

RIVM rapport 620810001/2005

**Arbeidsveiligheid bij het toepassen van groot
vuurwerk**

M. van der Plas

Contact:

M. van der Plas

Centrum voor Externe Veiligheid

mirjam.van.der.plas@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van de Directie Arbeidsveiligheid en -gezondheid van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, in het kader van project M/620810/01/AA 'Arbeidsveiligheid bezigen vuurwerk'.

Abstract

Employee safety in outdoor professional fireworks applications

In an investigation into employee safety in outdoor firework displays commissioned by the Dutch Ministry of Social Affairs and Employment, it was found that preparing and igniting firework displays can be done using safer methods. Careful selection of materials and adjusting the methods used can add to decreasing risks, both for employees and for the public. However, in contrast with several other countries, these measures are not prescribed in Dutch legislation. Unusual occurrences and incidents should also be better reported and documented. Reports would provide a learning base for employees and provide input into training programs. If safety is to be increased, it is important that the government and the fireworks branch reach an agreement on the most significant risks, which would allow the branch to move on to determine safety measures, either autonomously or in cooperation with the Dutch government.

Key words: employee safety; fireworks; risks; incidents

Rapport in het kort

Arbeidsveiligheid bij het toepassen van groot vuurwerk

Het opbouwen en afsteken van vuurwerk voor shows kan veiliger, blijkt uit dit onderzoek. Een zorgvuldige selectie van materialen speelt hierin een rol. Ook het aanpassen van werkwijzen kan de risico's verkleinen, zowel voor degenen die het vuurwerk afsteken als voor de toeschouwers. Deze maatregelen worden echter niet in Nederlandse regelgeving voorgeschreven, terwijl dit in andere landen vaak wel het geval is. Verder zouden ongewone voorvallen en incidenten beter kunnen worden gemeld en vastgelegd. Daardoor kunnen degenen die vuurwerk afsteken hiervan leren en beter worden opgeleid. Voor het verhogen van de veiligheid is het van belang dat de overheid het met de branche eens wordt over de belangrijkste risico's. Daarna kan de branche zelf of samen met de overheid overgaan tot het vaststellen van maatregelen.

Trefwoorden: arbeidsveiligheid; vuurwerk; risico's; incidenten

Inhoud

Summary 5

Samenvatting 7

1. Inleiding 9

- 1.1 *Aanleiding* 9
- 1.2 *Vraagstelling en werkwijze* 9
- 1.3 *Leeswijzer* 10

2. Incidenten 11

- 2.1 *Incidenten gegroepeerd per vuurwerkartikel* 11
 - 2.1.1 *Mortierbommen* 11
 - 2.1.2 *Romeinse kaarsen* 12
 - 2.1.3 *Cakeboxen en flowerbeds* 12
 - 2.1.4 *Vuurpijlen* 12
- 2.2 *Incidenten bij het afsteken op pontons* 12
- 2.3 *Incidenten tijdens verlading* 12
- 2.4 *Ongewone voorvallen uit LMIP-database* 12
- 2.5 *Conclusies* 12

3. Regelgeving 12

- 3.1 *In Nederland* 12
- 3.2 *In het buitenland* 12
 - 3.2.1 *Opleidingseisen* 12
 - 3.2.2 *Gereguleerde veiligheidsaspecten* 12

4. Veiligheidsaspecten gebruikte materialen 12

- 4.1 *Mortierbuizen* 12
 - 4.1.1 *Materialen* 12
 - 4.1.2 *Nadelige effecten van voortijdige ontbranding van mortierbommen* 12
 - 4.1.3 *Testen van mortierbuizen* 12
 - 4.1.4 *Beschermende maatregelen* 12
- 4.2 *Mortierrekken* 12
- 4.3 *Hulpmaterialen* 12
- 4.4 *Ontsteekkasten en elektrische ontstekers* 12
- 4.5 *Gereedschap* 12

5. Veiligheidsaspecten werkwijzen 12

- 5.1 *Doorlonten* 12
- 5.2 *Handmatig en elektrisch ontsteken* 12
- 5.3 *Herladen* 12
- 5.4 *Vastzetten van artikelen* 12

5.5 *Afsteken vanaf een beperkte ruimte* 12

5.6 *Weigeraars en blindgangers* 12

6. Toepassen in Nederland 12

6.1 *Historie* 12

6.2 *De praktijk* 12

6.3 *Handhaving en toezicht* 12

6.4 *Incidentmelding* 12

7. Discussie 12

8. Conclusies 12

Literatuur 12

Bijlage 1 **Eisen aan kennis toepassers groot vuurwerk** 12

Bijlage 2 **Relatie tussen kaliber, wanddikte en lengte van mortierbuizen volgens NFPA** 12

Bijlage 3 **Methoden voor stabilisatie uit QCoP** 12

Summary

In an investigation in the Netherlands on employee safety aspects of materials and methods used for setting off outdoor professional fireworks, we found that careful selection of materials for mortar tubes, or solid and stable mortar racks, for example, would substantially reduce the chance of fragment release, repositioning of mortar tubes or other risky situations. The risk of chain fusing, and risks connected with manual or electric firing and setting up a display on and firing it off barges, for example, can be limited by restricting the number of chain-fused articles, applying protective measures or keeping distance. However, these and other measures are not explicitly prescribed; neither are they applied on a broad scale. Current Dutch legislation assumes the operator to have sufficient knowledge and experience for setting off fireworks. Foreign regulations are often more specific. Unusual occurrences are not reported systematically in accordance with agreements and reported incidents are only summarily documented. New knowledge and insights are shared only to a limited extent with operators or translated for training purposes. If safety is to be increased, the Dutch government is first advised to agree with the fireworks branch on the most relevant sources of risk. The government can then stimulate the branch or actively involve it in defining and implementing measures to increase employee safety.

Samenvatting

De arbeidsveiligheidsaspecten van de materialen en werkwijzen die worden toegepast bij het opbouwen en afsteken van groot vuurwerk zijn onderzocht. Door een verantwoorde selectie van materialen, zoals voor mortierbuizen, of van stevige en stabiele mortierrekken kan de kans op uitworp van scherven, op repositionering van mortierbuizen of op andere risicovolle situaties nog gevoelig worden teruggebracht. De risico's van doorlonten, handmatig of elektrisch afsteken en van het opbouwen en afsteken vanaf bijvoorbeeld pontons kunnen onder andere worden beperkt door het begrenzen van het aantal doorgelonte artikelen, het aanbrengen van afscherming of het houden van afstand. Deze en andere maatregelen worden echter niet expliciet voorgeschreven, en ook niet op uitgebreide schaal in Nederland toegepast. De Nederlandse regelgeving gaat uit van voldoende kennis en ervaring bij de toepasser. Buitenlandse voorschriften zijn vaak veel specifiek.

Ongewone voorvallen worden niet systematisch conform afspraak gemeld en gemelde incidenten zijn slechts summier gedocumenteerd. Nieuwe kennis en inzichten worden beperkt ontsloten en vrijwel niet uitgedragen naar de toepassers of doorvertaald naar de opleiding. Om de veiligheid te bevorderen dient de overheid in de eerste plaats overeenstemming te bereiken met de branche over de meest relevante risicobronnen. Vervolgens kan zij de branche stimuleren tot of actief betrekken bij het definiëren en implementeren van maatregelen die de arbeidsveiligheid bevorderen.

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

In 2002 bracht de Minister van VROM een advies uit aan het bevoegd gezag over de aan te houden veiligheidsafstanden tot het publiek bij het toepassen van professioneel vuurwerk. Deze afstanden zijn gebaseerd op het scenario waarbij een afgevuurde mortierbom pas ontploft op het ogenblik dat ze op de grond terecht komt. In de praktijk kan het echter ook voorkomen dat de mortierbom in de buis explodeert en eventueel andere mortierbuizen ontwricht. Hierdoor zouden de overige bommen in de richting van het publiek kunnen worden geschoten. Niet alleen voor het publiek levert dit extra gevaar op, maar ook voor de toepassers ter plaatse. De kans op zo'n incident is mede afhankelijk van de werkwijze van de toepasser en van de gebruikte materialen. Externe veiligheid voor het publiek en interne veiligheid en arbeidsveiligheid zijn dus aan elkaar gerelateerd.

Deze constatering en de waarneming dat toepassers uiteenlopende werkwijzen en materialen hanteren, vormde voor de Arbeidsinspectie aanleiding om het Centrum voor Externe Veiligheid (CEV) van het RIVM vragen te stellen over een aantal specifieke veiligheidsaspecten bij het toepassen van vuurwerk. Het gaat daarbij om de veiligheid van toepassers met een certificaat van vakbekwaamheid 'Groot Vuurwerk', die shows met professioneel vuurwerk in de buitenlucht mogen afsteken. CEV heeft in een inventariserend vooronderzoek bekeken of informatie over de voorgelegde onderwerpen beschikbaar was. Op basis daarvan is een voorstel gedaan voor onderzoek ter beantwoording van de vragen. Het voorliggende rapport bevat de resultaten van dit onderzoek.

1.2 Vraagstelling en werkwijze

De vragen van de Arbeidsinspectie hebben betrekking op de gebruikte materialen en werkwijzen. De vragen over de gebruikte materialen betreffen de veiligheid van:

- mortierbuizen;
- mortierstellages;
- verbindingsmaterialen;
- ontsteekkasten en elektrische ontstekers;
- vonkvrij gereedschap.

De vragen over de werkwijzen betreffen:

- handmatig en elektrisch afsteken;
- doorlonten;
- het bij elkaar plaatsen van diverse artikelen;
- het te strak vastzetten van artikelen;
- weigeraars en blindgangers.

Hieraan heeft RIVM tijdens het onderzoek nog twee aandachtspunten toegevoegd die niet door de vragen van de Arbeidsinspectie werden gedekt. Deze zijn het herladen van vuurwerk en het afsteken van vuurwerk vanaf beperkte ruimten zoals pontons. Het herladen van vuurwerk is verboden volgens de IPO-standaardvoorschriften bij een ontbrandingstoestemming van april 2004 (hierna: de standaardvoorschriften). In de literatuur werden gegevens gevonden die dit voorschrift in perspectief plaatsen.

De vraag over het bij elkaar zetten van artikelen zal worden behandeld bij de veiligheidsaspecten van mortierstellages.

Uit het vooronderzoek kwamen drie punten naar voren die de accenten in het eigenlijke onderzoek hebben bepaald. Ten eerste bleek dat zich in het verleden een aantal ongevallen met (dodelijke) slachtoffers onder toepassers heeft voorgedaan tijdens de opbouw en de uitvoering van vuurwerkshows. Daarnaast kwam naar voren dat in het buitenland de arbeidsveiligheid bij het tot ontbranding brengen van professioneel vuurwerk veelal expliciet gereguleerd is. In Nederland is dit niet het geval. Een aantal van de onderwerpen waarover de Arbeidsinspectie vragen heeft gesteld, komt in deze regelgeving aan de orde. Ook bleek dat de externe veiligheid bij vuurwerkshows mede afhankelijk is van de arbeidsveiligheid, zodat verbetering van de arbeidsveiligheid tevens leidt tot een positieve bijdrage aan de externe veiligheid.

De eerste stap in het onderzoek bestond uit de inventarisatie en het bestuderen van buitenlandse regelgeving. In de literatuur is tevens een analyse gemaakt van een aantal incidenten dat heeft geleid tot ernstig letsel of zelfs dodelijke slachtoffers. Daarnaast zijn incidentgegevens aangevraagd bij de Occupational Safety & Health Administration van het U.S. Department of Labor, en heeft het Landelijk Meld- en Informatiepunt Vuurwerk (LMIP) gegevens beschikbaar gesteld over geconstateerde bijzonderheden bij het toepassen van vuurwerk. Daarnaast zijn diverse publicaties bestudeerd over onderzoek aan bijvoorbeeld de risico's van het gebruik van bepaalde mortierbuizen, de wijze van afsteken en de condities waaronder mortierbuizen in stellages zouden moeten worden toegepast.

Aanvullend zijn twee vuurwerkevenementen bezocht en heeft een discussiebijeenkomst met handhavers en een bijeenkomst met toepassers plaatsgevonden. Het doel van die discussiebijeenkomsten was het verkrijgen van een goed beeld van de praktijk van het toepassen in relatie tot de arbeidsveiligheid, en van de visie van de twee groepen op maatregelen die de arbeidsveiligheid kunnen bevorderen.

Het onderzoek is op verzoek van de Arbeidsinspectie expliciet beperkt tot risico's met korte termijn effecten voor de toepasser. Schade als gevolg van blootstelling aan hoge geluidsniveaus en aan gevaarlijke stoffen en dampen zijn uitgesloten van het onderzoek.

1.3 Leeswijzer

De uitkomsten van het onderzoek zijn vastgelegd in voorliggend rapport. Het eerstvolgende hoofdstuk behandelt een aantal karakteristieke incidenten ter illustratie van de risico's tijdens het toepassen van vuurwerk. In het derde hoofdstuk wordt kort ingegaan op wat ter voorkoming van dergelijke incidenten in regelgeving in Nederland en het buitenland is vastgelegd. In de daaropvolgende twee hoofdstukken komen de onderzoeksvragen aan de orde. Daarbij worden relevante delen uit de literatuur en uit de bestudeerde buitenlandse regelgeving behandeld. Hoofdstuk 6 geeft vervolgens een beeld van het toepassen in Nederland: welke veiligheidsmaatregelen worden getroffen, hoe is het veiligheidsbesef en welke werkwijzen worden toegepast. De twee afsluitende hoofdstukken bestaan uit een discussie van de bevindingen en de conclusies van het uitgevoerde onderzoek.

2. Incidenten

Incidenten met groot vuurwerk, al dan niet met negatieve gevolgen voor de gezondheid van de betrokken toepassers, komen in binnen- en buitenland helaas met enige regelmaat voor. Dat blijkt onder andere uit diverse publicaties, zowel in de literatuur als op internet. Dit hoofdstuk geeft een korte beschrijving van een aantal karakteristieke incidenten die in de literatuur en op internet zijn gevonden en die relevant kunnen zijn voor het vaststellen van arbeidsveiligheidsrisico's voor toepassers. Het belangrijkste criterium voor het opnemen van de incidenten in dit hoofdstuk was dat het betrokken vuurwerkartikel min of meer gespecificeerd is. Incidenten die hebben plaatsgevonden bij verlading en op of rond het afsteken van vuurwerk op pontons worden apart behandeld.

2.1 Incidenten gegroepeerd per vuurwerkartikel

2.1.1 Mortierbommen

De Health and Safety Executive in Groot-Brittannië rapporteert een incident met een 8 inch mortierbom in een stalen buis die was gemonteerd in een stalen rek [1]. Door ontploffing van de bom in de mortierbuis trad scherfwerking op met een aanzienlijk bereik. Hierdoor werden zes personen verwond, waaronder de toepasser die als gevolg hiervan zijn been verloor. Technisch onderzoek naar de oorzaak wees uit dat de drijf- en effectlading tegelijkertijd tot ontsteking waren gekomen. Het vertragingslont tussen beide had dus niet gewerkt.

Bij een door Weeth niet nader genoemde vuurwerkshow in de Verenigde Staten ontplofte een 6 inch bom in een HDPE-mortierbuis die onderdeel uitmaakte van een rek met vier mortierbuizen van gelijke kalibers [2]. Als gevolg daarvan werd de mortierbuis vernield, brak het rek kapot en werden twee mortierbuizen ernaast beschadigd. Alledrie de overige mortieren vielen op de grond. Eén bom in de mortierbuis naast de ontploffende mortierbom kwam tot ontsteking. De mortierbuis werd ruim 9 meter ver weggeschoten en de bom zelf ruim 30 meter, waarna die alsnog tot ontploffing kwam. De oorzaak van dit incident is helaas niet in het artikel van Weeth beschreven.

Een ongewoon voorval met een mortierbom in Duitsland in 1997 had geen nadelige gevolgen voor de toepasser, maar wel voor de toeschouwers [3]. Een weigeraar (8 inch mortierbom van Japanse makelij) explodeerde op de grond tussen het publiek. Hierdoor raakten enkele toeschouwers gewond. Onderzoek naar de oorzaak van het niet op hoogte functioneren van de bom wees uit dat er sprake was geweest van een fabricagefout. Het vertragingslont tussen drijf- en effectlading was niet bedekt met zwart buskruit, maar met inert materiaal. Daardoor kon het vertragingslont de effectlading niet tijdig tot ontsteking brengen. Naar aanleiding van dit incident werden de veiligheidsafstanden tot het publiek aangepast.

De database van de Amerikaanse Occupational Safety & Health Administration (OSHA) maakt melding van twee incidenten met mortierbommen [4, 5]. Bij het ene incident waren twee werknemers betrokken. Een houten rek met 12 PVC-mortierbuizen werd gevuld met 5 inch bommen. Eén werknemer stond over het rek gebogen en gebruikte een nietmachine om het snellont aan de bovenkant van het rek te bevestigen toen één van de mortierbommen werd afgevuurd. Hij werd daarbij dodelijk in het gezicht getroffen. De tweede werknemer stond rechts van hem en liep enkele lichte brandwonden op.

