

Vuurwerk

*door Arthur van Zuylen,
wetenschapsjournalist*

Deze Chemische Feitelijkheden is geschreven in samenwerking met ing. Rutger Webb en drs. Jos M. Mul, TNO Prins Maurits Laboratorium, Postbus 45, 2280 AE Rijswijk.
tel. 015 284 2842, e-mail: mul@pml.tno.nl

1.	Inleiding	194- 3
2.	Pyrotechniek	194- 4
3.	Pyrotechnische effecten	194- 5
3.1	Kleureffecten	194- 5
3.2	Geluids- en rooeffecten	194- 6
4.	Opbouw en constructie	194- 7
4.1	Rotjes	194- 8
4.2	Sterretjes	194- 8
4.3	Romeinse kaarsen	194- 8
4.4	Vuurpijlen	194- 9
4.5	Mortierbommen	194- 9
5.	Milieuaspecten	194-10
5.1	Luchtverontreiniging	194-11
5.2	Eco-vuurwerk	194-12
6.	Veiligheid en regelgeving	194-12
6.1	Consumentenvuurwerk	194-14
6.2	Professioneel vuurwerk	194-14
7.	Literatuur en referenties	194-15

1. Inleiding

Elke jaarwisseling is het weer raak: in Nederland schieten particulieren dan voor vele miljoenen euro's aan vuurwerk de lucht in. Ook gedurende de rest van het jaar is vuurwerk populair, want dan zijn er talloze feesten waarbij professionele bedrijven een vuurwerkshow verzorgen. De Enschedese vuurwerkrampe van mei 2000 heeft daar nauwelijks verandering in gebracht.

De populariteit van vuurwerk komt niet uit de lucht vallen, want het fenomeen werd al 1600 jaar geleden ontdekt in het Byzantijnse rijk. Aanvankelijk gebruikte men vuurwerk vooral om boze geesten te verjagen met luide knallen en lichteffecten, maar later kreeg het steeds meer de functie van spectaculair vermaak.

Het maken van vuurwerk – de pyrotechniek – was eeuwenlang een ware kunst. De term stamt dan ook af van het Griekse *pyr* (vuur) en *techne* (kunst). Via experimenten ontdekten men chemische recepten en mengprocessen, die van generatie op generatie als familiegeheim werden overgedragen. Zelfs vandaag de dag speelt dergelijke overlevering nog een rol en domineren in verschillende landen nog steeds familiebedrijven de vuurwerkindustrie. Door die geheimhouding vond er vrij weinig wetenschappelijk pyrotechnisch onderzoek plaats en mede daardoor zijn de basisprincipes van vuurwerk eeuwenlang haast onveranderd gebleven. Pas na de Tweede Wereldoorlog maakte de wetenschap serieus zijn intrede in de pyrotechniek en werden de fysische en chemische processen van vuurwerk ontrafeld, waardoor het ontwikkelen van vuurwerk minder een kwestie werd van *trial and error*. Dankzij de verbeterde kennis van de vaste stof chemie is de kwaliteit en veiligheid van het vuurwerk en de vuurwerkproductie toegenomen.

Helaas gaat het toch vrijwel elke jaarwisseling weer mis: jaar in jaar uit overlijdt een handvol vuurwerkslachtoffers en vallen er enkele tientallen (zwaar)gewonden door vuurwerk. Ironisch genoeg stopte de Stichting Ideële Reclame (SIRE) enkele maanden voor de ramp in Enschede met de publiekscampagne „Je bent een rund als je met vuurwerk stunt”, die het veilig omgaan met vuurwerk bevorderde. Met subsidie van het ministerie van VROM is de vuurwerkcampagne sindsdien ondergebracht bij de Stichting Consument en Veiligheid.

2. Pyrotechniek

Vuurwerk bestaat uit één of meerdere pyrotechnische mengsels, de zogeheten „sassen”. De belangrijkste en meest gebruikte sas is zwart buskruit, dat als basis dient voor de explosieve reactie in vuurwerk. Daarnaast is er voor elk type effect – zoals licht-, knal-, fluit- en rooeffecten – een apart type sas (zie paragraaf 3). Verder zitten er in vuurwerk verschillende hulpstoffen bijvoorbeeld bindmiddelen en stoffen die vroegtijdige oxidatie van metaaldeeltjes voorkomen (zie tabel 2).

