

*Notitie***Aan**

Provincie Groningen (TNO-project 27522)

Van

Jan Duyzer, Peter Tromp, Reinier Sterrenburg

Onderwerp

Duiding van de metingen aan monsters sneeuw in relatie tot de blazer van het ESD-terrein van 24 januari 2019.

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56

Datum

11 april 2019

Onze referentie

100320545 -2 versie2

E-mail

jan.duyzer@tno.nl

Doorkiesnummer

+31 88 662 02 7

Doorkiesfax

Samenvatting

Op donderdag 24 januari 2019 trad boven een besneeuwd landschap een zware blazer (klasse 4) op bij ESD-SIC. De volgende dag zijn door een TNO-medewerker op regelmatige afstanden van ESD (tussen 0.8 en 7 km) monsters sneeuw genomen op de plaatsen waar de stofdepositie (neerslag uit de blazer) zichtbaar terecht was gekomen. De monsters zijn uitgebreid onderzocht op een breed scala aan fysisch-chemische parameters waaronder het gehalte aan deeltjes, silicium carbide (SiC) vezels, PAK en zware metalen. In een eerdere notitie van TNO van 25 maart 2019 (referentie 100320545) wordt ingegaan op de resultaten van deze analyses en de depositie op de bodem. In de voorliggende notitie wordt de concentratie van stoffen in lucht tijdens de blazer afgeleid. Deze is afgeleid aan de hand van berekeningen van de verspreiding met een computermodel

De concentratie van alle stoffen in de pluim loopt sterk af met de afstand tot het ESD-terrein. De concentraties aan SiC vezels nemen af van 480 000 vezels/m³ op leefhoogte op een afstand van 800 m tot het ESD-terrein tot ca. 20.000 op grotere afstanden (5 - 7 km). De concentratie aan PAK (waaronder benzo(a)pyreen) en zware metalen vertoont eenzelfde verloop met de afstand. Het is belangrijk op te merken dat de onzekerheid in de schattingen aanzienlijk is. Toch bieden deze berekeningen, die zijn geverifieerd met meetresultaten, een uniek eerste inzicht in de samenstelling van de lucht in de pluim van een blazer.

Met het model is ook de concentratie van stoffen in de omgeving berekend. Aan de hand van deze berekeningen kan de blootstelling van personen worden berekend. Een gezondheidskundige duiding kan op basis hiervan plaatsvinden. Dit aspect zal worden behandeld door de GGD Groningen en vastgelegd in een aparte rapportage.

Datum

11 april 2019

Onze referentie

100320545 -2

Blad

2/14

Achtergrond en aanleiding

Op donderdag 24 januari 2019 trad een zware blazer (klasse 4) op bij ESD-SIC. Tijdens de blazer was er een matige wind; windsnelheid tussen 3 en 4 m/s) uit Zuidzuidoostelijk richting, wat betekent dat de stofpluim in de richting van Farmsum en Delfzijl terecht is gekomen (zie Figuur 1). In deze periode was de omgeving bedekt met sneeuw en was de verspreiding als gevolg van de blazer voor iedereen goed zichtbaar in de sneeuw. De dag na de blazer zijn door TNO, in opdracht van de provincie, monsters sneeuw genomen op de plaatsen waar de stofdepositie was terechtgekomen, waarbij zoveel mogelijk in de pluimas is bemonsterd. Deze monsters zijn uitgebreid door TNO onderzocht op het voorkomen van stoffen en deeltjes. In de TNO-notitie van 25 maart 2019 (referentie 100320545) zijn de resultaten van deze analyses vastgelegd. In voorliggend notitie wordt een nadere analyse gegeven van de aangetroffen concentraties. Daarbij is de centrale vraag: *kan op basis van de in sneeuw aangetroffen concentraties van stoffen een uitspraak worden gedaan over de concentraties van stoffen in lucht en zo ja wat zijn dan de luchtconcentraties?* In deze notitie worden de door TNO uitgevoerde berekeningen om deze vraag te beantwoorden beschreven en worden schattingen gepresenteerd van de luchtconcentraties die samenhangen met de in de sneeuw aangetroffen stoffen. De geschatte concentraties zijn dus het resultaat van modelberekeningen gecombineerd met en getoetst aan de meetresultaten.



Figuur 1. De blazer van 24 januari 2019)

Eerdere berekeningen

Bureau Blauw (2016) heeft in het verleden inschattingen gemaakt naar de belasting van de omgeving door blazers. Zij schatten de emissies van “totaal stof” door blazers op 0,02 ton stof. Zij onderzochten ook de samenstelling van het stof, waaronder zware metalen (cadmium, chroom, nikkel en vanadium) en polycyclisch aromatische koolwaterstoffen (PAK). Het gehalte aan zware metalen en PAK in PM10 stof betrof respectievelijk 0.094 % en 0.013%. SiC en SiC vezels werden niet aangetroffen. Ze voerden ook modelberekeningen uit van emissies tijdens reguliere bedrijfsvoering (inclusief het optreden van een incidentele blazer) en gaan uitvoerig in op de kans op overschrijding van grenswaarden voor PM10, PAK en zware metalen. De gemaakte berekeningen worden in dit rapport summier beschreven. Zo is niet duidelijk met welke hoogte van de blazer is rekening gehouden. Berekeningen door TNO laten zien dat de gekozen hoogte belangrijk is voor de uitkomsten.