Bij het andere incident vielen één dode en drie gewonden nadat een mortierbom laag bij de grond tot ontploffing kwam (een zogenaamde low break).

In Winchester, Virginia, zijn, waarschijnlijk als gevolg van een ontploffing van een bom in zijn mortier, 20 bommen met een kaliber van 5 en 6 inch ontstoken. Mortierrekken werden vernield en de bommen werden in allerlei richtingen weggeschoten. Daarbij raakten twee toepassers en drie toeschouwers gewond [6].

In Minneapolis werd een jongen die een toepasser hielp, gedood door een 3 inch mortierbom. Volgens de autoriteiten zou hij in de mortierbuis hebben gekeken toen er tijdens de show iets mis ging [7].

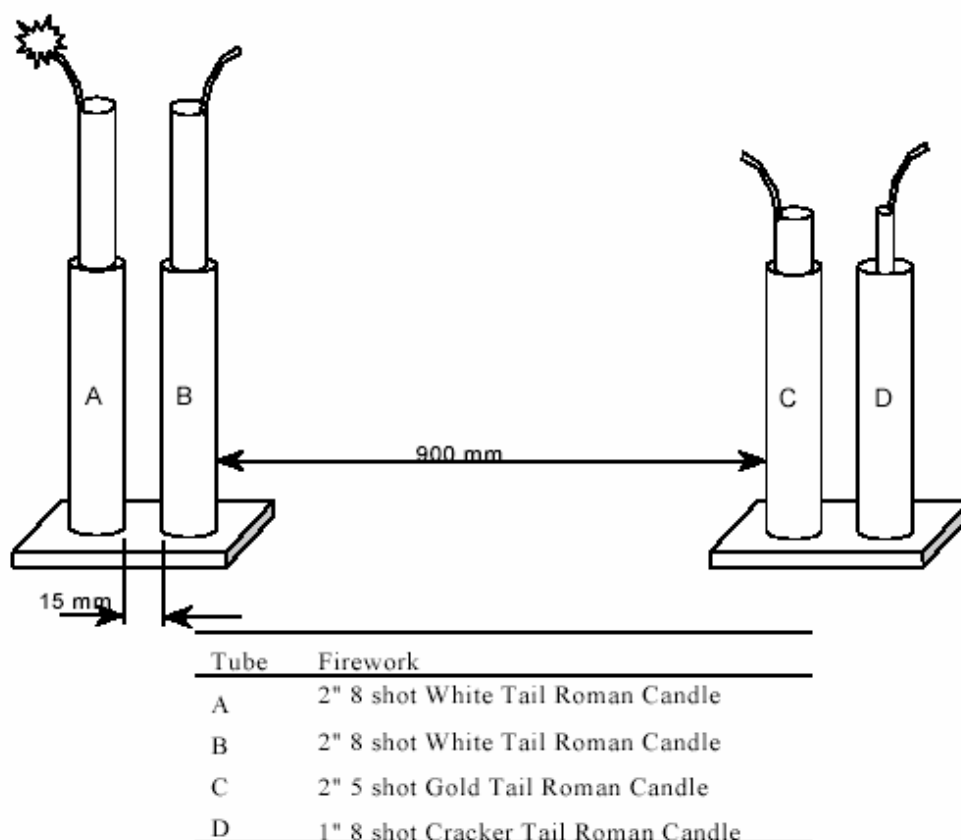
2.1.2 Romeinse kaarsen

Er zijn drie incidenten met Romeinse kaarsen beschreven waarbij slachtoffers vielen. Deze drie gevallen deden zich alle voor in Queensland, Australië, namelijk in Yeppoon (1999), Mount Isa (1999) en in Brisbane (2000) [8-10]. Zij vormden de directe aanleiding voor de overheid om nieuwe richtlijnen voor vuurwerkshows op te stellen. Het gaat om de inmiddels verschenen Queensland Code of Practice, die later in dit rapport aan de orde komt.

In Yeppoon explodeerde een Romeinse kaars (2 inch) in een rek waardoor een andere Romeinse kaars kantelde en in de richting van het publiek afgevuurd werd. Bovendien voerde de wind brandende delen mee in de richting van het publiek. In totaal waren er twee lichtgewonden en één persoon met brandwonden op benen en buik die in totaal 16% van het lichaam besloegen.

In Mount Isa ontplofte de middelste van drie Romeinse kaarsen (2 inch) waardoor de andere twee eveneens explodeerden. Ongeveer vier tot vijf van de acht schoten waren al uit de kaarsen afgevuurd. De overige werden weggeschoten in onder andere de richting van het publiek. Hierbij raakte één toeschouwer gewond.

Het incident in Brisbane is het meest ernstige van de drie als het gaat om het aantal slachtoffers en de ernst van het letsel. In totaal waren er zeven ernstig gewonden en viel er één dode. Bij de vuurwerkshow werden onder andere Romeinse kaarsen toegepast. Vier daarvan (2 inch) waren in twee maal twee metalen houders geplaatst (zie Figuur 1). De houders waren 500 mm lang, hadden een buitendiameter van 76 mm en een wanddikte van 3,6 mm en waren aan de bodemplaat gelast. Volgens het onderzoeksrapport was de passing van de kaarsen in de houder een 'close fit'.



Figuur 1: Schematische weergave van de opzet van de vier Romeinse kaarsen bij het incident in Brisbane [8].

De toepasser had de Romeinse kaars in houder B aangestoken, waarna het eerste schot normaal functioneerde en gelanceerd werd. Drie seconden later vond er een explosie plaats. Die leidde er toe dat de zeven overblijvende schoten in houder A en hun drijfvlading tegelijkertijd explodeerden. De fragmenten van die houder en de schokgolf veroorzaakten een explosie van de gehele Romeinse kaars in houder B. Als gevolg daarvan explodeerde de kaars in houder C, waarna houder D werd omgebogen. Houders A, B en C fragmenteerden dus alledrie.

Na afloop werden in totaal 42 staalfragmenten gevonden tot op een afstand van 175 meter. Onderzoek naar de oorzaak van het incident wees uit dat het flitspoeder te poreus en permeabel was. Daardoor verliep de verbranding ervan niet met een gecontroleerde snelheid, maar nam de brandsnelheid steeds meer toe waardoor er uiteindelijk een explosie ontstond. De mate van opsluiting van de Romeinse kaars in de stalen houder leverde daarbij een grote bijdrage aan de ernst van de gevolgen van de explosies.

2.1.3 Cakeboxen en flowerbeds

In Akron raakten in 2003 vier personen gewond toen tijdens de finale van een vuurwerkshow de bodem van één van de cakeboxen er uitvloog. Daardoor kantelde de cakebox en werden schoten afgevuurd in verschillende richtingen, onder andere in de richting van het publiek [11].

Tijdens een vuurwerkshow in 1999 op het Smakkelaarsveld in Utrecht viel een niet-verankerd flowerbed om en werden daaruit schoten in de richting van het publiek afgevuurd. Een niet-geregistreerde toepasser stak dit vuurwerk af zonder toezicht. Bovendien zou het

publiek niet op veilige afstand hebben gestaan. Bij het incident raakten in totaal vijf mensen gewond, waarvan twee ernstig [12, 13].

2.1.4 Vuurpijlen

In Panama vond in 2003 een incident met vuurpijlen plaats tijdens een sportevenement. Daarbij stonden zes lanceerbuizen met vuurpijlen naast elkaar. Eén van de vuurpijlen explodeerde in de buis en ontzette daarbij de andere lanceerbuizen met vuurpijlen. Hierdoor werden die in verschillende richtingen weggeschoten en viel er één gewonde [14].

2.2 Incidenten bij het afsteken op pontons

Het afsteken van vuurwerk op pontons kan extra risico's voor toepassers met zich meebrengen omdat de ruimte waarbinnen gewerkt kan worden, beperkt is en ook de vluchtmogelijkheden beperkt zijn. Er zijn ook andere afsteekplaatsen denkbaar waarbij dit het geval is, bijvoorbeeld op gebouwen, steigers en vaartuigen. Afstand nemen om de veiligheid te waarborgen is in die situatie doorgaans geen optie, zodat andere maatregelen moeten worden getroffen om een zelfde beschermingsniveau te kunnen bieden.

Er is uit de literatuur en uit informatie van het internet een aantal incidenten bekend die plaatsvonden op pontons. Het meest uitgebreid besproken in de literatuur is een incident dat plaatsvond in Alton, Illinois in de Verenigde Staten. Tijdens de discussiebijeenkomst met de handhavers is aangegeven dat zich in Yokohama, Japan, een vergelijkbaar incident heeft voorgedaan.

Bij het incident in Illinois was er sprake van twee stalen pontons voor een sleepboot, één voor het vuurwerk en één als een buffer tussen het vuurwerk en de sleepboot. De pontons werden normaal gesproken gebruikt voor het vervoer van opgebaggerd zand. De pontons waren 9,75 meter breed en 39,62 meter lang.

De show die plaatsvond op 3 juli 1997 bestond uit mortierbommen met kalibers uiteenlopend van 3 tot 10 inch en finalerekken met mortierbommen van 2 en 2,5 inch. De mortierbuizen waren vervaardigd van karton, FRP en HDPE en staal voor de kalibers 8 en 10 inch. De 3, 5 en 6 inch mortierbuizen waren in eenvoudige houten mortierrekken geplaatst en de 8 en 10 inch mortierbuizen in HDPE-vaten gevuld met zand. Verder stond er nog een aantal dozen met mortierbommen die niet waren afgedekt.

Gedurende de show kwam één van de 8 inch bommen slechts tot een hoogte van ongeveer 3 meter en ontplofte bij landing op het ponton, dichtbij twee toepassers. Als gevolg hiervan kwamen de bommen in de eerder genoemde dozen tot ontsteking. Ook sommige bommen in de rekken werden afgevuurd, en andere mortierbuizen vielen om. Dit alles resulteerde in het afvuren van de finalebommen en het verspreiden van bommen over het ponton.

Uiteindelijk zijn drie van de vijf toepassers overleden. Eén in de vuurzee die ontstond en twee zijn verdronken nadat zij overboord waren gesprongen. Zij droegen geen reddingvesten. De overige twee waren lichtgewond. Ook zij waren overboord gesprongen, maar gered door hulpdiensten. De oorzaak van het incident is niet in de onderzochte bronnen vermeld [15, 16]. De staat Illinois stelt geen eisen aan toepassers betreffende hun vakbekwaamheid. De regels zijn vooral gericht op het vervaardigen en opslaan van vuurwerk en de verkoop en het in bezit hebben ervan. Lokale autoriteiten kunnen een vergunning voor een vuurwerkshow afgeven [17].

Daarnaast zijn incidenten beschreven die hebben plaatsgevonden op pontons in Falmouth en Lake Chelan [17, 18]. In Falmouth vond een explosie plaats op het ponton, in Lake Chelan ontplofte een mortierbom in een metalen mortierbuis en veroorzaakte daarbij vijf gewonden, waarvan één ernstig.

2.3 Incidenten tijdens verlading

In Bonita Springs, Florida kwamen bij de voorbereiding van een vuurwerkshow in 2003 vijf toepassers om. Een calamiteit bij het uit de vrachtwagen laden van vuurwerk naar een kleinere vrachtwagen was hiervan de oorzaak. Er vond een krachtige explosie plaats [19, 20].

In 1998 kwamen in New Orleans twee werknemers om tijdens de verlading van vuurwerk van een vrachtwagen naar een ponton in voorbereiding op een evenement voor de jaarwisseling. Bij het incident zouden meer dan 200 bommen en enkele honderden kilogrammen explosieven betrokken zijn geweest [21].

2.4 Ongewone voorvallen uit LMIP-database

Het LMIP is ondergebracht bij de VROM Inspectie en functioneert ten behoeve van overheden die handhaving van wet- en regelgeving op het gebied van onder andere milieu, arbeidsveiligheid en transport in hun taken- en bevoegdhedenpakket hebben. Bij het meldpunt wordt volgens een informatieprotocol een integraal overzicht van de gehele vuurwerkketen geboden.

Bij het LMIP worden ook bijzonderheden die zich voordoen bij het opbouwen, afsteken en opruimen van vuurwerkshows geregistreerd. Dit gebeurt op basis van rapporten van handhavers en toezichthouders van de provincie, de Arbeidsinspectie en de VROM Inspectie. In het door het LMIP aangeleverde bestand zijn ruim 700 records opgenomen. Een kleine twintig daarvan betreffen ongewone voorvallen met vuurwerk. De informatie in de records is echter summier. Bovendien zijn de omstandigheden waaronder de gemelde bijzonderheden zich hebben voorgedaan veelal niet aangegeven.

2.5 Conclusies

De hierboven besproken incidenten geven de aard van de risico's aan die de toepasser tijdens zijn werkzaamheden loopt. Het vuurwerkartikel zelf vormt in eerste instantie een mogelijke bron van gevaar door bijvoorbeeld fabricagefouten, maar de omstandigheden bepalen ook in belangrijke mate de nadelige effecten voor de toepasser: is hij op voldoende afstand werkzaam om nadelige gevolgen te ondervinden en zo niet, welke afscherpende maatregelen zijn dan getroffen. Per incident zijn eenvoudige maatregelen aan te geven die een nadelige afloop hadden kunnen voorkómen.

In de komende twee hoofdstukken zal worden ingegaan op de wijze waarop gebruikte materialen en toegepaste werkwijzen van invloed kunnen zijn op de veiligheid van de toepasser en welke passende veiligheidsmaatregelen kunnen worden getroffen.

3. Regelgeving

Zowel in Nederland als in het buitenland zijn regels opgesteld die beogen de arbeidsveiligheid voor toepassers zoveel mogelijk te waarborgen. De wijze waarop dit is geregeld, loopt nogal uiteen. Zo zijn in het buitenland vaak specifieke eisen geformuleerd ten aanzien van gebruikte materialen en werkwijzen, terwijl de eisen in Nederland zich richten op de kennis die de toepasser in huis moet hebben. In dit hoofdstuk zal de strekking van de Nederlandse en de buitenlandse regelgeving worden toegelicht.

3.1 In Nederland

De vuurwerkcramp in Enschede vormde de aanleiding tot het opstellen van het Vuurwerkbesluit. Het besluit trad op 1 maart 2002 in werking en daarmee veranderden de regels voor het opslaan en afsteken van zowel consumentenvuurwerk als professioneel vuurwerk aanzienlijk. Tegelijkertijd werden de Arbeidsomstandighedenregeling en het Arbeidsomstandighedenbesluit gewijzigd. Daarin wordt wettelijk voorgeschreven dat het uitvoeren van werkzaamheden met professioneel vuurwerk moet plaatsvinden onder toezicht van of door een gecertificeerde vuurwerkdeskundige. Onder die werkzaamheden vallen het tot ontbranding brengen, ten behoeve daarvan ter plaatse opbouwen, installeren, monteren, assembleren en na ontbranding verwijderen, evenals het bewerken, verwerken, verpakken, herverpakken, voormonteren, monteren en assembleren van professioneel vuurwerk in een inrichting als bedoeld in artikel 3.2.1 Vuurwerkbesluit¹.

Er zijn twee verschillende certificaten van vakbekwaamheid: één voor het toepassingsgebied ‘groot vuurwerk’ (GV) en één voor het toepassingsgebied ‘pyrotechnische speciale effecten’ (PSE). Groot vuurwerk beslaat hier professioneel vuurwerk dat bestemd is voor gebruik *buiten* tijdens een evenement of voorstelling. Pyrotechnische speciale effecten omvatten professioneel vuurwerk dat bestemd is voor gebruik tijdens een evenement of voorstelling met geringe publieksafstanden. Bovendien heeft de fabrikant en/of importeur aangegeven dat dit vuurwerk daarvoor geschikt is. Zowel de certificaten GV als PSE bevatten het deelgebied intern transport, opslag, verpakken en herverpakken van professioneel vuurwerk. In Nederland bedroeg het aantal houders van een certificaat van vakbekwaamheid GV dan wel PSE eind 2004 respectievelijk 105 en 45.

Aan de certificatie-eisen is een opleiding gekoppeld aan een door het KIWA erkend opleidingsinstituut. De eindtermen daarvoor zijn vastgelegd in de Arbeidsomstandighedenregeling en omvatten eisen ten aanzien van de kennis over:

- wetgeving;
- pyrotechniek algemeen;
- veiligheid en gezondheid;
- materiaalkennis;
- werken met groot vuurwerk.

De opleiding is opgebouwd uit een theoretisch deel en een praktisch deel waarin werkervaring onder toezicht van een certificaathouder wordt opgedaan. Het theoretische deel wordt afgesloten met een examen. Na het behalen van het diploma kan een certificaat van vakbekwaamheid bij het KIWA worden aangevraagd.

¹ Definitie opgenomen in het document Certificatie-eisen Vuurwerkdeskundige versie 1 van het KIWA (voorheen in Arbeidsomstandighedenregeling, bijlage VA, behorend bij artikel 4.17b, eerste lid, onder a; zie Staatscourant nr. 232, pag 13).