Een sas bestaat uit een oxidator (een zuurstofbron) en een reductor (de brandstof). Bij het afsteken van vuurwerk treedt er een snelle redoxreactie op, waarbij de reductor elektronen overdraagt aan de oxidator. Vergeleken met een reactie aan „gewone” lucht is er veel meer zuurstof beschikbaar, waardoor de reactie heftiger verloopt en er veel energie vrijkomt in de vorm van warmte. Pyrotechnici noemen zo’n snelle redoxreactie een „deflagratie” of explosieve verbranding. Is de reactiesnelheid groter dan de snelheid van het geluid, dan spreken ze van een „detonatie”: er ontstaat dan een schokgolf in de lucht, die je hoort als een knal.

Zwart buskruit werd meer dan duizend jaar geleden vermoedelijk ontdekt door de Chinezen en belandde in de Middeleeuwen in Europa. Het vond toen niet alleen zijn weg in vuurwerk, maar ook in wapens (geweren, kanonnen) en later ook als explosief in de mijnbouw. Zwart buskruit is een mengsel van salpeter (kaliumnitraat, KNO_3), houtskool (C) en zwavel (S) in een verhouding van 75:15:10. Hierin is kaliumnitraat de zuurstofbron (oxidator) en zwavel plus koolstof de reductor. Bij ontsteking van zwart buskruit treden twee „overall” reacties op:



De warmte die bij deze reacties vrijkomt, ontsteekt de andere sassen die met het buskruit gemengd zijn.

Zwart buskruit is een bijna ideaal pyrotechnisch mengsel, omdat de grondstoffen vrij goedkoop zijn en de ingrediënten relatief onscha-

delijk voor mens en milieu. Zolang het droog blijft, is het bovendien lang houdbaar.

3. Pyrotechnische effecten

De chemisch gezien eenvoudigste effecten van vuurwerk zijn licht-effecten, zoals flitsen en sterretjes. Deze effecten worden bereikt via gloeiende deeltjes die straling uitzenden. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij de oxidatie (verbranding) van poeder van magnesium (Mg) en aluminium (Al), waarbij wit licht ontstaat doordat de temperatuur bij deze reactie oploopt tot 3000 °C. Hetzelfde proces treedt op bij de oxidatie van deeltjes ijzer (Fe) en houtskool (C), waarbij echter goudgeel licht ontstaat doordat de temperatuur „slechts” 1500 °C wordt.

Of er bij deze reacties flitsen dan wel vonken (sterretjes) ontstaan, hangt af van de grootte van de deeltjes: in fijn vermalen poeder vindt een snelle verbranding plaats en verloopt de oxidatiereactie letterlijk en figuurlijk in een flits, terwijl grotere deeltjes langzamer oxideren en vonken opleveren.

3.1 Kleureffecten

Voor echte kleureffecten in vuurwerk zijn ingewikkeldere chemische reacties nodig, waarbij een atomaire emissie optreedt. Hierbij wordt een elektron van de kleursas door de hitte „aangeslagen” waarbij het atoom in een hogere energietoestand wordt gebracht; het atoom wil zijn overvloedige energie vervolgens kwijt en zendt daarom straling uit met een bepaalde golflengte, die wij als kleur waarnemen. Afhankelijk van de chemische verbinding die je in de kleursas stopt, krijg je een bepaalde kleur: barium (Ba)verbindingen leveren groen licht op, strontium (Sr)verbindingen rood licht, koper (Cu)verbindingen blauw licht, etc. Om deze reacties te laten verlopen wordt aan de kleursas ook polyvinylchloride (PVC) of een andere chloorverbinding toegevoegd, waaruit bij hoge temperaturen vrije chlooratomen ontstaan. Deze chlooratomen reageren met de barium- of strontium- of koperverbinding tot chloriden, die in de gewenste aan-

geslagen toestand raken en bij terugval licht uitzenden. Daarnaast zijn er enkele hydroxides verantwoordelijk voor de kleureffecten (zie tabel 1).

