

Quelle: <https://www.arbeitssicherheit.de//document/ffa35d51-da14-309d-ad9b-aa41dcf52948>

Bibliografie

Titel	Praxishandbuch Brandschutz
Herausgeber	Scheuermann
Auflage	2016
Abschnitt	2 Grundlagen des Brand- und Explosionsschutzes → 2.8 Moderne Brandermittlungen zwischen Intuition, Erfahrung und Wissenschaft
Autor	Stolt
Verlag	Carl Heymanns Verlag

2.8.2 Der Brand

Jeder Brandermittler, der sich erfolgreich mit dem Phänomen Branddelikte auseinandersetzen oder Brandermittlungen bei einem Brand durchführen will, sollte die Vorgänge der Verbrennung kennen. In diesem Abschnitt werden die Grundzüge der Wärmelehre behandelt.

Brandkategorien:



Abb. 1: Entstehungsbrand



Abb. 2: Kleinbrand



Abb. 3: Mittelbrand



Abb. 4: Großbrand

Stellt man sich das Phänomen »BRAND« bildlich vor, so sieht man vor sich ein wie auch immer geartetes Objekt, eingehüllt in lodernde Flammen, flackernde, zuweilen gleißende Leuchterscheinungen, Rauch bzw. Qualm steigt über diesem auf und das Objekt fällt dieser ungezügelter Naturgewalt zum Opfer; nichts hindert seine verzehrende Wirkung, das Resultat ist rauchender Schutt.

Mit diesem geistigen Bild ist jedoch weder dem Naturwissenschaftler noch dem Techniker, weniger noch dem Straf- bzw. Versicherungsjuristen gedient, der entscheiden muss, ob in einem speziellen Falle ein »Brand« vorgelegen hat oder nicht, denn dieses Phänomen kann in den unterschiedlichsten Erscheinungsformen und Intensitäten in der Realität auftreten.

2.8.2 Der Brand – Seite 2 – 01.12.2010 >>

Hier muss daher versucht werden, diese Sinnesvorstellung in einer klaren und unverwechselbaren Definition zu fassen, damit eine eindeutige Differenzierung in »BRAND – NICHTBRAND« vorgenommen werden kann. Zunächst soll versucht werden, in den Definitionsmöglichkeiten der Naturwissenschaften das Phänomen »BRAND« zu fassen.

Damit eine Verbrennung »funktioniert«, müssen bestimmte Stoffe vorhanden sein oder bestimmte Voraussetzungen erfüllt werden:

- Sauerstoff
- brennbarer Stoff
- in einem bestimmten Mengenverhältnis
- Zündtemperatur und
- gegebenenfalls: Katalysator

Brennbarer Stoff im richtigen Mengenverhältnis zu Sauerstoff und die erforderliche Reaktionstemperatur führen zu einer Oxidation. Reaktionstemperatur ist entweder die normale Umgebungstemperatur oder eine bestimmte Zündtemperatur. Hierbei treten Feuererscheinungen auf.

Wird einer dieser Punkte weggelassen, so kann die Verbrennung nicht mehr weiter verlaufen. Ist dann auch noch brennbares Material nachweisbar, haben wir »gelöscht«.

Bei der Verbrennung entstehen:

- Verbrennungsprodukte (z.B. Brandgase, Asche und Ruß)
- Lichtstrahlung (Flamme)
- Wärmestrahlung (Glut)

Dieser lässt sich definieren als »exotherme Oxidationsreaktion«, die mit einer – wie auch immer gearteten – Leuchterscheinung des »brennenden« Bereichs verbunden ist.

DIN 14011, Teil 1 (Begriffe aus dem Feuerwehrwesen – physikalische und chemische Vorgänge) definiert das »BRENNEN« nicht ganz korrekt: Brennen ist eine mit Flamme und/oder Glut selbstständig ablaufende exotherme Reaktion zwischen einem brennbaren Stoff und Sauerstoff oder Luft.

Nicht korrekt ist hier, dass Brennvorgänge bekannt sind, die ohne Sauerstoff oder Luft mit einer Flamme und/oder Glut ablaufen (d.h. die Chlor-Knallgas-Reaktion), sodass es sich empfehlen würde, die Definition auf »exotherme Oxidationsreaktion mit Flamme und/oder Glut« zu beschränken. Die hier neu durch die Norm eingeführten Begriffe sind: Flamme und Glut.

Zur Beschreibung helfen auch hier die Normen weiter:

- »FLAMME« (DIN 50060): »Verbrennungszone in der Gasphase, von der sichtbare Strahlung ausgeht«

2.8.2 Der Brand – Seite 3 – 01.12.2010 << >>



Abb. 5: Abhängigkeiten verschiedener Größen beim Brand

- »GLUT« (DIN 14011) »Glut ist ein erwärmter fester oder flüssiger Stoff mit sichtbarer Wärmestrahlung«
und zur Ergänzung:
- »GLIMMEN« (DIN 50060): »Verbrennung eines Materials in festem Zustand ohne Flammerscheinung, jedoch mit Ausstrahlung von Licht von der Verbrennungszone«.

Feuer ist also die sichtbare Begleiterscheinung einer Verbrennung. Ihre Erscheinungsformen:

- Flamme = ein lichtaussendender (verbrennender) Gas-(Dampf-)Strom
- Glut = die sichtbare Wärmestrahlung fester Stoffe

Der Sammelbegriff «brennbarer Stoff» umfasst gasförmige, flüssige und feste Stoffe einschließlich Dämpfe, Nebel und Stäube, die im Gemisch

oder Kontakt mit Luft oder Sauerstoff zum Brennen neigen. Sie werden allgemein auch als «Brennstoff» bezeichnet.

Der Brennstoff selbst beeinflusst das Brandgeschehen in vielfältiger Weise. Das Brandverhalten eines Brennstoffes ist im Wesentlichen abhängig von seinen chemischen und physikalischen Eigenschaften, vom jeweiligen Aggregatzustand – fest, flüssig oder gasförmig – und von den Umgebungseinflüssen.

