

Utrechtseweg 48
3704 HE Zeist
Postbus 360
3700 AJ Zeist

www.tno.nl

T +31 88 866 60 00
F +31 88 866 87 28

TNO-rapport

TNO 2018 R10746 | Eindrapport

Beoordeling van blootstelling aan asbest voor
werknemers (en omwonenden) tijdens en na
toepassing van met asbest verontreinigd straalgrit

Datum	25 oktober 2018
Auteur(s)	S. Spaan P.C. Tromp R. de Jong M.V. Diks E. Voogd H.L.M. Verhagen M.M. Moerman J.M. Schinkel
Goedgekeurd door	M.A.J. Rennen
Exemplaarnummer	-
Oplage	-
Aantal pagina's	200 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	4
Opdrachtgever	Inspectie SZW
Projectnaam	Asbest in straalgrit
Projectnummer	030.30858

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Onderzoek in het kort

Naar aanleiding van het aantreffen van asbest in het straalmiddel Eurogrit (aluminiumsilicaat smeltgrit), is door TNO een onafhankelijk onderzoek uitgevoerd naar de blootstelling aan asbest van werknemers en omwonenden tijdens en na het werken met dit met asbest verontreinigde straalgrit.

Blootstellingsscenario's

Om de omstandigheden van het gebruik van straalgrit te bepalen is een inventarisatie uitgevoerd, waarbij een twintigtal verschillende partijen hebben bijgedragen aan het vaststellen van de werkzaamheden en omstandigheden die maatgevend waren voor gebruik. Op basis van deze informatie zijn blootstellingsscenario's opgesteld.

Toegepaste methode

Vanuit praktische en veiligheidsoverwegingen was het niet mogelijk om metingen uit te voeren tijdens het werken met het verontreinigde straalgrit. Daarom is gekozen voor een indirecte aanpak. Door middel van experimenten met verontreinigd straalgrit onder gecontroleerde omstandigheden is onderzocht wat de relatie is tussen respirabel stof en asbestvezels tijdens werkzaamheden met ongebruikt straalgrit (bijv. vullen van straalapparatuur), het stralen zelf en werkzaamheden met gebruikt straalgrit (bijv. opruimen, inspecteren en afbreken van steigermateriaal). Daarnaast is respirabel stof gemeten tijdens werkzaamheden met schoon (asbestvrij) straalgrit (= taakgerichte metingen). Deze metingen zijn uitgevoerd tijdens die werkzaamheden en omstandigheden waarbij de hoogste blootstelling mag worden verwacht (= worst-case). Aan de hand van de gemeten respirabel stofconcentraties en de gevonden relatie tussen respirabel stof en asbest is een inschatting gemaakt van de blootstelling aan asbest tijdens de diverse werkzaamheden.

Blootstelling van werknemers

De geschatte concentraties asbestvezels in de ademzone van werknemers wanneer, in worst-case omstandigheden, werkzaamheden met verontreinigd straalgrit zouden zijn uitgevoerd, zijn substantieel. De hoogste asbestvezelconcentraties zijn gevonden tijdens vulwerkzaamheden, gevolgd door opruimwerkzaamheden van droog (dus niet nat gemaakt) straalgrit, en overige werkzaamheden in verontreinigd gebied (zoals inspecteren en afbreken steigermateriaal). Ook zijn tijdens stralen onder de straalkap in een aantal gevallen hoge asbestvezelconcentraties gevonden. Zoals gezegd zijn tijdens de meetstudie taakgerichte metingen verzameld tijdens werkzaamheden waarbij op voorhand de hoogste blootstelling mag worden verwacht. Werknemers betrokken bij straalwerkzaamheden voeren op een gemiddelde werkdag een combinatie van verschillende werkzaamheden uit, waarbij zij al dan niet direct met straalgrit in contact komen, en waarbij er variatie is in de tijd dat werknemers met bepaalde werkzaamheden bezig zijn (zo zijn ketelboys vaak relatief kort bezig met het daadwerkelijk vullen van straalapparatuur terwijl stralers over het algemeen een groot deel van de dag stralen). Voor vergelijking van de

geschatte asbestblootstelling met de grenswaarde moet daarom eerst de gemiddelde blootstelling over een werkdag worden berekend. De grenswaarde voor asbest gaat immers uit van een 8-uurs tijdgewogen gemiddelde (8-uurs TGG) blootstelling gedurende een arbeidsleven (40 jaar). De 8-uurs TGG blootstelling wordt berekend op basis van informatie over onder andere de (combinatie van) werkzaamheden die worden uitgevoerd op een werkdag, de omstandigheden waaronder deze werkzaamheden worden uitgevoerd en de (gemiddelde) duur van een werkzaamheid op een werkdag (= blootstellingsprofiel). De conclusie is dat tijdens de periode waarin het verontreinigde straalgrit in omloop was, de 8-uurs TGG blootstelling van een deel van de betrokken werknemers boven de grenswaarde van 2.000 vezels/m³ is uitgekomen.

Wanneer bedrijven specifieke gegevens beschikbaar hebben over stralen en hieraan gerelateerde werkzaamheden, bijvoorbeeld gemeten concentraties respirabel stof, wordt in deze rapportage aangegeven hoe deze gegevens kunnen worden gebruikt om de blootstelling aan asbest voor de eigen werknemers te bepalen.

Blootstelling van omwonenden

Tijdens de werkzaamheden met het verontreinigde straalgrit zijn er ook niet-werknemers in de buurt geweest van deze straalwerkzaamheden (omwonenden). Door middel van een verspreidingsmodel is op basis van de geschatte emissie van asbestvezels tijdens stralen en gerelateerde werkzaamheden een inschatting gemaakt van de blootstelling van deze omwonenden. De blootstelling aan asbest van omwonenden was laag, maar is in extreme gevallen dichtbij de werkzaamheden mogelijk kortdurend hoog geweest, ruim boven het verwaarloosbaar risiconiveau voor asbest. Hierbij moet worden opgemerkt dat verwaarloosbaar risiconiveau uitgaat van blootstelling aan asbest tijdens een leven (100 jaar).

Gezondheidsrisico's

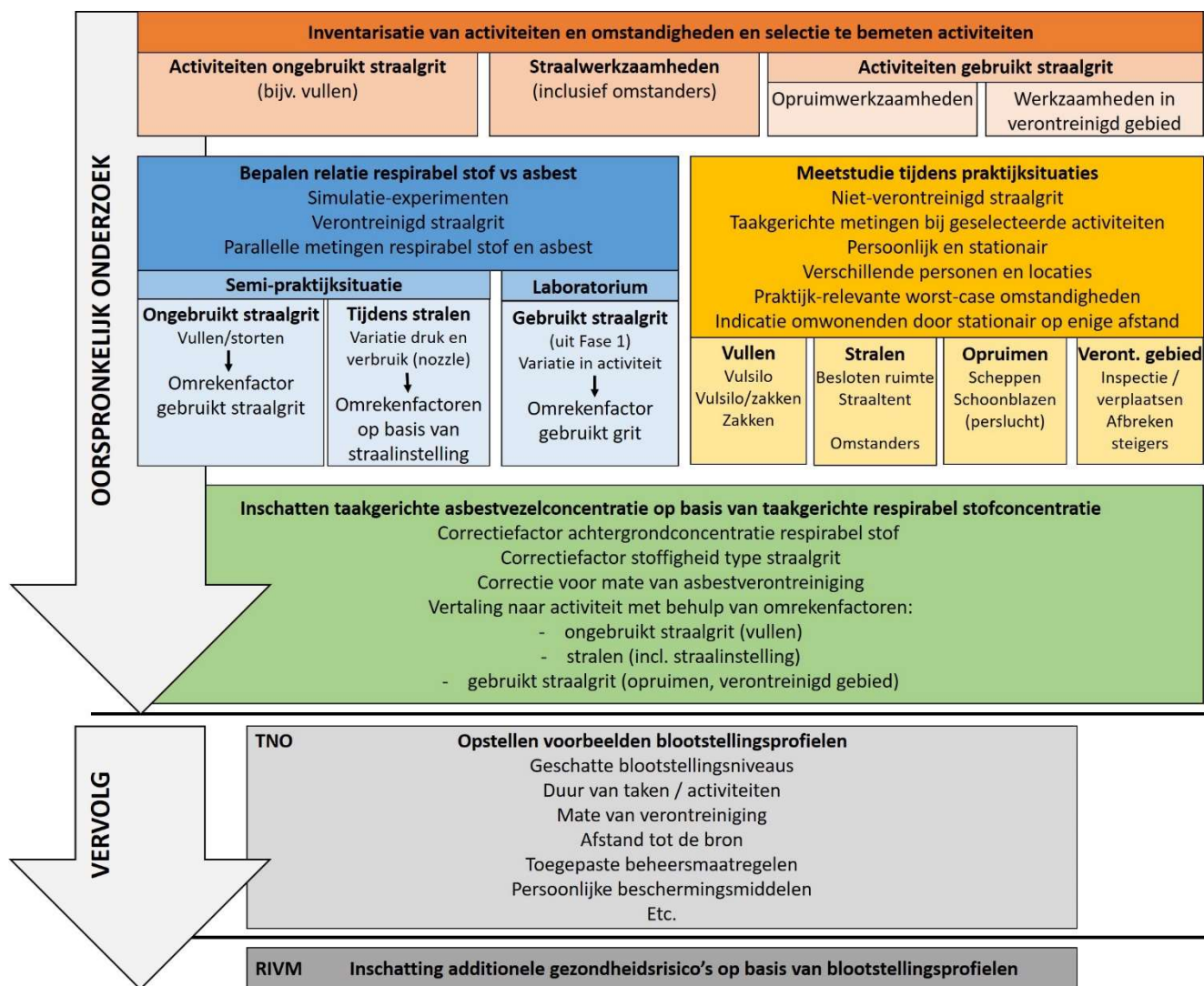
Het gezondheidsrisico van asbest wordt naast de hoogte van de blootstelling ook bepaald door de lengte van de periode waarin en de frequentie waarmee deze blootstelling voorkomt (cumulatieve blootstelling). Wanneer de grenswaarde dan wel het verwaarloosbaar risiconiveau niet wordt overschreden, wordt er vanuit gegaan dat er geen additionele gezondheidsrisico's zullen optreden. Omdat uit dit onderzoek blijkt dat deze waarden in sommige gevallen wel zijn overschreden, is het nodig om het additionele gezondheidsrisico voor werknemers en omwonenden te bepalen. Deze stap heeft het RIVM uitgevoerd, op basis van een aantal door TNO opgestelde voorbeelden van blootstellingsprofielen, in combinatie met een inschatting van de blootstellingsfrequentie en de totale blootgestelde periode, en staat beschreven in het RIVM rapport "Gezondheidsrisico's voor werknemers en omwonenden ten gevolge van blootstelling aan met asbest verontreinigd straalgrit" (van Engelen et al., 2018).

Samenvatting

In oktober 2017 werd bekend dat in het straalmiddel Eurogrit aluminiumsilicaat smeltslak grit, geleverd door het bedrijf Eurogrit B.V. uit Dordrecht, asbest is aangetroffen. In de periode dat het verontreinigde straalgrit in omloop was, hebben bijna 600 bedrijven hiermee gewerkt. Nadat bekend werd dat het straalgrit verontreinigd is met asbest, is er ongerustheid ontstaan over de mogelijke blootstelling aan asbest van werknemers en omwonenden, en de bijbehorende gezondheidsrisico's. Hierbij bepalen de mate, de frequentie en de duur (=periode) van blootstelling het uiteindelijke gezondheidsrisico dat de betrokkenen hebben gelopen.

In het najaar van 2017 heeft TNO een onderzoek uitgevoerd naar de blootstelling aan asbest tijdens het opruimen van het verontreinigde straalgrit (Fase 1). De conclusie van dit onderzoek was dat het opruimen van het straalgrit zonder beheersmaatregelen leidt tot een overschrijding van de grenswaarde voor asbest, maar dat wanneer aan bepaalde voorwaarden wordt voldaan de blootstelling aan asbest tijdens het opruimen van het straalgrit wel onder de grenswaarde blijft. Naast potentiële blootstelling aan asbest tijdens het opruimen van het straalgrit is ook tijdens de andere werkzaamheden die zijn uitgevoerd met of rondom het verontreinigde straalgrit mogelijk sprake geweest van een verhoogde blootstelling aan asbest. Daarom is TNO ook gevraagd om onderzoek te doen naar de blootstelling tijdens en na het gebruik van met asbest verontreinigd straalgrit (Fase 2).

Het doel van deze studie was het uitvoeren van een onafhankelijk onderzoek naar de blootstelling aan asbest van medewerkers en omwonenden tijdens en na de toepassing van het verontreinigde straalgrit. Vanuit praktische en veiligheidsoverwegingen was het niet mogelijk om metingen uit te voeren tijdens het werken met het verontreinigde straalgrit. Om toch de blootstelling aan asbest tijdens het werken met het verontreinigde straalgrit in te kunnen schatten is daarom gekozen voor een indirecte aanpak, namelijk door de blootstelling aan asbest af te leiden uit gemeten concentraties respirabel stof. Eerst zijn de werkzaamheden/activiteiten en omstandigheden waarin met straalgrit werd gewerkt geïnventariseerd. Vervolgens is door middel van simulatie-experimenten met verontreinigd straalgrit bepaald wat de relatie tussen respirabel stof en asbest was, en zijn door middel van een meetstudie taakgerichte metingen van respirabel stof tijdens het uitvoeren van geselecteerde activiteiten in praktijksituaties verzameld. Uiteindelijk zijn de gemeten concentraties respirabel stof vertaald naar asbestvezelconcentraties. Deze aanpak staat weergegeven in onderstaand schematisch overzicht, en de verschillende stappen worden hieronder verder beschreven. Hierbij moet worden opgemerkt dat het grijze gedeelte van dit schema geen onderdeel was van het oorspronkelijke onderzoek, maar in een vervolgonderzoek door RIVM en TNO is uitgewerkt. In dit vervolgonderzoek is tevens een inschatting gemaakt van de blootstelling aan asbest van omwonenden.



Inventarisatie van werkzaamheden/activiteiten en omstandigheden

Om antwoord te kunnen geven op de vragen die bij de diverse betrokken partijen leven omtrent 'de kans op blootstelling aan asbest is het cruciaal om te weten tijdens welke activiteiten en onder welke omstandigheden met het verontreinigde straalgrit is gewerkt. Op basis van interactie met betrokken bedrijven zijn zeven blootstellingsscenario's opgesteld voor de verschillende betrokken functiegroepen. Door middel van een inventarisatie is daarna aan verschillende partijen (bedrijven, brancheorganisatie en vakbond) gevraagd om voor elk blootstellingsscenario aan te geven welke activiteiten plaatsvinden en onder welke omstandigheden deze activiteiten worden uitgevoerd. De geïdentificeerde blootstellingsscenario's zijn:

- het uitvoeren van straalwerkzaamheden (het stralen zelf);
- het vullen van ketels of reservoirs met ongebruikt straalgrit (de ketelboy of dieselwacht);
- het opruimen van gebruikt straalgrit en schoonmaken van vervuilde oppervlakken of apparatuur;
- onderhoud van straal(gerelateerde) apparatuur;

- omstanders tijdens straalwerkzaamheden in of nabij het werkgebied (bijvoorbeeld een mangatwachter);
- omstanders na straalwerkzaamheden in het (verontreinigde) werkgebied (bijvoorbeeld een inspecteur of steigerbouwer);
- transport van straalgrit en straalgrit-houdend materiaal.

Uiteindelijk hebben ruim 20 partijen input geleverd. Uit de inventarisatie blijkt dat er uiteenlopende activiteiten onder diverse omstandigheden met het verontreinigde straalgrit zijn uitgevoerd. Deze zijn nauwkeurig in kaart gebracht en gerapporteerd, en hebben als input gediend voor de experimenten en de meetstudie zoals uitgevoerd in dit onderzoek.

Relatie respirabel stof en asbest

De relatie tussen respirabel stof en asbest is onderzocht voor drie verschillende type gebruikssituaties: activiteiten met ongebruikt straalgrit (onder andere storten en vullen van straalapparatuur), het stralen van grit, en activiteiten met gebruikt straalgrit (onder andere opruimwerkzaamheden, inspectie en afbreken steigermateriaal). Dit onderscheid is gemaakt om rekening te houden met de mogelijkheid dat de relatie tussen respirabel stof en asbest verschillend is tijdens deze verschillende situaties, bijvoorbeeld wanneer eigenschappen als deeltjesgrootte-verdelingen en asbestvezeldimensies veranderen wanneer het straalgrit aan krachten onderhevig is (geweest) tijdens het straalproces.

