

Das Großfeuerwerk – Eine sicherheitstechnische Betrachtung –

Dr. rer. nat. Hartwig Treumann und Hilmar Andre

1. Einleitung

Anlässlich der 750-Jahr-Feier Berlins wurde von japanischen Pyrotechnikern ein Feuerwerk aufgebaut und abgebrannt, dessen Umfang und Schönheit alles bisher in dieser Hinsicht in Berlin bekannte in den Schatten stellte. Das Feuerwerk fand am 30. August 1987 statt und dauerte fast 1½ Stunden. Mehr als 400 000 Menschen sahen dieses Feuerwerk. Es fand allgemein begeisterte Aufnahme.

Da die Zahl und Größe der Feuerwerkskörper die Grenzen dessen überschritten, wofür Sicherheitsvorschriften und -regeln in einschlägigen Vorschriften festgelegt sind, wurde die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung vom Landesamt für Arbeitsschutz und technische Sicherheit gebeten, zur Frage hinreichender Schutzabstände Stellung zu nehmen. Das gleiche galt auch für Art und Aufbau der Abschußvorrichtungen, für die wegen ihrer großen Abmessungen abweichend von den bisher festgelegten Sicherheitsmaßnahmen, sicherheitstechnisch befriedigende Lösungen gefunden werden mußten.

Während des Aufbaus des Feuerwerks ergaben sich auch Fragen zur Größe des Abstandes der Abschußrohre voneinander. Dieses Problem war in der Bundesrepublik Deutschland bisher nicht von

Bedeutung, da Feuerwerksbomben dieses Kalibers hier nicht verwendet wurden.

Im folgenden werden die von den Verfassern vorgeschlagenen sicherheitstechnischen Maßnahmen beschrieben und erläutert sowie die Ansicht der Verfasser begründet, diese zu kodifizieren und in die Anlage 1 der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Sprengstoffgesetz [5] aufzunehmen.

2. Einteilung nach den Rechtsvorschriften

Der Gesetzgeber teilt die Explosivstoffe nach ihrem Verwendungszweck ein, und zwar in Sprengstoffe, Zündstoffe, Treibstoffe, Anzündstoffe und pyrotechnische Sätze [1]. Den Stoffen sind die mit ihnen hergestellten Mittel gleichgestellt, also den pyrotechnischen Sätzen die pyrotechnischen Mittel.

Der Umgang mit den pyrotechnischen Mitteln ist je nach deren Aufbau in zwei Gesetzen geregelt: dem Sprengstoff- und dem Waffengesetz. Werden die pyrotechnischen Mittel aus Waffen oder den Waffen gleichgestellten Geräten verschossen, so werden sie als pyrotechnische Munition bezeichnet und unterliegen dem Waffengesetz [2]. Alle anderen Mittel unterliegen den Vorschriften des Sprengstoffgesetzes und den davon abgeleiteten Rechtsvorschriften. Sie werden als pyrotechnische Gegenstände bezeichnet.

Die pyrotechnischen Gegenstände werden in der Ersten Verordnung zum

Sprengstoffgesetz [3] zunächst nach ihrem Verwendungszweck eingeteilt. Es wird unterschieden in pyrotechnische Gegenstände für Vergnügungszwecke und in solche für technische Zwecke. Jede dieser beiden Gruppen ist unterteilt in Klassen verschiedenen Gefährlichkeitsgrades. Die Gegenstände für technische Zwecke in die Unterklassen T₁ und T₂, wobei T₂ die Klasse mit dem höheren Gefährlichkeitsgrad ist, die Gegenstände für Vergnügungszwecke in die Unterklassen I bis IV – Feuerwerkspielwaren, Kleinfeuerwerk, Mittelfeuerwerk und Großfeuerwerk –.

Alle pyrotechnischen Gegenstände unterliegen einer Zulassungspflicht nach [1] mit Ausnahme derer, die dem Großfeuerwerk zugeordnet sind. Der Zulassung ist eine Baumusterprüfung vorangestellt, deren Bestehen eine der Voraussetzungen für die Zulassung ist.

