

# Leitfaden zu Sicherheitsmaßnahmen für das Verwenden von Theaterpyrotechnik der Kategorie T2

Version vom 12.03.2013

## Py/2012/1

### **Kontakt:**

Lutz Kurth

Bundesanstalt für Materialforschung und –  
prüfung (BAM)

Fachbereich 2.3 „Explosivstoffe“  
Pyrotechnik

Tel.: 030-8104-1234

Email: [Lutz.Kurth@bam.de](mailto:Lutz.Kurth@bam.de)

Dr. Christian Lohrer

Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung  
(BAM)

Fachbereich 2.3 „Explosivstoffe“  
Normung Explosivstoffe

Tel.: 030-8104-3249

Email: [Christian.Lohrer@bam.de](mailto:Christian.Lohrer@bam.de)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Anwendungsbereich</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Begriffsbestimmungen</b> .....	<b>3</b>
2.1	Pyrotechnische Gegenstände für Bühne und Theater der Kategorie T2.....	3
2.2	Pyrotechnische Sätze .....	3
2.3	Sicherheitsbereich .....	3
2.4	Sicherheitsabstand .....	3
2.5	Indoor-Bereich .....	3
2.6	Outdoor-Bereich.....	3
2.7	Effektausdehnung .....	3
2.8	Effekthöhe.....	4
2.9	Zerlegungshöhe (Steighöhe) .....	4
2.10	Radiale Effektweite .....	4
2.11	Verantwortliche Person nach § 19 SprengG (Auszug) .....	4
<b>3</b>	<b>Allgemeines</b> .....	<b>4</b>
3.1	Gefährdungsbeurteilung .....	4
3.2	Gefährdungen .....	4
3.3	Allgemeine Schutzmaßnahmen .....	4
<b>4</b>	<b>Schutzabstände</b> .....	<b>5</b>
4.1	Einführung.....	5
4.2	Vertikaler oder horizontaler Abschuss .....	5
4.3	Abschuss unter einem Neigungswinkel .....	7
4.4	Abschuss unter Windeinfluss im Outdoor-Bereich.....	8
4.5	Verwendung von T1-Gegenständen durch Personen mit Befähigungsschein.....	8
4.6	Spezielle Sicherheitsabstände bei Bouquet-Effekten .....	8
<b>5</b>	<b>Allgemeine Sicherheitsmaßnahmen für Aufbau und Verwendung</b> .....	<b>9</b>
	<b>Anhang 1: Beispielhafte Bestimmung der Sicherheitsabstände für T2-Gegenstände basierend auf den relevanten Leistungskenngrößen</b> .....	<b>10</b>
	<b>Anhang 2: Sicherheitsabstände in Abhängigkeit vom Schalldruckpegel</b> .....	<b>12</b>

## 1 Anwendungsbereich

Dieser Leitfaden gilt für das Verwenden/Abbrennen von durch eine benannte Stelle zertifizierten pyrotechnischen Gegenständen für Bühne und Theater (Theaterpyrotechnik) der Kategorie T2 im Sinne des Artikel 3 Abs. 1 b der Richtlinie 2007/23/EG. Der technische Schwerpunkt des Leitfadens liegt in der Bestimmung der Sicherheitsabstände für pyrotechnische Gegenstände der Kategorie T2. Die Sicherheitsabstände sind künftig auf Basis der in der Kennzeichnung angegebenen Funktionsgrößen/Leistungsparameter zu ermitteln.

Die Ausführungen in den Abschnitten 2., 3. und 5. sind nicht abschließend. Sie sollen einen Hinweis darauf geben, welche Gesichtspunkte bei der Beurteilung von Sicherheitsmaßnahmen zu betrachten wären.