Tabel 1. *Kleureffecten in vuurwerk*

Kleur	Golflengte (nm)	„Aangeslagen” atoom of chloride (kleurgevend)	Basisverbinding voor kleureffect
Geel	589	Na	Na ₂ C ₂ O ₄ , Na ₃ AlF ₆ , NaNO ₃
Oranje	580-635	CaCl	
Rood	623-675	SrCl	SrCO ₃ , Sr(NO ₃) ₂
	607-610	SrOH	
Groen	505-532	BaCl	Ba(NO ₃) ₂
	487-527	BaOH	Ba(ClO ₃) ₂ ·H ₂ O
Blauw	403-530	CuCl	CuO, CuCO ₃

3.2 Geluids- en rooeffecten

Knaleffecten ontstaan zoals gezegd door een deflagratie of een detonatie, een reactie die sneller verloopt dan de snelheid van het geluid. Het geluid van gillende keukenmeiden en soortgelijk vuurwerk wordt bereikt door verbindingen als kaliumbenzoesaat (C₆H₅COO⁻ K⁺ en kaliumperchloraat (KClO₄), die bij ontsteking een „oscillerende” verbranding opleveren aan het oppervlak van een dunne geperste kolom in een open buisje. Dit veroorzaakt een fluitende toon. Rooeffecten worden bereikt door in een sas bepaalde stoffen te mengen. Een voorbeeld hiervan is zinkpoeder (Zn) dat in combinatie met chloorhoudende verbindingen reageert tot zinkchloride (ZnCl₂).

Tabel 2. *Voorbeelden van chemische verbindingen* die in vuurwerk aanwezig kunnen zijn*

Verbinding	Functie/Effect
aluminium (Al)	witte sterretjes
antimoon (Sb)	glitters
Arabische gum	bindmiddel

Verbinding	Functie/Effect
calciumcarbonaat (CaCO_3)	stabilisator
calciumoxalaat (CaC_2O_4)	kleurversterker
cryoliet (Na_3AlF_6)	gele kleur
dextrine	bindmiddel
kaliumperchloraat (KClO_4)	oxidator
klei	scheiding tussen compartimenten
lijnzaadolie/polyester	voorkomt oxidatie metaaldeeltjes
magnesium (Mg)	brandstof, witte kleur
polyvinylchloride	kleurversterker/bindmiddel
titanium (Ti)	witte sterretjes
ijzer (Fe)	witte sterretjes
zink (Zn)	brandstof, rookgenererend deeltje
zwart buskruit (mengsel van KNO_3 , C en S)	zuurstofbron en brandstof

*uitgezonderd de verbindingen die de kleureffecten opleveren (voor kleureffecten zie tabel 1)

4. Opbouw en constructie

Er worden in de praktijk twee soorten vuurwerk onderscheiden: consumentenvuurwerk („klein vuurwerk”) en professioneel evenementenvuurwerk („groot vuurwerk”). Het gros van het consumentenvuurwerk is afkomstig uit China. Veel van het professionele vuurwerk komt eveneens uit China, maar ook landen als Japan, Italië, Duitsland en de VS leveren professioneel vuurwerk. De Nederlandse vuurwerkfabrieken zijn stuk voor stuk assemblagefabrieken, die op basis van kant-en-klaar vuurwerk speciale sets bouwen. Vroeger moesten de onderdelen van die sets met de hand worden ontstoken, tegenwoordig gebeurt dit computergestuurd. Daarbij zet een computer in een vooraf geprogrammeerde volgorde op afstand (elektronische) ontstekers in actie, die het vuurwerk laten ontbranden.

Binnen die twee categorieën bestaan talloze vuurwerkvarianten. Wat betreft het consumentenvuurwerk is 90% van de verkoop in Nederland siervuurwerk, de rest is knalvuurwerk – waarbij het al jaren een trend is dat mensen steeds duurder siervuurwerk kopen. Qua opbouw verschillen sier- en knalvuurwerk wezenlijk van elkaar, maar ook binnen het siervuurwerk is de variatie groot.

