



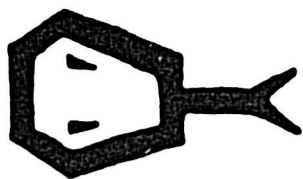
GESELLSCHAFT FÜR TOXIKOLOGISCHE UND FORENSISCHE CHEMIE

• **Toxichem**

+

• **Krimtech**





# TOXICHEM + KRIMTECH

MITTEILUNGSBLATT DER  
GESELLSCHAFT FÜR TOXIKOLOGISCHE UND FORENSISCHE CHEMIE

und der

ARBEITSGRUPPE FORENSISCHE UND TOXIKOLOGISCHE CHEMIE DER  
FACHGRUPPE LEBENSMITTEL- UND GERICHTLICHE CHEMIE DER GDCH

\*\*\*\*\*

Vorträge, gehalten an der Fortbildungswoche der GTFCH

vom 26. - 29. März 1984

in der Polizei-Führungsakademie in Hilstrup

(Fortsetzung)

BRÄNDE UND RAUMEXPLOSIONEN

G. P a u l i g

(Burgkirchen/Alz)

## GLIEDERUNG

1. Brände
  - 1.1. Definition
  - 1.2. Zündenergie
    - 1.2.1. Offene Flamme
    - 1.2.2. Wärmeentwicklung
    - 1.2.3. Elektrizität
    - 1.2.4. Selbsterhitzung
  - 1.3. Brennbare Materialien
    - 1.3.1. Gase und Stäube
    - 1.3.2. Flüssigkeiten
    - 1.3.3. Feste Stoffe
2. Raumexplosionen
  - 2.1. Definition
  - 2.2. Dampf- und Gasexplosionen
  - 2.3. Staub- und Nebelexplosionen
3. Nachweis von Brandlegungsmitteln
  - 3.1. Probennahme
  - 3.2. Extraktion
  - 3.3. Hochvakuumdestillation
  - 3.4. GC
  - 3.5. HPLC
  - 3.6. UV- und IR-Spektroskopie
4. Brandortbesichtigung

### 1. BRÄNDE

Diese Ausführungen umfassen ein Thema, das mit einer magischen Naturerscheinung, einem der klassischen Elemente zu tun hat; dem Feuer. In allen uns bekannten Ueberlieferungen spielt das Feuer eine besondere Rolle. Verbrechen sind mit ihm begangen worden, z.B. als Herostrat den Tempel der Diana in Ephesus aus Geltungssucht niederbrannte, oder als Nero Teile Roms in Schutt und Asche legte. Es wurde für kriegerische Zwecke eingesetzt, z.B. als griechische Feuer oder als chinesische Feuertöpfe, von der Verwendung als Massenvernichtungswaffe im letzten Weltkrieg ganz zu schweigen. Künstler aller Epochen und Stilrichtungen haben dieses Phänomen in ihren Arbeiten wiedergegeben.

#### 1.1. Definition

Unter einem Brand hat man einen unter Feuererscheinung ablaufen-

den chemischen Oxidationsprozess zu verstehen, der nach zeitlich begrenzter Zufuhr der Zündenergie selbständig weiterläuft.

Bei einem Schwelbrand tritt an Stelle einer offenen Flamme eine fortschreitende Glutzone auf, wobei unter entsprechenden Bedingungen ein Uebergang in einen offenen Brand möglich ist.

Zu den Voraussetzungen zur Entstehung eines Brandes gehört, dass brennbares Material in entsprechender Struktur vorhanden ist, dass Sauerstoff in freier oder gebundener Form im Reaktionsraum anwesend ist, und dass die Zündenergie wirksam wird.

Für die Kriminaltechnik und die forensische Chemie sind nur solche Brände von Interesse, die in einem Zusammenhang mit einer strafbaren Handlung stehen, z.B. durch vorsätzliche Brandstiftung nach §§ 306 ff. StGB oder durch fahrlässige Brandstiftung nach § 309 StGB. Die Entscheidung darüber, ob eine solche strafbare Handlung vorliegt, kann nur durch eine Klärung der Brandursache erfolgen. Es ist daher die Aufgabe des Sachverständigen, durch geeignete Untersuchungen unter Anwendung gesicherter wissenschaftlicher Methoden die Brandursache ausfindig zu machen. Seine Schwierigkeiten dabei sind offenkundig: Er findet am Brandort einen Zustand vor, der sich durch die Veränderungen, die entweder durch den Brand selbst oder durch die Brandbekämpfungsmassnahmen verursacht wurden, wesentlich von dem Zustand unmittelbar vor dem Brand unterscheidet.

