

De scheikunde van vuurwerk

Vertaald door Piet Das

De samenstelling van vuurwerk

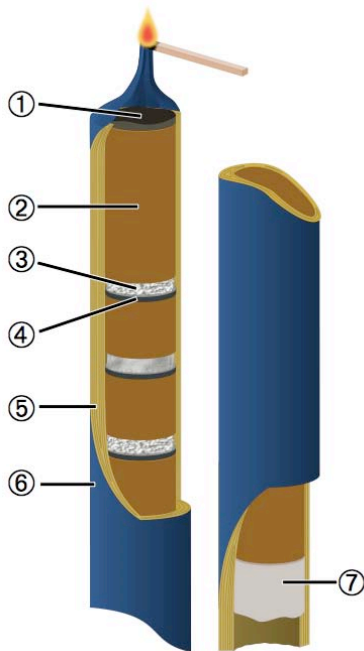
Het belangrijkste bestanddeel van vuurwerk heeft te maken met de pyrotechniek - het is een mengsel van stoffen die ontworpen zijn om warmte, licht, geluid, gas, rook of een combinatie van deze te produceren door middel van zichzelf onderhoudende exotherme reacties die niet van zuurstof uit externe bronnen afhankelijk zijn. In vuurwerk worden meestal vijf basisingrediënten gecombineerd.

1. Een brandstof die het mogelijk maakt dat de zogenaamde 'ster' gaan branden, het is meestal op basis van metaal of metalloïde poeders, of 'zwart poeder', een vorm van buskruit (een mengsel van zwavel, houtskool en kaliumnitraat);
2. Een oxiderende stof die (normaliter) zuurstof levert ter ondersteuning van de verbranding van de brandstof. Dit zijn meestal perchloraten (ClO_4^-), chloraten (ClO_3^-) of nitraten (NO_3^-), maar kan ook bestaan uit chromaten (CrO_4^{2-}) of oxiden (bv Cu_2O , Fe_3O_4 , ZnO_2);
3. Vlamkleurstoffen, meestal chloorzouten van geschikte metalen zoals strontium, natrium-of koper (zie tabel 1);
4. Een bindmiddel die de balletjes samenbindt, zoals gom of hars;
5. Een chloordonor om te reageren met de vlamkleurende metalen en die de kleurintensiteit zal verbeteren. Het is waarschijnlijk zo, dat het metaal (I) chloride (bijv. SrCl) in plaats van het meer gebruikelijke tweewaardige ion (bv. SrCl_2) de kleur produceert, dit is ongebruikelijk voor de Groep II metalen zoals strontium.

Ondersteunend materiaal voor:

Harrison T, Shallcross D (2011) "Smoke is in the air": hoe vuurwerk de luchtkwaliteit beïnvloedt. *Science in School* **21**: 47-51.

www.scienceinschool.org/2011/issue21/fireworks/dutch



Hoe ziet een Romeinse kaars er van binnen uit? (1) Ontstekingslading (gemakkelijk te ontsteken explosief poeder), (2) ladingsvertrager (langzaam brandend poeder), (3) pyrotechnische ster (vlamkleurende brandende metalen, meerdere sterren van verschillende soorten), (4) voortstuwende lading (explosief om de ster uit de buis te laten srpingen), (5) kartonnen koker, (6) inpakpapier (werkt ook als ontsteking), (7) afdichtingsklei

Publiek domein beeld; image bron: Wikimedia Commons



Pyrotechnische sterren, van links naar rechts: gestanste, geknipte en gerolde soorten balletjes

Afbeelding afkomstig van Nicolaj Ma; afbeelding bron: Wikipedia

Ondersteunend materiaal voor:

Harrison T, Shallcross D (2011) "Smoke is in the air": hoe vuurwerk de luchtkwaliteit beïnvloedt. *Science in School* **21**: 47-51.