## 2 Begriffsbestimmungen

### 2.1 *Pyrotechnische Gegenstände für Bühne und Theater der Kategorie T2*

sind für die Verwendung auf Bühnen sowie in Theatern oder vergleichbaren Einrichtungen nur durch Personen mit Fachkenntnissen vorgesehen. Sie enthalten pyrotechnische Sätze die dazu bestimmt sind, unter Ausnutzung der in diesen enthaltenen Energie Licht-, Schall-, Rauch-, Nebel-, Heiz-, Druck- oder Bewegungswirkungen zu erzeugen.

### 2.2 *Pyrotechnische Sätze*

sind explosionsgefährliche Stoffe oder Stoffgemische, die zur Verwendung in pyrotechnischen Gegenständen oder zur Erzeugung pyrotechnischer Effekte bestimmt sind.

### 2.3 *Sicherheitsbereich*

umfasst mindestens die räumliche Ausdehnung der horizontalen und vertikalen Sicherheitsabstände zum Abbrandort.

### 2.4 *Sicherheitsabstand*

ist der zwischen pyrotechnischem Gegenstand und Publikum einzuhaltenen horizontale und/oder vertikale Abstand.

### 2.5 *Indoor-Bereich*

ist ein in alle Richtungen abgeschlossener Raum, der Lüftungseinrichtungen beinhalten kann (z. B. Theater).

### 2.6 *Outdoor-Bereich*

umfasst alle Terrains außer dem Indoor-Bereich (z. B. Konzertbühne unter freiem Himmel).

### 2.7 *Effektausdehnung*

ist die maximale Entfernung zwischen Effekt und pyrotechnischem Gegenstand. Sie beinhaltet die Effekthöhe und radiale Effektweite.

### 2.8 Effekthöhe

ist die maximale Ausdehnung des Effekts in Ausstoßrichtung, gemessen vom Boden des Gegenstandes (siehe DIN EN 16256-1).

### 2.9 Zerlegungshöhe (Steighöhe)

ist die Höhe des Zerlegungspunktes des Effektes oder des Gegenstands.

### 2.10 Radiale Effektweite

ist die maximale Ausdehnung der Wirkung in jede Richtung, ausgenommen die Ausstoßrichtung (siehe DIN EN 16256-1).

### 2.11 Verantwortliche Person nach § 19 SprengG (Auszug)

- sind Befähigungsscheininhaber nach § 20 SprengG bzw. Erlaubnis-scheininhaber nach §§ 7 und 27 des Sprengstoffgesetzes
- sind die Aufsichtspersonen, die zum Verbringen explosionsgefährlicher Stoffe, zu deren Überlassen an andere oder zum Empfang dieser Stoffe von anderen bestellt sind,
- sind Personen, die beim Umgang und dem Verkehr mit explosionsgefährlichen Stoffen außerhalb einer Betriebsstätte die tatsächliche Gewalt über die explosionsgefährlichen Stoffe ausübt.

## 3 Allgemeines

### 3.1 Gefährdungsbeurteilung

Der Arbeitgeber/Unternehmer ist nach dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) dazu verpflichtet, die erforderlichen Maßnahmen des Arbeitsschutzes unter Berücksichtigung der Umstände zu treffen, die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit beeinflussen.

Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung kann der Grad der Reduzierung des Sicherheitsabstands für Akteur und Beteiligte festgelegt werden.

### 3.2 Gefährdungen

Mögliche Gefährdungen beim Einsatz pyrotechnischer Gegenstände für Bühne und Theater ergeben sich durch mechanische, thermische und chemische Einwirkungen direkt oder indirekt aus den Effekten (wie weggeschleuderte Reststücke, Funkenflug, Schall- und Druckwirkung, Flammenbildung, Wärmestrahlung, Blendung, Entstehung gesundheitsgefährlicher Gase, Stäube, Dämpfe oder Rauch, Abtropfen heißer Schlacken, Staubexplosionen durch Entzündung aufgewirbelter Staubablagerungen), den Umgang mit ungeeigneten Arbeitsmitteln und ungeeignete Arbeitsabläufe.