## 1.2. Zündenergie

Bei der unerlässlichen Besichtigung des Brandortes wird sich zunächst die Frage nach der Herkunft der Zündenergie stellen. Die nachfolgende Liste der Energiequellen erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern berücksichtigt nur die häufiger auftretenden Energiearten.

### 1.2.1. Offene Flamme

In jeder Flamme, d.h. in dem unter Leuchterscheinungen ablaufenden Verbrennungsprozess eines Gas- bzw. Dampf-Sauerstoff-Gemisches, treten hohe Temperaturen auf. Bereits beim Abbrennen eines Zündholzes werden Temperaturen von 1000 °C erreicht, die Flamme eines  $C_2H_2 / O_2$ -Schweissbrenners erreicht in ihrem weissleuchtenden Flammenkern Temperaturen von 3200 °C.

Diese Temperaturen überschreiten bei weitem den Zündpunkt der meisten brennbaren Materialien. Ein ausreichend langer

Kontakt zwischen einer Flamme und brennbarem Material muss daher zwingend zur Entstehung eines Brandes führen, soweit die anderen aufgeführten Voraussetzungen erfüllt sind.

In der Wirkung einer offenen Flamme gleichzusetzen sind die bei Schweiss- und Lötarbeiten, beim Schleifen und bei Trennarbeiten wegfliegenden hochoberhitzten Metallteile, deren Temperatur zwischen 600 und 1000 °C liegen kann. Diese rot- bis weissglühenden Funken und kleine Schmelzperlen können mehrere Meter weit weg geschleudert werden und sind in der Lage, am Auftreffpunkt befindliches brennbares Material zu entzünden.

### 1.2.2. Wärmeentwicklung

Auch die Wärme einer heissen Oberfläche kann ausreichen, um die chemische Reaktion, die einem offenen Brand zu Grunde liegt, auszulösen. Beispielsweise kann die Oberflächentemperatur einer auf höchster Heizstufe erhitzten Elektrokochplatte genügen, um Fettdämpfe zu entzünden. An der ca. 200 °C heissen Oberfläche einer Glühlampe können sich bei direktem Kontakt Papier, Textilmaterial u.ä. entzünden. Auch Reibungswärme hat schon oft zum Ausbruch eines Brandes geführt.

Ein besonderes Kapitel ist die Zündung durch eine glühende Zone. Diese kann sich z.B. durch einen Schmelbrand ausbilden, bei dem die chemische Umsetzung des oxidierbaren Stoffes relativ langsam zonenweise fortschreitet. Bei Zutritt von Luftsauerstoff im Ueberschuss kann sich spontan ein offener Brand entwickeln. Normalerweise rechnet man in einem Wohnraum mit einem zweimaligen Luftwechsel / Std., bei einer extremen Fensterabdichtung im Zuge wärmedämmender Bauweisen verringert sich u.U. der Luftwechsel, was entscheidenden Einfluss auf den Brandverlauf bei Schmelbränden haben kann. Es ist seit langem bekannt, dass auch die Glutzone einer Zigarette oder Zigarre, in der Temperaturen von 600 bis 800 °C herrschen, einen Brand verursachen kann. Untersuchungen der Bundesanstalt für Materialprüfung haben zwar gezeigt, dass dieser Zündmechanismus nur in gewissen Grenzen wirksam werden kann, trotzdem kann diese Zündquelle nicht ausser acht gelassen werden.

### 1.2.3. Elektrizität

Seit Alters her ist bekannt, dass ein Blitzschlag die Ursache eines Brandes sein kann. Die polare Stossentladung, bei der in Millisekunden Stromstärken bis 2000 000 A und Spannungen von mehreren Millionen V auftreten können, beispielsweise in der Form eines verästelten Linienblitzes, entwickelt an der Einschlagstelle enorme Hitze. In den meisten Fällen ist daher ein Blitzschlag als Brandursache an den entstandenen Spuren deutlich erkennbar.

Gegen Blitzschlag kann ein Gebäude durch eine funktionsfähige Blitzschutzanlage gesichert werden. Keinen Schutz gibt es jedoch gegen indirekte Blitzschäden durch Auftreten einer Ueberspannung.

