

**Emissieschattingen Diffuse bronnen
Emissieregistratie**

Afsteken vuurwerk

Versie juni 2018

In opdracht van RIJKSWATERSTAAT – WVL
Uitgevoerd door DELTARES en TNO

Afsteken vuurwerk

1 Omschrijving emissiebron

Jaarlijks worden tijdens de jaarwisseling miljoenen kilo's vuurwerk afgestoken. Vooral het siervuurwerk bevat zware metalen om kleuring te krijgen, maar ook knalvuurwerk draagt bij aan de emissie van specifieke componenten. In deze factsheet wordt de wijze beschreven waarop het afsteken van vuurwerk bijdraagt aan emissies naar lucht, bodem en oppervlaktewater. De methode beperkt zich tot consumentenvuurwerk. Vuurwerk dat bij evenementen wordt afgestoken wordt hierin niet meegenomen.

De emissiebron vuurwerk wordt binnen de landelijke emissieregistratie toegerekend aan de doelgroep Consumenten.

2 Toelichting berekeningswijze

De emissies worden per stof berekend door de vermenigvuldiging van een emissieverklarende variabele (EVV), hier de afgestoken hoeveelheid vuurwerk in Nederland in ton, met een emissiefactor (EF) uitgedrukt in g van de specifieke stof per kg afgestoken vuurwerk. Hierbij kan nog onderscheid worden gemaakt tussen knalvuurwerk en siervuurwerk. Deze berekeningswijze is toegelicht in de Handreiking Regionale aanpak diffuse bronnen [1].

$$\text{Emissie} = \text{EVV} * \text{EF}$$

Waarbij:

EVV = Hoeveelheid afgestoken vuurwerk in Nederland (ton)

EF = Emissiefactor per afgestoken hoeveelheid vuurwerk (g/kg)

3 Emissieverklarende variabele

De EVV is de totale hoeveelheid verkocht vuurwerk in Nederland, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen knal- en siervuurwerk. De hoeveelheid verkocht vuurwerk in Nederland wordt geregistreerd door CBS als het verschil tussen import en export [10]. Tot 1996 werden de import en export goed gevolgd door het CBS, maar sindsdien zijn alleen de grotere bedrijven meegenomen. In de CBS statistieken wordt ook niet gecorrigeerd voor de non-respons.

Om de juiste hoeveelheid vuurwerk te schatten, moeten de cijfers van het CBS nog een bewerking ondergaan, zoals in onderstaande vergelijking:

$$\text{Afgestoken vuurwerk (kg)} = (\text{import-export}) * \text{Correctiefactor}$$

Waarbij de correctiefactor corrigeert voor het illegale vuurwerk en de non-respons in de enquête.

Voor de jaren 1990-1995 kan de vuurwerkhoeveelheid worden berekend door:

$$\text{Afgestoken vuurwerk (kg)} = (\text{import-export}) * (1 + \text{fractie illegaal})$$

Voor de jaren 1996-heden kan de vuurwerk hoeveelheid berekend worden door:

$$\text{Afgestoken vuurwerk (kg)} = (\text{import-export}) * (1 + \text{fractie illegaal} + \text{non-respons})$$

Voor de jaren 1990-1995 wordt de fractie illegaal vuurwerk ingeschat op 31,6% van de legaal verkochte hoeveelheid. Voor de jaren 1996 - heden wordt de fractie illegaal vuurwerk plus de fractie non-respons tezamen geschat op 70%. Een tijdreeks van verkochte hoeveelheid vuurwerk wordt weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: Hoeveelheid afgestoken vuurwerk (miljoen kg).

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016
Vuurwerk	5.1	9	13.6	15.3	17.5	17.2	16.4

4 Emissiefactoren

De Emissiefactoren voor gasvormige componenten zijn overgenomen van Brouwer e.a. (1995) [2].