Datum

11 april 2019

Onze referentie

100320545 -2

Blad

3/14

Gebruikte methode

Bij de interpretatie van de resultaten van de metingen aan de sneeuwmonsters is gebruik gemaakt van modelberekeningen. Een model voor de verspreiding van luchtverontreiniging beschrijft op basis van wiskundige vergelijkingen de verspreiding van stoffen door de lucht. Er zijn echter vele soorten modellen. Er is bij TNO niet direct een model beschikbaar of bekend dat het optreden van een blazer beschrijft en tegelijkertijd de depositie van stoffen berekent. Wel beschikt TNO over het model PluimPlus (PluimPlus, 2018) dat de verspreiding van stoffen in de lucht beschrijft en de daarmee samenhangende depositie. Om het model te gebruiken is een aantal aannamen gedaan over de blazer.

Het beeld van een blazer is inmiddels wel bekend. Ten behoeve van de modelberekeningen is het volgende belangrijk:

- In een zogenaamde oven waarin silicium carbide wordt geproduceerd ontstaat een explosie waarbij een gedeelte van het bed de lucht in wordt geschoten.
- Bij de explosie komen grotere en kleinere deeltjes vrij die de lucht in worden geschoten.
- Verschillende waarnemers wijzen op een tijdsduur van de blazer van hooguit enkele minuten.
- Uit waarnemingen van eerdere blazers en de kennis over deze blazer (categorie 4) is geconcludeerd dat de maximale hoogte ongeveer 150 m zou kunnen zijn. De maximale hoogte is de hoogte zoals die wordt waargenomen met het blote oog. Aangenomen wordt dat de zichtbare wolk, aan de top van de blazer, bestaat uit een bepaalde categorie deeltjes. Het betreft waarschijnlijk niet de kleinste deeltjes (PM10) en ook niet de allergrootste (mm). Deze laatste zullen snel uit de lucht vallen. TNO heeft deeltjes tot 1 mm in de sneeuw aangetroffen op 0,8 km afstand van ESD-SiC.
- Vanaf het hoogste punt dat deeltjes bereiken worden ze meegenomen door de wind en zal hun gedrag door allerlei processen beïnvloed worden.

Het gaat om verspreiding door de wind en opname (depositie aan het oppervlak). De grootste hier beschreven deeltjes zullen meegenomen worden door de wind maar, onder invloed van de zwaartekracht, vrij snel naar het aardoppervlak worden getransporteerd. De kleinere deeltjes zullen door verspreiding (in horizontale en verticale richting) op een zeker moment in aanraking komen met het aardoppervlak en daar worden opgenomen. Dit laatste is een veel langzamer proces en deze kleine deeltjes kunnen daardoor grotere afstanden afleggen voordat ze deponeren. Wel is de concentratie van deze kleine deeltjes inmiddels door verdunning sterk gedaald. De concentratie is dichtbij de bron het hoogst¹. De snelheid van opname aan het grondoppervlak hangt van vele factoren af. Daarbij speelt de ruwheid van het oppervlak en vooral ook de deeltjes diameter een grote rol.

Datum

11 april 2019

Onze referentie

100320545 -2

Blad

4/14

Werkwijze

Getracht is met het model PluimPlus de verspreiding vanuit de blazer te berekenen. Het model berekent ook de depositie. De depositie kan bijvoorbeeld uitgedrukt worden als: het aantal deeltjes per vierkante meter of het aantal grammen per vierkante meter. In bovengenoemde notitie worden deze eenheden ook gebruikt voor de aangetroffen stoffen in de sneeuwmonsters. Deze uitkomsten zijn dus rechtstreeks vergelijkbaar. De emissie vanuit de blazer kan worden aangepast zodat de berekende depositie overeenkomt met de gemeten depositie. Gezien de vorm van de blazer pluim is er voor gekozen twee bronnen² op verschillende hoogten te kiezen. Dat geeft de beste schatting van de emissie uit de blazer voor de betreffende stof. Het PluimPlus model berekent ook de concentratie in lucht die overeenkomt met de berekende depositie. En geeft dus antwoord op de centrale vraag: met welke concentratie in de lucht komt de gemeten concentratie van stof en stoffen in de sneeuw overeen. In verband met de blootstelling van personen aan de stoffen uit de blazer is het zinvol de concentratie in lucht in een grotere omgeving, buiten het gebied van de metingen, te berekenen.

¹ Dit geldt niet als de bron (bijvoorbeeld een schoorsteen) heel hoog zou zijn. De concentratie is dan pas hoog als de pluim de grond raakt. Vanaf dat punt wordt de concentratie dan steeds lager. In het geval van een blazer vinden "emissies" (althans worden stoffen verspreid) waarschijnlijk plaats over het hele gebied vanaf de bodem tot de top van de pluim.

² De berekeningen die hierna worden besproken laten ook zien dat 150 m een goede keuze is waardoor de berekende deposities goed overeenkomen met de gemeten concentraties in de sneeuw vanaf één kilometer. De gemeten concentraties op de eerste locatie wijkt daar echter sterk van af. Daarom is er gewerkt met een bron op 50 m (die de concentratie op de eerste locatie wel goed berekent) gecombineerd met een bron op 150 m. Deze configuratie geeft een goede overeenstemming tussen de gemeten en berekende deposities.