De relatie tussen respirabel stof en asbest is onderzocht door middel van simulatie-experimenten met verontreinigd straalgrit onder asbest-regime, waarbij parallel de concentraties respirabel stof en asbest in de lucht gemeten zijn om de relatie tussen respirabel stof en asbest te kunnen bepalen. Deze experimenten zijn uitgevoerd in een semi-praktijksituatie (tijdens het vullen van ongebruikt straalgrit en stralen onder geconditioneerde omstandigheden) of op laboratoriumschaal (tijdens simulatiehandelingen met gebruikt straalgrit).

De relatie tussen respirabel stof en asbest bleek inderdaad verschillend te zijn in diverse gebruikssituaties. Met betrekking tot de respirabel stofconcentratie zijn de volgende parameters van invloed:

- De *achtergrondconcentratie respirabel stof*, oftewel de hoeveelheid stof die al aanwezig is in de omgeving;
- Het *type straalgrit*, dat van invloed is op de hoeveelheid stof dat wordt gevormd waardoor de verhouding tussen respirabel stof en asbest verandert.

Wanneer de respirabel stofconcentratie is bepaald zijn de volgende parameters van invloed, waarvoor op basis van de resultaten van de experimenten omreken- dan wel correctiefactoren zijn afgeleid:

- De *hoeveelheid* asbest in het straalgrit, die leidt tot hogere of lagere concentraties asbest in het stof (gemiddelde verontreinigingsgraad is 6 mg/kg ds);
- De *gebruikssituatie* waarin met grit wordt gewerkt, waarbij de verhouding tussen respirabel stof en asbest verschilt:
 - Activiteiten met ongebruikt straalgrit: 350.000 vezels/mg respirabel stof;

- Straalgrit tijdens stralen: 3.100-48.500 vezels/mg respirabel stof, afhankelijk van de *straalinstellingen*;
- Activiteiten met gebruikt straalgrit: 5.100 vezels/mg respirabel stof;
- De *straalinstellingen* bij het stralen van grit: bij een toename in druk en/of gebruikte hoeveelheid straalgrit worden meer en dunnere asbestvezels gevormd.

De fijne (respirabele) stoffractie in ongebruikt straalgrit is kleiner dan in gebruikt straalgrit. Als het ongebruikte straalgrit een vergelijkbare fijne stoffractie had gehad als het gebruikte straalgrit zou de asbestvezelconcentratie per mg respirabel stof vergelijkbaar zijn met stralen bij lage druk en laag verbruik.

Meetstudie

Uit de inventarisatie van werkzaamheden/activiteiten en omstandigheden binnen de verschillende blootstellingsscenario's bleek dat er zeer veel variatie is in het gebruik van aluminiumsilicaat straalgrit en de omstandigheden waarin dit gebeurt. Hierdoor was het niet mogelijk om voor alle blootstellingsscenario's voor alle geïdentificeerde activiteiten onder alle aangegeven omstandigheden metingen te verrichten. Daarom is ervoor gekozen om tijdens de meetstudie een selectie van activiteiten te bemeten tijdens omstandigheden waarbij vooraf een hoge blootstelling werd verwacht en die regelmatig voorkomen in de praktijk. Hierbij is ook rekening gehouden met mogelijkheden voor extrapolatie van de resultaten naar andere activiteiten en blootstellingsscenario's. Deze afwegingen zijn mede gemaakt op basis van input van diverse bedrijven. Om een representatief beeld te krijgen van de blootstelling aan respirabel stof tijdens de verschillende activiteiten is zoveel mogelijk tijdens lopende projecten gemeten.

Om retrospectief de blootstelling aan asbest tijdens het stralen met het verontreinigde Eurogrit in te kunnen schatten, moest er ook gestraald worden met een vergelijkbaar type straalgrit. Ondanks de constructieve inzet van zowel bedrijven als de brancheorganisatie bleek het lastig om geschikte meetlocaties te vinden waar de geselecteerde activiteiten werden uitgevoerd met aluminiumsilicaat straalgrit onder praktijk-relevante worst-case omstandigheden. Ten behoeve van de doorlooptijd van de studie, is er uiteindelijk voor gekozen om naast het bemeten van activiteiten in praktijksituaties ook bepaalde activiteiten na te bootsen onder worst-case omstandigheden in een meer experimentele opstelling. Uiteindelijk zijn de volgende activiteiten bemeten:

- *Straalwerkzaamheden* zijn op drie locaties bemeten in een besloten ruimte en op drie locaties in een straaltent;
- *Vulwerkzaamheden* zijn op twee locaties bemeten bij gebruik van een vulsilo, op twee locaties bij gebruik van zakken, en op één locatie werden zowel een vulsilo als zakken gebruikt;
- *Opruimwerkzaamheden* zijn op drie locaties bemeten tijdens het schoonblazen van objecten met perslucht en op twee locaties tijdens het scheppen en verplaatsen van straalgrit;

- *Overige werkzaamheden in verontreinigd gebied* zijn op drie locaties bemeaten tijdens het verplaatsen in / inspectie van een ruimte en op één locatie tijdens het afbreken van steigermateriaal.

Er zijn in totaal 201 metingen op zeven locaties uitgevoerd, waarvan 104 persoonlijke metingen en 97 stationaire metingen. Uiteindelijk waren 15 metingen niet bruikbaar in verband met te grote afwijkingen in debiet en werden daarnaast zeven metingen als extreme uitschieter aangemerkt, waardoor er 179 metingen gebruikt zijn voor het bepalen van de blootstelling aan respirabel stof.

Taakgerichte concentraties respirabel stof

De geometrisch gemiddelde (GM) taakgerichte respirabel stofconcentratie van alle metingen samen was 2,2 mg/m³ (range <0,02-833 mg/m³) en 90 procent van de gevallen was de gemeten concentratie minder dan 78 mg/m³. Over het geheel gezien zijn de hoogste concentraties gemeten tijdens het stralen, gevolgd door droog opruimen van straalgrit, overige werkzaamheden in verontreinigd gebied en vullen van straalapparatuur. De resultaten van alleen de persoonlijke metingen (gemeten in de ademzone van de medewerker) laten eenzelfde beeld zien, waarbij binnen de verschillende gebruiksstadia de volgende concentraties respirabel stof zijn gemeten:

- Ongebruikt straalgrit:
 - o vullen: GM 2,3 mg/m³ (range <0,2-4,1 mg/m³);
- Straalgrit tijdens stralen:
 - o stralen - buiten de straalkap: GM 78 mg/m³ (range 29-225 mg/m³);
 - o stralen - onder de straalkap: GM 0,3 mg/m³ (range <0,02-3,2 mg/m³);
- Gebruikt straalgrit:
 - o opruimwerkzaamheden: GM 10 mg/m³ (range 1,2-80 mg/m³);
 - o overige werkzaamheden in verontreinigd gebied (inspectie, afbreken steigermateriaal): GM 2,3 mg/m³ (range 0,7-17 mg/m³).

Inschatting asbestvezelconcentraties

Conform de eerder aangegeven correctiestappen zijn de respirabel stof concentraties omgerekend naar de verwachte asbestconcentraties, waarbij is uitgegaan van een gemiddelde verontreinigingsgraad van het asbest. De op basis van de resultaten van het onderzoek geschatte taakgerichte asbestvezelconcentraties (dus de concentraties die zijn gemeten tijdens het uitvoeren van een bepaalde activiteit/taak) zijn hoog tot zeer hoog, en er is sprake van een grote variatie in de geschatte asbestvezelconcentraties. Over alle blootstellingsscenario's heen is het geometrisch gemiddelde van de geschatte asbestconcentraties 28.000 vezels/m³ (range 10-20.200.000 vezels/m³). Wanneer alleen wordt uitgegaan van de resultaten van de persoonlijke metingen, zoals gemeten in de ademzone van de medewerker, zijn de volgende taakgerichte asbestvezelconcentraties geschat:

- Ongebruikt straalgrit:
 - o vullen: GM 270.000 vezels/m³ (range 65.000-1.400.000 vezels/m³).
- Straalgrit tijdens stralen:
 - o stralen - buiten de straalkap: GM 1.100.000 vezels/m³ (range 330.000-4.000.000 vezels/m³);

- stralen - onder de straalkap: GM 2.000 vezels/m³ (range 40-21.000 vezels/m³);
- Gebruikt straalgrit:
 - opruimwerkzaamheden: GM 50.000 vezels/m³ (range 5.900-410.000 vezels/m³);
 - overige werkzaamheden in verontreinigd gebied (inspectie, afbreken steiger materiaal): GM 8.100 vezels/m³ (range 2.200-26.000 vezels/m³);

Taakgericht versus functiegericht

De in dit onderzoek gepresenteerde resultaten zijn gebaseerd op taakgerichte metingen tijdens activiteiten waarbij op voorhand de hoogste blootstelling werd verwacht. De grenswaarde voor asbest gaat echter uit van een 8-uurs tijdgewogen gemiddelde (8-uurs TGG) blootstelling gedurende een arbeidsleven (40 jaar). Om op basis van de geschatte taakgerichte asbestvezelconcentraties een 8-uurs tijdgewogen gemiddelde (8-uurs TGG) blootstelling uit te kunnen rekenen voor een bepaalde werknemer dan wel een bepaalde functiegroep, is informatie over het bijbehorende blootstellingsprofiel nodig: welke (combinatie van) activiteiten worden uitgevoerd op een werkdag, de omstandigheden waaronder deze activiteiten worden uitgevoerd en de (gemiddelde) duur van een activiteit op een werkdag. Zo is bekend dat er binnen de verschillende blootstellingsscenario's op een gemiddelde werkdag vaak een combinatie van activiteiten wordt uitgevoerd, waarbij de medewerkers al dan niet direct met straalgrit in contact komen, en waarbij in de tijd dat werknemers met bepaalde activiteiten bezig zijn varieert. Op basis van de activiteiten die zijn bemeaten tijdens de meetstudie zijn ter illustratie zes blootstellingsprofielen opgesteld voor functies die aansluiten bij de geïdentificeerde blootstellingsscenario's. Wanneer informatie over blootstellingsprofielen wordt gebruikt om een 8-uurs TGG blootstelling over een werkdag te berekenen, zal deze voor een substantieel deel van de betrokken medewerkers boven de grenswaarde van 2.000 vezels/m³ liggen.

Aanpassing op basis van lokale werkomstandigheden

De geschatte asbestvezelconcentraties zoals gepresenteerd in dit onderzoek zijn niet representatief voor alle situaties die zich in de praktijk hebben voorgedaan. Bijvoorbeeld wanneer in een bepaald bedrijf gestraalde objecten altijd worden geïnspecteerd nadat het werkgebied is schoongemaakt, terwijl in dit onderzoek is gemeten tijdens inspectie in een sterk verontreinigd werkgebied. Of wanneer in een bepaald bedrijf tijdens het stralen alleen een mondkapje wordt gedragen, terwijl de geschatte asbestvezelconcentratie voor een straler is gebaseerd op metingen onder een straalkap. In zulke gevallen zal de geschatte asbestvezelconcentratie moeten worden gecorrigeerd voor de verwachte invloed van deze verschillen op de respirabel stof- dan wel asbestvezelconcentratie. Met betrekking tot het straalvoorbeeld is de toe te passen correctiefactor gelijk aan het verschil van de beschermingsfactor van de straalkap gedeeld door de beschermingsfactor van het mondkapje. Dergelijke factoren zijn beschreven in de literatuur. In hoofdstuk 6 wordt een handreiking gegeven voor het berekenen van de blootstelling van medewerkers op basis van bedrijfsspecifieke gegevens.

Toepassing werkwijze op basis van lokale respirabel stofmetingen per bedrijf

Wanneer binnen een bedrijf specifieke gegevens beschikbaar zijn met betrekking tot blootstelling aan respirabel stof, kan op basis hiervan met behulp van de in dit onderzoek afgeleide omreken- dan wel correctiefactoren een voor dat bedrijf specifiekere asbestvezelconcentratie worden geschat. Ook wanneer bedrijfsspecifieke inhaleerbaar stofconcentraties bekend zijn, kan een inschatting van de asbestvezelconcentraties op bedrijfsniveau worden gemaakt, op basis van de vastgestelde relatie tussen respirabel stof en inhaleerbaar stof. Daarnaast is er uiteraard nog de mogelijkheid voor bedrijven om alsnog zelf respirabel stofmetingen te laten uitvoeren. Een andere mogelijkheid om te schatten wat de asbestvezelconcentratie zou zijn geweest onder andere omstandigheden dan waarbij de metingen binnen dit onderzoek zijn verzameld is door op basis van de resultaten van dit onderzoek en kennis over determinanten van blootstelling, het blootstellingsniveau van specifieke medewerkers te schatten. Het schatten van de asbestvezelconcentratie op basis van bedrijfsspecifieke metingen is het meest nauwkeurig. Hoe meer aannames en omrekenfactoren worden gebruikt, hoe onnauwkeuriger de schatting wordt.

Inschatting blootstelling omwonenden

Op basis van de geschatte emissie van asbestvezels tijdens stralen en gerelateerde werkzaamheden is een inschatting gemaakt van de mogelijke blootstelling van omwonenden van straalwerkzaamheden. Deze geschatte emissie is gebruikt als input voor een model dat bij het schatten van asbestvezelconcentraties voor omwonenden rekening houdt met de afstand tot de bron (de straalwerkzaamheden) en weersomstandigheden. De resultaten laten zien dat de gemiddelde blootstelling voor omwonenden laag was, maar dat in extreme gevallen mogelijk kortdurend sprake is geweest van hoge blootstellingen (rond de 100.000 vezels/m³). De uitkomsten van het model laten ook zien dat de asbestvezels zich erg snel verspreiden, waardoor bij toenemende afstand tot de werkzaamheden de concentraties snel afnemen.

Gezondheidsrisico's asbest

Om het additionele gezondheidsrisico te kunnen berekenen dat mensen (medewerkers en omwonenden) hebben gelopen door het gebruik van het met asbest-verontreinigde straalgrit, dient behalve kennis over blootstellingsniveaus ook kennis over de blootstellingsduur (dagen, maanden) en blootstellingsfrequentie in acht te worden genomen. Op basis van de resultaten van het onderzoek zijn ter illustratie zeven blootstellingsprofielen opgesteld. Zes van deze zeven blootstellingsprofielen betreffen functies die aansluiten bij de geïdentificeerde blootstellingsscenario's voor werknemers, namelijk een ketelboy/dieselwacht, een straler, een mangatwacht, een schoonmaker, een inspecteur van gestraalde objecten, en een steigerbouwer. Het zevende profiel is een blootstellingsprofiel voor omwonenden. Deze zeven blootstellingsprofielen zijn weergegeven in bijlage 4. Voor deze blootstellingsprofielen is door het RIVM het additionele gezondheidsrisico berekend (van Engelen et al., 2018).