Durch das elektrische und magnetische Feld eines Blitzschlags können in Niederspannungs-Freileitungen Spannungen induziert werden, die umso höhere Werte erreichen, je näher der Einschlag bei der Leitung liegt. Vor der dem Einschlag nächsten Stelle der Leitung breitet sich die Ueberspannung in Form von Wanderwellen nach beiden Richtungen mit Lichtgeschwindigkeit aus. GOLDE \*) hat errechnet, dass ein Blitz von 50 000 A in einem 50 m entfernten Leitungsnetz eine Ueberspannung von ca. 300 000 V erzeugen kann. Zerstört werden vor allem an das Stromnetz angeschlossene elektrische Haushaltgeräte, besonders anfällig sind Geräte mit elektronischen Bauteilen. Zur Klärung der Schadensursache ist darauf zu achten, dass die Ueberspannung immer ihren Weg über das Stromnetz nehmen muss.

Auch bei der Verwendung von Elektrizität als Energieform in Technik und Haushalt ist mit der Entstehung von Bränden zu rechnen. Unbeabsichtigte Querschnittverringerungen im Leitersystem führen zu Erwärmungen, die bei Wackelkontakten bis zu 800 °C betragen können, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Isolierung der Leiter je nach Materialart bereits bei 60 - 70 °C zerstört werden kann.

Diese Wärmeentwicklung kann allein schon eine Entzündung von brennbarem Material bewirken, auf dem das Leitersystem aufliegt. Führt die Erwärmung der Leiter zu einer Zersetzung des Isolationsmaterials, so ist die Berührung spannungsführender Leiter mit entsprechenden Kontaktstellen Ursache für einen Kurzschluss. Die dabei auftretende Funkenbildung reicht für die Entzündung entflammbarer Gegenstände in der unmittelbaren Umgebung der Kurzschlussstelle aus. U.U. kann ein Lichtbogen-Kurzschluss entstehen, in dem Temperaturen von 3000 °C und mehr auftreten können. Metallische Leitermaterialien werden dabei verflüssigt und als Schmelzperlen mehrere Meter weggeschleudert, so dass auch Materialien in diesem Abstand von dem Lichtbogen-Kurzschluss in Brand gesetzt werden können. Die Entscheidung, ob ein primärer Kurzschluss vorlag, der den Brand verursachte, oder ob als Folge des Brandes ein sekundärer Kurzschluss entstand, ist häufig schwierig zu treffen. Elektrische Haushaltgeräte, deren Zweck es ist, Wärme zu entwickeln, sind in vielen Fällen die Ursache von Bränden. Das gilt für Bügeleisen, Heizlüfter usw. ebenso wie für Waschmaschinen und Geschirrspüler. Besonders gefährlich waren lange Zeit elektrische Nachtspeicheröfen, weil die über den glühenden Kern geleitete Luft an der Austrittsöffnung noch so heiss war, dass sie Textilmaterial o.ä. unmittelbar entzünden konnte. Diese unvollständige Aufstellung soll mit dem Hinweis auf die Implosion von Farbfernsehgeräten abgeschlossen werden, weil dadurch häufig Zimmerbrände entstehen. Ursache dieser Implosionen sind meistens Schäden durch Ueberhitzung des hochbeanspruchten Zeilentransformators.

---

\*) GOLDE, engl. Wissenschaftler, s. Schadenprisma,

Ausser der natürlichen Elektrizität in Form von Blitzschlägen oder der technischen Elektrizität ist die statische Elektrizität nicht selten die Ursache von Bränden. Die zunehmende Verwendung von Kunststoffen in der Bautechnik hat bei entsprechenden Wetterlagen zu einer Häufung von statischen Aufladungen geführt. Die Energie der dabei auftretenden Büschelentladungen reicht aus, um zündfähige Gas- bzw. Dampf-Luft-Gemische zu entzünden. Die Entzündung eines Benzindampf-Luft-Gemisches auf einem Tank-schiff auf dem Rhein war eindeutig auf die Entladung statischer Elektrizität zurückzuführen.

#### 1.2.4. Selbsterhitzung

Zahlreiche chemische Reaktionen verlaufen exotherm. Kann die entstehende Reaktionswärme nicht abgeführt werden, so führt die daraus resultierende Temperaturerhöhung im Reaktionsgemisch nach der van't Hoff'schen Regel zu einer Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit und damit zur vermehrten Wärmebildung. Drei Beispiele sollen zeigen, wie dieser Mechanismus zur Entstehung eines Brandes führen kann.

Zur Desinfektion von Hühnerställen wurde Formalinlösung verwendet. Der Lösung wurde  $\text{KMnO}_4$  zugesetzt, um durch die entstehende Reaktionswärme des exothermen Oxidationsprozesses gasförmiges Formaldehyd in Freiheit zu setzen. Bei Missachtung der Gebrauchsanweisung und falscher Dosierung konnte die Erwärmung so stark werden, dass in der Umgebung befindliche brennbare Gegenstände entzündet wurden.

