



bijlage

Milieulast van vuurwerk

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

KvK Utrecht 30276683

T 030 274 91 11
info@rivm.nl

Datum
30 september 2020

Behandeld door

Bijlage(n) **1**
Horend bij **Brief nr:**
Ons kenmerk
Contactpersoon

1. Algemene inleiding

Jaarlijks worden tijdens de jaarwisseling miljoenen kilogrammen vuurwerk afgestoken in Nederland (Tabel 1). Dit memo beschrijft op hoofdlijnen de milieulast voor de bodem, het oppervlaktewater en de lucht als gevolg van het afsteken van dit vuurwerk tijdens de jaarwisseling. Voor de analyse is gebruik gemaakt van gegevens van de landelijke emissieregistratie (een samenwerkingsverband onder regie van het RIVM, www.emissieregistratie.nl). De gegevens over vuurwerkemissie uit de emissieregistratie zijn verder uitgewerkt (door (Dröge and Roex 2018) in de factsheet "Emissieschattingen Diffuse bronnen Emissieregistratie - Afsteken vuurwerk." Het betreft emissies van gasvormige componenten, zware metalen en fijn stof. Andere componenten worden niet geregistreerd.

Tabel 1. Hoeveelheid afgestoken vuurwerk per jaar in Nederland (Dröge and Roex 2018).

| Jaar | Vuurwerk (miljoen kg) |
|------|-----------------------|
| 2000 | 13,6 |
| 2005 | 15,3 |
| 2010 | 17,5 |
| 2015 | 17,2 |
| 2016 | 16,4 |

Componenten in vuurwerk en emissie naar het milieu

Vooraf het siervuurwerk bevat zware metalen om bepaalde kleureffecten te veroorzaken, maar ook het knalvuurwerk draagt bij aan de emissie van specifieke componenten (Tabel 2).

Siervuurwerk draagt bij aan de emissie naar de bodem en naar het oppervlaktewater via het riool. Knalvuurwerk heeft hier nauwelijks een aandeel in. De emissies naar de lucht per kilogram vuurwerk zijn voor siervuurwerk ongeveer een factor 2 hoger dan voor knalvuurwerk. Daarnaast wordt aangenomen dat de totale hoeveelheid vuurwerk bestaat uit 85% siervuurwerk en 15% knalvuurwerk (Dröge and Roex 2018). De

emissies naar lucht door siervuurwerk zijn hiermee ongeveer een factor 10 hoger dan voor knalvuurwerk.

Datum
30 september 2020

Tabel 2. Emissiefactoren voor afsteken van vuurwerk (g/kg vuurwerk) (Dröge and Roex 2018) en www.emissieregistratie.nl.

| | Knalvuurwerk | Siervuurwerk | Vuurwerk totaal |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| Gasvormige componenten | | | |
| - koolstofdioxide | 22 | 47 | 43,3 |
| - koolstofmonoxide | 2,5 | 7,5 | 6,9 |
| - methaan | 0,4 | 0,9 | 0,8 |
| - waterstofsulfide | 0,6 | 1,3 | 1,2 |
| - zwaveldioxide | 1 | 2,1 | 1,9 |
| - distikstofoxide | 1 | 2,1 | 1,9 |
| - stikstof(di)oxide | | | 0,3 |
| Stofvormige componenten * | | | |
| - strontium | | 4,3 | 3,7 |
| - barium | | 13,4 | 11,4 |
| - koper | | 6,8 | 5,8 |
| - antimoon | | 1,1 | 0,9 |
| - zink | | 0,7 | 0,6 |
| - overige stofvormige componenten | 52 | 113 | 104 |
| Fijn stof (PM10) * | 5 | 13,9 | 12,6** |

* Het deel van de emissie van stofvormige componenten dat als fijn stof in de lucht terecht komt, wordt geschat op 10%. Dit betreft dus 10% van de som van stofvormige componenten Sr, Ba, Cu, Sb, Zn en overige stofvormige componenten.

** De laatste inzichten zijn dat de emissiefactor voor PM10 (naar de lucht) veel hoger is dan 12,6 g/kg, namelijk 42,7 g/kg (Visschedijk, Meesters et al. 2020). Deze informatie kwam te laat om nog te verwerken in onderliggend memo, maar het heeft geen invloed op de uitkomsten van onderliggende studie, omdat deze emissiefactoren hier verder niet worden gebruikt.

Door gebruik te maken van de landelijke emissiegegevens per jaar geeft de onderliggende studie een globaal, gemiddeld beeld. Het kan zijn dat regionaal de effecten op het milieu groter of kleiner zijn. De studie gaat alleen in op de stoffen die in de factsheet (Dröge and Roex 2018) zijn genoemd.

In Tabel 3 is de verdeling van de emissies over de compartimenten weergegeven. Belasting van het oppervlaktewater vindt alleen indirect plaats via het riool en niet direct via bijvoorbeeld afspoeling.

Tabel 3. Relatieve verdeling van vuurwerkemissie over de compartimenten (Dröge and Roex 2018).

Datum
30 september 2020

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

* In een zeer recente publicatie (Visschedijk, Meesters et al. 2020) wordt uitgegaan van 14% naar riool, 56% naar bodem.

Verpakkings- en constructiemateriaal

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

Voor de constructie van siervuurwerk wordt papier, karton, hout, kunststof en Chinaklei gebruikt. In knalvuurwerk wordt vrijwel alleen papier gebruikt. 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 (Brouwer, Hulskotte et al. 1995). Van de hoeveelheden verpakkings- en constructiemateriaal zijn geen recente data bekend. (Brouwer, Hulskotte et al. 1995) schatten de hoeveelheid papier- en kartonafval dat in 1992 ontstond na het afsteken van knalvuurwerk op 630 ton. De schatting van de hoeveelheid afval door siervuurwerk was toen 2335 ton papier/karton, 80 ton hout, 80 ton kunststof en 80 ton klei.

Aangezien de afgestoken hoeveelheid vuurwerk sinds 1992 met een factor 2 tot 3 is toegenomen, kan worden aangenomen dat ook de hoeveelheid afval afkomstig van vuurwerk sterk is toegenomen. Tabel 4 geeft een schatting van de hoeveelheid afval die vrijkomt per kilogram afgestoken vuurwerk. Omdat er geen nadere gegevens bekend zijn over de hoeveelheid afval die achterblijft in het milieu, wordt er in dit memo verder niet op ingegaan.

Tabel 4. Hoeveelheid afval die vrijkomt bij het afsteken van vuurwerk (g/kg vuurwerk) (Brouwer, Hulskotte et al. 1995).

| Afval | Knalvuurwerk | Siervuurwerk |
|---------------|---------------------|---------------------|
| Papier/karton | 900 | 540 |
| Hout | | 18 |
| Klei | | 18 |
| Kunststoffen | | 18 |

Leeswijzer

In de volgende hoofdstukken wordt een schatting gemaakt van de milieubelasting van vuurwerkemissies voor oppervlaktewater (Hoofdstuk 2), de bodem (Hoofdstuk 3) en de lucht (Hoofdstuk 4).

2. Effecten van vuurwerk op kwaliteit van het oppervlaktewater

Datum
30 september 2020

Emissies van verontreinigende stoffen van vuurwerk naar het riool

Emissies van zware metalen uit vuurwerk naar het oppervlaktewater vinden plaats door emissies uit regenwaterriolen, via overstorten en via effluenten van rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) (Van Duijnhoven 2018). De emissies naar het riool vinden plaats via de hemelwaterafvoer, dat wil zeggen na een regenbui.

De belangrijkste emissie naar het riool bestaat uit de zware metalen antimoon, barium, strontium en zink (Tabel 5). 10% van deze metaalemissie is in de vorm van fijnstof. Andere stofvormige componenten die geëmitteerd worden zijn vooral kaliumcarbonaten, -sulfaten en -sulfieten in stofvorm, maar die worden niet apart geregistreerd en zijn daarom in deze studie niet meegenomen. In deze studie wordt gebruik gemaakt van de emissiegegevens uit 2016. Dit is het meest recente jaar uit de factsheet van (Dröge and Roex 2018).

Tabel 5. Vuurwerkemissies naar riool (kg) in 2016 (Dröge and Roex 2018).

| Stof | 2016 |
|-------------|-------------|
| Antimoon | 2.503 |
| Barium | 30.858 |
| Koper | 15.590 |
| Strontium | 9.942 |
| Zink | 1.561 |

Hoeveelheid rioolwater waarin de metalen terecht komen

In de factsheet "Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's" (Van Duijnhoven 2018) wordt uitgegaan van 0,52 miljard m³ afstromend hemelwater per jaar, 0,96 miljard m³ afvalwater per jaar en 0,36 miljard m³ rioolvreemd water per jaar, dat via het gemengde rioolstelsel bij de ruim 300 rwzi's terecht komt.

Voor deze studie wordt verondersteld dat de zware metalen uit het vuurwerk na de eerste bui na de jaarwisseling het gemengde rioolstelsel instromen en volledig in het influent van de rwzi terecht komen. Dit is een conservatieve aanname. Mogelijk zijn hier meerdere buien voor nodig, maar het ligt voor de hand dat tijdens de eerste bui die groot genoeg is om afstroming naar het riool te veroorzaken de meeste zware metalen het riool instromen.

