bien entendu, il s'agira tantôt de chaleur utile, tantôt de pertes. Dans le cas de la chaleur utile, l'incendie sera précédé généralement d'une défaillance d'organes de commande, de surveillance, de sécurité. Et là, trop souvent les constructeurs oublient la règle triviale qu'une chaîne est aussi solide que son maillon le plus faible. Il est donc absurde de brancher par exemple 2 voire 3 ou 4 thermostats en série pour augmenter la sécurité, si l'on se fie au bon fonctionnement du seul et unique contacteur et si la défaillance du 1^{er} thermostat n'est pas signalée.

Les pertes de chaleur peuvent être causées mécaniquement par frottement ou électriquement (pertes dans les conduc-

Fig. 2
Folgen eines
Lichtbogen-Kurzschlusses
in der Schaltanlage
eines Kraftwerkes

Distribution détruite
par un arc de court-circuit
dans une centrale



weiter die Möglichkeit, das so ermittelte Brandrisiko der Prämienfestsetzung zugrunde zu legen und damit freiwillige Schutzmassnahmen zu honorieren.

Die bei der bernischen Gebäudeversicherung in Deckung befindlichen Gebäude beispielsweise werden heute nach dieser Methode beurteilt.

Nach diesem kleinen Exkurs kehren wir nochmals zurück zur Physik des Brandgeschehens. Wir haben gesehen, dass bei einem Brand Verbrennungswärme abgegeben wird. In der Energiebilanz eines Brandes werden etwa 10 % davon benötigt, um den Brand weiter zu unterhalten. Der Rest wird nach den bekannten Gesetzen der Thermodynamik an die Umgebung abgeführt. Den grössten Anteil daran hat die Konvektion durch den heissen Strom der Brandgase. In geschlossenen Räumen steigt dadurch der Druck auf hohe Werte, für eine Temperaturdifferenz von beispielsweise 600 °C auf etwa 2 atü. Das genügt, um Fenster und Türen aufzudrücken oder leichte Dächer abzuheben. Im Anfangsstadium bleibt die Temperatur an der Raumdecke während einer gewissen Zeit bei 300 bis 400 °C stehen. Anschliessend erfolgt ein rascher Anstieg auf etwa 1000 °C, der als Feuersprung bekannt ist. Er ist auf eine explosionsartige Entzündung der Brandgas-Luft-Gemische zurückzuführen. Ein Teil der Brandhitze wird auch durch Strahlung abgeführt. Sie steigt mit der 4. Potenz der Temperatur. Eine Temperaturverdoppelung erhöht also die Strahlungsintensität auf das 16fache. Andererseits verringert sich die Strahlungsdichte im Quadrat des Abstands vom Ausgangspunkt. Weitere Folgeerscheinungen des Brandes, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, sind die Rauch- und Aerosolbildung, Ionisationserscheinungen u. a. Auf einige davon wird Herr Thalmann in seinem Referat näher eingehen.

Wir kommen nun zu den Brandursachen. Generell lässt sich sagen, dass der Mensch selber am meisten Brände verursacht, meist infolge von Unachtsamkeit, Unüberlegtheit usw. Brandverhütung ist somit auch und vor allem eine erzieheri-

teurs, récepteurs d'énergie de toute sorte donc aussi les relais, transformateurs, etc.). Très souvent, la vraie cause du sinistre est alors une accumulation de chaleur c'est-à-dire un manque de refroidissement. Cela arrive par exemple lors de surcharges dans les concentrations de câbles, à la suite d'une accumulation de poussière sur des récepteurs d'énergie ou en cas de dérangement des circuits réfrigérants de machines tournantes, transformateurs, stations de couplage ou de commande. Les incendies causés de cette façon ne sont pas spécifiques aux usines de production ou de distribution d'électricité. Il en est d'autres causes qui le sont. Me bornant à la partie haute tension, je citerai les arcs de court-circuit et de perte à la terre dans les distributions. Ces arcs peuvent être amorcés par des surtensions ou être consécutifs à des défauts d'isolateurs ou des fausses manœuvres. Grâce à sa température et son énergie spécifique excessivement élevées, l'arc parvient même à enflammer des matériaux combustibles éloignés. Parfois, ce genre de dérangement est causé involontairement par des animaux s'introduisant dans les stations de couplage. Etant donné les grandes distances d'isolement nécessaires dans les installations à très haute tension, ce phénomène concerne surtout les stations à moyenne tension.