In einigen Archiven werden wegen ihres künstlerischen oder historischen Wertes alte Filme aus Nitrocellulose aufbewahrt. Die Lagerung dieser Nitro-Filme ist mit einem hohen Risiko verbunden. Katalysiert von geringsten Säurespuren kann sich Nitrocellulose explosionsartig zersetzen. Die lokale Erhitzung auf ca.  $150^\circ\text{C}$  an einer einzigen Stelle reicht aus, um die unter Bildung von nitrosen Gasen ablaufende spontane Zersetzung des gesamten Materials einzuleiten.

Aus gleicher Ursache wie hier im dritten Beispiel geschildert sind wiederholt in Tischlereibetrieben Brände ausgebrochen: Ein Betriebsangehöriger beseitigt nach Arbeitsschluss verschüttetes Leinölfirnis, indem er die Flüssigkeit mit Sägespänen aufnimmt und diese firnisgetränkten Späne wieder in die Spänekiste schütet. Die konjugierten Doppelbindungen des Leinöls reagieren exotherm mit dem Luftsauerstoff unter Epoxidbildung, und die wärmedämmenden Sägespäne verhindern einen Wärmeaustausch, so dass sich die Temperatur aufschaukelt. Nach einiger Zeit entstehen so Glutkessel und Glutkanäle in dem Haufen von Sägespänen, die beim Durchbruch an die Oberfläche in einen offenen Brand übergehen.

Bei der biologischen Selbsterhitzung übernehmen Mikroorganismen die Rolle der chemischen Reaktionspartner. Ihre physiologische



Stoffwechselfätigkeit führt zur Temperaturerhöhung im Heu. Ueber mehrere Stufen, bei denen neben der Vermehrung thermophiler Mikroorganismen auch vermehrte Enzyymbildung und chemische Reaktionen eine Rolle spielen, werden im Heu Temperaturen erreicht, bei denen sich Glutnester bilden können, so dass ein mit dem Verhalten von firnisgetränkten Sägespänen vergleichbarer Mechanismus abläuft.

### 1.3. Brennbares Material

Neben der Frage nach der Herkunft der Zündenergie muss jeden Sachverständigen, der sich um die Klärung einer Brandursache bemüht, beschäftigen, welche Stoffe in Brand geraten sind. Einige der Substanzen, die bei Bränden häufiger eine Rolle spielen, sollen nachfolgend erwähnt werden.

#### 1.3.1. Gase und Stäube

Die verhängnisvollste Rolle, die diese Stoffgruppe bei Zündung spielen kann, nämlich nicht nur zu brennen, sondern zu explodieren, soll in einem späteren Kapitel behandelt werden.

Gase und Stäube bilden leicht eine homogene Mischung mit Luft, wodurch die Zündung erleichtert wird. Viele ausströmende Gase entziehen sich dem menschlichen Wahrnehmungsvermögen, so dass Schutzmassnahmen zu spät ergriffen werden. Gasförmige Brennstoffe in Mischung mit Luft sind nur innerhalb bestimmter Konzentrationen zündbar.

Hinzuweisen ist auf eine Veröffentlichung der Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin, nach der eine sichere Zündung von Gas-Luft-Gemischen durch Zigarettenglut nur in dem System Wasserstoff/Luft gelingt.

#### 1.3.2. Flüssigkeiten

Die Erkenntnis, dass nur die Dämpfe von Flüssigkeiten entzündbar sind, hat zur Schaffung des Begriffs "Flammenpunkt" geführt. Man versteht darunter die Temperatur, die erforderlich ist, um den Dampfdruck einer Flüssigkeit soweit zu erhöhen, dass genügend Dämpfe entwickelt werden, um durch eine offene Flamme gezündet werden zu können. Man hat diesen Begriff zur Kennzeichnung der Gefährlichkeit brennbarer Flüssigkeiten verwendet, indem man neben der Klassifizierung A (mit Wasser nicht mischbar) und B (mit Wasser mischbar) die Gefahrenklassen 1 (= Flammpunkt unter 21 °C), 2 (= Flammpunkt zwischen 21 und 55 °C) und 3 (= Flammpunkt über 55 °C) schuf. Zu den gefährlichsten Flüssigkeiten, denen der Gefahrenklasse 1, gehören u.a. Vergaserkraftstoffe, Aethanol, Schwefelkohlenstoff. Der Dampfdruck dieser Flüssigkeiten bei Zimmertemperatur ist so hoch, dass das zur Zündung erforderliche Dampf-Luft-Gemisch entsteht.

