

AFSTEKEN VAN VUURWERK

Werkgroep
Emissies
Servicebedrijven en
Produktgebruik

Samenwerkingsproject procesbeschrijvingen consumenten, bouw, handel en dienstverlening.
RIVM (rapportnr. 772414005), RIZA (notanr. 93.046/C3), DGM en CBS

Auteurs : J.G.H. Brouwer, J.H.J. Hulskotte (TNO-Apeldoorn) en J.A. Annema
(RIVM)
Basisjaar : 1992
Datum publikatie : augustus 1995

augustus 1995

INHOUDSOPGAVE

1.	Omvang van de activiteit	1
2.	Procesbeschrijving en bronnen van emissies	1
2.1	Soorten vuurwerk	1
2.1	Samenstelling vuurwerk	2
3.	Emissie- en afvalfactoren	4
3.1	Emissies	4
3.2	Afval	6
3.3	Emissiefactoren	7
4.	Energieverbruik en energiefactoren	8
5.	Maatregelen en kosten van maatregelen	8
6.	Onderzoek naar schone processen en producten	8
7.	Normstelling en regelgeving	8
8.	Referenties	9

Vuurwerk

1. Omvang van de activiteit

Ieder jaar worden er rond de jaarwisseling in Nederland enkele miljoenen kilo's vuurwerk afgestoken en de omzet stijgt nog ieder jaar. In 1992 is er naar schatting 3.8 miljoen kilogram vuurwerk omgezet (Smit, 1992). Behalve legaal vuurwerk wordt er naar schatting 30-40% illegaal vuurwerk geïmporteerd (Berenschot, 1992). Op basis van deze gegevens is aangenomen dat de totale omzet van vuurwerk in 1992 naar schatting ruim 5 miljoen kilogram bedraagt. Hiervan is circa 4.3 miljoen kilogram sier- (85%) en 0.8 miljoen kilogram knalvuurwerk (Koster de, 1992).

2. Procesbeschrijving en bronnen van emissies

De productie van zogenaamd klein vuurwerk voor de verkoop aan particulieren is in Nederland nihil. In beperkte mate wordt er nog wel zogenaamd groot vuurwerk ten behoeve van manifestaties en dergelijke geproduceerd, maar hiervan is de omzet beperkt tot 5% van het totaal (Terpstra, 1992). Praktisch al het vuurwerk dat tijdens de jaarwisseling wordt afgestoken is geïmporteerd.

2.1 Soorten vuurwerk

Knalvuurwerk

Knalvuurwerk bestaat uit een papieren omhulsel waarin zich buskruit bevindt. Het grootste gedeelte van het knalvuurwerk bestaat uit papier, slechts 10-20% van het gewicht bestaat uit pyrotechnisch mengsel.

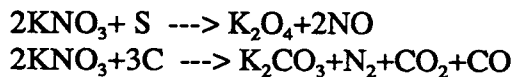
Wanneer het buskruit tot ontploffing gebracht wordt (detonatie), ontstaat er een schokgolf in de vorm van een hoorbare knal. Al eeuwenlang is de basisformule voor buskruit ongewijzigd gebleven. Het is een mengsel van kaliumnitraat, houtskool en zwavel (Zuylen van, 1990), (Anonymus, 1990).

Er is in 1992 naar schatting 800 ton knalvuurwerk afgestoken, waarin circa 120 ton pyrotechnisch mengsel is verwerkt. In tabel 2.1 is een overzicht gegeven van het grondstoffengebruik ten behoeve van knalvuurwerk.

Tabel 2.1 Schatting grondstoffengebruik voor knalvuurwerk in 1992.

Stofnaam:	Grondstofgebruik (kg):
Kaliumnitraat KNO ₃	90.000
Koolstof C	18.000
Zwavel S	12.000

Deze goedkope grondstoffen worden gemengd in de verhouding 75:15:10 tot zogenaamd zwart kruit. Voor de verbranding is de volgende reactievergelijking op te stellen:



Siervuurwerk

Het siervuurwerk bevat behalve buskruit ook nog andere stoffen voor licht-, rook- en geluidseffecten. Het bevat gemiddeld 40 gew% pyrotechnisch mengsel, waarvan praktisch de helft buskruit is. Er is in 1992 naar schatting 4250 ton siervuurwerk afgestoken, waarin circa 1700 ton pyrotechnisch mengsel is verwerkt. Het siervuurwerk is verder opgebouwd met onderdelen van karton, kunststof, klei en hout.

