

"Störfall-Verordnung und Brandgefahren"

Dr. Hans-Joachim Uth, Berlin

Inhalt:

1. Rechtliche Behandlung von Bränden in der Störfall-Verordnung
2. Gefahren durch Brände
 - a. Physikalische Wirkungen
 - b. Toxische Brandprodukte
3. Ausblick und Empfehlungen

1. Rechtliche Behandlung von Bränden in der Störfall-Verordnung

Brände gelten neben Explosionen und Freisetzung von toxischen und ökotoxischen Stoffen als wesentliche Ursachen für Störfälle i.S. der Störfall-Verordnung. Dabei werden Brandgefahren an verschiedener Stelle der Störfall-Verordnung explizit genannt. Beispiele sind zu finden in § 2 , § 4, Anhang 6.

Maßgeblich ist jedoch, ob durch den Brand ein Störfall ausgelöst werden kann. Dies ist nach der Legaldefinition der Fall, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

1. Entstehen von **Sachschäden** mit >2 Millionen €innerhalb des Betriebsbereichs oder >0,5 Millionen €außerhalb des Betriebsbereichs;
2. Entstehen einer ernste **Gefahr** i.S. des § 2 Nr. 4 Störfall-Verordnung, bei der
 - a) das Leben von Menschen bedroht wird oder schwerwiegende Gesundheitsbeeinträchtigungen von Menschen zu befürchten sind;
 - b) die Gesundheit einer großen Zahl von Menschen beeinträchtigt werden kann;
 - c) die Umwelt, insbesondere Tiere und Pflanzen, der Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- oder sonstige Sachgüter geschädigt werden können, falls durch eine Veränderung ihres Bestandes oder ihrer Nutzbarkeit das Gemeinwohl beeinträchtigt würde;

Während im ersteren Fall Schäden entstanden sein müssen reicht im letzteren Fall die drohende Gefahr aus um den Tatbestand eines Störfalles zu begründen. Hinsichtlich der Beurteilung des Tatbestandes der Schwere einer Gesundheitsbeeinträchtigung besteht ein gewisser Ermessensspielraum. Üblicherweise wird dies i.d.R. anzunehmen sein wenn bestimmte Immissionswerte überschritten werden.

Bei Bränden kommen dafür praktisch Wirkungen durch Wärmestrahlung und toxische Wirkungen in Betracht. Nähere Informationen unter Kap. 2.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass der o.g. Störfall nur in einem Betriebsbereich oder einer Anlage nach Störfall-Verordnung definiert ist.

Ein Betriebsbereich nach Störfall-Verordnung liegt dann vor, wenn definierte Gefahrstoffe in bestimmten Mindestmengen vorhanden sind oder bei einem „außer Kontrolle geratenen industriellen chemischen Verfahren“ in diesen Mindestmengen anfallen.

Brände gehören explizit nicht zu den „industriellen chemischen Verfahren“, d.h. auch wenn Gefahrstoffe in einem Brand in den erforderlichen Mengen entstehen wird dadurch nicht die Anwendung der Störfall-Verordnung ausgelöst.

Andererseits ist das Entstehen von Gefahrstoffen durch Bränden in bestehenden Betriebsbereichen sehr wohl zu betrachten.

Beispiel 1:

Brand eines PVC-Lagers kann kein Störfall i.S. der Störfall-Verordnung sein, auch wenn dabei erhebliche Mengen an giftigen und sehr giftigen Stoffen entstehen.

Beispiel 2:

Brand eines PVC-Lagers, welches als Nebeneinrichtung einer der Störfall-Verordnung unterliegenden PVC-Produktion betrieben wird, kann ein Störfall i.S. der Störfall-Verordnung sein, auch wenn dabei nur geringe Mengen an giftigen und sehr giftigen Stoffen entstehen.

Für die Analyse, ob Brände Störfälle auslösen können ist das Wirkungsspektrum zu untersuchen und einzuschätzen.

2. Gefahren durch Brände

a) Physikalische Wirkungen

Das wesentliche Wirkungsspektrum von Bränden ist die Wärmestrahlung. Dabei sind die Emissionen wesentlich vom Brandverlauf abhängig. Extreme Erscheinungsformen sind der Feuerball als maximale Emissionssituation und der stark rußende Flüssigkeitsbrand, bei dem die Flammenerscheinung kaum mehr wahrnehmbar ist. Bei ersterem können Verbrennungen 2. Grades noch in Entfernungen von Hunderten von Metern ausgelöst werden, bei letzteren sind die Wärmestrahlungswirkungen noch am Rand des Brandgeschehens unkritisch. Die Toleranzwerte für Wärmestrahlung sind gut dokumentiert. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht.