Daß ausgerechnet die Gegenstände mit dem höchsten Gefahrenpotential von der Prüf- und Zulassungspflicht ausgenommen sind, erscheint paradox, kann aber aus der Entstehungsgeschichte der Rechtsvorschrift abgeleitet werden: In den sechziger Jahren waren die Gegenstände des Großfeuerwerks Einzelanfertigungen, bei denen häufig spezielle Kundenwünsche berücksichtigt wurden. Die Prüf- und Zulassungskosten hätten den Gewinn überschritten. Durch strenge Anforderungen an den Abbrenner des Feuerwerks soll aber ein gleiches Maß an Sicherheit erreicht werden.

Dr. rer. nat. Hartwig Treumann und Dipl.-Ing. Hilmar Andre, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45

Abschließend sei bemerkt, daß das heute in der Bundesrepublik Deutschland verwendete Großfeuerwerk überwiegend aus Serienfertigungen stammt, und daß damit die Voraussetzung für die Freistellung von der Zulassungspflicht entfällt.

3. Anforderungen an den Abbrenner eines Großfeuerwerks

Wer Großfeuerwerkskörper verwenden will, bedarf einer Erlaubnis unabhängig davon, ob er dies im Rahmen einer wirtschaftlichen Unternehmung oder privat, als Unternehmer oder Arbeitnehmer ausführen will.

Um diesen Erlaubnis- bzw. Befähigungsschein (unselbständig) zu erlangen, müssen bestimmte Eigenschaften bzw. Fähigkeiten nachgewiesen werden. Der Nachweis ist zu erbringen über die

- a) persönliche Zuverlässigkeit
- b) erforderliche Fachkunde
- c) erforderliche körperliche Eignung
- d) Vollendung des 21. Lebensjahres.

Während der Nachweis zu d) im Regelfall keine Schwierigkeiten macht und auch der Nachweis der körperlichen Eignung vergleichsweise problemlos ist – sie beschränkt sich auf den Nachweis einer ausreichenden Seh- und Hörfähigkeit, der Farbtüchtigkeit, der vollen Gebrauchsfähigkeit der Hände, einer ausreichenden Beweglichkeit im Gelände sowie des Fehlens von schweren Sprachfehlern –, führt der Nachweis der Zuverlässigkeit nicht selten zu Schwierigkeiten. Darauf kann hier nicht eingegangen werden.

Der Ausgestaltung des Weges zur Erlangung der Fachkunde hat der Gesetzgeber besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Er besteht im Regelfall aus der Aneignung praktischer Fähigkeiten, der Teilnahme an einem Fachkundelehrgang und dem Nachweis des Fachwissens.

Der Lehrplan des Lehrganges ist in [4] festgelegt. Er umfaßt neben Begriffsbestimmungen in der Pyrotechnik den Aufbau, die Wirkungsweise und die gebräuchlichsten Arten der pyrotechnischen Gegenstände sowie der pyrotechnischen Zündmittel. Daneben werden die einschlägigen Rechtsvorschriften sowie die Rechtsgrundlagen behandelt.

Ebenfalls werden Kenntnisse über die Hilfsmittel und Geräte zum Abbrennen von Feuerwerken und über das Projektieren von Feuerwerken vermittelt.

Nach praktischen Übungen und der Besprechung von Unfällen schließt der Lehrgang mit einer Prüfung, die aus

einem theoretischen und einem praktischen Teil besteht. Der Lehrgang umfaßt 32 Unterrichtsstunden. Bekanntester Veranstalter ist die Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie.

4. Anforderungen an die Gegenstände des Großfeuerwerks

In [3] ist detailliert vorgeschrieben, welchen technischen Anforderungen diese Feuerwerkskörper und die in ihnen enthaltenen pyrotechnischen Sätze entsprechen müssen. Danach dürfen die Sätze

- nicht mechanisch oder chemisch verunreinigt sein,
- nur dann eine saure Reaktion zeigen, wenn die Handhabungssicherheit oder die Lagerbeständigkeit nicht beeinträchtigt wird,
- folgende Ausgangsstoffe nicht enthalten: Schwefel mit freier Säure oder mit mehr als 0,1% unverbrennbarer Bestandteile – Schwefelblüte – weißen (gelben) Phosphor – Kaliumchlorat mit mehr als 0,15% Bromatgehalt.

