Zeitschrift: Protar

Herausgeber: Schweizerische Luftschutz-Offiziersgesellschaft; Schweizerische Gesellschaft der Offiziere des Territorialdienstes

Band: 6 (1939-1940)

Heft: 8-9

Artikel: Todesursachen bei Brand und Explosion von Röntgen- und Kinofilmen : aus dem Gerichtlich-medizinischen Institut der Universität Bern [Schluss]

Autor: Perlmutter, Isidor

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-362741

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: 12.07.2025

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

Todesursachen bei Brand und Explosion von Röntgen- und Kinofilmen

Von Dr. med. Isidor Perlmutter, New York
Aus dem Gerichtlich-medizinischen Institut der Universität Bern - Direktion: Prof. Dr. med. J. Dettling (Schluss)

II. Physikalisch-chemische Grundlagen.

Zelluloid ist eine unter Druck verdichtete, leicht entzündliche Mischung von Nitrozellulose (Schiessbaumwolle), bestehend hauptsächlich aus Tetranitrozellulose und Kampfer. Der Stickstoffgehalt beträgt 10—12 %. Zelluloid wird hergestellt aus Baumwolle, die entfettet und gebleicht wird, oder aus reinem Seidenpapier. Der Rohstoff wird aufgelockert, zerkleinert, getrocknet und nitriert, d. h. in tönernen Gefässen mit einem Gemisch von Schwefelsäure und Salpetersäure behandelt. Man erhält so Kollodiumwolle, die chemisch hauptsächlich aus Tetranitrozellulose besteht. Durch Zentrifugieren und Auswaschen wird die Säure entfernt. Die Kollodiumwolle wird mit Alkohol getränkt, wodurch ihre Gefährlichkeit herabgesetzt wird. Durch Mischung von Kampfer, der in Alkohol gelöst ist, erhält man eine gallertartige Masse, die auf Walzwerken durchknetet und in Formen gepresst und getrocknet wird. Für manche Zwecke werden dem Zelluloid Farbstoffe und andere Zuschläge zugesetzt, die die Feuergefährlichkeit vermindern. Filmzelluloid muss rein sein.

Die Temperatur, bei der eine gefährliche Zersetzung eintritt, wurde früher auf unter 100° angegeben. Wahrscheinlich handelt es sich hierbei aber um Messfehler. Man nimmt jetzt an, dass der Wert bei den verschiedenen Sorten etwa zwischen 120 und 180° schwankt. Die Zersetzung pflanzt sich fort und kann bei Luftzutritt zur Entzündung anlaufen.

Bei der Zersetzung und bei Verbrennung unter ungenügendem Luftzutritt entstehen hauptsächlich folgende für Vergiftung und Explosion wichtige Gase: Kohlenoxyd, sogenannte nitrose Gase, Kohlensäure, Wasserstoff, Stickstoff, Methan und eventuell etwas Blausäure.

Bei Erhitzung von Zelluloid in einer geschlossenen Stahlbombe bildete sich ein Druck von 3000 at. («Feuerpolizei» 1930, S. 29.) Bei Verbrennung in geschlossenen Räumen sind traumatische Beschädigungen der Türen eingetreten (Drucksache 35 des Preuss. Feuerwehr-Beirats, S. 85, «Feuerschutz» 1927, S. 275), regelmässig aber tritt eine gewaltige Stichflammbildung von 25 bis 70 m auf.

Die Zersetzung von Zelluloid setzt sich unter Umständen auch unter Wasser fort, so z. B., wenn man einen in üblicher Weise aufgewickelten Kinofilmstreifen anbrennen lässt und ins Wasser wirft. Die aus dem Wasser emporquellenden Gase sind zum Teil brennbar und giftig.

Die Wärmebildung ist an sich nicht gross, nämlich etwa 5000 Wärmeeinheiten je Kilogramm (also etwas mehr als Braunkohle), aber infolge der raschen Verbrennung wird diese Wärmemenge in sehr kurzer Zeit frei. Nach *Zaps* («Feuerschutz» 1930, S. 87) brennt ein Filmstreifen etwa fünfmal so schnell wie eine gleiche Menge Papier ab.

Durch Stoss ist Zelluloid nur schwer zu entzünden, angeblich treten Zersetzungen mit deutlichem Knall ein, wenn man auf ein Zelluloidplättchen von 1 cm² Fläche einen Fallhammer von 10 kg aus 30 cm Fallhöhe fallen lässt. Insbesondere sollen die Beanspruchungen, wie sie beim Transport (Post) eintreten, eine Entzündung nicht hervorrufen können. Gefährlicher ist schon das Bearbeiten des Zelluloids. Eine Bearbeitung mit Kreissägen soll zur Entzündung führen können. Hingegen haben Versuche mit Hartholzscheiben keine Entzündung hervorgerufen, wohl aber sollen Schmiergelscheiben bei längerer Bearbeitung des Zelluloids stärkere Platten entzünden.

Elektrische Funken vermögen das Zelluloid nicht leicht zu entzünden.

Der Sauerstoffverbrauch brennenden Zelluloids ist sehr gross, eine Filmrolle von 900 m Länge verbraucht 30 m³ Luft. Bei ungenügendem Luftzutritt bilden sich, wie schon erwähnt, grosse Mengen giftiger brennbarer Gase. Diese können sich bei Bränden mit Luft mischen und an anderen Orten entzünden, so dass sogenannte Sekundärexplosionen eintreten. Als optimale Explosionsgrenzen werden angegeben 40—65 % («Feuerschutz» 1922, S. 95).

Brände von Zelluloid sind sehr schwer zu löschen, ja es besteht sogar eine gewisse Gefahr, dass durch mangelhafte Löschversuche die nach mancher Richtung ungefährliche völlige Verbrennung in eine unvollständige Zersetzung verwandelt wird.