Szenario 1¹ Freisetzung und Zündung von 460 kg Propan:		
Radius Feuerball (2,5 s Dauer)	57	m
Grenzradius für Folgebrände (8 kW/m ²)	130	m
Grenzradius für Hautschäden (1,6 kW/m ²)	166	m

Bei ausreichender Intensität und Dauer kann es bei brennbaren Stoffen zur Erwärmung der Oberflächen und in der Folge zur Selbstentzündung und zu Bränden kommen.

Wirkung/Entzündung	Bestrahlungsstärke (kW/m²)	Einwirkungsdauer (s)
Maximale Sonneneinstrahlung	1,3	-
Platzen von Fensterscheiben	5,0	6
Kunstfaser	7,0	sofort
Papier	8,0 13,0	5 8
Schmieröl an Maschinen	9,2	-
Anstrichfarbe an Anlagenteilen	12,2	-
Baumwollgewebe	24,0	900
Ungestrichene Holzfaserplatte	25,0	900
Ungestrichenes Holz	32,0	900
Stahlkonstruktionen versagen	42,0	900
Duroplastischer Kunststoff	84,0	900

Tabelle 1 Selbstentzündungsbedingungen ohne Schutzmaßnahmen und andere Effekte²

Die Zulässigkeit kritischen Bestrahlungsstärken beliebiger Dauer sind in Tabelle 2 angegeben.

¹ Rechnung des Szenarios mit Programmsystem DISMA Ver. 2.0, TÜV-Berlin/Brandenburg

² UBA Texte

Zu schützendes Objekt	Kritische Bestrahlungsstärke (kW/m ²)
Grenze für nachteilige Wirkungen	1,6
Empfindliche Gebäude: Krankenhäuser, Altenheime, Schulen, Wohnhäuser	2,0
Öffentliche Straßen	4,5
Grenze für wahrscheinliche Feuerübertragung	8,0
Ungekühlte Lagertanks	10,0
Fabrikgebäude: Leitwarten, Werkstätten	12,6
Gekühlte Lagertanks	37,8

Tabelle 2 Kritische Bestrahlungsstärken

Bei Explosionen liegt die Dauer der Einwirkung der Strahlung im Bereich von 0,5 bis 15 s. Falls die ungeschützte menschliche Haut betroffen ist, können unterschiedlich schwere Verletzungen (Verbrennungen) bis zum Tod bewirkt werden.

Die Abhängigkeit der Zeitdauer t_{Sch} bis zum Erreichen der Schmerzgrenze von der Bestrahlungsstärke ist in der folgenden Tabelle enthalten.

kW/m ²	1,7	2,3	2,9	4,7	6,9	9,5	11,7	19,9
t_{Str} in s	60	40	30	16	9	6	4	2

Bei einer Bestrahlungsstärke von 10,5 kW/m² kommt es nach 10 bis 12 s zur Blasenbildung auf der Haut. Der Tod tritt bei dieser Bestrahlungsstärke nach etwa 40 s ein.

Bis zu einer Bestrahlungsstärke von 5 kW/m² ist ein kurzfristiger Feuerwehreinsatz möglich. In besonderen Schutzanzügen sind auch noch Belastungen mit 8 kW/m² zulässig.

Für Menschen kann ein Bestrahlungsstärke von 1,6 kW/m² als Grenze für nachteilige Wirkungen betrachtet werden.

b) Toxische Brandprodukte

Die Behandlung von toxischen Brandprodukten ist wesentlich komplizierter, da Art und Umfang der bei einem Brand entstehenden Stoffe insbesondere abhängig sind von:

- den am Brand beteiligten Stoffe
- der Sauerstoff/Oxidationsmittelzufuhr
- den Brandbedingungen und der Brandumgebung;

In der wissenschaftlichen Literatur sind über 8300 Brandprodukte in realen Bränden und bei Simulationsversuchen identifiziert und beschrieben worden³. Diese Stoffe kommen in ca. 300 typischen Rauchgasmischungen vor. Eine große Anzahl der Stoffe haben toxische Wirkungspotentiale. Um aus der Fülle der Stoffkombinationen, die bei Bränden entstehen, Abschätzungen über die toxischen Wirkungen der Gefahrstoff-Mischung abzuleiten sind

³ s. Datenbank Phlogiston der FHG Umsicht, Oberhausen 1999

Modellansätze über die Definition von „Leitsubstanzen“ gemacht worden. Dabei werden Modelle mit je 61, 30 und 18 typischen Brandgaszusammensetzungen verwendet. Je differenzierte diese sind ein umso genaueres Bild der toxischen Wirkung erhält man⁴, der messtechnische Aufwand ist aber sehr unterschiedlich.