Ferner dürfen pyrotechnische Gegenstände der Klasse IV nur hergestellt oder eingeführt und anderen überlassen werden, wenn die in ihnen enthaltenen Sätze

- nicht selbstentzündlich sind und eine vierwöchige Lagerung bei 50 °C keine chemische Veränderung hervorruft, die eine Gefahrenerhöhung bedeutet,
- untereinander nicht in gefahrbringender Weise reagieren können,
- sofern es sich um Knallsätze handelt, bestimmten Anforderungen an ihre chemische Zusammensetzung entsprechen,
- bestimmte Mischungen nicht enthalten, beispielsweise Amine oder Ammoniumsalze zusammen mit Chloraten, Chlorate zusammen mit Metallen, Antimonsulfiden oder Kaliumhexacyanoferrat (II) – Ausnahmen sind jedoch zulässig,
- festgelegte Mischungsverhältnisse einhalten; so darf der Anteil an Chloraten in den Sätzen 70% nicht überschreiten, sofern es sich nicht um Pfeifsätze oder um Leuchtsätze auf der Basis von Bariumchlorat handelt. In diesen beiden Fällen kann der Chloratanteil auf 80% gesteigert werden.

Weder die Gründe für die genannten Verbote noch die Methoden zur Überprüfung, ob diese Verbote eingehalten werden, können hier dargelegt werden. Sie würden den gesetzten Rahmen bei weitem sprengen.

Weitergehende Vorschriften über die Bau- und Konstruktionsprinzipien sind nicht erlassen und auch nicht erforderlich.

5. Typen der Feuerwerksbomben

Das Großfeuerwerk läßt sich zwanglos in zwei Arten einteilen, und zwar in Bodenfeuerwerk und in steigendes Feuerwerk. Unter Bodenfeuerwerk versteht man Feuerwerk, bei dem sich die Feuerwerkskörper beim Abbrennen nicht von ihrer Haltevorrichtung ablösen. Beispiele hierfür sind „Römische Lichter“ und „Wasserfälle“.

Das steigende Feuerwerk läßt sich seinerseits in zwei Gruppen danach einteilen, ob die Feuerwerkskörper einen Eigenantrieb haben oder aus Mörsern (Abschußrohren) abgeschossen werden. Beispiele für die erste Gruppe sind die Raketen, für die zweite die Feuerwerksbomben.

Da im Rahmen dieser Abhandlung lediglich die Feuerwerksbomben von Interesse sind, soll auf deren Aufbau etwas näher eingegangen werden.

Feuerwerksbomben unterscheidet man nach ihrer geometrischen Form in Zylinderbomben und in Kugelbomben. Die Bilder 1 und 2 geben Skizzen dieser Bomben wieder.