Eine gewisse Verbesserung der Löschwirkung wurde vielleicht erreicht, wenn man dem Wasser Stoffe zusetzt, welche die Netzfähigkeit heraufsetzen. Uebrigens hat man mit Wasser hohen Drucks und mit guten Sprinklern schon Zelluloidbrände gelöscht. («Feuer und Wasser» 1926, S. 11, Filmbrand Wolffen, siehe auch Seite 585.)

Auch mit Schaum lassen sich gewisse Erfolge erzielen. Insgesamt gehört aber Zelluloid zu den schlecht zu löschenden Gegenständen. Eine brennende Zelluloidstange zersetzt sich, z. B. auch nachdem sie gelöscht worden ist, noch weiter, wenn sie in ein mit Kohlensäure oder Wasserdampf gefülltes Gefäss gebracht wird. Daher kann ein Zelluloidbrand mit chemischen Löschapparaten überhaupt nicht, und mit Wasser nur sehr schwer

gelöscht werden. Die flammenlose Zersetzung liegt bei zirka 120—180°. Die Dämpfe, welche bei der Zersetzung auftreten, geben, mit Luft gemischt, ein explosives Gemisch. Die Produkte dieser Zersetzung sind Gase, Flüssigkeiten und Asche. Unter den Gasen findet man z. B. Kohlenoxyd, nitrose Gase etc.; unter den Flüssigkeiten findet man Kampfer in Verbindung mit Salpetersäure.

Analyse der durch Verbrennen von Filmen unter Luftabschluss erhaltenen Gasen in Prozenten: (4)

CO	26,3 %
Kohlenwasserstoffe .	0,7 %
Wasserstoff . . .	0,0 %
NO_2	28,5 %
CO_2	7,3 %

Aus 100 g Zelluloid bei Verpuffung unter Luftabschluss:

17—18 l Gas =	CO	= 4—7 l
	CO_2	= 3—4 l
	NO	= 7—9 l
	HCN	= 0,7 g

Bei Verbrennung von Zelluloid unter beschränktem Luftzutritt erhält man grössere Mengen HCN als bei der Verpuffung. Beim Verpuffen von Zelluloid unter Luftzutritt gehen die Verpuffungsdämpfe sofort in NO, NO_2 N_2O_4 (rostbraun) über.

Die Zusammensetzung der Endprodukte bei einer Zelluloidexplosion und bei Verbrennung des Zelluloids variiert stark, je nach den Verbrennungsbedingungen.

Gruppierung der Explosionsgase.

Wie bei allen Explosionen kommen auch bei diesen Explosionen nach Entstehung und Ausgangsmaterial fünf Gruppen der gasförmigen und dampfförmigen Gifte in Betracht: (5)

1. Die Gase, die durch Explosionen selbst entstehen, d. h. die giftigen Zersetzungsprodukte des explodierenden Materials, die unter grossem Druck überall hingedrängt werden. So die Zersetzungsgase von Sprengstoffen, die je nach der Explosionsart sehr viel CO, nitrose Gase, gelegentlich Zyan und andere Giftstoffe enthalten.

2. Häufig treten im Anschluss an Katastrophen, speziell Explosionen, Brände auf, und es schliessen sich weitere Explosionen an, die wieder ihrerseits neue giftige Gase erzeugen können. Je nach dem Milieu, bedingen die Brände verschiedene Arten giftiger Gase; die gewöhnlichen Brände erzeugen CO; bei Explosionen und Bränden, die z. B. mit Zelluloidverbrennungen einhergehen (Zelluloid, das ja in kolossalen Mengen in den verschiedensten Industrien verwendet wird, so in allen Nitrozellulosefabriken, Filmfabriken, Schachtelfabriken, Zelluloidfabriken, viele Kinoeinrichtungen, Filmlagern, Lackfabriken, Lacklagern, künstliches Schildpatt) treten grosse Mengen von CO, nitrosen Gasen und oft auch flüchtige Zyanverbindungen auf.

3. Giftige Gase, die durch Zerreissung von grossen gasführenden Röhrensystemen, die mit grossen Reservoiren in Verbindung sind, welche unter Druck stehen, in den Herd der Katastrophe hineingelangen, so z. B. Wassergas, die ihrerseits zu Vergiftungen führen und wieder zu sekundären Explosionen Veranlassung geben (umfassendste Erfahrungen bei den grossen Erdbeben in Japan).

4. Giftige Gase und Dämpfe, welche von Materialreserven der Fabriken herrühren, die sich aus den durch die Katastrophe selbst erst gesprengten Gefässe aller Art, Tanks, Flaschen, Maschinen, entwickeln, speziell in chemischen Fabriken, aber auch in anderen Fabriken wo HNO_3, HCl, Phosgen, Nitrokörper, Benzin, Farblösungen, Lösungsmittel und Lacke etc. aufbewahrt werden.

5. Aus Kältemaschinen, in denen flüchtige Stoffe unter Druck hergestellt oder verwendet werden, z. B. Chlormethyl, Brommethyl, Ammoniak usw. Ferner können giftige Gase auftreten aus Behältern unter starkem Druck wie z. B. Bomben, springenden Autoclaven, die mit leicht verdampfenden Flüssigkeiten, respektiv mit giftigen Gasen, speziell Phosgen, Chlormethyl, Brommethyl, auch Ammoniak, CO, Azetylen gefüllt sind. Diese können platzen durch mechanische Wirkung oder durch Ueberhitzung. Grosse Mengen von giftigen, leicht verdampfbaren Substanzen sind heute in den Kältemaschinen vorhanden, die bei Bränden, Explosionen im Verlauf ihrer Röhrensysteme undicht werden. Schweflige Säure, Ammoniak, flüchtige Chlor- und Bromverbindungen, ferner verschiedene in den neuen Wärmekraftmaschinen verwendete ähnlich leicht verdampfende Flüssigkeiten.

In den automatischen Feuerlöschern befinden sich öfters auch giftig wirkende Gase unter Druck (CCl_4, CH_3Br usw.), die bei Löschversuchen in geschlossenen Räumen sich selber oder ihre Derivate den giftigen Brandgasen beimischen können.