Inhoudsopgave

Onderzoek in het kort	2
Samenvatting.....	4
1 Inleiding.....	13
1.1 Doel van blootstellingsonderzoek	14
1.2 Onderzoeksvragen blootstellingsonderzoek	14
1.3 Algemene aanpak blootstellingsonderzoek	15
1.4 Onderzoeksvragen vervolgonderzoek.....	16
1.5 Opbouw rapportage	16
1.6 Dankwoord	17
2 Inventarisatie van omstandigheden waarin het straalgrit werd toegepast	18
2.1 Methode inventarisatie	18
2.2 Beschrijving blootstellingsscenario's op basis van resultaten van inventarisatie... 19	
3 Experimenten voor bepaling relatie respirabel stof vs. asbestvezels	31
3.1 Methode simulatie-experimenten op laboratoriumschaal	32
3.2 Methode simulatie-experimenten in semi-praktijksituatie	36
3.3 Analysemethoden.....	46
3.4 Resultaten experimenten	48
4 Meetstudie respirabel stof tijdens praktijksituaties.....	66
4.1 Meetstrategie en organisatie meetstudie.....	66
4.2 Meetmethode en bepaling hoeveelheid respirabel stof in luchtmonsters.....	77
4.3 Beschrijving meetlocaties.....	78
4.4 Gemeten concentraties respirabel stof tijdens taakgerichte metingen	85
5 Omrekening van respirabel stofconcentratie naar asbestvezelconcentratie	100
5.1 Gebruikte omrekenfactoren en correctiefactoren.....	100
5.2 Geschatte concentratie asbestvezels voor activiteiten die zijn bemeaten in de meetstudie	102
6 Inschatting van de asbestvezelconcentratie per blootstellingsscenario	107
6.1 Inschatting van blootstelling aan asbestvezels op basis van specifieke informatie over blootstelling aan respirabel stof.....	109
6.2 Inschatting van blootstelling aan asbestvezels op basis van blootstellingsfactoren	111
6.3 Geschatte asbestvezelconcentraties voor geïdentificeerde blootstellingsscenario's	118
7 Discussie.....	132
7.1 Blootstellingsscenario's	132
7.2 Gemeten respirabel stofconcentraties.....	133
7.3 Geschatte asbestvezelconcentraties.....	135

8	Conclusies en aanbevelingen	139
8.1	Conclusies.....	139
8.2	Aanbevelingen.....	140
9	Referenties	143
10	Ondertekening.....	145
Bijlage 1: Gedetailleerde resultaten asbestvezeltellingen		146
Bijlage 2: Beeldmateriaal van meetlocaties		147
	Meetlocatie 1A.....	147
	Meetlocatie 1B.....	149
	Meetlocatie 1C.....	158
	Meetlocatie 2A.....	169
	Meetlocatie 2B.....	172
	Meetlocatie 3.....	173
	Meetlocatie 4.....	182
Bijlage 3: Gedetailleerde resultaten respirabel stof		183
Bijlage 4: Uitwerking blootstellingsprofielen		185
	Blootstellingsprofiel 1: Ketelboy / dieselwacht	185
	Blootstellingsprofiel 2: Straler	186
	Blootstellingsprofiel 3: Mangatwacht.....	187
	Blootstellingsprofiel 4: Opruimwerkzaamheden (schoonmaker).....	188
	Blootstellingsprofiel 5: Inspectie van gestraalde objecten (inspecteur)	190
	Blootstellingsprofiel 6: Afbreken van steigermateriaal (steigerbouwer)	191
	Blootstellingsprofiel 7: Omwonenden van straalproject.....	193

1 Inleiding

Straalgrit wordt gebruikt om roest of verf te verwijderen dan wel roest te voorkomen. Deze methode wordt onder andere toegepast in de scheepvaartindustrie en in de petrochemische industrie. Situaties waarin wordt gestraald zijn onder meer:

- grote objecten in de buitenlucht;
- in besloten ruimtes;
- aan verplaatsbare metalen constructies in een spuihal of loods.

Verder wordt straalgrit onder andere in de bouwsector gebruikt voor gevelreiniging.

In oktober 2017 werd bekend dat in het straalmiddel Eurogrit aluminiumsilicaat smeltslak grit, geleverd door het bedrijf Eurogrit B.V. uit Dordrecht, asbest is aangetroffen. Bijna 600 bedrijven hebben gewerkt met dit verontreinigde straalgrit. Nadat bekend werd dat het straalgrit verontreinigd was met asbest, is er ongerustheid ontstaan over de mogelijke blootstelling aan asbest van werknemers en omwonenden, en de bijbehorende risico's. Hierbij bepalen de mate van blootstelling, blootstellingsfrequentie en blootstellingsduur samen het uiteindelijke risico dat de betrokkenen hebben gelopen.

De Inspectie SZW (iSZW), Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) en de Omgevingsdiensten (ODs) hebben nauw samengewerkt om bovenstaande problematiek goed in kaart te brengen en de benodigde maatregelen te treffen bij de bedrijven die hebben gewerkt met dit straalgrit of het straalgrit op de bedrijfslocatie hebben opgeslagen. iSZW voert in dit kader onder andere een onderzoek uit naar de blootstellingsrisico's voor werknemers en omwonenden tijdens verschillende blootstellingsscenario's die van toepassing zijn op deze casus. TNO is gevraagd het onderzoek van iSZW te ondersteunen door middel van een onafhankelijk onderzoek naar en beoordeling van de blootstelling tijdens en na het gebruik van met asbest verontreinigd straalgrit. Dit onderzoek wordt gefaseerd uitgevoerd:

1. Wat was de blootstelling van werknemers bij het opruimen van gebruikt verontreinigd straalgrit (Fase 1);
2. Wat was de blootstelling van werknemers bij activiteiten in verontreinigd gebied (lopen, rijden met heftrucks, etc.) (Fase 2);
3. Wat was de blootstelling tijdens straalwerkzaamheden van de stralers en de omstanders (Fase 2) en omwonenden (Fase 3).

Het onderzoek van Fase 1 is in november 2017 afgerond en beschreven in het rapport "Blootstelling aan asbest van werknemers bij het opruimen van met asbest verontreinigd gebruikt straalgrit (fase 1)" (Tromp et al., 2017).

1.1 Doel van blootstellingsonderzoek

Het doel van deze studie is het uitvoeren van een onafhankelijk onderzoek naar de blootstelling aan asbest van medewerkers tijdens en na de toepassing van het verontreinigde straalgrit. Daartoe wordt door TNO de (potentiële) blootstelling aan asbest van medewerkers voor vijf taakgroepen in kaart gebracht (zie Tabel 1), die goed aansluiten bij de praktijk.

Tabel 1: Omschrijving van de te beoordelen taakgroepen

Nr.	Taakgroep	Omschrijving
1	Handelingen met verontreinigd straalgrit	De medewerker voert handelingen uit met het verontreinigde straalgrit, excl. het stralen zelf
2	Nabijheid tijdens handelingen met verontreinigd straalgrit	De medewerker voert overige taken uit in de nabijheid van de handelingen met het verontreinigde straalgrit
3	Activiteiten in verontreinigd gebied	De medewerker voert taken uit op locaties die verontreinigd zijn met asbest uit het verontreinigde straalgrit
4	Stralen	De medewerker voert taken uit in verband met stralen met verontreinigd straalgrit
5	Nabijheid tijdens stralen	De medewerker voert overige taken uit in de nabijheid van het stralen

1.2 Onderzoeksvragen blootstellingsonderzoek

Het onderzoek heeft zich gericht op het beantwoorden van de volgende onderzoeksvragen:

- Wat is de potentiële blootstelling aan asbest geweest tijdens handelingen met het verontreinigde straalgrit, exclusief het stralen zelf?
 - Bij medewerkers die direct betrokken waren bij de handelingen (taakgroep 1);
 - Bij medewerkers die zich in de nabijheid hebben begeven (omstanders) (taakgroep 2);
- Wat is de potentiële blootstelling aan asbest (geweest) van medewerkers die hebben gewerkt in of zich hebben begeven in locaties die verontreinigd zijn (geweest) met asbestvezels uit verontreinigd straalgrit (taakgroep 3)?
- Wat is de potentiële blootstelling aan asbest geweest tijdens het stralen met verontreinigd straalgrit?
 - Bij de stralers zelf (taakgroep 4);
 - Bij medewerkers die zich in de nabijheid van het straalproces hebben begeven (omstanders) (taakgroep 5).

Aan de hand van de resultaten van dit onderzoek wordt tevens een eerste inschatting gemaakt van de potentiële blootstelling aan asbest van omwonenden (mensen die in de buurt wonen van locaties waar straalwerkzaamheden zijn uitgevoerd), zonder dat er daadwerkelijk bij omwonenden metingen zijn uitgevoerd (Fase 3).

De resultaten van dit onderzoek kunnen worden ingezet voor het inschatten van de kans dat de betrokken medewerkers gezondheidsschade hebben opgelopen als gevolg van de blootstelling. Dit risico is niet alleen afhankelijk van de hoogte van de blootstelling maar ook van de blootstellingsduur en frequentie van blootstelling. De werkgerelateerde grenswaarde van 2.000 vezels/m³ geldt immers voor een dagelijkse blootstelling gedurende een arbeidstijd van 40 jaar. Om dit risico te kunnen bepalen is naast de inschatting van de concentratie asbestvezels dus ook informatie over de blootstellingsduur en blootstellingsfrequentie nodig. Omdat in dit onderzoek niet is vastgesteld wat de blootstellingsduur en frequentie is geweest valt het inschatten van de gezondheidsschade buiten het kader van dit onderzoek.

1.3 Algemene aanpak blootstellingsonderzoek

Op basis van praktische- en veiligheidsoverwegingen was het niet wenselijk om de diverse handelingen met het verontreinigde straalgrit uit te voeren. Voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen was het daardoor noodzakelijk een indirecte methode te gebruiken om de blootstelling aan asbestvezels te bepalen. De gevolgde aanpak bestond uit twee onderdelen, namelijk:

1. het bepalen van de relatie tussen de asbestvezelconcentratie en de respirabele stofconcentratie op basis van experimenten met verontreinigd straalgrit;
2. het meten van de blootstelling aan respirabel stof tijdens (realistische worst-case)¹ praktijkomstandigheden met niet-verontreinigd straalgrit.

Deze (indirecte) aanpak heeft naast veiligheidsoverwegingen nog meer voordelen boven het direct meten van de asbestvezelconcentratie tijdens de betreffende handelingen. Zo is de bepaling van de concentratie respirabel stof eenvoudig, goedkoop en veel minder gevoelig voor overbelading van filters dan de methodiek voor het direct meten van de respirabele asbestvezelconcentratie. Het direct meten van de asbestvezel-concentratie zou sterk zijn gehinderd door de (verwachte) hoge respirabele stofconcentraties. Daarnaast konden de metingen hierdoor plaatsvinden tijdens reguliere (straal)werkzaamheden, wat het logistiek makkelijker maakte om de metingen te verzamelen. Ook bleek het moeilijk om locaties te vinden waar nog verontreinigd straalgrit aanwezig was, waar de meetstudie zou kunnen worden uitgevoerd. Het nadeel van een dergelijke indirecte methode is dat de resultaten van het onderzoek moeten worden geëxtrapoleerd naar de werkelijke situatie zoals deze heeft plaatsgevonden in de periode tot het najaar van 2017, waarin verontreinigd straalgrit is toegepast.

¹ Met worst-case omstandigheden worden die omstandigheden bedoeld waarbij de hoogste blootstelling wordt verwacht. Met realistische worst-case omstandigheden worden die omstandigheden bedoeld waarbij een hoge blootstelling wordt verwacht, maar die niet zo extreem zijn dat ze in de praktijk (vrijwel) niet voorkomen.

1.4 Onderzoeksvragen vervolgonderzoek

In aanvulling op het blootstellingsonderzoek (Fase 2 en 3) heeft iSZW TNO en RIVM verzocht om als voorbeeld voor een aantal van de betrokken werknemersgroepen het (eventuele) additionele gezondheidsrisico als gevolg van blootstelling aan asbest door het werken met het verontreinigde straalgrit in kaart te brengen. De hierbij gevolgde aanpak kan als leidraad dienen om voor bedrijfsspecifieke blootstellingsscenario's het additionele gezondheidsrisico in kaart te brengen.

Binnen dit vervolgonderzoek heeft TNO voor een aantal van de relevante werknemersgroepen die vallen onder de onderzochte blootstellingsgroepen een blootstellingsprofiel opgesteld (zoals beschreven in deze rapportage), waarna het RIVM het additionele gezondheidsrisico heeft bepaald (van Engelen et al., 2018). Hierbij is TNO gevraagd om:

1. Een zestal blootstellingsprofielen samen te stellen voor werknemersgroepen die betrokken zijn bij straalwerkzaamheden. Dit betreffen:
 - De persoon die straalapparatuur vult;
 - De straler die een object straalt;
 - De persoon die het gestraalde object inspecteert en zich daarbij verplaatst in de ruimte waar is gestraald;
 - De mangatwacht die de opening van het straalgebied bewaakt;
 - De persoon die het gebruikte straalgrit opruimt;
 - De persoon die steigers afbreekt.
2. Een zevende blootstellingsprofiel samen te stellen voor omwonenden, op basis van de resultaten van het blootstellingsonderzoek in combinatie met een verspreidingsmodel. Hierbij is rekening gehouden met tijdelijke situaties (bijvoorbeeld straalwerkzaamheden aan objecten in steden), omdat de kans dat omwonenden zich hierbij in de nabijheid hebben bevonden groter is, en tegelijkertijd de blootstelling aan asbest vanwege de straalwerkzaamheden gedurende kortere tijd heeft plaatsgevonden.

Deze blootstellingsprofielen zijn opgesteld op basis van aannamen met betrekking tot worst-case werkomstandigheden, maar tegelijkertijd zijn realistische taaktijden en een realistisch worst-case bedrijfstype in acht genomen.

1.5 Opbouw rapportage

In Hoofdstuk 2 wordt allereerst beschreven op welke manier de inventarisatie van de activiteiten waarbij en omstandigheden waarin met het verontreinigde straalgrit gewerkt werd is opgezet en wat de uitkomsten van deze inventarisatie waren. Daarna worden in Hoofdstuk 3 de opzet, uitvoering en resultaten van de experimenten naar de relatie tussen respirabel stof en asbestvezels beschreven. De meetstudie naar blootstelling aan respirabel stof wordt beschreven in Hoofdstuk 4, en is onderverdeeld in de gevolgde meetstrategie en meetmethode, een beschrijving van de meetlocaties waar is gemeten en de resultaten. Vervolgens wordt in Hoofdstuk 5 de informatie gegeven om van een concentratie respirabel stof te komen tot een geschatte asbestvezelconcentratie, en wordt in Hoofdstuk 6

voor de geïnventariseerde blootstellingsscenario's op basis van de resultaten van de experimenten en de meetstudie en informatie uit externe bronnen handvatten gegeven voor het maken van een inschatting van de blootstelling aan asbestvezels. Discussie volgt in Hoofdstuk 7, conclusies en aanbevelingen volgen in Hoofdstuk 8. In de bijlagen zijn respectievelijk gedetailleerde analyseresultaten, beeldmateriaal van meetlocaties, gedetailleerde resultaten met betrekking tot gemeten concentraties respirabel stof, en een aantal voorbeelden van uitgewerkte blootstellingsprofielen opgenomen.

1.6 Dankwoord

Dit onderzoek was niet tot stand gekomen zonder de hulp van een verscheidenheid aan partijen. Daarom willen de auteurs KIWA Compliance en KIWA Inspection & Testing, en met name Hilko Booij en Patrick van Kralingen, hartelijk danken voor het meedenken over de opzet van het onderzoek en reviewen van het rapport en hun bijdrage aan de uitvoering van het onderzoek bij zowel de simulatie-experimenten in een semi-praktijksituatie als de meetstudie. Daarnaast zijn de auteurs zeer veel dank verschuldigd aan de verschillende partijen die input hebben geleverd tijdens de inventarisatie-fase, evenals aan de brancheorganisatie OnderhoudNL voor het faciliteren van meetlocaties, het leveren van input voor de meetstudie en de communicatie met hun achterban tijdens de organisatie van de meetstudie. Ook gaat onze hartelijk dank uit naar de straalbedrijven die hun medewerking wilden verlenen aan het blootstellingsonderzoek en de bedrijven die meetlocaties ter beschikking wilden stellen voor het uitvoeren van het blootstellingsonderzoek, en daarmee een onmisbare bijdrage hebben geleverd aan de praktische uitvoering hiervan. Verder willen de auteurs Cuijpers Services BV en Meuva BV heel hartelijk danken voor hun bijdrage aan de opzet en uitvoering van de simulatie-experimenten in een semi-praktijksituatie.

2 Inventarisatie van omstandigheden waarin het straalgrit werd toegepast

Zoals in de inleiding is beschreven is het doel van deze studie het in kaart brengen van de blootstelling aan asbest van medewerkers tijdens en na de toepassing van het verontreinigde straalgrit. Om de blootstelling tijdens en na het toepassen van het verontreinigde straalgrit in te kunnen schatten is het cruciaal om de wijze waarop en de omstandigheden waarin het verontreinigde straalgrit werd toegepast in kaart te brengen. Omdat het hierbij (met name) gaat om de omstandigheden tijdens de periode voordat bekend was dat het straalgrit was verontreinigd met asbest, heeft de inventarisatie zich gericht op de omstandigheden waarbij deze activiteiten normaal gesproken worden uitgevoerd, om zo een goede inschatting te kunnen maken van hoe met het verontreinigde straalgrit is gewerkt voordat de verontreiniging bekend werd.