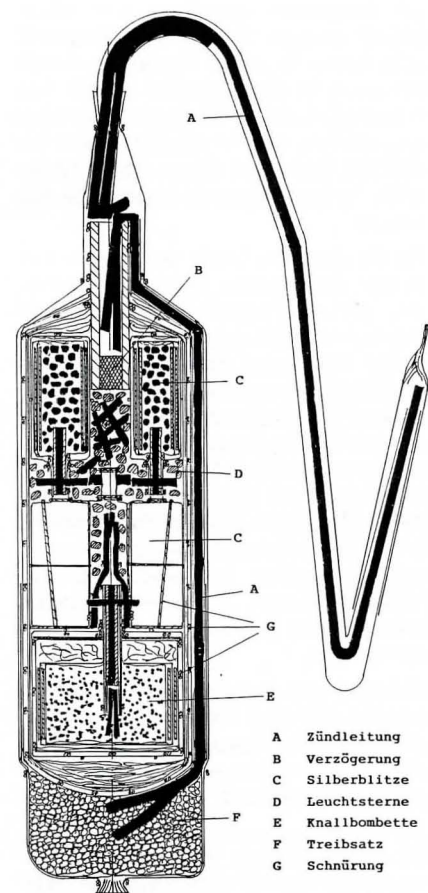
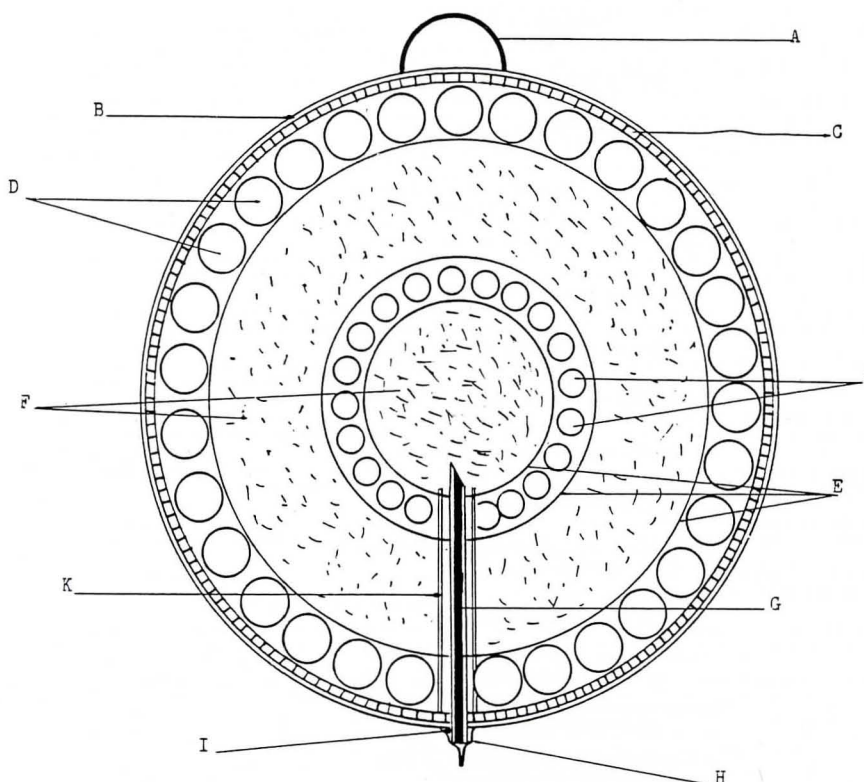


Bild 7 Zylinderbombe



- A. Bindfaden-Schleife
B. Natronkraftpapiermantel
C. Bombenmantel (Pappe, gepreßt und geleimt)
D. Verwundungssterne
E. Seidenpapier (Wickel für Zerlegerladung)
F. Zerlegerladung (auf Reis-Schalen aufgebracht)

- G. Japanzünder (Schwarzpulverseele)
H. Zünderschutz
I. Zünderbefestigung (Hanschnur)
J. Silberstempel
K. Papprohr

Bild 2 Kugelbombe

Beide Bombentypen werden aus Rohren abgeschossen, deren Kaliber geringfügig größer ist als das der Bomben und deren Länge mindestens das sechsfache des Bombendurchmessers betragen soll.

Die Abschußladungen sind bei den Zylinderbomben im Regelfall in den Bombenkörper eingearbeitet. Bei den Kugelbomben ist die Treibladung meist in einem Hohlkegel aus Pappe, der an die Bombe angeklebt wird, untergebracht. Bei kleinen Kalibern wird allerdings auch mit losem Schwarzpulver geschossen.

Während die Zylinderbombe sehr vielfältige Effekte liefern kann, aber teuer in der Herstellung ist, kann man mit den billigeren Kugelbomben Effekte mit höchster Symmetrie erzeugen.

Bei dem in Rede stehenden Feuerwerk vom 30. August 1987 wurden ausschließlich Kugelbomben verwendet.

6. Allgemeine Vorschriften und Hinweise

Die nachfolgenden Ausführungen stützen sich auf [4] und [5]. Die Anforderungen, die an die Feuerwerkskörper gestellt werden, sind in Abschnitt 4, die Anforder-

ungen an die verantwortliche Person in Abschnitt 3 dargestellt.

Ist die verantwortliche Person vorübergehend abwesend, hat sie die Aufsicht und Bewachung einer Person zu übertragen, die zuverlässig sowie körperlich und fachlich geeignet ist. Beim Aufbau und beim Abbrennen müssen mindestens zwei Personen anwesend sein; eine Person kann auch eine geeignete Hilfsperson sein.

Die Anforderungen an den Körperschutz sind gering: Es wird lediglich gefordert, daß während des Abbrennens Schutzhelme zu tragen sind. Beim Abbrennen des Feuerwerks auf Booten müssen Schwimmwesten getragen werden.