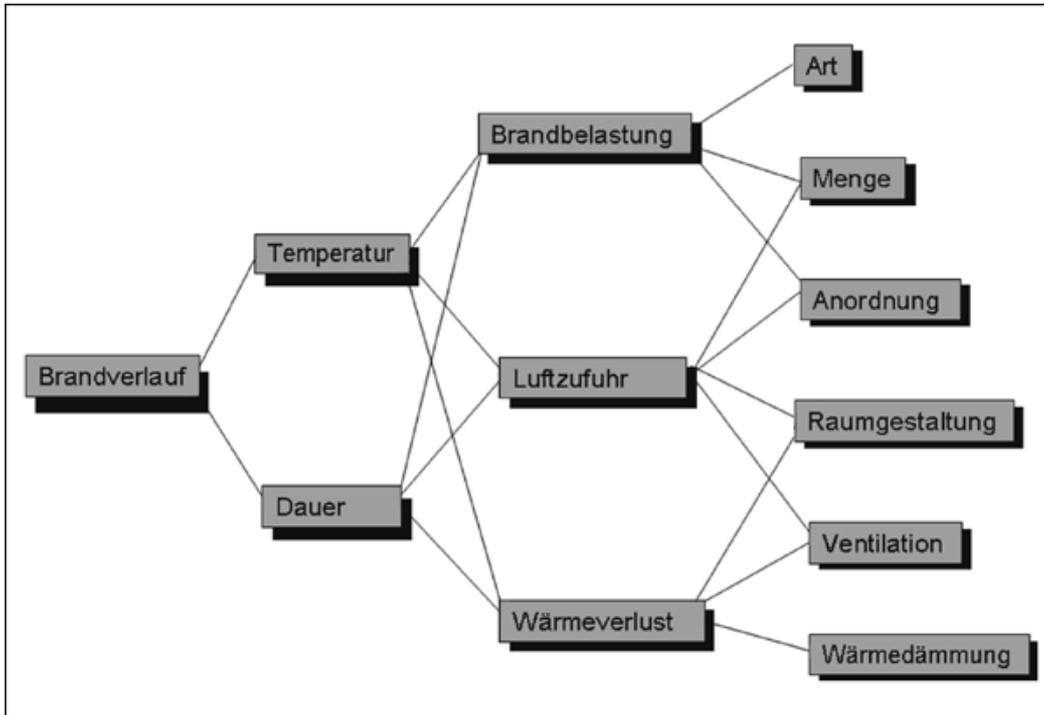


Abb. 6: Der Brandverlauf

Nicht alle brennbaren Stoffe verhalten sich während des Brennvorganges gleich. Zur Beurteilung der brennbaren Stoffe unterscheidet man daher in erster Linie:

- Entzündbarkeit
- Brennbarkeit
- Verbrennungswärme
- Verbrennungstemperatur

Das Brandverhalten ist jedoch keine Stoffeigenschaft oder Materialkonstante. Die Vergrößerung der Oberfläche eines Werkstoffes kann wesentliche Änderungen des Brandverhaltens hervorrufen:

Während ein Holzklotz von einer Flamme zunächst nur geschwärzt wird, kann er durch Vergrößerung seiner Oberfläche zu Holzwolfe leicht entzündet und durch weitere Oberflächenvergrößerung als aufgewirbelter Holzstaub zur Explosion gebracht werden.

2.8.2 Der Brand – Seite 5 – 01.12.2010 << >>

Die große Oberfläche der Stahlwolle macht den Werkstoff Stahl mit geringer Zündenergie brennbar.

Aluminiumstaub verbrennt, wie auch viele andere Stäube, aufgewirbelt explosionsartig, wobei erhebliche Wärmemengen frei werden.

Bevor ein Stoff brennt, muss er erst einmal entzündet, d.h. auf seine Zündtemperatur erwärmt werden. Aber auch hier verhalten sich nicht alle brennbaren Stoffe gleich. So ist die Entzündbarkeit abhängig vom Zustand des Stoffes. Zum Beispiel:

- Aggregatzustand
- Zusammensetzung
- Temperatur
- Druck
- spezifische Oberfläche usw.

Deshalb unterscheiden wir zwischen:

- **schwer entzündbar:** notwendige Zündenergie größer als die einer Streichholzflamme
- schwer entzündbare Stoffe: alle brennbaren Stoffe, die mit der Zündenergie einer Lötlampe zur Entzündung gebracht werden können, z.B. Holzkohle, Koks
- **normal entzündbar:** notwendige Zündenergie die einer Streichholzflamme
- normal entzündbare Stoffe: Hier sind all die brennbaren Stoffe einzuordnen, die mit der Zündenergie eines Streichholzes zur Entzündung gebracht werden können, z.B. Papier, Holzspäne.
- **leicht entzündbar:** notwendige Zündenergie geringer als die einer Streichholzflamme
- leicht entzündbare Stoffe: Dies sind brennbare Stoffe, die mit einer brennenden Zigarette zur Entzündung gebracht werden können, z.B. Acetylen, Schwefelkohlenstoff.
- **selbstentzündbar:** notwendige Zündenergie wird aus der Eigenoxydation gewonnen
- Bei selbstentzündbaren Stoffen handelt es sich um alle brennbaren Stoffe, die ohne äußere Energiezufuhr zur Entzündung kommen, z.B. Phosphor, Natrium.

Faktoren zur Bewertung der Entzündbarkeit:

- Zustand des Stoffes wie Aggregatzustand, Verhältnis Oberfläche/Masse
- Eigenschaften des Stoffes wie Zündtemperatur, Flammpunkt, Explosionsgrenzen

2.8.2 Der Brand – Seite 6 – 01.12.2010 << >>

Während des Brennvorganges verhalten sich nicht alle Stoffe gleich. Deshalb werden diese nach ihrer Brennbarkeit unterteilt.

Wir unterscheiden:

- **schwer brennbare Stoffe:** Diese Stoffe brennen nach dem Entzünden nur weiter, wenn Fremdwärme zugeführt wird. Wird aber die Zündquelle fortgenommen, erlöschen sie. Als Beispiel kann hier die Schafwolle (natürliches Produkt) genannt werden. Aber auch andere Materialien, wie etwa Dekorationsteile, wenn man diese durch chemische Behandlung schwer brennbar gemacht hat.
- **normal brennbare Stoffe:** Die Eigenschaft dieser Stoffe ist es, dass sie nach dem Entzünden unter der Wegnahme der Zündquelle von selbst mit normaler Geschwindigkeit weiterbrennen, z.B. Holz und Papier.
- **leicht brennbare Stoffe:** Nach dem Entzünden und der Wegnahme der Zündquelle brennen diese Stoffe von selbst mit hoher Geschwindigkeit weiter, z.B. Gase.

Der Brennvorgang beschleunigt, wenn der Brennstoff fein verteilt und mit dem für den Brennvorgang notwendigen Verhältnissen zusammentrifft. Dieser Vorgang wird noch stärker beschleunigt, wenn reiner Sauerstoff zugeführt wird. Daraus lässt sich ableiten, dass bei einer Veränderung des Mischungsverhältnisses die Abbrandrate (Abbrandgeschwindigkeit) geändert werden kann, z.B. bei einer Schweißflamme oder eine Verbrennungsmaschine (Benzinmotor). Daneben unterscheiden wir zwischen einer:

- Verpuffung
- Explosion
- Detonation

Erkennbar ist eine **Verpuffung** an einer relativ weichen Stichflamme, der ein dumpfes Geräusch folgt. Es entsteht eine geringe Druckwirkung. Die Zündgeschwindigkeit liegt bei einer Größenordnung von Zentimetern pro Sekunde.