2.1 Methode inventarisatie

Voor het in kaart brengen van de omstandigheden hebben we verschillende bedrijven gevraagd om aan te geven op welke wijze en onder welke omstandigheden binnen hun bedrijf in algemene zin met (aluminiumsilicaat) straalgrit wordt dan wel is gewerkt. Bedrijven die in een eerder stadium contact hebben opgenomen met iSZW, KIWA Compliance of TNO inzake de problematiek met verontreinigd straalgrit zijn direct benaderd. Daarnaast is via de brancheorganisatie OnderhoudNL en de vakbond FNV een uitvraag naar deze informatie gedaan. De bedrijven werden verzocht om informatie aan te leveren over de eigenschappen van het gebruikte product, de uitgevoerde werkzaamheden, toegepaste bron- c.q. beheersmaatregelen, de omgeving waarin de werkzaamheden werden uitgevoerd en welke (persoonlijke) beschermingsmiddelen werden toegepast. De benaderde bedrijven kregen een Excel-file toegestuurd, waarin de gevraagde gegevens op een gestructureerde en uniforme manier konden worden ingevuld.

De eerste mailing naar betrokken partijen heeft op 12 december 2017 plaatsgevonden. In verband met de relatief beperkte respons, waarbij van 16 bedrijven input is ontvangen, heeft het onderzoeksteam daarnaast actief informatie opgezocht en opgevraagd. Deze informatie is gecombineerd met de input zoals verkregen van de bedrijven tot een beschrijving van blootstellingsscenario's, welke op 6 februari 2018 in de vorm van een notitie ter toetsing is opgestuurd naar de verschillende betrokken partijen (onder andere bedrijven, brancheorganisatie en vakbond).² Op basis van de aanvullende informatie zoals ontvangen van 15 partijen en uit gesprekken met enkele bedrijven en een aantal afgevaardigden van OnderhoudNL zijn de blootstellingsscenario's verder aangescherpt. Een tweede

² Schinkel J. Overzicht inventarisatie activiteiten en omstandigheden waarbij werknemers in aanraking kunnen zijn gekomen met verontreinigd straalgrit (fase 2). TNO-notitie, kenmerk 0100312110, 5 februari 2018.

versie van de notitie is op 7 maart 2018 opnieuw ter toetsing opgestuurd naar de betrokken partijen en op 13 maart 2018 nogmaals besproken met enkele bedrijven en een aantal afgevaardigden van OnderhoudNL.³ Daarnaast zijn tijdens de opzet en uitvoering van de meetstudie (zie Hoofdstuk 4) nog enkele details naar voren gekomen over bijvoorbeeld straaltechnieken en omstandigheden, welke zijn meegenomen in onderstaande beschrijving van de blootstellingsscenario's.

2.2 Beschrijving blootstellingsscenario's op basis van resultaten van inventarisatie

Uitgaande van de taakgroepen zoals weergegeven in Tabel 1 zijn op basis van input van bedrijven de activiteiten die normaliter plaatsvinden met of in de buurt van (aluminiumsilicaat) straalgrit onderverdeeld in zeven blootstellingsscenario's, namelijk: 1) het stralen zelf, 2) het vullen van ketels of reservoirs met ongebruikt straalgrit, 3) het opruimen van gebruikt straalgrit en schoonmaken van vervuilde oppervlakken of apparatuur, 4) onderhoud van straal(gerelateerde) apparatuur, 5) omstanders tijdens straalwerkzaamheden in of nabij het werkgebied, 6) omstanders na straalwerkzaamheden in het werkgebied, en 7) transport van straalgrit en straalgrit-houdend materiaal. In Tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de geïdentificeerde blootstellingsscenario's, en worden deze gekoppeld aan de taakgroepen.

Tabel 2: Overzicht van geïdentificeerde blootstellingsscenario's zoals meegenomen in de inventarisatie, inclusief koppeling aan de taakgroepen

Blootstellingsscenario	Koppeling met taakgroepen	Omschrijving
1. Straalwerkzaamheden	Stralen (4)	De medewerker straalt met verontreinigd straalgrit
2. Het vullen van ketels of reservoirs met ongebruikt straalgrit	Handelingen met verontreinigd straalgrit (1) Nabijheid tijdens stralen (5)	De medewerker voert direct aan het stralen gerelateerde handelingen uit met het ongebruikte verontreinigde straalgrit
3. Het opruimen van gebruikt straalgrit en schoonmaken van vervuilde oppervlakken of apparatuur	Handelingen met verontreinigd straalgrit (1) Activiteiten in verontreinigd gebied (3)	De medewerker voert na het stralen handelingen uit met het verontreinigde gebruikte straalgrit, welke over het algemeen worden uitgevoerd in door het stralen verontreinigd geraakt werkgebied
4. Onderhoud van straal(gerelateerde) apparatuur	Handelingen met verontreinigd straalgrit (1)	De medewerker voert na het stralen handelingen uit aan apparatuur die tijdens het

³ Schinkel J. Overzicht inventarisatie activiteiten en omstandigheden waarbij werknemers in aanraking kunnen zijn gekomen met verontreinigd straalgrit (fase 2) – versie 2. TNO-notitie, kenmerk 0100312110/v2, 7 maart 2018.

Blootstellingsscenario	Koppeling met taakgroepen	Omschrijving
	Activiteiten in verontreinigd gebied (3)	stralen verontreinigd is geraakt met ongebruikt dan wel gebruikt straalgrit, welke kunnen worden uitgevoerd in door het stralen verontreinigd geraakt werkgebied
5. Omstanders tijdens straalwerkzaamheden in of nabij het werkgebied	Nabijheid tijdens handelingen met verontreinigd straalgrit (2) Nabijheid tijdens stralen (5)	De medewerker voert taken uit in de nabijheid van het stralen en/of andere hieraan gerelateerde werkzaamheden met verontreinigd straalgrit (zoals vullen)
6. Omstanders na straalwerkzaamheden in het werkgebied	Activiteiten in verontreinigd gebied (3)	De medewerker voert taken uit op locaties die verontreinigd zijn geraakt met asbest uit het verontreinigde straalgrit (ongebruikt en gebruikt)
7. Transport van straalgrit en straalgrit-houdend materiaal	Handelingen met verontreinigd straalgrit (1) Activiteiten in verontreinigd gebied (3)	De medewerker voert handelingen uit met het verontreinigde straalgrit (ongebruikt of gebruikt)

Voor elk van deze blootstellingsscenario's is aan de betrokken partijen gevraagd welke activiteiten plaatsvinden en onder welke omstandigheden deze activiteiten worden uitgevoerd. Daarnaast is deze informatie aangevuld met informatie die door middel van observaties en gesprekken met medewerkers van verschillende straalbedrijven tijdens de meetstudie is vergaard. Dit geeft daardoor een representatieve weergave van hoe de werksituaties op verschillende plaatsen en bij verschillende activiteiten er in werkelijkheid uit hebben gezien, en zijn dus niet noodzakelijkerwijs altijd in lijn met de geldende wet- en regelgeving met betrekking tot arbeidsomstandigheden en/of milieu.

2.2.1 Stralen

De hoeveelheid straalgrit dat wordt verbruikt tijdens het stralen is met name afhankelijk van de grootte van het te stralen object, en varieert volgens de respondenten van 0,25 kg/uur tot 1.800 kg/uur. Er wordt door de respondenten aangegeven dat het gangbare straalmiddelverbruik per straler varieert van 200-250 tot 480-920 kg/uur. Een hoog totaal straalmiddelverbruik is mogelijk indien meerdere stralers tegelijkertijd aan het werk zijn, waarbij de stralers naast dat ze worden blootgesteld dat ze zelf ontwikkelen tijdens het stralen (primaire blootstelling) ook kunnen worden blootgesteld aan stof dat door een andere straler wordt ontwikkeld (secundaire blootstelling). Een laag totaal straalmiddelverbruik is normaliter alleen mogelijk door gebruik te maken van alternatieve methoden. Het is niet uitgesloten dat (al dan niet door sommatie) incidenteel een hoog totaal verbruik mogelijk is. Tijdens het stralen kan de korrelgrootte, het type straalnozzle

(spuitmond), het spuitbeeld, de druk en het bedrijfsmengel (de combinatie van hoeveelheid lucht en hoeveelheid straalgrit in deze lucht die wordt gehanteerd tijdens het stralen) variëren. Volgens enkele respondenten zijn met name de combinatie van gehanteerde (werk)druk, inwendige diameter van de straalnozzle en afstand tot het object bepalend voor in hoeverre het straalmiddel 'versplinterd/verstoft'.

Er worden verschillende objecten gestraald, die variëren in zowel grootte als in type materiaal (beton/staal). Situaties waarin wordt gestraald zijn:

- Grote objecten in de buitenlucht (metaal- en betonconstructies zoals offshore installaties, schepen, bruggen, sluizen e.d.), waarbij de straalwerkzaamheden over het algemeen plaatsvinden in een straaltent
- In besloten ruimtes (tankwanden)
- In vaste straalcabines
- Aan verplaatsbare metalen constructies in een spuithal of loods
- In gesloten straalkabinetten

Volgens de respondenten komt het stralen van beton (beperkt) voor, maar worden hierbij de straalwerkzaamheden veelal met een lagere druk uitgevoerd dan bij staalconstructies. Ook geven meerdere respondenten aan dat tijdens het stralen mogelijk andere gevaarlijke stoffen vrij kunnen komen, bijvoorbeeld afkomstig van de verf of de walshuid die wordt verwijderd tijdens het stralen (zoals lood, chroom(-VI), PAK's of betonstof). Potentiële blootstelling aan deze stoffen valt echter buiten de scope van dit project.

De straler maakt gebruik van straalapparatuur die werkt onder hoge druk (perslucht). Vanaf de straalketel loopt één straalslang die zowel het straalmiddel als de perslucht bevat. De perslucht dient daarbij als medium om het straalmiddel te transporteren en snelheid te geven (versnelling in de straalnozzle tot 700 km/uur). De straler regelt de toevoer van het straalgrit met behulp van een afstandsbediening (aan/uit). De hoeveelheid te gebruiken straalgrit wordt hierbij meestal aan de ketel geregeld. Afhankelijk van de grootte van de ruimte en de grootte van het te stralen object zijn één of meerdere stralers tegelijkertijd aan het werk.

Er worden veelal zogenaamde venturi-nozzles gebruikt, waarvan het uiteinde van de straalnozzle taps toeloopt waardoor een versnellend effect wordt gegeven aan het straalmiddel. Daarnaast worden ook meer rechte straalnozzles (bijvoorbeeld RDW straight bore nozzles) gebruikt. Er zijn straalnozzles leverbaar met een inwendige diameter van de straalnozzle tussen de 4 en 13 mm. Er treedt tijdens het straalproces over het algemeen drukverlies op, veelal door lange slanglengtes, koppelingen, bochten, etc., waardoor in de praktijk de (werk)druk aan de straalnozzle tussen 6 en 10 bar is. Door slijtage van de straalnozzle (verruiming) kan een toename van het luchtverbruik en/of een afname van de druk optreden, welke beide resulteren in een verminderde snelheid van het straalmiddel. Voorbeelden van straalnozzles die worden gebruikt zijn:

- Tungsten Carbide nozzle met een doorstroomopening van 11,0 mm x 200 mm en een druk van 8-10 bar (droogstralen)
- FBW nozzle met doorstroomopening van 10,0 mm x 200 mm en een druk van 8-10 bar (natstralen).

Bij het natstralen wordt op het eind van het proces water toegevoegd om stofoverlast te beperken.

De straalwerkzaamheden worden veelal in een straaltent of afgeschermd ruimte uitgevoerd, welke zowel in binnen- als in buitensituaties worden opgezet. Er zijn echter ook enkele uitzonderingen gerapporteerd, waarbij het stralen in de openlucht plaatsvindt. Ook in geval van offshore werkzaamheden worden zoveel mogelijk onderdelen afgezet/omsloten door middel van een straaltent voordat wordt begonnen met stralen, maar wanneer dit niet mogelijk is wordt er in de openlucht gestraald. In de meeste binnensituaties of (buiten)situaties waarbij gebruik gemaakt wordt van een straaltent, wordt er gezorgd voor de aanwezigheid van mechanische ventilatie door de inzet van mobiele (stof)units van verschillende capaciteit (benodigde capaciteit afhankelijk van de grootte van de ruimte). Tevens wordt gebruik gemaakt van vaste straalcabines, waarin gedurende langere tijd (maanden/jaren) straalwerkzaamheden worden uitgevoerd.

Met betrekking tot persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM) wordt er tijdens straalwerkzaamheden veelal gebruik gemaakt van een straalpak, een aangeblazen straalkap/luchtkap/straalhelm (onafhankelijke toevoer van verse lucht), handschoenen (tot de ellebogen) en werklarzen. Een van de bedrijven geeft aan dat binnen dit bedrijf gebruik wordt gemaakt van North Commander (Honeywell) en Nova 2000 (RPB) straalkappen, waarvoor de nominale protectiefactor (NPF) is vastgesteld op 1000. Naast bescherming tegen stof voorzien deze PBM in bescherming tegen rondvliegend/terugkaatsend straalmiddel. Een aantal respondenten geeft aan dat er in enkele gevallen tijdens straalwerkzaamheden gebruik wordt gemaakt van een FFP3 masker. Dit betreft waarschijnlijk met name buitensituaties dan wel situaties waarin een straaltechniek wordt gebruikt waarbij sprake is van relatief weinig stofemissie. Ook wordt door een aantal respondenten aangegeven dat er in sommige gevallen tijdens straalwerkzaamheden geen gebruik wordt gemaakt van adembescherming (bijvoorbeeld bij het gebruik van een gesloten straalkabinet, of wanneer een zeer lage druk en verbruik wordt toegepast).

Het straalpak, de straalkap en de handschoenen blijven tijdens de pauze over het algemeen achterblijven op de locatie van de straalwerkzaamheden. Deze worden veelal buiten de ruimte waar wordt gestraald opgehangen dan wel opgeborgen in een plastic zak. Bij het uittrekken hiervan wordt met perslucht het grootste gedeelte van het stof van het pak, de kap en de handschoenen afgeblazen met perslucht (vaak afkomstig uit een andere slang dan waarmee wordt gestraald). Aan het einde van de werkdag blaast de straler tevens vaak het werkstuk/object waaraan die dag is gewerkt schoon. Hierbij worden over het algemeen dezelfde PBM gedragen als tijdens het stralen.

Het Eurogrit/Excellent aluminiumsilicaat straalgrit betreft een niet-herbruikbaar straalmiddel. Daarom is een beschrijving van de werkzaamheden die te maken hebben met het kunnen hergebruiken van straalmiddel achterwege gelaten.

2.2.2 Vullen van reservoirs/ketels van straalapparatuur

Het ongebruikte straalgrit wordt aangeleverd in silo's, bigbags, zakken of emmers. Vanuit een silo (buiten) wordt in een deel van de gevallen het straalgrit in emmers gestort (ompakken) alvorens het straalgrit verder wordt gedistribueerd. Vervolgens worden reservoirs/ketels gevuld met het straalgrit, welke qua inhoud kunnen variëren van 12 liter tot meer dan 200 liter.

Er wordt verder door respondenten aangegeven dat (voor gebruik) grote hoeveelheden straalgrit worden gezeefd. Een respondent geeft aan dat het zeven van het materiaal plaatsvindt in een niet-geventileerde ruimte, waarbij slechts een mondkapje gedragen wordt. Daarnaast zijn veel straalketels uitgerust met een zeef als onderdeel van de vulopening, om te zorgen dat eventueel aanwezige grotere deeltjes niet in de straalapparatuur terechtkomen.

De ketelboy (ook wel dieselwacht genoemd) leegt handmatig emmers (25 kg) of zakken (25 kg) in de reservoirs/ketels, of er wordt gebruik gemaakt van vulsilo's (max. ± 2.000 kg) of stortslurven van bigbags (max. ± 1.000 kg). Er zijn ook bulksilo's waarin 10.000 tot 60.000 kg straalgrit kan worden opgeslagen. Naast het vullen van de reservoirs/ketels is de ketelboy verantwoordelijk voor het in de gaten houden van de straalapparatuur, de communicatie met de straler(s), etc.