Les appareils, dans lesquels se produisent des arcs dans un bain d'huile (intentionnellement p. ex. dans les disjoncteurs à huile, involontairement parfois dans les transformateurs) courent un risque élevé du fait que les gaz produits par l'arc contiennent jusqu'à 60 % d'acétylène. Dans ces conditions, la pression monte souvent si vite que la carcasse de l'appareil s'éventre. Les gaz chauds gagnant l'air libre peuvent exploser au contact de l'air et l'huile s'écoulant de l'appareil peut alors s'enflammer. Ce genre de dégâts fut bien connu du temps des disjoncteurs à huile classiques. Les constructions modernes à volume d'huile de plus en plus réduit l'ont fait presque disparaître. Toutefois, l'hiver passé encore j'ai dû m'occuper d'un cas de ce genre. Mais la cause primitive ne fut pas une construction insuffisante mais tout bonnement le fait que la

sche Angelegenheit. Doch heute wollen wir uns kurz den mehr technischen Brandursachen zuwenden. Grundsätzlich kommt dafür jeder Vorgang in Frage, bei dem Wärme entsteht, sei es als Nutz- oder Verlustwärme. Wird Nutzwärme zur Brandursache, so geht meist eine Störung im Prozessablauf, beispielsweise durch Versagen von Steuer- oder Schutzeinrichtungen oder – bei Hochtemperaturöfen – Durchbruch der Chamottierung, voraus. Bei der Auslegung einer Anlage wird vielfach leider die altbekannte Regel von der Kette vergessen, die so stark ist, wie ihr schwächstes Glied. Es ist z. B. widersinnig, zur bessern Sicherheit zwei oder drei (manchmal sogar vier!) Thermostate in Serie in einen Steuerkreis zu legen, wenn man sich allein auf das ordnungsgemäße Funktionieren des einzigen Schaltschützen verlässt oder nicht zumindest das Nichtfunktionieren des 1. Thermostaten signalisiert. Verlustwärme kann mechanisch (durch Reibung) oder elektrisch (Stromwärme in Leitungen, Verluste in Energieverbrauchern aller Art, also auch Relais, Wandler, Transformatoren) erzeugt werden. In diesen Fällen ist vielfach eine Wärmestauung die eigentliche Brandursache, also fehlende Kühlung.