Resultaten

Gegevens

Met het pluimmodel zijn verschillende berekeningen uitgevoerd. Daarbij werd gerekend met een windsnelheid op 10 m hoogte van 3.7 m/s en een windrichting van 150 graden. Er is daar een standaard emissie van 1 kg/s gebruikt. Deze emissie komt vrij op een hoogte van 50 m en 150 m. Aangenomen is dat de wolk op dat moment al een afmeting heeft van 25 m. Duur van de blazer is gekozen op 1 uur. Voor de berekening van de verspreiding van de vezels is gewerkt met een aerodynamische diameter van 3 μm en een dichtheid van 3.2 g/cm³. Voor de berekening van de deeltjes vallende in het PM10 bereik is gerekend met een aerodynamische diameter van 10 μm en een dichtheid van 2.5 g/cm³. Verder is rekening gehouden met de deeltjesgrootteverdeling van het bronmateriaal (omloopmateriaal) van de ovens op het ESD terrein. In de bijlage wordt nog meer ingegaan op de gebruikte gegevens en wordt besproken hoe onzeker de waarden zijn en in hoeverre deze bijdragen aan de totale onzekerheid in de schattingen van de luchtconcentraties.

Datum

11 april 2019

Onze referentie

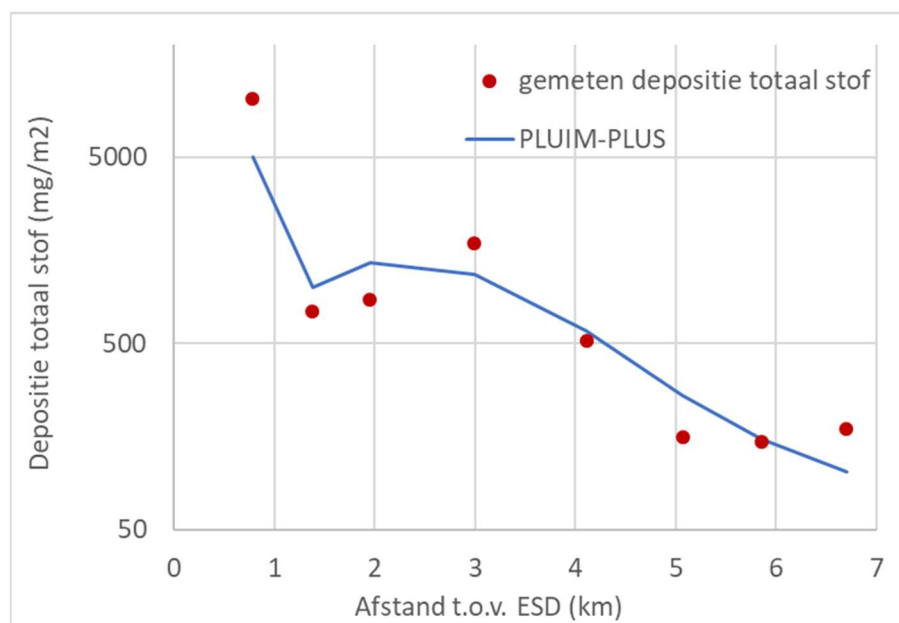
100320545 -2

Blad

5/14

Vergelijking gemeten en berekende deposities

Figuur 2 tot en met 4 laten de gemeten deposities zien van totaal stof, inhaleerbaar stof (deeltjes met een diameter kleiner dan 100 μm), PM10 stof (deeltjes met een diameter kleiner dan 10 μm) en SIC vezels (losse vezels, niet gebonden aan deeltjes > 3 μm). De berekeningen laten een goede overeenkomst zien. Het model beschrijft de waarnemingen goed.



Figuur 2. Berekende en gemeten depositie van totaal stof op verschillende afstanden tot het ESD-terrein als gevolg van emissie door de blazer van 24 januari 2019.