Die **Explosion** wird kenntlich durch eine harte weitreichende Stichflamme, der ein scharfer Knall und eine Druckwelle folgen. Die Zündgeschwindigkeit pflanzt sich in Metern pro Sekunde fort.

Bei einer **Detonation** beträgt die Zündgeschwindigkeit Kilometer pro Sekunde. Erkennbar ist der Ablauf einer Detonation an einer weitreichenden Stichflamme mit einer sehr hohen Wärmeintensität, einem scharfen, schmetternden Knall sowie einer Stoßwelle.

Ein Brennvorgang verläuft umso schneller, je günstiger (intensiver) das Mengenverhältnis zwischen brennbarem Stoff und

Sauerstoff ist. Doch Sauerstoff selbst brennt nicht, ohne Sauerstoff ist aber kein Brennvorgang möglich. Allerdings wissen wir auch, dass Sauerstoff nicht immer in gleichem Umfange zur Verfügung steht. So unterscheidet sich ein Feuer im

2.8.2 Der Brand – Seite 7 – 01.12.2010 << >>

Freien deutlich von dem in einem Kellerraum. Es wird daher von einem »unvollkommenen« und »vollkommenen« Brennen gesprochen.

Die meisten Brände in Gebäuden sind Feststoffbrände (Brandklasse A). Aus diesem Grund wird auch hier vom Brandverhalten der Feststoffe ausgegangen. Der zeitliche Verlauf bzw. die Entwicklung eines Brandes ist grundsätzlich durch verschiedene Phasen gekennzeichnet. Die Dauer des Brandes ist unter anderem von der Zündquelle, der Brandlast, der Rauch- und der Wärmefreisetzungsrate, der Brandausbreitungsgeschwindigkeit, den Ventilationsbedingungen und dem Verhalten einer Löschung (z.B. Brandmelder, Sprinkler, Einsatz der Feuerwehr) abhängig.

Selbsterhitzung/Selbstentzündung/Selbstentzündungstemperatur

Die Selbsterhitzung eines brennbaren Materials kann unterschiedliche Ursachen haben. Es kann sich um einen physikalischen Vorgang, analog einer adiabatischen Kompression, einen chemischen Vorgang, wie Autoxidation, Polymerisation, oder andere Arten exothermer Reaktionen handeln, es können jedoch auch biologische Prozesse zur Selbsterhitzung führen (Selbsterhitzung eingelagerten Ernteguts, durch thermophile Bakterien eingeleitet). Eine Selbsterhitzung ist für die Selbstentzündung notwendig, wenngleich nicht jede Selbsterhitzung zur Selbstentzündung führen muss. Die Entzündung ohne Energiezufuhr von außen bei selbstentzündlichen Stoffen wie z.B. bei weißem Phosphor. Hierzu ist es notwendig, dass die Selbstentzündungstemperatur des vorliegenden Brennstoffes erreicht wird und der notwendige Sauerstoff, zumeist in Form von Luft, zur Verfügung steht.

Selbstentzündung durch Oxydationsvorgänge sind nur möglich, wenn

- die normalen Vorbedingungen der Verbrennung erfüllt sind,
- der Stoff schon bei Normaltemperatur merklich oxidiert,
- die entstehende Wärme gestaut bleibt. Wärmestau: Es wird mehr Wärme zu- als abgesondert.

Bei entsprechenden Vorgängen, bei denen die Erwärmung nicht oder noch nicht zur Zündung geführt hat, spricht man von Selbsterwärmung.

Selbsterwärmungsvorgänge können

- Minuten (Phosphor, Natrium, Kalium),
- Stunden (Leinöl, Eisensulfit),
- Wochen (Heu, Tabak),
- Monate (Braunkohle)

bis zum Eintritt der Selbstentzündung dauern.

2.8.2 Der Brand – Seite 8 – 01.12.2010 << >>

Brandphasen

Nach der Entzündung werden folgende Brandphasen unterschieden:

- Phase 1: Brandentstehung mit niedriger Wärmefreisetzungsrate (Glimm- und Schwelbrand)
- Phase 2: (quadratische) Zunahme der Wärmefreisetzungsrate und Brandfläche durch Wärmestrahlung (Abstandsgesetz nach Stephan-Boltzmann)

Variante 1 (unkontrollierter Brand)

- Phase 3: entwickelnder Brand mit Wärmestrahlung und Wärmeströmung
- Phase 4: stetiger Brand mit konstanter Wärmefreisetzungsrate und Brandfläche (Vollbrand)

- Phase 5: abklingender Brand

Variante 2 (kontrollierter Brand)

- Phase 3: kontrollierter Brand bei aktivierter Löschanlage
- Phase 4: Brandbekämpfung durch die Feuerwehr
- Phase 5: abklingender Brand

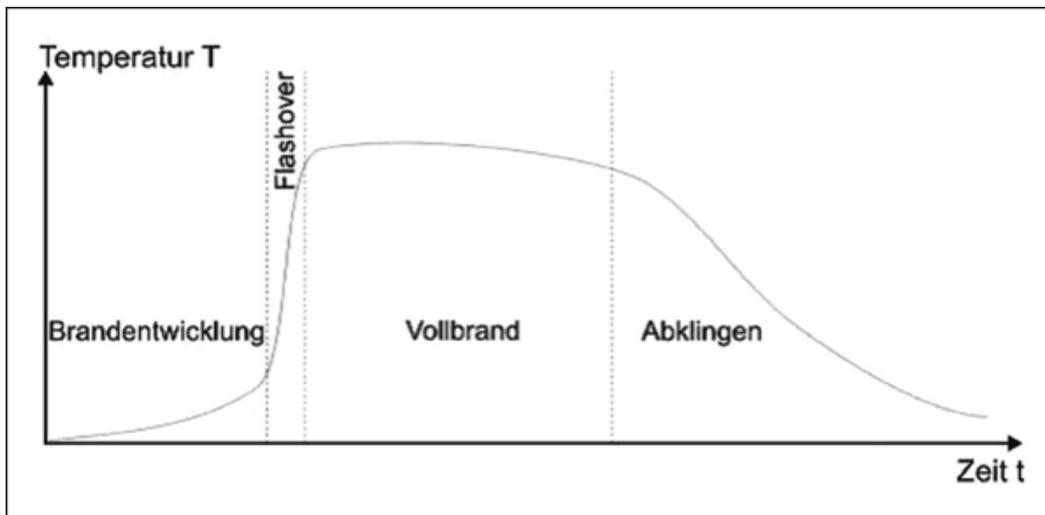


Abb. 7: Zeitlicher Brandverlauf

Rauchfreisetzung

Um bei der Brandermittlung im konkreten Brandfall die freigegebenen Rauchgasmassenströme (Menge und räumliche Ausbreitung) berücksichtigen zu können, sind unter anderem verschiedene Brandverläufe unter den im Objekt möglichen Randbedingungen zu untersuchen:

- **niederenergetische Brände:** Brandverlauf mit geringer Wärmefreisetzungsrate und kleiner Brandfläche
- **hochenergetische Brände:** Brandverlauf mit der höchsten erwarteten Wärmefreisetzungsrate

In diesem Zusammenhang muss durch den Brandermittler die jeweilige Rauchgasfreisetzung (Quellterm) einer Brandquelle im Objekt ermittelt werden.