Dies kann beispielsweise bei Kabelanhäufungen anlässlich von Überlastungen vorkommen, durch Staubansammlung auf Energieverbrauchern oder durch Störungen im Kühlkreislauf von Maschinen und Transformatoren, aber auch Schalt- und Steueranlagen. Neben diesen und weiteren, in jedem Industriebetrieb anzutreffenden Brandursachen, gibt es einige, die vor allem dem Kraftwerkbetrieb spezifisch sind. Dabei möchte ich mich auf den Hochspannungsteil beschränken. Da wären einmal Erd- und Kurzschlusslichtbogenbildungen an Schalt- und Verteilanlagen zu nennen, die bei Isolatorendefekten durch Überspannungen oder durch Fehlschaltungen vorkommen können. Durch die hohe Energiedichte und Temperatur des Lichtbogens können auch weiter entfernte brennbare Stoffe gezündet werden. Gelegentlich lösen auch Tiere, die in die Anlage geraten, unfreiwilligerweise solche Erscheinungen aus, wobei allerdings meist nur Mittelspannungsanlagen betroffen werden, weil die Phasen- und Erdabstände bei höheren Spannungen zu gross sind. Geräte, die Öl enthalten, sind dann besonders gefährdet, wenn unter Öl Lichtbögen entstehen, weil die dabei entwickelten Gase bis zu 60 % Acetylen enthalten. Damit ist eine starke und plötzliche Drucksteigerung verbunden, die zur physikalischen Explosion des Gerätegehäuses führen kann. Die ins Freie gelangenden Gase können mit Luft zusammen explodieren, so dass sich das ausfliessende Öl entzündet. Bei den früheren Kessel-Ölschaltern, in denen ja betriebsmässig Lichtbögen entstehen, waren solche Schäden nicht selten. Die fortschreitende Reduzierung des Ölgehalts und konstruktive Verbesserungen bei den heutigen ölarmen Schaltern haben diese Brände fast zum Verschwinden gebracht. Immerhin musste ich mich kürzlich wieder mit einem solchen Fall befassen. Die eigentliche Ursache der Zerstörung des betreffenden ölarmen Mittelspannungsschalters war allerdings nicht konstruktiver Art, sondern lag einfach darin, dass sein Schaltvermögen der durch fortwährende Netzverstärkungen angewachsenen Kurzschlussleistung nicht mehr gewachsen war und leider unterlassen wurde, ihn gegen einen leistungsfähigeren Schalter auszuwechseln. Nachdem Lichtbögen auch in Transformatoren auftreten können – allerdings als Folge von

puissance de coupure du disjoncteur avait été dépassée largement par l'augmentation de la puissance de court-circuit découlant du renforcement et de l'agrandissement du réseau concerné. A bon entendeur salut! Actuellement, dans le secteur des transformateurs, ce genre de dégât est également rare, même en ce qui concerne les nombreux transformateurs de réseaux locaux ne possédant en général aucun dispositif de protection adéquat.

Par contre s'il y a un genre d'appareils souvent endommagés, c'est bien la catégorie des transformateurs de mesure pour moyenne tension. Ces appareils possèdent généralement une isolation en résine qui s'enflamme parfois à la suite de courts-circuits entre spires causés par des surtensions atmosphériques ou autres. Ces courts-circuits provoquent une surcharge et de ce fait évidemment une surchauffe de l'appareil. Pourtant il existe un remède simple qui éviterait dans bien des cas ce genre de dégât: Brancher une résistance dans le circuit secondaire des transformateurs de potentiel afin de les exploiter continuellement sous charge nominale en respectant bien entendu les tolérances de mesure. Les parafoudres ne supportent souvent pas les surtensions à fréquence industrielle et n'arrivent pas à interrompre le courant de perte à la terre après l'amorçage. Il ne faut pas s'étonner qu'en pareil cas, l'appareil soit détruit par surcharge thermique. Il existe encore d'autres causes de sinistres particulières à votre industrie, mais elles émanent en général de vices de construction, de conception ou de montage et cette remarque nous ramène au point de départ de notre petit tour d'horizon. Disons peut-être encore que très souvent, le sinistre est dû à l'enchaînement de plusieurs phénomènes qui ne pourraient jamais causer un dégât isolément. Malheureusement, un tel enchaînement est souvent favorisé voire provoqué par la disposition de l'installation.

Passons à la prévention d'incendie qu'il faut considérer dans vos usines sous deux angles de vue:

– La technique de la sécurité électrique tendant à réduire le plus possible l'énergie transformée à l'endroit du défaut. Ce domaine vous est très familier et je me passe de m'étendre là-dessus.

– La prévention contre le feu dans la construction des bâtiments. Elle a pour but de circonscrire le plus possible d'éventuels incendies par une construction appropriée des locaux et bâtiments.