Datum

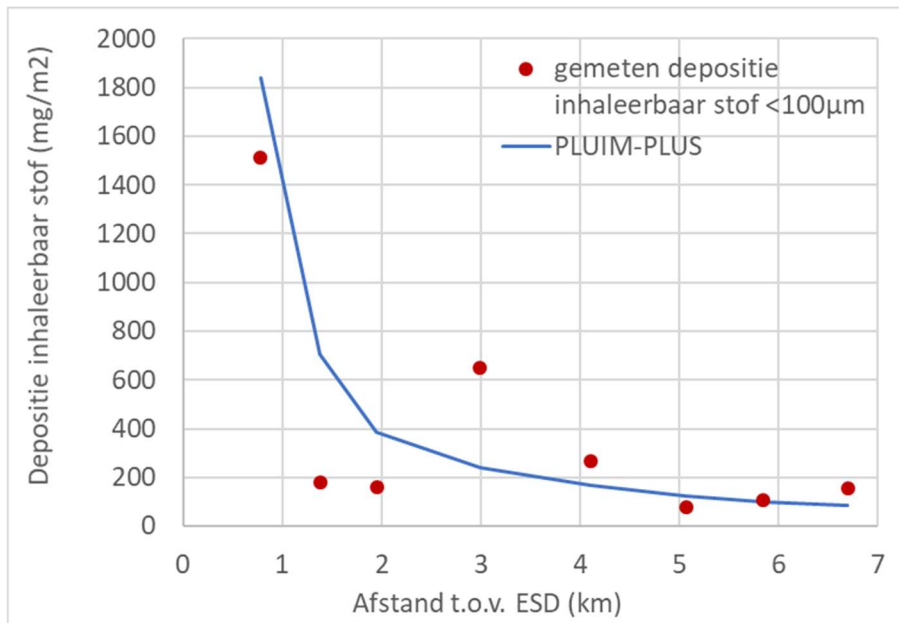
11 april 2019

Onze referentie

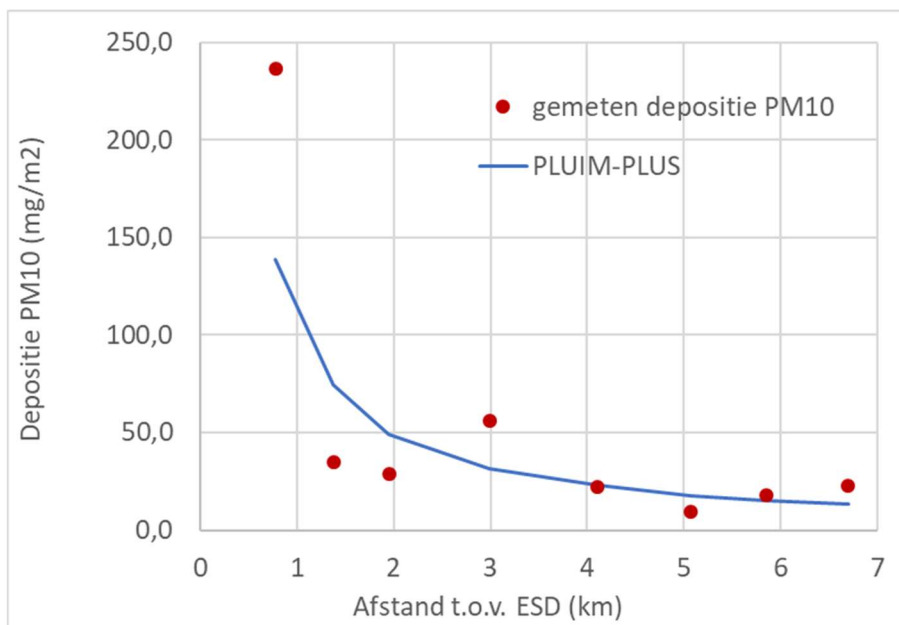
100320545 -2

Blad

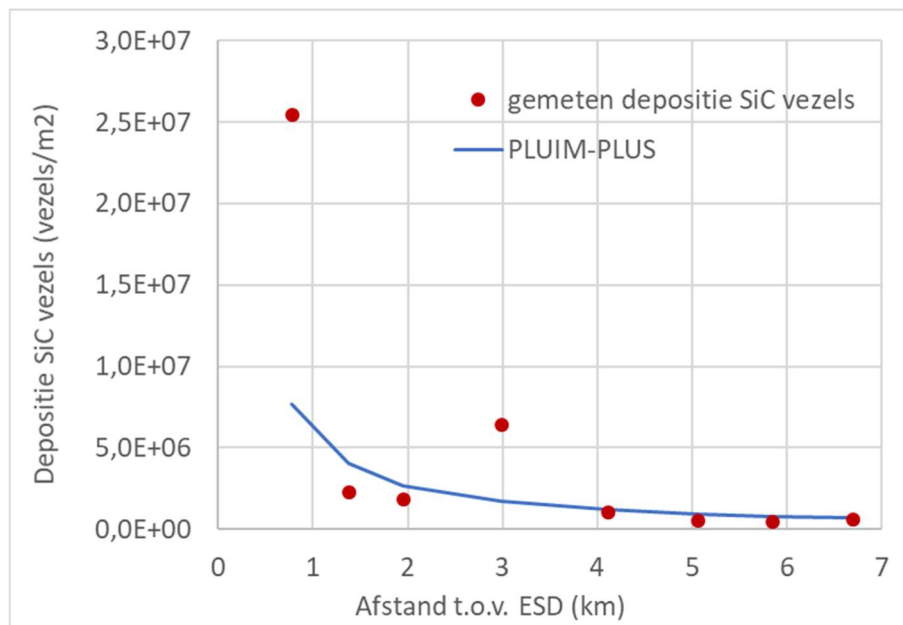
6/14



Figuur 3. Berekende en gemeten depositie van inhaleerbaar stof op verschillende afstanden tot het ESD-terrein als gevolg van emissie door de blazer van 24 januari 2019.



Figuur 4. Berekende en gemeten depositie van PM10 stof op verschillende afstanden tot het ESD-terrein als gevolg van emissie door de blazer van 24 januari 2019.


Datum

11 april 2019

Onze referentie

100320545 -2

Blad

7/14

Figuur 5. Berekende en gemeten depositie van SiC vezels op verschillende afstanden tot het ESD-terrein als gevolg van emissie door de blazer van 24 januari 2019.

Tabel 1. Berekende bijdrage van een enkele blazer bij ESD (24 jan 2019) aan de concentratie van de aangegeven stoffen op 1.5 m hoogte op de verschillende afstanden van ESD. Gegeven zijn de concentraties in lucht in de pluimas d.w.z de hoogste concentratie op die afstand.