Er wordt door de respondenten aangegeven dat de verhouding handmatig vullen versus automatisch vullen over het algemeen 75/25 of 50/50 zijn. Verder wordt aangegeven dat in geval van automatisch vullen er wel een medewerker aanwezig is die hierop toezicht houdt en af en toe handmatig handelingen verricht. In sommige gevallen wordt gebruik gemaakt van een "straal/zuigunit", waarbij de straalapparatuur direct vanuit een vrachtwagen wordt gevuld die tegelijkertijd lucht uit de ruimte afzuigt en afvangt. Daarnaast komt het ook voor dat de straalapparatuur direct vanuit een vulsilo wordt gevuld. In deze gevallen is de ketelboy niet direct betrokken bij het vulproces. Een van de bedrijven geeft aan dat wanneer er gewerkt wordt met "zakgoed" het vullen handmatig gebeurt (vanuit zakken in de straalketel), en wanneer er gewerkt wordt met "bulkgoed" het vullen automatisch gebeurt (straalketel direct onder de vulsilo, hoewel deze wel vaak handmatig wordt bediend). Een ander bedrijf geeft aan dat in geval van automatische vulprocessen er over het algemeen een recyclebare variant straalgrit wordt toegepast. Verschillende bedrijven geven aan dat het vullen van aluminiumsilicaat straalgrit in de praktijk meestal handmatig gebeurt, hoewel andere bedrijven aangegeven dat Eurogrit veelal in bulk wordt geleverd waarbij het vullen automatisch gebeurt.

De respondenten geven aan dat er veelal geen beheersmaatregelen worden toegepast tijdens het storten/vullen van het straalgrit. In een enkel geval is er op

het stortpunt sprake van lokale afzuiging. Het storten/vullen van het straalgrit gebeurt veelal buiten in de open lucht. Een enkele keer gebeurt dit echter ook binnen, maar in een andere ruimte dan waar wordt gestraald, waarbij wordt aangegeven dat er mechanische ventilatie aanwezig is, maar waarbij niet altijd (aanvullende) beheersmaatregelen zoals lokale afzuiging worden getroffen. Tijdens het storten/vullen van het straalgrit wordt sporadisch gebruik gemaakt van een aangeblazen kap als PBM. In de meeste gevallen wordt een FFP3 of P3 halfgelaatsmasker gebruikt of geen adembescherming gedragen. Verder draagt de ketelboy een overall, handschoenen en werkschoenen/-laarzen.

2.2.3 Opruimen van gebruikt straalgrit en schoonmaken van vervuilde oppervlakken en apparatuur

Voor het opruimen en schoonmaken van gebruikt straalgrit en verontreinigde oppervlakken zijn door de respondenten bijna 150 verschillende scenario's beschreven. Het is duidelijk dat de manier waarop opgeruimd wordt afhankelijk is van de op de locatie aanwezige omstandigheden. Zo wordt er met betrekking tot offshore werkzaamheden aangegeven dat na het stralen (en coaten) het grove materiaal zoveel mogelijk wordt afgevoerd in big bags, waarna het dek wordt schoongespoeld met water. In dergelijke gevallen wordt ongeveer 90% van het gebruikte materiaal afgevoerd en gaat dus ongeveer 10% 'verloren' en kan daardoor mogelijk in de lucht terecht komen en ingeademd worden.

Er worden 8 verschillende taken beschreven:

- a. Vegen
 - i. Bezem
 - ii. Veegmachine
- b. Scheppen
- c. Opzuigen
 - i. Zuigmachine
 - ii. Stofzuiger
- d. Schoonblazen (perslucht)
- e. Schoonmaken/vervangen filters/filterunits
- f. Legen stofreservoirs/opvangbakken/filterbakken
- g. Opslaan/verpakken gebruikt straalgrit
- h. Opruimen /schoonmaken apparatuur

De schoonmakers dragen over het algemeen een overall, een helm met veiligheidsbril, werkschoenen en een P3 halfgelaatsmasker.

2.2.3.1 Vegen

Door een aantal bedrijven wordt aangegeven dat het straalgrit door schoonmakers wordt opgeruimd door middel van vegen met behulp van een bezem (in combinatie met scheppen en/of opzuigen). Deze werkzaamheden worden onder andere uitgevoerd in binnensituaties zonder ventilatie.

Wanneer er gebruikt gemaakt wordt van een veegmachine worden de volgende handelingen uitgevoerd: algehele controle van de werking van de machine,

vaststellen van problemen met de machine, demontage van hoofdborstel en verwijderen van touw/plastic rondom borstel en lagering. Bij een sterke vervuiling wordt het filter gedemonteerd (zie paragraaf 2.2.3.5).

2.2.3.2 Scheppen

Het opruimen van straalgrit door middel van scheppen gebeurt in zowel binnen- als buitensituaties. Er worden hierbij geen beheersmaatregelen toegepast. In binnensituaties is niet altijd ventilatie aanwezig. In de meeste gevallen wordt gebruik gemaakt van P3 maskers, maar niet in alle gevallen wordt adembescherming gedragen. Scheppen wordt in diverse gevallen gecombineerd met vegen (zie paragraaf 2.2.3.1).

2.2.3.3 Opzuigen

Opzuigen van gebruikt straalgrit gebeurt met behulp van zuigwagens, vacuümzuigers of handmatig bediende (industriële) stofzuigers en zuigmachines. De verkregen informatie beschrijft het gebruik van zuigsystemen in binnensituaties, maar uiteraard kan deze techniek ook worden toegepast in buitensituaties. Zuigmachines worden veelal ingezet om grote hoeveelheden straalgrit op te zuigen. Via flexibele slangen komt het straalgrit in het reservoir van de zuigmachine terecht. Zuigmachines worden elektrisch of via een dieselmotor aangedreven, en kunnen al dan niet zijn voorzien van een HEPA-filter.

2.2.3.4 Schoonblazen

Een veel voorkomende activiteit is het schoonblazen van bewerkte oppervlakken met behulp van lucht dat wordt aangevoerd via een compressor (perslucht). Daarnaast wordt bijvoorbeeld ook apparatuur (zoals veegmachines) schoon geblazen en blaast de straler regelmatig stof van het straalpak, de straalkap en de handschoenen af (zie paragraaf 2.2.1). Het schoonblazen gebeurt zowel in de open lucht als in een gebouw of tent. In binnensituaties is soms ventilatie aanwezig, maar soms ook niet. Er wordt aangegeven dat tijdens het schoonblazen gebruik wordt gemaakt van een straalkap of een FFP3 masker, maar er wordt ook aangegeven dat het voorkomt dat geen adembescherming wordt gebruikt bij deze activiteit.

2.2.3.5 Schoonmaken/vervangen filters/filterunits

Een belangrijke activiteit betreft het schoonmaken dan wel vervangen van filters/filterunits van verschillende soorten apparatuur, zoals veegmachines, stofzuigers, zuigmachines en ventilatie- en afzuigsystemen.

Er wordt door de respondenten aangegeven dat bepaalde apparatuur, zoals de ventilatie-/afzuigsystemen die worden gebruikt tijdens het stralen, veelal een klopsysteem bevat, waarmee de filters gedurende het gebruik worden leeg geklopt, en de filters dus min of meer automatisch worden gereinigd (zonder tussenkomst van personen). Bij onderhoud en/of vervanging van een filter wordt gebruik gemaakt van (ten minste) een FFP3 masker/ P3 halfgelaatsmasker. Ook wordt aangegeven dat bij dergelijke activiteiten verder geen specifieke maatregelen worden

getroffen. Een van de bedrijven geeft aan dat deze activiteiten meestal in de open lucht (en dus met voldoende ventilatie) worden uitgevoerd.

Met betrekking tot veegmachines wordt aangegeven dat bij sterke vervuiling het filter wordt gedemonteerd en dan met een externe stofzuiger wordt uitgezogen. Meestal is het filter van de stofzuiger na het uitzuigen van 3 á 4 lamellen van het filter van de veegmachine zodanig dicht komen te zitten dat de stofzuiger bijna niet meer zuigt. In dat geval wordt het filter uitgeklopt in een vuilcontainer met de deksel zo dicht mogelijk en wordt de opvangbak van de stofzuiger leeg gemaakt in de vuilcontainer (zie ook paragraaf 2.2.3.6). Dit wordt een aantal keren herhaald (ongeveer 3 a 5 keer). Bij het uitkloppen wordt meestal een (simpel) stofmasker gebruikt, afhankelijk van de vervuiling van het filter. Er wordt echter ook aangegeven dat in een vergelijkbare situatie de onderhoudsmonteurs bij deze werkzaamheden geen enkele vorm van adembescherming droegen. De andere werkzaamheden gebeuren zonder gebruik van adembescherming. Hierna wordt het filter teruggeplaatst, wordt de schudmotor weer aangesloten en op werking getest.

2.2.3.6 *Legen stofreservoirs/opvangbakken/filterbakken*

Een andere belangrijke activiteit betreft het legen/schoonmaken van stofreservoirs/opvangbakken/filterbakken van verschillende apparatuur, zoals veegmachines, stofzuigers, zuigmachines, ventilatie- en afzuigsystemen, zuigmachines of compressoren (inclusief voorafscheiders).

Het reservoir/de bak wordt over het algemeen geleegd (gestort) in een vuilcontainer. Hierbij wordt meestal rekening gehouden met eventuele stofemissie door het verval (afstand tot het oppervlak) zo laag mogelijk te houden. Bij bepaalde apparatuur kan vooraf en direct na het zuigen een hoeveelheid water worden opgezogen om het straalgrit nat te maken en daarmee stofemissie tijdens het legen tegen te gaan.

2.2.3.7 *Opslaan/verpakken van gebruikt straalgrit*

Voor het opslaan en het verpakken van het gebruikte straalgrit (afval) dat bijvoorbeeld wordt opgezogen met een zuigmachine kan onderscheid gemaakt worden in 1) direct verpakken in bigbags, en 2) tijdelijk opslaan in de tank van de zuigmachine en daarna overslaan in containers die zijn voorzien van een bigbag. Wanneer de bigbag vol is moet deze worden losgekoppeld en moet een nieuwe bigbag worden aangekoppeld. Tijdens het wisselen van de zak wordt soms een extra losse stofzuiger en/of waterverneveling gebruikt om stofemissie tegen te gaan.

Wanneer er wordt geschept wordt het gebruikte straalgrit (afval) over het algemeen in een zak (25 kg) of een bigbag geschept, welke worden afgevoerd (zie paragraaf 2.2.7).

2.2.3.8 *Opruimen/schoonmaken apparatuur*

Naast het opruimen van straalgrit zelf worden ook handelingen beschreven waarbij materieel dat verontreinigd is wordt opgeruimd. Het gaat hier bijvoorbeeld om het

opruimen (inclusief schoonmaken) van met straalgrit verontreinigde apparatuur. Veelal bestaan deze handelingen uit een combinatie van de hiervoor beschreven activiteiten schoonblazen, opzuigen en vegen. Tijdens deze activiteiten, die zowel binnen als buiten kunnen plaatsvinden, wordt of een FFP3 masker of geen adembescherming gebruikt.

2.2.4 Onderhoud van straalgerelateerde apparatuur

Onderhoudswerkzaamheden aan straalapparatuur wordt ook aangegeven als activiteit waarbij men mogelijk in aanraking is gekomen met het verontreinigde straalgrit. De scenario's beschrijven reparatiewerkzaamheden, het openen van doorvoeren of het vervangen van filterunits (zie ook paragraaf 2.2.3.5). Tijdens deze activiteiten, die zowel binnen als buiten kunnen plaatsvinden, wordt of een FFP3 masker of geen adembescherming gebruikt.

2.2.5 Omstanders tijdens straalwerkzaamheden in of nabij het werkgebied

Naast de straler kunnen bij de straalwerkzaamheden ook andere mensen direct betrokken zijn, zoals de ketelboy en schoonmakers. In sommige gevallen is tijdens het stralen tevens een mangatwacht of veiligheidsinspecteur aanwezig. Bijvoorbeeld in geval van straalwerkzaamheden in een besloten ruimte is over het algemeen een vorm van toezicht betrokken. In het geval van aanwezigheid van een mangatwacht wordt in diverse gevallen gebruik gemaakt van afdekking van de entree van de ruimte. Daarnaast bevindt de mangatwacht zich gedurende de straalwerkzaamheden niet in de besloten ruimte.

De mangatwachters of veiligheidsinspecteurs houden toezicht en verrichten dus zelf geen handelingen met het straalgrit. Deze mensen bevinden zich buiten de straalzone en dragen veelal geen adembescherming. In de opgegeven buitensituaties bevond de veiligheidsinspecteur zich op afstand, bij de opening van de tent in de buitenlucht. In het geval dat een mangatwacht of veiligheidsinspecteur aanwezig is tijdens het stralen in een afgesloten of besloten ruimte wordt gebruik gemaakt van (minimaal) een P3 filter masker.

Daarnaast kan het voorkomen dat tijdens het stralen in dezelfde ruimte personen andere werkzaamheden verrichten, die niet gerelateerd zijn aan het stralen. Er wordt echter aangegeven dat dit zelden gebeurt, omdat door de hoge geluidsbelasting het gescheiden uitvoeren van werkzaamheden de voorkeur heeft. Er wordt verder aangegeven dat in geval van vacuümstralen, waarbij het straalgrit direct wordt afgezogen aan de straalnozzle, wel tegelijkertijd andere werkzaamheden kunnen worden uitgevoerd. Dit vacuümstralen komt echter zelden voor.

Ook wordt aangegeven dat er situaties kunnen voorkomen waarin de afvoer van het ventilatiesysteem van de ruimte waar wordt gestraald uitkomt in een andere ruimte, bijvoorbeeld de werkplaats.

2.2.6 Omstanders na straalwerkzaamheden in het werkgebied

Niet-straalgerelateerde omstanders-scenario's zijn scenario's waarbij werknemers blootgesteld kunnen worden aan straalgrit, doch niet direct zelf bij de straalwerkzaamheden of de processen die hieraan verbonden zijn betrokken zijn. Deze omstanders-scenario's zijn in een vijftal groepen te verdelen:

- a. Inspectie na stralen
- b. Handelingen aan of nabij gestraalde oppervlakken
- c. Afbreken van materieel
- d. Verplaatsen in een ruimte/gebied waar gestraald is
- e. Werken in een ruimte/omgeving waar straalgrit ingesleept is

2.2.6.1 *Inspectie na stralen*

Het werkgebied wordt vaak geïnspecteerd nadat de straalwerkzaamheden zijn afgerond. De inspecteur loopt door het gebied waarin gestraald is en inspecteert de gestraalde oppervlakken. Er wordt door verschillende bedrijven aangegeven dat er geen vaste procedure wordt gevolgd met betrekking tot wanneer de ruimte mag worden betreden, hoewel sommige bedrijven aangeven wel een procedure te hebben. Er is vaak wel sprake van een standaard werkwijze die na het straalproces gehanteerd wordt.

Er wordt aangegeven dat vaak onderscheid gemaakt wordt tussen het inspecteren van een tank of een straalloods. Bij de inspectie van een tank wacht men over het algemeen met de inspectie totdat het straalgrit is opgeruimd, terwijl men in een straalloods vaak al begint met de inspectie als er nog volop straalgrit in de loods aanwezig is. Hierbij wordt soms een stofkapje gedragen, maar vaak ook niet.

De meeste procedures geven aan dat gewacht moet worden totdat het stof neergedaald is, en dat (minimaal) een FFP3 masker gedragen moet worden. Sommige bedrijven geven aan dat er minimaal 24 uur wordt gewacht alvorens de ruimte wordt betreden voor inspectie, terwijl andere bedrijven aangeven dat minimaal 15 minuten gewacht moet worden voor inspectie. In geval van een korte wachttijd wordt tijdens de inspectie gebruik gemaakt van een FFP3 masker.

In sommige gevallen wordt het werkgebied gereinigd (fijnreiniging) voor inspectie. Het reinigen van het werkgebied mag direct plaatsvinden na beëindiging van het straalproces. Hierbij wordt het straalgrit weggezogen en worden voorafgaand aan de inspectie nog eventuele slijpwerkzaamheden uitgevoerd. Het betreft zowel binnen- als buitensituaties. Veelal wordt hierbij gebruik gemaakt van een stofmasker, maar soms ook niet.

2.2.6.2 *Handelingen aan of nabij gestraalde oppervlakken*

In enkele gevallen is beschreven dat bestraalde oppervlakken na het stralen bewerkt worden of handelingen plaatsvinden nabij het gestraalde oppervlakken. Voorbeelden zijn het aanbrengen van een coating/verflaag of laswerkzaamheden. De bewerking kan plaatsvinden met behulp van power tools, waarbij het stof ontstaan bij het stralen kan opwervelen. In sommige gevallen wordt het werkgebied

eerst schoongemaakt (opruimen gebruikte straalgrit) voordat deze handelingen worden uitgevoerd, maar in andere gevallen worden deze handelingen (met name het coaten/verven) zo snel mogelijk na het stralen uitgevoerd om corrosie tegen te gaan.