Le but à atteindre dessine déjà la voie à suivre. Les matériaux de construction et d'isolation résisteront aussi bien que possible à la chaleur (revêtement ignifuge de constructions métalliques). D'autre part, on tâchera de former des compartiments coupe-feu horizontaux et verticaux empêchant feu et fumée de se communiquer à d'autres parties du bâtiments. N'est considéré compartiment coupe-feu qu'un local qui est séparé des autres locaux par des parois, plafonds et fonds d'une résistance minimale F 90. La résistance des fermetures (portes, canaux, fenêtres) n'y sera inférieure que de 2 classes, c'est-à-dire en général T 30. Ces chiffres indiquent en minutes la durée pendant laquelle la construction peut entraver la propagation du feu. La résistance F 90 par exemple est obtenue par une paroi en briques de 12 cm ou un mur en béton de 8 cm. Dans la classe T 30 figurent les portes en bois agglomérées de 4 cm à condition qu'elles soient encadrées de bois dur. Les portes en tôle simple ne se prêtent pas à cette

innern oder äusseren Störungen –, muss mit entsprechenden Schäden auch hier gerechnet werden. Sie sind allerdings heute sehr selten, auch bei den mit wenig Schutzaufwand betriebenen Ortsnetztransformatoren.

Eine relativ häufige Schadenquelle sind dagegen die Spannungswandler im Mittelspannungsbereich, die heute ja meist

fin étant donné qu'elles se déforment fortement sous l'effet de la chaleur. La résistance à la chaleur des parties de construction est déterminée par la station fédérale d'essais de matériaux à Dübendorf. Pour rendre les compartiments coupe-feu efficaces, il est indispensable d'obstruer c'est-à-dire de cloisonner les passages de câbles, conduites, etc. par