Locatie	Afstand tot ESD	PM10	EC	SiC vezels >5 um	PAK		Zware metalen					
					16 EPA	BaP	As	Cd	Ni	Pb	V	Hg
Code	km	µg/m ³	µg/m ³	vezels/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³
grenswaarde (dg)*		50									1000	
grenswaarde (jg)*		40	-	300**	-	1	6	5	20	500	-	50
S1	0,8	3000	620	4,8 x 10 ⁵	700	66	32	8	290	240	660	0,16
S2	1,4	440	75	7,1 x 10 ⁴	86	8	3,8	1,0	36	27	81	0,02
S3	2	360	68	5,8 x 10 ⁴	78	7	3,5	0,9	32	25	73	0,02
S4	3	710	94	1,1 x 10 ⁵	110	10	5	1,3	48	32	110	0,02
S5	4,1	280	30	4,0 x 10 ⁴	36	3,5	1,5	0,4	16	10	35	0,01
S6	5,1	120	13	2,1 x 10 ⁴	15	1,5	0,7	0,2	7	4	15	0,01
S7	5,9	230	20	1,7 x 10 ⁴	23	2,3	1,0	0,3	11	6	23	0,01
S8	6,7	290	21	2,4 x 10 ⁴	25	2,5	1,0	0,3	12	7	25	0,01

* dg = daggemiddelde grenswaarde, jg = jaargemiddelde grenswaarde

** advieswaarde RIVM gebaseerd op het MTR-lucht voor asbest (amfibool)

De berekende deposities komen goed overeen met de gemeten deposities. Het model kan daarom ook gebruikt worden om de bijbehorende luchtconcentraties te berekenen.

Tabel 1 laat de berekende waarden voor PM10 stof, elementair koolstof (EC), PAK (inclusief benzo(a)pyreen) en zware metalen (arseen, cadmium, nikkel, lood, vanadium en kwik) in PM10 zien op de verschillende meetlocaties.

Datum

11 april 2019

Onze referentie

100320545 -2

Blad

8/14

Bij de berekende waarden in Tabel 1 is het volgende van belang:

- Alle waarden gelden voor stoffen in deeltjes in de PM10 grootteklasse. Het betreft de berekende concentratie in de pluimas; de hoogste waarde op deze afstand van de bron. Hierbij moet worden opgemerkt dat niet voor alle locaties de monsterneming in het werkelijke maximum van de depositie zal zijn uitgevoerd. Soms was dat niet mogelijk of was dit niet duidelijk vast te stellen. Dit is wellicht één van de oorzaken van optredende afwijkingen tussen gemeten en berekende depositie (zie ook bijlage).
- De waarden zijn gegeven als uurgemiddelden. De blazer duurt waarschijnlijk slechts enkele minuten. In plaats van de genoemde concentraties kan de concentratie daarom ook gedurende 5 minuten 12 keer zo hoog zijn.
- De waarden op de eerste locatie op 0.8 km zijn veel hoger (factor 10) dan de andere waarden op grotere afstand van het ESD-terrein. Op deze locatie komen veel meer grotere deeltjes neer dan op de verder weg gelegen locaties.
- Kleine deeltjes (o.a. PM10) en vezels kunnen ook gehecht zijn aan grote deeltjes (>100µm). Daarnaast kunnen kleine deeltjes (inclusief vezels) als grotere conglomeraten (clusters van deeltjes) geëmitteerd zijn. Deze grote deeltjes/conglomeraten worden niet of beperkt ingeademd en zijn daardoor minder gevaarlijk voor de gezondheid. Op basis van een gedetailleerde analyse is geconstateerd dat een gedeelte van de SiC vezels en PM10 deeltjes gehecht waren aan grotere deeltjes of als conglomeraten aanwezig waren. Als gevolg van de monster-voorbehandeling van de sneeuwmonsters zijn deze vezels en deeltjes weer "vrijgemaakt" en als individuele PM10 deeltjes en SiC vezels geanalyseerd. Dit is vooral het geval bij de dichtstbijzijnde locaties (S1-S4) waar het aandeel aan grote stofdeeltjes en conglomeraten nog relevant is. Voor deze overschatting van de concentratie aan SiC vezels en PM10 deeltjes is bij de eerste vier meetlocaties (S1-S4) een correctie toegepast op basis van het verschil in gemeten en berekende depositie van SiC vezels en PM10 en door vergelijking met het bronmateriaal (omloop) afkomstig van de ovens op het ESD-terrein. Bij de meetlocaties (S5-S8) op grotere afstand dan 4 km is aangenomen dat alle SiC vezels en PM10 deeltjes vrij zijn en is geen correctie toegepast. Dit lijkt gerechtvaardigd omdat de gemeten en berekende depositie op deze locaties goed overeenkomen.
- De onzekerheid in de geschatte concentraties in lucht bedraagt zeker een factor 5 tot 10. In de bijlage wordt op de verschillende onzekerheden ingegaan. Een van de grootste onzekerheden daarbij is de gekozen snelheid waarmee stoffen op de bodem komen. Er is al een lage waarde gekozen voor de depositiesnelheid, het is echter mogelijk dat de snelheid

nog lager is. Als dit het geval zou zijn, zouden hogere concentraties in lucht worden berekend. Een andere onzekerheid is het aandeel aan kleine deeltjes/vezels dat is gehecht aan grotere deeltjes of als conglomeraten (clusters van deeltjes) in de lucht geëmitteerd zijn. Hiermee is in de berekeningen rekening gehouden. Er blijft echter onzekerheid.