Die Feuerwerksbomben dürfen nur aus Abschußvorrichtungen (Rohren) abgeschossen werden, die aus solchen Werkstoffen bestehen, die die erforderliche Festigkeit und Splittersicherheit besitzen (z. B. Pappe, Kunststoff oder ähnliche). Nahtlose Stahlrohre oder Rohre aus Aluminium dürfen nur in besonderen Fällen und mit besonderen Schutzmaßnahmen verwendet werden. Über die Länge der Rohre sagt die Anlage 1 der Verwaltungsvorschrift nichts. Nach Ansicht der Verfasser sollte die Rohrlänge mindestens das

sechsfache des Bombenkalibers betragen. Die Abschußrohre sind so aufzustellen und zu befestigen, daß sie beim Abschuß nicht umkippen und die Bomben eine falsche Abschußrichtung erhalten können: Dies kann durch entsprechende Holzverschlüsse oder durch Eingraben der Rohre bis mindestens zur Hälfte ihrer Länge geschehen, wobei bei Metall-Abschußrohren das freie Rohr so abzuschirmen ist, daß bei einem Rohrkreipier keine Person durch Splitter gefährdet wird.

Wegen der möglichen starken Lärmbelastigung muß das Feuerwerk im allgemeinen um 22.00 Uhr, im Mai, Juni und Juli um 22.30 Uhr beendet sein. Während der Sommerzeit verschieben sich diese Zeiten auf 22.30 Uhr bzw. 23.00 Uhr. Dies ist erforderlich, da die Leuchteffekte erst bei Dunkelheit voll wirksam werden.

Bei Windgeschwindigkeiten von 9 m/s und mehr dürfen nur noch Bodenfeuerwerke abgebrannt werden.

Feuerwerkskörper sind so abzubrennen, daß Schäden jeglicher Art vermieden werden, insbesondere dürfen hochsteigende Feuerwerkskörper nicht in Bestandteile zerlegt werden, die noch brennend auf den Erdboden zurückfallen.

7. Schutz- und Sicherheitsabstände

Definitionsgemäß sind die Schutzabstände, die zur Allgemeinheit oder Nachbarschaft einzuhaltenen Abstände und die Sicherheitsabstände, die innerhalb eines Betriebes einzuhaltenen Abstände; beide gemessen als kürzeste Entfernung der einander zugekehrten Begrenzungen [4].

Im vorliegenden Fall sollen diese Begriffsbestimmungen etwas modifiziert werden: Und zwar sollen die Schutzabstände die Entfernungen zwischen den Abschußrohren und den Zuschauern und die Sicherheitsabstände die Entfernungen der Abschußrohre voneinander sein.

Bild 3 gibt einen Überblick über die in Anlage 1 von [5] festgelegten Schutzabstände.

Wie daraus ersichtlich ist, werden die festgelegten Schutzabstände bei einem Kaliber von mehr als 21 cm nicht mehr vergrößert, wobei bisher in der Bundesrepublik Deutschland keine Bomben über 30 cm Durchmesser verschossen wurden. Im vorliegenden Fall sollten zwei Bomben abgeschossen werden mit einem Kaliber von 60 cm, einer Steighöhe von 500 m und einem Durchmesser der Chrysantheme, d. h. der ausgeworfenen Sterne, von gleichfalls 500 m.

Nach Durchsicht der spärlichen Literatur und nach eingehenden Überlegungen wurde ein Schutzabstand von 600 m vorgeschlagen.