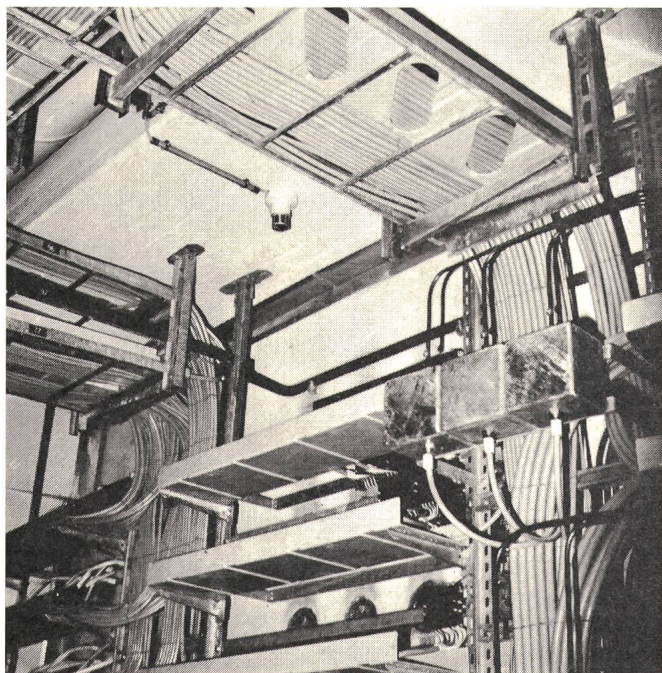


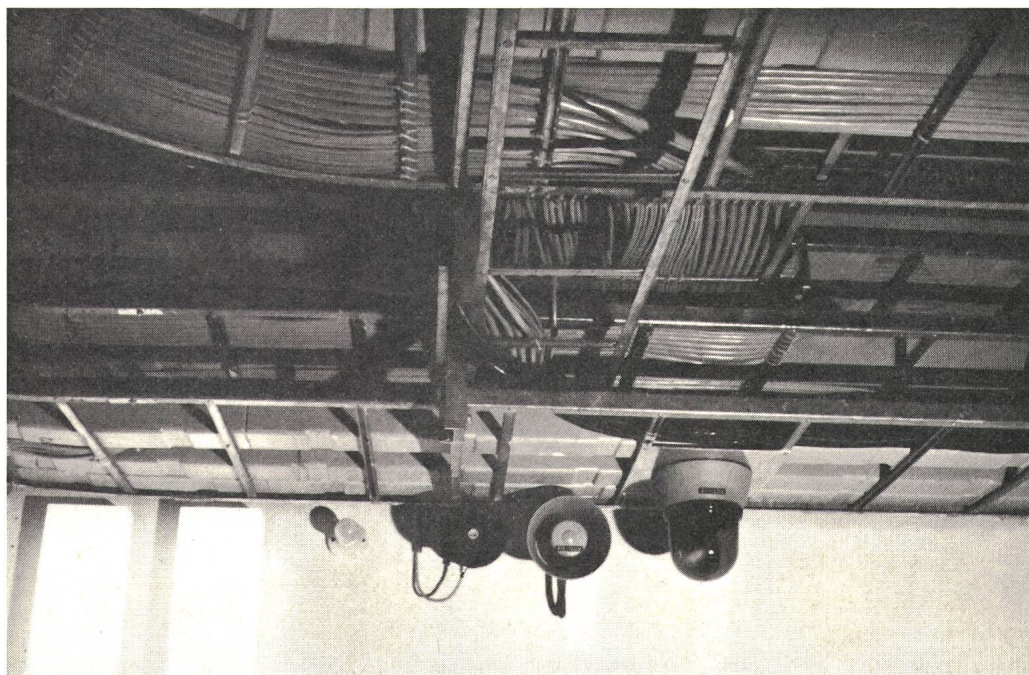
Fig. 3, 4, 5:

Kabelpritschen in einem Kraftwerk

Die Kabelanhäufung weist auf die grosse örtliche Brandbelastung hin. Eine feuersichere Trennung der Energie- von den Steuerkabeln und eine weitgehende Schottung sind hier anzustreben. Zur Überwachung der einzelnen Abschnitte sollten automatische Feuermelder – wie in den Abbildungen sichtbar – vorgesehen werden.

Câbles posés sur tablettes dans une centrale électrique

Les concentrations de câbles témoignent de la charge de combustion élevée à ces endroits. En pareil cas, on tâchera de séparer le plus possible les câbles de commande et de cloisonner le canal de câbles. Les compartiments seront surveillés par des détecteurs automatiques dans les photos.



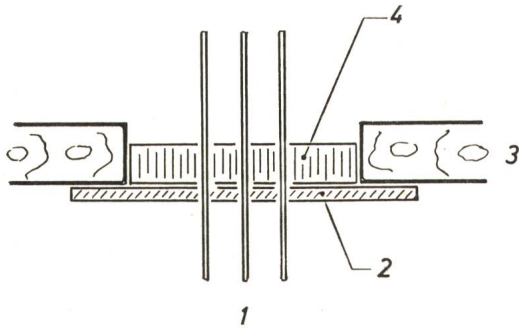


Fig. 6

Beispiel eines Deckenschotts

- 1 Kabel 3 Decke
2 Stützschalung 4 Dämmstoff

Abmessung:
Dämmstoff Stützschalung
Vermiculit-Gips Novopan 13 mm
oder -Beton 12 cm oder Pical 10 mm
Mineralwolle Pical 10 mm
10-15 cm Novopan 13 mm
Spritzasbest 12 cm oder Pical 10 mm
Die Abmessungen berücksichtigen die Erschwerung durch leichtbrennbare Kabel-Isolierstoffe (PE). Vermiculit ist ein Glimmer-Mineralstoff und in expandierter Form als Schüttmaterial oder als Beton- oder Gipskörnung erhältlich.

Traversée de plafond

- 1 câbles 3 plafond
2 coffrage 4 isolant

dimensions:
isolant: coffrage:
Plâtre ou béton à la Novopan 13 mm
Vermiculite 12 cm ou Pical 10 mm
Laine minérale Pical 10 mm
10-15 cm
Enduit (Spray) Novopan 13 mm
d'amiante ou Pical 10 mm
Les dimensions tiennent compte des entraves dues aux isolants facilement combustibles (PE). La Vermiculite est un produit minéral soufflé à base de mica qui s'obtient sous forme granuleuse ou poudreuse.