Emissiefactoren van stofvormige componenten zijn bepaald op basis van de samenstelling van het siervuurwerk. In 1995 heeft een Nederlandse studie plaatsgevonden naar vuurwerksamenstelling (en bijbehorende emissiefactoren) op basis van datasheets met specificaties van het gebruikte pyrotechnische mengsel [2]. Hierna hebben nog verschillende internationale studies naar samenstelling en emissiefactoren van vuurwerk plaatsgevonden.

In onderstaande tabel wordt de samenstelling van het siervuurwerk volgens de verschillende studies getoond. De gemiddelde samenstelling is gebruikt om de emissiefactoren mee te berekenen.

Tabel 2: Samenstelling vuurwerk in g/kg uit verschillende studies

	Samenstelling (g/kg vuurwerk)				
	Nederland [2]	Duitsland [7] *	Zweden [7]*	USA [8]	Gemiddeld
Strontium	7.74	2.48	1.16	5.96	4.33
Barium	22.61	6.71	15.60	8.85	13.44
Koper	7.43	0.34	3.08	16.30	6.79
Antimoon	0.92	0.01		2.34	1.09
Zink			0.52	0.84	0.68
Referentie	Brouwer e.a. (1995)	Plinke e.a. (2001)	Plinke e.a. (2001)	Croteau e.a. (2010)	

* De samenstelling van het vuurwerk in Duitsland en Zweden was alleen bekend per kg pyrotechnisch mengsel. Om dit om te rekenen, is aangenomen dat vuurwerk voor 20% uit pyrotechnisch mengsel bestaat en voor 80% uit overige materialen, vergelijkbaar met de verhouding in Brouwer e.a. (1995).

In tabel 3 worden alle emissiefactoren samengevat voor knalvuurwerk en siervuurwerk. De emissies worden uiteindelijk berekend met de emissiefactor voor het totale vuurwerk (laatste kolom van tabel 2). Om deze emissiefactoren te berekenen wordt aangenomen dat de totale hoeveelheid vuurwerk bestaat uit 85% siervuurwerk en 15% knalvuurwerk.

Tabel 3: Emissiefactoren voor afsteken van vuurwerk (g/kg vuurwerk).

	knalvuurwerk ¹⁾	siervuurwerk ¹⁾	vuurwerk totaal
gasvormige componenten			
- koolstofdioxide	22	47	43.25
- koolstofmonoxide	2.5	7.5	6.9
- methaan	0.4	0.9	0.825
- waterstofsulfide	0.6	1.3	1.195
- zwaveldioxide	1	2.1	1.935
- distikstofoxide	1	2.1	1.935
stofvormige componenten			
- strontium		4.33	3.681
- barium		13.44	11.424
- koper		6.79	5.772
- antimoon		1.09	0.927
- zink		0.68	0.578
- overige stofvormige componenten ²⁾	52	113	104.19
fijn stof (PM10) ³⁾	5	13.9	12.565

1) De emissiefactoren van gasvormige componenten zijn afkomstig van Brouwer e.a. (1995). De emissiefactoren van stofvormige componenten zijn gebaseerd op de samenstelling van siervuurwerk in verschillende studies (Brouwer e.a., 1995 [2]; Plinke e.a., 2001 [7]; Croteau e.a., 2010 [8]).

2) De overige stofvormige componenten zijn vooral kaliumcarbonaten, -sulfaten en -sulfieten in stofvorm. De emissiefactoren zijn afkomstig van Brouwer e.a. (1995), [2].

3) Het deel van de emissie dat als fijn stof in de lucht terecht komt, is gebaseerd op een vergelijking van immissiemetingen, afkomstig van het nationaal meetnetwerk van het RIVM [5] met de onderstaande emissiefactoren en wordt geschat op 10% [2]. Dit betreft dus 10% van de som van stofvormige componenten Sr, Ba, Cu, Sb, Zn en overige stoffen onder voetnoot 2 die niet separaat geregistreerd worden.