De eindtermen van de opleiding kenmerken zich door doelvoorschriften waarin is aangegeven op welke onderdelen kennis dan wel grondige kennis vereist is. Deze eindtermen zijn samengevat in bijlage 1. Onder ‘kennis’ wordt verstaan informatie waarvan de deskundige op de hoogte dient te zijn, en waarvan de deskundige dient te weten dat deze van belang is voor het werken met professioneel vuurwerk. ‘Grondige kennis’ is in dit geval parate kennis die nodig is om veilig met professioneel vuurwerk te kunnen werken (feitenkennis), alsmede inzicht om deze kennis toe te kunnen passen in alle voorkomende situaties, zowel bekende als nieuwe en onbekende situaties.

Voorafgaand aan een vuurwerkshow dient de certificaathouder een aanvraag voor een ontbrandingstoestemming in bij de provincie waar hij het vuurwerk wil gaan afsteken. Daarbij dient een werkplan te worden overlegd. In het werkplan zijn niet alleen alle externe veiligheidsaspecten van het evenement opgenomen, maar moeten volgens de Arbeidsomstandighedenregeling ook de uit te voeren werkzaamheden, de daaraan verbonden gevaren en de wijze waarop deze gevaren zoveel mogelijk voorkómen of beperkt zullen worden deugdelijk beschreven zijn. Alle werkzaamheden en activiteiten tijdens en rondom een vuurwerkshow dienen volgens dit werkplan plaats te vinden. Toezicht en handhaving hierop kunnen plaatsvinden door onder andere de VROM Inspectie, het bevoegd gezag (zijnde de provincie) en door de Arbeidsinspectie. Voor zover arbeidsveiligheidsmaatregelen niet zijn opgenomen in voorschriften bij de ontbrandingstoestemming, wordt er dus een beroep gedaan op de kennis en kunde van de toepasser.

3.2 In het buitenland

Voor dit onderzoek zijn richtlijnen uit in totaal vier landen bestudeerd, namelijk die uit Duitsland, Groot-Brittannië, Australië en de Verenigde Staten. De titels van deze richtlijnen luiden respectievelijk:

- Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit [22];
- ‘Giving your own firework display. How to run and fire it safely’ [23], en ‘Working together on firework displays. A guide to safety for firework display organizers and operators’ [24];
- Queensland Code of Practice – Control of Outdoor Fireworks Displays, hierna: QCoP [25];
- NFPA 1123 Code for Fireworks Display 2000 Edition [26].

In Groot-Brittannië is het toegestaan dat particulieren vuurwerk voor een publiek afsteken. Daarbij wordt door de overheid geadviseerd alleen vuurwerk uit de British Standard en CEN-categorieën 1 tot en met 3 toe te passen. Vuurwerk uit categorie 4 is alleen bedoeld voor professionele vuurwerkshows en daarvoor is dan ook de tweede richtlijn geschreven. Vuurwerk uit deze categorie is ook niet beschikbaar voor het algemene publiek. De eerste richtlijn heeft dus geen betrekking op toepassers die beroepsmatig vuurwerk afsteken. Daarom werd voor dit rapport alleen de tweede richtlijn bestudeerd.

3.2.1 Opleidingseisen

Duitsland kent een breed scala aan regels op het gebied van het werken met en het opslaan en vervoeren van ontplofbare stoffen, waaronder vuurwerk. Een groot deel daarvan is vastgelegd in het zogenaamde Sprengstoffgesetz. Volgens deze wet is toestemming vereist om met ontplofbare stoffen zoals vuurwerk te mogen werken en moet de houder van deze toestemming in het bezit zijn van het toepasselijke certificaat van vakbekwaamheid.

Ook in de Verenigde Staten is een opleiding met een certificaat van wetslagen voor deze opleiding vereist. In Groot-Brittannië is een dergelijk certificaat niet vereist, maar gaat men uit van een ‘competente toepasser’. Die moet voldoende kennis, ervaring en opleiding hebben om een show op te bouwen, te ontsteken en na afloop af te bouwen en wel op zodanige wijze dat gezondheid en veiligheid van de toepasser zelf, zijn medewerkers en anderen zijn gewaarborgd. Normaal gesproken kan de toepasser deze competentie bereiken door een combinatie van een theoretische en praktische opleiding.

In de Britse richtlijn is vastgelegd van welke onderwerpen de toepasser kennis en ervaring moet hebben en op welke punten hij training moet hebben gehad. Voor de theoretische opleiding wordt een indicatie gegeven van de onderwerpen die erin opgenomen moeten zijn. Verder is de richtlijn niet bindend, en mag een toepasser dus zelf invulling geven aan een aantal aspecten, zolang de veiligheid van zichzelf en zijn medewerkers maar gewaarborgd blijft. Voorafgaand aan elke show moet hij het bevoegd gezag voorzien van een analyse van de risico's waaraan hij en zijn medewerkers tijdens en rondom een show zullen worden blootgesteld. Ook de organisator van een show moet een risicoanalyse overleggen. Daarin is die van de toepasser opgenomen.

3.2.2 Gereguleerde veiligheidsaspecten

Voorafgaand aan elke show moet hij het bevoegd gezag voorzien van een analyse van de risico's waaraan hij en zijn medewerkers tijdens en rondom een show zullen worden blootgesteld. Ook de organisator van een show moet een risicoanalyse overleggen. Daarin is die van de toepasser opgenomen.

Voorafgaand aan elke show moet hij het bevoegd gezag voorzien van een analyse van de risico's waaraan hij en zijn medewerkers tijdens en rondom een show zullen worden blootgesteld. Ook de organisator van een show moet een risicoanalyse overleggen. Daarin is die van de toepasser opgenomen.

Voorafgaand aan elke show moet hij het bevoegd gezag voorzien van een analyse van de risico's waaraan hij en zijn medewerkers tijdens en rondom een show zullen worden blootgesteld. Ook de organisator van een show moet een risicoanalyse overleggen. Daarin is die van de toepasser opgenomen.

Voorafgaand aan elke show moet hij het bevoegd gezag voorzien van een analyse van de risico's waaraan hij en zijn medewerkers tijdens en rondom een show zullen worden blootgesteld. Ook de organisator van een show moet een risicoanalyse overleggen. Daarin is die van de toepasser opgenomen.

In Tabel 1 is aangegeven op welke vraaggebieden de onderzochte richtlijnen specifieke eisen stellen. Daaruit blijkt dat de Duitse, Australische en Amerikaanse richtlijnen dit doen voor vrijwel alle onderdelen, terwijl de Britse richtlijn bepaalde onderdelen niet behandelt. In de komende twee hoofdstukken zal ingegaan worden op de eisen uit de richtlijnen.

Tabel 1: Onderdelen waarvoor in de onderzochte buitenlandse regelgeving concrete eisen zijn opgenomen.

	BGR 222 + SprengVwV	UK Guide	NFPA	QCoP
Mortierbuizen	•	•	•	•
Mortierrekken	•	•	•	•
Verbindingsmaterialen	•		•	•
Ontwerpeisen en opzet ontsteekkasten	•		•	•
Gereedschap	•	•	•	•
Doorlonten	•		•	•
Handmatig/elektrisch afsteken	•		•	•
Herladen	•	•	•	•
Vastzetten van artikelen	•	•	•	•
Afsteken vanaf beperkte ruimte	•		•	•
Blindgangers en weigeraars	•	•	•	•

4. Veiligheidsaspecten gebruikte materialen

In dit hoofdstuk komen de vragen van de Arbeidsinspectie over de gebruikte materialen bij vuurwerkshows aan de orde. Daarbij wordt informatie uit de literatuur gebruikt en wordt telkens de buitenlandse regelgeving aangehaald.

4.1 Mortierbuizen

Mortierbommen worden in zowel binnen- en buitenland veelvuldig bij vuurwerkevenementen afgeschoten. De literatuur beschrijft uitgebreid de veiligheidsaspecten hiervan. Deze paragraaf behandelt de voor arbeidsveiligheid relevante aspecten. Dit zijn de gebruikte materialen voor de buizen, de mogelijke nadelige effecten ervan bij een onvoorziene gebeurtenis en de passing van bommen in mortierbuizen. Daarnaast komen testmethoden voor kwaliteitsborging van mortierbuizen aan de orde.

4.1.1 Materialen

Mortierbuizen kunnen van verschillende materialen zijn gemaakt en hebben in de bodem veelal een houten of kunststof plug zitten. De eigenschappen van het materiaal zijn van belang voor de arbeidsveiligheid. Belangrijke aandachtspunten daarbij zijn het vermogen van de buis om hoge drukken te weerstaan en de snelheid, massa en vorm van de fragmenten die bij het falen van de buis ontstaan [28]. Ontploft de mortierbom onderin de buis, dan zal vervorming dan wel breuk optreden afhankelijk van enerzijds de drukopbouw en anderzijds de elasticiteit van het materiaal [29].

De kans op het falen van de mortierbuis is groter in het geval van een knalbom dan in het geval van een bom met kleureffecten (sierbom). Een knalbom bevat namelijk doorgaans meer stoffen die voor een sterke drukopbouw kunnen zorgen. Wanneer een bom met kleureffecten in de buis tot ontsteking komt, treedt eerder een zogenaamde flowerpot op. Bij een flowerpot worden de effecten uit de buis omhoog gestuwd en blijft de buis op zich intact. Een dergelijk verschijnsel treedt ook op bij een zogenaamde muzzle break. Daarbij ontploft de bom juist als zij de mortierbuis verlaat. De effecten worden dan ter hoogte van de mortiermond met hoge snelheid in alle richtingen weggeschoten.

In de eerste plaats kan een ontploffing in de buis optreden als de bom verkeerd om is geladen, dus als de effectlading onder de drijfloading zit. Daarnaast kunnen een fabricagefout en de passing van de bom in de mortierbuis oorzaken van het ontploffen in de mortierbuis zijn. Bij teveel ruimte tussen de bom en de mortierbuis kan er onvoldoende drukopbouw plaatsvinden waardoor de bom de buis niet kan verlaten. Als de bom in de buis geklemd zit, kan er sprake zijn van een te hoge wrijvingsweerstand om de buis te kunnen verlaten. De plug kan er dan eventueel uit springen, maar als dat niet gebeurt, kan de bom uiteindelijk in de buis ontploffen.

Naast de lengte van de mortierbuis speelt ook de passing van de bom een belangrijke rol bij het bereiken van de juiste effecthoogte. Beide zijn van invloed op de kwaliteit van een show en de veiligheidsafstanden tot het publiek [30]. De invloed van de passing op de baan van de bom is daarom onder andere door Jones onderzocht [31]. Op basis daarvan doet hij aanbevelingen voor de ruimte die tussen bom en mortierbuis moet zitten. In de Duitse en Australische regelgeving is hiervoor een voorschrift opgenomen. Zo worden eisen gesteld aan de parameter Q bij het afschieten van mortierbommen:

$$Q = \frac{(\text{buitendiameter bom})^2}{(\text{binnendiameter mortier})^2}$$

Volgens de Duitse regelgeving moet Q bij kalibers groter dan 100 mm tussen 0,9 en 0,95 liggen, en bij kalibers kleiner dan of gelijk aan 100 mm tussen 0,85 en 0,95. Deze eis wordt echter niet gesteld vanuit het oogpunt van arbeidsveiligheid, maar dient om de stijghoogte van de bom te garanderen en zodoende de veiligheid van het publiek zoveel mogelijk te waarborgen. De externe veiligheid wordt hiermee dus geregeld, maar impliciet is daarmee de arbeidsveiligheid ook zoveel mogelijk gewaarborgd.

De QCoP bevat voorschriften van gelijke strekking. Het verschil tussen de binnendiameter van de mortierbuis en de buitendiameter van de bom mag niet minder dan 3 mm en niet meer dan 6 mm bedragen voor bommen met een kaliber kleiner dan 75 mm. Voor grotere bommen mag het verschil niet minder dan 3 mm en niet meer dan 13 mm bedragen [25].

De Duitse richtlijn stelt dat de lengte van de mortierbuis tenminste zes maal de binnendiameter van de buizen moet zijn en voor een optimale energieopbrengst gelijk aan acht maal de binnendiameter [32]. Ook de NFPA stelt eisen aan de lengte van mortierbuizen. Deze zijn in tabellen in bijlage 2 van dit rapport opgenomen.

Kosanke et al. constateerden dat muzzle breaks hoofdzakelijk optreden bij bommen met grotere diameters: waarschijnlijk doet ten minste 90% zich voor bij kalibers van 8 inch en groter. Kosanke et al. zochten een verklaring in het lekken van overdruk en in de dynamische eigenschappen van de voortstuwings van de bom. Deze zouden bepalend kunnen zijn voor het niet (voldoende) uit de mortierbuis kunnen komen van de bom. Ze achten verder onderzoek nodig om hardere conclusies te kunnen formuleren [33].

Het materiaal (en de constructie) van de mortierbuis spelen een rol bij het al dan niet falen ervan en de uiteindelijke effecten bij een ontploffing. Het is daarom van belang te weten welke materialen voor vervaardiging van de buis worden toegepast. De meest voorkomende zijn:

- Staal
De min of meer traditionele stalen mortierbuizen komen met en zonder gelaste naad voor. Een nadeel van stalen mortierbuizen is hun gewicht: opbouwen en opruimen van een vuurwerkshow met een groot aantal mortierbuizen vraagt extra inspanningen van toepassers. Daar staat tegenover dat stalen mortierbuizen duurzaam zijn. Falen van de mortierbuis kan scherfwerking tot gevolg hebben [29].
- Karton
Mortierbuizen van karton zijn uiteraard lichter en verscheuring ervan kan in veel mindere mate optreden, maar ze zijn minder duurzaam. Vooral bij vochtige weersomstandigheden kan (zelfs bij speciaal daarvoor behandelde buizen) de kwaliteit van het karton verminderen, wat het goed functioneren van de buis negatief beïnvloedt.
- PVC
Mortierbuizen van polyvinylchloride zijn waterbestendig en eveneens lichter dan staal. Hun mechanische sterkte is echter kleiner dan die van stalen buizen en daarom zijn zij ook minder duurzaam. De combinatie van gematigde mechanische sterkte en broosheid van het materiaal is nadelig in geval van een shell detonation. In veel gevallen zal de buis falen. Daarbij treedt fragmentatie op, waarbij de fragmenten doorgaans scherpe zijden hebben en puntig zijn. Wanneer deze fragmenten voldoende snelheid hebben, kunnen zij ernstige nadelige effecten op mensen en op andere mortierbuizen veroorzaken.

- HDPE
Een plastic dat een laag soortelijk gewicht heeft, duurzaam is en fragmentatie elimineert lijkt dus het meest geschikt voor een mortierbuis. Eén van die plastics is HDPE (hoge dichtheid polyethyleen), dat inmiddels door velen wordt aanbevolen voor gebruik bij vuurwerkshows [29, 34]. Het is een thermoplast, wat betekent dat het materiaal oprekt bij temperatuurstoename. De elasticiteit van HDPE is daarnaast groter dan die van PVC. Bovendien treedt bij onvoldoende elasticiteit in eerste instantie inelastisch oprekken op in plaats van falen. Daarom moet de juiste wanddikte worden gebruikt bij de verschillende kalibers mortierbommen. Als de buis van HDPE uiteindelijk faalt, treedt doorgaans geen scherfwerking op maar scheuren van het materiaal.
- Fiberglas
Dit materiaal komt voor in met fiber versterkt plastic (FRP) en met fiber versterkt epoxy (FRE). Beide worden voor het vervaardigen van mortierbuizen toegepast. Ook bij het gebruik van deze mortierbuizen kan een ontploffing van de bom zorgen voor de uitworp van fragmenten [28].
- Aluminium
Bij mortierbuizen die van aluminium zijn vervaardigd, zijn volgens Weeth dezelfde beschermende maatregelen gewenst als bij buizen van staal [2].

De Australische richtlijn verbiedt het gebruik van metalen mortierbuizen tenzij het gebruik ervan geen onacceptabel risico oplevert voor toepassers en publiek. Ook het gebruik van andere materialen die voor scherven kunnen zorgen (bijvoorbeeld PVC, keramisch materiaal, steen), is niet toegestaan. Ook de Duitse richtlijn verbiedt metaal voor mortierbuizen, behalve als metaal het enige materiaal is dat voldoende sterkte biedt om een bepaalde mortierbom af te vuren. De Amerikaanse richtlijn staat het gebruik van staal alleen toe als de mortierbuizen worden ingegraven. De Britse toepassers worden in de richtlijn op de gevaren van staal voor mortierbuizen en op de bijbehorende veiligheidsmaatregelen gewezen.

Zoals reeds in deze paragraaf is aangegeven, speelt de plug onderin de mortierbuis ook een rol in de veiligheid van deze afvuurconstructie. Volgens Contestabile et al. is de beste plug en de beste bevestiging ervan die waarbij zo min mogelijk scherfwerking kan optreden [35]. Dit kan door een materiaal te kiezen dat minimaal kan verscherven, maar ook door de mortierbuis op zich in te graven. Bevestiging van de plug aan de mortierbuis door middel van bijvoorbeeld schroeven kan extra risico's opleveren ten opzichte van bevestiging door middel van lichtere materialen. De plug moet dan wel stevig genoeg zijn gemonteerd in de mortier, anders kan zij op zich een projectiel vormen bij een ontploffing in de buis.