Datum

11 april 2019

Onze referentie

100320545 -2

Blad

9/14

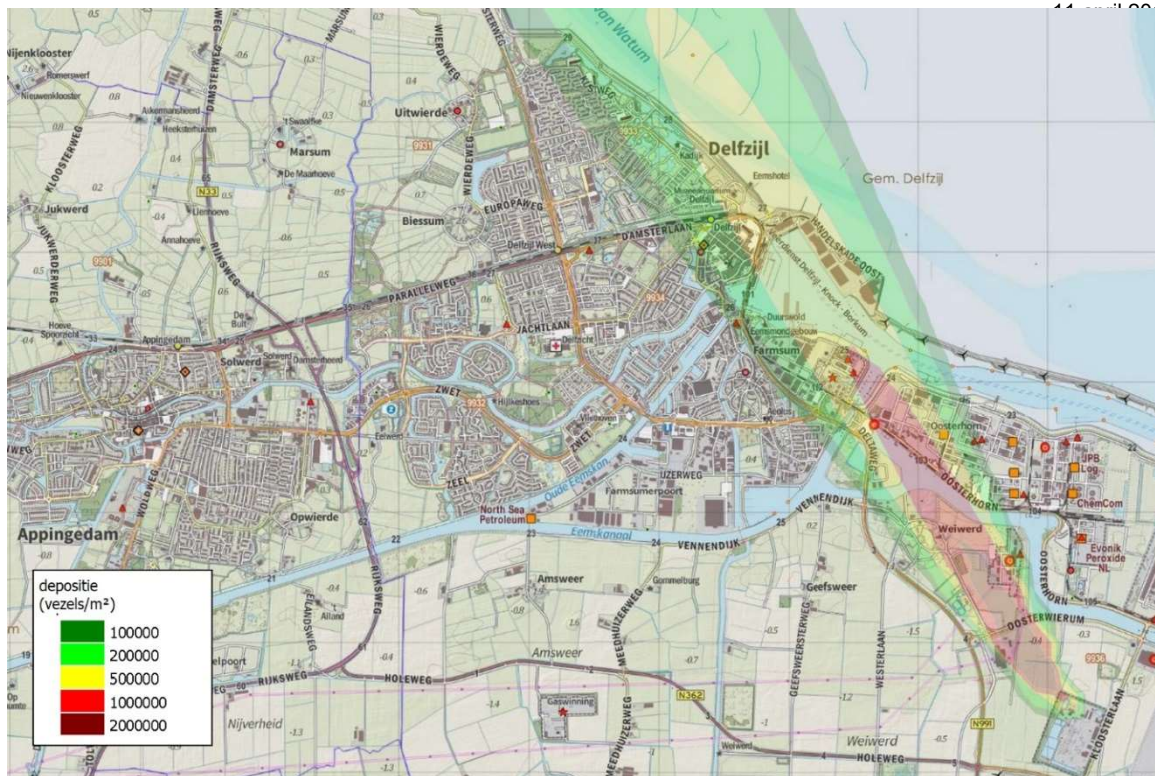
Modelberekeningen van de depositie en concentratie in het gebied

Het getoetste model dat een goede overeenkomst liet zijn met de op enkele plaatsen gemeten deposities is gebruikt om de depositie in het gehele gebied in kaart te brengen. Figuur 4 laat het resultaat zien. Duidelijk is het karakter te zien van de pluim waarbij de depositie concentratie snel afneemt naar de zijanten van de pluim. Het is ook belangrijk te onderzoeken in welk gebied de hoge concentratie verder verhoogd is. Het hierboven getoetste model is daartoe gebruikt om de concentratie in de omgeving tijdens de blazer te berekenen. Figuur 5 laat het verloop van de concentratie in lucht zien in het gebied gedurende de blazer. Duidelijk is ook hier het pluim karakter te zien waarbij de concentratie snel afneemt naar de zijanten van de pluim.

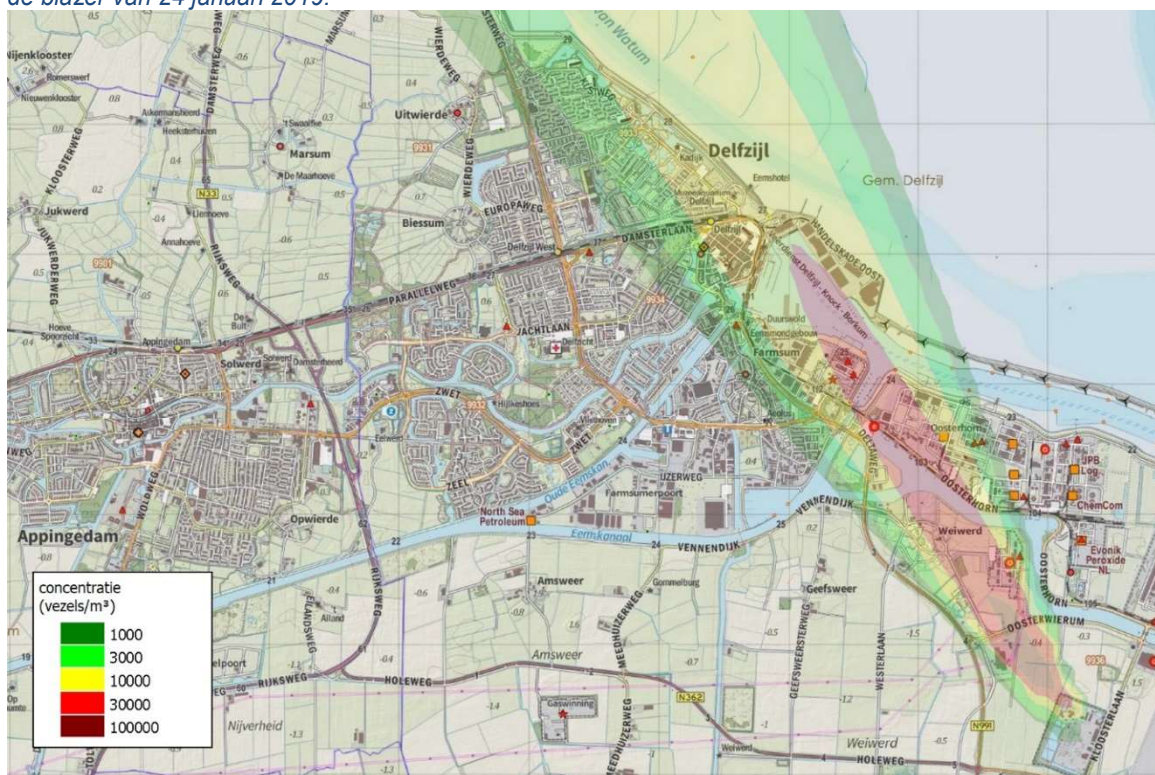
De thans berekende concentraties leiden tot een blootstelling van personen gedurende een uur. Wanneer een persoon in een jaar niet aan een tweede blazer wordt blootgesteld is dit, samen met de achtergrond, de enige blootstelling. Omdat er gedurende een jaar meerdere blazers (aantallen tussen 30 en 50 blazers per jaar worden genoemd) optreden is er een kans dat een persoon meer dan éénmaal per jaar aan een blazer wordt blootgesteld. Om de kans op een dergelijke gebeurtenis af te leiden vereist echter vele berekeningen. Daarbij zijn gegevens nodig van: het aantal blazers per jaar, de emissiesterkte van de blazers (klasse 1-5) inclusief statistische gegevens over de hoogte van deze blazers en de meteorologische omstandigheden. Door het ontbreken van veel van deze gegevens op dit moment, kunnen deze berekeningen binnen het bestek van deze studie naar de sneeuwmonsters niet worden uitgevoerd. In de lopende studies naar de luchtkwaliteit in de omgeving van het industriegebied worden gedurende een jaar metingen van stoffen (zoals PAK en metalen) en specifiek SiC vezels uitgevoerd op meerdere locaties. Op basis van de later in deze onderzoeken beschikbare gegevens, kan waarschijnlijk een betere inschatting van de bijdrage van de blazers worden gedaan.