www.scienceinschool.org/2011/issue21/fireworks/dutch

Scheikundig elementen	Gebruikt in vuurwerk
Al	Aluminium wordt gebruikt om zilveren en witte vlammen en sterretjes te produceren. Het is een normale component van sterretjes en het wordt vaak gemengd met magnesium voor extra helder licht bij vuurwerk.
Ba	Bariumzouten worden gebruikt om groen vuurwerk te maken (b.v. bariumchloride BaCl_2) en bariumcarbonaat wordt toegevoegd als een zuurbuffer.
C	Koolstof is een van de belangrijkste bestanddelen van 'zwart poeder' dat als brandstof wordt gebruikt in vuurwerk. Normale vormen van koolstof als brandstof zijn koolstofpoeder, suiker en zetmeel.
Ca	Calciumzouten worden gebruikt voor het verdiepen van kleuren; calciumchloride (CaCl_2) bijvoorbeeld produceert oranje vlammen.
Cl	Chloor vormt een belangrijk onderdeel van veel oxidatiemiddelen. Verscheidene van de metaalzouten die gebruikt worden voor de vlamkleuring zijn chloriden.
Cs	Cesiumdeeltjes helpen bij het oxideren van vuurwerkmengsels. Cesiumverbindingen, zoals cesiumnitraat (CsNO_3) geven een indigo kleur, cesiumnitraat wordt ook gebruikt bij het samenstellen van zwart licht, want het bevat geen natrium of kalium die uitzenden in het zichtbare lightspectrum.
Cu	Koper produceert blauw-groene kleuren en halogenen van koper, zoals koperchloride (CuCl_2) worden gebruikt om blauwe tinten te creëren.
Fe	Ijzer wordt gebruikt om sterretjes te produceren. De verbrandingstemperatuur van de metaaldeeltjes bepaalt de kleur van de sterretjes.
K	Kaliumnitraat (KNO_3), kaliumchloraat (KClO_3) en kaliumperchloraat (KClO_4) zijn belangrijke oxidatiemiddelen. Kaliumionen kunnen ook een violet-roze kleur geven.
Li	Lithiumzouten worden gebruikt om een roodachtige kleur te geven. Lithiumcarbonaat (Li_2CO_3) is een veel voorkomende kleurstof.
Mg	Magnesium verbrandt met een fel wit licht. Daarom wordt het gebruikt om sterretjes toe te voegen of om de algehele schittering van vuurwerk te verbeteren. Door zijn neiging om een beschermkap van magnesiumoxide te vormen wordt het normaal gebruikt om de legering magnalium te vormen.

Ondersteunend materiaal voor:

Harrison T, Shallcross D (2011) "Smoke is in the air": hoe vuurwerk de luchtkwaliteit beïnvloedt. *Science in School* 21: 47-51.

www.scienceinschool.org/2011/issue21/fireworks/dutch

Scheikundig elementen	Gebruikt in vuurwerk
Na	Natriumdeeltjes geven een gele kleur, waarvoor bijvoorbeeld natriumnitraat (NaNO_3) wordt gebruikt. De kleur is echter vaak zo scherp dat het andere, minder intense kleuren maskeert zoals de kleuren die door kaliumzouten worden geproduceerd.
O	Vuurwerk bevat oxidatiemiddelen, dit zijn stoffen die zuurstof produceren om er voor te zorgen dat iets gaat branden. De oxidatiemiddelen zijn meestal nitraten, chloraten of perchloraten. Soms wordt dezelfde stof gebruikt om zuurstof en kleur te geven, bijvoorbeeld, Sr (NO_3) ₂ geeft een rode kleur, maar ook zuurstof de verbrandingsreactie te onderhouden.
P	Witte fosfor verbrandt spontaan in de lucht en is ook verantwoordelijk voor bepaalde “glow-in-the-dark” effecten. Het kan een onderdeel zijn van de brandstof in het vuurwerk.
S	Zwavel is een onderdeel van ‘zwart poeder’ en zit daarom als brandstof in vuurwerk.
Sb	Antimoon wordt gebruikt als glitter effecten in vuurwerk
Sr	Strontiumzouten zoals strontiumcarbonaat (SrCO_3) geven een felle rode kleur. Strontiumdeeltjes zijn ook belangrijk om vuurwerkmengsels te stabiliseren.
Ti	Titaan kan worden verbrand als poeder of in stukjes die langduriger zilveren sterretjes geven.
Zn	Zink is een blauwachtig wit metaal dat wordt gebruikt om rooeffecten te produceren voor vuurwerk en andere pyrotechnische apparaten

Tabel 1: Gebruik van de scheikundige elementen in vuurwerk

Aangepast, uit <http://en.wikipedia.org/wiki/Firework>, accessed on 13.09.2011

Afhankelijk van de exacte samenstelling van het vuurwerk, kunnen gassen, rook en stof dat zwavelverbindingen of lage concentraties van potentieel giftige stoffen bevat, worden gevormd, wat leidt tot luchtvervuiling. Vuurwerk dat grote hoeveelheden rook produceert zijn schadelijker dan bijvoorbeeld het rookloze indoorvuurwerk.

Met dank aan

We zijn dankbaar voor de hulp van professor Jacqueline Akhavan, dr Alex Contini en dr James Padfield van het Centre for Defence Chemistry van de Cranfield University, GB.