### 3.3 Allgemeine Schutzmaßnahmen

Für die im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ermittelten möglichen Gefahren beim Abbrand pyrotechnischer Gegenstände für Bühne und Theater müssen

geeignete Schutzmaßnahmen realisiert und deren Wirkung überprüft werden. Diese beinhalten u. a. die angemessene Auswahl pyrotechnischer Gegenstände hinsichtlich der o. g. Gefährdungen, die Einhaltung und Überprüfung der geforderten Sicherheitsabstände (Gegenstände mit Effekten nach 4.5 bedürfen einer besonderen Betrachtung), die Sicherstellung ausreichender Raumlüftungen und ggf. die Verwendung von Schutzausrüstung.

## 4 Schutzabstände

### 4.1 Einführung

Wenn Sicherheitsabstände im Rahmen eines Konformitätsbewertungsverfahrens (Angabe auf dem Gegenstand bzw. Gebrauchsanleitung) bzw. im Rahmen des Verfahrens der Vergabe einer Identifikationsnummer in der Gebrauchsanweisung festgelegt wurden, sind diese anzuwenden.

Sind keine Sicherheitsabstände auf den Gegenständen bzw. Gebrauchsanleitungen angegeben (in der Regel bei Gegenständen der Kategorie T2, die ab dem 01.10.2009 baumustergeprüft wurden), sind nachfolgende Berechnungsgrundlagen für die Bestimmung der Sicherheitsabstände unter Berücksichtigung der auf der Kennzeichnung angegebenen Leistungsparameter (wie z. B. Effektausdehnungen, Schallpegel sowie Wurfweiten von Fragmenten und brennenden oder glimmenden Materials) zu bestimmen. Für die Anpassung des Sicherheitsabstandes durch Neigungswinkel oder Windeinfluss im Outdoor-Bereich gelten 4.3 und 4.4.

Im Outdoor-Bereich ist die Windgeschwindigkeit an einer repräsentativen Stelle am Abbrennplatz vor Beginn des Abbrennens zu messen und zu protokollieren.

Bei geeigneten Bedingungen oder Maßnahmen können die Sicherheitsabstände, abweichend der nachfolgenden Anforderungen, verringert werden.

### 4.2 Vertikaler oder horizontaler Abschuss

Der Sicherheitsabstand beim Abschuss pyrotechnischer Gegenstände der Kategorie T2 ohne Berücksichtigung des Neigungswinkels (bis zu einer Windgeschwindigkeit bis zu 9 m/s im Outdoor-Bereich) berechnet sich wie folgt:

$$\text{Sicherheitsabstand [Meter]} = 1,3 \times L_{\text{Leistungsparameter}} \quad [1]$$

$L_{\text{Leistungsparameter}}$  ist der größte Wert in Meter der einzelnen Leistungsparameter angegeben in der Kennzeichnung der T2-Gegenstände: Effekthöhe und radiale Effektweite sowie Wurfweiten von Fragmenten und brennenden oder glimmenden Materials.

Nach DIN EN 16256-4 und Tabelle 1 können die relevanten Leistungsparameter wie folgt abgekürzt werden (siehe Unterlagen zu EG-Baumusterprüfbescheinigungen):