Verder wordt aangenomen dat er 185 dagen per jaar neerslag valt (KNMI 2011). Bij een gemiddelde regendag spoelt er (0,52 miljard m³/185 dagen =) 2,8 miljoen m³ regenwater het gemengde rioolstelsel in. Daarnaast is er per dag gemiddeld (0,96 miljard m³/365 dagen =) 2,6 miljoen m³ afvalwater en de hoeveelheid rioolvreemd water is (0,36 miljard m³/365 dagen =) 1,0 miljoen m³ dagelijks. In totaal is dit **6,4 miljoen m³ water** dat dagelijks via het gemengde rioolstelsel naar de rwzi's wordt afgevoerd. Met dit volume wordt de gemiddelde concentratie(toename) van de zware metalen in het influent van rwzi's berekend na de eerste regenbui na de jaarwisseling.

Verwijdering van de zware metalen in de rwzi

In Tabel 6 is het verwijderingsrendement in de rwzi weergegeven van de zware metalen die afkomstig zijn uit vuurwerk. Hiervoor zijn verschillende bronnen gebruikt, die niet dezelfde percentages geven. Voor het vervolg is gebruik gemaakt van de gemiddelde waardes. Vier van de vijf metalen worden voor meer dan 75% verwijderd. Alleen de verwijdering van strontium is beperkt.

Datum
30 september 2020

Tabel 6. Schatting van het verwijderingsrendement in rwzi's van zware metalen afkomstig uit vuurwerk.

| Stof | Verwijderingsrendement (%) (Van Duijnhoven 2018) | Verwijderingsrendement (%) (Watson database)* | Verwijderingsrendement (%) (CBS 2020) ** | Gemiddeld (%) |
|-----------|---|--|---|---------------|
| Antimoon | 93 | 99 | | 96 |
| Barium | 82 | 71 | | 77 |
| Koper | | 92 | 94 | 93 |
| Strontium | 18 | 0 | | 9 |
| Zink | | 67 | 84 | 76 |

* Berekend met influent en effluent data uit de Watson database (periode 2010 t/m 2015).

** O.b.v. CBS data influent en effluent (periode 2016 t/m 2018).

Concentratie metalen in afspoelend regenwater, influent en effluent van de rwzi

Er is een schatting gemaakt van de concentratie van de metalen in het regenwater na een regenbui met een gemiddelde afspoeling. Deze concentraties liggen in de mg/L-range (Tabel 7). Door verdunning met afvalwater en rioolvreemd water zijn de concentraties in het influent (inkomend afvalwater) van de rwzi lager dan in het afspoelend regenwater. Deze concentraties zijn berekend door de emissies van de metalen te delen door het totale volume rioolwater (6,4 miljoen m³) tijdens de dag met een gemiddelde afspoeling door regenval. Deze concentraties geven in feite de toename aan van de concentraties in rioolwater als gevolg van de metaalemissies uit vuurwerk.

Tabel 7. Geschatte concentraties (afgerond) van metalen afkomstig uit vuurwerk in het afspoelend regenwater, het influent en effluent van de rwzi op basis van emissies uit 2016.

| Stof | Emissie (kg, 2016) | Concentratie in afspoelend regenwater naar riool (µg/L) – gem. regenbui | Concentratie in influent rwzi o.b.v. gemiddelde afvoer afvalwater (µg/L) | Concentratie na verwijdering in rwzi (µg/L) |
|-----------|--------------------|---|--|---|
| Antimoon | 2.503 | 900 | 400 | 16 |
| Barium | 30.858 | 11.000 | 4.800 | 1.100 |
| Koper | 15.590 | 5.500 | 2.400 | 170 |
| Strontium | 9942 | 3.600 | 1.600 | 1.400 |
| Zink | 1561 | 560 | 240 | 60 |

Met behulp van de gemiddelde verwijderingspercentages uit Tabel 6 zijn de verwachte concentraties in het effluent (gezuiverd afvalwater) berekend. Aanname is dat na een regenbui met gemiddelde afspoeling naar het riool de totale emissie van zware metalen uit vuurwerk in een dagvolume van de totale hoeveelheid rioolwater terecht komt.

Datum
30 september 2020

Naast verwijdering in de rwzi is er ook enige verwijdering van deze metalen uit het rioolwater door periodieke reiniging van straatkolken, rioolbuizen en gemalen (door verwijdering van slib dat metalen bindt). Hoe groot deze (geringe) verwijdering is, is niet bekend en wordt hier niet meegenomen.

Vergelijking met concentraties in influent en effluent uit de Watson database

De geschatte concentraties van de betreffende metalen in het influent en effluent van rwzi's als gevolg van emissies door vuurwerk worden vergeleken met de concentraties van deze metalen die in de Watson Database (Emissieregistratie 2020) worden gerapporteerd. In de Watson Database zijn concentraties van een groot aantal microverontreinigingen in het influent en effluent van rwzi's in Nederland te vinden.

In Tabel 8 zijn concentraties van de in deze studie betrokken metalen in het influent in de periode 2010 t/m 2015 weergegeven (nieuwere data zijn in deze database niet volledig beschikbaar). Voor de meeste metalen is de berekende concentratie in het influent na de jaarwisseling (Tabel 7) ruim hoger (tot een factor 30 voor koper) dan het maximum in Tabel 8. Antimoon is een uitzondering. Aangezien de metalen meestal maar maximaal één keer per maand in het influent (en effluent) worden gemeten, is het mogelijk dat de piek in januari als gevolg van het afsteken van vuurwerk gemist wordt. Het kan er ook op duiden dat de emissie naar het riool uit de emissieregistratie (16%) een overschatting is. Ook de vergeleken jaren en tijdsperiode (2010 t/m 2015 t.o.v. 2016) is afwijkend. Dit is echter geen verklaring waarom de berekende concentraties in het influent (Tabel 7) hoger zijn dan in Tabel 8. In een langere periode (2010 t/m 2015) is de kans namelijk groter op een hoge piek dan tijdens een enkel jaar (2016).

Tabel 8. Concentratie van metalen in **influent** van rwzi ($\mu\text{g/L}$): alle rwzi's in Nederland, periode 2010 t/m 2015 (Watson Database).

| Stof | gemiddeld | 90-percentiel | maximum |
|-------------|------------------|----------------------|----------------|
| Antimoon | 254 | 730 | 2.400 |
| Barium | 50 | 80 | 200 |
| Koper | 67 | 77 | 80 |
| Strontium | 217 | 311 | 440 |
| Zink | 137 | 180 | 210 |

In Tabel 9 zijn de concentraties in het effluent van de metalen in de periode 2010 t/m 2015 weergegeven. Ook hier geldt dat voor de meeste metalen de berekende concentratie in het effluent na de jaarwisseling (Tabel 7) ruim hoger is dan het maximum in Tabel 9 (behalve voor koper en zink).

Tabel 9. Concentratie van metalen in **effluent** van rwzi ($\mu\text{g/L}$): alle rwzi in Nederland, periode 2010 t/m 2015 (Watson Database).

Datum
30 september 2020

| Stof | gemiddeld | 90-percentiel | maximum |
|-------------|------------------|----------------------|----------------|
| Antimoon | 0,7 | 2 | 19 |
| Barium | 14 | 30 | 60 |
| Koper | 5,5 | 9 | 150 |
| Strontium | 240 | 400 | 570 |
| Zink | 45 | 78 | 960 |

Concentraties van de metalen in de grote rivieren Maas en Rijn

Tabel 10 toont de concentraties van de metalen in de rivieren de Maas (Eijsden) en de Rijn (Lobith). Op deze rivieren wordt door verschillende rwzi's in binnen- en buitenland effluent geloosd. De gemiddelde concentratie in het effluent is voor sommige van de beschouwde metalen hoger en voor andere lager dan de gemiddelde concentratie in de Maas en de Rijn.

De geschatte metaalconcentraties die via het effluent geloosd worden na een regenbui na de jaarwisseling zijn duidelijk hoger dan de gemiddelde concentratie in de Rijn en de Maas.

De afvoer van de Rijn en de Maas bestaat gemiddeld voor circa 13% uit rwzi-effluent (De Rijk, De Keizer et al. 2010). In de winter is dat iets minder, dan ligt dat net onder de 10%. De bijdrage van metaalemissies rond de jaarwisseling kan de concentratie van deze metalen in deze rivieren tijdelijk significant doen toenemen. In kleinere rivieren, zoals De Dommel is de invloed van het rwzi-effluent nog groter.

Tabel 10. Gemiddelde concentraties van de metalen in de Maas bij Eijsden (RIWA-Maas 2018) en in de Rijn bij Lobith (RIWA-Rijn 2017) en vergelijking met de concentraties in rwzi-effluent.

| Stof | Gemiddeld Maas 2017* ($\mu\text{g/L}$) | Gemiddeld Rijn 2016 ($\mu\text{g/L}$) | Rwzi-effluent (gem.) 2010-2015 ($\mu\text{g/L}$) | Schatting rwzi-effluent na jaarwisseling (toename conc. t.o.v. gem.) ($\mu\text{g/L}$) |
|-------------|--|---|--|--|
| Antimoon | 0,27 | 0,25 | 0,7 | 16 |
| Barium | 24 | 77 | 14 | 1.100 |
| Koper | 3,2 | 2,95 | 5,5 | 170 |
| Strontium | 203 | 477 | 240 | 1.400 |
| Zink | 15 | 14 | 45 | 60 |

* Data van 2016 waren niet beschikbaar op de website van RIWA Maas.