Fig. 7

Beispiel eines Kabelschotts mit Schottkasten

- 1 Schottwand F 90
2 Vergussmasse E 292
3 Dämm-Masse E 201
4 Fe-Schottkasten 25 cm lang

Die Massen E 201 und E 292 sind Produkte der AEG Isolier- und Kunststoff GmbH Kassel-Bettenhausen.

Cloison à caisson

- 1 cloison F 90
2 résine à coules E 292
3 mastic E 201
4 caisse en fer, 25 cm de long

Les mastics E 201 et E 292 sont fabriqués par «AEG Isolier- und Kunststoff GmbH» Kassel-Bettenhausen.

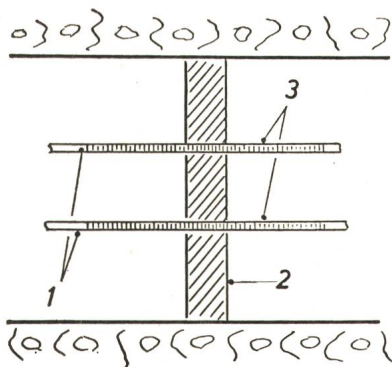
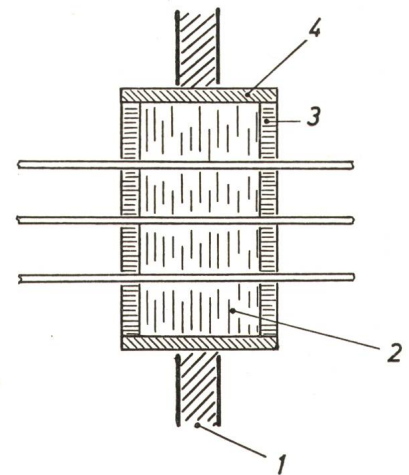


Fig. 8

Beispiel eines Kanalschotts mit «Flammastic»

- 1 Kabel
2 Gipsplatte 8 cm in Fe-Rahmen
3 Flammastic-Anstrich 40 cm

Beschichtung. Flammastic ist ein Produkt der Chemischen Fabrik Grünau GmbH und wird in der Schweiz durch die Firma Bau-Chemie AG Basel vertrieben.

Cloison avec enduit de «Flammastic»

- 1 câbles
2 plaque de plâtre 8 cm en cadre en fer
3 couche de Flammastic 40 cm

Flammastic est produit par la «Chemische Fabrik Grünau GmbH» qui est représentée en Suisse par la maison Bau-Chemie SA. Bâle.

in Giessharzausführung verwendet werden. Durch atmosphärische oder betriebsfrequente Überspannungen (als Folge von Erdschlüssen beispielsweise) werden hier Windungsschlüsse mit Überlastung des Wandlers und anschließender Zerstörung eingeleitet. Ein einfaches Mittel könnte hier vielfach solche Schäden verhindern: die Spannungswandler nie mit lediglich einigen Messinstrumenten, also praktisch im Leerlauf, betreiben, sondern mit voller Nennleistung. Dies kann mit einem entsprechenden Belastungswiderstand geschehen, wobei natürlich bei der Dimensionierung die Fehlergrenzen zu beachten sind. Auch Überspannungsableiter sind speziell betriebsfrequenten Überspannungen oft nicht gewachsen und werden durch Überlastung zerstört. Die übrigen im Energieerzeugungs- und Verteilbetrieb vorkommenden Schadenursachen lassen sich meist auf Konstruktions- oder

des matériaux incombustibles. Les exemples suivants indiquent quelques réalisations de ces cloisons.