Besonders auffallende Symptome.

Im allgemeinen hat man bei Zelluloseexplosionen immer gesehen, dass die überlebenden Verletzten sehr eigenartige Symptome zeigten, die man nicht deuten konnte oder als Schock betrachtete. Viele starben sehr schnell, offenbar in der Hauptsache unter der Wirkung der nicht beachteten giftigen Gase und nicht infolge der mechanischen Verletzungen (bei einzelnen Leichen konnte man solche Gifte nachweisen).

Man hat beobachtet, dass in einer grossen Zahl der Fälle die krankhaften Erscheinungen erst nach einer Latenzzeit von mehreren, bis acht Stunden auftraten (freies Intervall), was bezüglich des Nachweises des Zusammenhanges von besonderer Bedeutung ist.

III. Klinisches zur Cleveland Explosion.

Zur Toxikologie der in Frage kommenden nitrosen Gase.

Die nitrosen Gase sind beim Freiwerden (13), Gemische verschiedener Oxyde des Stickstoffes, hauptsächlich NO_2 bzw. N_2O_4. Diese Gase, bei tiefer Temperatur eine farblose Flüssigkeit, ändern bei steigender Temperatur ihre Farbe: bei 10° gelb, bei 15° gelbrot, bei 20° beginnen sich rotbraune Dämpfe zu entwickeln, bei 40° sind sie dunkelschokoladenbraun (wie bei der Cleveland Explosion) und bei 140° schwarz.

Die Giftwirkung besteht in einer Reizung der Lungen und in geringem Grade auch der oberen Luftwege in der Form einer Anätzung. Dazu kommt die typische Nitritwirkung, die in einer Erweiterung der Gefässe, einem Sinken des Blutdrucks und Methämoglobinbildung besteht.

Die Vergiftung zeigt folgende Verlaufsformen:

1. *Reizgastypus.* Meistens Reizerscheinungen, dann eine mehrstündige Latenzzeit mit anscheinendem Wohlsein bis zum Ausbruch von Atemnot und Zyanose als Zeichen des Lungenödems. Der Tod erfolgt gewöhnlich in 1—2 Tagen an Lungenödem. In seltenen Fällen entwickelt sich das Lungenödem sofort, auch ein kurzes Intervall fehlt überhaupt und der Tod erfolgt in Minuten bis wenigen Stunden.

2. *Reversibler Typus.* Sofort nach der Einatmung schwere Erscheinungen, wie Atemnot, Zyanose, Bewusstlosigkeit, Erbrechen, Schwindel ohne Lungenödem. Bei Verbleiben in der giftigen Atmosphäre rascher Tod, bei rechtzeitiger Entfernung schnelle und scheinbar vollkommene Erholung.

3. *Schocktypus.* Sofort Erstickung, Krämpfe, Atemstillstand. Tod durch Unterbrechung des Lungenkreislaufs. Tritt auf bei plötzlicher Einatmung höchster Konzentrationen.

4. *Kombinierter Typus.* Sofortige zerebrale Erscheinungen, mit Schwindel, Benommenheit, zyanotischer Gesichtsfarbe. Dann erfolgt eine mehrstündige Latenzzeit mit folgendem Lungenödem und Tod.

Bei Obduktion kann man bei nitrosen Gasvergifteten (6) eine Reizung der Schleimhaut und entzündliches Oedem der Luftwege finden. In den obduzierten Fällen findet man auch gelegentlich ein ganz enormes Oedem der Larynxschleimhaut und der Lungen, die maximal gedunsen, gross und durch das Oedem schwer geworden sind. Die besonders stark aufgetriebenen vorderen Lungenränder schieben sich nach Abnahme des Brustbeines übereinander, dunklere Partien wechseln auf der Lungenoberfläche mit helleren vorgetriebenen ab. Man kann auch ein interstitielles Lungenemphysem als Folge der heftigen Dyspnoë sehen. *Bauer* sah in einem Falle auffallend zahlreiche Thrombosen der Lungengefässe. Sekundär kommen Pneumonien vor.

Bei den 300 Opfern in der *Cleveland Explosion* sind die genauen Todesursachen nur in wenigen Fällen durch Sektionen festgestellt worden, so dass man keine präzise statistischen Angaben machen kann. Deshalb ist man auf die publizierten klinischen Beobachtungen angewiesen, die aber auch ziemlich spärlich sind. Ich habe versucht, aus der mir bekannten Literatur diesbezügliche Mitteilung zusammenzustellen. Um diese Lücken zu füllen, haben später verschiedene Autoren, wie Flury und Zernik (13), Muntwyler, Ray, Myers, Sollmann (12), experimentelle Versuche mit nitrozellulosen Filmen gemacht, um zu eruieren, was für giftige Gase bei Brand und Explosion entstehen können.

Die Vergiftungen der zirka 300 Opfer in der Cleveland Explosion können nach dem vorliegenden Material folgendermassen erklärt werden:

Wenn Nitrozellulose im geschlossenen Raum bei behinderter Luftzufuhr verbrennt (6), so geht diese Verbrennung nicht zu Ende (bis CO_2 und HNO_3), sondern es bilden sich reichlich nitrose Gase und Kohlenoxyd, eventuell etwas Zyan. Kohlenoxyd kann in Luftkonzentrationen von wenigen Promillen rasch tödlich wirken. Die nitrosen Gase geringer Konzentration wirken viel langsamer und viel später und sind deshalb noch unheimlicher. Da viele der Kranken in Cleveland einem unerwarteten Spättod erlagen, kann man mit genügender Sicherheit annehmen, dass sie Opfer der nitrosen Gase waren. Diese letztgenannten Gase, je nach Konzentration, verursachen eine Lungenreizung, Methämoglobinbildung und schliesslich Lungenödem. Der zersetzte Blutfarbstoff kann eventuell Niereninfarkte verursachen. Kann schon durch eine derartige Blutzersetzung der Spättod eintreten, so noch mehr durch Schädigung der Lungenalveolen (Lungenödem, Pneumonie) durch die reizenden Gase.