Tabelle 1: Codierung der Leistungsparameter nach DIN EN 16256-4

Code	Status <sup>a</sup>	Beschreibung	Beispiele/Bemerkungen
A	M	Effekthöhe	
B	M	Schalldruckpegel einschließlich Messabstand	Wert bei einem Abstand
C	M	Abstand gefährlicher Reststücke	
D	M	Angaben zu brennenden oder glimmenden Teilchen, die auf die Ebene zurückkehren, von der die Vorrichtung abgeschossen wurde	„+“, wenn der Effekt den Erdboden erreicht
E	O	Effektentfernung	Diese Kenngröße ist für Wasserfeuerwerke verbindlich
F	O	Effektbreite	Nicht zu verwechseln mit radialer Effektweite!
G	O	Kaliber	Sofern nicht in der Beschreibung gefordert
H	O	Anzünddauer	
I	NICHT BELEGT, um eine Mehrdeutigkeit mit der Zahl „1“ zu vermeiden.		
J	O	Flugdauer	
K	O	Effektdauer	z. B. Dauer von Sternen
L	O	Blitzsatzgehalt	
M	O	Bruttomasse	
N	O	Effekt	Sofern nicht durch die Beschreibung oder den Namen genau angegeben
O	NICHT BELEGT, um eine Mehrdeutigkeit mit der Zahl „0“ zu vermeiden.		
P	O	Klassifizierungsbezug	z. B. CAD-Referenz
Q	O	Drift	
R	O	Gesamtdauer	
S	O	Wenn Mehrfach-Effekte vorhanden sind	„+“ im Fall einer Mehrfachexplosion, gefolgt von der Anzahl der Explosionen
T	M	Radiale Effektweite	
U	NICHT BELEGT, um eine Mehrdeutigkeit mit „V“ zu vermeiden.		
V	O	Brennrate	
W	O	Maximaler Abschusswinkel	

<sup>a</sup> Diese Spalte gibt den Status an, dabei bedeutet M: Diese Angabe ist verbindlich. O bedeutet: Diese Angabe ist wahlfrei (in Abhängigkeit vom Typ oder nach Ermessen des Herstellers).

Der auf den Schalldruck bezogene Sicherheitsabstand bei pyrotechnischen Gegenständen sollte so gewählt werden, dass betroffene Personen einem Schalldruckpegel von maximal 120 dB(A) ausgesetzt sind. Daher ist neben der Berechnung des Sicherheitsabstandes auf Basis der Effektausdehnungen auch eine Berechnung auf Basis des angegebenen Schalldruckes auszuführen. Die Abhängigkeit des Sicherheitsabstands vom Schallpegel kann nach DIN EN 16256-5 mit folgender Formel abgeschätzt werden:

$$\text{Sicherheitsabstand [Meter]} = 10^{\left( \log(r_{\text{Messung}}) - \frac{L_{\text{Schall}} - L_{\text{Messung}}}{20} \right)} \quad [2]$$

Hierbei sind:

$r_{\text{Messung}}$  Messentfernung in Meter

$L_{\text{Schall}}$       Schallpegelgrenze 120 dB(AI)  
 $L_{\text{Messung}}$       Gemessener Schallpegel in dB(AI) bei  $r_{\text{Messung}}$

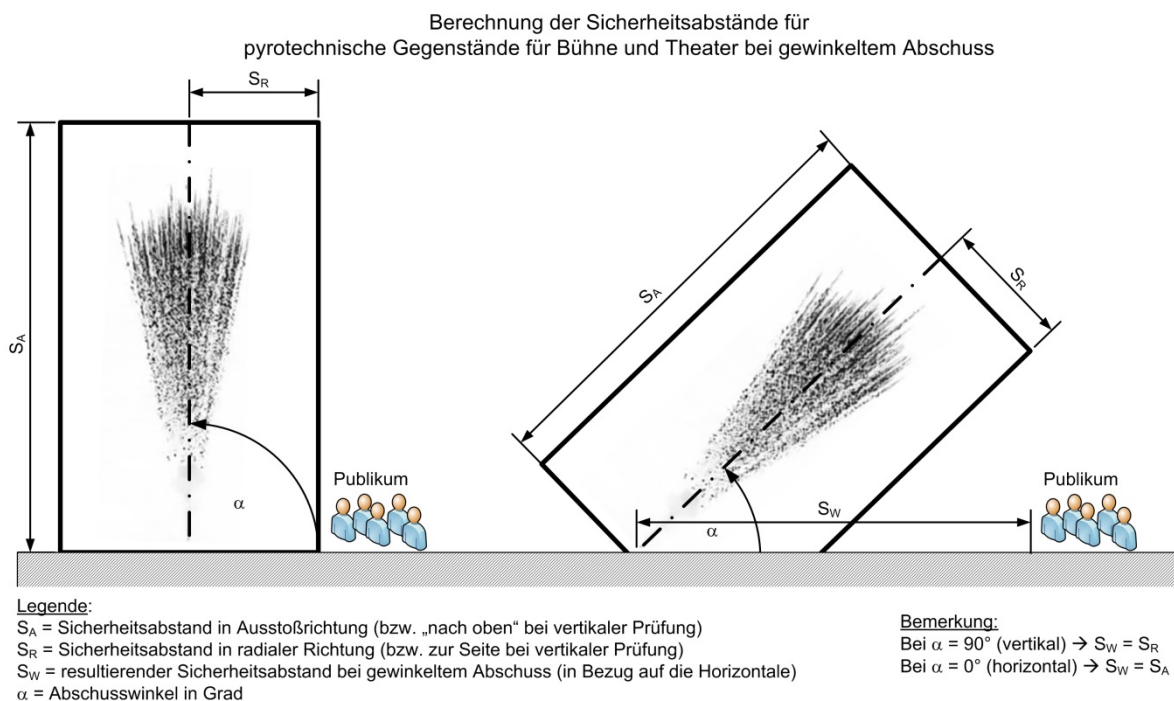
Ist diese Forderung bei Akteuren auf Grund der Nähe zu den Gegenständen nicht einzuhalten, so sind geeignete Schutzmaßnahmen (z.B. Gehörschutz) zu treffen.