4.1 Rotjes

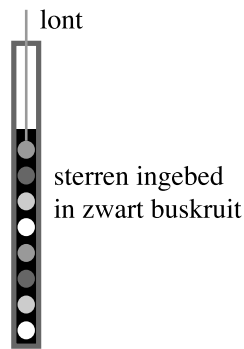
Rotjes en verwante knallers, zoals zevenklappers, behoren tot de eenvoudigste en oudste vormen van vuurwerk. In feite bestaan ze uit niet meer dan een papieren hulsje met daarin een lont en een opgesloten vulling van zwart buskruit. Om een felle lichtflits te krijgen wordt er soms aluminium- of magnesiumpoeder aan toegevoegd.

4.2 Sterretjes

Sterretjes worden ook wel „kindervuurwerk” of „koud vuurwerk” genoemd. Misleidend, want de goudkleurige vonken zijn wel degelijk heet – kijk maar eens naar het witheet gloeiende staafje van een brandend sterretje. Sterretjes bestaan uit een ijzeren draadje waarop met behulp van een bindmiddel (zoals stijfsel) een brandstof (doorgaans houtskool en zwavel) gecoat zit. Na ontsteking brandt de brandstof op met zuurstof uit de lucht. Het sterretjeseffect wordt bereikt door aan de substantie ook ijzerdeeltjes toe te voegen, die na ontsteking verbranden en wegspringen.

4.3 Romeinse kaarsen

Romeinse kaarsen en Bengaals siervuurwerk bestaan uit een kartonnen huls die gevuld is met zwart buskruit waarin verschillende kleursassen zitten. De brandstof wordt via een lont aan de bovenkant aangestoken, waarna via de brandstof automatisch de kleursassen worden ontstoken en omhoog schieten uit de koker. Bij de Romeinse kaarsen zijn de kleursassen bolvormig verpakt met behulp van een bindmiddel zoals Arabische gom (zie figuur 1).



Figuur 1. Romeinse kaars met verschillende kleursassen ingebed in de brandstof.

4.4 Vuurpijlen

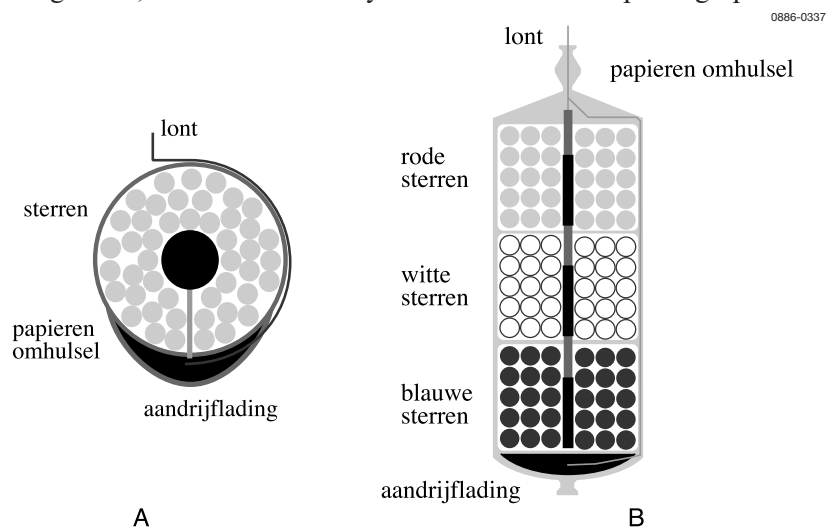
Vuurpijlen bestaan uit twee hoofdcomponenten. In de eerste plaats de „motor” (doorgaans een open kartonnen verbrandingskamer gevuld met zwart buskruit), die na ontsteking zorgt voor de voorstuwing en daarmee het opstijgen van de pijl. De tweede component bevindt zich in de kop van de vuurpijl. Dit is de zogenaamde effectlading die door een vertragend lont pas op hoogte tot ontsteking komt en daar voor knal- en/of kleureffecten zorgt – afhankelijk van de sassen die erin zitten.