Zur Nitrose-Gasvergiftung. In den oberen Abschnitten (von der Nase abwärts) bei einer schwachen Konzentration tritt Schleimhautrötung und entzündliches Oedem (Gefahr des Glottisödems) auf (6). Hämorrhagische, schleimig-eitrige, ja pseudomembranöse Entzündungen in den Luftwegen werden bei stärkeren Konzentrationen beobachtet. Die blutreiche und ödematöse, oft schokoladenfarbene Lunge ist in der Regel hochgradig gebläht, mit kleinsten bis hanfkorngrossen Blutungen und rostbraunen Verdichtungen durchsetzt. Mikroskopisch sieht man ausgedehnten Bronchopneumonien, Alveolen mit abgeschilferten Epithelien, Erythrocyten und Fibrin, vor allem fielen beim Tierversuch zahlreiche, schon mit dem Finger als derbe Stränge im Gewebe zu tastende, kapilläre und grössere hyaline und fibröse Thromben auf (A. Fränckel, Kackel, Tierversuche). Die im Falle Riesel nachweisbaren (durch Hustenstösse hervorgerufenen) Haargefässverstopfungen durch vielkernige Knochenmarksriesenzellen glei-

chende Protoplasmaklumpen dürften als einmalige Beobachtung merkmalsmässig ohne Wert sein.

Bei langsamem Vergiftungsablauf kann sich Bronchiolitis obliterans (A. Fränckel) oder hämorhagische und karnifizierende Pneumonie (Werthemann) entwickeln. Orth betonte den zeitlichen Abstand zwischen Gaseinwirkung und Entwicklung der Pneumonie.

Dass es sich bei der Explosion in Cleveland in einzelnen Fällen wirklich um nitrose Gasvergiftung handelte, beweisen drei Sektionen, die vorgenommen werden konnten.

Fall 1:

Der Patient ist eine Woche nach der Vergiftung in der Cleveland Klinik gestorben.
Leichte, akute Tracheobronchitis.
Ausgedehntes Lungenödem.
Ausgedehnte Nekrosen und Degeneration mit örtlichen Thromben und Hämorrhagien besonders in den Nieren, Lungen, Myocard, Gehirn, Oesophagus und Duodenum.
Multiple Infarkte in Lungen und Nieren.
Mehrere Zeichen von rezenter Myomalacie.
«Erosion» des Duodenums und im unteren Drittel des Oesophagus.
Hydrothorax mit 1000 cc rechts und 600 cc links.
Bronchopneumonie.
Herzdilation.
Diagnose: Lungenödem.
Bronchopneumonie.
Herzinsuffizienz.

Fall 2:

Der Patient ist nach 25 Tagen gestorben.
Subakute, interstitielle Pneumonie.
Lungenödem.
Bronchopneumonie.
Purulente Bronchitis.
Fibröse Pericarditis (vorbestehend).
Synechia cordis (vorbestehend).
Herzdilatation und Herzhypertrophie besonders rechts.
Interstitielle Myocarditis im linken und rechten Ventrikel.
Ulceröse Endocarditis an den Mitralklappen.
Thrombus in der rechten Vorhofwand.
Trübe Schwellung des Herzens, der Leber und Nieren.
Fibröse und fibrinöse Pleuritis, beidseitig.
Diagnose: Interstitielle und Bronchopneumonie.
Lungenödem.
Purulente Bronchitis.
Herzdilatation und Herzhypertrophie.

Fall 3:

Der Patient ist nach einigen Stunden gestorben.
Lungenödem.
Akute Herzdilatation rechts.
Petechiale subendocardiale Hämorrhagien am linken Ventrikel.
Diagnose: Lungenödem.
Akute Herzdilatation rechts.

Ueber den klinischen Verlauf von Ueberlebenden kann noch nach Nichols (14) folgendes hinzugefügt werden:

a) Patienten, die sofort ins Spital gebracht worden sind, zeigten eine deutliche Zyanose, die langsam sich verstärkte. Das klinische Bild war typisch für ein Lungenödem. Während den ersten sieben Tagen verbesserte sich allmählich der Zustand. Temperatur, Puls und Respiration sind normal geworden. Die Patienten blieben in diesem Zustand bis am 30. Mai (also 15 Tage nach der Katastrophe). Um diese Zeit verschlimmerte sich der Zustand. Es traten erhöhte Temperaturen, beschleunigte Puls und ausgeprägte Zyanose auf. Das ganze klinische Bild war fast identisch mit dem Eintrittsstatus. Von dieser Zeit an war die Besserung ziemlich langsam und Temperatur, Puls und Respiration sind am 4. Juli (also 50 Tage nach der Vergiftung) zur Norm zurückgekehrt. Die Stärke der Zyanose im besonderen wechselte erheblich. In vielen Fällen wurde sie auch nicht verbessert durch Zugaben von hohen Sauerstoffgaben. Von grossem therapeutischen Wert schien die Lagerung der Patienten auf die rechte Seite. Fast alle Patienten zeigten bei der Entlassung erschwertes Atmen bei den leichtesten körperlichen Anstrengungen.

b) Bei den meisten Patienten, die erst gegen Abend ins Spital eingeliefert wurden, beobachtete man erhebliche Zyanose mit einem starken Lungenödem. Der Puls war nicht fühlbar und jede Therapie versagte. Fast alle diese Patienten sind gestorben. In einigen Fällen war das Lungenödem so beträchtlich, dass schaumige Flüssigkeit in grossen Mengen aus Nase und Mund floss.

IV. Ursachen der Vergiftungen.

Blutuntersuchungen an sieben Opfern in der Cleveland Filmexplosion.