Die Rauchgasfreisetzung wird unter anderem bestimmt von:

- Brandgut
 - Stoff, Stoffgemische, Stoffzusammensetzung insbesondere flammfördernde bzw. auch flammenhemmende Zusätze und Bindung der Komponenten (z.B. Holzleimbinder). Die Schwierigkeit ist, dass von den heute üblichen Stoffgemischen diese Daten im Regelfall nicht bekannt sind. Es sind zwar die Daten von einigen Stoffen und Stoffgemischen (z.B. Rauchzusammensetzung, Rauchfreisetzung) bekannt, die unter Laborbedingungen (z.B. Concalariemeter) kontrolliert verbrannt wurden. Es darf jedoch unterstellt werden, dass bei diesen Stoffen die Rauchgasfreisetzung und -Zusammensetzung um ein Vielfaches kritischer zu bewerten ist.
- Oberfläche
- Feuchtegrad
- Umgebungsbedingungen
 - Luftdruck, Luftfeuchte

- Belüftung (Ventilation), Sauerstoffkonzentration (z.B. ein sauerstoffunterversorgter Brand weist in der Regel eine hohe Rauchfreisetzung, aber eine geringe Wärmefreisetzung auf)
- Anordnung der Brandlast im Raum
 - Nähe zu Wänden, Ecken, Böden oder Decken (z.B. Papierrollen waagrecht oder senkrecht)

Während für die »hochenergetischen« Brandphasen der Massenstrom an frei aufsteigendem Rauchgas in einer bestimmten Aufstieghöhe und oberhalb der leuchtenden Flamme bekanntlich in der dritten Wurzel proportional zur Wärmefreisetzung unterstellt werden darf, gilt dies für

2.8.2 Der Brand – Seite 10 – 01.12.2010 << >>

die Bemessung der Brandentwicklungsphase und für Brände mit niedriger Wärmefreisetzungsrate nicht generell. Denn hier kann je nach Stoff und Randbedingungen der freigesetzte Rauchgasmassenstrom erheblich sein. Das Verhältnis der unverbrannten Bestandteile zum Ausgangsprodukt kann hierbei sehr viel größer werden als bei einem gut ventilerten, weiterentwickelten Brandstadium, d.h., die Ruß- und Partikelkonzentration ist dann deutlich höher.

In der Zusammensetzung des Rauches findet man bei Produkten, die Kohlenstoff im Molekül enthalten, generell aufgrund ihres häufigen Vorkommens und der hohen Konzentrationen meist:

- Kohlenmonoxid (CO) z.B. bei Kabeln
- Chlorwasserstoff (Salzsäure HCl)
- Holz, bestimmte Kunststoffe
- Cyanwasserstoff (Blausäure HCN) und
- Aldehyde (besonders Formaldehyd HCHO)

Kohlenmonoxid (CO) entsteht bei der (unvollständigen) Verbrennung kohlenstoffhaltiger Stoffe, also bei fast jedem Brand. CO ist farb- und geruchlos, brennbar und sehr giftig.

Blausäure (HCN) entsteht bei der Verbrennung stickstoffhaltiger Stoffe (z.B. tierische Wolle, Bettfedern).

Diese Stoffe werden auch als »Leitsubstanzen« bezeichnet. Jeder Brandrauch enthält auch reizende Bestandteile.

Sind in der Brandlast auch sonstige Chemikalien, Düngemittel oder Kunststoffe enthalten, können die Brandgase auch folgende Stoffe in höheren Konzentrationen enthalten. Dieser reizende Rauch ist generell schwierig zu bestimmen und vorherzusagen.

- Ammoniak (NH₃)
- Schwefeloxide (SO_x)
- Stickoxide (NO_x)
- Isocyanate
- Phosgen (COCl₂),

sowie organische Verbindungen wie:

- polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK),
- polychlorierte Dibenzol-Dioxine und -Furane (PCDD bzw. PCDF),

wobei Letztgenannte überwiegend an den Brandruß gebunden sind und bei der kalten Brandstelle zu Problemen führen können. In diesem Zusammenhang soll ausdrücklich auf den Arbeits- und Gesundheitsschutz bei Brandermittlungen hingewiesen werden.

2.8.2 Der Brand – Seite 11 – 01.12.2010 << >>

Brandausbreitung durch Konvektion

Die Ausbreitung der Rauch- und Brandgase in geschlossenen und nicht entrauchten Räumen wird bestimmt durch die Brandquelle,

die einen nach oben gerichteten Thermikstrom (Plume) erzeugt.

Ein Luftstrom entsteht durch die Bewegung der Luft zum Brandherd und die Bewegung von überhitzten Verbrennungsprodukten vom Brand weg. Der wissenschaftliche Begriff ist »Schwerkraftströmung«.

Strömungsprozesse

Die Basisvorstellung ist die dichteneutrale Ausbreitung einer spontan freigesetzten endlichen Masse aus einer Punktquelle – Gauß'sches Ausbreitungsmodell (Plume-Modell). Die im unteren Raumbereich durch den Verbrennungsprozess entstehende Wärme strömt als Konvektionsstrahl nach oben. Wenn er dabei auf horizontale Hindernisse stößt, breitet er sich horizontal aus (Ceiling Jet). Die auf der Lauflänge des Plume dem Thermikstrahl durch Induktion beigemischte Raumluft muss aus dem unteren Raumbereich ersetzt werden. Dieser grundsätzliche Prozess führt schließlich zu einer Rezirkulation der Strömung im Brandraum, bei der Rückströmungen der Brandgase vom Decken- in den unteren Aufenthaltsbereich stattfinden. Je weiter die Strecke ist, die der Rauch zurücklegt, desto kühler wird er, was unter anderem dazu führt, dass eine teilweise Vermischung von Luft und Rauch zustande kommt. Dies geschieht somit in gleicher Weise wie bei beheizten Räumen mit Konvektionsströmungen, jedoch ggf. mit höherer Geschwindigkeit infolge höherer Energieleistung des Brandes als einer Heizung.