Emissies van metalen uit vuurwerk naar oppervlaktewater via overstorten en regenwaterriolen

Tabel 11 laat zien hoeveel kilogrammen van de beschouwde zware metalen door emissies uit verschillende bronnen uiteindelijk in het oppervlaktewater terecht komen. Dit is inclusief de bijdrage van vuurwerk (Van Duijnhoven 2018). Er worden vijf routes onderscheiden. Relevant voor de emissies van vuurwerk naar oppervlaktewater zijn de emissieroutes effluent rwzi's, overstorten en regenwaterriolen. Via huishoudelijk afvalwater en IBA's (individuele behandeling afvalwater) komen geen restanten van vuurwerk in het oppervlaktewater terecht.

Tabel 11. Emissie per jaar naar oppervlaktewater in 2016 (kg) (Van Duijnhoven 2018).

| Stof | Emissie naar oppervlaktewater in 2016 (kg) | | | | | |
|-----------|--|----------------|---------------------------------------|---------------------------|---|---------|
| | Effluent rwzi's | Over- stort | Huishou- delijk afval- water | Regen- water riolen | IBA naar opper- vlakte- water | totaal |
| Antimoon | 109 | 208 | 0 | 631 | 0 | 948 |
| Barium | 2.765 | 1.534 | 0 | 7.019 | 0 | 11.318 |
| Koper | 8.523 | 3.124 | 123 | 6.918 | 128 | 18.816 |
| Strontium | 410.538 | 1.280 | 356 | 4.444 | 954 | 41.7572 |
| Zink | 64308 | 12.403 | 108 | 20.908 | 149 | 97.876 |

Overstorten

De bijdrage van overstorten is meestal kleiner dan van het effluent van rwzi's, behalve voor antimoon. Het merendeel van de metalen uit vuurwerk dat in het riool terecht komt, komt uiteindelijk terecht in het influent van de rwzi. In de rwzi wordt het grootste deel van de metalen uit het afvalwater verwijderd voordat het op het oppervlaktewater geloosd wordt. De fractie van het rioolwater die via de overstort in het oppervlaktewater terecht komt, is beperkt. Bij overstorten vindt echter geen zuivering plaats, waardoor de totale lozing op het oppervlaktewater toch nog significant kan zijn. Lokaal kunnen hoge concentraties van deze metalen in het oppervlaktewater ontstaan na overstorten, zeker als er overstorten plaatsvinden direct na de jaarwisseling.

Er moet opgemerkt worden dat overstorten vooral plaatsvinden na korte heftige buien in de zomer, dus de kans op een overstort vlak na de jaarwisseling is gering.

Effecten van overstorten op de oppervlaktewaterkwaliteit worden hier verder niet uitgewerkt, omdat dit te ver voert voor deze beknopte studie. Hiervoor is onder meer gedetailleerde informatie nodig over de frequenties en volumes van overstorten, en het volume of debiet van het ontvangende oppervlaktewater.

Regenwaterriolen

Regenwaterriolen vormen voor enkele metalen een belangrijke bijdrage aan de emissie naar het oppervlaktewater, met name voor antimoon en barium. Regenwaterriolen lozen het water ongezuiverd op oppervlaktewater. Dit zou lokaal kunnen leiden tot verhoogde concentraties in het oppervlaktewater. Of hier normen overschreden worden is niet op voorhand te zeggen. Dit hangt onder meer af van het volume van de regenbui en de hoeveelheid metalen die tijdens de bui meespoelt, maar ook van het volume of debiet en de waterkwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater. Om hier iets over te kunnen zeggen, is gedetailleerde informatie nodig van het lokale watersysteem.

Op basis van het hydraulisch model van het rioleringsstelsel zoals beschreven in de factsheet "Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's" (Van Duijnhoven 2018) wordt

aangenomen dat circa 25% van het regenwater dat in een rioleringsystemen terecht komt een regenwaterriool betreft. Dit is circa 0,17 miljard m³ per jaar of per regendag (185 keer per jaar) gemiddeld ruim 900 miljoen m³. De geschatte concentratie van de metalen in het afspoelende regenwater (zoals weergegeven in Tabel 7) is ook de concentratie die verwacht wordt in het regenwaterriool. Dit wordt ongezuiverd geloosd op oppervlaktewater.

Datum
30 september 2020

De emissie van antimoon en barium via regenwaterriool is vrijwel volledig aan vuurwerk toe te kennen, terwijl de emissies van koper, strontium en vooral zink nog andere bronnen hebben.

Toetsen van de verwachte concentraties in het rwzi-effluent aan normen voor oppervlaktewater

De website Risico's van stoffen (RIVM 2020) bevat een overzicht van milieunormen. Tabel 12 toont de relevante normen voor de beschouwde metalen.

Tabel 12. Verschillende normen (µg/L) voor zoet oppervlaktewater voor de beschouwde metalen (RIVM 2020).

| Stof | Oppervlakte- water voor drinkwater- bereiding | Wettelijke jaarge- middelde milieukwa- liteitsnorm (opgelost) | Wettelijk jaarge- middelde milieukwali- teitsnorm JG-MKN (totaal) | Maximaal aanvaardbare concentratie (MAC-MKN¹, opgelost) |
|----------------|--|--|--|---|
| Antimoon | | 5,6 | 12 | 200 |
| Barium | 200 | 73 | | 148 |
| koper | 50 | 2,4 | | |
| Strontium * | | | | |
| Zink | 200 | 7,8 | | 15,6 |

* Alleen landoppervlaktewateren achtergrondconcentratie (opgelost) gerapporteerd (110 µg/L).

In Tabel 13 is een indicatieve berekening gedaan van de verwachte concentraties metalen in de Rijn en de Maas na een pieklozing vanuit rwzi's na de jaarwisseling. Dit is een voorbeeldberekening die een indicatie geeft van welke concentraties verwacht kunnen worden. In het algemeen geldt dat lagere afvoeren van rivieren leiden tot hogere concentraties van verontreinigingen in de rivier. De belangrijkste (deels eerdergenoemde) aannames die hier gedaan zijn:

- voorafgaand aan de pieklozing van de metalen op de Maas en de Rijn heerst de gemiddelde concentratie van de metalen zoals weergegeven in Tabel 10,
- rwzi-effluent draagt 10% bij aan het totale debiet van de Maas en de Rijn tijdens de pieklozing,

¹ Sinds de invoering van de Kaderrichtlijn Water zijn er voor oppervlaktewater drie soorten milieukwaliteitsnormen (MKN). De JG-MKN (Jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm), de MAC-MKN (Maximaal aanvaardbare concentratie voor kortdurende blootstelling) en de MKN-biota (de maximaal aanvaardbare hoeveelheid van een stof in prooidieren).

- de effluentconcentraties metalen (Tabel 10), berekend uit landelijke emissiecijfers van vuurwerk, is ook de concentratie in het effluent dat op de Rijn en de Maas wordt geloosd,
- de concentratie in het afspoelende regenwater is berekend met de gemiddelde afspoeling naar het riool na een regenbui van gemiddelde intensiteit.

Datum
30 september 2020

In deze voorbeeldberekening wordt de norm voor oppervlaktewater voor drinkwaterbereiding voor barium, koper en zink niet overschreden na de (piek)emissie van metalen uit vuurwerk na de jaarwisseling. Dit kan wel het geval zijn bij rivieren waarvan het debiet voor een groter gedeelte uit rwzi-effluent bestaat of voor oppervlaktewater waarop overstorten uitkomen of regenwaterriolen. Gedetailleerde uitwerking hiervan valt buiten de scope van dit onderzoek.

Tabel 13. Indicatieve berekening van de verwachte concentraties metalen in de Rijn en de Maas na een pieklozing vanuit rwzi's na de jaarwisseling.

| Stof | Rwzi-effluent na jaarwisseling (µg/L)* 10% bijdrage | Gemiddeld Maas 2017 (µg/L) 90% bijdrage | Gemiddeld Rijn 2016 (µg/L) 90% bijdrage | Maas na piekbelasting vuurwerk (µg/L) | Rijn na piekbelasting vuurwerk (µg/L) |
|-------------|--|--|--|--|--|
| Antimoon | 17 | 0,27 | 0,25 | 1,9 | 1,9 |
| Barium | 1.114 | 24 | 77 | 133 | 180 |
| Koper | 176 | 3,2 | 2,95 | 21 | 20 |
| Strontium | 1.640 | 203 | 477 | 350 | 600 |
| Zink | 105 | 15 | 14 | 24 | 23 |

* Gemiddelde concentratie en toename concentratie door vuurwerk uit Tabel 10 (laatste 2 kolommen) bij elkaar opgeteld.