Es ist daher nicht verwunderlich, dass diese leicht entzündbaren Flüssigkeiten seit geraumer Zeit als Bestandteile von Waffen verwendet werden. Der "Molotow-Cocktail", der dieser Waffenart seinen Namen gegeben hat, wurde ursprünglich im Spanischen Bürgerkrieg zur Panzernahbekämpfung eingesetzt. In dieser seiner ursprünglichen Form bestand er aus einer Lösung von weissem Phosphor in CS<sub>2</sub>. Der Glasbehälter zerbrach beim Auftreffen auf die Panzerung, die Lösung lief aus, Teile des Lösungsmittels verdampften, der feinverteilte Phosphor geriet in Brand, das Lösungsmittel bzw. seine Dämpfe entzündeten sich. Aus logistischen Gründen wurden im letzten Krieg Benzin-Oel-Mischungen eingesetzt, die den gleichen Effekt brachten. Die Zündung erfolgte durch brennende Luntten. In zunehmendem Masse haben terroristische Gruppen sich dieser Art von Waffen bemächtigt. Aus den als Brandlegungsmitteln eingesetzten "Mollys" wurden bald "Jumbos", das sind Brandflaschen mit mindestens zwei Liter Inhalt, deren Wirkung entsprechend grösser ist. An Stelle der Luntenzündung wurde eine Aufschlagzündung entwickelt, indem die Brandflaschen mit Klebeband umwickelt wurden, unter dem sich eine Schicht Kaliumchlorat befand. Dem Benzin-Oel-Gemisch wurde konzentrierte Schwefelsäure zugesetzt. Zerbrach die Flasche beim Aufschlag, so reagierten Chlorat und Schwefelsäure miteinander unter Flammenbildung und die Benzindämpfe wurden gezündet. Praktische Erfahrungen und Versuche haben gezeigt, dass diese Art der Zündung überraschend gut funktioniert. Jeder Polizeibeamte, der sich einem Rechtsbrecher gegenüber sieht, der im Begriff ist, eine gezündete Brandflasche nach ihm zu werfen, sollte sich über folgendes im Klaren sein: Er befindet sich in höchster Lebensgefahr. Gelingt dem Täter sein Vorhaben, so hat der Angegriffene mit schwersten Verbrennungen zu rechnen, die u.U. seinen Tod bewirken können. Er sollte unverzüglich die erforderlichen Massnahmen ergreifen, um die gegenwärtige Gefahr für sich oder andere abzuwehren.

Brennbare Stoffe können, wie bereits beschrieben, auch an einer entsprechend heissen Oberfläche gezündet werden. Die Temperatur, die dazu erforderlich ist, bezeichnet man als Zündpunkt. Diese Grösse liegt bei brennbaren Flüssigkeiten zwischen 115 °C (CS<sub>2</sub>) und 630 °C (Aethanol). Es ist daher nicht verwunderlich, dass die Dämpfe siedender Oele, z.B. aus einem Frittiertopf, sich an einer elektrischen Heizplatte entzünden können. Ein solcher Fettbrand, der nicht ungewöhnlich ist, kann leicht durch Abdecken des Gefässes gelöscht werden. Eine kritische Situation entsteht erst dann, wenn Wasser als Löschmittel verwendet wird, nicht nur, weil das bei ca. 300 °C siedende Fett brennend umherspritzt, sondern weil das Wasser nach den allgemeinen Gasgesetzen sein Volumen um den Faktor 10<sup>3</sup> vergrössert und somit spontane Druckanstiege entstehen, die ausreichen, um Halbsteinwände zum Einsturz zu bringen.

### 1.3.3. Feste Stoffe

Hier sollen nicht die zahllosen festen Stoffe, die brennbar sind und hauptsächlich aus dem Bereich der organischen Chemie stammen,

aufgezählt werden. Auf einige Besonderheiten muss ausdrücklich hingewiesen werden. Holz ist seit Alters her weitverbreiteter Werkstoff, dessen Brennbarkeit lange bekannt ist. Weniger bekannt ist jedoch die Tatsache, dass sich Holz bei langanhaltender Hitzeeinwirkung in seiner Struktur verändern kann. Eine Dauertemperatur von 80 °C, wie sie in einer Sauna, in der Umgebung von Heizsystemen usw. nicht ungewöhnlich ist, kann ausreichen, um durch einen exothermen Zersetzungsprozess des Holzes in Verbindung mit einem Wärmestau einen Brand auszulösen.