Da der Induktionsprozess im Bereich des voll ausgebildeten Thermikstrahls die höchsten Werte erreicht, wird zu Beginn der Deckenbereich verraucht, die Verrauchung der unteren Raumbereiche verläuft etwas langsamer. Trotzdem beträgt die Zeitspanne, bis der Brandrauch die untere Aufenthaltszone erreicht, nur wenige Minuten. Für Räume unterschiedlicher Höhe wurde belegt, dass in geschlossenen Räumen mit 5 m, aber auch mit 20 m Höhe die Verrauchungszeit des unteren Aufenthaltsbereichs im Bereich von nur drei Minuten lag.

Es muss bei der Abschätzung des im Brandfall entstehenden Rauchvolumens auch die mögliche Höhenlage des Brandherdes im Raum in Betracht gezogen werden. Die einzelnen den Brandrauch bestimmenden Parameter wie Temperatur, Strahlung, Partikeldichte, Gaszusammensetzung und Rauchfarbe usw. lassen sich heute im Prüflabor von den unterschiedlichsten Stoffen zwar unabhängig voneinander meist mit ausreichender Genauigkeit feststellen. Die Wirkungen der unterschiedlichen Stoffe zueinander und die eventuell dadurch stattfindende Bildung neuer Stoffe sind aber erst in ersten Ansätzen erforscht. Es ist noch völlig unklar, wie sich unterschiedliche Stoffgemische auf die individuelle Brandsituation auswirken, hier stehen wir erst am Anfang der Erforschung.

2.8.2 Der Brand – Seite 12 – 01.12.2010 << >>

Wenn die Luftströmung langsam (ruhig) und laminar (d.h. flächenförmig) verläuft, kann das ein Hinweis darauf sein, dass sich der Brand erst im Anfangsstadium befindet und höchstwahrscheinlich nur »Brennstoff«-kontrolliert ist. Ist die Luftströmung jedoch schnell und verläuft mit Verwirbelungen (oft ist auch die Rauchschrift relativ niedrig), kann dies auf einen weiterentwickelten, »Zuluft«-kontrollierten Brand hinweisen. Kräftiges Pulsieren des Luftstromes ist ein deutliches Zeichen für einen solchen »Zuluft«-kontrollierten Brand.

Schichtenbildung

In Räumen mit funktionierender »Entrauchung« werden sich zwei Schichten (oben die Rauchschrift und unten die raucharme Schicht) bilden. Durch eine ausreichend dimensionierte Ableitung von Rauch- und Brandgasen aus der oberen Schicht durch (natürliche oder unter Umständen maschinelle) Rauchabzüge und Zuführung von Außenluft über (möglichst bodennahe) Nachströmöffnungen stellt sich ein Strömungsgleichgewicht ein. Wenn an einem Brandraum eine Öffnung geschaffen wird, strömen die erwärmten Gase im oberen Bereich der Öffnung aus und kühle Luft strömt im unteren Bereich der Öffnung in den Raum.

Dieses Strömungsgleichgewicht aufrechtzuerhalten ist besonders in der Brandentstehungs- und in der Brandentwicklungsphase ein Prozess, bei dem wegen der meist noch geringen Temperatur- und Druckdifferenzen zwischen den Schichten selbst und auch zur äußeren Umgebungsluft sowohl die inneren als auch die äußeren Strömungen (z.B. Wind, Lüftungsanlagen usw.) beachtliche Auswirkungen haben. An über 90 % des Jahres beträgt in Deutschland die Windgeschwindigkeit mehr als 1 m/s. Damit ist der Windeinfluss als natürliche Entrauchung der Regelfall, also ebenfalls immer zu beachten. Aber auch bauliche Voraussetzungen wie z.B. die Höhe der Nachströmöffnung im Verhältnis zur Höhe der Rauchschriftgrenze, die Größe der Rauchabschnitte und realisierbare Höhen der Rauchschräge haben ähnlich große Bedeutung.

Mit fortschreitender Entwicklung des Brandes senkt sich die Rauchschrift ab und ihre Dichte der Rauchgase nimmt zu. Erst im Vollbrand werden solche Einflüsse geringer. Da aber grundsätzlich jeder Brand mit der Brandentstehungs- und -entwicklungsphase beginnt, sind diese strömungstechnischen Einflüsse grundsätzlich zu beachten. Daher:

1. Eine hohe Rauchschrift kann darauf hinweisen, dass der Brand sich erst im Anfangsstadium befunden hat.

2. Eine sehr tiefe Rauchschiicht kann auf sehr fette, »Backdraft«-ähnliche Bedingungen hinweisen.
3. Die Beschreibung eines plötzlichen Hebens der Rauchschiicht kann ein Zeichen dafür sein, dass irgendwo Belüftung (Durchbrand der Dachkonstruktion, RWA etc.) stattgefunden hat.

2.8.2 Der Brand – Seite 13 – 01.12.2010



4. Eine allmähliche Absenkung der Rauchschiicht kann auf eine Ansammlung der Brandgase und einen bevorstehenden »Flashover« hinweisen.
5. Ein plötzliches Absinken der Rauchschiicht kann auf eine unmittelbar bevorstehende Intensivierung des Brandes hinweisen.

Bewertungen für die Brandermittlung

Rauch, der pulsierend aus größeren Öffnungen austritt, muss im Zusammenhang mit den herrschenden Luftströmen gesehen werden. Beschreibungen von Rauch, der pulsierend aus kleineren Öffnungen ausströmt, können auf einen sogenannten Zuluftkontrollierten Brand hindeuten. Infolge des Vorliegens einer nur begrenzten Sauerstoffzuführung kommt es zu Druckunterschieden. Wenn die Sauerstoffzufuhr kleiner wird, verlangsamt sich auch der Verbrennungsprozess. Dies führt wiederum dazu, dass die Temperatur absinkt und die Brandgase kontrahieren. Wenn vermehrt Luft an den Brand gelangt, nimmt seine Intensität zu und der Druck steigt wieder so lange an, bis die zugeführte Luft verbraucht ist und dieser Prozess von vorne beginnt. In einigen Fällen kann sich diese Situation so weit entwickeln, dass das Potenzial für einen »Backdraft« vorhanden ist. Wenn also an einem Brandraum eine Öffnung geschaffen wird, strömen die erwärmten Gase im oberen Bereich der Öffnung aus und kühle Luft strömt im unteren Bereich der Öffnung in den Raum. Ein vollständiges und plötzliches Einströmen von Luft kann auf einen bevorstehenden »Backdraft« hinweisen. In einigen Fällen ereignet sich kurz nach dem Einströmen ein schnelles Strömen von Luft-Gas-Gemisch und sofort danach der »Backdraft«.