Die von nitrosen Gasen Vergifteten können nach Muntwyler, Ray, Myers, Sollmann (12) in zwei Gruppen geteilt werden: 1. jene, die sofort gestorben sind und 2. solche, deren Symptome erst einige Stunden später auftraten. Blutuntersuchungen sind nur von sieben der 2. Gruppe gemacht worden. Das Blut wurde am zweiten und dritten Tag nach der Vergiftung entnommen, wobei sofort deutliche Veränderungen in der Blutkonzentration bemerkt wurden. Das venöse Blut war klebrig und dicht, was auch die Entnahme erschwerte. Der Pigmentgehalt ist mit dem Van Slyke-Apparat untersucht worden. Ein Blutpigmentgehalt (Hämoglobingehalt) von 20 % (vol.) ist als normal angesehen. In jedem untersuchten Fall war der Gehalt erhöht mit einem Maximum von 78 % (vol.) beim Fall 4 (vgl. Tabelle). Dabei ist der Wassergehalt in Plasma normal oder hoch, woraus man schliessen kann, dass die erhöhte Konzentration sich auf eine Vermehrung von Blutzellen bezieht.

Diese Polycythämie kann vom Lungenödem herrühren. Man kann sie auch erklären durch Sauerstoffmangel, der normalerweise eine Erhöhung der Blutkörperchenbildung verursacht. Methämoglobinbildung kann verantwortlich sein für die dunkle Farbe des Blutes. Das Methämoglobin hat sich durch die Anwesenheit von Spuren von Natriumnitrit geformt. Deshalb hat man hier auch den Sauerstoffgehalt mit dem total Pigmentgehalt verglichen, welche übereinstimmten ausser im Fall 3, wo das Blut einige Stunden stand, bevor die quantitative Untersuchung gemacht wurde. Die zweite untersuchte Menge zeigte entsprechende Mengen von Hämoglobin und Sauerstoff (ersichtlich aus der Tabelle). Dieser Vergleich zeigt auch, dass keine anormalen Pigmente, wie Methämoglobin, Carboxylhämoglobin oder Zyanhämoglobin gebildet worden sind.

Spektrophotometrische Untersuchungen haben sofort nach der Hämolyse des Blutes die gleichen Ergebnisse gegeben. In allen sieben Fällen wurde nur Oxyhämoglobin gefunden. Aber einige Minuten nach der Hämolyse fing sich Methämoglobin zu bilden an, z. B. im Fall 1: Sofort nach der Hämolyse war der Hämoglobingehalt normal, 10 Minuten später fand man 12,2 % und 20 Minuten später stieg dieser Gehalt an Methämoglobin zu 50,4 %. Dasselbe hat man auch in den anderen Proben beobachtet. Aus diesen Untersuchungen kann man den Schluss ziehen, dass das Blut eine Substanz enthielt, die fähig war, sich mit dem Hämoglobin nach Hämolyse zu verbinden.

Aus der Tabelle ersieht man, dass das venöse Blut mit Sauerstoff ungesättigt ist. Dies kann man erklären durch das Lungenödem, das einen genügenden Sauerstoffaustausch verhindert, oder dies kann von der dicken Blutkonzentration herrühren, die eine ungenügende Zirkulation mit sich bringt und welche wiederum den Sauerstoffgehalt des venösen Blutes erniedrigt. Die letztgenannte Theorie kann aber nicht gut stimmen, wenn man nach der Tabelle Fall 4 und 6 vergleicht. Zweifellos spielte das Lungenödem und das Zerstören von Lungengewebe eine wichtige Rolle. Eine sekundäre Rolle spielte noch dabei die Verlangsamung der Blutzirkulation durch einen langdauernden Sauerstoffmangel und toxischer Schock durch Resorption von Eiweißspaltprodukten aus den geschädigten Lungen.

V. Experimentelles aus der Literatur über Nitrozellulose Explosionen.

Lehmann und Hasegawa (7) führten eine Anzahl sorgfältiger Experimente aus zur Bestimmung der Wirkung nitroser Gase und der Konzentration des Gases auf Tiere, die in einem dampfgefüllten Raum ausgesetzt wurden. Sie fanden, dass bei Katzen und Kaninchen nicht gleiche Wirkung eintritt wie beim Mench, doch starben die Tiere bei starken Konzentrationen im Zimmer. Dem Gase ausgesetzten Tiere zeigten Zeichen der Erregung, schrien und kratzten sich die Nase. Die Obduktion zeigte sehr feine Veränderungen der Schleimhäute in Rachen, Nase und Luftröhre, immer war ein umfangreiches Lungenödem vorhanden und immer einige Hämorrhagien im Lungengewebe. Das Resultat einiger Versuche beweise, dass keine zentrale Wirkung der Nitrate vorkommen, sondern, dass alle Symptome auf die lokale Wirkung auf die Lungen zurückzuführen sind.

Anschliessend an die obengenannten Versuche machte Hasegawa folgenden Versuch an sich persönlich: Die Versuchsperson setzte sich in einen mit bestimmter NO_2-Konzentrationen gefüllten Raum. Bei hohen Konzentrationen zeigte sich bei ihm: scharfes Brennen in der Nase und im Kehl-

Fall	Schicksal	Zeit der Blutentnahme	O_2 Kapazität % vol.	Gesamtpigmentgehalt % vol.	O_2 Gehalt % vol.	O_2 Ungesättigtheit % vol.	Plasma H_2O cc/1000 cc.
1	gestorben 21. V. 29	16. V. 12.00 Uhr	28.67	27.42	—	—	—
2	gestorben 16. V. 29	16. V. 17.00 Uhr	23.85	23.60	6.17	74	—
3	gestorben 13. VI. 29 4.00 Uhr	16. V. 12.00 17. V. 8.30	23.70 21.89	26.50 21.46	14.15 9.36	47 57	— 941
4	gestorben 10. VI. 29 12.00 Uhr	17. V. 17.30 Uhr	—	35.74	13.39	65	948
5	Genesung	17. V. 17.30 Uhr	—	28.80	3.97	86	958
6	gestorben 18. V. 29	17. V. 17.30 Uhr	—	21.46	4.09	81	—
7	gestorben 18. V. 12.00	17. V. 17.30 Uhr	—	21.45	9.86	54	—

kopf, Tränenfluss, Kopfschmerzen, Schwindel, Brechen und Husten.