Die weite Verbreitung, die Kunststoffe in letzter Zeit gefunden haben, hat dazu beigetragen, dass dieses brennbare Material bei vielen Bränden eine erhebliche Rolle spielt. Die Hitzeeinwirkung eines Brandes führt zur Zersetzung der Kunststoffe, und viele Schäden sind auf die Einwirkung der Zersetzungsprodukte zurückzuführen.

So gerieten in der Sakristei einer niederbayrischen Dorfkirche einige Holz- und Kunststoffgegenstände in Brand. Der Brandschaden betrug wenige hundert DM. Die Renovierung des völlig ver-russten Kirchenschiffes kostete DM 150'000.-.

Eine besondere Rolle spielt der Kunststoff PVC. Bei ca. 100 °C beginnt die Zersetzung unter Abspaltung von Chlorwasserstoff. Die dabei auftretenden Korrosionsschäden an Maschinen und Gebäuden können ein solches Ausmass annehmen, dass die Maschinen verschrottet und die Gebäude abgerissen werden müssen.

Abgesehen von den Sachschäden muss auch vor der toxischen Wirkung der aggressiven Substanz gewarnt werden. Noch gefährlicher in toxischer Hinsicht ist der bei der Zersetzung mancher stickstoffhaltiger Kunststoffe als Zersetzungsprodukt auftretende Cyanwasserstoff, dessen Entstehung u.U. bereits die Brandbekämpfung erheblich erschweren kann.

Erwähnt werden soll noch, dass sich aus festen Brennstoffen u.U. pyrotechnische Artikel und aus Sprengstoffen Brandsätze machen lassen.

Während des Strafverfahrens gegen sie füllte die Terroristin Brigitte Asdonk eine Kugelschreibermine mit abgeschabten Zündholzköpfchen und entzündete diesen Satz im Gerichtssaal, wobei die Mine mit lautem Knall zerrissen wurde.

Der heutige Abgeordnete der Alternativen Liste im Berliner Abgeordnetenhaus Kunzelmann stand als Beschuldigter vor Gericht, weil er eine Tasche mit mehreren Kilo eines Chloratsatzes mit Zeitzündeinrichtung auf einen Juristenball gebracht haben sollte. Glücklicherweise hatte die Zündung versagt. Bei kriminaltechnischen Versuchen mit identischen Sätzen über die Wirkung als Brandsatz zeigte es sich, dass der heftige Abbrand eines solchen Chloratsatzes unkontrolliert in eine Explosion übergehen kann.

## 2. RAUMEXPLOSIONEN

### 2.1. Definition

Unter Raumexplosion versteht man die sehr schnelle exotherme Reaktion des gas- bzw. staubförmigen Brennstoffs mit dem Luftsauerstoff. Infolge der Erhitzung der Luft und der Bildung gasförmiger Verbrennungsprodukte kommt es zu einem spontanen Druckanstieg. Die Raumexplosion unterscheidet sich von einer Sprengstoffexplosion dadurch, dass das explosionsfähige Gemisch ein relativ grösseres Volumen besitzt. Füllt ein solches Gemisch den Raum innerhalb seiner Begrenzungen völlig aus, so können Drucke bis zu 15 bar auftreten. Eine Raumdetonation kann eintreten, wenn die Explosion unter besonderen Umständen, z.B. in langem Rohrleitungen u.ä., mit Ueberschallgeschwindigkeit abläuft.

### 2.2. Dampf- und Gasexplosionen

Gemische von gasförmigen Brennstoffen mit Luft sind nur innerhalb der oberen und unteren Explosionsgrenzen zündbar. Für die meisten brennbaren Gase und Dämpfe liegt dieser Bereich zwischen 0,2 und 12 Vol%. Eine Ausnahme macht der Schwefelkohlenstoff, der bis 60 (!) Vol% in Luft zündbar ist. Diese Gemische können ein Fließverhalten zeigen, sie sind durch natürliche Luftbewegung, durch Besonderheiten der Bodenbeschaffenheit o.ä. in der Lage, Strecken von 100 m oder mehr zurückzulegen, ohne dass sie ihre Explosionsgefährlichkeit verlieren.

In einem Kleinbetrieb wurden auf dem Flachdach Gummiabfälle in Benzin gelöst. Benzindämpfe aus der undichten Apparatur fielen durch den Fahrstuhlschacht und entzündeten sich im Keller an dem Elektromotor des Fahrstuhls. Die Raumexplosion richtete erhebliche Gebäudeschäden an.