Dit scenario kan voorkomen in diverse werksituaties (zowel binnen als buiten). Er wordt aangegeven dat in het geval van besloten ruimtes gebruik wordt gemaakt van mechanische ventilatie. Bij de beschrijving van de scenario's worden diverse soorten PBM gebruikt, waarbij de adembescherming varieert van geen adembescherming tot het gebruik van aangeblazen adembescherming.

2.2.6.3 *Afbreken van materieel, steigers of schermen in een vervuilde ruimte of met vervuild materieel*

Een veel voorkomend scenario is het afbreken van materieel, zoals steigers en afschermstructuren, in het werkgebied. Deze objecten en/of de ruimte kunnen nog verontreinigd zijn met straalgrit, en steigerbuizen kunnen ook inwendig (deels) verontreinigd zijn geraakt. Het vervuilde materiaal wordt schoon geblazen door middel van perslucht of door de verontreiniging op de grond te laten vallen (afkloppen of afvegen). De werkzaamheden worden zowel in binnen- als buitensituaties uitgevoerd. In binnensituaties wordt veelal gebruik gemaakt van een FFP3 masker / stofkap met P3 filter, hoewel één van de respondenten aangeeft dit vaker niet dan wel gebeurt.

2.2.6.4 *Verplaatsen in een ruimte/omgeving waar gestraald is*

Dit scenario beschrijft de activiteiten van mensen die lopen of rijden (met bijvoorbeeld heftrucks) in de ruimte/het gebied waar gestraald is. Hierbij kan het ook om een compleet bedrijfsterrein gaan. Door het verplaatsen van mensen en/of voertuigen kan stof opwervelen. Door deze mensen wordt veelal geen adembescherming gedragen.

2.2.6.5 *Activiteiten in een ruimte/omgeving waar straalgrit ingesleept is (secundaire verontreiniging)*

Dit scenario beschrijft de activiteiten van mensen die in de ruimte/het gebied werken waar niet gestraald is, maar waar verontreinigd straalgrit mogelijk is ingesleept. Inslepen kan worden veroorzaakt doordat gestraalde objecten naar deze ruimte / dit gebied zijn verplaatst of omdat mensen of voertuigen zich verplaatsen van gebieden waar gestraald is naar gebieden waar niet gestraald is. In deze ruimtes/gebieden worden geen adembeschermingsmiddelen gedragen.

2.2.7 *Transport van straalgrit en straalgrit-houdend materieel*

Het transporteren van zowel ongebruikt als gebruikt straalgrit en materieel dat verontreinigd is met straalgrit is het laatste scenario dat naar voren is gekomen tijdens de inventarisatie. Naast het transporteren van straalgrit in verpakkingsmateriaal wordt straalgrit ook getransporteerd in silo's en open reservoirs/bakken. Het transporteren van straalgrit wordt in enkele gevallen

gecombineerd met het storten van straalgrit. Het storten van het straalgrit varieert van 10 tot 6.000 kg/uur. Deze werkzaamheden worden zowel binnen als buiten uitgevoerd, en is deels afhankelijk van de hoeveelheid te transporteren straalgrit, aangezien silo's zich bijvoorbeeld altijd buiten bevinden. Tijdens het lossen van straalgrit wordt zowel wel als geen adembescherming gedragen, of er wordt gekozen om bovenwinds te staan om zodoende stof dat eventueel vrijkomt te ontwijken.

Een van de bedrijven geeft aan dat verschillende partijen/personen betrokken kunnen zijn bij het transport van ongebruikt en gebruikt straalgrit:

- Aanvoer en lossen van voorraad straalgrit in zak- of bulkgoed door derden (vervoerders)
- Afvoer van gebruikt straalgrit van bedrijfslocatie naar de stortplaats door derden (vervoerders)
 - o Op de stortplaats wordt het gebruikte straalgrit gelost en eventueel verder verwerkt
- Vervoer van ongebruikt straalgrit in zak- of bulkgoed van de bedrijfslocatie naar de werkplek door eigen medewerkers
- Vervoer van gebruikt straalgrit van de werkplek naar de bedrijfslocatie (storten/tijdelijke opslag) door eigen medewerkers.

3 Experimenten voor bepaling relatie respirabel stof vs. asbestvezels

Tijdens de meetstudie zijn metingen van respirabel stof verricht tijdens werkzaamheden met niet-verontreinigd straalgrit (zie Hoofdstuk 4). Om de resultaten van deze meetstudie te kunnen vertalen naar de blootstelling aan asbestvezels gedurende de periode dat met verontreinigd straalgrit werd gewerkt moet de relatie tussen de concentratie respirabel stof en de concentratie asbestvezels worden bepaald.

Bij de bepaling van de relatie tussen respirabel stof en de asbestvezelconcentratie is de samenstelling van het product (dat wil zeggen het straalgrit) een belangrijke factor. Het gaat hierbij niet alleen om de totale asbestconcentratie, maar ook om het aandeel aan respirabel stof en asbestvezels in het straalgrit. Om een inschatting te kunnen maken van de mogelijke concentraties in de lucht, is het noodzakelijk om de spreiding in gehalte aan (respirabel) asbest en respirabel stof in het straalgrit te bepalen. In Fase 1 van het onderzoek zijn reeds 11 monsters straalgrit, waarvan bekend was dat ze verontreinigd waren met asbest, in detail onderzocht. Hierbij is de variatie in asbestsamenstelling tussen batches en partijen en tussen gebruikt en ongebruikt straalgrit onderzocht. Uit dit onderzoek is onder andere naar voren gekomen dat zowel het totale asbestgehalte als de respirabele vezelconcentratie in gebruikt straalgrit lager is dan in ongebruikt straalgrit, dat het asbest veel meer in de kleinere zeeffracties aanwezig is, en dat tevens de respirabele asbestvezelconcentratie lager was in gebruikt straalgrit in vergelijking met ongebruikt straalgrit (circa factor 2 verschil).

Door gesprekken met bedrijven tijdens de het onderzoek is naar voren gekomen dat waar voorafgaand aan het incident met het verontreinigde straalgrit vooral gebruik werd gemaakt van aluminiumsilicaat straalgrit van Eurogrit men nu in sommige gevallen is overgestapt naar andere vormen van straalgrit, bijvoorbeeld op basis van koper. Wanneer wel gebruik wordt gemaakt van aluminiumsilicaat straalgrit is veelal van het merk Excellent (afkomstig van Holland Mineraal) of Asilicos (afkomstig van de Duitse bedrijven Steag Power Minerals of Top Mineral). De specificaties van deze typen straalgrit met een verschillende herkomst zijn onderling vergelijkbaar en vergelijkbaar met Eurogrit, maar de bedrijven geven wel aan dat het straalgrit in het gebruik wel verschillen vertoont (zo lijkt Asilicos zachter en minder scherp te zijn).

Er wordt aangenomen dat in geval van (secundaire) emissie vanuit gebruikt straalgrit (bijvoorbeeld tijdens opruimen, schoonmaken of inspectie na stralen) de asbestvezelconcentratie direct is gekoppeld aan de respirabele stofconcentratie. De asbestvezels zijn namelijk ook respirabel en er wordt aangenomen dat opruimwerkzaamheden een lage impact op het gebruikte straalgrit hebben, waarbij de verwachting is dat geen nieuwe respirabele vezels worden vrijgemaakt uit aanwezige grote (niet respirabele) vezelstructuren. Verder wordt aangenomen dat ook in geval van (secundaire) emissie vanuit ongebruikt straalgrit (bijvoorbeeld

tijdens transport, overslag of het vullen van straalapparatuur) de asbestvezelconcentratie ook direct is gekoppeld aan de respirabele stofconcentratie. De emissie van (asbest)vezels tijdens het stralen zelf wordt bepaald door zowel de emissie vanuit de straalmachine tijdens het stralen vóór impact op het object als de emissie als gevolg van de impact van het straalgrit op het object. Er wordt aangenomen dat het grootste deel van de vezelemissie afkomstig is van de impact van het straalgrit op het object, waardoor wordt aangenomen dat de bijdrage van de emissie uit het ongebruikte straalgrit voor impact aan de totale emissie minimaal zijn. Er kan echter niet op voorhand worden aangegeven of de concentraties aan respirabel stof en asbestvezels tijdens stralen vergelijkbaar zijn met de concentraties tijdens activiteiten met ongebruikt straalgrit, gebruikt straalgrit of een combinatie van beide.

In het kader van dit onderzoek is de relatie tussen respirabel stof en asbestvezels daarom voor drie verschillende gebruikssituaties in kaart gebracht:

- Tijdens activiteiten met ongebruikt aluminiumsilicaat straalgrit
 - o Voor werkzaamheden als vullen
- Tijdens het stralen met aluminiumsilicaat straalgrit
 - o Voor werkzaamheden als stralen en omstanders tijdens stralen
- Tijdens activiteiten met gebruikt aluminiumsilicaat straalgrit
 - o Voor werkzaamheden als schoonmaken en inspectie

Omdat het voor het onderzoeken van de relatie tussen respirabel stof en asbestvezels nodig is om gebruik te maken van verontreinigd aluminiumsilicaat straalgrit, is er voor gekozen een (semi-)experimentele setting toe te passen, waarbij blootstelling aan / emissie van asbest (zoveel mogelijk) wordt voorkomen, en mensen en omgeving daardoor niet onnodig worden blootgesteld aan asbest. Vragen die met de resultaten van de experimenten zullen worden beantwoord zijn:

- 1) Wat is de verhouding tussen respirabel stof en asbestvezels?
- 2) Is de verhouding tussen respirabel stof en asbestvezels vergelijkbaar voor de drie situaties (vullen, stralen en schoonmaken)?
- 3) Wat zijn de dimensies van de asbestvezels die vrijkomen?

Wanneer de relatie tussen respirabel stof en asbestvezels in kaart is gebracht kan door middel van een blootstellingsstudie naar respirabel stof retrospectief de blootstelling aan asbestvezels worden geschat.

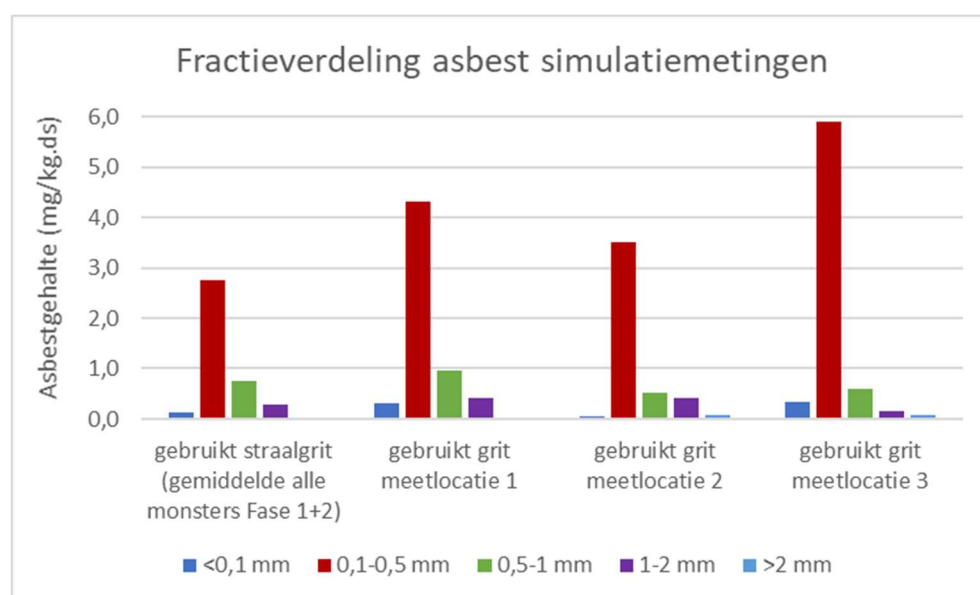
3.1 Methode simulatie-experimenten op laboratoriumschaal

De relatie tussen de concentratie respirabel stof en de concentratie asbestvezels voor de situatie '**gebruikt straalgrit**' is op basis van simulatie-experimenten in het laboratorium van TNO onderzocht. Tijdens deze experimenten is op kleine schaal emissie gecreëerd, waarbij zowel de concentratie respirabel stof als de concentratie asbestvezels is gemeten. Op basis hiervan is de verhouding tussen respirabel stof en asbestvezels voor activiteiten met gebruikt straalgrit in kaart gebracht.

Omdat de samenstelling en verontreiniging van het straalgrit kan variëren, maar wel bepalend is voor de relatie respirabel stof en asbestvezels is voor deze experimenten een selectie gemaakt van de verzamelde straalgritmonsters uit Fase 1 zodat inzicht wordt verkregen in de variabiliteit van het gebruikte straalgrit. Er zijn drie verschillende typen gebruikt straalgrit meegenomen in de experimenten, namelijk:

1. Gebruikt straalgrit van meetlocatie 1 (totaalgehalte 6,0 mg/kg droge stof (ds), vezelconcentratie 400×10^6 vezels/kg ds)
2. Gebruikt straalgrit van meetlocatie 2 (totaalgehalte 3,6 mg/kg ds, vezelconcentratie 73×10^6 vezels/kg ds)
3. Gebruikt straalgrit van meetlocatie 3 (totaalgehalte 7,2 mg/kg ds, vezelconcentratie 950×10^6 vezels/kg ds)

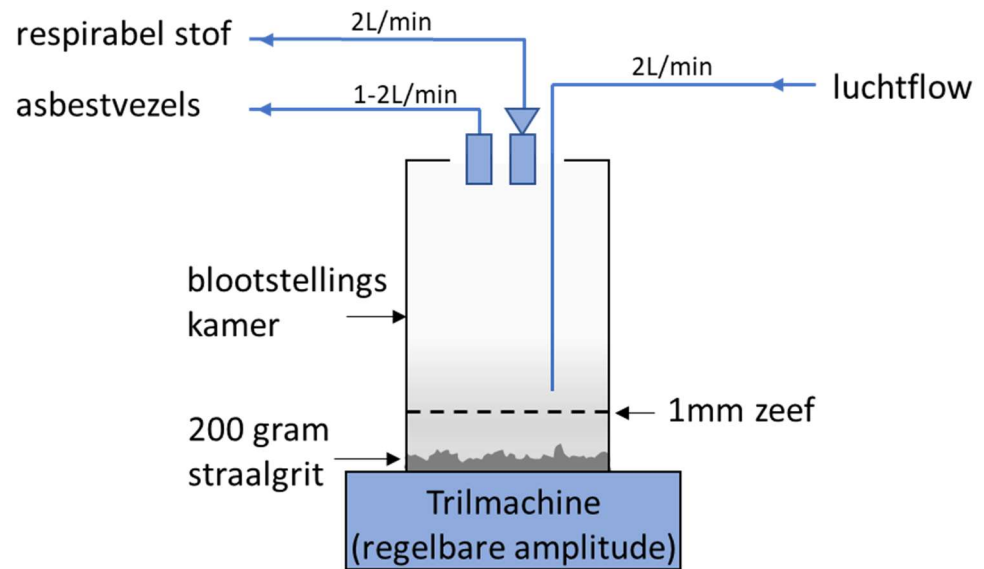
In Figuur 1 is de zeeffractie verdeling van het aanwezige asbest in het gebruikte straalgrit op meetlocaties 1-3 weergegeven, waarbij ook is vergeleken met de gemiddelde fractieverdeling van alle (n=7) door TNO in Fase 1 en 2 geanalyseerde materiaalmonsters.