In de voorbeeldberekening (Tabel 13) wordt de MAC-waarde (zie Tabel 12) voor barium (Rijn) en voor zink (Maas, Rijn) wel tijdelijk overschreden, aangenomen dat de metalen opgelost zijn. Omdat de metaalemisatie afkomstig van vuurwerk naar het oppervlaktewater slechts korte tijd optreedt (eerdere aanname: gedurende een dag na de eerste regenbui) worden in de voorbeeldberekening de wettelijke jaargemiddelde milieukwaliteitseisen hierdoor niet overschreden, de toename als gevolg van vuurwerk op jaarbasis is verwaarloosbaar.

Conclusie

Emissies van zware metalen uit vuurwerk dat wordt afgestoken rond de jaarwisseling kunnen na een regenbui (tijdelijk) tot een sterke toename leiden van de concentratie in het rioolwater (piekbelasting). In de rwzi worden de meeste van deze metalen grotendeels verwijderd. Desondanks kan door de lozing van het effluent de concentratie van deze metalen in het ontvangende oppervlaktewater sterk toenemen.

Regenwaterriolen vormen voor enkele metalen een belangrijke bijdrage aan de emissie naar het oppervlaktewater, met name voor antimoon en

barium. De emissie van antimoon en barium via regenwaterriolen is vrijwel volledig aan vuurwerk toe te kennen. Voor de metalen koper, strontium en zink zijn er ook andere bronnen aan te wijzen en is de emissie via het effluent van rwzi's groter.

Datum
30 september 2020

De bijdrage van overstorten aan de emissie van de beschouwde metalen is meestal kleiner dan van het effluent van rwzi's, behalve (op jaarbasis) voor antimoon. Overstorten vinden vooral plaats na korte heftige buien in de zomer, zodat de kans dat een overstort vlak na de jaarwisseling plaatsvindt met een piekbelasting op het oppervlaktewater is gering.

Of er normen worden overschreden door de beschreven emissies naar het oppervlaktewater is op basis van deze studie niet met zekerheid te zeggen. De emissie van metalen uit vuurwerk naar oppervlaktewater na de jaarwisseling is een piekbelasting. De concentratie in het ontvangende oppervlaktewater hangt zowel af van het debiet en de concentratie van de lozing, als van het debiet en de (achtergrond)concentratie van het ontvangende oppervlaktewater.

Grote rivieren waar het aandeel van een effluentlozing (of eventueel een overstort of lozing van regenwaterriool) op het totale debiet gering is, zijn minder gevoelig voor overschrijdingen van normen door een lozing dan kleinere oppervlaktewateren waar zo'n lozing een significant deel kan zijn van het totale debiet van het waterlichaam. Bij deze kleine oppervlaktewateren, met een grote invloed van het effluent van rwzi's, is het reëel te veronderstellen dat normen voor metalen tijdelijk worden overschreden na de jaarwisseling.

Discussie

Om de effecten van metaalemissies uit vuurwerk op de oppervlaktewaterkwaliteit preciezer te kunnen bepalen, is detailinformatie nodig van regionale riolerings- en oppervlaktewatersystemen en de emissies die hierin plaatsvinden. Dit zou bijvoorbeeld kunnen met behulp van de KRW-verkenner (<https://publicwiki.deltares.nl/display/KRWV/KRW-Verkenner>). Ook metingen in het effluent van rwzi's tijdens de pieklozing kunnen hierbij behulpzaam zijn.

De huidige berekeningen zijn indicatief. Er is uitgegaan van een gemiddelde afspoeling naar het riool na een regenbui van gemiddelde intensiteit. Bij een intensievere regenbui dan hier is aangenomen, zullen als gevolg van een grotere verdunning de metaalconcentraties in het regenwater en het influent lager zijn dan hier (indicatief) is berekend. Daarnaast zijn de data uit de gebruikte factsheets aan verandering onderhevig als gevolg van nieuwe inzichten en metingen. In (Dröge and Roex 2018) wordt aangenomen dat 16% van de metalen uit vuurwerk in het oppervlaktewater terecht komt. In (Van Duijnhoven 2018) wordt echter 10% genoemd. Dit verschilt een factor 1,6. Ook de verwijdering van de metalen in de rwzi is niet eenduidig en zal per rwzi verschillen.

3. Indicatieve risicobeoordeling zware metalen in de bodem ten gevolge van vuurwerkemissies

Datum
30 september 2020

Inleiding

Zware metalen kunnen ten gevolge van het afsteken van vuurwerk op en in de bodem terecht komen. Tabel 14 geeft een overzicht van de emissie van metalen ten gevolge van vuurwerk in 2016 zoals gerapporteerd in het rapport "emissieschattingen diffuse bronnen en emissieregistratie – afsteken vuurwerk" (Dröge and Roex 2018). Een deel van het totale gehalte metalen in de bodem is biobeschikbaar, dat wil zeggen dat ze kunnen worden opgenomen in bodemdieren en planten (Mol, Spijker et al. 2012). De opgenomen metalen kunnen toxische effecten veroorzaken in organismen wat uiteindelijk een negatief effect heeft op het ecosysteem als geheel. Het is daarom van belang om de potentiële effecten van het afsteken van vuurwerk op het bodemecosysteem te onderzoeken.

Tabel 14. Totale emissie van zware metalen uit vuurwerk (Dröge and Roex 2018).

| Stofnaam | Emissie 2016 (kg) |
|-----------------|--------------------------|
| antimoon | 17.880 |
| barium | 220.420 |
| koper | 111.360 |
| strontium | 71.010 |
| zink | 11.150 |

Toetsing

In deze indicatieve beoordeling worden de ecologische risico's beoordeeld aan de hand van de Hazardous Concentration 50 (HC50). Deze HC50-waarden zijn terug te vinden in het huidige bodembeleid als de ecologische onderbouwing van de interventiewaarde (VROM 2008, Rijksoverheid 2013). Voor de afleiding van HC50-waarden wordt gebruik gemaakt van Species Sensitivity Distributions (SSD)(Posthuma, Traas et al. 2002). Deze distributies (verdeling van gevoeligheden) geven het verband tussen de concentratie van een stof en het deel van de soorten dat daarvan negatieve effecten ondervindt, ofwel de Potentially Affected Fraction (PAF). Afhankelijk van de vorm van de SSD-curve kan een concentratietoename een kleine of grote invloed hebben op de PAF. Hoewel de methodiek achter de afleiding van de SSD's voor deze notitie te vergaand is, is het echter wel belangrijk om te vermelden dat een stijging in concentratie kan resulteren in een niet-lineaire, c.q. versnelde toename van het aantal soorten die negatieve effecten ondervinden.

In deze indicatieve risicobeoordeling wordt in eerste instantie onderzocht hoe de concentratie in de bodem ten gevolge van vuurwerk zich verhoudt tot de natuurlijke achtergrondconcentratie. Dit geeft inzicht in de mogelijke toename door het afsteken van vuurwerk. Wanneer de toename van de concentratie ten gevolge van vuurwerk (zeer veel) kleiner is dan de achtergrondconcentratie, zullen ecologische risico's van het afsteken van vuurwerk naar verwachting klein zijn. Vervolgens kunnen deze

concentraties ten gevolge van depositie van vuurwerk aanvullend vergeleken worden met de HC50-waarden. Ook hiervoor geldt dat wanneer de concentraties ten gevolge van vuurwerk (zeer veel) kleiner zijn dan de HC50-waarden de ecologische risico's naar verwachting klein zijn.

Datum
30 september 2020

Omdat dit een indicatieve beoordeling betreft, worden voor de emissie, depositie en beschikbaarheid van metalen conservatieve aannames gedaan. Er wordt vanuit gegaan dat de metalen enkel in stedelijk gebied op de bodem terecht komen, dat de metalen volledig in de bovenste 10 cm van de bodem blijven en dat de metalen volledig biobeschikbaar zijn voor opname door bodemorganismen. Deze aannames leiden tot een "worstcase" scenario waarbij de concentraties van metalen ten gevolge van vuurwerk en daarmee de ecologische risico's in ieder geval niet onderschat worden. Wanneer uit dit "worstcase" scenario blijkt dat risico's voor de ecologie aanwezig zijn, kunnen de conservatieve aannames in meer gedetailleerde beoordelingen verder worden uitgewerkt .

Methoden

Afleiding invloed vuurwerk op achtergrondconcentratie

De emissie van metalen ten gevolge van vuurwerk kan afgezet worden tegen de achtergrondconcentratie door de emissie te verdelen over de toplaag van de Nederlandse bodem (de bovenste 10 cm). De totale emissie kan op deze manier uitgedrukt worden in een concentratie door deze te delen op het bodemvolume van de toplaag van het Nederlandse grondgebied. De formule voor de gehele afleiding is beschreven in vergelijking 1.