4.5 Mortierbommen

Het meest spectaculaire professionele siervuurwerk wordt zonder meer gevormd door de zogeheten mortierbommen die op grote hoogte tot ontsteking komen. Zo'n mortierbom bestaat uit een omhulsel met meerdere ladingen die ná elkaar worden ontstoken. In eerste instantie zorgt een zogeheten „uitdrijflading” (bijvoorbeeld zwart buskruit) ervoor dat de mortierbom als een soort kanonskogel uit een mortierbuis wordt verschoten. Via een vertragend lont worden vervolgens op de gewenste hoogte de sassen in de bom ontstoken.

In Amerikaans/Europees vuurwerk zitten de sassen in de mortierbom willekeurig verdeeld tussen de springlading, waardoor je een

onregelmatige uitspatting van gekleurd licht ziet. In Japans vuurwerk zijn de kleursassen bolvormig rond de springlading gearangschikt, waardoor er een symmetrische lichtuitspatting optreedt.



Figuur 2. (A) Een ronde granaat of Oosterse stijl. Een vertragend lont ontsteekt de lading waardoor de sterren verspreiden.

(B) Een cilindrische granaat of Italiaanse stijl. Elke trap is verbonden door een vertragend lont met een ontstekende lading.

5. Milieuspecten

Vuurwerk mag dan een spektakel zijn om naar te kijken, voor het milieu is het minder prettig. Tijdens de jaarwisseling is stevast een piek waarneembaar in de luchtverontreiniging, en dan vooral in de grotere steden. Het grootschalig afsteken van vuurwerk leidt tot verhoogde hoeveelheden fijne stofdeeltjes en (broeikas)gassen als zwaveloxide (SO_2), kooldioxide (CO_2), stikstofoxide (N_2O) en methaan (CH_4) in de atmosfeer. Bovendien is er na de jaarwisseling altijd sprake van een (piek)belasting door (zware) metalen zoals antimoon (Sb), strontium (Sr) en barium (Ba).

5.1 Luchtverontreiniging

Wat betreft de broeikasgassen is de uitstoot gering ten opzichte van de totale jaarlijkse uitstoot door andere bronnen, zoals het verkeer. De stofdeeltjes zijn echter een ander verhaal. Uit cijfers van het RIVM blijkt bijvoorbeeld dat na de jaarwisseling van 2002 de concentraties stofdeeltjes in de grote steden gedurende de nacht zó hoog lagen, dat het daggemiddelde opliep tot ruim $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – met pieken van $1000\text{--}1700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ter vergelijking: de dagwaarde voor „ernstige smog” ligt op $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Hoe sterk het luchtvervuilende effect van vuurwerk is, hangt af van de weersomstandigheden: bij weinig wind en een hoge luchtvochtigheid blijft de vuurwerksmog langer hangen. De hogere stofconcentratie in de atmosfeer is weliswaar meestal van vrij korte duur, maar kan bij sommige mensen (zoals CARA-patiënten) tot ademhalingsproblemen leiden.

Tabel 3. Jaarlijkse uitstoot luchtverontreinigingen a.g.v. vuurwerk (Nederland)

Product	normale totale uitstoot (kg × 1000)	extra uitstoot vuurwerk (kg × 1000)	aandeel vuurwerk (%)
Stof	100.000	500	0,5
Zwaveloxide (SO ₂)	207.000	300	0.02
Mg- en Al-oxiden (MgO/Al ₂ O ₃)	3000	20	0.7
Barium (Ba)	3	10	>300
Strontium (Sr)	0.03	10	>30000

Een bijkomende complicatie is dat al die stofdeeltjes plus de aanwezige (zware) metaaldeeltjes en andere chemische componenten uiteindelijk op de bodem en in het oppervlaktewater terechtkomen. Die deeltjes worden daar niet afgebroken, waardoor ze zich in het milieu ophopen en schadelijk zijn voor organismen. Een voorbeeld: uit cijfers van het RIVM blijkt dat al het strontium (Sr) dat in het milieu terechtkomt afkomstig is van vuurwerk. En volgens het RIVM is meer dan 40 procent van de totale jaarlijkse emissie van 75.000 kg koper (Cu) in het oppervlaktewater afkomstig van vuurwerk. Dieren als vissen, regenwormen en schapen zijn gevoelig voor hoge koperconcentraties, en bij de mens leidt een hoge koperinname tot geïrriteerde slijmvliezen, maagklachten en leverschade. Ook

zware metalen als lood (Pb), die in vuurwerk voorkomen, zijn giftig voor de mens, al zal eenmalige blootstelling bij lage concentraties niet snel voor problemen zorgen.