Pyrotechnische mengsels worden sassen genoemd. Sassen bestaan uit een zuurstofbron, de oxidator en een vaste brandstof, de reductor. Als zuurstofbron worden meestal nitraten, (per)-chloraten en peroxiden toegepast. Metaalpoeders, koolstofverbindingen (suikers), zwavel, boor, en silicium zijn veelgebruikte brandstoffen. Na ontsteking van vuurwerk vindt een redox-reactie plaats waarbij de reductor elektronen overdraagt aan de oxidator. Tegelijkertijd vormen zuurstofatomen van de oxidator nieuwe stabielere, chemische bindingen met atomen van de brandstof, waardoor er energie vrijkomt. De warmte die vrijkomt ontsteekt de sassen.

Kleursassen

Door de vrijkomende warmte kan er atomaire emissie optreden, namelijk als de hitte een elektron aanslaat en deze in een hogere energietoestand brengt. Het aangeslagen elektron wil z'n overtollige energie kwijt en zendt daarom straling met een specifieke golflengte uit, die je ziet als een bepaalde kleur.

De kleursassen bestaan uit actieve metalen zoals aluminium, magnesium en titanium welke bij hoge temperaturen een helder licht geven. Andere bereiken minder hoge temperaturen en produceren een goudkleurige vonkenregen zoals houtskool en ijzerdeeltjes. Natrium een van de meest krachtige lichtgevendende atomen geeft geel-oranje licht. Voor elke kleur is een andere vlamkleurende verbinding nodig, zo geeft barium groene kleuren en strontium produceert rode kleuren (Zuylen van, 1990), (Anonymus, 1990).

2.1 Samenstelling vuurwerk

Het aantal soorten en de samenstelling van vuurwerkproducten is zeer divers. De samenstelling varieert al naar gelang de fabrikant en het beoogde effect. De hoeveelheid pyrotechnisch mengsel kan variëren tussen 0.1 en 100 gram per produkt.

Hieronder is een globale indruk gegeven van de hoeveelheid pyrotechnisch mengsel in het betreffende produkt:

knalvuurwerk maximaal enkele grammen zwart kruit

siervuurwerk	grondtollen	1 - 10 gram	pyrotechnisch mengsel
	romeinse kaarsen	10 - 15 gram	
	fontein	30 - 50 gram	
	vuurpijlen	5 - 20 gram	

Informatie over de samenstelling van vuurwerkproducten is verkregen uit produktinformatie van diverse vuurwerkfabrikanten, bestaande uit datasheets van circa 100 produkten, waarop de samenstelling van pyrotechnisch mengsels van elk type vuurwerk is vermeld. Uit deze datasheets blijkt dat het aantal grondstoffen waaruit pyrotechnisch mengsels zijn samengesteld, beperkt is tot ongeveer 20 grondstoffen, waarvan er 15 relatief veel voorkomen.

Met behulp van de datasheets is voor deze 15 grondstoffen bepaald wat de aanwezigheidskans en het gemiddelde gewichtsandaal in vuurwerkproducten is. Met behulp van deze gegevens en de hoeveelheid pyrotechnisch mengsel (circa 1700 ton), is er in tabel 2.2 een schatting gemaakt van het grondstoffengebruik voor siervuurwerk. Aangenomen is dat de produkten op de sheets representatief zijn voor de totale vuurwerkomzet.

Tabel 2.2 Grondstoffengebruik voor siervuurwerk

Stofnaam pyrotechnisch mengsel;	Aanwezigheidskans (%)	Samenstelling (gew. %)	Grondstofgebruik (ton)
Kalium Nitraat (KNO ₃)	99	32	540
Zwavel (S)	99	9	150
Koolstof (C)	99	13	220
Kaliumperchloraat (KClO ₄)	75	19	240
Aluminium, Magnesium (Al+Mg)	95	10	160
Strontiumcarbonaat (SrCO ₂)	75	4	50
Bariumnitraat (Ba(NO ₃) ₂)	90	12	185
Koperoxide (CuO)	25	10	40
Titanium (Ti)	10	7	12
Antimoonsulfide (Sb ₂ S ₃)	5	6	5
IJzer (Fe)	10	21	36
Poly-vinyl chloride (PVC)	25	2	8
Kaliumoctoaat (C ₈ H ₅ KO ₂)	5	15	13
Lactose	50	2	17
Phenolhars	10	3	5

3. Emissie- en afvalfactoren

Het grootste deel van de emissies is in eerste instantie te beschouwen als luchtmissie, maar alle vaste deeltjes zullen vroeger of later op het aardoppervlak terecht komen (secundaire emissies). Alleen gericht onderzoek zal kunnen uitwijzen in welke vorm de metalen worden geëmitteerd (gasvormig of aërosol met bepaald deeltjesgroottespectrum). De verblijftijd en de verspreiding in de atmosfeer zijn sterk van deze gegevens afhankelijk.