S'il s'agit de caractériser les installations de production et de distribution d'électricité au point de vue prévention d'incendie, il faut reconnaître la très faible charge de combustion. En revanche, il s'agit toujours de concentrations de valeurs matérielles élevées. En cas de sinistre, des sommes astronomiques sont vite atteintes. Aussi les causes d'incendies possibles sont plus nombreuses que dans les autres industries suisses. En contrepartie, la conscience professionnelle de votre personnel est plus poussée et il est clair que la prévention d'incendie en profite. Je suis conscient que vous n'exploitez pas vos installations dans l'unique but de prévenir des incendies. Mais si vous faites appel le plus tôt possible à des spécialistes pour l'étude de nouvelles installations, vous arri-

Montagefehler zurückführen, womit wir wieder zum Ausgangspunkt unserer Betrachtung zurückkehren. Nicht unerwähnt bleiben soll vielleicht noch die Feststellung, dass im Schadenfall oft eine Verkettung verschiedener Vorgänge auftritt, von denen jeder einzelne für sich keinen Schaden verursachen könnte. Leider wird eine solche Verkettung manchmal durch unglückliche Anlagedisposition geradezu heraufbeschworen.

Damit kommen wir zur Brandverhütung, die in Ihren Betrieben unter zwei hauptsächlichen Gesichtspunkten betrieben werden sollte:

– Die elektrische Schutztechnik, welche die Energie an der Fehlerstelle möglichst tief halten sollte. Über dieses Gebiet brauche ich mich nicht zu äussern, da es ja Ihr eigentliches Fachgebiet ist.

– Der bauliche Brandschutz, der entstehende Schäden örtlich möglichst eng begrenzen sollte. Darüber soll im folgenden noch etwas gesagt werden.

Die Aufgabenstellung zeigt bereits, wo der Hebel anzusetzen ist. Einmal bei der Verwendung möglichst feuerwiderstandsfähiger Bau- und Isolierstoffe (Verkleidung von Stahlkonstruktionen) und dann in der Bildung von horizontalen und vertikalen Brandabschnitten. Dadurch soll der Übergriff von Feuer und Rauch auf andere Gebäudeteile verhindert werden. In der Brandschutztechnik gilt als Brandabschnitt nur ein Raum, der gegen angrenzende Gebäudeteile mit Bauteilen von einer Feuerwiderstandsfähigkeit von mindestens F 90 abgetrennt ist. Für Türen und andere kleine Öffnungen kann man sich mit T 30 begnügen. Die angegebenen Ziffern geben die Zeit in Minuten an, während der (grob gesagt) das Feuer am Durchtritt gehindert wird. F 90 hat beispielsweise eine Backsteinmauer von 12 cm Stärke, eine Betonwand von 8 cm Stärke, T 30 eine Spanplattentüre von 4 cm Stärke, sofern die Stirnseiten mit Hartholz eingefasst sind. Einfache Blechtüren sind für diese Zwecke ungeeignet, weil sie sich unter der Hitzeeinwirkung stark verbiegen. Mit der Prüfung von Bauteilen auf ihre Feuerwiderstandsfähigkeit befasst sich in der Schweiz ebenfalls die EMPA in Dübendorf. Brandabschnitte müssen aber, damit sie wirksam sind, konsequent abgetrennt werden. Die Türen müssen also spätestens im Brandfall schliessen, und alle übrigen Öffnungen, wie Kabelkanäle und Schächte, Ventilationsöffnungen u. a. m. müssen mit nichtbrennbaren Stoffen verschlossen werden. Die folgenden Beispiele zeigen einige Möglichkeiten solcher Schottungen.

Wenn man abschliessend Energieversorgungsanlagen brandschutztechnisch charakterisieren möchte, ist einmal die kleine Brandbelastung zu nennen. Dagegen ist mit sehr hohen Wertkonzentrationen zu rechnen, so dass im Schadenfall rasch hohe Beträge erreicht werden. Der Katalog möglicher Brandursachen ist grösser als in den meisten anderen in der Schweiz vorkommenden Industriebetrieben. Dafür ist das Sicherheitsdenken des Personals, heute wenigstens noch, viel ausgeprägter, und dies kommt u. a. auch dem Brandschutz zugute, wobei mir vollständig klar ist, dass Sie keine Energieversorgungsanlagen erstellen, um damit Brandschutz zu treiben. Wenn Sie aber bei der Projektierung neuer Anlagen die hier erwähnten Gesichtspunkte berücksichtigen und rechtzeitig Brandschutzleute beiziehen, wird es oft gelingen, ohne wesentliche Mehrkosten bessere Lösungen zu finden.

vez souvent à tenir compte sans grands frais, des idées que je viens de vous exposer.