5.2 Eco-vuurwerk

Vanwege de nadelige milieuaspecten van vuurwerk wordt er onderzoek gedaan naar milieuvriendelijk „groen” eco-vuurwerk. Mondjesmaat, want de markt voor vuurwerk wordt gedreven door de prijs en milieuvriendelijker vuurwerk zal per definitie duurder zijn, omdat het productieproces nauwer luistert.

De afgelopen jaren zijn er echter aardige stappen gezet. Zo heeft de researchgroep Pyrotechniek en Energetische Materialen van TNO's Prins Maurits Laboratorium in Rijswijk geëxperimenteerd met minder milieubelastende chemische componenten in vuurwerk. Voor het genereren van rood licht komen bijvoorbeeld lithium (Li)- en calcium(Ca)verbindingen in aanmerking als vervanger van strontium(zouten) en voor het genereren van groen licht lijkt borium (B) een goed alternatief als vervanger van barium(zouten). Het bleek niet eens zo moeilijk om combinaties van dergelijke stoffen te vinden die bij verbranding aansprekende kleureffecten opleverden, zoals hel oranje, groen en rood licht (blauw en paars licht liggen nog niet in het bereik van eco-vuurwerk). Wel blijkt de samenstelling van de mengsels veel kritischer te zijn: iets te veel of te weinig van een bepaalde component levert al snel een kleursas op die flets ontbrandt omdat niet de juiste omstandigheden in de vlam worden bereikt. Voorlopig zal dit soort vuurwerk waarschijnlijk niet verder komen dan de labtafel. In de eerste plaats omdat het zich nog in een experimenteel stadium bevindt, in de tweede plaats omdat de vuurwerkindustrie er vooralsnog weinig heil in lijkt te zien.

6. Veiligheid en regelgeving

Door de vuurwerkcramp van Enschede zijn de gevaren van vuurwerk in Nederland hoog op de politieke agenda gekomen. Na dit grote ongeluk is het nieuwe „Vuurwerkbesluit” (Vwb) tot stand gekomen,

dat in maart 2002 van kracht is geworden en waarin nieuwe – lees: strengere – eisen zijn opgenomen voor consumentenvuurwerk en professioneel vuurwerk. In het oude Vuurwerkbesluit Wms (dat is ingetrokken met het van kracht worden van het nieuwe Vuurwerkbesluit) werden slechts eisen gesteld aan handelingen met betrekking tot vuurwerk voor particulier gebruik. In het nieuwe Vwb worden ook algemene productveiligheidseisen aan vuurwerk gesteld en daarnaast worden aan consumentenvuurwerk nog specifieke eisen gesteld, waaraan de fabrikant en importeur moeten voldoen (Regeling Nadere eisen aan vuurwerk). VROM overweegt om binnen afzienbare tijd regels te stellen aan typekeuring voor zowel consumenten- als professioneel vuurwerk. Het ligt in de bedoeling dat de voorschriften voor een dergelijke typekeuring door de Minister van VROM worden vastgesteld.

Daarnaast heeft het ministerie van VROM op aanraden van de commissie-Oosting (die de vuurwerkcramp onderzocht) begin 2002 het *Expertise Centrum voor Externe Veiligheid en Vuurwerk* (CEV) opgericht, dat is ondergebracht bij het RIVM in Bilthoven. Dit centrum adviseert zowel de rijksoverheid, de provincies als de gemeenten over de veiligheidsrisico's van (professioneel) vuurwerk en dient voor deze instanties als vraagbaak bij de vergunningverlening en de handhaving van de bestaande regelgeving. Verder zorgt het CEV voor de landelijke registratie van risicosituaties met gevaarlijke stoffen.