Eine besondere Gefährdung kann aus dem Ausströmen von Gasen abgeleitet werden, die für Heizzwecke verwendet werden. Propan- und Butangas spielen dabei eine Rolle, vor allem aber ist das Stadtgas zu nennen. In einem Mietshaus waren zwei junge Männer gemeinsam durch Leuchtgas aus dem Leben geschieden. Als ein Angehöriger den Lichtschalter des abgedunkelten Raumes betätigte, zündete der Abreissfunke das Gas-Luft-Gemisch. Die Raumexplosion riss die gesamte Vorderfront des mehrstöckigen Hauses weg und brachte das Treppenhaus zum Einsturz. In einem mehrstündigen Feuerwehr-Grosseinsatz konnten die Hausbewohner, zum Teil mit schwersten Verletzungen, aus den Trümmern befreit werden.

### 2.3. Staub- und Nebelexplosionen

Gase und Dämpfe streben durch Diffusion eine immer homogenere Verteilung in Luft an. Stäube unterscheiden sich nicht nur durch

den festen Aggregatzustand von Luft. Ihre Moleküle sind um mehrere Zehnerpotenzen grösser und schwerer, sie streben eine Sedimentierung, eine Trennung von der Luft an. Die Geschwindigkeit dieses Vorganges ist abhängig von Korngrösse und Dichte der Staubpartikel. Die Korngrösse spielt eine erhebliche Rolle in Bezug auf die Reaktionsfähigkeit des Staubes. Je grösser die Oberfläche der Partikel ist, umso heftiger läuft die Reaktion ab. Feinstes Aluminiumpulver ist äusserst explosionsgefährlich in Mischung mit Luft, und feinstes Eisenpulver bedarf keiner Zufuhr von Zündenergie, es ist pyrophor. Aus diesem Grunde gibt es keine Kenndaten für die Zündgefährlichkeit von Stäuben, da diese entscheidend von der Korngrösse abhängt. Um eine ungefähre Vorstellung von einer stoffspezifischen Zündgefährlichkeit zu vermitteln, lässt sich ausführen, dass bei gleicher Korngrösse die Zündgefährlichkeit in der Reihenfolge Aluminium - organische Pigmente - Dextrin - Kohle abnimmt. Bei der Beurteilung von Raumexplosionen ist zu beachten, dass brennbare schwerflüchtige Flüssigkeiten, z.B. Schweröle, zerstäubt werden können und dann einen Nebel aus feinsten Tröpfchen in Luft bilden, der besonders explosionsgefährlich ist.

### 3. NACHWEIS VON BRANDLEGUNGSMITTELN

Die analytische Erfassung von Rückständen von Brandbeschleunigungsmitteln ist mit Schwierigkeiten verbunden, auf die hier kurz eingegangen werden soll.

#### 3.1. Probennahme

Besteht der Verdacht des Vorliegens leichtflüchtiger Brandbeschleunigungsmittel, so muss die Probenahme aus dem Bereich des vermuteten Brandherdes möglichst umgehend erfolgen. Es hat sich gezeigt, dass Polyäthylen-Kunststoff-Folien ungeeignet sind, da niedrigsiedende Kohlenwasserstoffe durch die Folien hindurch diffundieren können und sich so dem Nachweis entziehen. Unkompliziert zu verwenden sind grosse Glasgefässe mit Schliffstopfen oder -deckel. Als einfache Hilfsmittel bei kurzer Aufbewahrungszeit haben sich Kaffeedosen aus Blech bewährt, die handelsüblich mit einem passenden Polyäthylendeckel geliefert werden. Zur Vermeidung von Diffusionsverlusten wird zwischen Deckel und Dose Aluminiumfolie zwischengelegt.

Bei gaschromatographischen Untersuchungen nach der head-space-Technik haben diese Dosen den Vorteil, dass eine Probe aus dem Dampfraum nach entsprechendem Vorwärmen der Dose unmittelbar abgezogen werden kann, indem man mit der Kanüle der Injektionspritze Kunststoffdeckel und Aluminiumfolie durchsticht. Mit sehr gutem Erfolg werden auch Bratfolien zur gasdichten Aufbewahrung von Probenmaterial verwendet.

### 3.2. Extraktion

Wie immer in der analytischen Chemie müssen zunächst die zur Identifizierung vorgesehenen Substanzen, in unserem Fall die Brandbeschleunigungsmittel, von der Matrix getrennt werden. Die Extraktion fester und flüssiger Brandbeschleunigungsmittel gelingt meist ohne Schwierigkeiten. Es ist bei der Wahl des Lösungsmittels darauf zu achten, dass es sich bei der Identifizierung hinreichend von den gesuchten Substanzen unterscheidet.