5 Maatregelen en effecten

Er zijn geen (effecten van) maatregelen bekend.

6 Emissies

De berekende totale emissies staan weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 4: Berekende emissies bij afsteken van vuurwerk (in kg).

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016
methaan	4 208	7 425	11 220	12 623	14 438	14 190	13 530
zwaveldioxide	9 869	17 415	26 316	29 606	33 863	33 282	31 734
waterstofsulfide	6 095	10 755	16 252	18 284	20 913	20 554	19 598
distikstofoxide	9 869	17 415	26 316	29 606	33 863	33 282	31 734
koolstofmonoxide	35 190	62 100	93 840	105 570	120 750	118 680	113 160
koolstofdioxide	220 575	389 250	588 200	661 725	75 6875	74 3900	70 9300
antimoon	5 559	9 810	14 824	16 677	19 075	18 750	17 880
barium	68 544	120 960	182 784	205 632	235 200	231 170	220 420
koper	34 629	61 110	92 344	103 887	118 825	116 790	111 360
strontium	22 083	38 970	58 888	66 249	75 775	74 480	71 010
Zink	3 468	6 120	9 248	10 404	11 900	11 700	11 150
totaal stof	726 444	1 281 960	1 937 184	2 179 332	2 492 700	2 449 970	2 336 020
fijn stof (PM ₁₀) ¹⁾	72 644	128 196	193 718	217 933	249 270	244 997	233 602

¹⁾ 10% van de stofvormige componenten (Sb, Ba, Cu, Sr en Zn) bestaat uit fijn stof. In deze tabel wordt fijn stof dus dubbel genoemd: deze 10% van de stofvormige emissie wordt genoemd bij fijn stof en bij de component zelf.

7 Verdeling compartimenten

In Croteau e.a. [8]) wordt zowel de samenstelling van het vuurwerk als de emissiefactoren naar lucht gepresenteerd. Uit de verhouding tussen deze twee cijfers blijkt dat ongeveer 10% van de stofvormige emissies naar de lucht gaat. Als we echter de niet-verbrande bestanddelen van het vuurwerk ook in beschouwing nemen, dan is de fractie naar de lucht hoger (20-48%). Andere bronnen geven ook aan dat de fractie die naar de lucht gaat ook 3 maal zo hoog kan zijn, wat betekent dat 30% van de emissies naar de lucht gaat. De overige 70% van de emissies komt terecht op de bodem of in het riool. Volgens recente inzichten wordt deze 70% vervolgens voor 16% aan het riool en voor 54% aan de bodem toegekend [9].

De gasvormige stoffen emitteren voor 100% naar de lucht.

Tabel 5: Verdeling over de compartimenten.

	Lucht	Direct- oppervlaktewater	Indirect- riool	Bodem
Gasvormige stoffen	100%	0%	0%	0%
Fijn stof (PM ₁₀)	100%	0%	0%	0%
Stofvormige stoffen	30%	0%	16%	54%

De berekende emissies naar de verschillende compartimenten worden weergegeven in tabellen 6 t/m 8. Fijn stof omvat alle stofvormige deeltjes kleiner dan 10 micrometer, terwijl totaal stof alle deeltjes omvat. In beide gevallen vindt er in de tabellen een dubbeltelling plaats, omdat de emissies stofvormige componenten (Sb, Ba, Cu, Sr en Zn) worden genoemd bij fijn stof/totaal stof en bij de component zelf. In de Emissieregistratie zelf vindt geen dubbeltelling plaats.

Tabel 6: Emissies naar bodem (in kg).

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016
Antimoon	3 113	5 494	8 301	9 339	10 682	10 499	10 011
Barium	38 385	67 738	102 359	115 154	131 712	129 454	123 433
Koper	19 392	34 222	51 713	58 177	66 542	65 401	62 359
Strontium	12 366	21 823	32 977	37 099	42 434	41 707	39 767
Zink	1 942	3 427	5 179	5 826	6 664	6 550	6 245
Fijn stof	406 809	717 898	1 084 823	1 220 426	1 395 912	1 371 982	1 308 169

Tabel 7: Emissies naar riool (in kg).