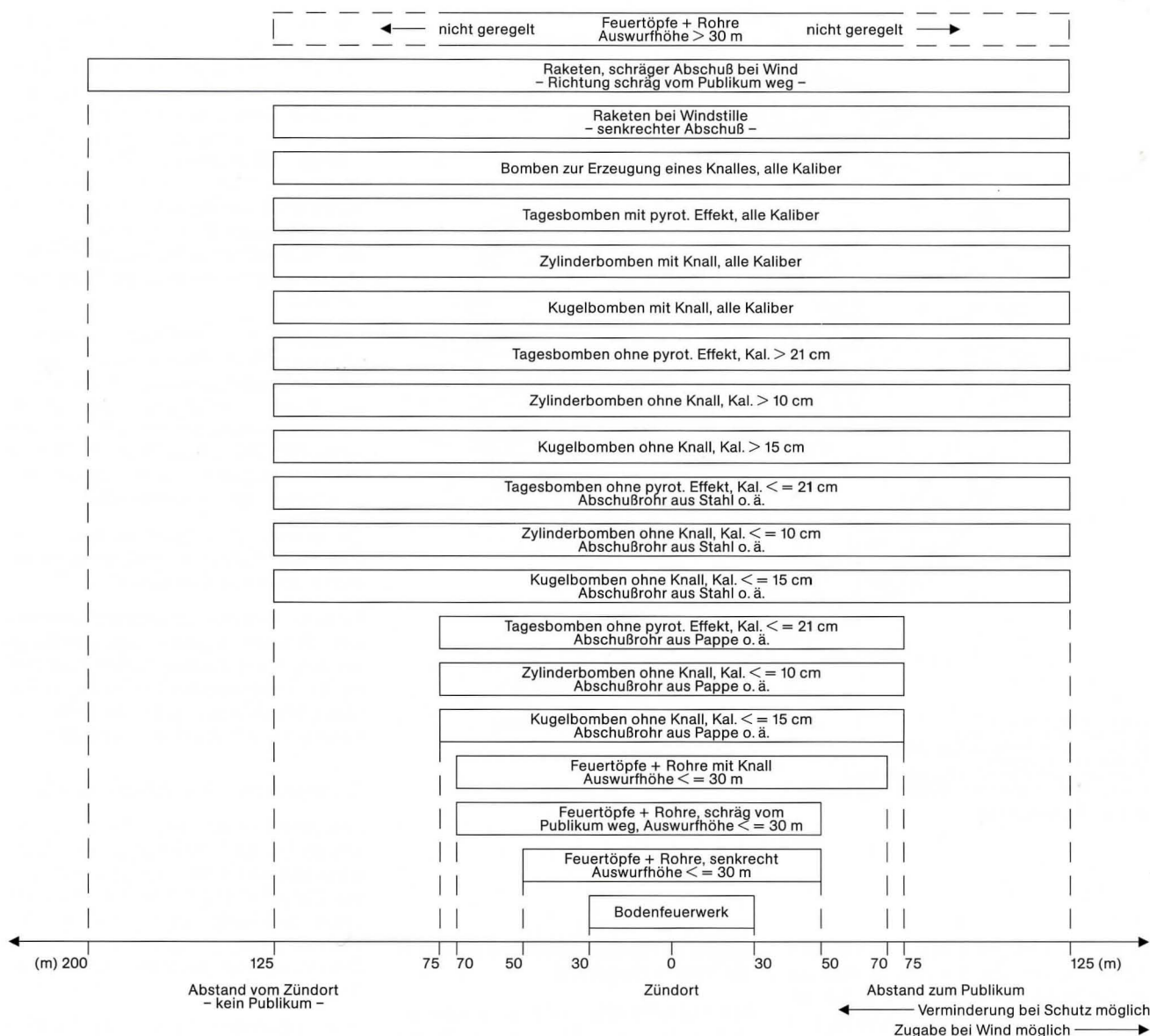


Bild 3 Darstellung der Schutzabstände in Abhängigkeit von Kaliber und pyrotechnischem Effekt

Weiter fällt auf, daß in den oben genannten Vorschriften keine Sicherheitsabstände für die Abschußrohre voneinander gefordert werden. Dies ist nicht erforderlich, solange lediglich Abschußrohre aus Pappe und Bomben kleineren Kalibers verwendet werden. Werden aber Bomben mit Explosivstoffmengen bis zu 60 kg aus Stahlrohren verschossen, muß sichergestellt sein, daß eine Explosion einer Bombe in einem Rohr auf eine zweite Bombe in einem anderen Rohr nicht übertragen wird. Als hinreichenden Abstand könnte gelten

$$E = 0,5 \times \sqrt[3]{M},$$

wobei E der Abstand der Rohre voneinander und M die Explosivstoffmenge der

Bombe einschließlich der Treibladung in kg ist, vgl. hierzu [8] – dort weitere Literaturangaben.