Im Anhang 2 sind beispielhaft Sicherheitsabstände bei den 120 dB(AI) zu erwarten sind für Schallpegelwerte bei verschiedenen Messabständen dargestellt.

**Es ist in jedem Fall der größte berechnete Sicherheitsabstand (Basis Effektausdehnung und Basis Schalldruck) anzuwenden. Der Sicherheitsabstand sollte ggf. auf den nächsten ganzen Meter aufgerundet werden.**

#### 4.3 Abschuss unter einem Neigungswinkel

Beim Abschuss der pyrotechnischen Gegenstände unter einem Neigungswinkel ist der Sicherheitsabstand nach Formel [1]<sup>11</sup> in Abhängigkeit des Neigungswinkels in Neigungsrichtung folgendermaßen zu vergrößern (siehe Bild 1):



$$S_W = S_A \cdot \cos(\alpha) + S_R \cdot \cos(90 - \alpha)$$

**Bild 1: Sicherheitsabstände bei gewinkeltem Abschuss**

<sup>1</sup> Für die angegebene Formel wird vorausgesetzt, dass für die Steighöhe bei Bombetten, Kometen und Crossetsternen die Verzögerungszeit bis zur Zerlegung bzw. die Brennzeit maßgeblich sind.

Reichen danach die Sicherheitsabstände für einzelne Gegenstände nicht mehr aus, so sind die entsprechenden Gegenstände aus der Zündkette zu entfernen (nicht abzubrennen).

In der entgegengesetzten Richtung kann der Sicherheitsabstand entsprechend folgender Formel reduziert werden:  $S_W = S_R \cdot \cos(90 - \alpha)$ . Dieser ist nach Formel [2] entsprechend zu erhöhen, falls der Schalldruckpegel an dieser Stelle jedoch oberhalb von 120 dB(AI) liegt.

#### 4.4 *Abschuss unter Windeinfluss im Outdoor-Bereich*

Bei Windgeschwindigkeiten von mehr als 9 m/s sind die nach Formel [1] ermittelten Sicherheitsabstände wie folgt erhöhen:

- 4.4.1 Bei Windgeschwindigkeiten größer 9 m/s bis 13 m/s für Gegenstände mit einer Steig-/Effekthöhe von mehr als 30 m in Windrichtung um 100 %.
- 4.4.2 Bei Windgeschwindigkeiten größer 13 m/s dürfen nur noch Gegenstände mit einer Effekt-/Steighöhe von weniger als 30 m abgebrannt werden, es sei denn, der Sicherheitsabstand kann um mindestens 200% in Windrichtung vergrößert werden.