4.1.2 Nadelige effecten van voortijdige ontbranding van mortierbommen

In de literatuur over en rond pyrotechniek is redelijk veel aandacht besteed aan de nadelige effecten bij het ontploffen van de mortierbom in de buis. Een groot deel van het onderzoek richt zich op de wat meer traditionele stalen mortierbuizen, maar er is ook onderzoek verricht naar de nieuwere lichtgewicht mortiermaterialen zoals karton en HDPE. In deze paragraaf worden de resultaten van dit onderzoek beschreven, voor zover relevant voor de arbeidsveiligheid.

Onderzoek naar de nadelige effecten van het falen van stalen mortierbuizen heeft uitgewezen dat knalbommen voor fragmentatie van een stalen mortierbuis kunnen zorgen. Daarbij werden fragmenten met een massa tot 533 gram gevonden in alle richtingen voor zowel

buizen met als zonder naad. Het plaatsen van de mortierbuis met de naad van het publiek of de toepassers af [36, 37], blijkt op basis van deze resultaten dus niet zinvol. Tijdens het experiment werd 72% van de fragmenten in richtingen binnen 15° van de horizontaal en minder dan 10% onder een hoek groter dan 45° weggeschoten.

De mate van fragmentatie werd vooral bepaald door de wanddikte van de mortierbuizen. Het gemiddelde aantal fragmenten nam af met toenemende wanddikte. Bovendien was er een significante toename te zien in het aantal fragmenten met een relatief kleine massa (0-10 gram) naarmate de bom dichter bij de bodem van de buis explodeerde. Spiraal gewikkelde buizen leverden circa 33% meer fragmenten op dan vergelijkbare naadloze mortierbuizen [38].

Van een aantal fragmenten werd naast de massa ook de minimale beginsnelheid bepaald. Zowel de massa's als de snelheden liepen sterk uiteen: er werden massa's van 0,6 tot 408 gram gemeten met snelheden die varieerden tussen 19 en 512 m/s. Het bereik van de fragmenten nam aanzienlijk toe in geval van ricochet: twee ricochets zorgden voor een 1,3 keer zo groot bereik ten opzichte van fragmenten die niet hadden gericocheerd. Zodoende kon het bereik oplopen tot 297 meter voor bommen tot een kaliber van 6 inch. Contestabile vond bij ontploffingen van mortierbuizen van FRE, karton, plastic en staal fragmenten tot op afstanden van respectievelijk 30, 70, 70 en 120 meter [39].

Ricochet treedt in het bijzonder op als een fragment onvoldoende verticale snelheid heeft om in het oppervlak door te dringen. De kans op ricochet neemt daarom toe als het oppervlak hard is. Bij de beoordeling van de veiligheidsafstand van het vuurwerk tot toepassers en publiek is het dus raadzaam de aard van het oppervlak in acht te nemen [40].

Personen in de omgeving van een exploderende mortierbuis kunnen door rondvliegende delen met hoge energiedichtheid (inwendige) verwondingen oplopen. De drempelwaarde voor de energiedichtheden voor het doordringen van verschillende delen van het lichaam variëren van 0,06 J/mm² voor het oog, 0,1 J/mm² voor de huid tot 0,19 J/mm² voor bot. Deze drempelwaarden zijn gedefinieerd als de kinetische energie van het fragment dat doordringt, gedeeld door de effectieve oppervlakte ervan. De effectieve oppervlakte is de oppervlakte van de scherpe zijde van het fragment in de richting van de beweging. Een fragment van 40 gram met een scherpe zijde van 1,6 bij 0,1 mm (vergelijkbaar met het oppervlak van een scherpe zijde van een fragment van een stalen mortierbuis) hoeft dus slechts een snelheid van 0,9 m/s te hebben om in de huid door te kunnen dringen [40]. Zelfs na twee ricochets vond Myatt nog energiedichtheden van 1,88 tot 48,1 J/mm² [38].

Bij het ontploffen van een bom in haar mortierbuis treedt doorgaans ook een drukgolf op. De overdruk neemt daarbij, zoals te verwachten is, toe met het kaliber van de bom en kan oplopen tot een waarde van rond de 28 kPa op een afstand van 2 meter. Ook is die druk hoger bij knalbommen dan bij bommen met kleureffecten [39].

Dit alles geeft de noodzaak aan tot het treffen van beschermende maatregelen bij het gebruik van mortierbuizen, en vooral bij die van metaal. Deze maatregelen zullen in paragraaf 4.1.4 worden besproken.

4.1.3 Testen van mortierbuizen

Bij het afsteken van mortierbommen is het vanuit veiligheidsoverwegingen van belang dat de buis drukopbouw voldoende kan weerstaan en dat bij het falen van de buis scherfwerking en eventuele brokstukuitworp zoveel mogelijk beperkt blijft. De materiaalkeuze en de wanddikte van de buizen spelen daarbij een belangrijke rol. De NFPA beveelt voor vier verschillende materialen wanddikten aan die afhankelijk zijn van het kaliber en het soort mortierbom. Deze gegevens zijn opgenomen in bijlage 2.

Naast het aanhouden van de juiste wanddikten is kwaliteitscontrole van de buizen een methode om ervoor te zorgen dat de kans op falen zo klein mogelijk wordt gehouden. Eén van de manieren waarop kwaliteitscontrole kan plaatsvinden, is het bijhouden van het aantal keer dat een buis is gebruikt. Aan de hand van gegevens over de levensduur van de buis, de gebruiksfrequentie en de gebruiksomstandigheden kan een buis dan tijdig worden vervangen. Zo zijn voor HDPE-mortierbuizen gegevens beschikbaar over de invloed van het herhaald ontsteken van bommen op de mortier [41].

Een andere mogelijkheid om de kwaliteit van mortierbuizen te waarborgen is het gebruik van testprotocollen. Naar aanleiding van de nieuwe regelgeving in Australië heeft Fischer een protocol ontwikkeld om de duurzaamheid van een mortierbuis te testen [42]. Dit soort testen geeft een indicatie van de duur van de periode waarin de buis te gebruiken is. Het protocol heeft echter één beperking: de effecten van veroudering van het materiaal worden niet meegenomen.

Andere technieken die kunnen worden gebruikt voor het testen van mortierbuizen, zijn die waarin de volgende aspecten worden meegenomen [25]:

- de maximale massa van de drijfvladingen die zullen worden afgevuurd;
- het gedrag van de mortierbuis wanneer een ontploffing van de zwaarste te gebruiken mortierbom plaatsvindt;
- hoogte en drift van de mortierbommen.

De QCoP schrijft voor dat alle mortierbuizen vooraf gecontroleerd moeten worden op:

- zichtbare defecten (zoals bochten of krommingen, deuken, scheuren, beschadigde pluggen, bevestiging van de plug aan de mortierbuis en waterschade);
- de aanwezigheid van vreemde materialen; en
- mortierbommen die slechts gedeeltelijk tot ontbranding zijn gekomen.

Beschadigde of defecte mortierbuizen dienen vervolgens als zodanig te worden gemarkeerd en te worden afgevoerd en vernietigd.

4.1.4 Beschermende maatregelen

Beschermende maatregelen worden getroffen met het doel de nadelige effecten van de uitworp van scherven en brokstukken met hoge snelheid zoveel mogelijk te reduceren. Deze paragraaf beoogt een samenvatting te geven van de belangrijkste maatregelen die in de literatuur worden voorgesteld.

Bescherming kan plaatsvinden door het afschermen van de buizen. Dat kan door het aanbrengen van afscherming die in contact staat met de mortierbuizen, zoals het aanbrengen van zandzakken rondom de mortierbuis en het ingraven in de grond of in vaten gevuld met zand of aarde, en afscherming waarbij een beperkte vrije ruimte rondom de mortierbuis bestaat. Daarbij worden autobanden rondom voornamelijk spiraal gewonden stalen mortierbuizen geplaatst of de mortierbuizen worden in een leeg vat geplaatst. Het voordeel

van deze methode is dat de mortierbuis op zich kan expanderen, terwijl de verspreiding van schadelijke fragmenten begrensd blijft.

Myatt et al. hebben de effectiviteit van beide methoden onderzocht [38, 43]. Daaruit kwam naar voren dat direct contact het meest effectief was om het aantal verspreide fragmenten te beperken. Daarnaast nam de effectiviteit van de beschermende maatregelen toe als de mortierbuizen over hun gehele lengte werden beschermd. Deze resultaten pleiten dus voor afscherming die in contact staat met de mortierbuis én voor het aanbrengen van die afscherming over de gehele lengte van de mortierbuis.

De NFPA schrijft ingraven van stalen mortierbuizen in de grond of in een vat voor tot een diepte van tenminste 2/3 of 3/4 van de buislengte. Bij het plaatsen in een vat met zand dient de afstand tot de wand tenminste 2 inch of de helft van de diameter van de mortierbuizen te zijn. De grootste afstand van deze twee is daarbij bepalend. Wanneer de mortierbommen elektrisch worden afgestoken, is 2 inch voldoende. De Duitse richtlijn schrijft voor dat de buizen tot 2/3 van hun lengte moeten worden ingegraven, de Australische minimaal 3/4 van hun lengte.

Bij het ingraven van kartonnen mortierbuizen is het van belang dat zij niet vochtig kunnen worden. Het is daarom raadzaam daarbij waterdichte materialen om de buizen aan te brengen.

4.2 Mortierrekken

Mortierbuizen worden zowel in Nederland als daarbuiten veelal in bovengrondse mortierrekken geplaatst. Deze rekken zijn in veel gevallen van hout vervaardigd. Ze zijn daarom makkelijk te hanteren en op te slaan en bovendien makkelijk en relatief goedkoop zelf te maken en te onderhouden. Ze kunnen bedoeld zijn voor een enkele rij met mortierbuizen of voor meerdere rijen met buizen. In het eerste geval wordt een aantal rekken ten behoeve van de algehele stabiliteit bij elkaar geplaatst. Om ze bij elkaar te houden wordt gebruik gemaakt van bevestigingsmaterialen zoals spanbanden. Een voorbeeld van een combinatie van mortierrekken voor een enkele rij buizen is te zien in Figuur 2.



Figuur 2: Voorbeeld van een houten mortierrek samengesteld uit drie rekken met een enkele rij van vijf mortierbuizen.

Ook bij mortierrekken is een mogelijke ontploffing van een bom in een buis vanuit het oogpunt van arbeidsveiligheid en veiligheid van het publiek een aandachtspunt [44]. Dat kan

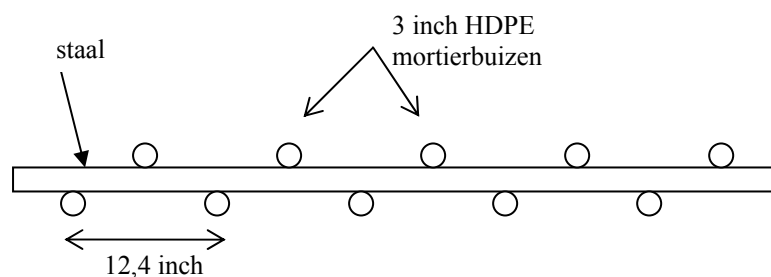
andere mortierbuizen ontwrichten waardoor vuurwerkartikelen in de richting van toepassers of publiek kunnen worden geschoten. Het kan ook andere mortierbuizen beschadigen en andere bommen tot ontsteking brengen, waardoor een kettingreactie optreedt. Daarom is het van belang dat mortierrekken:

1. constructief voldoende stevig zijn uitgevoerd en wel zodanig dat een ontploffing in één van de mortierbuizen de andere buizen niet kan ontwrichten, en
2. voldoende maatregelen zijn getroffen om een kettingreactie te voorkomen. Dit kan door het aanbrengen van afschermende voorzieningen, dan wel door het aanhouden van voldoende onderlinge afstand.

Een ontwerp van een mortierrek dat aan deze punten voldoet, moet echter wel praktisch werkbaar blijven.

In experimenten en bij onderzoek aan vuurwerkshows constateerde Weet dat de daarin gebruikte houten mortierrekken geen van alle bestand waren tegen de impact van een krachtige ontploffing van een bom in één van de mortierbuizen [45]. Volgens Williams zou een rek voldoende sterk moeten zijn om een ontploffing in een mortierbuis te weerstaan [44]. Williams noemt een houten rek als goed voorbeeld van een ontwerp dat niet ideaal is, omdat het niet voldoende sterk en robuust is. Een relatief kleine hoeveelheid flietspoeder (3-5 g) zou al voldoende zijn om houten planken te beschadigen. Bovendien zouden zijn testen hebben uitgewezen dat een 3 inch knalbom het gemiddelde houten finalerek met 50 mortierbuizen kan vernietigen, onafhankelijk van het materiaal van de mortierbuis of de plaats in de buis waar de bom ontploft.

Williams geeft daarom diverse ontwerpen voor zogenaamde finalerekken en voor rekken met enkelschotsbommen die wel intact blijven bij een ontploffing in de mortier. Kenmerkende eigenschap van deze rekken is het 'hekachtige' ontwerp (zie Figuur 3). Bij een ontploffing van een 3 inch cilindrische knalbom zou het staal alleen indeuken aan dezelfde zijde als de ontploffing. In ieder geval presteerden deze rekken volgens Williams beter dan houten rekken onder dezelfde condities.



Figuur 3: Bovenaanzicht van het 'hek-ontwerp' van Williams voor een finale [44].

Bij de matrixrekken die in Nederland ook vaak toegepast worden, is de afstand tussen mortierbuizen onderling relatief klein (25-76 mm volgens Williams). Hierdoor kan een ontploffing van één van de bommen in de mortierbuizen leiden tot een ontploffing in (één van) de omringende mortierbuizen of in ieder geval tot beschadiging van buizen, hetgeen kan leiden tot disfunctioneren van de bom. Williams stelt een methode voor om bij deze rekken ongewenste gebeurtenissen te voorkomen. Daarbij is een 6 inch mortierbuis rondom een 4 inch mortierbuis geplaatst. De lege ruimte daartussen is opgevuld met een op siliconen gebaseerd schuim. Het schuim is het cruciale onderdeel van het ontwerp, wat blijkt uit de verschillende testen die hij heeft uitgevoerd.

Deze buizen werden vergeleken met dubbelwandige mortierbuizen met tussen de wanden uitzettend isolatieschuim, dubbelwandige mortierbuizen zonder schuim en enkelwandige 6 inch HDPE-mortierbuizen, geplaatst in een matrixrek met negen posities. In de middelste mortierbuis werd telkens een 4 inch cilindrische knal bom halverwege de buis tot ontploffing gebracht.

De enkelwandige mortierbuizen liepen significante indeuking op die varieerde van 30 tot 80% reductie van de interne diameter. Enkele liepen zelfs 50 tot 76 mm lange scheuren op. De dubbelwandige mortierbuizen zonder vulmateriaal leverden iets betere resultaten: hiervan werd de interne diameter 20 tot 40% kleiner. In geen enkel geval was het nog mogelijk de binnenmortierbuis van de buitenmortierbuis te scheiden.

De met siliconenschuim gevulde mortierbuizen gaven betere resultaten. In twee testen was schade door de drukgolf niet direct visueel waarneembaar. Metingen wezen uit dat bij twee van de buitenmortierbuizen de diameter minder dan 2% kleiner geworden was. Bij de dubbelwandige mortierbuizen met isolatieschuim werd evenmin significante indeuking gevonden. Dit schuim bleek echter lastiger om mee te werken. Daarom geeft Williams de voorkeur aan het siliconenschuim.

Onderlinge afstand mortierbuizen in een rek

Het hekontwerp van Williams voor een finalerek is gebaseerd een combinatie van voldoende afstand tussen mortierbuizen en een deugdelijke constructie. Daarom schreef de NFPA in 1995 minimale afstanden voor tussen mortierbuizen onderling [46]. Later is bepaald dat maatregelen zijn toegestaan die een vergelijkbaar beschermingsniveau waarborgen [26]. Ook de Australische richtlijn stelt eisen aan de afstand tussen mortierbuizen (zie Tabel 2) en vereist dat de constructie van dusdanige kwaliteit is dat zij het falen van een mortierbuis kan weerstaan. Van deze afstanden mag worden afgeweken als wordt aangetoond dat een ontploffende mortierbom geen beschadiging of repositionering van de naburige mortierbuis veroorzaakt. Mortierbuizen voor het afvuren van knal bommen moeten individueel ondersteund zijn en minimaal tien maal de interne diameter van andere mortierbuizen verwijderd zijn.

Tabel 2: Aan te houden afstanden tussen mortierbuizen volgens de QCoP.

binnendiameter mortier, ID [mm]	minimale afstand tussen mortierbuizen
ID ≤ 100	geen
100 < ID ≤ 150	0,25 x binnendiameter grootste mortier
150 < ID ≤ 225	0,5 x binnendiameter grootste mortier
225 < ID ≤ 300	2,0 x binnendiameter grootste mortier
300 < ID	zowel beschermende maatregelen als afstand vereist

Maximum aantal mortierbuizen per rek

Het aantal mortierbuizen per rek is volgens de Australische richtlijn gebonden aan een maximum dat afhankelijk is van het kaliber van de mortierbuizen (zie Tabel 3). De achtergrond van deze getallen is het beperken van de nadelige effecten bij een ongewoon voorval in één van de mortierbuizen. De NFPA geeft ook een maximum aantal per rek, maar dat geldt alleen wanneer er doorgelont wordt. Deze cijfers komen dan ook in de paragraaf over doorlonten aan bod (paragraaf 5.1). In Australië mag zelfs maar één knal bom per rek worden geïnstalleerd.