Sind einmal die entstehenden Stoffe qualitativ und quantitativ identifiziert, ist das Vorliegen einer „ernsten Gefahr“ i.S.d. Störfall-Verordnung anhand einer Expositionsanalyse zu ermitteln. Hierzu sind i.d.R. Störfallablaufsznarien erforderlich. Nach allgemeiner Auffassung und einer Empfehlung der Störfallkommission⁵ kann eine solche Gefahr nicht mehr ausgeschlossen werden, wenn folgende Immissionstoleranzwerte überschritten werden:

- ERPG-3 Wert^{6, 7} für einen einzelnen Menschen;
- ERPG-2 Wert für eine größere Anzahl von Menschen;

Hinsichtlich der allgemeinen Beurteilung von Gesundheitsgefahren durch toxische Brandprodukte außerhalb des rechtlichen Rahmens der Störfall-Verordnung ist auf die verschiedenen Aktivitäten, z.B. der Feuerwehren⁸ hinzuweisen, die vielfältige Empfehlungen zum Schutz von Einsatzkräften, aber auch der Bevölkerung erarbeitet haben.

Infolge des großen Einflusses der Brandbedingungen auf die Entstehung von Art und Umfang von Gefahrstoffen sind zur Analyse unterschiedliche Szenarien erforderlich. Dazu sind eine Fülle von Fallstudien⁹ durchgeführt und veröffentlicht worden.

Aus vielen Untersuchungen normaler Brände haben sich als die häufigsten toxischen Brandprodukte die in Tabelle 3 beschriebenen herausgestellt. Bei Bränden mit Gefahrstoffen sind stets auch diese selbst mit in die Betrachtung einzubeziehen.

⁴ H. Greim et.al. Toxikologische Bewertung der Schadstoffanalysen bei Bränden und Störfällen, München 2001

⁵ SFK-GS-02 »Kriterien zur Beurteilung akzeptabler Schadstoffkonzentrationen«, Dezember 1993

⁶ ERPG – Werte sind von der American Industrial Hygiene Association (AIHA) veröffentlicht worden.

Hintergrund und genaue Definition s. SFK-GS-02. Stand: 13.05.1999

⁷ Die ERPG-Werte sind ab 1996 in den AEGL-Werten weiterentwickelt worden. Näheres dazu in SFK-GS-17

»Zusammenstellung und Interpretation der bisher bekannten lufthygienischen Grenz-, Richt-, Orientierungs- und Toxizitätswerte«, November 1998

⁸ Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes - vfdb

⁹ z.B. „Brand in einem Pflanzenschutzmittellager“ TÜV-Bayern e.V., UBA-Texte 39/90

Stoff	Kennzeichnung	ERPG-2/3 [ppm]	Bemerkung
Kohlenmonoxyd	F+; Repr. Cat.1; T;	350 / 500	Allgemeine Brände o. besondere Gefahrstoffe
Cyanwasserstoff	T+; N;	10 / 25	
Chlorwasserstoff	T; C;	20 / 100	
Formaldehyd	T; C; Carc. Cat.3;	10 / 25	
Schwefeldioxyd	T; C;	3 / 15	z.B. Brand von Wolle
Schwefelwasserstoff	F+; T+; N;	30 / 100	z.B. Brand von Kunststoffen
Ammoniak	T; C; N;	200 / 1000	z.B. Brand bei Kunststoff- und Düngemittellagern
Acrolein	F; T+; T; C;	0,5 / 3	z.B. Brand von Baumwolle
Benzol	F; Carc. Cat.1; T;	150 / 1000	z.B. Brand von Kunststoffen
Stickstoffdioxyd	T+; C;		z.B. Brand von Zelluloid und vielen Kunststoffen
Fluorwasserstoff	T+; C;	20 / 50	z.B. Brand von PTFE Kunststoffen
Toluylendiisocyanate (TDI)	arc. Cat. 3; T+; Xi;		z.B. Brand von Polstermöbeln mit Polyurethan - Schaumstoffen
Benzo(a)pyren	T		z.B. Brand von Altöl
PCDD/PCDF	T+		z.B. Brand von PVC

(Bei Bränden o. besondere Gefahrstoffe sind die **fett** gedruckten die häufigsten Brandprodukte)

Tabelle 3 Häufigste Brandprodukte

Hinsichtlich der entstehenden Mengen lassen sich keine sicheren Prognosen machen, da diese sehr stark von den Brandbedingungen abhängen. Es sind aber in der Regel eher geringe Mengen, die nach Ausbreitung (u.U. mit erheblichen Thermiken beim Quellterm) zu geringen Konzentrationen führen. Im praktischen Brandgeschehen¹⁰ sind die Brandopfer fast ausschließlich durch Rauchvergiftungen (CO) im Nahbereich des Brandes oder geschlossenen Räumen zu Schaden gekommen. Zur Situation im Nahbereich s. Tabelle 4.