Reichen danach die Sicherheitsabstände für einzelne Gegenstände nicht mehr aus, so sind die entsprechenden Gegenstände aus der Zündkette zu entfernen (nicht abzubrennen).

#### 4.5 *Verwendung von T1-Gegenständen durch Personen mit Befähigungsschein*

Gegenstände der Kategorie T1 müssen von Personen ohne Befähigungsschein entsprechend den festgelegten Vorschriften auf der Kennzeichnung oder in der Gebrauchsanweisung zu verwenden. Eine Person mit Befähigungsschein darf die als T1 oder als T1 ‚nur zur Verwendung im Freien‘ gekennzeichneten Gegenstände weitergehend in anderer Art und Weise als in den Vorschriften auf der Kennzeichnung oder innerhalb der Gebrauchsanweisung handhaben und/oder verwenden; Voraussetzung ist jedoch, dass die mit diesem Gebrauch verbundenen Gefahren und Risiken gebührend berücksichtigt wurden. Sofern T1-Gegenstände von Personen mit Befähigungsschein verwendet werden, darf die Anpassung der in der Kennzeichnung vorgegebenen Sicherheitsabstände bei gewinkeltm Abschuss und bei Windeinfluss in Analogie zu 4.3 und 4.4 vorgenommen werden.

#### 4.6 *Spezielle Sicherheitsabstände bei Bouquet-Effekten*

Für Gegenstände, die in großen Höhen breite Bouquet-Effekte (z.B. Crossette) erzeugen, kann bei gebührender Berücksichtigung des Einzeleffektes (z.B. Möglichkeit des Herabfallens fester Rückstände wie Asche, Schlacke und brennendem/glimmendem Materials, nicht gezündete Sterne oder



Effektkomponenten, Effekt-/Zerlegungshöhe und radiale Effektweite; siehe Codes **A, C, D und T** in Tabelle 1 nach DIN EN 16256-4) durch die Personen mit Befähigungsschein ein minimaler radialer Sicherheitsabstand von 2 m in Bodennähe festgesetzt werden. Dieser ist nach Formel [2] entsprechend zu erhöhen, falls der Schalldruckpegel an dieser Stelle jedoch oberhalb von 120 dB(AI) liegt.

## **5 Allgemeine Sicherheitsmaßnahmen für Aufbau und Verwendung**

- 5.1 Bei Verwendung pyrotechnischer Gegenstände ist die ungewollte Übertragung der Reaktionen zu verhindern. Die Ablagerung brennbarer Stäube ist zu vermeiden.
- 5.2 Beim Einsatz im Indoor-Bereich sind Rauchentwicklungen im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen (z. B. durch Anzahl und Auswahl der Produkte und Lüftungseinrichtungen).
- 5.3 Die Wirkungsweise und Gefahr sowie Einsatzzeit und -ort der pyrotechnischen Gegenstände muss der verantwortlichen Person und ggf. den beteiligten Personen (z. B. Darstellern) bekannt sein.
- 5.4 Vor dem Aufbau sind Hilfsgeräte, Abschussmittel und pyrotechnische Gegenstände auf ihren ordnungsgemäßen Zustand hin zu überprüfen. Beschädigte Geräte oder pyrotechnische Gegenstände dürfen nicht verwendet werden.
- 5.5 Der Bereich für den Aufbau ist ab dem Beginn des Aufbaus so deutlich zu kennzeichnen, dass Unbeteiligte die Begrenzung ohne weiteres erkennen können.
- 5.6 Vor dem Abbrennen der pyrotechnischen Gegenstände hat die verantwortliche Person den sachgemäßen Aufbau und die Sicherheitsmaßnahmen zu kontrollieren und zu protokollieren.
- 5.7 Die Auslösung darf nur durch die verantwortliche Person selbst oder unter deren unmittelbaren Aufsicht erfolgen.
- 5.8 Beschädigte pyrotechnische Gegenstände und Versager dürfen nur dann erneut gezündet werden, wenn die verantwortliche Person den sicheren Einsatz garantieren kann. Versager sind unter Beachtung der erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen durch dazu Berechtigte nach einer angemessenen Wartezeit auszubauen und dem Hersteller/Lieferanten zurückzugeben.