Vergelijking 1. Berekening van de concentratie in de bodem ten gevolge van het afsteken van vuurwerk.

$$C = \frac{E * Frac * 10^6}{Opp * 10.000 * D * Vs * SD}$$

| | |
|-------|--|
| C: | Concentratie t.g.v. emissie [mg/kg ds] |
| | (De hoeveelheid verontreiniging (in mg) per kg droge grond.) |
| Opp: | Oppervlakte bodem [ha] |
| D: | Diepte toplaag [m] |
| E: | Emissie [kg] |
| Vs: | Volumefractie droge stof [-] |
| SD: | Volumieke massa droge grond [kg/m ³] |
| Frac: | Emissiefactor naar bodem [-] |

Bij deze berekening wordt aangenomen dat het berekende bodemvolume opgebouwd is als standaard bodem (25% lutum en 10% organisch stof) (Rijksoverheid 2018). Daarnaast wordt uitsluitend gebruik gemaakt van het stedelijke bodemvolume, omdat vuurwerk voornamelijk in stedelijk gebied wordt afgestoken (Jansen, Meesters. et al. 2018). Ook worden processen als afspoeling naar het oppervlaktewater of uitloging naar het grondwater, alsmede het effect van verharding en bebouwing buiten

beschouwing gelaten. De enige afspoeling waar rekening mee gehouden wordt, is de afspoeling naar het riool (Hoofdstuk 2). Dit is volgens (Dröge and Roex 2018) ook de enige route voor belasting van het oppervlaktewater.

Datum
30 september 2020

Deze conservatieve aannames zullen ertoe leiden dat de daadwerkelijke invloed van vuurwerk op de bodemconcentratie niet onderschat wordt en mogelijke risico's als gevolg van emissies door vuurwerk waarschijnlijk lager zijn.

Gebruikte data

Achtergrondconcentratie

Voor deze indicatieve beoordeling is eerst een overzicht nodig van de natuurlijke achtergrondconcentraties in Nederland. Deze zijn in het bodembeleid formeel vastgelegd met het doel bodemverzet te faciliteren (VROM 2008, Rijksoverheid 2018). Deze natuurlijke achtergrondwaarden zijn beleidsmatig vastgesteld op basis van gemeten achtergrondconcentraties in het project AW2000. Dat wil zeggen dat vanwege (pragmatische) beleidsmatige keuzes voor een aantal stoffen de normen afwijken van de gemeten gehalten (zie NOBO-rapport, VROM, 2008). In het AW2000-project zijn op 100 locaties in landelijk gebied metingen uitgevoerd in de bovenste 10 cm van de bodem, en is een achtergrondconcentratie vastgesteld waarbij 95% van de locaties onder deze waarde liggen (p95-waarde). Dat betekent dat 95% van het landelijk gebied in Nederland een lagere concentratie heeft dan de achtergrondwaarde (Tabel 15).

Tabel 15. Achtergrondwaarden uit het NOBO rapport (VROM 2008) en achtergrondconcentraties uit de Geochemische BodemAtlas.

| Stofnaam | Achtergrondwaarde NOBO [mg/kg ds] | Achtergrondconcentratie Geochemische BodemAtlas [mg/kg ds] | Bodemtype Geochemische BodemAtlas |
|-----------------|--|---|--|
| Antimoon | 4 | 0,987 | p95 marien klei |
| Barium | 190 | 259 | p95 zand |
| Koper | 40 | 20,03 | p95 zand |
| Strontium | | 52,7 | p95 zand |
| Zink | 140 | 50,8 | p95 zand |

Een tweede bron voor achtergrondconcentraties van metalen is de Geochemische BodemAtlas (Mol, Spijker et al. 2012). Voor het samenstellen van deze atlas zijn ook metingen naar achtergrondconcentraties van metalen uitgevoerd. Naast dat meer monsters zijn genomen (358), zijn deze op een andere manier geanalyseerd waardoor er een betere representatie van het totaalgehalte van metalen in de bodem wordt verkregen. Om deze redenen is gekozen om de achtergrondconcentraties in de Geochemische BodemAtlas te gebruiken voor deze beoordeling. De Geochemische BodemAtlas rapporteert p95-waarden voor verschillende bodemtypen. In deze beoordeling is gekozen

om de laagst gerapporteerde p95-waarde van deze bodemtypen (exclusief bodemtype löss) te nemen als achtergrondconcentratie.

Datum
30 september 2020

Emissie van zware metalen

De emissie van zware metalen ten gevolge van het afsteken van vuurwerk is gerapporteerd in de factsheet "emissieschattingen diffuse bronnen en emissieregistratie – afsteken vuurwerk" (Dröge and Roex 2018). Hierin zijn de emissies van metalen uit vuurwerk over meerdere jaren uiteengezet. Voor onderliggende indicatieve beoordeling worden de data van het meest recente jaar (2016) uit deze factsheet gebruikt (Tabel 14). Daarnaast wordt ervan uitgegaan dat 56% van de totale emissie van metalen uit vuurwerk op de bodem terecht komt (Jansen, Meesters. et al. 2018, Visschedijk, Meesters et al. 2020).

Ook zijn de emissies van koper en zink terug te vinden op de website www.emissieregistratie.nl. Hier worden zowel emissies ten gevolge van vuurwerk als totale jaarlijkse emissie uit overige bronnen gerapporteerd. De emissies voor vuurwerk komen voor zowel koper als zink redelijk overeen met de waarden uit het emissieschattingen rapport. Omdat de overige metalen niet publiekelijk beschikbaar zijn op emissieregistratie.nl is gekozen om de waarden uit het rapport "emissieschattingen diffuse bronnen en emissieregistratie" (Dröge and Roex 2018) te gebruiken.

Oppervlakten in Nederland

Voor de oppervlakte van stedelijk gebied in Nederland is het overzicht van het CBS in Statline gebruikt (CBS 2018). In de Statline omgeving zijn de oppervlakten in Nederland onderverdeeld in een tal van categorieën, zoals "Bebouwd terrein", "Semi-bebouwd terrein", en "Bos en open natuurlijk terrein". In deze categorieën is een selectie gemaakt die het stedelijke oppervlakte het beste beschrijft (Tabel 16 en Tabel 17). Het resulterende totale oppervlak is vervolgens vergeleken met die voor stedelijk gebied afgeleid uit de (AtlasLeefomgeving 2020). In dit laatste getal zit ook nog wateroppervlak. Beide oppervlakten kwamen redelijk overeen. Uiteindelijk is voor deze beoordeling de oppervlakte uit Statline gebruikt (CBS 2018).

Tabel 16. Oppervlakte gebruikte categorieën stedelijk gebied (CBS 2018).

| Categorie | Oppervlakte [ha] |
|---|-------------------------|
| Bebouwd terrein Woonterrein | 235.839 |
| Bebouwd terrein Terrein voor detailhandel en horeca | 11.437 |
| Bebouwd terrein Terrein voor openbare voorzieningen | 11.823 |
| Bebouwd terrein Terrein voor sociaal-culturele voorz. | 16.093 |
| Bebouwd terrein Bedrijventerrein | 86.336 |
| Recreatieterrein Park en plantsoen | 30.819 |

Tabel 17. Totaal oppervlakten (CBS 2018, AtlasLeefomgeving 2020).

| Categorie | Oppervlakte [ha] |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Stedelijk gebied Statline | 392.347 |
| Stedelijk gebied Atlas Leefomgeving | 402.484* |

Datum
30 september 2020

* Ook oppervlaktewater meegenomen.

Resultaten en discussie

De berekende jaarlijkse toegevoegde concentratie van metalen ten gevolge van vuurwerk in stedelijke bodem staat weergegeven in Tabel 18. Hier staan de berekende concentraties ook uitgedrukt in percentages ten opzichte van de achtergrondconcentratie. Als laatste is ook de berekende concentratie uitgedrukt in percentages van de HC50, te vinden in Brand, Smit et al. (2015) en het NOBO-rapport (VROM 2008).

Tabel 18. De berekende toegevoegde concentratie in de bodem per jaar voor de metalen verspreid over de toplaag van Nederlands stedelijk gebied.

| Stofnaam | Toegevoegde concentratie in bodem per jaar in stedelijk gebied t.g.v. vuurwerk [mg/kg ds] | Jaarlijkse bijdrage vuurwerk t.o.v. achtergrondconcentratie [%] | Jaarlijkse bijdrage vuurwerk t.o.v. HC50 [%] |
|-----------------|--|--|---|
| Antimoon | 0,043 | 4,31 | 0,001 |
| Barium | 0,524 | 0,20 | 0,250 |
| Koper | 0,265 | 1,32 | 0,442 |
| Strontium | 0,169 | 0,32 | - ¹ |
| Zink | 0,027 | 0,05 | 0,013 |

1) De HC50-waarde voor Strontium is niet bekend

Bijdrage vuurwerk ten opzichte van de achtergrondconcentratie

Antimoon uit vuurwerk levert de hoogste bijdrage aan de concentratie in de toplaag van de bodem ten opzichte van de achtergrondconcentratie, gevolgd door koper. Gemiddeld ligt de bijdrage ten opzichte van de achtergrondconcentratie op ongeveer één procent. Dat wil zeggen, dat bij deze conservatieve benadering de jaarlijkse bijdrage van vuurwerk redelijk laag ligt. Vuurwerk is echter meerdere jaren afgestoken, de meerjarige bijdrage van vuurwerk ten opzichte van de achtergrondconcentratie ligt dus hoger.