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016
Antimoon	778	1 373	2 075	2 335	2 671	2 625	2 503
Barium	9 596	16 934	25 590	28 788	32 928	32 364	30 858
Koper	4 848	8 555	12 928	14 544	16 636	16 350	15 590
Strontium	3 092	5 456	8 244	9 275	10 609	10 427	9 942
Zink	486	857	1 295	1 457	1 666	1 637	1 561
Fijn stof	101 702	179 474	271 206	305 106	348 978	342 996	327 042

Tabel 8: Emissies naar lucht (in kg).

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016
Methaan	4 208	5 208	6 208	7 208	8 208	9 208	10 208
Zwavedioxide	9 869	10 869	11 869	12 869	13 869	14 869	15 869
Zwavelwaterstof	6 095	7 095	8 095	9 095	10 095	11 095	12 095
Distikstofoxide	9 869	10 869	11 869	12 869	13 869	14 869	15 869
Koolstofmonoxide	35 190	36 190	37 190	38 190	39 190	40 190	41 190
Koolstofdioxide	220 575	221 575	222 575	223 575	224 575	225 575	226 575
Antimoon	1 668	2 943	4 447	5 003	5 723	5 624	5 363
Barium	20 563	36 288	54 835	61 690	70 560	69 350	66 125
Koper	10 389	18 333	27 703	31 166	35 648	35 036	33 407
Strontium	6 625	11 691	17 666	19 875	22 733	22 343	21 304
Zink	1 040	1 836	2 774	3 121	3 570	3 509	3 346
Fijn stof	217 933	384 588	581 155	65 3800	747 810	734 990	700 805

8 Emissieroutes via riool naar water

Emissies via riool naar water vinden plaats door middel van indirecte emissies uit het rioleringsstelsel, via overstorten en effluenten van RWZI's. In de factsheet "Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's" [3] wordt dit verder beschreven. De emissies naar riool vinden plaats via de hemelwaterafvoer (hwa).

9 Regionalisatie

Voor de regionale verdeling van emissies wordt binnen de Emissieregistratie gebruik gemaakt van een set van digitale kaarten, welke aanwezig is bij het RIVM. Deze set geeft de regionale verdeling in Nederland weer van allerlei grootheden, zoals de bevolkingsdichtheid, verkeersintensiteit, landbouwactiviteiten, etc. Binnen de Emissieregistratie worden deze kaarten gebruikt als 'lokator' om de regionale verdeling van emissies vast te stellen. De set aan mogelijke lokatoren is beperkt (voor een overzicht van beschikbare lokatoren zie [5]), dus kan niet iedere denkbare grootte als lokator worden toegepast. Daarom wordt die lokator gebruikt, waarvan wordt aangenomen dat hij het beste correleert met de emissie.

De verdeling van emissies over Nederland wordt aangenomen gelijk te zijn aan de verdeling van de lokator over Nederland.

In onderstaande tabel staat voor de verschillende emissieoorzaken de lokator weergegeven, waarmee emissies worden geregionaliseerd.

Tabel 9: Overzicht van wijze van regionalisatie van emissies.

Onderdeel	Lokatoren
Vuurwerk	Aantal inwoners per gridcel van 500x500 meter

De wijze waarop de lokatoren tot stand komen wordt beschreven in [5]

Aantal inwoners

Het aantal inwoners per gridcel van 500x500 meter is afkomstig uit de kaart 'toedeling naar gridcel op basis van aantal inwoners, woningen en inwoners/rioleringsseenheid', opgesteld door het RIVM. Deze kaart is gebaseerd op CBS-statistieken over aantal inwoners en aantal woningen per gemeente (voor 2010). De verdeling van inwoners binnen de gemeente over de gridcellen is gebaseerd op gegevens

uit de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG, met adressen en woningtypen) in combinatie met het bestand Riolerings Eenheden (2003).