Datum
14 januari 2019

entite
-2



Figuur 4. Berekende ISO-contouren van de depositie van SiC vezels in de sneeuw tijdens de blazer van 24 januari 2019.



Figuur 5. Berekende ISO-contouren van de uurgemiddelde concentratie van vrije SiC vezels >5µm in de lucht op 1.5 m hoogte tijdens de blazer van 24 januari 2019.

Conclusies

Getracht is op basis van de resultaten van metingen in monsters sneeuw, genomen direct na het optreden van een blazer, een zo goed mogelijke schatting te maken van de concentraties van stoffen in lucht tijdens de blazer. Uit berekeningen met een verspreidingsmodel voor luchtverontreiniging blijkt dat de berekende concentraties in lucht passen bij de gemeten concentraties in sneeuw. De berekeningen zijn gebaseerd op de beschikbare kennis over parameters zoals de hoogte van de blazer, de emissiesterkte van stof tijdens de blazer en de samenstelling van dit stof. Verder is de snelheid waarmee stoffen vanuit de lucht in sneeuw worden opgenomen onzeker. Deze parameter is belangrijk voor de berekende luchtconcentratie en wetenschappelijk gezien onzeker. Ondanks deze onzekerheid vormen deze berekeningen en de combinatie met meetresultaten een uniek eerste realistisch inzicht in de hoeveelheid luchtverontreiniging in de pluim van een blazer. In hoeverre deze luchtconcentraties een gezondheidsrisico vormen valt buiten dit onderzoek. Dit aspect van deze resultaten zal waarschijnlijk worden belicht door GGD-Groningen en vastgelegd in een aparte rapportage.

Datum

11 april 2019

Onze referentie

100320545 -2

Blad

11/14

Verwijzingen

Pluim-Plus versie 4.7 (2018). Rekenmodel voor luchtkwaliteit (punt- en oppervlaktebronnen). TNO.

Buro Blauw(2016)
Emissieonderzoek Blazers ESD-SIC te Farnsum
Rapport BL2016.8146.01-V02

Chamberlain, A.C.
Roughness length of sea, sand, and snow
Boundary-Layer Meteorol (1983) 25: 405.

Gallagher, M.G. E. Nemitz, J.R. Dorsey, D. Fowler, AM. Sutton, M. Flynn, J. Dwyer
(2002)
Measurements and parameterisation of small aerosol deposition velocities to
grassland, arable crops and forest: Influence of surface roughness length on
deposition
Journal of Geophysical research, 107, D12, 8-1 – 8-10 (10.102001JD000817)

Datum

11 april 2019

Onze referentie

100320545 -2

Blad

12/14

Bijlage: Onzekerheden en discussie

De hier gegeven methode om op basis van de gemeten concentraties in de sneeuw de concentratie in lucht te schatten is nieuw. Het is waarschijnlijk de enige wijze waarop wetenschappelijk verdedigbaar een schatting te maken is. Er is een grote behoefte aan deze gegevens omdat andere manieren om naar de samenstelling van blazers te kijken nog niet zijn gevonden. Hoewel voor de berekeningen *state of the art* modellen gebruikt zijn is de onzekerheid in de berekende luchtconcentratie aanzienlijk. Dit heeft vooral te maken met onzekerheid in parameters die ten grondslag liggen aan de gemaakte schattingen. Daarnaast wordt voor modelberekeningen altijd een onzekerheid aangegeven. Deze is echter doorgaans gebaseerd op jaargemiddelden. Voor een berekening van een uurgemiddelde kan de onzekerheid nog weer groter zijn. Sterk punt van de berekeningen hier is dat de uitkomsten, zonder verdere aanpassingen, goed overeenkomen met de meetgegevens. Het vertrouwen in de uitkomsten neemt daardoor toe. Hieronder worden de verschillende parameters kort besproken:

