

## **Gefährdungen beim Einsatz pyrotechnischer Gegenstände für Bühne und Theater im Innenbereich**

Die möglichen Gefährdungen beim Einsatz von Pyrotechnik sind vielfältig. Für eine sichere Verwendung dieser Gegenstände, insbesondere im Innenbereich, ist eine Gefährdungsbeurteilung und -analyse notwendig. Die möglichen Gefährdungen lassen sich prinzipiell wie folgt einteilen:

- 1) Missbräuchliche Anwendung der Gegenstände,
- 2) Fehlfunktion der zugelassen oder konformitätsbewerteten Gegenstände und
- 3) Abbrandprodukte (Gase und Feststoffe).

Den Gefährdungen nach 1) kann durch aktive Aufklärung und ggf. effektive Kontrollen der geplanten Einsätze und deren Randbedingungen entgegen getreten werden. Im Rahmen der in der Vergangenheit in Deutschland durchgeführten Zulassungsverfahren und der seit dem 01.10.2009 durchzuführenden Konformitätsbewertungsverfahren werden den Gefährdungen nach 2) und teilweise auch nach 3) Rechnung getragen. Im Rahmen dieser Prüfungen werden die Gegenstände unter anderem thermisch und mechanisch belastet, um übliche Transport- und Lagerbedingungen zu simulieren. Im Anschluss daran werden verschiedene nach Norm prEN16256 festgelegte konstruktive und funktionstechnische Anforderungen überprüft. Eine ebenfalls nach dieser Norm angegebene Liste definiert Stoffe und Stoffverbindungen, die in pyrotechnischen Gegenständen für Bühne und Theater nicht verwendet werden dürfen. Als Resultat dieser Prüfungen werden Schutzabstände für jeden Gegenstand definiert bzw. alle relevanten Funktionskenngößen ermittelt, die für die Berechnung dieser Abstände notwendig sind. Diese Funktionskenngößen enthalten Informationen zu den Effektausmaßen (z.B. Höhe und Breite eines Funkeneffekts), dem Schalldruckpegel, gefährlichen Reststücken (wie herausgeschleuderten Hüllenfragmenten) und ob glimmende Partikel den Boden erreichen. Des Weiteren sorgen die Firmen mit überprüften Qualitätssicherungssystemen dafür, dass die nachgefertigten Artikel den ursprünglichen Baumustern entsprechen.

Trotz dieser umfangreichen Maßnahmen sind mögliche Gefährdungen, insbesondere nach 3), für eine sichere Verwendung zu berücksichtigen. Diese werden im Folgenden kurz illustriert. Pyrotechnische Verbrennungsreaktionen sind stark exotherm, die typenabhängig bei Temperaturen von ca. 800 °C bis zu 2000 °C ablaufen. Die entstehenden gasförmigen und festen Reaktionsprodukte sind dementsprechend reichhaltig.

Im Bereich der **gasförmigen Reaktionsprodukte** sind generell folgende Stoffe und Stoffverbindungen zu erwarten:

- CO<sub>2</sub>
- CO (hochentzündlich und giftig)
- Nitrose Gase: N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, (mitunter sehr giftig, brandfördernd und ätzend)
- Chlorwasserstoff (giftig und ätzend)
- Kohlenwasserstoffe: CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> etc. (mitunter hochentzündlich)
- H<sub>2</sub>S (sehr giftig, hochentzündlich und umweltgefährlich)
- uvm.

Eine potentielle Gefährdung durch Gase besteht jedoch meistens nur im unmittelbaren Abbrandbereich der Gegenstände, da aufgrund von Verdünnungseffekten innerhalb weniger Meter schnell unterkritische Konzentrationen erreicht werden. Eine eventuelle Dauerbelastung ist dennoch zu vermeiden.

Im Gegensatz zu den gasförmigen Emissionsbestandteilen, werden **feste Verbrennungsprodukte (Aerosole)** auf kurzer Distanz nicht hinreichend verdünnt. Selbst nach 8 - 10 m sind die Partikel mit ggf. 10<sup>6</sup> Partikel/cm<sup>3</sup> noch deutlich messbar und liegen oberhalb der atmosphärischen Grundkonzentration von etwa maximal 10<sup>4</sup> Partikel/cm<sup>3</sup>. Diese Partikel werden thermisch gebildet und liegen im Größenbereich zwischen 20 und 560 nm. Sie sind ferner lungengängig und können bei aerodynamischen Durchmessern von unter 100 nm bis in die kleinsten Lungenbläschen (Alveolen) vordringen. Üblicherweise bestehen diese Partikel in Abhängigkeit des pyrotechnischen Effekts aus Kalium, Barium, Strontium, Titan, Kupfer, Zink, Blei, Magnesium, Aluminium oder aus weiteren Verbindungen dieser Metalle (meist Metalloxide). „Nanopartikel“ können ferner aufgrund ihrer hohen spezifischen Oberfläche weitere Fremdstoffe adsorbieren, in die Alveolen mit eintragen und dort zu Schädigungen führen. Mögliche Folgen können Atemschwierigkeiten (vor allem Kurzatmigkeit) und als Spätfolge Atemwegsinfektionen sein. Da diese Nanopartikel sich in erster Näherung wie Gase verhalten, folgen sie leicht selbst kleinsten Strömungen und sinken erst sehr spät zu Boden. Bei „raucharmen“ Gegenständen sind in der Regel vergleichbare Partikelanzahlkonzentrationen zu erwarten, allerdings besitzen die Partikel deutlich kleinere aerodynamische Durchmesser. Dadurch wird einerseits die Massenkonzentration herab gesetzt, andererseits wird die Lungengängigkeit erhöht. Da diese Partikel als Wolke kaum mit dem bloßen Auge zu sehen sind, ist dieser Umstand bei sogenannter „raucharmer“ Pyrotechnik speziell zu beachten. Eine wirkungsvolle Ventilation, die zu entsprechenden Strömungen und Luftwechselraten führt, verringert in jedem Fall die möglichen Gefährdungen hinsichtlich der gasförmigen und festen Reaktionsprodukte beim Abbrand pyrotechnischer Gegenstände für Bühne und Theater im Innenbereich.