De bijdrage van vuurwerk kan in perspectief worden geplaatst met de totale jaarlijkse emissie van deze metalen uit andere bronnen. Voor koper en zink kunnen via de website www.emissieregistratie.nl de totale emissies naar bodem opgevraagd worden. Tabel 19 geeft de totale emissies uit andere bronnen en de emissies ten gevolge van vuurwerk naar bodem voor zink en koper weer. Koperemissies uit vuurwerk dragen ongeveer een kwart bij aan de totale koperemissie naar de bodem, voor zink is dit 2%.

Tabel 19. Emissies ten gevolge van vuurwerk en totale emissie voor koper en zink naar de Nederlandse bodem.

Datum
30 september 2020

| Stofnaam | Emissie naar bodem t.g.v. vuurwerk [kg] | Totale emissie naar bodem [kg] |
|-----------------|--|---------------------------------------|
| Koper | 6.2361 | 219.800 |
| Zink | 6244 | 295.800 |

Bijdrage van vuurwerk ten opzichte van de HC50

De HC50 wordt in Nederland gebruikt als onderbouwing van de ecologische risico's en vormt naast de risicogrenswaarde voor gezondheidseffecten de onderbouwing van de interventiewaarde. De jaarlijkse bijdrage van vuurwerk afgezet tegen de HC50 kan een indicatie geven van het toegevoegde risico. Hierbij geldt tevens dat een toename in de concentratie niet lineair doorwerkt in het risico. Desondanks kan gesteld worden dat een kleine toename in concentratie niet leidt tot een grote toename van het risico.

De grootste bijdrage van vuurwerk ten opzichte van de HC50 is te zien voor koper (0,44%). Ondanks dat vuurwerk ongeveer voor een kwart bijdraagt aan de totale koperemissie naar de bodem is de bijdrage ten opzichte van de HC50 beperkt. Voor de overige metalen ligt deze verhouding enkele malen tot een veelvoud lager. Omdat deze getallen ten opzichte van de HC50 klein zijn, zijn de ecologische risico's in de bodem ten gevolge van het afsteken van vuurwerk verwaarloosbaar.

Volledigheidshalve wordt nog vermeld dat de transportprocessen in de bodem, zoals afspoeling naar oppervlaktewater en of uitspoeling naar grondwater, en de incorporatie van de metalen in organisch materiaal niet zijn meegenomen in de beoordeling. Onder deze aanname kan ook de totale emissie van de gehele periode (1990 tot 2016), zoals beschreven in het emissieschattingen rapport, worden meegenomen in de berekening (Tabel 20). Ook voor deze totale emissie geldt dat geen sprake is van onaanvaardbare risico's voor de ecologie. Omdat in de praktijk processen als afspoeling en incorporatie in organisch materiaal wel een rol spelen, zullen de risico's voor bodem verder afnemen.

Tabel 20. Emissie zware metalen uit vuurwerk over periode 1990 tot 2016 en hun bijdrage aan de HC50.

| Stofnaam | Emissies t.g.v. vuurwerk voor periode 1990 - 2016 [kg]² | Percentage t.o.v. HC50 stedelijk [%] |
|-----------------|---|---|
| Antimoon | 234.699 | 0,02 |
| Barium | 2.893.903 | 3,28 |
| Koper | 1.462.026 | 5,80 |
| Strontium | 931.878 | - ¹ |
| Zink | 146.417 | 0,17 |

1) De HC50-waarde voor Strontium is niet bekend

2) Emissies zijn per 5 jaar weergegeven. In de sommatie is uitgegaan van de hoogste emissie per 5 jaar periode.

Aannames bediscussieerd

In deze indicatieve beoordeling zijn enkele conservatieve aannames gemaakt. De aannames met de grootste invloed op de uitkomst, en welke in vervolgonderzoek verder uitgewerkt kunnen worden, zijn.

1. De laagdikte van 10 cm
2. Het gedrag van metalen in de bodem
3. Oppervlakte waar depositie optreedt

Datum

30 september 2020

De eerste twee aannames hangen sterk samen. Voor de laagdikte geldt dat een representatieve laagdikte sterk afhankelijk is van het metaal en de omstandigheden in de bodem. Sommige metalen zullen sneller door de bodem bewegen dan anderen en ook dit is sterk afhankelijk van de zuurgraad (pH) van de bodem. In een meer gedetailleerde beoordeling zou daarom per gebied de heersende omstandigheden (bodemtype, pH) meegenomen kunnen worden om na te gaan tot welke diepte de emissie terecht komt. Echter, omdat dit een indicatieve beoordeling betreft, is gekozen voor één bodemtype (standaardbodem) en één laagdikte. De gebruikte laagdikte van 10 cm ligt hierin aan de conservatieve kant. De derde aanname betreft het oppervlak waar depositie plaatsvindt. In deze beoordeling is voor stedelijk gebied gekozen omdat hier het meeste vuurwerk wordt afgestoken. Een groot deel van het stedelijk oppervlak is verhard en een deel van de emissies van het afsteken van vuurwerk kunnen uitwaaien naar aangrenzend landelijk gebied. Een correctie voor verharding zou echter voor de bodem geen verschil maken omdat de depositie per vierkante meter hetzelfde blijft (het bodemvolume neemt af, maar daarmee ook de emissie naar dat bodemvolume).

Conclusie

In deze indicatieve beoordeling is op twee manieren naar de invloed van vuurwerk op de bodem gekeken.

In eerste instantie is de berekende concentratie in de bodem ten gevolge van het afsteken van vuurwerk in 2016 afgezet tegen de achtergrondconcentratie, zoals die in de Geochemische Atlas van Nederland is gerapporteerd. Deze verhouding is uitgedrukt in een percentage concentratie van metalen uit vuurwerk ten opzichte van de achtergrondconcentratie. Voor antimoon en koper ligt deze verhouding boven één procent (4,3% en 1,3% resp.). Voor barium, strontium en zink ligt deze verhouding onder de één procent (0,2%, 0,3% en 0,05% resp.). Als de vuurwerkemissies van meerdere jaren worden meegenomen, worden deze percentages hoger, maar voor een realistisch beeld moeten dan ook concentratie reducerende processen als afspoeling naar oppervlaktewater en uitspoeling naar grondwater worden meegenomen. Dat is in deze indicatieve risicobeoordeling niet gedaan.

In tweede instantie is de berekende concentratie van metalen in de bodem ten gevolge van het afsteken van vuurwerk vergeleken met de HC50-waarden. Voor koper komt deze eenjarige concentratie uit op 0,44% van de HC50-waarde van koper, voor de overige stoffen is dit lager. Op basis van deze inschatting lijken de ecologische risico's van het afsteken van vuurwerk verwaarloosbaar. Echter, wanneer deze emissies nog meerdere decennia plaatsvinden kunnen deze risico's hoger worden.

Indien wenselijk kan in nader onderzoek in meer detail naar het gedrag van metalen in de bodem worden gekeken. Hierbij kunnen onder andere processen als afspoeling en uitspoeling worden meegenomen .

Datum
30 september 2020

4. Effecten van vuurwerk op de luchtkwaliteit

Datum
30 september 2020

Inleiding

De grootste emissie naar de lucht bij het afsteken van vuurwerk is fijnstof. Gassen die bij het afsteken van vuurwerk naar de lucht worden geëmitteerd zijn koolstofdioxide, koolstofmonoxide, methaan, waterstofsulfide, zwaveldioxide en distikstofoxide (Tabel 21). Daarnaast worden stofvormige componenten uitgestoten. Dit zijn zware metalen en kaliumcarbonaten, -sulfaten en -sulfieten. De kaliumzouten worden niet apart geregistreerd. Tien procent van de stofvormige componenten (zware metalen, kaliumzouten) is in de vorm van fijnstof (Dröge and Roex 2018).

Op basis van Tabel 3 wordt aangenomen dat al het fijnstof en alle gasvormige componenten die bij het afsteken van vuurwerk vrijkomen, in de lucht terecht komen. Daarnaast komt ook 30% van de overige stofvormige componenten in de lucht terecht.

Tabel 21. Emissies naar lucht (kg) als gevolg van het afsteken van vuurwerk (RIVM 2020a).

| Stof | Emissie in 2018 |
|------------------|------------------------|
| Methaan | 1.3695 |
| Zwaveldioxide | 32.121 |
| Waterstofsulfide | 19.837 |
| Distikstofoxide | 32.121 |
| Koolstofmonoxide | 114.540 |
| Koolstofdioxide | 717.950 |
| Antimoon | 1.544 |
| Barium | 18.957 |
| Koper | 9.578 |
| Strontium | 6.109 |
| Zink | 963 |
| Fijnstof | 709.351 |
| Stikstofdioxide | 4.316 |

Voor onderliggende beknopte analyse van de effecten van emissies van vuurwerk op de luchtkwaliteit is gebruik gemaakt van de publicaties van het Compendium voor de Leefomgeving (Compendium-voor-de-Leefomgeving 2020) en van de publicatie van (Van den Elshout, Woudenberg et al. 2019).