### 3.3. Hochvakuumdestillation

Zur Isolierung von schwerflüchtigeren Substanzen ist die Hochvakuumdestillation geeignet. Schwierigkeiten können bei der Auswahl von geeigneten Gefäßen zur Aufnahme des Untersuchungsmaterials eintreten. Liegen Mischungen physikalisch unterschiedlicher Komponenten des Brandlegungsmittels vor, z.B. bei flüssigem Bohnerwachs o.ä., so hat sich eine Kombination von Hochvakuumdestillation und Extraktion zur Isolierung der Einzelkomponenten bewährt.

### 3.4. Gaschromatographie

Eine hervorragende Methode zur Identifizierung flüchtiger Substanzen ist die Gaschromatographie. Besonders bei Verwendung von Kapillarsäulen erhält man bei der Untersuchung technischer Gemische wie Vergaserkraftstoffe, Heiz- und Dieselöle, Farbverdünner o.ä. charakteristische Peakmuster. Extraktions- und Destillationsprodukte können direkt auf die Säule gebracht werden.

Bei Anwendung der bereits erwähnten head-space-Technik ist zu beachten, dass sich die Peakmuster deutlich von denen der flüssig aufgetragenen Proben unterscheiden. Bei Hitzeeinwirkung verdampfen zunächst die leichterflüchtigen Komponenten, so dass sich die Zusammensetzung des Untersuchungsmaterials verändert, worauf bei Vergleichsuntersuchungen zu achten ist. Pyrolyseprodukte aus der Matrix können ebenfalls das Peakmuster verändern, vor allem beim Vorliegen von Kunststoffanteilen.

### 3.5. HPLC

Zur Identifizierung hochsiedender Flüssigkeiten, wie Motoröl, schwerem Heizöl o.ä., hat sich die HPLC hervorragend bewährt.

### 3.6. UV- und IR-Spektroskopie

GC und HPLC ermöglichen eine gleichzeitige Isolierung und Iden-

tifizierung. In den Fällen, in denen zur Isolierung andere Methoden eingesetzt wurden oder in denen das Peakmuster keinen Aufschluss über die Art der vorliegenden Substanzen gibt, können zur Identifizierung die klassischen Methoden der IR-Spektroskopie eingesetzt werden.

In Einzelfällen hat sich wegen ihrer höheren Empfindlichkeit auch die UV-Spektroskopie bewährt.

#### 4. BRANDORTBESICHTIGUNG

Die Frage nach der Brandursache ist häufig schwierig zu beantworten. Erforderlich ist die Kenntnis der Brandbelastung des betroffenen Raumes und Gebäudes, denn nur bei solchen Fällen sind alle Eigentümlichkeiten des Brandverlaufs abzuschätzen, bei denen Menge und Art des brennbaren Materials am Brandort bekannt sind. Der Brandverlauf wieder gibt möglicherweise Aufschluss über den Entstehungsort des Brandes.

Gerade bei der Suche nach dem Brandherd aber kann keine Zeichnung, keine noch so brillante Bildmappe den persönlichen Augenschein am Brandort ersetzen. Lage und Ausmass der Brandzehrungen, Strukturen und Strukturveränderungen bei Verkohlungen an Holz, Schmelz- und Zersetzungserscheinungen an Kunststoffen, Vergilbungen und Verfärbungen und viele andere Einzelheiten können ein deutlicheres Bild abgeben als auch die beste Beschreibung.

Nach Möglichkeit muss der Sachverständige daher den Brandort in Augenschein nehmen. Für den möglicherweise folgenreichen Inhalt seines Gutachtens trägt er allein die volle Verantwortung, und er sollte seiner Urteilskraft mehr vertrauen als auch den detailliertesten Beschreibungen.

Betr.: Teilnahme am Rundversuch

Für alle, die verhindert waren zur Vorbesprechung nach FRANKFURT zu kommen und noch Interesse haben, am Rundversuch mit C o d e i n und S e c o b a r b i t a l - N a t r i u m (methanolische Lösungen) teilzunehmen, besteht die Möglichkeit, entsprechende Proben bei

Dr. E. S C H N E I D E R

Landeskriminalamt Baden-Württemberg

Taubenheimstr. 85

7000 S T U T T G A R T

Tel.: 0711 / 5060 - 2410

kostenlos anzufordern.

Abgabe der Ergebnisse bis spätestens

DONNERSTAG, den 31.1.85 an Herrn

Dr. S c h n e i d e r.