Het afval afkomstig van vuurwerk bestaat grotendeels uit emballage en konstruktie materiaal. Dit materiaal blijft op de plek waar het vuurwerk wordt afgestoken of valt korte tijd na lancering op de bodem.

3.1 Emissies

De emissies die vrijkomen bij het afsteken van vuurwerk zijn wat betreft het kruitaandeel beperkt tot gasvormige produkten (CO_2 , N_2 , CO) en stof.

De lichtsassen in siervuurwerk bevatten metalen. Bij het afsteken van het vuurwerk komen er zodoende emissies vrij van zware metaalverbindingen in de vorm van chlorides en/of oxides. De lichtsassen bevatten als grondstof voor het rode licht; strontiumnitraat ($\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$), voor het groene licht bariumnitraat ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$) en voor blauw licht wordt koperoxide (CuO) gebruikt (Leenders, 1992).

Aan de hand van het geschatte grondstoffengebruik en reactievergelijkingen die plaatsvinden bij het afsteken van vuurwerk is het mogelijk om een inschatting van de emissies te maken. Deze emissies als gevolg van het afsteken van vuurwerk zijn gegeven in tabel 3.1

Naar schatting 80% van het siervuurwerk bestaat uit zogenaamd grondsiervuurwerk, zoals fonteinen, grondtollen enzovoort. Direkt na het afsteken van grondsiervuurwerk kan men waarnemen dat gloeiende spetters in de direkte omgeving op de bodem terecht komen. Op grond van vergelijking van immissiemetingen afkomstig van het landelijk meetnet van het RIVM (Noordijk, 1993) en de berekende stofemissies wordt voorlopig de aanname gehanteerd, dat slechts 10% van de emissie bestaat uit een "airborn" fractie van fijn stof. De overige 90%, zo wordt aangenomen, zal in de direkte omgeving van de plaats van afsteken neerslaan (in de orde van 10-tallen meters). In stedelijk gebied zal van deze fractie een groot deel (gemiddelde afvloeiingcoëfficiënt 68%) afspoelen en via de riolering naar een waterzuiveringsinstallatie of rechtstreeks op het oppervlaktewater geloosd worden. Het restant blijft achter op de bodem. In de rioolwaterzuivering wordt een deel van de aangevoerde stoffen afgevoerd via het slib. Voor de berekening van de oppervlaktewaterbelasting is zoveel mogelijk uitgegaan van landelijke verwijderingsrendementen (CBS, 1992).

Tabel 3.1 Schatting van gasvormige componenten, die in 1992 zijn geëmitteerd als gevolg van het afsteken van vuurwerk.

Component:	Emissie: (ton)
CO ₂	220
CO	35
CH ₄	4
H ₂ S	6
SO ₂	10
N ₂ O	10

Tabel 3.2 Schatting van stofvormige componenten, die in 1992 als gevolg van het afsteken worden geëmitteerd en de belasting van de verschillende milieucompartimenten als gevolg van secundaire emissies.

Component:	Primaire emissie	verdeling over de compartimenten:			
	Totaal (ton)	Fijn stof emissie (ton)	Oppervl. water (ton)	Rioolslib (ton)	Bodem (ton)
Strontium (Sr)	30	3	11	7	9
Barium (Ba)	125	12	46	31	36
Koper (Cu)	35	3	11	10	10
Antimoon (Sb)	5	0.5	1.5	1	1
Ov. stof componenten [?]	530	55	215	110	150

[?] de overige stofvormige verbindingen bestaan voornamelijk uit kaliumcarbonaten, sulfaten en sulfieten.

3.2 Afval

Voor de constructie van siervuurwerk gebruikt men papier, karton, hout, kunststof en China-
klei. In knalvuurwerk wordt praktisch alleen papier toegepast. Na het afsteken van vuurwerk
komen deze materialen als vast afval op de bodem terecht. Na verloop van tijd wordt het
merendeel met het huishoudelijk afval of straatvuil afgevoerd. In tabel 3.3 is een schatting
gemaakt van de afvalstromen, die vrijkomen als gevolg van het afsteken van vuurwerk.

Tabel 3.3 Schatting van de hoeveelheid afval dat in 1992 ontstaan is, als gevolg van het afsteken van vuurwerk.

Afvalmateriaal (ton):	knalvuurwerk	siervuurwerk
papier/karton	630	2335
hout		80
kunststof		80
klei		80

3.3 Emissiefactoren

Gebaseerd op de totale hoeveelheid stoffen die geëmitteerd worden en de hoeveelheden verkocht vuurwerk, zijn in tabel 3.4 emissiefactoren per kilogram vuurwerk berekend.