10 Opmerkingen/wijzigingen ten opzichte van voorgaande jaren

In 2017 is de verdeling over de compartimenten aangepast naar aanleiding van een update van de factsheet "Effluënten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's" [3]. De motivatie voor de nieuwe verdeling over de compartimenten is te vinden in [9]. De verandering in emissieverdeling is te vinden in tabel 10.

Tabel 10: De verandering in emissieverdeling

	Oude fractie	Nieuwe fractie
Lucht	10%	30%
Riool	54%	14%
Bodem	36%	56%

In 2013 zijn op basis van literatuuronderzoek de emissiefactoren voor antimoon, barium, koper en strontium aangepast. De oude en nieuwe emissiefactoren staan in onderstaande tabel. Zink is in 2013 als extra stof toegevoegd.

Tabel 11: oude en nieuwe emissiefactoren siervuurwerk (g/kg vuurwerk).

Component	Oude factor siervuurwerk	Nieuwe factor siervuurwerk
- strontium	7.0	4.33
- barium	29	13.44
- koper	8.1	6.79
- antimoon	1.1	1.09

2008; Afgelopen jaren werden de emissies berekend met emissiefactoren waar de herkomst onduidelijk van was. In 2008 zijn de emissiefactoren aangepast en gebaseerd op [2]. Ook is de verdeling over de compartimenten aangepast t.o.v. voorgaande jaren. Eerst werd aangenomen dat ongeveer 11-16% van de stofvormige deeltjes naar de lucht ging (afhankelijk van de stof). Van de rest gaat dan 96% naar riool, 3% naar bodem en 1% naar oppervlaktewater. Er wordt nu aangenomen dat 10% van de stofvormige emissies naar lucht gaat. Verder gaat 36% naar bodem en 54% naar riool.

Originele factsheet:

Koch, R. (TNO), H. Oonk (TNO), J. Hulskotte (TNO); Afsteken vuurwerk; november 2007

De factsheet wordt jaarlijks geupdate.

11 Betrouwbaarheid/verbeterpunten

Aan elk onderdeel van de emissieberekening is een betrouwbaarheid toegekend. De volgende betrouwbaarheidspercentages zijn hierbij gehanteerd: 1%, 5%, 10%, 25%, 50%, 100%, 200% en 400%. Een betrouwbaarheid van 1% wil zeggen dat het desbetreffende onderdeel zeer betrouwbaar is; een betrouwbaarheid van 400% betekend een grote onzekerheid in het desbetreffende onderdeel. Alle percentages ertussen geven van laag naar hoog een steeds kleinere betrouwbaarheid en een grotere onzekerheid. Voor elk van de onderdelen is de betrouwbaarheid ingeschat door een groep experts. Hierbij zijn onder andere de volgende punten in overweging genomen:

- Metingen: zijn er metingen beschikbaar? Om hoeveel metingen gaat het? Zijn ze recent, realistisch en representatief? Hoe groot is de variatie?
- Als er geen metingen voorhanden zijn: is er veel literatuur of andere informatiebronnen beschikbaar?
- Als de emissie d.m.v. een model wordt verkregen: wat is de schaal van het model en is het model gevalideerd?
- Aannames: moeten er veel aannames gedaan worden en hoe groot zijn die?
- Regionalisatie: geeft de lokator een goed beeld van de ruimtelijke verdeling van de bron? Hoe groot is de variatie van de emissie in de ruimte en kan deze variatie door de lokator wel goed over Nederland verdeeld worden?

Onderdeel emissieberekening	Betrouwbaarheidspercentage (%)
Emissieverklarende variabele	10
Emissiefactor	25
Verdeling compartimenten	25
Emissieroutes via riool naar water	10
Regionalisatie	10

De emissieverklarende variabele is gebaseerd op CBS statistieken van de grotere bedrijven, aangevuld met schattingen voor illegaal vuurwerk en kleinere bedrijven. Er wordt een betrouwbaarheidspercentage van 10% aangehouden.