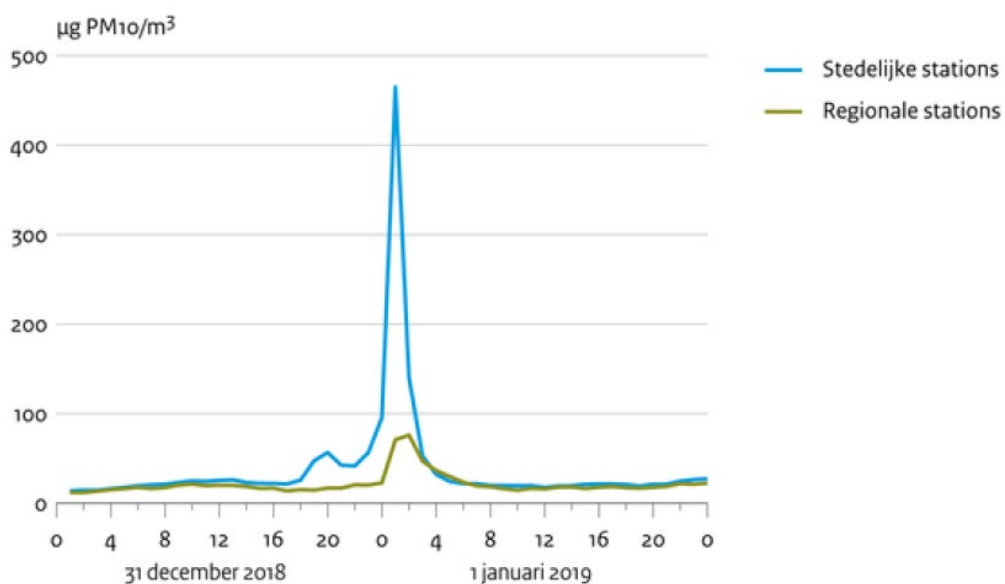
Resultaten en discussie

Emissies fijnstof

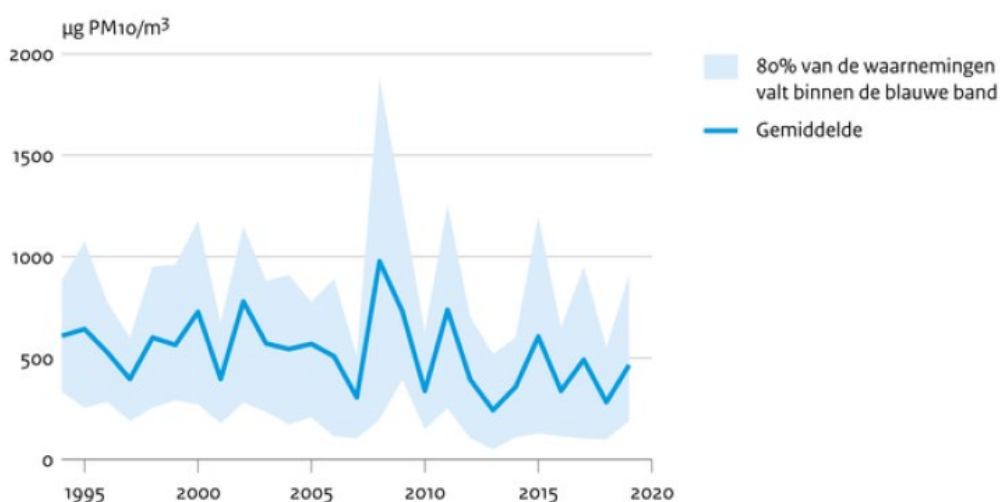
Tijdens de jaarwisseling veroorzaakt vuurwerk in korte tijd forse luchtverontreiniging met onder andere sterk verhoogde niveaus van fijnstof (PM10). In het eerste uur van de jaarwisseling laten stedelijke meetpunten verhoogde concentratiewaarden van fijnstof zien (Figuur 1). In de loop van de nacht dalen de fijnstofconcentraties ook weer snel tot onder de jaargemiddelde norm van 40 µg/m³. Figuur 2 toont de piek voor fijnstof voor meerdere jaarwisselingen. Er is te zien dat de concentratie fijnstof lokaal tijdelijk kan oplopen tot boven de 1.000 µg/m³. Gemiddeld

over de periode 1994 tot en met 2019 ligt de fijnstofconcentratie in het eerste uur na de jaarwisseling net iets boven de 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Datum
30 september 2020



Figuur 1. Concentratie fijnstof tijdens jaarwisseling 2018/2019 (Compendium-voor-de-Leefomgeving 2020).



Figuur 2. Stedelijke concentratie fijnstof vlak na de jaarwisseling (Compendium-voor-de-Leefomgeving 2020).

Omdat consumenten éénmaal per jaar vuurwerk mogen afsteken is de bijdrage aan het jaartotaal van fijnstofemissie gering. Toch neemt het relatieve aandeel aan fijnstofemissies toe. In 1990 was de bijdrage aan fijnstofemissies nog ongeveer 0,1%, maar dat gaat de laatste jaren naar ruim 2% (Tabel 22). Dit komt doordat de hoeveelheid

afgestoken consumentenvuurwerk sinds 1990 is toegenomen. Daarnaast zijn de emissies van belangrijke bronnen als verkeer en industrie afgenomen.

Voor PM2.5 is het aandeel vuurwerk zelfs nog sterker toegenomen: van minder dan 0,1% in 1990 naar 4,5% in 2017 (Van den Elshout, Woudenberg et al. 2019).

Datum
30 september 2020

Tabel 22. Emissies van fijnstof (PM10) in ton per jaar.

| Emissiebron | 2015 | 2016 | 2017 |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|
| Nationaal totaal | 31.290 | 29.790 | 29.340 |
| Wegverkeer* | 4.902 | 4.672 | 4.530 |
| Houtstook | 1.971 | 1.971 | 1.972 |
| Vuurwerk | 735 (2,3%) | 692 (2,3%) | 739 (2,5%) |

* De wegverkeeremissies bestaan uit uitlaatgassen en overige fijnstofbronnen bij het wegverkeer, zoals banden en remslijtage (Van den Elshout, Woudenberg et al. 2019, RIVM 2020a).

De vuurwerkuitstoot speelt uiteraard een rol in de uiteindelijke luchtconcentraties rond de jaarwisseling, maar ook meteorologische omstandigheden spelen een rol. Een flink deel van de jaarlijkse variatie wordt veroorzaakt door het weer en met name de windsnelheid. De pieken en dalen in de jaarwisselingsconcentraties en de windsnelheid zijn nagenoeg tegengesteld (Van den Elshout, Woudenberg et al. 2019).

Het afsteken van vuurwerk draagt circa 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bij aan de jaargemiddelde fijnstof concentratie, met als range 0 tot 0,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, afhankelijk van tijd en plaats (Van den Elshout, Woudenberg et al. 2019). De jaargemiddelde concentratie fijnstof is de laatste jaren sterkt gedaald en ligt momenteel rond de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Nederland (Compendium-voor-de-Leefomgeving 2019). Dit voldoet aan de jaargemiddelde norm van 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Wel kan als gevolg van het afsteken van vuurwerk de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ als vierentwintig-uurgemiddelde concentratie worden overschreden, maar dit mag maximaal vijfendertig keer per kalenderjaar voorkomen (Rijksoverheid 2019).

Gasvormige emissies

De hoeveelheid gasvormige componenten die naar de lucht wordt geëmitteerd na het afsteken van vuurwerk (Tabel 21) is vrijwel verwaarloosbaar is ten opzichte van de jaarlijkse emissies door andere bronnen, zoals verkeer, landbouw en industrie.

Metaalemissies naar de lucht

Naast fijnstof komen bij het afsteken van vuurwerk ook metalen vrij (Tabel 21). De uitstoot van deze metalen komt geheel voor rekening van het siervuurwerk aangezien knalvuurwerk deze metalen niet bevat. Consumentenvuurwerk draagt aanzienlijk bij aan de totale metaalemissies naar de lucht. Voor barium en strontium is dit vrijwel 100%. Ook voor koper en antimoon zijn de bijdragen fors (circa 20-30%). Voor beide stoffen is het afsteken van vuurwerk na verkeer de grootste bron. Voor zink is het aandeel vuurwerk beperkt met een percentage van 1%.

Er zijn bij RIVM geen metingen bekend van de toename van metaalconcentraties in de lucht als gevolg van het afsteken van vuurwerk. Voor deze metalen worden in de Wet Milieubeheer ook geen richtwaarden genoemd (Rijksoverheid 2019).

Datum
30 september 2020

Conclusie

Als gevolg van het afsteken van vuurwerk kan de concentratie fijnstof rond de jaarwisseling lokaal tijdelijk oplopen tot boven de $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In de loop van de nacht daalt de fijnstofconcentratie ook weer snel tot onder de jaargemiddelde norm van $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Het afsteken van vuurwerk draagt circa $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bij aan de jaargemiddelde fijnstofconcentratie, die momenteel rond de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ligt in Nederland.

De hoeveelheid gasvormige componenten die naar de lucht wordt geëmitteerd na het afsteken van vuurwerk is vrijwel verwaarloosbaar ten opzichte van de jaarlijkse emissies door andere bronnen.