¹⁰ z.B. Auswertung der Störfalldatenbank der ZEMA

Brandgas	Häufigkeit des Auftretens (%)	Konzentration (ppm)	Einsatztoleranzwert ¹¹ (ppm)	ERPG-2/3 (ppm)
Aceton		15–50	500	./.
Acrolein	50	0,3–15	0,2	0,5 / 3
Benzol	85	bis 250	20	150 / 1000
Chlorbenzol	25	nachgewiesen	100	./.
Chlorwasserstoff	9–53	1–280	5	20 / 150
Cyanwasserstoff	12–75	5–75	5	10 / 25
Ethanol.	25	nachgewiesen	3000	./.
Fluorwasserstoff	34	bis 7,5	5	20 / 50
Formaldehyd	30–100	bis 15	1	10 / 25
n-Hexan	30	nachgewiesen	200	./.
Kohlendioxid	100	bis 50 000	10000	./.
Kohlenmonoxid	100	bis 7 500	100	350 / 500
Schwefeldioxid	15–50	0,2–41	1	3 / 15
Stickstoffdioxid	9–17	10	1	./.
Styrol	5–80	bis 25	40	250 / 1000
Tetrachlorethan	5–60	bis 0,14	100	./.
Toluol	80	15–25	100	300 / 1000
1,1,1-Trichlorethan		nachgewiesen	300	./.
1,1,2-Trichlorethan		nachgewiesen	25	./.
Trichlorethen	40	0,2	100	500 / 5000

Tabelle 4: Vergleich der bei Gebäude- und Wohnungsbränden gemessenen Brandgase mit den Einsatztoleranzwerten¹²

Die Tabelle 4 zeigt, dass bei Gebäude- und Wohnungsbränden die Konzentration vieler Stoffe den Einsatztoleranz- bzw. der ERPG-Wert schon in geringer Entfernung vom Brandherd nicht mehr erreichen, andere aber diesen Wert deutlich überschreiten können. **Chlorwasserstoff, Cyanwasserstoff, Formaldehyd** und **Kohlenmonoxid** werden häufig nachgewiesen, die hohen Konzentrationen am Brandort verleihen diesen Stoffen die größte toxikologische Bedeutung. In Sonderfällen wurden auch Acrolein, Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid in höheren Konzentrationen am Brandort gemessen, wobei in diesen Literaturbeispielen die hohen Werte eher als „Ausreißer“ anzusehen sind. Für größere Distanzen vom Brandort, etwa in 50–100 m Entfernung, ist abzusehen, dass infolge des Ausbreitungsverhaltens der Stoffe in der Luft die Konzentrationen aller Brandgase unter den jeweiligen Einsatztoleranz- bzw. der ERPG-Werten verdünnt werden.

3. Ausblick und Empfehlungen

Brandgefahren sind integrativer Bestandteil der Gefährdungsbetrachtungen in Betrieben und Anlagen, die der Störfall-Verordnung unterliegen. Dabei gehen offensichtliche Gefährdungen von Beschäftigten im Nahbereich durch Wärmestrahlung und toxische Brandprodukte aus. Letztere sind insbesondere dann zu beachten, wenn die Rauchgase durch Umgebungsbedingungen nicht abziehen können. Die Fernwirkung scheint auf wenige Spezialfälle beschränkt zu sein. Hier kommen insbesondere Gefahrstoffe mit langfristige Wirkungspotential z.B. PCDD/PCDF, Benzo(a)pyren in Frage. Die Toleranzkonzentrationen für Menschen werden im Fernbereich nur im Ausnahmefall erreicht.

¹¹ Entwurf „Richtlinie zur Bewertung von Schadstoffkonzentrationen im Feuerwehreinsatz“, vfdb-Richtlinie 10/01, Fassung September 1993.

¹² nach Buff, K. und Greim, H.: Entwicklung von Verfahren zur Abschätzung von gesundheitlichen Folgen von Großbränden. Forschungsvorhaben 4b/92 des Bundesamtes für Zivilschutz, Bonn, Juni 1995.