Die Autoren konstatierten, dass die Toleranzgrenze sehr schwer festzusetzen ist, aber sie glauben, dass 0,1 mg pro Liter für einige Sekunden ohne Schaden eingeatmet werden darf, aber dass Konzentrationen von 0,6—1 mg sehr schnell tödlich wirken. Anhand dieser Zahlen ist bewiesen, dass nitrose Dämpfe durch Inhalation in geringerer Konzentration tödlich, aber weniger giftig ist wie Phosgen.

Weitere Experimente sind von C. Hall und W. Snelling geführt worden (8). Diese Autoren haben wichtige Erfahrungen über die Entzündlichkeit und Zersetzungsprodukte photographischer Filme aus Pyroxilin gesammelt. Diese Ergebnisse erhielten sie bei der Untersuchung einer Explosion in dem Ferguson Building, Pittsburgh, U. S. A. im Februar 1909. Dort entzündeten sich zirka 200 kg Filme in einem Schrank und explodierten. Diese Explosion zerstörte das ganze Gebäude und verletzte 50 Personen (8, 16).

Wärmeprüfungen ergaben ein Resultat von:

bei 150°	Zersetzung	in 246	Sekunden
» 155°	»	» 145	»
» 160°	»	» 103	»

Eine Anzahl Filme in luftdicht abgeschlossenem Behälter wurden zersetzt und gaben folgende Resultate:

	A (in Vacuo)	B (in Pleno)
Wasserlösliche	3,7 %	0,7 %
NO_2	28,5 %	0,0 %
CO_2	7,3 %	7,7 %
CO	26,3 %	41,2 %
Kohlenwasserstoffe	0,7 %	3,1 %
N_2	31,5 %	26,3 %
O_2	0,0 %	2,1 %
H_2	0,0 %	18,9 %

Mischung B hat sofort explosive Mischungen mit 1—5 Volumenprozent Luft ergeben. Daraus hat man geschlossen, dass Zersetzung mit grosser Gefahr und Explosionsmöglichkeiten nur bei hohem Druck vorhanden ist.

Ueber die Zersetzungsprodukte der Nitrozellulose und Zelluloid haben wir auch folgende Resultate von dem Chemical War Service Report (9):

	Nitrozellulose			Zelluloid			
Gasen	theor.	exp.	exp.	exp.	exp.	exp.	exp.
CO_2	31,8	30 4	21,7	14,8	25,8	16,0	6,8
CO	22,7	34,2	49,3	45,7	38,4	31,7	30,9
H_2O	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0 0
CH_4	0 0	1,6	0,0	19,4	5,2	0,0	0,0
H_2	29,6	17 4	12,7	10,5	2,3	0,0	0,9
N_2	11,3	15,9	16,4	9,6	4,6	3,0	4,8

Unter speziellen Bedingungen:

	CO_2	N_2	CO	NO
A. Perfekte Explosion, ohne Packung	6,2	2,9	0,0	0,0
B. Praktische Explosion, mit Packung	5,5	2,9	0,9	?
C. Ohne Pakung, mit Luft	5,7	2,3	0,7	1,2
D. In Vacuo (verbrannt)	0,0	0,0	6,0	5,0

Experimentelles nach dem Chemical War Service Report (9) — Nitrose Gase-Vergiftung.

Physiologische Reaktionen in verschiedenen Konzentrationen von nitrosen Gasen:

	NO_2 Teile in 1 000 000 Luftteilen
Kleinste Menge, die den Hals reizt	62
Kleinste Menge, die Husten verursacht	101
Maximale Konzentration, erlaubt bei langdauerndem Ausgesetztsein	39
Gefährlich nur beim kurzen Ausgesetztsein	117—154
Schnell tödlich beim kurzen Ausgesetztsein	240—775

Vergleich der Nitrosegas-Vergiftung mit Vergiftung mit CO in Luft und Blut. — Physiologische Reaktionen zu CO in Luft.

	CO in 1 000 000 Luftteilen
Konzentration, erlaubt für Ausgesetztsein von mehreren Stunden	100
Konzentration für eine Stunde ohne bemerkenswerte Folgen	400—500
Konzentration für eine Stunde mit wenig bemerkenswerten Folgen	600—700
Konzentration mit unangenehmen aber ungefährlichen Folgen nach einer Stunde Ausgesetztsein	1000—1200
Gefährliche Konzentration für Ausgesetztsein von einer Stunde	1500—2000
Tödliche Konzentration bei Ausgesetztsein von weniger als einer Stunde	4000 und mehr

Physiologische Reaktionen zu CO im Blut.

	% COHb
Nur Dyspnoë nach schwerer Anstrengung	10
Nur Dyspnoë nach leichter Anstrengung und etwas Kopfschmerzen	20
Kopfschmerzen, Erregtheit, leichte Ermüdbarkeit	30
Kopfschmerzen, Schwindel, Kollaps und Ohnmacht	40—50
Bewusstlosigkeit, Atemstillstand, eventuell Tod	60—70
Schnell tödlich	80
Sofort tödlich	über 80

VI. Allgemeine Zusammenfassung.

I. Berichte von Filmexplosionen aus Nitrozellulose zeigen, dass die Unfälle (abgesehen von mechanischem Trauma, Verbrennung, variierend von leichter Verletzung und Beschwerden bis zum Tod) verursacht wurden durch verschiedene Gasvergiftungen.

II. Solche Explosionen kamen zustande durch direkte Flamme, glühende Zigarette, heisse Drähte, Heizungsröhre, elektrische Lampe oder im allgemeinen durch irgendeine Wärmequelle, die die Temperatur der Filme über 120° erhitzt.

III. Filme, die längere Zeit bei etwas erhöhter Temperatur aufbewahrt werden, zeigen eine grössere Empfindlichkeit zu Zersetzung.