## Anhang 1: Beispielhafte Bestimmung der Sicherheitsabstände für T2-Gegenstände basierend auf den relevanten Leistungskenngrößen

### BEISPIEL 1

*Gegenstand ist entsprechend der Gebrauchsanweisung und nationalen Bestimmungen zu verwenden. Mindestsicherheitsabstände sind durch den Benutzer mithilfe der angegebenen Produktdaten zu bestimmen:*

A: 8 m
B: 108 dB ( $AI_{max}$ ) bei 8 m
C: 5 m
D: + (4 m)
T: 3 m

Entsprechend einer Effekthöhe von 8 m mit einer radialen Effektweite von 3 m, die einen maximalen A-bewerteten Impuls-Schalldruckpegel ( $L_{AI_{max}}$ ) von 108 dB (AI) bei 8 m erzeugt, entstehen gefährliche Reststücke bis zu einem maximalen seitlichen Abstand von 5 m und es werden brennende oder glimmende Teilchen in 4 m Entfernung auf die Ebene geworfen, von der der Gegenstand abgeschossen wurde.

#### Folgende Sicherheitsabstände ergeben sich bei vertikalem Abschuss:

- ▶ Mindestsicherheitsabstand in Richtung des Effekts: **11 m** (1,3 x 8 m, aufgerundet auf ganzen Meter)
- ▶ radialer Mindestsicherheitsabstand: **7 m** (1,3 x 5 m, aufgerundet auf ganzen Meter; der auf dem Schalldruckpegel von 120 dB ( $AI_{max}$ ) basierende Sicherheitsabstand beträgt 2 m)

---

### BEISPIEL 2

*Gegenstand ist entsprechend der Gebrauchsanweisung und nationalen Bestimmungen zu verwenden. Mindestsicherheitsabstände sind durch den Benutzer mithilfe der angegebenen Produktdaten zu bestimmen:*

A: 2 m	B: 108 dB ( $AI_{max}$ ) bei 8 m	T: 2 m
--------	----------------------------------	--------

Entsprechend einer Effekthöhe von 2 m, die einen maximalen A-bewerteten Impuls-Schalldruckpegel ( $L_{AI_{max}}$ ) von 108 dB (AI) bei 8 m erzeugt, mit einer radialen Effektweite von 2 m, entstehen keine gefährlichen Reststücke und es werden keine brennenden oder glimmenden Teilchen auf die Ebene geworfen, von der der Gegenstand abgeschossen wurde.

#### Folgender Sicherheitsabstand ergibt sich bei vertikalem Abschuss:

- ▶ Mindestsicherheitsabstand: **3 m** (1,3 x 2 m, aufgerundet auf ganzen Meter, der auf dem Schalldruckpegel von 120 dB ( $AI_{max}$ ) basierende Sicherheitsabstand beträgt 2 m)

### BEISPIEL 3

Gegenstand ist entsprechend der Gebrauchsanweisung und nationalen Bestimmungen zu verwenden. Mindestsicherheitsabstände sind durch den Benutzer mithilfe der angegebenen Produktdaten zu bestimmen:

A (Effekthöhe): 6 m  
B (Schalldruckpegel bei einem Abstand): 114 dB ( $A_{I_{max}}$ ) bei 8 m  
T (radiale Effektweite): 1 m

Entsprechend einer Effekthöhe von 6 m, die einen maximalen A-bewerteten Impuls-Schalldruckpegel von 114 dB ( $L_{A_{I_{max}}}$ ) bei 8 m erzeugt, mit einer radialen Effektweite von 1 m, entstehen keine gefährlichen Reststücke und es werden keine brennenden oder glimmenden Teilchen auf die Ebene geworfen, von der der Gegenstand abgeschossen wurde.