Permettez-moi pour clore de vous dire quelques vérités concernant le but d'une assurance. Elle résulte au fond du souci des individus de ne pas tomber à la merci de l'assistance publique en cas de pertes et de sinistres. Mais l'individu en question oublie parfois que sa mission n'est pas accomplie par le paiement des primes. C'est au fond le comportement de l'assuré qui donne la forme partique à l'assurance. Par conséquent, l'assuré est le premier intéressé à la prévention des incendies. La mission de l'assurance est de le seconder et de le conseiller dans la mesure de ses moyens.

Finalelement, il m'incombe de remercier chaleureusement tous ceux qui ont bien voulu me seconder dans ma tâche en me fournissant des informations et de la documentation. Ce sont notamment MM. B. Annaheim, inspecteur à la Mobilière Suisse, Berne, F. Dayer, chef d'exploitation de l'Electricité de la Lienne SA, Sion, F. Nyvelt, ing. dipl. et directeur de la Tauern-Kraftwerke SA, Salzburg, ainsi que les maisons SA Brown, Boveri & Cie, Baden, et Cerberus SA, Männedorf.

Gestatten Sie mir zum Schluss noch einige Gedanken gewissermassen pro domo zu äussern, nämlich zu Zweck und Zielsetzung einer Versicherung. Sie entspringt dem Bestreben des Einzelnen, bei Erleiden von Schäden und Verlusten nicht auf fremde Fürsorge angewiesen zu sein, sondern selber dafür vorzusorgen. Dass er dies nicht nur durch Entrichten der geforderten Prämie tut, wird vielfach vergessen. Denn er und nicht der Versicherer ist es, der die Versicherung auch in der Praxis gestaltet. Daher hat auch der Versicherungsnehmer in erster Linie ein Interesse an der Schadenverhütung. Der Versicherer kann und will ihm dabei im Rahmen seiner Möglichkeiten helfen.

Es bleibt mir noch die angenehme Pflicht, all den Herren, die mich mit Informationen und Dokumentationsmaterial unterstützten, bestens zu danken. Es sind dies insbesondere die Herren B. Annaheim, Inspektor der Schweizerischen Mobiliarversicherungsgesellschaft, Bern, F. Dayer, chef d'exploitation de l'Electricité de la Lienne SA, Sion, dipl. Ing. F. Nyvelt, Direktor der Tauern-Kraftwerke AG, Salzburg, sowie die Firmen Brown, Boveri & Cie. AG, Baden, und Cerberus AG, Männedorf.

Literatur - Bibliographie

B. Annaheim: Gedanken eines Schadeninspektors zu sich oft wiederholenden Sachschäden an Spannungswandlern in Hochspannungsanlagen. Bull. SEV 63(1972), p. 1266.

Dipl. Ing. F. Nyvelt: Großstörung in Kaprun. Bull. SEV 57(1966), p. 863-866.

Dr. Gustav A. Purt: Einführung in die Brandlehre. Eugen-Rentsch-Verlag, Erlenbach/Stuttgart.

Dr. Ernst von Schwartz: Handbuch der Feuer- und Explosionsgefahr. Feuer-schutzverlag, Ph. L. Jung, München.

Association des établissements cantonaux d'assurance contre l'incendie. Directives pour les prescriptions sur la police du feu. — Appréciation du danger d'incendie et détermination des mesures de protection (selon méthode M. Gretener).

Adresse des Auteurs - Adresse de l'auteur:

F. Wyss, Inspektor der Brandversicherungsanstalt des Kantons Bern, 3000 Bern.

F. Wyss, inspecteur technique de l'Assurance immobilière du canton de Berne, 3000 Berne.