Tabel 3: Maximum aantal mortierbuizen per (samengesteld) rek volgens Australische richtlijn.

QCoP	
Kaliber	Maximum aantal
2	16
2,5-4	12
5-6	5
>6	1

Stabiliteit

Rekken moeten voldoende stabiel zijn opgesteld. Het kantelen van rekken kan immers zowel voor toepassers als voor publiek risico's opleveren omdat bommen dan in hun richting kunnen worden afgeschoten. Een voorbeeld van een rek waarvan de stabiliteit bij afvuren in het geding kan komen, is te zien in Figuur 4.

De wijze van doorlonten is mede bepalend voor de risico's van (in)stabiliteit van een rek. Bij het toepassen van vertragingslont worden de vuurwerkartikelen één voor één afgevuurd. Wanneer het rek tijdens het afvuren gaat kantelen, kunnen er artikelen in de richting van toepassers of publiek worden weggeschoten. Als snellont is gebruikt, zullen alle vuurwerkartikelen vrijwel gelijktijdig afgevuurd worden. In beide gevallen is het van belang dat het rek stabiel staat opgesteld, maar de kans op kantelen is waarschijnlijk groter bij het één voor één afvuren dan bij het vrijwel gelijktijdig afvuren.

Het waarborgen van de stabiliteit kan op vele manieren gebeuren. Het bij elkaar binden van rekken is een veel voorkomende wijze van stabiliseren. Weeth stelt dat zij op twee punten met stalen pennen in de grond moeten worden vastgezet en wel zodanig dat de pennen moeilijk uit de grond te trekken zijn [45]. De stalen pennen moeten daarbij tenminste de lengte hebben van de mortierbuizen in het rek.

Als de rekken niet met pennen in de grond kunnen worden vastgezet, is het aanbrengen van horizontale planken of balken als 'voeten' van het rek een alternatief. Deze planken zouden dan tenminste zo lang moeten zijn als de mortierbuizen in het rek. Ook het aanbrengen van een A-frame aan beide zijden van het rek kan als alternatief dienen.

Zandzakken rondom het rek op de houten 'voeten' van het rek of het A-frame bieden extra stabiliteit en beschermen bovendien tegen fragmenten bij een ontploffing van een bom in één van de mortierbuizen.



Figuur 4: Voorbeeld van een samengesteld mortierrek dat gevoelig is voor kantelen bij afvuren.

In de ontbrandingstoestemmingen in Nederland worden doorgaans voorschriften opgenomen die tot doel hebben de negatieve gevolgen van scherfwerking en instabiliteit zoveel mogelijk tegen te gaan. Zo moeten constructies voor het opstellen van mortierbuizen van 3 inch en groter zodanig worden ingegraven of met zandzakken worden afgeschermd dat het wegspringen van scherven bij een mogelijke explosie in de mortierbuis wordt voorkomen. Deze afscherming mag volgens de voorschriften achterwege worden gelaten als de mortierbuizen zijn vervaardigd van aluminium, HDPE, fiber, karton of een ander materiaal dat bij explosie geen scherfwerking veroorzaakt [36]. In het werkplan kan de toepasser vervolgens specificeren welke maatregelen hij tijdens het evenement zal treffen ter voorkoming van letsel aan werknemers en publiek [47].

4.3 Hulpmaterialen

De Arbeidsinspectie heeft aangegeven dat voor het vastzetten van mortierbuizen zowel in als aan een rek, het koppelen van rekken aan elkaar en het aan de grond vastzetten van vuurwerkartikelen ten behoeve van de stabiliteit diverse materialen worden gebruikt. In de standaardvoorschriften bij een ontbrandingstoestemming is onder andere opgenomen dat mortierbuizen en houders voor Romeinse kaarsen op doelmatige wijze aan elkaar verbonden moeten zijn. Hieruit kwam de vraag naar voren of de materialen die nu worden gebruikt voor verbinden of vastzetten negatieve gevolgen voor het functioneren van het vuurwerk kunnen hebben en daardoor de arbeidsveiligheid kunnen benadelen.

In de literatuur is weinig te vinden over de veiligheidsaspecten van de materialen die worden gebruikt voor het aan elkaar verbinden of vastzetten van artikelen. De vier richtlijnen uit het buitenland geven diverse, vaak weinig concrete voorschriften op dit punt. Zo adviseert de Britse richtlijn het vuurwerk voor stabiliteit vast te maken aan staken of andere vormen van ondersteuning aan de andere zijde dan die van het publiek. Ook ingraven of het voorzien van zandzakken worden als maatregelen genoemd voor met name mortierbuizen. Ten aanzien van verbindingsmaterialen wordt alleen voorgeschreven dat mortierbuizen in een voldoende sterk rek worden geplaatst. De NFPA heeft voorschriften van gelijke strekking in haar richtlijn opgenomen.

De Duitse richtlijn is nog minder concreet in de maatregelen ten behoeve van stabiliteit. Doelvoorschriften bepalen dat het vuurwerk voldoende stabiel moet zijn. Wat de verbindingsmaterialen betreft, wordt alleen voorgeschreven dat lout niet mag worden vastgeniet, maar alleen door middel van bijvoorbeeld klemmen, draad of plakband aan de constructie mag worden bevestigd.

De QCoP schrijft voor dat rekken of andere constructies bij elkaar kunnen worden gehouden door (kruis)banden en wel zodanig dat zij gedurende het normaal en abnormaal functioneren van het vuurwerk intact blijven. Dat houdt bijvoorbeeld ook in dat bij een ontploffing in een mortierbuis de andere buizen niet worden beschadigd of gerepositioneerd. Figuur 5 toont een voorbeeld van mortierrekken verbonden met zogenaamde zeilelastieken. Zeer waarschijnlijk is deze vorm van bevestiging onvoldoende sterk om bij abnormaal en mogelijk ook bij normaal functioneren de mortierrekken bij elkaar te houden.

Ten aanzien van de stabiliteit van constructies zijn daarentegen meer specifieke maatregelen opgenomen die afhangen van de afsteekplaats. In bijlage 3 zijn ter illustratie hiervan enkele delen overgenomen.

Al met al zijn dus voor een groot deel doelvoorschriften voor het aan elkaar bevestigen en het stabiel opstellen van vuurwerkartikelen opgenomen, en soms ook middelvoorschriften, zoals

in de Australische voorschriften. Er worden echter geen concrete eisen gesteld aan bijvoorbeeld de trekkracht en de temperaturen die bevestigingsmaterialen moeten kunnen weerstaan. De huidige Nederlandse voorschriften voor het toepassen van professioneel vuurwerk hebben eveneens het karakter van doelvoorschriften. Van de toepasser wordt verwacht dat hij geschikte materialen selecteert. Of die materialen ook daadwerkelijk geschikt zijn, kan worden vastgesteld op basis van testen.



Figuur 5: Mortierrekken die bij elkaar gehouden worden door zeilelastieken die bij een ongewoon voorval waarschijnlijk onvoldoende sterk zijn om de rekken bij elkaar te houden.

4.4 Ontsteekkasten en elektrische ontstekers

De Arbeidsinspectie heeft aangegeven dat toepassers in Nederland diverse ontsteekkasten gebruiken. Meestal wordt commercieel verkrijgbare apparatuur gebruikt, maar ook zelf ontworpen kasten worden toegepast. Aan het materiaal worden geen expliciete kwaliteitseisen gesteld. Ook het gebruik van elektrische ontstekers is niet aan eisen gebonden. Al met al is dit uiteraard één van de consequenties van het formuleren van doelvoorschriften aan het toepassen van vuurwerk. De Arbeidsinspectie acht formulering van kwaliteitseisen echter wenselijk.

Eisen ten aanzien van ontsteekkasten zijn niet zozeer in de literatuur geformuleerd, maar in de onderzochte buitenlandse richtlijnen, met uitzondering van de Britse. In de andere drie worden voorschriften genoemd die mogelijk als basis kunnen dienen voor de beoordeling van deze apparatuur in Nederland. Hieronder zijn voorschriften opgenoemd die twee of alledrie de richtlijnen gemeenschappelijk hebben of die voor de algehele veiligheid van belang kunnen zijn:

- Er wordt onderscheid gemaakt in computergestuurde elektrische ontsteekkasten, handmatig gestuurde elektrische ontsteekkasten en handheld elektrische ontsteekkasten. De eerste soort moet voorzien zijn van een knop die het afvuren stopt op het moment dat

de knop wordt omgedraaid. Handmatig gestuurde ontsteekkasten moeten zijn voorzien van een schakelaar die door een sleutel kan worden omgezet om onbedoeld en niet-toegestaan afvuren te voorkomen. Een handheld ontsteekkast moet zijn voorzien van twee schakelaars of twee acties vereisen om af te vuren, namelijk één om de ontsteekkast aan te zetten en één om het afvuren in gang te zetten. De functies van de schakelaars moeten duidelijk zijn aangegeven. Wanneer deze kasten zijn voorzien van een capaciteit, moet die binnen 15 seconden na uitschakelen van het apparaat zijn ontladen.

- Als de ontsteekkasten zijn voorzien van een ingebouwd testcircuit, dan moet de teststroom zich beperken tot de kleinste van de volgende twee stromen: 0,5 A of 20% van de zogenaamde no-fire stroom van de gebruikte ontstekers.
- Voorafgaand aan een show moet de toepasser of zijn assistent de ontsteekkast, de kabels, de verbindingen, de voeding en de ontstekers controleren op gebruiksklaar zijn. Daarbij mag de ontsteekkast niet in de teststatus verkeren of onder spanning staan.
- De ontsteekkast moet zó opgesteld zijn dat de toepasser direct zicht op het af te vuren vuurwerk heeft. Dat hoeft niet als hij via communicatieapparatuur in direct contact staat met een assistent die zicht heeft op het vuurwerk.

Voor de kwaliteit en het gebruik van ontstekers zijn alleen in de Duitse richtlijn voorschriften opgenomen. Zo mogen alleen ontstekers van gelijke weerstand in één serieel geschakelde stroomkring zijn opgenomen. Bovendien mogen alleen zogenaamde U- of A-brugontstekers worden gebruikt, waarbij de voorkeur uitgaat naar U-brugontstekers omdat die minder gevoelig zijn voor strooistromen.

Los hiervan heeft de toepasser zelf uiteraard belang bij het onder alle omstandigheden naar wens functioneren van de gebruikte ontstekers. Dat levert immers de show op zoals die vooraf werd gepland.

4.5 Gereedschap

Over de veiligheidsaspecten van het gereedschap dat bij de opbouw van evenementen wordt gebruikt, wordt in de onderzochte literatuur weinig geschreven. Voor de beantwoording van de vraag of het voorbereiden van een vuurwerkshow moet gebeuren met aangepast gereedschap moet dus worden teruggevallen op de onderzochte buitenlandse regelgeving. De voorschriften hiervoor komen op hoofdlijnen met elkaar overeen. De Amerikaanse richtlijn verbiedt alleen het gebruik van nietmachines voor het bevestigen van snellont voor mortierbommen en vergelijkbare vuurwerkartikelen. De QCoP stelt dat voorwerpen zoals scharen en knijptangen snellont kunnen ontsteken. Daarom wordt het gebruik van een scherp mes op een houten of vonkvrij oppervlak, of gereedschap dat ook bij zogenaamde 'high explosives' wordt gebruikt, voorgeschreven.

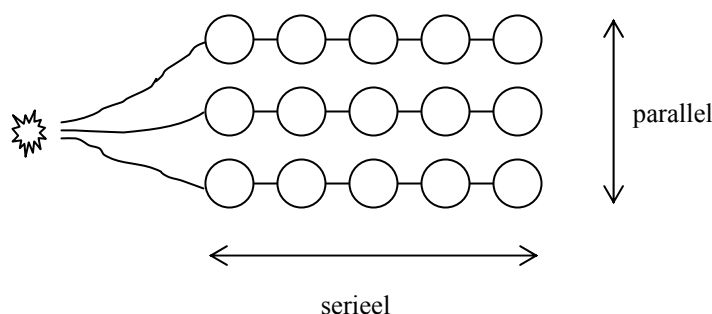
De Duitse richtlijn verplicht toepassers schoeisel met anti-statische zolen te dragen en de richtlijn uit Groot-Brittannië geeft in dit kader het doelvoorschrift een methode toe te passen die geen vonken kan veroorzaken. Er zijn al met al diverse middelen om te voorkomen dat vonken een voortijdige ontbranding van het vuurwerk veroorzaken.

5. Veiligheidsaspecten werkwijzen

In dit hoofdstuk zullen de veiligheidsaspecten van een aantal werkwijzen worden besproken. De vragen van de Arbeidsinspectie hebben hierop betrekking. Aanvullend daarop wordt herladen en het werken op pontons behandeld.

5.1 Doorlonten

Bij doorlonten worden vuurwerkartikelen door een lont met elkaar verbonden waardoor zij snel achter elkaar ontstoken kunnen worden. Doorlonten kan, al dan niet tegelijkertijd, zowel serieel als parallel gebeuren zoals in elektrische schakelingen. Een voorbeeld daarvan is te zien in Figuur 6.



Figuur 6: Voorbeeld van doorlonten waarbij drie series van mortierbommen parallel aan elkaar zijn doorgelont.

Het gevaar van doorlonten is dat bij het falen van één van de vuurwerkartikelen het ontsteken van de resterende niet meer tegen te houden is. Een onbedoelde reactie zoals het kantelen van buizen of rekken en het afvuren in een verkeerde richting zijn dan nog moeilijk te voorkomen.

In de standaardvoorschriften bij een ontbrandingstoestemming is opgenomen dat de totale massa ontplofbare stof van de doorgelonte kogel- of cilinderbommen de 4 kilogram niet mag overschrijden. Dit getal is echter redelijk arbitrair vastgesteld. Richtlijnen stellen eerder een maximum aan het aantal artikelen dat wordt doorgelont.

Zo schrijft de NFPA voor dat wanneer meer dan drie bommen worden doorgelont, er maatregelen moeten worden getroffen om repositionering van de mortierbuizen of het ontploffen van andere bommen te voorkomen. De voorgestelde maatregelen zijn het aanhouden van voldoende afstand tussen (ingegraven) mortierbuizen en het gebruik van voldoende sterke rekken. Verder is het aantal doorgelonte mortierbuizen in een rek gebonden aan een maximum. Dat maximum is afhankelijk van het kaliber (zie Tabel 4). Bovendien mogen doorgelonte mortierbommen niet worden herladen en mogen geen nietmachines gebruikt worden om lont te bevestigen.

Tabel 4: Maximum aantal doorgelonte mortierbommen in een (samengesteld) rek volgens NFPA 1123.

Kaliber	Maximum aantal doorgelonte mortierbuizen in een (samengesteld) rek
<3 inch	15
4	12
5-6	10
>6	doorgelont in een rek niet toegestaan

De QCoP schrijft eveneens beschermende maatregelen en/of voldoende afstand tussen mortierbuizen voor. Dit geldt alleen voor gevallen waarin doorgelont is met vertragingslont. Als snellont wordt gebruikt, worden de vuurwerkartikelen allemaal vrijwel tegelijkertijd afgevuurd en zijn de risico's van repositionering en ontploffingen in mortierbuizen veel kleiner. Overigens mogen rekken bij gebruik van vertragingslont niet worden toegepast voor mortierbommen groter dan 3 inch en impliceert het gebruik van deze lont tevens verdubbeling van de veiligheidsafstand tot het publiek.

In vergelijking met voornoemde richtlijnen zijn de Nederlandse voorschriften voor doorlonten erg algemeen. Er wordt geen onderscheid gemaakt in versneld of vertraagd doorlonten, er worden geen eisen gesteld aan de afstand tussen mortierbuizen dan wel beschermende maatregelen tussen buizen voorgeschreven en het maximum aantal door te lonten vuurwerkartikelen is onafhankelijk van het kaliber en afhankelijk van de totale netto explosieve massa. In hoeverre in Nederland toepassers dergelijke maatregelen reeds treffen, is vooralsnog onvoldoende duidelijk.

5.2 Handmatig en elektrisch ontsteken

Een relatief kleine afstand tot het vuurwerk is inherent aan handmatig afsteken. Elektrisch ontsteken biedt de mogelijkheid tot het nemen van een grotere afstand. Aan beide wijzen van afsteken kleven risico's. In deze paragraaf worden de risico's van elk van beide op een rij gezet.