**Folgende Sicherheitsabstände ergeben sich bei gewinkeltem Abschuss ( $\alpha = 30^\circ$ ):**

- ▶ Mindestsicherheitsabstand in Richtung des Effekts: **8 m** (1,3 x 6 m, aufgerundet auf ganzen Meter)
- ▶ radialer Mindestsicherheitsabstand: **4 m** ( 120 dB ( $L_{A_{I_{max}}}$ ) in 4 m Entfernung)
- ▶ Resultierender Sicherheitsabstand zum Publikum bei gewinkeltem Abschuss ( $\alpha = 30^\circ$ ) in Publikumsrichtung: **8 m** (radialer Mindestsicherheitsabstand basierend auf Effektweite 2 m; aufgerundet auf ganzen Meter)

-----

## Anhang 2: Sicherheitsabstände in Abhängigkeit vom Schalldruckpegel

Nach Formel [2] ergeben sich beispielhaft folgende Sicherheitsabstände bei den 120 dB(A) zu erwarten sind, wenn Werte der Schallpegelmessungen in bekannten Abständen vorliegen:

Gemessene Schalldruckpegel [dB(A)] im jeweiligen Messabstand	Errechnete Sicherheitsabstände [m] basierend auf 120 dB(A) nach Formel [2] für folgende Messabstände [m]:						
	8	15	25	50	100	150	200
90	0,3	0,5	0,8	1,6	3,2	4,7	6,3
91	0,3	0,5	0,9	1,8	3,5	5,3	7,1
92	0,3	0,6	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0
93	0,4	0,7	1,1	2,2	4,5	6,7	8,9
94	0,4	0,8	1,3	2,5	5,0	7,5	10,0
95	0,4	0,8	1,4	2,8	5,6	8,4	11,2
96	0,5	0,9	1,6	3,2	6,3	9,5	12,6
97	0,6	1,1	1,8	3,5	7,1	10,6	14,2
98	0,6	1,2	2,0	4,0	7,9	11,9	15,9
99	0,7	1,3	2,2	4,5	8,9	13,4	17,8
100	0,8	1,5	2,5	5,0	10,0	15,0	20,0
101	0,9	1,7	2,8	5,6	11,2	16,8	22,4
102	1,0	1,9	3,1	6,3	12,6	18,9	25,2
103	1,1	2,1	3,5	7,1	14,1	21,2	28,3
104	1,3	2,4	4,0	7,9	15,8	23,8	31,7
105	1,4	2,7	4,4	8,9	17,8	26,7	35,6
106	1,6	3,0	5,0	10,0	20,0	29,9	39,9
107	1,8	3,4	5,6	11,2	22,4	33,6	44,8
108	2,0	3,8	6,3	12,6	25,1	37,7	50,2
109	2,3	4,2	7,0	14,1	28,2	42,3	56,4
110	2,5	4,7	7,9	15,8	31,6	47,4	63,2
111	2,8	5,3	8,9	17,7	35,5	53,2	71,0
112	3,2	6,0	10,0	19,9	39,8	59,7	79,6
113	3,6	6,7	11,2	22,3	44,7	67,0	89,3
114	4,0	7,5	12,5	25,1	50,1	75,2	100,2
115	4,5	8,4	14,1	28,1	56,2	84,4	112,5
116	5,0	9,5	15,8	31,5	63,1	94,6	126,2
117	5,7	10,6	17,7	35,4	70,8	106,2	141,6
118	6,4	11,9	19,9	39,7	79,4	119,1	158,9
119	7,1	13,4	22,3	44,6	89,1	133,7	178,3
120	8,0	15,0	25,0	50,0	100,0	150,0	200,0
121	9,0	16,8	28,1	56,1	112,2	168,3	224,4
122	10,1	18,9	31,5	62,9	125,9	188,8	251,8
123	11,3	21,2	35,3	70,6	141,3	211,9	282,5
124	12,7	23,8	39,6	79,2	158,5	237,7	317,0
125	14,2	26,7	44,5	88,9	177,8	266,7	355,7