Es sei nur am Rande erwähnt, daß die Abschußrohre mit den 60-cm-Bomben erst nach Intervention des japanischen Feuerwerkers von 0,6 auf etwa 10 m auseinandergerückt wurden.

8. Das Abbrennen

Im Regelfall ist die Verwendung von Stahlrohren zum Abschießen von Feuerwerksbomben nicht erwünscht, weil bei einem Rohrkiprierer starkwandige und scharfkantige Splitter entstehen können. Im allgemeinen wird die Erlaubnis zur Verwendung von Stahlrohren in

die Erlaubnis zum Abbrennen aufgenommen.

Die Bundesanstalt äußerte sich zu dieser Frage wie folgt: Da zur Erreichung der Steighöhe von 500 m im Abschußrohr große Drücke erforderlich sind, ist der Abschuß aus Stahlrohren erforderlich. Wegen des großen Rückstoßes beim Abschuß muß das Rohr zusätzlich mit Balken unterlegt werden. Das Stahlrohr muß fast vollständig eingegraben und die Mündung zusätzlich mit Sandsäcken gesichert sein.

Bild 4 zeigt eine Phase beim Aufbau des Feuerwerks und Bild 5 eine beim Abbrennen des Feuerwerks.



Bild 4 Aufbau des Feuerwerks



Bild 5 Japanisches Feuerwerk zur 750-Jahr-Feier von Berlin

9. Zusammenfassung

Anhand eines praktischen Beispiels wird gezeigt, daß die Rechtsvorschriften für das Abbrennen eines Großfeuerwerkes nicht ausreichen, um den absehbaren, künftigen Gegebenheiten Rechnung zu tragen. Durch die Einfuhr von Feuerwerksbomben größeren Kalibers müssen die für Bomben geringeren Kalibers festgelegten Schutzabstände für größere Kaliber erweitert werden. Wie dies geschehen kann, wird an einem Beispiel gezeigt.

Da mit der Größe der Bomben auch deren Gehalt an Explosivstoffen steigt, erhöht sich die Gefahr der Übertragung der Explosion in einem Abschußrohr auf andere in der Nähe befindliche Rohre. Eine Möglichkeit zur Berechnung der Sicherheitsabstände wird vorgestellt.

Außerdem wird gezeigt, wie die Gefahr durch gefährliche Splitter bei Rohrkrepiern beim Abschießen großer Feuerwerksbomben aus Stahlrohren gemindert werden kann.

10. Literatur

- [1] Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffgesetz – SprengG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. April 1986 (BGBl. I, S. 577)
- [2] Waffengesetz (WaffG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 8. März 1976 (BGBl. I, S. 432); geändert durch das Gesetz zur Änderung des Waffenrechts vom 31. Mai 1978 (BGBl. I, S. 641), das Zweite Gesetz zur Änderung des Waffengesetzes vom 14. Juli 1980 (BGBl. I, S. 956) und durch Artikel 4 des Ersten Gesetzes zur Bereinigung des Verwaltungsverfahrenrechts vom 18. Februar 1986 (BGBl. I, S. 265)
- [3] Erste Verordnung zum Sprengstoffgesetz (1. SprengV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 1987 (BGBl. I, S. 793), Berichtigung vom 1. Juli 1987 (BGBl. I, S. 1579)
- [4] Zweite Verordnung zum Sprengstoffgesetz (2. SprengV) vom 23. November 1977 (BGBl. I, S. 2189, berichtigt 1978 im BGBl. I, S. 590)
- [5] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Sprengstoffgesetz (SprengVwV) in der Fassung der Bekanntmachung der Neufassung vom 10. März 1987 (BAnz. Nr. 60 a, S. 3241, vom 27. März 1987)
- [6] Unbedenklichkeitsbescheinigung des Polizeipräsidenten in Berlin
- [7] Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf Straßen (Gefahrgutverordnung Straße – GGVS) vom 22. Juli 1985 (BGBl. I, S. 1550)
- [8] Dipl.-Ing. Herbert Lück, Dipl.-Ing. Wolfgang Meuskens, Dr. rer. nat. Hartwig Treumann und Dr. rer. nat. Eduard von Zahn: „Kali und Steinsalz“ 5 (1970), 7