De berekening van de emissiefactoren is gebaseerd op literatuuronderzoek waarbij gekeken is naar de samenstelling van vuurwerk. Gezien de spreiding van de samenstelling wordt een betrouwbaarheidspercentage van 25% aangehouden.

De verdeling van de emissies over de verschillende compartimenten is aangepast naar aanleiding van een update van de factsheet "Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's" [3] in 2017, en komt hiermee beter overeen met de metingen aan het rioolstelsel. Hierdoor kan het betrouwbaarheidspercentage verlaagd worden van 50% naar 25%.

De emissieroutes via riool naar water krijgen een betrouwbaarheidspercentage van 10%, zoals beschreven in de factsheet van de berekende effluenten RWZI's [3]. De regionalisatie van de emissies krijgt een betrouwbaarheidspercentage van 10%. De vuurwerkverdeling over Nederland is niet bekend, de aangehouden verdeling naar inwoners per gridcel zal redelijk in de buurt komen.

De belangrijkste verbeterpunten zijn:

- Vuurwerk afgestoken tijdens evenementen (koningsdag, etc.) zit niet in de EVV verwerkt. Aanvullen van de EVV met de hoeveelheid vuurwerk die hier wordt afgestoken is dus een verbeterpunt.

12 Reacties

Voor vragen naar aanleiding van dit werkdocument of opmerkingen kan contact worden opgenomen met Rianne Dröge, TNO, 088-8662026, e-mail rianne.droge@tno.nl of Erwin Roex, 06-13417514, e-mail erwin.roex@deltares.nl.

13 Referenties

- [1] CIW/CUWVO werkgroep VI, februari 1997. Handreiking Regionale aanpak diffuse bronnen. Bijlage 1, par 2.2.
- [2] Brouwer, J.H.G., J.H.J. Hulskotte en J.A. Annema, Afsteken van vuurwerk, RIVM-rapport-772414005, 1995
- [3] Rijkswaterstaat WVL, 2014. Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's, factsheet diffuse bronnen, mei 2014.
- [4] Nijdam D.S., van Loon M.M.J., Brouwer J.G.H., Peek C.J., 1999. Emissies naar de lucht van consumenten en kleine bedrijven, methoden en verantwoording 1995, 1996, 1997 en 1998. Publicatiereeks Emissieregistratie, nr. 49, Ministerie van VROM, Den Haag.
- [5] Molder, R. te, 2012. Notitie ruimtelijke verdeling binnen de emissieregistratie. Een overzicht.
- [6] Most, P.F.J. van der, van Loon, M.M.J., Aulbers, J.A.W. en van Daelen, H.J.A.M., juli 1998. Methodes voor de bepaling van emissies naar lucht en water. Publicatiereeks Emissieregistratie, nr. 44.

- [7] Plinke, E., Wolff, G. en von Arx, U., 2001. Feuerwerkskörper. Umweltauswirkungen und Sicherheitsaspekte. Umwelt-Materialien nr 140. Bunderamt für Umwelt, Wlt und Landschaft (BUWAL).
- [8] Croteau, G., Dills, R., Beaudreau, M. en Davis, M., 2010. Emission factors and exposures from ground-level pyrotechnics. Atmospheric Environment 44, 3295-3303
- [9] Jansen, B.I., Meesters, J.A.J., Nijkamp, M.M., 2018. Methodology for the calculation of emissions from product usage by consumers, construction and services RIVM Report 2018-0011
- [10] CBS, Statline, Goederensoorten naar land; minerale brandstoffen en chemie, 30 augustus 2013
- [11] Rijkswaterstaat WVL, 2014. Wegdekslijtage door het wegverkeer, factsheet diffuse bronnen, mei 2014.