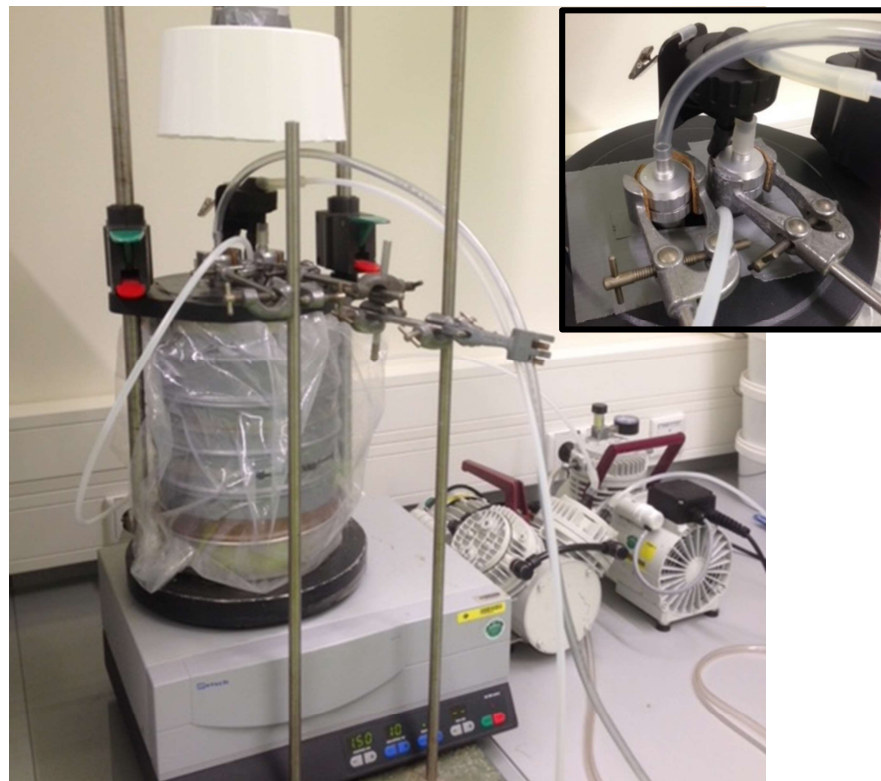
Figuur 1: Schematische weergave aanwezigheid asbest (in mg/kg ds) per korrelgrootte fractie in gebruikt straalgrit op meetlocaties 1-3 uit Fase 1, waarvan het materiaal in de simulatie-experimenten op laboratoriumschaal worden gebruikt.

Met behulp van de simulatie-experimenten in het laboratorium zijn op kleine schaal stofwolken gecreëerd, waarbij gelijktijdig en naast elkaar de concentratie respirabel stof en de concentratie asbestvezels is gemeten (zie Figuur 2 en Figuur 3). Tijdens de simulatie-experimenten in het laboratorium zijn activiteiten gesimuleerd met behulp van een trilmachine met regelbare amplitude in combinatie met een luchtstroom (ventilatie). Op deze manier ontstaat in de bovenliggende blootstellingskamer een stofwolk waarin parallel een respirabele stof en asbestmeting is uitgevoerd. Het voordeel van deze testen is dat met de regelbare amplitude de impact (energie) van de activiteit kan worden verhoogd, zodat kan

worden onderzocht of de aan deeltjes geadsorbeerde vezels alsnog vrijkomen tijdens activiteiten waarbij een hogere 'impact' wordt verwacht. De reproduceerbaarheid van deze test is goed en dergelijke testen zijn in het verleden ook toegepast in onderzoek naar de risico's van asbest in bodemonsters.



Figuur 2: Schematische voorstelling van de meetopstelling in het laboratorium.



Figuur 3: De gebruikte meetopstelling in het laboratorium (in kader: twee filterkoppertjes voor respirabel stof en asbestvezels, bovenin de blootstellingskamer).

Bij iedere test is een nieuw deelmonster van 200 gram van het gebruikte straalgrit gebruikt. Om de geëmitteerde stofwolk iets te dempen en ervoor te zorgen dat er weinig grof stof wordt bemonsterd is het straalgrit en de blootstellingskamer van elkaar gescheiden door middel van een zeef met een zeefmaat van 1 mm. Aangezien de asbestvezels een maximale lengte hebben van 50 μm (gemiddeld 20 μm), dus 20-50x kleiner zijn dan de zeefmaat, zal deze zeef geen effect hebben op de gemeten respirabel stofdeeltjes en asbestvezels.

De asbestmetingen zijn uitgevoerd met behulp van 25 mm goudgecoate polycarbonaat membraanfilters (type Nuclepore™) met een nominale poriegrootte van 0,8 μm . Deze filters bevonden zich in aluminium filterhouders met een effectieve diameter van 20 mm. De respirabel stofmetingen zijn uitgevoerd met behulp van 25 mm Teflon filters met een poriegrootte van 5 μm Millipore PTFE Mitex membraanfilters (type LSWP)). Deze Teflon filters zijn bevestigd in kunststof cycloon samplers voor respirabel stof (SKC, type 225-69).

Voor de metingen is gebruik gemaakt van stationaire pompen voorzien van regelbare naaldventielen voor de instelling van het debiet. De cyclonen waren ingesteld op een debiet van 2,2 L/min en de aluminium filterhouders op een debiet van 1-2 L/min afhankelijk van de stofbelading. Zowel voor als na de monsterneming is het ingestelde debiet gecontroleerd met een debietmeter (Bios Defender 510).

Per type straalgrit zijn 3-4 simulatie-experimenten uitgevoerd, waarbij de intensiteit van de “activiteit” is gevarieerd door middel van het variëren van de amplitude (0-100%) van de trilmachine: lage amplitude (20%), gemiddelde amplitude (50%) en hoge amplitude (80%). In Tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de simulatie-experimenten die zijn uitgevoerd in het laboratorium.

Tabel 3: Overzicht van uitgevoerde simulatie-experimenten

Straalgrit meetlocatie	Amplitude trilapparaat	Duur (min)	Debiet (L/min)	Volume (L)
1	50%	1,5	1,0	1,5
1	20%	3,0	1,0	3,0
1	80%	1,5	1,0	1,5
1	50%	1,5	1,0	1,5
2	50%	5,0	2,0	10,0
2	20%	2,5	2,0	5,0
2	80%	3,0	1,0	3,0
2	50%	1,0	1,0	1,0
3	50%	1,0	1,0	1,0
3	20%	1,0	1,0	1,0
3	80%	1,5	1,0	1,5

3.2 Methode simulatie-experimenten in semi-praktijksituatie

3.2.1 Meetstrategie experimenten stralen en vullen

Om de relatie tussen respirabel stof en asbestvezels voor de verschillende relevante situaties te kunnen onderzoeken was het onder andere nodig te stralen met verontreinigd straalgrit. Aangezien straalwerkzaamheden niet kunnen worden nagebootst op laboratoriumschaal is er voor gekozen om de relatie respirabel stof en asbestvezels voor de situatie **'tijdens stralen'** te onderzoeken in een semi-praktijksituatie. Omdat er ten tijde van dit onderdeel van het onderzoek (vrijwel) geen locaties beschikbaar waren waar verontreinigd aluminiumsilicaat voorhanden was, en het de wens was om werknemers niet onnodig bloot te stellen aan asbest, is er voor gekozen om dit deel van het onderzoek uit te voeren in een experimentele setting, die speciaal voor dit onderzoek is opgezet. Het doel van dit experiment was het vaststellen van de relatie tussen respirabel stof en asbestvezels, waarbij de invloed van bepaalde omstandigheden (met name gerelateerd aan de straaltechniek) werd meegenomen. Het doel was NIET om een representatieve dataset met betrekking tot stofblootstelling tijdens straalwerkzaamheden te verzamelen. Daarvoor is de meetstudie zoals beschreven in Hoofdstuk 4 uitgevoerd.

Op dezelfde proeflocatie is de relatie tussen de concentratie respirabel stof en de concentratie asbestvezels voor de situatie **'ongebruikt straalgrit'** in kaart gebracht door middel van metingen tijdens het vullen van een straalketel (of vergelijkbaar).

Bij het opstellen van de meetstrategie voor de uitvoering van de straal- en vullexperimenten zijn de volgende aspecten meegenomen:

- Mensen en omgeving niet onnodig blootstellen aan asbest, en dus emissie en/of verspreiding van asbest (zoveel mogelijk) voorkomen.
 - Experimenten uitvoeren onder asbestcondities;
 - Gebruik maken van een opstelling van straalapparatuur, waarbij geen personen aanwezig hoeven te zijn in de ruimte waar het daadwerkelijke stralen plaatsvindt;
 - Uitvoeren van de experimenten in een afgesloten ruimte (zeecontainers in combinatie met een containment), om te zorgen dat de verontreiniging met asbest die ontstaat tijdens de experimenten goed te beheersen en op te ruimen is, en verspreiding naar de omgeving wordt voorkomen;
 - Aanwezigheid van een krachtig afzuig/ventilatiesysteem noodzakelijk om tijdens de straalexperimenten de stofvorming enigszins onder controle te houden. Hierbij is in acht genomen dat bij een sterke ventilatie tijdens het stralen een groot deel van het respirabel stof (inclusief asbestvezels) direct zal worden afgezogen. Op basis van informatie uit Fase 1, waaruit blijkt dat de asbestvezels een aerodynamische diameter hebben die vergelijkbaar is met respirabel stof, wordt aangenomen dat asbestvezels in dezelfde mate worden afgezogen als het respirabele stof, en het afzuig/ventilatiesysteem daardoor geen invloed heeft op de relatie respirabel stof / asbestvezels.
- Er moet zekerheid zijn dat het aluminiumsilicaat straalgrit dat wordt gebruikt tijdens de experimenten daadwerkelijk verontreinigd is met asbest, zodat tijdens

de straal- en vulexperimenten de situatie zoals tijdens de periode dat is gewerkt met verontreinigd straalgrit kan worden nagebootst.

- De omstandigheden tijdens de experimenten moeten zoveel mogelijk overeenkomen met de praktijk, waarbij de voorkeur uitgaat naar verschillende omstandigheden om na te gaan welke invloed dit heeft op de relatie respirabel stof / asbestvezels. Hierbij is op voorhand de verwachting dat deze relatie hetzelfde blijft onder wisselende omstandigheden. Op basis van informatie uit de inventarisatie (zie Hoofdstuk 2) en gesprekken met het straalbedrijf dat betrokken was bij de uitvoering van de experimenten kwam voren dat met name variatie in de druk en het verbruik van invloed zijn op de stofemissie (en dus van invloed zouden kunnen zijn op de verhouding respirabel stof en asbestvezels). Daarnaast zijn bijvoorbeeld ook het oppervlak dat wordt gestraald en het bedrijfsmengsel (de combinatie van hoeveelheid lucht en hoeveelheid straalgrit in deze lucht die wordt gehanteerd tijdens het stralen) parameters die in acht moeten worden genomen.
- Voor het bepalen van de concentratie respirabel stof is gebruik gemaakt van cyclonen die specifiek de respirabele stoffractie op een filter afvangen. Deze filters zijn echter niet geschikt voor asbestvezeltellingen omdat door de cycloon de filters niet homogeen worden beladen. Daarom zijn voor het in kaart brengen van de relatie respirabel stof / asbestvezels parallel twee type metingen uitgevoerd:
 - Meten respirabel stof met behulp van respirabele cyclonen met teflonfilters (cut-off diameter 4 μm) om het grove stof af te scheiden (voorafscheiding) in verband met de hoge verwachte stofbelasting;
 - Meten asbestvezels met behulp van standaard wegwerpfilters met goudgecoate filters.
- Tijdens de experimenten worden monsters van het verontreinigde ongebruikte en gebruikte straalgrit verzameld om op basis van onder andere de zeeffractieverdeling een vergelijking met de in Fase 1 verzamelde bulkmonsters te kunnen maken. Zo kan worden nagegaan of de omstandigheden tijdens de straalexperimenten (met name de impact) ongeveer vergelijkbaar waren aan de omstandigheden in de praktijk toen het verontreinigde straalgrit in omloop was.
- Tijdens de voorbereiding van de experimenten is door gesprekken met verschillende straalbedrijven duidelijk geworden dat hoewel de specificaties van het verontreinigde aluminiumsilicaat straalgrit en het aluminiumsilicaat straalgrit dat op dit moment wordt gebruikt vergelijkbaar zijn, er in de praktijk toch sprake is van verschillen, bijvoorbeeld qua vorm van het straalgrit en de inslagkracht. Daarom is besloten om ook een aantal straalexperimenten uit te voeren waarbij in plaats van het verontreinigde aluminiumsilicaat straalgrit gebruik is gemaakt van aluminiumsilicaat straalgrit van twee verschillende leveranciers dat op dit moment wordt gebruikt.

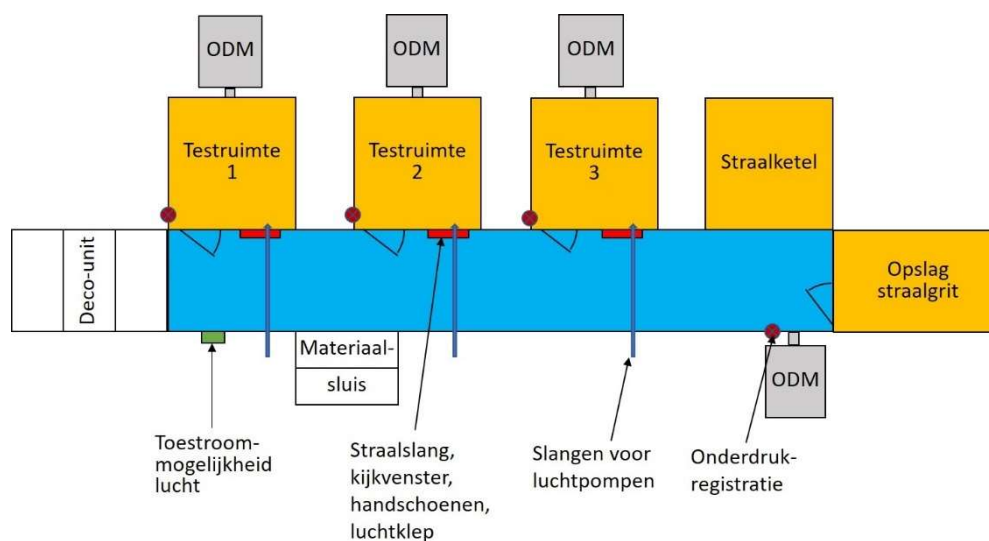
3.2.2 Voorbereiding, meetlocatie en meetopstelling

Hoewel het verontreinigde straalgrit op het moment van de organisatie van de experimenten veelal was opgeruimd en afgevoerd, is het na contact met verschillende partijen gelukt om te beschikken over een partij asbestverdacht aluminiumsilicaat straalgrit, welke na laboratorium onderzoek ook daadwerkelijk

asbest bleek te bevatten. Deze verontreinigde partij en het niet-verontreinigde aluminiumsilicaat straalgrit zijn naar de meetlocatie gebracht.

In samenwerking met Cuijpers Services BV, Meuva BV en Kiwa Compliance is de onderzoeksopzet, inclusief de meetstrategie, opgesteld en besproken, waarbij specifiek aandacht is besteed aan de gezondheid en veiligheid van alle betrokkenen. Na het opbouwen van het containment is voorafgaand aan de start van de experimenten een kick-off meeting gehouden met alle betrokkenen om het plan door te spreken en aan te passen dan wel aan te scherpen waar nodig.

De experimenten zijn uitgevoerd op het terrein van het straalbedrijf dat betrokken was bij de opzet en uitvoering van de straalexperimenten. In een loods heeft het straalbedrijf in samenwerking met het betrokken asbestsaneringsbedrijf een containment opgebouwd om de experimenten uit te kunnen voeren onder streng asbestregime. Zo is bijvoorbeeld rekening gehouden met mogelijke uitval van onderdrukmachines (ODMs) door meerdere ODMs in te zetten. Tevens is een vorm van tweederingsbeveiliging toegepast door de vier containers (2,3 m diep, 2,1 m breed en 2,0 m hoog; inhoud 9,7 m³) waarin de straal- dan wel vulexperimenten zijn uitgevoerd (testruimtes) te verbinden aan een voorportaal, welke eveneens is voorzien van een ODM (zie Figuur 4).

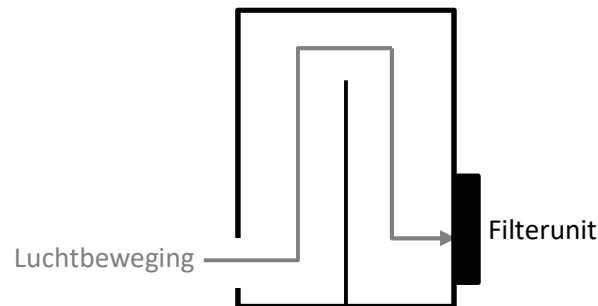


Figuur 4: Schematische weergave opstelling voor de uitvoering van de straal- en vulexperimenten.