Risico's van elektrisch afsteken

Het vuurwerk dat van ontstekers en bedrading is voorzien, kan onbedoeld voortijdig ontbranden door [8]:

- wrijvingsgevoeligheid (bij onzorgvuldig aanbrengen van de ontstekers of bij het losmaken van ontstekingskoppen of snellont);
- radiosignalen en energie uit radiofrequente elektromagnetische velden;
- schokgevoeligheid van de ontsteker (bij het laten vallen van het vuurwerkartikel);
- elektrische stromen door strooivelden (zoals elektrostatische ontlading, bliksem, onbedoeld contact met mobiele telefoons, radio's, semafoons en andere ontstekingsbronnen);
- onbedoelde inductiestromen (deze kunnen bijvoorbeeld ontstaan in de buurt van transformatorhuisjes);
- elektrische doorslag (dit ontstaat in de omgeving van hoogspanningslijnen);
- statische elektriciteit (kan een elektrische ontsteking initiëren en zwart buskruit ontsteken). Een gevaarlijke situatie kan ontstaan wanneer aan de volgende drie criteria wordt voldaan:

1. Een object dat als capaciteit kan fungeren, wordt zodanig opgeladen dat de elektrische energie bij ontlading ontsteking kan veroorzaken. Zo'n object kan een persoon zijn of een voorwerp dat bij de opbouw van een vuurwerkshow wordt gebruikt.
2. De capaciteit moet ontladen om ontsteking te kunnen veroorzaken.
3. Het pad van de ontlading moet dicht bij het gevoelige onderdeel van het vuurwerk liggen.

Deze laatste twee criteria zijn het moeilijkst onder controle te houden. Het is het meest efficiënt om preventieve maatregelen ten aanzien van het eerste criterium te treffen. Dit kan bijvoorbeeld door alleen katoenen kleding te dragen en schoenen die niet kunnen worden opgeladen met statische elektriciteit.

In de QCoP wordt een aantal maatregelen voorgeschreven die bovenstaande risico's zoveel mogelijk elimineren. Samengevat zijn dit [25]:

- afstand aanhouden tot bronnen van elektromagnetische velden (zowel de Australische als de Duitse richtlijn geven aan hier rekening mee te houden door afstand te houden);
- kortsluiten van draden;
- draden niet oprollen (bij toename of afname van magnetische velden kan namelijk een elektrische stroom worden opgewekt als draad is opgerold);
- geen nietmachines gebruiken om snellont voor mortierbommen en dergelijke vast te maken;
- het evacueren van de gevarenzone rond de afsteekplaats en het verwijderen van losse vuurwerkartikelen bij nadering van een zonnewind of onweer;
- het gebruik van draagbare communicatiesystemen achterwege laten binnen een afstand van 5 meter van het elektrisch te ontsteken vuurwerk;
- de toepasser mag geen draagbare communicatieapparatuur dragen tijdens het werken met vuurwerkartikelen die zijn voorzien van een elektrische ontsteker.

Al deze maatregelen laten natuurlijk onverlet dat zoveel mogelijk afstand tot het vuurwerk moet worden aangenomen voor het geval zich toch een onbedoelde ontsteking of reactie voordoet. De winst van het elektrisch ontsteken zou anders verloren gaan. Dat geldt ook wanneer zowel elektrisch als handmatig wordt afgestoken tijdens een show. De Australische en Amerikaanse richtlijn schrijven voor dat vuurwerk dat elektrisch wordt ontstoken, fysiek gescheiden moet zijn van handmatig af te steken vuurwerk door het aanhouden van een afstand van respectievelijk 10 en 7,7 meter. De Duitse richtlijn schrijft alleen voor beide onderdelen gescheiden van elkaar op te bouwen.

Sommige richtlijnen schrijven elektrisch afsteken voor bij bepaalde artikelen. Zo stelt de QCoP dit verplicht bij situaties waarbij elektrisch afsteken een acceptabel risico inhoudt en handmatig afsteken niet. Dit is volgens de richtlijn het geval bij het afsteken van:

- alle soorten knalbommen;
- alle sierbommen met een kaliber van 100 mm en groter;
- het gebruik van een samenstel van een aantal individuele rekken;
- al het vuurwerk dat wordt afgestoken vanaf schepen en drijvende platformen.

De NFPA volgt min of meer de omgekeerde redenering. In eerste instantie is die richtlijn gericht op handmatig afsteken, waarbij voor elektrisch afsteken wordt aangegeven welke veiligheidsmaatregelen daarbij achterwege kunnen worden gelaten. Alleen mortierbommen met een kaliber groter dan 6 inch mogen per definitie niet handmatig worden afgestoken, tenzij de mortierbuizen zijn ingegraven tot tenminste 3/4 van hun lengte en met alternatieve bescherming voor de toepasser zoals een fysieke barrière.

De Duitse richtlijn schrijft elektrisch afsteken alleen voor bij mortierbommen die uit een stalen buis worden afgevuurd. De Britse richtlijnen schrijven niet expliciet handmatig of elektrisch afsteken voor.

Risico's van handmatig afsteken

Bij handmatig afsteken is de afstand tot het vuurwerk klein. Door het treffen van maatregelen kan echter een zelfde beschermingsniveau worden bereikt als bij het aanhouden van afstand. Een aantal van deze maatregelen is in voorgaande paragrafen reeds besproken. Een aanvulling daarop is het creëren van tijd voor de toepasser om enige afstand te nemen. Dit kan door het aanbrengen van vertragingslont voor het snellont dat het vuurwerkartikel uiteindelijk zal ontsteken. Ingeval er sprake is van een fabricagefout in of beschadiging van het artikel of wanneer het verkeerd geladen is, biedt de extra tijd veiligheidswinst voor de toepasser [2].

De NFPA heeft maatregelen van die strekking in de voorschriften opgenomen. Zo moet de tijd tussen ontsteking van de lont van een mortierbom en het afvuren van de bom minimaal 3 en maximaal 6 seconden bedragen. Deze eis komt te vervallen als de bommen elektrisch worden ontstoken.

Handmatig/elektrisch afsteken: afwegingen

Bij de keuze voor handmatig of elektrisch afsteken speelt dus niet alleen afstand een rol. Met voldoende afschermbare maatregelen is bij handmatig afsteken in theorie immers hetzelfde beschermingsniveau te bereiken als bij op afstand elektrisch afsteken. Of en zo ja, welke maatregelen al dan niet moeten worden getroffen is afhankelijk van de soorten vuurwerkartikelen, hun kalibers, de wijze van doorlonten en het gebruikte type lont.

5.3 Herladen

Het herladen van mortierbuizen is volgens standaardvoorschrift 6.7 van een ontbrandingstoestemming niet toegestaan. In de literatuur zijn gegevens gevonden die dit voorschrift in perspectief plaatsen.

Bij herladen bestaat er gevaar voor voortijdige ontbranding als zich in de mortierbuis brandende of smeulende resten bevinden van de daarvoor afgevuurde mortierbom. Dat brengt uiteraard risico's voor toepassers en publiek met zich mee. Ook kan de aanwezigheid van resten er voor zorgen dat het vuurwerk niet de gewenste hoogte bereikt. Daarom is het aan te bevelen de mortierbuizen vóór het herladen te inspecteren op resten van afgevuurde artikelen. Weeth stelt ten aanzien van herladen in bovengrondse rekken zonder afscherming tegen eventuele scherfwerking dat deze handeling bij handmatig afsteken achterwege moet worden gelaten omdat de toepasser dichtbij de mortierbuis komt te staan. Als herladen dan daadwerkelijk moet gebeuren, dan kan dat volgens hem het beste vijf tot tien minuten nadat de bommen uit de desbetreffende mortierbuizen zijn afgevuurd. In deze tijdsspanne kan de mortierbuis afkoelen en kunnen smeulende resten uitdoven. Hierdoor wordt de kans op voortijdige ontbranding van de herladen bom verkleind [2].

Het afkoelen van de mortierbuis is tevens van belang als de mortierbuis is vervaardigd van een thermoplast zoals HDPE [26]. Thermoplasten verliezen immers hun sterkte bij toenemende temperatuur. Als de temperatuur te hoog oploopt, zal het materiaal falen waardoor onvoldoende druk opgebouwd kan worden om bijvoorbeeld een kogelbom tot veilige hoogte te brengen. Onderzoek naar het herhaald afvuren vanuit bovengrondse HDPE-mortierbuizen heeft uitgewezen dat herhaald afvuren van kogelbommen met tussenpozen van vier tot vijf minuten mogelijk is. Cilinderbommen kunnen met tussenpozen van vier tot vijf minuten worden afgevuurd. Als de mortierbuizen zijn ingegraven, moeten de tussenpozen drie keer zo lang duren [41].

In Australië en Duitsland is herladen in het geheel verboden. In de Verenigde Staten is het wel toegestaan als mortierbommen niet worden doorgelont, en op voorwaarde dat de mortierbuizen in groepen van gelijk kaliber worden geplaatst, zodat de kalibers van de af te vuren mortierbommen en de kalibers van de mortierbuizen niet met elkaar kunnen worden verwisseld. Voor mortierbuizen met een kaliber van 6 inch of minder mag herladen plaatsvinden tot maximaal zeven keer per show. Stalen mortierbuizen van dit kaliber mogen een onbeperkt aantal keren worden herladen. Er worden geen eisen gesteld aan de tijd die tussen het afvuren en herladen verstrijkt. De Britse richtlijn adviseert herladen zoveel mogelijk te vermijden, en als het gebeurt, mortierbuizen en -bommen te groeperen op kaliber zodat geen verwisseling kan plaatsvinden.

5.4 Vastzetten van artikelen

De Arbeidsinspectie heeft aangegeven dat artikelen aan elkaar worden verbonden door ijzerdraad of spanbanden. De kans bestaat dat deze zodanig strak worden getrokken dat vervorming van de mortierbuizen, Romeinse kaarsen of onderdelen van cakeboxen en flowerbeds optreedt. Het hangt van de sterkte van de materialen af of inderdaad vervorming kan optreden. Als vervorming optreedt, vergroot dat de kans op ontploffing in de buis of houder.

Het is raadzaam het aanspannen van bevestigingsmaterialen te beperken tot 'handvast'. Extra spankracht voegt waarschijnlijk doorgaans niks toe aan de bestendigheid van de totale constructie tegen onvoorziene gebeurtenissen. Een goede controle is mogelijk bij een juiste opeenvolging van werkzaamheden. Door de afvuurhulpmiddelen eerst neer te zetten, vervolgens met bevestigingsmaterialen vast te zetten en pas dan te laden met vuurwerkartikelen kan worden vastgesteld of de vuurwerkartikelen nog makkelijk in de buis of houder passen en dus niet gehinderd worden bij het afvuren. Voor cakeboxen is deze werkwijze niet toepasbaar, en zal controle zich beperken tot visuele inspectie van de vastgezette artikelen.

Volgens de QCoP mag er in ieder geval geen sprake zijn van opsluiting anders dan nodig voor het juist functioneren van het vuurwerk. Volgens de richtlijn is er sprake van onnodige opsluiting als:

- meer dan 25% van de zijden (bodem en bovenkant niet meegerekend) wordt ingesloten door de constructie eromheen;
- er sprake is van een vrije ruimte van minder dan 25 mm tussen het vuurwerkartikel en de constructie.

5.5 Afsteken vanaf een beperkte ruimte

Het afsteken van vuurwerk vanaf pontons of vaartuigen en vanaf bijvoorbeeld daken van gebouwen hebben met elkaar gemeen dat slechts een beperkte ruimte beschikbaar is voor het opstellen van het vuurwerk en het afsteken ervan. De afstand van het vuurwerk tot de toepassers zal doorgaans klein zijn en de bewegingsruimte en vluchtwegen zijn beperkt. Golven en stromen kunnen het platform instabiel maken en bovendien bestaat er een grotere kans op uitglijden en struikelen dan bij conventionele afsteekplaatsen. De kans op vallen van hoogte of op verdrinking vormen bij een calamiteit een extra risico voor de toepasser.

Vanuit het oogpunt van arbeidsveiligheid verdient het afsteken van vuurwerk vanaf een beperkte ruimte dus aandacht. De IPO Werkgroep Vuurwerk heeft recent een richtlijn opgesteld voor handelingen met vuurwerk op vaartuigen en in het bijzonder op pontons [48].

Deze gaat echter met name in op de transportveiligheid van vuurwerk op deze drijvende platformen en niet zozeer op de arbeidsveiligheidsaspecten. De bestudeerde buitenlandse richtlijnen daarentegen behandelen deze veiligheidsaspecten wél expliciet (met uitzondering van de Britse richtlijnen). De belangrijkste punten hieruit zijn:

- In Duitsland en Australië is het verplicht vanaf pontons en andere beperkte ruimten elektrisch af te steken. De Amerikaanse richtlijn staat handmatig afsteken alleen onder voorwaarden toe. Zo is er een bovengrens gesteld aan het kaliber en moet er een beschermende barrière aanwezig zijn voor niet-toepassend personeel.
- Aandacht voor de realisatie van vluchtwegen en het dragen van zwemvesten bij het werken op pontons;
- Er moet een schuilplaats aanwezig zijn van waaruit het af te steken vuurwerk zichtbaar is. Aan die schuilplaats worden al dan niet specifieke eisen qua sterkte gesteld. Ook de afstand van het vuurwerk tot de schuilplaats is gereguleerd, en kan aangepast worden als de sterkte van de schuilplaats dit toelaat.
- Bij het afsteken van vuurwerk vanaf bouwwerken worden eisen gesteld aan de sterkte van de dragende constructie. Die moet voldoende bestand zijn tegen de terugstoot die bij het afvuren optreedt.

5.6 Weigeraars en blindgangers

De concrete vraag van de Arbeidsinspectie luidde hoe vaak blindgangers en weigeraars voorkomen en welke procedure daarbij toegepast kan worden. Hoe vaak een blindganger of weigeraar voorkomt, is moeilijk aan te geven. In het door LMIP aangeleverde bestand met rapporten over groot vuurwerk en theatervuurwerk wordt ongeveer tien keer melding gemaakt van een weigeraar. In hoeveel gevallen het daarbij om groot vuurwerk gaat, is niet bekend. Het woord 'blindganger' werd niet in de database gevonden.

Het is in ieder geval niet uit te sluiten dat blindgangers of weigeraars bij een vuurwerkshow voorkomen. De standaardvoorschriften bij de ontbrandingstoestemming stellen dat na afloop van ieder evenement het afsteekterrein en de gevarenzone dienen te worden gecontroleerd op de aanwezigheid van (deels) niet ontstoken vuurwerk en vuurwerk waarvan niet zeker is of dit geheel tot ontbranding is gekomen. Het aangetroffen vuurwerk dient vervolgens op 'doelmatige' wijze te worden afgevoerd. In geval van een blindganger moet deze na afloop van het afsteken onmiddellijk worden gezocht. Als dat geen resultaat oplevert, dient het zoeken bij daglicht te worden voortgezet. Als die dan nog niet is gevonden, moet dit worden gemeld bij Gedeputeerde Staten en het hoofd van de plaatselijke politie. Als de blindganger dan alsnog wordt gevonden, dient de toepasser dit vuurwerk op te halen en op 'doelmatige' en 'veilige' wijze af te voeren. Zowel (deel)weigeraars als blindgangers dienen onschadelijk gemaakt te worden door ze tenminste 15 minuten geheel onder water te houden.

Deze procedures en voorschriften wijken niet substantieel af van wat er, voor zover bekend, in het buitenland is geregeld. Alleen de Australische richtlijn maakt onderscheid in de handelswijze bij elektrisch en handmatig afsteken. Bij handmatig ontsteken moet de mortierbuis van de weigeraar worden gemarkeerd, terwijl bij elektrisch afsteken kan worden volstaan met het achteraf markeren. Een methode die volgens sommigen bij het markeren handig kan zijn, is het vooraf aanbrengen van een aluminium of plastic folie op de mortierbuis. Folies die aan het einde van de show nog intact zijn geven aan waar weigeraars zijn. Bovendien beschermt de folie de mortierbom in de buis tegen neerslag, brandende delen en vonken, waardoor weigering of voortijdige ontbranding kan worden voorkomen. Het aanbrengen van de folies is echter bewerkelijk. Bovendien kunnen de folies er door het afvuren van bommen uit nabijgelegen mortieren af geblazen worden.

6. Toepassen in Nederland

6.1 Historie

De vuurwerkcramp in Enschede vormde de aanleiding tot het opstellen van het Vuurwerkbesluit. Het besluit beoogt de gehele keten van import tot verkoop te regelen. Ook het toepassen is in dit besluit gereguleerd. Tegelijkertijd werd de regelgeving op het gebied van arbeidsveiligheid bij het toepassen aangepast. Handhaving en toezicht werden op alle fronten geïntensiveerd, onder andere door oprichting van de Vliegende Brigade Vuurwerk en van het LMIP als centraal punt voor melding van onder andere import, opslag en vuurwerkevenementen.

Voor toepassers bestaan de concrete gevolgen van dit alles onder meer uit een uitgebreidere procedure voor het aanvragen van evenementen. Daarnaast werden zij intensiever geconfronteerd met handhavers en toezichthouders van de provincies, de Vliegende Brigade, de VROM Inspectie en de Arbeidsinspectie.

Na twee jaar werd het Vuurwerkbesluit op een aantal punten aangepast. Voor toepassers hield dat onder andere in dat voor sommige shows kan worden volstaan met een melding in plaats van de aanvraag tot een ontbrandingstoestemming. Toch blijft de invulling van het begrip veiligheid bij alle activiteiten met vuurwerk een controversieel onderwerp.

In dit hoofdstuk wordt een beeld geschetst van de wijze van werken en het veiligheidsbesef van de Nederlandse toepassers en de gebruikte veiligheidsmaatregelen.