IV. Filme, welche in Papierpackungen aufbewahrt werden, brennen viel langsamer und erreichen eine weniger hohe Temperatur. Die Papierpackungen verursachen auch eine flammenlose Verbrennung, und zwar mit der Entwicklung von wenig CO.

V. Je nach der Entstehung der Zersetzung gibt es zwei Möglichkeiten der Verbrennung, eine flammenlose Vergasung mit dichtem Rauch und Dämpfen oder eine hochflammende Verbrennung mit genügendem Sauerstoff und wenig Dämpfen und Rauch. Die flammenlose Verbrennung erzeugt mehr tödliche Gase.

VI. Die Geschwindigkeit der Zersetzung nach der kritischen Temperatur ist sehr hoch, sich annähernd an die Verbrennung von Schiessbaumwolle. Kleine Mengen von Zellulosenitratfilmen zersetzen sich bei 130° C in einigen Stunden, bei 160° C in zirka einer Minute. Grössere Mengen zersetzen sich bei kleinerer Temperatur.

VII. Die Zersetzung wird beschleunigt durch katalysatorische Wirkung der Zersetzungsprodukte. Die Erhöhung der Temperatur durch die Zersetzung kann selber eine Entzündung der Filme und der Gase verursachen.

VIII. Die Filme selber enthalten genügend Sauerstoff, um die Verbrennung zu unterhalten.

IX. Die wichtigsten Gase, die während der Zersetzung gebildet werden, sind brennbar und, wenn genügend Luft vorhanden ist, sind sie explosionsfähig.

X. Die Gasmenge, gebildet bei brennendem Film, ist 2,4—3 m^3 pro Kilogramm Film bei gewöhnlichem Druck und Temperatur. Manche Autoren fanden sogar bis zu 5,8 m^3 pro Kilogramm Film.

XI. Die wichtigsten Gase, welche nitrozelluloser Film entwickelt, sind CO, NO_2, N_2O_4, eventuell Zyan, in variierenden Mengen.

XII. Die Todesursachen bei der Katastrophe von Cleveland können eingeteilt werden wie folgt:

a) schneller Tod durch CO, Sauerstoffmangel und konzentrierte nitrose Dämpfe;
b) Fälle, die in bewusstlosem Zustand gerettet wurden und später an Lungenödem litten als Zeichen der nitrosen Gasvergiftung;
c) Fälle, die momentan keine Beschwerden zeigten, bei denen sich aber später nach einem freien Intervall ein Lungenödem entwickelte, als Zeichen der Nitrosegasvergiftung;
d) Nachkrankheiten und Komplikationen der obengenannten Schädigungen.

XIII. Inhalation von 0,6—1 mg pro Liter Luft nitrosen Gasen verursacht einen schnellen Tod. Kleinere Mengen können einen Spättod verursachen.

VII. Vorschläge für die Aufbewahrung von Nitrozellulose Röntgen- und Kinofilmen in Instituten, Spitälern usw.

1. In einem Nitrozellulosefilm-Aufbewahrungsraum dürfen nur Filme gelagert werden. Der Raum soll feuerfest gebaut werden. Bevorzugt wird ein Dachvorbau oder das oberste Stockwerk oder besser noch ein kleines, freistehendes Gebäude, das einzig und allein dem Zwecke der Aufbewahrung von Filmen dient. In der feuerhemmenden Decke sollen automatische Luftöffnungen, die sich bei einem Ueberdruck von 6 kg je Kubikmeter öffnen, vorhanden sein (11). Empfehlenswert wäre auch eine Decke, die mit automatischen thermostatischen Giesskannen (Sprinkler) versehen ist (9). Diese automatischen Giesskannen sind in Form von Brausen unter der Decke angebracht. Die Brausen werden mit einem Schmelzverschluss geschlossen gehalten. Bricht in dem Raume ein Feuer aus, so schmilzt der Verschuss unter dem Einfluss der nach oben steigenden Wärme bei einer oder mehreren Brausen oberhalb des Brandherdes, aus den Röhren tritt Wasser aus und ergiesst sich auf den Brandherd, so dass das Feuer erlischt oder doch wenigstens niedergehalten wird. Bei Auslösung einer Brause ertönt ferner ein Alarmsignal, auch kann die Feuerwehr durch Anschluss der Alarmeinrichtung an die Feuermelder alarmiert werden. Statt des Schmelzverschlusses baut man auch Quarzröhrchen ein, die mit einer bei 40° siedenden Flüssigkeit gefüllt sind. Wird das Röhrchen auf diese Temperatur erhitzt, so zerspringt es und gibt dem Wasser den Weg frei (Quarzoid-Sprinkler) (15).

2. Die Filme sollen in Hartholz- oder Metallschränken, nicht mehr als 40 kg pro Fach, aufbewahrt und in sorgfältiger Weise von irgendwelchen Hitze, Flammen, Funken usw. geschützt werden.

3. Die Aufbewahrung von unbelichteten Filmen bis zu 10 kg in gewöhnlichen Arbeitsräumen in einem Schrank ist zulässig. Entwickelte Filme dürfen nur bis 5 kg in einem Schrank in gewöhnlichen Arbeitsräumen aufbewahrt werden.

4. Der Raum darf nur einen Eingang besitzen, welcher mit einer selbstschliessenden Türe versehen ist.

5. Als Raumbeleuchtung dürfen nur elektrische Glühlampen mit Schutzglocken zugelassen werden.

6. «Rauchverbot»-Plakate sollen überall aufgehängt und das Personal auf die Gefahren aufmerksam gemacht werden.

7. Der Aufbewahrungsraum darf mit keinem anderen Raum durch eine Türe verbunden werden.

8. Der Raum muss mit einem ins Freie mündenden Fenster von mindestens 0,5 m^2 Fläche versehen sein.

9. Der Raum soll, wo möglich, nicht oder nur schwach geheizt werden.

10. Die Kennzeichnung der «Filmlager» aussen an den Zugangstüren und innen ist notwendig.

11. In Kriegszeiten mag es vermieden werden, unnötige brennbare Filme aufzubewahren (Dettling).

Literatur-Verzeichnis.