Tabel 4. *Gevarenclassificatie voor vervoer van ontplofbare stoffen*

Classificatie	stoffen en voorwerpen
1.1	met gevaar voor massa-explosie
1.2	met gevaar voor scherfwerking
1.3	met gevaar voor brand (deflagratie)
1.4	geen gevaar van betekenis
1.5	ongevoelig, mogelijke massa-explosief
1.6	extreem ongevoelige, niet massa-explosief

6.1 Consumentenvuurwerk

Uit veiligheidsoverwegingen zijn er door de overheid strenge regels opgesteld voor de verkoop en het afsteken van consumentenvuurwerk. Dit soort vuurwerk mag in Nederland alléén worden verkocht aan mensen van 16 jaar en ouder, en bovendien alléén op de laatste drie werkdagen van het jaar. Consumentenvuurwerk mag alleen worden afgestoken tussen 31 december tien uur 's morgens en 1 januari twee uur 's nachts, al houdt niet iedereen zich hierraan.

Ook aan de vuurwerkproducten zelf zijn strenge eisen gesteld - onder meer via de Wet milieugevaarlijke stoffen. Consumentenvuurwerk mag niet meer dan 153 decibel geluid op twee meter afstand produceren (de pijngrens ligt bij circa 120 decibel), er moet een lont aan zitten (zogeneten „strijkers” zijn dus verboden), de brandtijd van dit lont moet zichtbaar zijn en tussen de drie en acht seconden liggen en de brandende delen moeten binnen een straal van twee meter bij de ontsteking blijven. Knalvuurwerk mag geen chlooraat bevatten en in alle vuurwerk is cadmium verboden vanwege de sterk milieuvervuilende effecten. Verder is Nederlandstalige gebruiksinformatie verplicht.

Verpakt consumentenvuurwerk moet, vanaf de inwerkingtreding van het nieuwe Vuurwerkbesluit, bestaan uit producten in de gevaarclassificatie 1.4 (zie tabel 4). Deze classificatie is bedoeld voor stoffen en voorwerpen die geen gevaar van betekenis opleveren.

6.2 Professioneel vuurwerk

Bij professioneel evenementenvuurwerk zijn de wettelijke bepalingen vooralsnog minder duidelijk, zelfs na „Enschede”. Het vervoer ervan valt (net als het vervoer van consumentenvuurwerk) onder de bepalingen en classificaties voor het vervoer van milieugevaarlijke stoffen.

De regelingen voor de opslag, het vervoer en het verwerken van groot vuurwerk zijn echter aan discussie onderhevig. TNO heeft in het voorjaar van 2001 een rapport uitgebracht met nieuwe adviezen voor de classificatie van evenementenvuurwerk, en naar verwachting vormt dat een bouwsteen voor de nieuwe regelgeving voor pro-

professionals die zich bezighouden met het afsteken van evenementenvuurwerk. Deze regels moeten medio 2003 van kracht gaan. Ook in Europees verband wordt echter gewerkt aan nieuwe regels, aangezien er de afgelopen jaren ook in andere EU-landen ernstige vuurwerkgelukken hebben plaatsgevonden.

7. Literatuur en referenties

- R. Lancaster, *Fireworks – Principles and Practices*, Chemical Publishing Company Inc., New York, 3rd edition, ISBN 0-8206-03546, 1998
- A. van Zuylen, *Chemie van gillende keukenmeiden*, *Chemisch Magazine*, 86, 1990, 12, 634-635.
- A. van Zuylen, *Vuurwerk: effectvolle chemie*, *Chemisch Weekblad*, 85, 1989, 51/52, 501.
- J. A. Conkling, *Pyrotechnics*, *Scientific American*, 263, 1990, 7, 66-73.
- Th. Wittemen, *Wet milieugevaarlijke stoffen*, *Chemische Feitelikheden*, 28, 1998, 168, 1-12.
- E. de Jong en W. Mak, *Vervoer van gevaarlijke stoffen*, *Chemische Feitelikheden*, 29, 1999, 162, 1-17.
- Vuurwerkbesluit, *Staatsblad*, 2002, 33, 114.

Internet

- www.jpyro.com, website van het Journal of Pyrotechnics.
- www.intlpyro.org, website van de International Pyrotechnics Society.
- www.infomil.nl/veilg/vuur1.htm: Het nieuwe vuurwerkbesluit: een overzicht