Tabel 3.4 Emissiefactoren voor het afsteken van vuurwerk

	Component	Knalvuurwerk (g/kg vuurwerk)	Siervuurwerk (g/kg vuurwerk)
Luchtemissie:	CO ₂	22	47
	CO	3.5	7.5
	CH ₄	0.4	0.9
	H ₂ S	0.6	1.3
	SO ₂	1	2.1
	N ₂ O	1	2.1
Fijn stof: waarvan	Sr		0.7
	Ba		2.8
	Cu		0.7
	Sb		0.1
	Ov. comp. ⁷	5	11.4
Bodememissies (sec) waarvan	Sr		6.3
	Ba		26
	Cu		7.4
	Sb		1
	Ov. comp. ⁷	47	102
Afval:	Papier/karton	900	540
	Hout		18
	Klei		18
	Kunststoffen		18

⁷ de overige stofvormige verbindingen bestaan voornamelijk uit kaliumcarbonaten, -sulfaten en -sulfieten.

4. Energieverbruik en energiefactoren

Het energiegebruik dat met deze produkten samenhangt, vloeit vooral voort uit de produktie ervan. Dit laatste valt buiten het bestek van het gehanteerde format.

5. Maatregelen en kosten van maatregelen

De laatste jaren is er verschuiving in de verkoop geweest van knalvuurwerk naar het luxere siervuurwerk. Dit is te danken aan voorlichtingscampagnes over geluidsoverlast, veiligheid en de strengere normen betreffende de geluidsproduktie. Uit milieuoogpunt is dit geen vooruitgang, aangezien het siervuurwerk zware metalen bevat. Siervuurwerk waarin kleursassen zijn verwerkt op basis van relatief onschuldig houtskool en ijzerdeeltjes en dergelijke, zijn te verkiezen boven vlamkleurende verbindingen die barium en strontium bevatten. Voor zover er kosten aan deze maatregelen zijn verbonden, hebben deze vooral betrekking op research- en produktiekosten.

Een mogelijkheid om de emissie van vuurwerk te verminderen kan zijn om op centrale plaatsen, door de overheid, een gratis toegankelijke vuurwerkmanifestatie te organiseren.

6. Onderzoek naar schone processen en produkten

Voor zover bekend, vindt er geen structureel onderzoek plaats naar alternatieve samenstellingen voor pyrotechnische mengsels in vuurwerk.

7. Normstelling en regelgeving

In de warenwet is een vuurwerkbesluit opgenomen, waarin o.a. normen voor het maximaal geluidsniveau zijn opgenomen en een verbod voor het metaal Cadmium. Het is bekend dat illegaal vuurwerk dikwijls niet aan geluidsnormen voldoet en vaak een onvolspelbaar ontstekingsgedrag vertoont (onveilig). Niet bekend is of dit illegale vuurwerk tevens meer of minder milieubezwaarlijke stoffen bevat.

8. Referenties

Zuylen van A. 1990

Chemie van gillende keukenmeiden

In Tijdschrift Chemisch Magazine, pag. 634-635, december 1990.

Anonymus, 1990

De kunst van de pyrotechniek

In Tijdschrift Polytechnisch Tijdschrift, pag. 18-21, december 1990.

Leenders, J. 1992

Schriftelijke informatie

TNO-Defensie, Rijswijk.

Terpstra, 1992

Persoonlijke mededelingen

Fa. Schuurmans, Leeuwarden.

Koster de, 1992

Persoonlijke mededelingen

Federatie van Vuurwerkimporteurs, Drachten.

Smit, 1992

Persoonlijke mededelingen

Centraal Bureau voor de Statistiek, afdeling import/export, Heerlen.

Berenschot, J. 1992

Lekker op vakantie van de illegale knalcenten

Krantenartikel, Apeldoornse Courant, Stichting Consument en Veiligheid

14 november 1992, Apeldoorn.

Kodde, B. 1992

Schriftelijke informatie vuurwerkdatasheets

TNO-PML, Rijswijk.

Stout, G. 1990

Explosiechemie

In Tijdschrift Natuur en Techniek, pag.850 - 854, nr. 12, 1990.

Noordijk, H. 1993

Luchtverontreiniging door vuurwerk tijdens de jaarwisseling van 1992-1993. RIVM, Bilthoven.

CBS, 1992

Waterkwaliteitsbeheer, deel b, zuivering afvalwater.

CBS, 1994, Voorburg/Heerlen.