Die Beschreibung von sogenannten pfeifenden Geräuschen kann darauf hinweisen, dass wiederum aufgrund von Druckunterschieden Luft durch kleine Öffnungen in den Brandraum hinein- und wieder hinausgedrückt wird. Dabei entsteht ähnlich wie bei einer Orgel das Pfeifgeräusch. Derartige »pfeifende Geräusche« lassen auf einen Zuluftkontrollierten Brand schließen. Es sollte durch den Brandermittler allerdings beachtet werden, dass man diese Geräusche wegen des allgemeinen Lärms an der Einsatzstelle nur sehr schwer wahrnehmen und es auch zu Verwechslungen mit anderen ähnlich pfeifenden Geräuschen kommen kann.

Explosionen und explosionsartige Erscheinungen

Überall dort, wo mit brennbaren Stoffen umgegangen wird, ist mit einer Explosionsgefahr zu rechnen. Explosionen gehen häufig mit schweren Personen- und Sachschäden einher und haben oft Katastrophencharakter. Sie stellen ein ernst zu nehmendes Hemmnis bei der kontinuierlichen Entwicklung unserer Volkswirtschaft dar.

Bei den Brandermittlungen sind bei derartigen Ereignissen schnell und exakt die Ursachen und begünstigenden Bedingungen umfassend aufzude-

2.8.2 Der Brand – Seite 14 – 01.12.2010

cken, Maßnahmen zu deren Beseitigung einzuleiten und die strafrechtliche Verantwortlichkeit einzelner Personen zu prüfen. Da bei der Bekämpfung und Untersuchung von Explosionen – in Abhängigkeit vom Ausmaß – ein großer personeller und materieller Einsatz erfolgt, ist eine straffe Leitung notwendig, um Kräfte und Mittel rationell und mit dem größten Nutzen einzusetzen und die Informationsaufnahme, -verarbeitung und -weitergabe zu gewährleisten. In die Gesamtheit der Untersuchung einer Explosion fließen viele Erkenntnisse der kriminalistischen Taktik und Technik und anderer Wissenschaften zusammen. Obwohl es für die Ursachenermittlung bei den bisher angeführten Explosionen und explosionsartigen Erscheinungen eine Vielzahl von Gemeinsamkeiten gibt, haben gerade die Unterschiede im Entstehungsmechanismus und im Ablauf für die Suche, Sicherung und Bewertung von Spuren große Bedeutung. Im folgenden Kapitel wird überwiegend auf naturwissenschaftlich-technische Fragen zur Entstehung und zum Ablauf von Explosionen, die dabei entstehenden Spuren sowie deren Suche und Sicherung eingegangen.

Unter Explosion als Überbegriff ist eine schnell verlaufende, wärmeliefernde, chemische Umsetzung, bei der unter Störung des

Wärmegleichgewichts eine messbare Druckwelle entsteht, zu verstehen. Diese Definition schließt die Detonation ein. Die besonderen Kennzeichen von Detonationen sollen später behandelt werden. Gelegentlich wird der Begriff »Explosion« auch auf »physikalische Explosionen« (z.B. sogenannte Dampfkesselexplosionen) ausgedehnt. Es handelt sich hierbei aber um einen Behälterzerknall als Folge eines zu hohen statischen Druckes. Für derartige Vorgänge sollte die Bezeichnung »Explosion« besser nicht verwendet werden.

Die folgende Unterteilung ist das Resultat theoretischer und praktischer Erwägungen auch in Bezug auf die Untersuchungstätigkeit.

1. Explosionen und explosionsartige Erscheinungen
2. Explosionen
3. Sprengstoffexplosionen
4. Gasexplosionen
5. Staubexplosionen
6. Explosionen infolge anderer chemischer Reaktionen
7. explosionsähnliche Erscheinungen
8. Backdraft
9. Zerknall oder Bersten von Behältern
10. Zerreißen von Maschinenteilen
11. Fettexplosion
12. Grundsätze der Brandursachenermittlung nach Raumexplosionen

In der Praxis wird der Begriff Explosion dann verwendet, wenn, vereinfacht ausgedrückt, etwas unter starker Geräuschbildung auseinanderknallt (lat. explodo = ausklatzen, mit lautem Schall auseinanderplatzen).

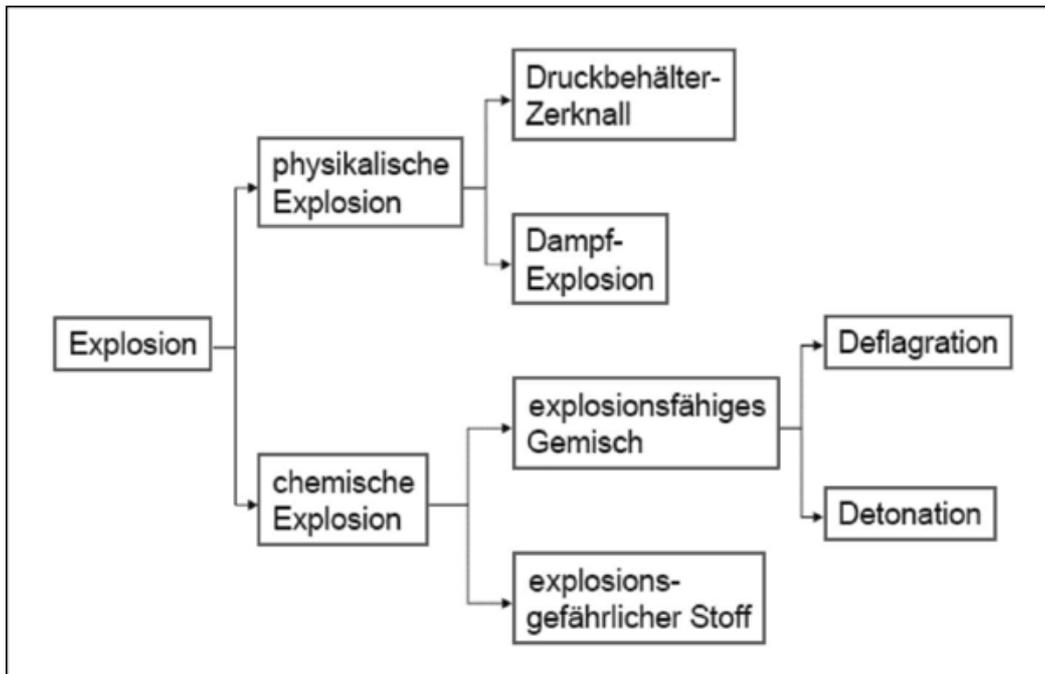


Abb. 8: Systematik von Explosionen

Zur Verhütung und Bekämpfung von Explosionen ist es unbedingt notwendig, eine einheitliche Begriffsbestimmung für Explosionen zu erarbeiten, damit die derzeitigen Widersprüche innerhalb der einzelnen Verordnungen und in der Rechtsanwendung aufgehoben werden.