Van de zware metalen die vrijkomen na het afsteken van vuurwerk wordt 30% naar de lucht geëmitteerd. Consumentenvuurwerk heeft een aanzienlijke bijdrage aan de totale emissie van sommige metalen naar de lucht. Er zijn bij RIVM echter geen metingen bekend van de toename van metaalconcentraties in de lucht als gevolg van het afsteken van vuurwerk.

5. Samenvattende conclusies en aanbevelingen

Datum

30 september 2020

Het algemene beeld dat uit deze studie naar voren komt, is dat de emissies naar het milieu door het afsteken van vuurwerk rond de jaarwisseling leiden tot beperkte, meestal tijdelijk effecten op de kwaliteit van het oppervlaktewater, de bodem en de lucht. Lokale, mogelijk ernstiger, effecten kunnen met deze studie echter niet worden vastgesteld.

Oppervlaktewater

Zware metalen uit vuurwerk komen in het oppervlaktewater terecht via de riolering. Een regenbui na de jaarwisseling kan leiden tot sterk verhoogde concentraties zware metalen in het rioolwater. In de rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) worden de meeste van deze metalen voor het grootste deel verwijderd. Desondanks kan door de lozing van het effluent de concentratie van deze metalen in het ontvangende oppervlaktewater (tijdelijk) sterk toenemen.

Overstorten en lozingen vanuit regenwaterriolen kunnen ook tot forse toename leiden van de metaalconcentraties in het ontvangende oppervlaktewater, omdat deze lozingen niet zijn gezuiverd. Verreweg de grootste hoeveelheid van de emissie naar het riool wordt echter afgevoerd naar de rwzi's, zodat de meeste van de metalen in het riool voor het grootste deel wordt verwijderd.

Of er normen worden overschreden door de emissies naar het oppervlaktewater is niet op voorhand te zeggen. De emissie van metalen uit vuurwerk naar het oppervlaktewater vormt een piekbelasting na de jaarwisseling. Grote rivieren waar het aandeel van een effluentlozing (of eventueel een overstort of lozing van regenwaterriool) op het totale debiet gering is, zijn minder gevoelig voor overschrijdingen van normen door een lozing dan kleinere oppervlaktewateren waar zo'n lozing een significant deel kan zijn van het totale debiet van het waterlichaam. Bij deze kleinere oppervlaktewateren, met een grote invloed van het effluent van de rwzi, is het reëel te veronderstellen dat normen voor metalen tijdelijk worden overschreden na de jaarwisseling.

Om de effecten van metaalemissies uit vuurwerk op de kwaliteit van het oppervlaktewater preciezer te kunnen bepalen, is informatie nodig van regionale watersystemen en de emissies die hierin plaatsvinden en/of kunnen metingen worden verricht na de jaarwisseling.

Bodem

Emissies van metalen uit vuurwerk naar de bodem zorgen voor een toename van de achtergrondconcentratie. Jaarlijks is dit voor antimoon en koper respectievelijk circa 4% en 1%, voor barium, strontium en zink respectievelijk 0,2%, 0,3% en 0,05%. Als de vuurwerkemissies van meerdere jaren worden meegenomen, worden deze percentages hoger, maar voor een realistisch beeld moeten dan ook concentratie-reducerende processen als afspoeling naar oppervlaktewater en uitspoeling naar grondwater worden meegenomen. Deze aspecten zijn niet meegewogen in deze indicatieve risicobeoordeling.

In tweede instantie is de berekende concentratie van metalen in de bodem ten gevolge van het afsteken van vuurwerk vergeleken met de HC50. Voor koper komt deze éénjarige concentratie uit op 0,44 % van de HC50, voor de overige stoffen is dit lager. Op basis van deze inschatting lijken de ecologische risico's van het afsteken van vuurwerk verwaarloosbaar. Echter, wanneer deze emissies nog meerdere decennia plaatsvinden kunnen deze risico's hoger worden.

In een nader onderzoek kan in meer detail naar het gedrag van metalen in de bodem worden gekeken. Hierbij kunnen onder andere processen als afspoeling en uitspoeling meegenomen worden en de invloed van verschillende bodemtypes.

Lucht

Als gevolg van het afsteken van vuurwerk kan de concentratie fijnstof rond de jaarwisseling lokaal tijdelijk oplopen tot boven de $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In de loop van de nacht daalt de fijnstofconcentraties ook weer snel tot onder de jaargemiddelde norm van $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Het afsteken van vuurwerk draagt circa $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bij aan de jaargemiddelde fijnstof concentratie, die momenteel rond de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ligt in Nederland.

Het afsteken van vuurwerk levert een grote bijdrage aan de totale emissie naar de lucht van sommige zware metalen (barium, strontium, koper, antimoon) in Nederland.

Desondanks hebben zware metalen en andere componenten, die via vuurwerk naar de lucht worden geëmitteerd, een minder groot effect op de luchtkwaliteit dan fijnstof.

Voor zover bekend bij RIVM zijn er rond de jaarwisseling nog geen metingen gedaan van concentraties zware metalen in de lucht. Inzicht in de concentratie zware metalen in de lucht zou kunnen helpen om het effect op de luchtkwaliteit rond de jaarwisseling beter te kunnen bepalen.

Algemeen

Een eventueel verbod op knalvuurwerk leidt tot een reductie van emissies naar de lucht (gasvormige componenten, fijnstof) van circa 10%. Emissies naar oppervlaktewater en bodem worden hierdoor nauwelijks lager.

Referenties

Datum

30 september 2020

AtlasLeefomgeving (2020). from www.atlasleefomgeving.nl.

Brand, E., et al. (2015). "Onderbouwing ecologische risicogrenswaarden voor bodem." RIVM, Bilthoven.

Brouwer, J., et al. (1995). "Afsteken van vuurwerk." WESP rapportnr C3, RIVM rapportnr 772414005.

CBS (2018). "Bodemgebruik; uitgebreide gebruiksvorm, per gemeente." Retrieved 06-04-2020, 2020, from <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/70262ned/table?dl=29F7A>.

CBS (2020). "Zuivering van stedelijk afvalwater; per provincie en stroomgebieddistrict." Retrieved 29 April 2020, from <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/7477/table?ts=1580212266643>.

Compendium-voor-de-Leefomgeving (2019). "Fijn stof (PM10) in lucht, 1992-2017." from <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0243-fijn-stof-pm10-in-lucht>.

Compendium-voor-de-Leefomgeving (2020). "Luchtverontreiniging tijdens de jaarwisseling, 1994-2020." from <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0570-luchtverontreiniging-tijdens-de-jaarwisseling>.

De Rijk, S., et al. (2010). Invloed van steden en klimaatverandering op de Rijn en de Maas, Deltares.

Dröge, R. and E. Roex (2018). "Emissieschattingen Diffuse bronnen Emissieregistratie - Afsteken vuurwerk."

Emissieregistratie (2020). "Watson-database." from <http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/erpub/wsn/default.aspx?rwzi>.

Jansen, B. I., et al. (2018). "Methodology for the calculation of emissions from product usage by consumers, construction and services." RIVM, Bilthoven Report No. 2018-0011.

KNMI (2011). "Regendagen." from <https://www.onweer-online.nl/forum/topic/28699/regendagen/>.

Mol, G., et al. (2012). Geochemische bodematlas van Nederland. The Netherlands, Wageningen Academic Publishers.

Posthuma, L., et al. (2002). Species sensitivity distributions in ecotoxicology, Lewis Publishers.

Rijksoverheid (2013). "Circulaire bodemsanering." Staatscourant 2013 nr. 16675(Nr. 16675).

Rijksoverheid (2018). "Regeling Bodemkwaliteit." <https://wetten.overheid.nl/BWBR0023085/2018-11-30>.

Rijksoverheid (2019). "Wet Milieubeheer." from <https://wetten.overheid.nl/BWBR0003245/2019-11-14/#Bijlage2>.

RIVM (2020). "Zoeksysteem Risico's van stoffen." 30 April 2020, from <https://rvszoeksysteem.rivm.nl/>.

RIVM (2020a). "www.emissieregistratie.nl."

RIWA-Maas (2018). "Jaarrapport in groepen. Eijsden (M615). 1-1-2017 t/m 31-12-2017." Retrieved 30 April 2020, from <https://www.riwa-maas.org/wp-content/uploads/2018/08/EYS-2017-NL.pdf>.

RIWA-Rijn (2017). "Jaarrapport 2016 De Rijn." from <https://www.riwa-rijn.org/wp-content/uploads/2017/09/RIWA-jaarrapport-NL-2016-internet.pdf>.

Van den Elshout, S., et al. (2019). "Vuurwerk, relevante luchtvervuiling?" Tijdschrift Lucht december: 33-35.

Van Duijnhoven, N. (2018). Emissieschattingen Diffuse bronnen EmissieRegistratie. Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's, Partners 4 Urban Water en Deltares.

Vischedijk, A., et al. (2020). "Methodology for the calculation of emissions from product usage by consumers, construction and services." RIVM rapport 2020-0041.

VROM (2008). "NOBO: Normstelling en bodemkwaliteitsbeoordeling."

Datum
30 september 2020