- De gemeten concentraties zijn relatief zeker. Ze zijn met moderne, *state of the art* apparatuur uitgevoerd volgens bestaande gevalideerde methoden. De onzekerheid in de kwaliteit van de monsterneming is ook klein. Het is echter niet zeker of het monster altijd in de werkelijke pluimas genomen is. De geschatte positie van de pluimas is in de sneeuw gezocht maar was mogelijk niet altijd correct of in toegankelijk. De concentratie in lucht zou daardoor onderschat worden.
- De windsnelheid op 10 m bedroeg 3.7 m/s. Deze waarde is afgeleid uit de windsnelheid en windrichting gemeten op de KNMI-stations in Nieuw Beerta, Lauwersoog en Eelde. Het betreft 10 minuten gemiddelde waarden. De windrichting gebaseerd op dezelfde gegevens was 150 graden (ongeveer Zuid Zuidoost). De invloed van atmosferisch stabiliteit werd onderzocht. Bij de gepresenteerde schattingen is een stabiele atmosfeer gemodelleerd. De onzekerheid in de deze invoergegevens is vrij gering.
- Bij de berekeningen is gebruik gemaakt van de laagste waarde voor de ruwheidslengte (z_0) die gebruikt kan worden voor het PluimPlus model van 1 cm. Dit in verband met de met sneeuw bedekte bodem in die periode. In de literatuur worden voor sneeuw waarden tot 1 mm gebruikt (Chamberlain, 1983).
- In de sneeuwmonsters werden, naast vrije vezels en PM10 deeltjes, ook vezels/deeltjes gebonden aan grote deeltjes en conglomeraten (clusters) van deeltjes gevonden. Voor een vaststelling van de gezondheidseffecten zijn alleen vrije respirabele vezels en de werkelijke PM10 fractie van belang. Bij de monstervoorbehandeling is het mogelijk dat gebonden vezels en deeltjes loskomen en als vrije vezels/deeltjes zijn geanalyseerd. Op basis van het verschil in gemeten en berekende depositie van de SiC vezels en PM10 deeltjes is ingeschat wat het aandeel is van "gebonden" vezels/deeltjes en "vrije" vezels/deeltjes. Uit de berekeningen blijkt dat de concentratie van gebonden vezels/deeltjes op het eerste stuk van de pluim nog aanzienlijk was en daarna zeer snel afneemt.
- Er is gerekend met een combinatie van twee hoogten van 50 en 150 meter voor deze zware blazer. Vooral het hoogste punt in de blazer is belangrijk voor de uitkomsten en zou onjuist kunnen zijn. TNO is door

Datum

11 april 2019

Onze referentie

100320545 -2

Blad

13/14

verschillende experts waarden tussen 10 en 200 m voor blazers genoemd. Als een andere pluimhoogte wordt gekozen dan kunnen de schattingen van de concentratie in lucht hoger of lager zijn. Echter, gezien de goede correlatie tussen de gemeten en berekende concentraties is de hoogte van de blazer waarschijnlijk goed ingeschat.

- De depositiesnelheid waarmee de depositie afgeleid wordt uit de lucht concentratie is onzeker. Dit is de snelheid waarmee stoffen opgenomen worden op het aardoppervlak. Als de depositiesnelheid 10 x zo hoog wordt, wordt de depositie ook 10 x zo hoog. Omdat sneeuw, meteorologisch gezien erg glad is, is de depositiesnelheid van kleine deeltjes erg laag. Een andere depositiesnelheid leidt ook tot een andere concentratie in lucht zoals die hier is afgeleid. De onzekerheid in de depositiesnelheid geldt vooral voor de deeltjes kleiner dan 10 micrometer (ook de SiC-vezels zitten in deze klasse). De onzekerheid is wellicht een factor 5. De hier in PluimPlus gebruikte waarde van 1.3 mm/sec (de laagst mogelijke waarde bij 1 μm) is relatief hoog (zie Gallagher *et al.*, 2002). De depositiesnelheid van SiC vezels in de berekeningen is 7 mm/sec. In de literatuur worden waarden genoemd van 0.5 mm/s (Gallagher *et al.*, 2002). De onzekerheid in de depositiesnelheid is belangrijk. Als deze een factor 5 lager is dan nu wordt geschat wordt de geschatte concentratie in lucht een factor 5 hoger.
- De emissie van stof dan wel vezels door ESD tijdens een blazer is zeer onzeker. Bureau Blauw noemt waarden van 2 ton en 0.02 ton per blazer. In onze berekeningen wordt uitgegaan van ca. 5 ton stof in deze blazer. Deze waarde komt goed overeen met de hoeveel depositie die is aangetroffen in de diverse sneeuwmonsters.

De bovenstaande analyse geeft een indruk van de verschillende onzekerheden die een bijdrage leveren aan de uiteindelijk onzekerheid in de berekende luchtconcentraties. Uiteraard zijn steeds optimale keuzes gemaakt waardoor de onzekerheid beperkt blijft. Bovendien worden de schattingen geverifieerd door de meetgegevens. Op basis van de hier genoemde onzekerheden lijkt een realistische onzekerheid in de geschatte concentratie in lucht een factor 5 tot 10.

Datum

11 april 2019

Onze referentie

100320545 -2

Blad

14/14