(1) Münchner Medizinische Wochenschrift, Prof. *Walter Straub*, 1929, Nr. 25, S. 1049, Nr. 37, S. 1566.
(2) Report on the Disaster at the U. S. Cleveland Hospital Clinic, Mai 1929.
(3) Sammlung von Vergiftungsfällen, Sept. 1932.
(4) *Lewin*, CO-Vergiftung, S. 46—48, 61, 72, 177.

(5) Lehrbuch der Toxikologie, *Flury* und *Zangger*, 1928, S. 262.
(6) *Else Petri*, Handbuch der Spez. Path. Anat. und Hist. 1930, S. 249.
(7) Archiv für Hygiene, 1913, *Lehmann* und *Hasegawa*, S. 77, 323.
(8) Nitrocellulose Industry, Worden, 1911, Inflammibility of photographic films.
(9) Chemical War Service Report, USA 15. Mai, 1929, S. 29.
(10) Proceedings of a Board of the Chemical Warfare Service, Washington, D. C. USA 1929.
(11) Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen, 1931, Bd. 43, S. 236.
(12) Journal of the American Medical Association, 1929, S. 93, 512.
(13) *Flury* und *Zernik*, Schädliche Gase, 1931, S. 158.
(14) American Journal of Roentgenology, Dr. *B. H. Nichols*, XXIII, Mai 1930, S. 516.
(15) *Schwartz*, Handbuch der Feuer- und Explosionsgefahr, 1936, S. 256.
(16) Minutes and Appendices of the Departemental Committee on Celluloid, London, 1913, S. 322.
(17) Erfahrungen bei einer Zelluloid-Explosion, *Schulthess von Rechberg*, Zürich. 1916.
(18) Feuerpolizei 1930, S. 29.
(19) Feuerschutz, 1921, S. 158; 1922, S. 95; 1927, S. 275; 1930, S. 87.
(20) Feuer und Wasser, 1926, S. 11.
(21) Zahnkronenschwund bei Nitrierarbeitern. (Festschrift für Prof. Zangger, bei Rascher, Zürich).

Lohnausfallentschädigung für Angehörige der örtlichen Luftschutzorganisationen

Gemäss Vorschlag des Eidg. Militärdepartements ist am 14. Juni 1940 folgende *Verfügung des Eidg. Volkswirtschaftsdepartements* ergangen:

1. Für die Angehörigen der örtlichen Luftschutzorganisationen besteht die Anspruchsberechtigung auf Lohnausfallentschädigung dann, wenn ihre Aktivdienstleistung mindestens 14 Tage umfasst. Wird der Aktivdienst nicht ununterbrochen geleistet, so besteht ein Anspruch auf Entschädigung nur, wenn die Dienstleistungen eines Monates mit demjenigen der vorangegangenen zwei Kalendermonate zusammen mindestens 14 Tage ausmachen.

2. Die Anspruchsberechtigung wird für die Dienstleistungen jedes Kalendermonates ermittelt.

3. Die Lohnausfallentschädigung darf nicht für solche Tage beansprucht werden, an denen die Wehrmänner noch in ihrem zivilen Beruf arbeiten können. Arbeiten die Wehrmänner an den Diensttagen, welche von den militärischen Stellen besoldet werden, nur vereinzelte Stunden in ihrem Beruf, so sind diese Arbeitsstunden zusammenzuzählen, in ganze Arbeitstage umzuwandeln und von den soldberechtigten Tagen in Abzug zu bringen.

Beziehen die Wehrmänner ausser dem Sold noch eine Verpflegungszulage und können sie sich zuhause verpflegen, so darf die Lohnausfallentschädigung im Tag und die Verpflegungszulage zusammen nicht mehr als den anrechenbaren Tagesverdienst ausmachen. Bei Ueberscheitungen ist die Lohnausfallentschädigung entsprechend zu kürzen.

4. Auf Luftschutzorganisationen von Betrieben, Anstalten und Verwaltungen finden die vorliegenden Bestimmungen im allgemeinen nicht Anwendung. Eine Ausnahme ist nur zulässig für Leute, die einer solchen Luftschutzorganisation zugeteilt sind, ohne Bedienstete der betreffenden Anlage zu sein.

5. Diese Verfügung tritt rückwirkend auf den 1. Juni 1940 in Kraft.

Luftschutz bleibt nötig!

Das Eidg. Militärdepartement teilt mit:

Die Ereignisse der letzten Zeit haben da und dort die *Frage* entstehen lassen, *ob die Luftschutzmassnahmen, besonders solche baulicher Art, weitergeführt werden sollen. Diese Frage ist entschieden zu bejahen.* Die Massnahmen des Luftschutzes erfordern gründliche Vorbereitung und lassen sich nicht erst im Augenblick höchster Gefahr improvisieren. Hierüber kann nach den Erfahrungen der letzten Kriegsmonate nicht der mindeste Zweifel bestehen. Nichts wäre verfehlter, als solche Erfahrungen, die von den Betroffenen mit überaus schweren Verlusten an Blut und Gut bezahlt werden mussten, zu übersehen und missachten.

Die baulichen Massnahmen bedürfen sorgfältiger Vorbereitung und beanspruchen Zeit. Zweckmässig eingerichtete Schutzräume sind dafür aber jahrelang verwendbar. Wie auch die allgemeine Lage im Augenblick erscheinen mag, so ist *auf alle Fälle die planmässige Bereitstellung von Schutzräumen nötig*, und zwar gemäss den bestehenden Vorschriften. Für sie gilt, was in den neuesten *Instruktionen des Generals* an die Bevölkerung erklärt wird: «Wer an seinem Wohnort bleibt, hat die Möglichkeit, sich durch Luftschutzvorkehrungen weitgehend zu schützen.» Dieses Ziel kann nur erreicht werden, wenn rechtzeitig und wirksam Vorsorge getroffen wird.