6.2 De praktijk

Zoals in hoofdstuk 1 is aangegeven, hebben in het kader van het uitgevoerde onderzoek twee discussiebijeenkomsten plaatsgevonden, één met handhavers en toezichthouders en één met houders van een certificaat 'Groot Vuurwerk'. Bij de eerstgenoemde bijeenkomst waren in totaal acht provincies vertegenwoordigd, bij de tweede ongeveer eenderde van het totale aantal certificaathouders. Het doel van deze bijeenkomsten was het verkrijgen van een zo goed mogelijk beeld van het toepassen in relatie tot de arbeidsveiligheid en van de visie van handhavers, toezichthouders én toepassers op maatregelen die de arbeidsveiligheid kunnen bevorderen. De discussie vond plaats aan de hand van stellingen en vragen die betrekking hadden op de onderzoeksvragen van de Arbeidsinspectie. In deze paragraaf worden de uitkomsten ervan op hoofdlijnen samengevat.

De frequentie van het gebruik van de diverse vuurwerkartikelen voor vuurwerkshows is functie van het budget en de beschikbare ruimte tussen afsteekplaats en publiek. Het vergroten van de vereiste veiligheidsafstanden heeft ertoe geleid dat steeds meer cakeboxen, flowerbeds en consumentenvuurwerk worden toegepast. Is het budget groot dan worden veel mortierbommen afgevuurd. Daarbij wordt zowel gebruik gemaakt van stalen en aluminium mortierbuizen als van de lichtere soorten mortierbuizen vervaardigd van HDPE en materiaal met fiberglas. De mortierrekken die hierbij worden gebruikt zijn van uiteenlopende kwaliteit en constructie. Ze worden doorgaans niet ingegraven of van zandzakken voorzien, bovendien is er in de meeste gevallen geen sprake van vooraf bepaalde afstanden tussen de mortierbuizen onderling. Andere houders, bijvoorbeeld voor Romeinse kaarsen, worden ook toegepast. Lanceerbuizen of houders voor vuurwerkartikelen kunnen veilig gefixeerd worden door het aanhouden van de juiste werkvolgorde: eerst fixatie en daarna de vuurwerkartikelen laden. Zo kan eenvoudig worden vastgesteld of het vuurwerk in zijn functioneren wordt gehinderd door het vastzetten.

De toepassers hadden uiteenlopende visies op de voor- en nadelen van handmatig of elektrisch afsteken. Enerzijds werd aangegeven dat handmatig afsteken de charme van het werk is. Bovendien zou beter te zien zijn of vuurwerk daadwerkelijk en op juiste wijze tot ontbranding komt. Anderen gaven echter aan felle tegenstanders van handmatig afsteken te zijn vanwege de risico's voor medewerkers en gebrek aan overzicht.

De gebruikte ontsteekkasten bij elektrische afsteken zijn van uiteenlopende uitvoering en kwaliteit. Bij het werken met deze apparatuur is de volgorde van werken en de aanwezigheid van een veiligheids- of dodemansknop gewenst.

Vonkvrij gereedschap wordt nauwelijks gebruikt en de noodzaak ervan wordt door een aantal toepassers betwijfeld. Bij vuurwerkshows vanaf pontons wordt zowel handmatig als elektrisch afsteken toegepast.

Met betrekking tot handhaving en toezicht gaven zowel handhavers als toepassers aan dat er per provincie verschillende eisen worden gesteld en dat de interpretatie daarvan soms verschillend is. Bovendien worden controles soms als drukkend ervaren.

Tijdens de bijeenkomsten werd ook de omgang met incidenten besproken. Paragraaf 6.4 gaat hierover.

6.3 Handhaving en toezicht

In rapporten over inspecties gehouden in 2002 en 2003 stelt de Arbeidsinspectie dat de zorg voor de arbeidsomstandigheden tijdens de evenementen onvoldoende was [49, 50]. Bij de bevindingen over het jaar 2003 werd wel opgemerkt dat het veiligheidsbewustzijn bij een groot aantal bedrijven aan het verbeteren was. Dit bleek ook uit de resultaten van onderzoek van de VROM Inspectie, die eerst constateerde dat zich door tal van oorzaken risicovolle situaties bij evenementen konden voordoen [51]. Een jaar later concludeerde zij dat zich minder gevaarlijke situaties voordeden [52].

De Arbeidsinspectie concludeerde tevens dat de risico-inventarisatie die in het werkplan moet zijn verwerkt, zich hoofdzakelijk beperkt tot de veiligheidsafstand tot het publiek. De risico's voor het eigen personeel zouden niet of nauwelijks worden onderkend. De provincies, die de ontbrandingstoestemming verlenen, keuren de werkplannen al dan niet goed, en als een ontbrandingstoestemming is verleend, biedt een summier werkplan onvoldoende handvatten voor handhaving [50]. De Arbeidsinspectie krijgt voor elk evenement echter ook het werkplan voorgelegd, en kan in die fase opmerkingen plaatsen.

6.4 Incidentmelding

Er wordt onderscheid gemaakt in arbeidsongevallen en zogenaamde ongewone voorvallen. Arbeidsongevallen vinden plaats bij of als gevolg van werkzaamheden. Er is sprake van een ernstig arbeidsongeval als iemand aan de gevolgen van het ongeval overlijdt of ernstig lichamelijk of geestelijk letsel oploopt. Van ernstig letsel is sprake als een slachtoffer schade aan de gezondheid heeft opgelopen die binnen 24 uur leidt tot opname in een ziekenhuis, ter behandeling of ter observatie. Ook als de schade aan de gezondheid (vermoedelijk) van blijvende aard is (zoals amputaties en vermindering van het gezichtsvermogen) is er sprake van ernstig letsel. De Arbwet verplicht werkgevers om ernstige arbeidsongevallen onverwijld (zo snel mogelijk, maar in ieder geval binnen 24 uur) aan de Arbeidsinspectie te melden [53].

Naast ernstige arbeidsongevallen moeten toepassers volgens het Vuurwerkbesluit melding maken van zogenaamde ongewone voorvallen aan de Gedeputeerde Staten van de provincie waarin het vuurwerk tot ontbranding wordt gebracht. Ongewone voorvallen omvatten een breder scala aan onvoorziene en onbedoelde gebeurtenissen dan ernstige arbeidsongevallen. Bij ongewone voorvallen is niet per definitie sprake van letsel aan personen. Het gaat eerder om ontstoken vuurwerk dat afwijkend gedrag vertoont ten opzichte van het gedrag dat redelijkerwijs verwacht mag worden op grond van de productspecificatie. Uit de discussiebijeenkomst met toepassers kwam echter naar voren dat sommigen zeer terughoudend zijn met het doen van meldingen, omdat dit zou leiden tot extra eisen of voorschriften of een boete van overheidswege. Het nut van het melden van ongewone voorvallen om ervan te leren en erger te voorkomen, wordt echter wel onderschreven.

De provincies melden de bij Gedeputeerde Staten binnengekomen ongewone voorvallen niet verplicht maar op basis van een afspraak bij het LMIP. Ook toezichthouders van de provincie, de Arbeidsinspectie en de VROM Inspectie kunnen hun rapportages bij LMIP laten registreren. LMIP kan echter niet garanderen dat de gegevens die bij provincie en inspectiediensten aanwezig zijn ook aan hen worden gemeld. De gegevens die worden vastgelegd zijn echter summier. Tot vóór de vuurwerkcramp in Enschede werd binnen de branche zelf melding gemaakt van ongewone voorvallen. Eén van de inspectiediensten zou deze activiteit hebben stopgezet [54].

Om lering te trekken uit ongewone voorvallen en arbeidsongevallen is een voldoende gedetailleerde centrale registratie gewenst. Op dit moment is daar echter voor wat betreft ongewone voorvallen nog geen sprake van. Bovendien is de informatie niet alleen summier maar is er ook geen koppeling tussen de bestanden met voorvallen en arbeidsongevallen. Een uitgebreidere beschrijving van de betrokken producten, de omstandigheden en de eventuele negatieve gevolgen is eveneens wenselijk.

7. Discussie

Aan de hand van het uitgevoerde onderzoek is slechts indicatief aan te geven welke de belangrijkste risicobronnen zijn bij het toepassen van vuurwerk en is niet aan te geven hoe groot de risico's daadwerkelijk zijn. Een vergelijking van de ongevalsfrequentie bij afsteken van vuurwerk met de ongevalsfrequentie bekend van andere bedrijfstakken waar met gevaarlijke stoffen gewerkt wordt, zou enig perspectief kunnen bieden.

Een bedrijfstak met een relatief hoge frequentie aan arbeidsongevallen is de bouwnijverheid. In 2003 bedroeg de kans op een arbeidsongeval, op een arbeidsongeval met verzuim en op een arbeidsongeval met ziekenhuisopname per manuur respectievelijk circa $4,2 \cdot 10^{-5}$, $2,7 \cdot 10^{-5}$ en $4,6 \cdot 10^{-6}$ [55]. Als wordt aangenomen dat in Nederland 125 toepassers actief zijn die elk gemiddeld 20 evenementen per jaar uitvoeren met een arbeidsduur van 8 uur per evenement, dan zal één arbeidsongeval per jaar, één arbeidsongeval met verzuim per 2 jaar en één arbeidsongeval met ziekenhuisopname per 11 jaar leiden tot dezelfde ongevalsfrequenties als in de bouw. Gegevens om na te gaan of de werkelijke frequenties hoger of lager zijn, zijn er echter niet. Op dit moment is slechts indicatief aan te geven op welke onderdelen eventuele veiligheidsmaatregelen het beste kunnen worden ingezet om de risico's te reduceren.

De Nederlandse regelgeving betreffende arbeidsveiligheid bij toepassen van groot vuurwerk blijkt in vergelijking met de buitenlandse minder specifiek: er wordt uitgegaan van voldoende (grondige) kennis bij de toepasser om adequate maatregelen te treffen, terwijl in het buitenland een groot aantal maatregelen specifiek wordt voorgeschreven. De standaard-ontbrandingstoestemming stelt wel een aantal concrete eisen, maar niet aan een aantal zaken zoals mortierrekken, mortierbuizen en de afstand tussen mortierbuizen. De specifieke gevaren verbonden aan het gebruik van bepaalde materialen of opstellingen kunnen door het stellen van concrete eisen gereduceerd worden.

De veiligheid vergroten kan op verschillende manieren, namelijk door:

- inhoudelijke aansturing van de opleiding,
- ad hoc-advisering bij de aanvraag van vergunningen, en
- het uitdragen van kennis of vernieuwde inzichten via bijvoorbeeld infobulletins.

In de opleiding komen (gewenste) concrete veiligheidsmaatregelen slechts in beperkte mate aan de orde. Specifieke risico's van het gebruik van bepaalde materialen en het toepassen van bepaalde werkwijzen zouden explicieter aan bod kunnen komen. Daarnaast kan het volgen van de ontwikkelingen in binnen- en buitenland ten aanzien van het veilig toepassen van vuurwerk, bijvoorbeeld door literatuurstudie of het bijhouden van zogenaamde 'best practices', positief bijdragen aan de inhoudelijke kwaliteit van de opleiding. Het College van Deskundigen, dat toezicht houdt op de opleiding tot certificaathouder 'Groot Vuurwerk', kan de structuur en de inhoud van de opleiding aansturen. Daarom lijkt het College het meest geschikt voor het oppakken van voornoemde punten.

De tweede optie betreft het stellen van eisen in de vergunning die specifiek toegesneden zijn op de te vergunnen situatie. Op dit moment is het zo dat de Arbeidsinspectie op basis van artikel 3.3.4, vierde lid, onder d, van het Vuurwerkbesluit in de gelegenheid wordt gesteld advies uit te brengen over de beslissing op de aanvraag om toestemming voor de ontbranding van vuurwerk. In dat kader heeft zij een model werkplan opgesteld, zodat bestaande voorschriften standaard worden geïmplementeerd. Hiermee wordt voor een groot deel invulling gegeven aan het adviesrecht. Deze fase van de aanvraag leent zich tevens voor advisering op specifieke situaties. De Arbeidsinspectie kan op dat moment al opmerken dat al

dan niet voldoende (specifieke) maatregelen ten behoeve van de arbeidsveiligheid worden getroffen. De inspectie geeft echter aan dat hier onvoldoende tijd en capaciteit voor is.

Bij de inwerkingtreding van het Vuurwerkbesluit is het LMIP opgericht als centraal punt voor onder andere de melding van ongewone voorvallen. Deze meldingen worden echter niet structureel gedaan en bovendien zijn de gegevens erin summier. Daardoor is het moeilijk lering uit de voorvallen te kunnen trekken. Bovendien worden er geen relevante (wetenschappelijke) ontwikkelingen en ervaringen uit de binnen- en buitenlandse praktijk bijgehouden. Het kan echter nuttig zijn aan de certificaathouders informatie uit te geven op het moment dat zich voor hen relevante ontwikkelingen voordoen, bijvoorbeeld vanuit een centrale incidentenregistratie of vanuit publicaties in de literatuur. Dit kan bijvoorbeeld in de vorm van infobulletins naar analogie met de bulletins die door de Australische overheid verspreid worden.

Een voorwaarde voor verbetering is dat overheid en branche overeenstemming bereiken over de meest relevante risicobronnen. Op dit moment lijkt dat echter nog niet het geval. Zowel overheid als branche handelen vanuit hun eigen perspectief, en die lijken soms met elkaar te botsen. Een gemeenschappelijk punt van zorg is echter de verantwoordelijkheid voor veiligheid. De overheid is verplicht de invulling hiervan aan te sturen. Anderzijds is het voor de vuurwerkbranche belangrijk dat er veilig gewerkt wordt. Het lijkt het meest opportuun hierbij als overheid te overwegen hoe de arbeidsveiligheid bij het toepassen van groot vuurwerk in Nederland gewaarborgd kan worden: door aanvullende regulering vanuit de overheid of door de branche tot extra maatregelen te stimuleren en deugdelijke initiatieven eventueel te ondersteunen. In geval van regulering vanuit de overheid is het raadzaam daarbij de branche actief te betrekken.

8. Conclusies

In opdracht van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid heeft het RIVM onderzoek uitgevoerd naar de arbeidsveiligheidsaspecten van het toepassen van groot vuurwerk. Hierbij is gekeken naar gebruikte materialen en werkwijzen. Op basis van de resultaten van dit onderzoek komt RIVM tot de volgende conclusies.

Algemeen

- Zowel in Nederland als in het buitenland doen zich incidenten voor bij het opbouwen, afsteken en opruimen van vuurwerkshows. Daarbij kunnen mensen uit het publiek en toepassers licht of zelfs dodelijk verwond raken.
- De Nederlandse regelgeving op het gebied van arbeidsveiligheid bij het toepassen van vuurwerk kenmerkt zich door doelvoorschriften ten aanzien van de kennis die de toepasser moet hebben. De onderzochte buitenlandse regelgeving bevat meer specifieke en concrete eisen ten aanzien van gebruikte materialen en werkwijzen.

Gebruikte materialen

- Het materiaal waarvan mortierbuizen zijn vervaardigd, heeft een grote invloed op de ernst van de incidenten. Fragmentatie en ricochet van fragmenten vormen het belangrijkste gevaar. Het gebruik van mortierbuizen die de risico's hierop verkleinen komt ten goede aan de arbeidsveiligheid.
- De risico's van scherfwerking van mortierbuizen kunnen tevens gereduceerd worden door ingraven, het aanbrengen van zandzakken of vergelijkbare afscherpende voorzieningen.
- Het zo veilig mogelijk toepassen van mortierrekken impliceert een constructie die een ontploffing van een bom in één van de mortierbuizen kan weerstaan. Daarbij is het tevens van belang dat andere buizen niet kunnen beschadigd of gerepositioneerd worden. Dit kan worden bewerkstelligd door voldoende afstand tussen de buizen onderling aan te houden of door het aanbrengen van bijvoorbeeld zand tussen de buizen. Een zelfde redenering gaat op voor andere vuurwerkartikelen, al dan niet in bij elkaar gezette houders.
- Hulpmaterialen worden toegepast voor het bij elkaar zetten van artikelen en het stabiliseren ervan. Beide moeten volgens de buitenlandse regelgeving voldoende bestand zijn tegen het eventueel disfunctioneren van een vuurwerkartikel. Voor stabilisatie zijn er diverse mogelijkheden. Enkele voorbeelden zijn het aanbrengen van zandzakken en het ingraven van constructies.
- Eisen die in de buitenlandse regelgeving aan ontsteekkasten worden gesteld, betreffen hoofdzakelijk het voorkómen van voortijdig ontbranden van het vuurwerk. Voortijdige ontbranding van vuurwerk, bijvoorbeeld tijdens het opbouwen van een show, kan significante risico's voor toepassers opleveren.
- Het gebruik van vonkvrij gereedschap samen met andere maatregelen ter voorkoming van vonkvorming, zoals het dragen van katoenen kleding, is aan te raden omdat het voortijdige ontbranding van vuurwerk kan voorkomen.