Bei Explosionen ist es nicht möglich, unmittelbar nach dem Ereignis eine strafrechtliche Einschätzung zu geben. Explosionen und explosionsartige Erscheinungen müssen entsprechend ihrem Ablauf und ihrem Entstehungsmechanismus deutlich unterschieden werden und für alle Bereiche des gesellschaftlichen Lebens, besonders für die materielle Produktion, müssen einheitliche gesetzliche Grundlagen für die Untersuchung derartiger Schadensfälle erarbeitet werden.

Voraussetzungen für eine Explosion

Die Explosionsgefahr, die die Handhabung eines Stoffes hervorrufen kann, ist von dessen chemischen Eigenschaften abhängig. Dabei ist es nicht in jedem Fall möglich, aus einigen physikalisch-chemischen Konstanten der Stoffe unmittelbar ein Maß ihrer Gefährlichkeit abzuleiten, da die Gefährlichkeit das Verhalten unter verschiedenen Einflüssen einschließt. Die Leichtigkeit, mit der sich ein Stoff in der Luft verteilt, die Möglichkeit, dass so entstehende Gemische im sogenannten Zündbereich liegen, die zur Zündung erforderliche Energie, die Zündtemperaturen und die Auswirkungen einer Explosion, dies alles sind nicht ohne Weiteres erfassbare Größen und Bedingungen, um den Grad der Gefährlichkeit auszumachen.

2.8.2 Der Brand – Seite 16 – 01.12.2010 << >>

Bei Explosionen wie bei Verbrennungsvorgängen überhaupt muss man zwei Gruppen von Erscheinungen unterscheiden:

1. die Einleitung eines Verbrennungsvorganges, die Zündung
2. die Ausbreitung einer Verbrennung

Die Entzündung eines Gemisches kann sowohl durch Zündflammen, durch Funken, geeignete Katalysatoren als auch durch Kompression oder heiße Flächen erfolgen. Die Ausbreitung eines Verbrennungsvorganges in einem explosiblen Gas bzw. Gasgemisch kann je nach den äußeren Umständen mit sehr unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Auswirkungen verlaufen. Damit eine chemische Reaktion explosionsartig verlaufen kann, muss ihre Geschwindigkeit hinreichend groß werden können. Bekanntlich nimmt die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen mit steigender Temperatur zu. Die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion ist weiterhin von der Konzentration der reagierenden Stoffe abhängig. Während einer Reaktion können Zwischenprodukte auftreten, die eine weitere chemische Umsetzung beschleunigen können. Alle brennbaren Gase und Dämpfe bilden mit Luft bzw. Sauerstoff innerhalb der Explosionsgrenzen explosive Gemische. Da die Konzentrationsbereiche der Gas- oder Luft-Dampf-Gemische hinsichtlich ihrer Zünd- bzw. Brennbarkeit sehr unterschiedlich sind, kann daraus abgeleitet werden, dass nur innerhalb bestimmter Grenzen eine Gefahr besteht. Diese Grenzen werden als untere (UEG) bzw. obere Explosionsgrenze (OEG) bezeichnet.

Bei einem CO-Luft-Gemisch kann eine Entzündung z.B. nur im Bereich von 12,5 bis 75 % CO erfolgen. Für eine Reihe brennbarer Gase, Dämpfe und auch Stäube sind die entsprechenden Werte bekannt. Oft müssen jedoch diese Werte experimentell bestimmt werden. Der Bestimmung des unteren Explosionspunktes entspricht in der Praxis die experimentelle Ermittlung des Flammpunktes, die als »Schnelltest« für die Lage der unteren Zündgrenze angesehen werden kann. Der Flammpunkt ist die niedrigste Temperatur in Grad Celsius, bei der sich unter festgelegten Versuchsbedingungen aus der zu prüfenden Flüssigkeit bei 760 Torr Dämpfe in solcher Menge entwickeln, dass sie mit Luft über der Flüssigkeit ein entflammbares Gemisch bilden. Die Prüfung erfolgt durch Geräte nach Abel und Pensky und Martens. Für Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt $> 165\text{ °C}$ wird mit einem offenen Tiegel nach Marcusson gearbeitet. Da der Flammpunkt durch das Mengenverhältnis zwischen Brennstoff und Luft bestimmt wird, ist er vom äußeren Druck abhängig. Bei einer Erniedrigung des Luftdruckes um 30 Torr sinkt der Flammpunkt um etwa 1 °C . Experimentell bedingt liegt der Flammpunkt meist höher als der Explosionspunkt.

Es gibt jedoch Hinweise für die Beurteilung der Explosionsgefahr, wenn berücksichtigt wird, dass auch einige Grad tiefer explosive Dampf-Luft-Gemische entstehen können. Auch für die Einteilung brennbarer Flüssigkeiten in Gefahrenklassen dienen die Ergebnisse der Flammpunktbestimmung. Bei der Bestimmung des Brennpunktes von Flüssigkeiten wird angegeben, bei welcher Temperatur nach Aufflammen des Dampfes die Nachverdampfung von der Oberfläche der Flüssigkeit im offenen Tiegel

2.8.2 Der Brand – Seite 17 – 01.12.2010 << >>

groß genug wird, um ein Weiterbrennen zu ermöglichen. Der Brennpunkt liegt selbstverständlich höher als der Flammpunkt.

Sprengstoffexplosionen/USBV (unkonventionelle Spreng- und Brandvorrichtungen)

Einen gefährlichen Sonderfall können Sprengstoffe, die in der Regel in fester Form vorliegen, darstellen. Bei ihnen stammt der zur Verbrennung erforderliche Sauerstoff nicht aus der Luft, sondern ist im Sprengstoff (Zündmittel) selbst vorhanden. Die Auswirkung von Sprengexplosionen kann durch Druck, Trümmer und Feuer verheerend sein. Sprengstoffexplosionen sind äußerst schnell verlaufende chemische Reaktionen, an denen jedoch eine spezielle Substanz – eben der Sprengstoff – beteiligt ist. Der Sprengstoff (brennbarer Stoff) und das Oxidationsmittel (Sauerstoff) sind chemisch gebunden und in dieser Form reaktionsfähig. Meist sind Sprengstoffe mit hohem Druck gepresst, was die Detonationsgeschwindigkeit und damit den Detonationsdruck entsprechend erhöht. Es kommt gerade bei Sprengstoffen sehr wesentlich auf ihre Verdämmung an. Wenn man Schwarzpulver in loser Schüttung entzündet, brennt es mit einer hellen Stichflamme in Sekundenschnelle ab. (Verpuffung: Sie stellt gewissermaßen eine schwache Explosion dar, die mit mäßiger Druckentwicklung verläuft. Beispiele: Gas- oder Dampf-Luft-Gemische in der Nähe der Zündgrenzen. Verbrennungsgeschwindigkeit: in der Größenordnung Zentimeter pro Sekunde (cm/s). Entstehender Druck: bis zu 1 bar).