Ondersteunend materiaal voor:

Harrison T, Shallcross D (2011) “Smoke is in the air”: hoe vuurwerk de luchtkwaliteit beïnvloedt. *Science in School* **21**: 47-51.

www.scienceinschool.org/2011/issue21/fireworks/dutch

Luchtverontreiniging die door vuurwerk wordt veroorzaakt

Zwaveloxiden (SO_x) zoals zwaveldioxide (SO_2) en sulfaationen (SO_4^{2-}) worden gevormd bij de verbranding van zwavelhoudende verbindingen en die worden geoxideerd in de atmosfeer tot zwavelzuur (H_2SO_4). Deze oxiden komen vrij bij vuurwerk maar ook door vulkanen en bij verschillende industriële processen - grotendeels uit elektriciteitscentrales. Zij zijn voorlopers van fijnstof in de atmosfeer: het zwavelzuur gevormd door hun oxidatie is een uitstekende plaats waar water kan condenseren en daaruit zal zure regen ontstaan.

Stikstofoxiden (NO_x) zoals stikstofoxide (NO), stikstofdioxide (NO_2) of nitraat (NO_3^-) worden gevormd bij verbranding bij zeer hoge temperaturen, niet alleen bij vuurwerk maar ook in automotoren of energiecentrales. Stikstofdioxide is een roodbruin giftig gas met een karakteristieke scherpe, bijtende geur vergelijkbaar met chloorgas. Het is een van de belangrijkste luchtverontreinigende stoffen en ook betrokken bij de vorming van ozon in de troposferen (zie Harrison & Shallcross, 2011).



Stikstofdioxide

Afbeelding afkomstig van Fabexplosive; bron: Wikimedia Commons

Koolstofmonoxide (CO) is een kleurloos, geurloos, zeer giftig gas geproduceerd door onvolledige verbranding, met name in voertuigen met een benzinemotor. In vuurwerk zouden alleen kleine hoeveelheden mogen ontstaan - tenzij het vuurwerk slecht is gemaakt of het mengsel is slecht in het vuurwerk gestopt, waardoor op sommige plaatsen een zuurstoftekort ontstaat.

Veel **vluchtige organische stoffen** komen vrij in de atmosfeer door vreugdevuren - de traditionele begeleiding met vuurwerk op Guy Fawkes nacht. Van het verbranden van plantaardig materiaal is bekend dat er een reeks van organische zuren ontstaat (bv methaanzuur, HCOOH), nitrilen zoals acetonitril (CH_3CN), aldehyden (bv ethanal, CH_3CHO), ketonen (bv propanon, $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{CH}_3$) en alcoholen zoals methanol (CH_3OH).

Ondersteunend materiaal voor:

Harrison T, Shallcross D (2011) "Smoke is in the air": hoe vuurwerk de luchtkwaliteit beïnvloedt. *Science in School* **21**: 47-51.

www.scienceinschool.org/2011/issue21/fireworks/dutch

Vuurwerk zelf bevat verbindingen zoals natriumoxalaat (die vuurwerk een gele kleur geeft), en het oxalaat anion ($C_2O_4^{2-}$).

Fijnstof (PM) bestaat uit kleine vaste of vloeibare deeltjes fijn verdeeld in een gas. Ze zijn ingedeeld naar grootte als PM_{10} (diameter 10 μm of minder), $PM_{2.5}$ (diameter van 2,5 μm of minder), PM_1 (1 μm of minder) en ultrafijn (0,1 μm of minder). Verbranding van vuurwerk geeft een scala aan deeltjesgroottes, maar vooral kleinere deeltjes (bijv. $PM_{2.5}$) van roet, terwijl vreugdevuren grotere deeltjes kunnen vormen. PM wordt ook geproduceerd door de bouwsector en er zijn natuurlijke bronnen, zoals pollen, zeezout en weggeblazen grond. Hart- en vaatziekten en ademhalingsziekten worden toegeschreven aan verhoogde concentraties van deeltjes in de lucht; kleinere deeltjes zijn bijzonder ongezond omdat ze dieper doordringen in de luchtwegen. PM heeft ook duidelijk een effect op het klimaat: roetdeeltjes warmen het klimaat op, terwijl reflecterende deeltjes zorgen voor afkoeling.



*Een prachtige zonsondergang in Mumbai, India, veroorzaakt door fijnstof in de lucht
Afbeelding afkomstig van Bm1996; image bron: Wikimedia Commons*

Giftige metalen zoals lood (Pb^{2+}) en koper (Cu^{2+}) uit de vlamkleurende stoffen komen ook in de lucht.

Referenties

Harrison T, Shallcross D (2011) A hole in the sky. *Science in School* **17**: 46-53.
www.scienceinschool.org/2011/issue17/ozone

Ondersteunend materiaal voor:

Harrison T, Shallcross D (2011) "Smoke is in the air": hoe vuurwerk de luchtkwaliteit beïnvloedt. *Science in School* **21**: 47-51.
www.scienceinschool.org/2011/issue21/fireworks/dutch