Werkwijzen

- De veiligheidsrisico's van doorlonten worden onder andere bepaald door het soort lont dat is gebruikt.
- Doorlonten is nu gebonden aan een maximale netto explosieve massa, terwijl het meer voor de hand ligt om een maximum te stellen aan het aantal door te lonten artikelen afhankelijk van het kaliber, zoals in buitenlandse regelgeving het geval is.
- Zowel aan handmatig als elektrisch afsteken kleven risico's die elk op hun eigen merites moeten worden beoordeeld om een objectieve risicoschatting te kunnen maken.
- Bij het herladen van vuurwerkartikelen in lanceerbuisen kunnen de temperatuur van de lanceerbuis en de aanwezigheid van smeulende resten gevaar opleveren voor voortijdige ontbranding van het vuurwerk.
- Het veilig vastzetten van constructies met vuurwerk impliceert dat gecontroleerd moet worden of bevestigingsmaterialen het naar behoren functioneren ervan niet hinderen en geen onnodige opsluiting veroorzaken.
- Het afsteken van vuurwerk vanaf een beperkte ruimte brengt specifieke risico's voor de arbeidsveiligheid met zich mee.
- Het voorkomen van weigeraars en blindgangers is niet op voorhand uit te sluiten. De procedure die nu bij het optreden ervan moet worden gevolgd, wijkt niet substantieel af van die beschreven in de onderzochte buitenlandse richtlijnen.

Toepassen in Nederland

- Uit een beperkt beeld van de Nederlandse praktijk kan worden geconcludeerd dat maatregelen zoals die in de onderzochte buitenlandse regelgeving worden voorgeschreven, niet op uitgebreide schaal worden toegepast. In de Nederlandse regelgeving worden ook doorgaans geen concrete eisen gesteld.
- Er kunnen verschillen zijn tussen de provincies in de wijze waarop toezicht gehouden wordt.
- Ongewone voorvallen worden niet structureel op een centraal punt gemeld. De informatie rondom de meldingen is bovendien summier en wordt beperkt ontsloten. Nu binnen de branche zelf ook geen meldingen meer gedeeld worden, is het moeilijk lering te trekken uit ongewone voorvallen.

Literatuur

1. Wharton, R.K. Areas for future safety research identified by recent accidents in the pyrotechnics industry. Proceedings of the 16th International Pyrotechnics Seminar, Jonkoping, Sweden, June 24-28, 1990, p. 514-530.
2. Weeth, C.P. A case study of a 155 mm aerial shell malfunction in an HDPE mortar mounted in an above-ground wooden rack during a manually ignited display. Proceedings of the Fourth International Symposium on Fireworks, October 9-13, 1998, Halifax, Nova Scotia, Canada, p. 493-515.
3. Eckhardt, D. and Andre, H. Results and conclusions from the investigation of an accident with a display shell. Proceedings of the Fifth International Symposium on Fireworks, Naples, Italy, April 10-14, 2000, p. 83-103.
4. US Department of Labor, Occupational Safety & Health Administration Accident Database. One employee killed and one injured by igniting fireworks. Accident: 14529077, Report ID: 0111700, Event Date: 08/19/1995.
5. US Department of Labor, Occupational Safety & Health Administration Accident Database. Employee killed and three injured as fireworks explode. Accident: 924704, Report ID: 0418800, Event Date: 07/04/1994.
6. Drowning, Fireworks Accident Mar Holiday. Several hurt in explosions as July Fourth park display. www.winchesterstar.com/TheWinchesterStar/020705/Front_ACCidents.asp, 2004.
7. Teenager dies in fireworks accident. <http://www.duluthsuperior.com/mld/duluthsuperior/9085256.htm>, 2004.
8. Queensland Government, Department of Natural Resources and Mines. Executive Summary of the Investigation Report of the Bray Park Fireworks Tragedy - 20 May, 2000.
9. Harold, Rod. Explosives accident/incident report of 2" Roman candle malfunction - Yeppoon, 26/1/1999. Queensland Department of Mines and Energy, Safety and Health Division; 1999.
10. Mount Isa Police. Explosives accident/incident report on 2" Roman candle malfunction - Mount Isa, 27/11/1999. Queensland Department of Mines and Energy, Safety and Health Division; 99.
11. Four people injured in Akron fireworks accident. www.timeswrsw.com/N0707031.HTM, 2004.
12. Utrechts Nieuwsblad, 2001. Onveilig vuurwerk met onbevoegde mensen op show.
13. Utrechts Nieuwsblad, 2001. Rechter: Skylight niet schuldig.
14. Baseball tournament marred by fireworks accident. www.thepanamanews.com/pn/v_09/issue_21/sports_02.html, 2004.
15. Weeth, C.P. A case study of the Alton, Illinois, USA fireworks display: barge accident of July 3, 1997 that resulted in three fatalities. Proceedings of the Fourth International Symposium on Fireworks, October 9-13, 1998, Halifax, Nova Scotia, Canada, p. 469-492.
16. Accident: 200840239 - Three employees killed, one injured in fireworks accident. www.osha.gov/pls/imis/accidentsearch.accident_detail?id=200840239, 2004 .

17. 1997 Fireworks barge explosions. Alton IL 3 July - Falmouth MA 4 July. www.rbbi.com/folders/acc/firewks/firewks.htm, 2004.
18. Five hurt in Lake Chelan fireworks accident. 2004.
19. Fireworks blast claims fifth victim. www.foxnews.com//printer_friendly_story/0,3566,91023,00.html, 2003.
20. ATF wraps up on-scene investigation of fireworks explosion that killed five. www.marcoeagle.com/03/07/maples/d931496a.htm, 2003.
21. Barge containing New Year's fireworks explodes; 2 dead. www.rbbi.com/folders/acc/firewks/no98.htm, 2004.
22. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Fachausschuss 'Chemie' der BGZ. BGR 222: Abbrennen von Feuerwerken. 2002.
23. Health and Safety Executive. Giving your own fireworks display. How to run and fire it safely. 1995.
24. Health and Safety Executive. Working together on firework displays. A guide to safety for firework display organisers and operators. 1999.
25. Fireworks Advisory Committee, Queensland Code of Practice - Control of Outdoor Firework Displays. First Edition, 1 December 2003.
26. Technical Committee of Pyrotechnics. NFPA 1123 Code for Fireworks Display 2000 Edition. Quincy, MA, USA: NFPA; 2000.
27. Drygala, P., Zuidersma, H., Lim L., and Comber, M. The Carmel Explosions, report of the investigation into the fireworks accident at Carmel, Western Australia. 2002.
28. Contestabile, E. and Wilson, D. Time for fibre-reinforced mortars? Proceedings of the Second International Symposium on Fireworks, October 24-28, 1994, Vancouver, Canada, p. 563-592.
29. Kosanke, K.L., HDPE mortars for electrically fired displays. Selected Pyrotechnic Publications of K.L. and B.J. Kosanke. Part 1, p. 80-84; 1995.
30. M. van der Plas. Bij brief van 7 juni 2004 aan IPO Werkgroep veiligheidsafstanden, ons kenmerk: 170/2004 CEV Pla/sij-431. Veiligheidsafstanden voor het bezigen van professioneel vuurwerk met kalibers kleiner dan 3 inch.
31. Jones, D.E.G., Interior ballistics of fireworks mortars. Proceedings of the First International Symposium on Fireworks. May 13-15, 1992, Montréal, Canada, p. 132-155.
32. Deutsche SprengVwV, Anlage 1; Entwurf vom 20.06.02.
33. Kosanke, K.L. and Kosanke, B.J. Hypothesis explaining muzzle breaks. Selected Publications of K.L. and B.J. Kosanke. Part 3, p. 76-87; 1996.
34. Contestabile, E. Firing fireworks shells from oversize or larger Diameter Mortars. Proceedings of the Second International Symposium on Fireworks, October 24-28, 1994, Vancouver, Canada, p. 531-539.
35. Contestabile, E., Augsten, R.A., and Craig, T.R., Evaluation of firework mortars. Proceedings of the First International Symposium on Fireworks. May 13-15, 1992, Montréal, Canada, p. 46-78.

36. Email van Tenlima-Sellier, F. Y., FTenlima@brabant.nl. Standaard werkplan. 2004.
37. Myatt, S.G. Observations on the behaviour of seamed steel mortar tubes. *Journal of Pyrotechnics* 1: p. 6-10; Summer 1995.
38. Myatt, S.G. and Train, A.G. Recent fireworks mortars research in the UK and the implications for safety guidance. *Proceedings of the Fourth International Symposium on Fireworks*, October 9-13, 1998, Halifax, Nova Scotia, Canada, p. 283-303.
39. Contestabile, E. and Augsten, R.A. Blast pressure from exploding firework mortars. *Proceedings of the Second International Symposium on Fireworks*, October 24-28, 1994, Vancouver, Canada, p. 55-72.
40. Edwards, M.R., Myatt, S.G., and Ellis, S. The hazards posed by fragments from rupturing steel fireworks mortar tubes - Predictions from a computer model. *Journal of Pyrotechnics* 9: p. 21-28; Summer 1999.
41. Kosanke, K.L. and Kosanke, B.J. Repeat firing of 10.2 cm (4 in.), SDR-17, HDPE Mortars. *Proceedings of the First International Symposium on Fireworks*, May 13-15, 1992, Montréal, Canada, p. 193-213.
42. Fischer, A. A practical performance testing protocol for fireworks mortar tubes. *Journal of Pyrotechnics* 20: p. 51-54; Winter 2004.
43. Myatt, S.G. and Edwards, M.R. Measurement of the effectiveness of various mitigation methods at reducing the projectile hazards from fragmenting steel firework mortar tubes. *Journal of Pyrotechnics* 10: p. 37-44, Winter 1999.
44. Williams, M.A. Modern rack and mortar designs for professional fireworks displays. *Journal of Pyrotechnics* 2: p. 6-14; Winter 1995.
45. Weeth, C.P. Limited field demonstrations of lightweight fireworks mortars in above ground wood frame racks. *Proceedings of the Fifth International Symposium on Fireworks*, April 10-14, 2000, Naples, Italy, p. 433-451.
46. Kosanke, K.L. and Kosanke, B.J. Mortar separations in troughs and drums. *Proceedings of the Fifth International Symposium on Fireworks*, April 10-14, 2000, Naples, Italy, p. 231-241.
47. Model Werkplan Groot Vuurwerk, versie 3. Den Haag: Landelijk Meld- en Informatiepunt Vuurwerk; 2004.
48. IPO Werkgroep Vuurwerk. Richtlijn voor handelingen met vuurwerk op vaartuigen, in het bijzonder op pontons. 2004.
49. Arbeidsinspectie. Eindverslag pilotproject vuurwerkevenementen 2002. Den Haag: Arbeidsinspectie; 2003.
50. Martens, D. Arbeidsveiligheid bij vuurwerkevenementen 2003. Den Haag: Arbeidsinspectie; 2004.
51. VROM-Inspectie. Alle pijlen gericht op het Vuurwerkbesluit. Onderzoek naar het gebruik van professioneel vuurwerk bij evenementen in 2002. Den Haag: VROM-Inspectie; 2003.
52. VROM-Inspectie. Er zit schot in de mortieren. Onderzoek naar het bezigen van professioneel vuurwerk in 2003. Den Haag: VROM-Inspectie; 2004.
53. Arbeidsinspectie. Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. Ernstige

arbeidsongevallen. Meld ze bij de Arbeidsinspectie. 2003.

54. Lembrechts, J. Intern verslag van de discussiebijeenkomst met bezigers op 13 oktober 2004. Projectdossier M/620810/01/AA. Bilthoven: RIVM; 2004.

55. Arbouw. Jaarverslag 2003. 2004.

Bijlage 1 Eisen aan kennis toepassers groot vuurwerk

Onderdelen waarop een certificaathouder GV kennis dan wel grondige kennis dient te hebben volgens de Arbeidsomstandighedenregeling.

onderdeel	kennis	grondige kennis
wetgeving	arbeidsveiligheid externe veiligheid milieuwetgeving vervoer van ontplofbare stoffen wettelijke aansprakelijkheid locale regelgeving	
pyrotechniek algemeen	geschiedenis en ontwikkeling eigenschappen pyrotechnische mengsels	materiaaleigenschappen m.b.t. gevoeligheid voor ontsteking
veiligheid en gezondheid	brandveiligheid	veilig werken omgang met calamiteiten persoonlijke beschermingsmiddelen
materiaalkennis	gereedschappen en hulpmiddelen	soorten groot vuurwerk gereedschappen bij verwerken inspectie van materialen mortierbuizen (materiaalkeuze, plaatsing, inspectie, disfunctionering) ontstekingsmiddelen halfabrikaten en losse pyrotechnische middelen
werken met groot vuurwerk	opbouwen van shows (delen van shows en stellages) tot ontbranding brengen van vuurwerkartikelen (bijzondere situaties)	werkplan opbouwen van shows (algemeen, gereed maken terrein, opslag en verladen, losse mengsels etc., opstellingen, opstellen vuurwerkartikelen, handmatig afsteken, elektrische ontstekers) tot ontbranding brengen vuurwerkartikelen (algemeen, weigeraars) afbouwen van shows (algemeen, weigeraars)

Bijlage 2 Relatie tussen kaliber, wanddikte en lengte van mortierbuizen volgens NFPA

Wanddikten voor stalen mortierbuizen

Kaliber (inch)	kogelbommen	cilinderbommen (enkelschots)	cilinderbommen (meerschots)
2	0,03	0,10	0,15
2,5	0,03	0,11	0,19
3	0,04	0,11	0,21
4	0,05	0,12	0,23
5	0,06	0,13	0,25
6	0,07	0,14	0,27
8	0,09	0,16	0,31
10	0,11	0,18	0,36
12	0,13	0,20	0,40
16	0,17	0,24	0,55
>16	-	-	-

Noot: de breukvastheid van staal dient minimaal 275.800 kPa te zijn.

- Geen data beschikbaar.

Wanddikten voor kartonnen mortierbuizen

Kaliber (inch)	kogelbommen	cilinderbommen (enkelschots)	cilinderbommen (meerschots)
2	0,18	0,25	0,37
2,5	0,18	0,25	0,37
3	0,25	0,25	0,37
4	0,25	0,33	0,50
5	0,31	0,42	0,62
6	0,37	0,50	0,75
8	0,50	-	-
10	0,62	-	-
12	0,75	-	-
16	-	-	-

Noot: de breukvastheid van karton dient minimaal 16.500 kPa te zijn.

- Geen data beschikbaar.

Wanddikten voor mortierbuizen van HDPE

Kaliber (inch)	kogelbommen	cilinderbommen (enkelschots)	cilinderbommen (meerschots)
2	0,12	0,17	0,17
2,5	0,12	0,17	0,17
3	0,15	0,17	0,17
4	0,20	0,25	0,25
5	0,25	0,25	0,25
6	0,30	0,32	0,32
8	0,32	-	-
10	0,32	-	-
12	0,37	-	-
>12	-	-	-

Noot: de breukvastheid van het plastic dient minimaal 22.750 kPa te zijn.

- Geen data beschikbaar.

Wanddikten voor mortierbuizen van fiberglas (FRE)

Kaliber (inch)	kogelbommen	cilinderbommen (enkelschots)	cilinderbommen (meerschots)
2	0,07	0,11	0,11
2,5	0,07	0,11	0,11
3	0,07	0,11	0,11
4	0,11	0,11	0,11
5	0,11	0,11	0,11
6	0,11	0,11	0,11
8	0,25	-	-
10	0,25	-	-
12	0,25	-	-
>12	-	-	-

Noot: de breukvastheid van het plastic dient minimaal 76.000 kPa te zijn.

- Geen data beschikbaar.

Minimale lengte mortierbuizen (in inch)

Kaliber (inch)	enkelschot	dubbelschots	tot vierschots
3	15	18	21
4	20	23	27
5	24	28	32
6	28	32	37
8	34	40	46
10	40	46	54
12	46	52	62

Bijlage 3 Methoden voor stabilisatie uit QCoP

Methoden voor stabilisering van (samenstellingen van) vuurwerkartikelen uit de QCoP [25].

vuurwerkartikel	aard afsteeklocatie	methode voor vastzetten/stabiliseren								anders	
		1	2	3	4	5	6	7	8		
mortierbuizen in rekken	ondergrond aarde		A							A	in rek of vat
	ondergrond zand		A				B			A	idem
	harde oppervlakken									A	idem
	pontons								A		in rek of vat met zand
onstabiele cakeboxen	trailer								A		in rek of vat
	ondergrond aarde		A	A							minimaal twee staken
	ondergrond zand		A	A							tenminste 300 mm diep twee staken
	harde oppervlakken								A		
	pontons								A		
	trailer								A		

Verkorte toelichting op de tabel:

A = Methode van eerste voorkeur

B = Methode van tweede voorkeur, of additionele maatregel als extra veiligheid vereist is

Methode 1 = staak en tape en/of spanbanden

Methode 2 = meerdere staken en tape

Methode 3 = kist met brede stabiele basis, met of zonder zandzakken, te immobiliseren met pickets, tape, steunen of wiggen

Methode 4 = speciaal voor de toepassing vervaardigde palen

Methode 5 = ingraven

Methode 6 = met bouten bevestigd aan een frame

Methode 7 = bevestigd aan horizontale houten panelen

Methode 8 = diep ingegraven in een vat met zand