Abb. 9: Modell einer Briefbombe

Verpackt man das Pulver jedoch in einem Gefäß, so erhält man eine Explosion oder gar eine Detonation. (Die Detonation ist eine aufs Äußerste gesteigerte Explosion. Beispiele: brennbare Gase oder Dämpfe im richtigen Mischungsverhältnis mit reinem Sauerstoff sowie Sprengstoffe. Verbrennungsgeschwindigkeit: in der Größenordnung Kilometer pro Sekunde (km/s), entstehender Druck: größer als 10 bar, bei Sprengstoffen bis zu

2.8.2 Der Brand – Seite 18 – 01.12.2010 << >>

100.000 bar.) Je widerstandsfähiger die Umhüllung ist, beispielsweise einer Bombe, umso länger kann die chemische Umsetzungsreaktion zwischen Sprengmittel und Sauerstoff erfolgen und umso größer ist die freigesetzte Vernichtungsenergie. Nitroglycerin in einen Strohhalm gefüllt besitzt eine geringere Wirkung als in einem Metallröhrchen (Briefbomben!).



Abb. 10: Modell einer Paketbombe, die in Deutschland einen Menschen tötete

Brief- und Paketbomben gehören zu den unkonventionellen Spreng- und Brandvorrichtungen (USBV). Unter den USBV versteht man alle im »Einzelbau« hergestellten, nicht militärisch und nicht gewerblich genutzten Spreng- und Brandvorrichtungen. Den möglichen Funktionsweisen von Brief- und Paketbomben sind, außer der eingeschränkten Größe bei Briefen, durch das Wissen, die Kreativität und die Beschaffungsmöglichkeiten des Bombenbauers nahezu keine Grenzen gesetzt. Es gibt jedoch einige USBV-typische Komponenten, die bei der Mehrzahl der bisher aufgetretenen Brief- und Paketbomben verwendet wurden, allerdings nicht unbedingt zur Anwendung kommen müssen: ein Zündsystem, ein Zündmittel, ein Spreng- oder Brandstoff, eine Ummantelung (Verdämmung).

Gasexplosionen

Bei Gasexplosionen handelt es sich um exotherme Reaktionen eines Stoffes in der Gasphase. Dabei kann es sich sowohl um eine einheitliche chemische Verbindung handeln (z.B. Azetylen) als auch um ein Stoffgemisch in der Gasphase, insbesondere um Gemische brennbarer Gase und Dämpfe mit der zur Verbrennung notwendigen Luft. Meist wird die Reaktion an einer Stelle eingeleitet (Zündung) und pflanzt sich durch das Gasgemisch fort.

2.8.2 Der Brand – Seite 19 – 01.12.2010 << >>

Die Reaktionswärme erhitzt dabei die vorhandenen und bei der Umsetzung gebildeten Gase sehr schnell auf hohe Temperaturen, was sich durch eine plötzliche Drucksteigerung und durch einen Knall bemerkbar macht.

Zerknall von Behältern

Während jede Explosion auf chemischen Reaktionen beruht, ist das Zerreißen von Behältern oder Leitungen mit komprimierten Gasen (Dampfkessel, Druckgasflaschen u.a.) ein rein physikalischer Vorgang. Ein solcher Prozess wird nicht als Explosion, sondern als Zerknall oder Berstung bezeichnet. Die Berstung beruht auf dem Zerreißen der Wandung und Deformierung infolge Überdrucks. Zumeist wirken Materialfehler, Korrosionsprozesse oder andere Einwirkungen begünstigend, weil durch sie die Festigkeitsgrenze des Materials herabgesetzt wird. Der dabei vor sich gehende Druckausgleich, bei dem eine Druckwelle entstehen kann, geht ohne die für eine Explosion typische Feuererscheinung vor sich. Das äußere Erscheinungsbild unterscheidet sich jedoch nur unter bestimmten Umständen von einer Explosion.

Die häufigsten Ursachen einer Berstung sind:

- Einsatz eines ungeeigneten oder falsch bearbeiteten Werkstoffes
- Werkstoffabnutzung der Wandung infolge Korrosion

- fehlerhafte Bauart (falsche Dimensionierung)
- Überschreitung des zulässigen Gasdruckes, Temperaturerhöhung
- mangelhafte Pflege und Wartung
- Bedienungsfehler

Bei der Ursachenermittlung erübrigt sich also die Frage nach der Zündquelle und dem brennbaren Gemisch.

Ursachenermittlung

Das Ausmaß an Zerstörungen und die meist schwer durchschaubare Technologie erfordern bei der Ereignisortuntersuchung unbedingt eine Kollektivarbeit. Es hat sich in derartigen Fällen als wertvoll erwiesen, wenn Sachverständige der Kriminalpolizei bzw. erfahrene Kriminaltechniker eng mit einer zur Ursachenermittlung eingesetzten Expertengruppe zusammenarbeiten, um eine ordnungsgemäße Sicherung von Spuren und anderen Beweismitteln und deren spätere Auswertung zu gewährleisten.

Das Vorgehen bei der Suche, Sicherung und Auswertung von Sachbeweisen hängt neben der Beherrschung der taktischen und technischen Mittel und Methoden von den am Ereignisort vorgefundenen Bedingungen ab. Als zweckmäßig hat sich erwiesen, nach einer informatorischen Besichtigung (Überblick verschaffen!) Hypothesen für die Entstehungsursache zu erarbeiten, die als Richtschnur für das weitere Vorgehen dienen und

2.8.2 Der Brand – Seite 20 – 01.12.2010 <<

ständig je nach Lage vervollkommnet, präzisiert bzw. verworfen werden. Sie bilden die Grundlage für die Untersuchungsplanung, um systematisch und folgerichtig die Untersuchung führen zu können.

Das allgemeine Erscheinungsbild des Ereignisortes bei Explosionen bzw. beim Zerknall ist von den konkreten Bedingungen abhängig und wird bestimmt von:

- bei dem Ereignis zeitlich zusammenfallenden Knallerscheinungen und einer Gaswolke
- verletzten und getöteten Menschen mit starken bis zur Unkenntlichkeit und Verstümmelung reichenden Wunden
- schweren Zerstörungen und Verformungen von Gebäude-, Anlagen- und Maschinenteilen
- im weiten Umkreis verstreuten Teilen
- Brand- bzw. Feuererscheinungen (fehlen im Allgemeinen beim Zerknall, sofern nicht durch ihn erst eine Explosion ausgelöst wurde)



Abb. 11: Nebenräume des Explosionsbereiches
Bearbeitungsdatum: Dezember 2016