Zowel de straalcontainers als het voorportaal zijn voorzien van raampartijen zodat toezicht gehouden kon worden op de metingen en zicht was op de werkzaamheden om zodoende te kunnen reageren op mogelijke calamiteiten.

De ODMs waren regelbaar en voorzien van een HEPA-filter. In verband met de verwachte hoeveelheid stof is voor het HEPA-filter tevens een filter voor het afvangen van grof en fijn stof geplaatst. Daarnaast is op basis van de pilot (zie paragraaf 3.2.3) besloten om in elke straalcontainer voor de filterunit een

constructie te plaatsen, om de aangezogen lucht een langere weg af te laten leggen, en tevens het grove stof al neer te laten slaan voordat deze bij de filterunit aankwam (zie Figuur 5 en Figuur 6).



Figuur 5: Schematische weergave van de constructie voor het laten neerslaan van (grof) stof tijdens de straalexperimenten.



Figuur 6: Opstelling in straalcontainer, met de filterunit (links) en de constructie voor laten neerslaan van (grof) stof voor de filterunit (rechts).

Om het imploderen van het containment (door te veel afzuigen en te weinig luchttoevoer) te voorkomen zijn voorwanden van de straalcontainers voorzien van een valklep/luik (zie Figuur 7 links). Door de onderdruk in de straalcontainer is sprake van een luchtflow die van de personen in het voorportaal af gaat. Bij uitval van de onderdruk in de straalcontainers wordt het stralen direct afgebroken. Door het automatisch dichtklappen van het luik (zwaartekracht) wordt eventuele emissie naar het voorportaal voorkomen. Daarnaast is de straalopstelling zo gemaakt dat het te stralen object en de straalapparatuur zich in de straalcontainer bevinden (zie Figuur 6) terwijl de straler deze vanuit het voorportaal bedient (zie Figuur 7 rechts).

Tijdens de straalexperimenten is de deur van de straalcontainer gesloten en bevindt de straler zich dus buiten de straalcontainer, zodat deze zo min mogelijk direct met het verontreinigde straalgrit in aanraking komt. Daarnaast zijn de straalcontainers voorzien van kleine openingen die groot genoeg waren om de pomp­slangen naar binnen te kunnen brengen, terwijl de pompen zelf tijdens de straalexperimenten buiten de vuile ruimte konden blijven, en die zijn afgeplakt om verontreiniging van het voorportaal te voorkomen.



Figuur 7: Luik in de straalcontainer (links) en positie straler tijdens straalexperimenten (rechts).

Tussen de metingen zijn de ruimtes schoongemaakt door de asbestsaneerder om kruisbesmetting te voorkomen. Tevens werden de filters voor grof en fijn stof vervangen zodra de onderdruk in de container daalde (wat tevens resulteerde in het dichtvallen van het luik). Hierbij is gebruik gemaakt van een stofzuiger met HEPA filter.

Voorafgaand aan de experimenten en dus het daadwerkelijk in gebruik nemen van het containment is een rooktest uitgevoerd op het op de juiste wijze functioneren van de afzuiging en de aanwezigheid van een juiste luchtstroming na te gaan. Hierbij is tevens het functioneren van de ODMs van de straalcontainers en het functioneren van de tweederingsbeveiliging gecontroleerd.

3.2.3 Pilot-fase

Voorafgaand aan de daadwerkelijke experimenten zijn in de pilot-fase een aantal testen uitgevoerd, onder andere om na te gaan of het containment goed functioneerde en of de meetopstelling nog moest worden aangepast om tot een beter meetresultaat te komen. Het doel van deze testen was:

- Het bepalen van de optimale combinatie van debiet en meetduur om te komen tot een optimale belading van de filters voor zowel respirabel stof als asbestvezels;
- Het bepalen van de plaatsing van de monsternameapparatuur in de straalcontainers, onder andere met het oog op afstand tot de straalapparatuur, richting van de monsternamekop. Deze richting is belangrijk gezien de turbulentie en luchtwervelingen die in de straalcabine ontstaan en mogelijke impact van korrels straalgrit die vanaf het te stralen oppervlak weggetsen en op het filteroppervlak terecht komen met beschadiging als gevolg;
- Nagaan of het afzuig/ventilatiesysteem in de containers afdoende functioneert om de stofontwikkeling tijdens de straalexperimenten onder controle te houden en zo nodig bijstellen;
- Het bepalen van de benodigde schoonmaakprocedure tussen experimenten (bestaande uit het verwijderen van het aanwezig gebruikte straalgrit en vervangen van filtermateriaal) en de minimale tijd tussen experimenten in combinatie met benodigde afzuiging/ventilatie. Dit om te zorgen dat de lucht in

de ruimte weer 'schoon' is voorafgaand aan een volgend experiment en de emissie tijdens het eerdere experiment de resultaten van dit experiment niet beïnvloedt;

- Het bepalen van de precieze combinaties van omstandigheden die al dan niet worden meegenomen tijdens de experimenten. Opties die zijn overwogen zijn:
 - o Stralen:
 - Druk (hoog / midden / laag)
 - Verbruik (hoog / midden / laag)
 - Te stralen oppervlak (vlak / rond)
 - Bedrijfsmengsel (standaard / fijn / grof)⁴
 - o Vullen:
 - Hoeveelheid per tijdseenheid
 - Valhoogte
 - Vulopening

Op basis van de pilottesten, en het aantal experimenten dat kon worden uitgevoerd is ervoor gekozen om tijdens de straalexperimenten te variëren in druk en verbruik, en de overige parameters constant te houden. Dit wil zeggen dat tijdens alle straalexperimenten op een vlak oppervlak is gestraald, en gebruik is gemaakt van het standaard bedrijfsmengsel.

Omdat het te gebruiken straalgrit werd aangeleverd in zakken in plaats van in bulk in een vulsilo of bigbag is er voor gekozen om met betrekking tot de vulexperimenten slechts één scenario te bemeten, dat vergelijkbaar is met een veelvoorkomende situatie in de praktijk, namelijk het vullen van de straalketel door middel van het legen van 25 kg zakken. Eénmaal is in plaats van een straalketel een ton gevuld, welke een grotere opening had en door het ontbreken van een zeef het vullen een stuk sneller ging. De vulexperimenten zijn uitgevoerd in een container die direct in verbinding stond met het voorportaal, waarbij geen aanvullende ventilatie is toegepast.

De eerste twee testen tijdens stralen zijn uitgevoerd met niet-verontreinigd aluminiumsilicaat straalgrit, omdat hierdoor in geval van problemen met de integriteit van het containment er niet direct sprake is van een veiligheidsrisico voor omstanders en de omgeving.

In verband met de analyse van asbestvezels mag de stofbelasting van de filters niet te hoog zijn (voorkomen overbelading), maar tegelijkertijd zorgt een lage belading van de filters weer voor een extra benodigde analyse-inspanning (aantal te tellen beeldvelden). Tijdens de pilotfase is daarom, door variatie aan te brengen in het debiet en de meetduur, bepaald wat de meest optimale combinatie van debiet en

⁴ In geval van een standaard bedrijfsmengsel is er sprake van een gelijkmatige stroom van lucht/straalgrit (het mengsel), waarbij de uittrede snelheid van het straalgrit het hoogste is en de gritkorrel optimaal gebruikt wordt. Wanneer er in verhouding teveel straalgrit in het mengsel zit, is er sprake van een onregelmatige gritstroom waardoor de uittredesnelheid lager wordt en de gritkorrel niet geheel stuk slaat op het oppervlak.

meetduur is voor met name de straalexperimenten. Voor respirabel stofmetingen is de filterbelading minder gevoelig, en staat door het gebruik van de cyclonen het debiet vast, omdat deze voor een optimale werking moeten worden gebruikt bij een vast debiet (namelijk 2,2 L/min).

Met behulp van een mobiele SEM van Kiwa Inspection & Testing is op locatie ook de belading van enkele goudgecoate filters beoordeeld. Op basis van deze screening en de getroffen voorzorgsmaatregelen is besloten om de asbestmetingen tijdens de straalexperimenten uit te voeren bij een debiet van 2 L/min en een meetduur van 5 minuten, en tijdens de vulexperimenten bij een debiet van 4 L/min (meetduur afhankelijk van aantal zakken dat werd geleegd).

Op basis van de screening van de goudfilters met de mobiele SEM kwam ook aan het licht dat tijdens de straaltesten de goudfilters beschadigd raakten. Er waren putjes dan wel scheuren te zien op het filteroppervlak, wat deed vermoeden dat er sprake was van inslag van wegketsende straalgritkorrels tijdens het stralen. Op basis hiervan is besloten om een houten paneel aan het plafond van de containers te bevestigen, zodanig dat deze zich tussen het te stralen object en de monsternamekopen bevindt, om impact van de straalgritkorrels op de filters te voorkomen (zie Figuur 8 hieronder). Door de hoge luchtcirculatie tijdens het stralen kan worden aangenomen dat het vrijkomende stof zich snel homogeen verdeelt in de ruimte. Hierdoor heeft de plaatsing van de monsternamekopen geen (negatief) effect op de resultaten van de experimenten, dat wil zeggen op de relatie tussen respirabel stof en respirabel asbest. Afgezien daarvan is het niet de doelstelling om een representatieve concentratie in de ruimte te bepalen, maar de relatie tussen respirabel stof en asbestvezels vast te stellen. Hiervoor is het nodig dat de cycloon voor respirabel stof en de monsternamekop voor asbestvezels dicht bij elkaar geplaatst worden.

Tijdens de straalexperimenten van de pilot-fase bleek ook dat de filters voor het afvangen van grof en fijn stof, die voor het HEPA-filter van de ODMs waren geplaatst, snel volliepen, waardoor de onderdruk en de capaciteit van het ventilatiesysteem tijdens de experimenten terugliep. Daarom is besloten om in elke straalcontainer voor de filterunit een constructie te plaatsen om het grove stof neer te laten slaan voordat deze bij de filterunit aankomt (zie Figuur 5 en Figuur 6). Deze constructie bleek effectief en zorgde ervoor dat er minimaal 5 minuten kon worden gestraald zonder dat de filters te vol kwamen te zitten en dus niet tussendoor verwisseld hoefden te worden. Deze constructie heeft geen negatief effect gehad op de resultaten van de experimenten, dat wil zeggen op de relatie tussen respirabel stof en respirabel asbest.

3.2.4 Meetmethode

Tijdens de experimenten waarbij met verontreinigd straalgrit is gewerkt zijn per experiment 4 stationaire metingen verzameld, namelijk een duplo-meting voor het bepalen van de respirabel stofconcentratie en een duplo-meting voor het bepalen

van de asbestconcentratie. De metingen zijn in duplo uitgevoerd om inzicht te krijgen in de variantie als gevolg van de monsterneming en de analyse.

De asbestmetingen zijn uitgevoerd met behulp van 25 mm goudgecoate polycarbonaat membraanfilters (type Nuclepore™) met een nominale poriegrootte van 0,8 μm . Deze filters bevonden zich in wegwerppiltercassettes (type CSG25080PC, lotnummer 2018-0001967-9, fabrikant TJ Environmental; effectieve diameter filter 22 mm).

De respirabel stofmetingen zijn uitgevoerd met behulp van 25 mm Teflon filters met een poriegrootte van 5 μm (Millipore PTFE Mitex membraanfilters (type LSWP)). Deze Teflon filters zijn bevestigd in kunststof cycloon samplers voor respirabel stof (SKC, type 225-69; Casella, Higgins-Dewell cycloon 116000B).

Voor de metingen is gebruik gemaakt van draagbare accupompjes (Casella APEX 2), welke waren ingesteld op een debiet van 2,2 L/min in geval van de respirabel stofmetingen en 2 L/min in geval van de asbestmetingen. Zowel voor als na de monsterneming is het ingestelde debiet gecontroleerd met een debietmeter (Bios Defender 510). De draagbare Personal Air Sampling (PAS) pompen zijn uitgelezen via de bijbehorende software (Gilian Connect) om de stabiliteit van de flow gedurende de metingen te controleren. Tussen de pomp en de monsternamekop werd een filter aangebracht om te voorkomen dat in geval van overbelading van het filter er stof in de pomp terecht zou komen (zie Figuur 8). Tijdens de straalexperimenten bevonden de pompen zich buiten het containment (zie Figuur 9) en waren door middel van lange slangen verbonden aan de monsternamekoppen die in de straalcontainers waren geplaatst (zie Figuur 8). Het debiet werd voorafgaand aan en na de experimenten gemeten door het plaatsen van de debietmeter op de monsternamekoppen in het containment. Tijdens de vullexperimenten bevonden zowel de monsternamekoppen en de pompen zich in het containment (zie Figuur 9 rechts), en werd het debiet voorafgaand aan en na de experimenten gecheckt buiten het containment (na een schoonmaakprocedure).



Figuur 8: Opstelling monsternamekoppen voor het meten van asbest en respirabel stof tijdens straalexperimenten.



Figuur 9: Opstelling pompen buiten containment tijdens straalexperimenten (links), en meetopstelling in containment tijdens vulexperimenten (rechts).

Daarnaast is tijdens de uitvoering van de experimenten een stationaire asbestmeting uitgevoerd in het voorportaal van het containment, ter controle of alle veiligheidsmaatregelen het gewenste effect hadden. Hiervoor is eenzelfde goudgecoat filter gebruikt als hierboven is beschreven in combinatie met een accupomp (type JD8T, merk airbox sampling products LTD) (debiet ± 8 L/min, meetduur ± 60 minuten). Op dit filter zijn tijdens de analyse geen asbestvezels aangetroffen, op basis waarvan kan worden aangenomen dat de toegepaste veiligheidsmaatregelen het gewenste effect hadden.

3.2.5 Verzamelen monsters straalgrit

De monsterneming is conform met NEN 5897. Van zowel het verontreinigde straalgrit als het schone straalgrit zijn door KIWA Compliance representatieve (meng)monsters van rond de 10 kg verzameld (zie Tabel 4).

Tabel 4: Overzicht van verzamelde monsters van aluminiumsilicaat straalgrit

Nr	Soort straalgrit			Details experiment **	Opmerkingen
01	Excellent (0,2-2,0 mm)	Verontreinigd	Ongebruikt *		Analyse op asbest
02	Excellent (0,2-2,0 mm)	Verontreinigd	Gebruikt	Hoge druk / hoog verbruik	Analyse op asbest
03	Excellent (0,2-2,0 mm)	Verontreinigd	Gebruikt	Hoge druk / laag verbruik	
04	Excellent (0,2-2,0 mm)	Verontreinigd	Gebruikt	Lage druk / laag verbruik	
05	Asilicos (0,2-0,5 mm)	Niet-verontreinigd	Ongebruikt *		
06	Asilicos (0,2-0,5 mm)	Niet-verontreinigd	Gebruikt	Lage druk / laag verbruik	

Nr	Soort straalgrit			Details experiment **	Opmerkingen
07	Asilicos (0,2-0,5 mm)	Niet-verontreinigd	Gebruikt	Hoge druk / hoog verbruik	
08	Excellent (0,2-0,8 mm)	Niet-verontreinigd	Ongebruikt *		
09	Excellent (0,2-0,8 mm)	Niet-verontreinigd	Gebruikt	Hoge druk / hoog verbruik	
10	Excellent (0,2-0,8 mm)	Niet-verontreinigd	Gebruikt	Lage druk / laag verbruik	

* Aangeleverd in 25 kg zakken.

** Hoge druk = 8 bar, lage druk = 4 bar; hoog verbruik = 12 mm straalnozzle, laag verbruik = 8 mm straalnozzle.

3.2.6 Overzicht uitgevoerde experimenten

In Tabel 5 wordt een overzicht gegeven van de testen die zijn uitgevoerd tijdens zowel de pilot-fase (test 1 t/m 6) als tijdens de uitvoering van de daadwerkelijke experimenten (run 0 t/m 13), waarbij onder andere de variatie in omstandigheden tijdens de experimenten is weergegeven.

Tabel 5: Overzicht van uitgevoerde straal- en vulexperimenten

Datum	Run *	Soort straalgrit	Druk **	Verbruik ***	Ventilatie ****	Meetduur (min)	Debiet (L/min)
STRALEN							
07-05-18	test 1	Schoon grit Excellent (0,2-0,8 mm)	Hoog	Hoog		5	1
07-05-18	test 2	Schoon grit Excellent (0,2-0,8 mm)	Hoog	Hoog		5	1
07-05-18	test 3	Verontreinigd grit Excellent (0,2-2,0 mm)	Hoog	Midden		5	1
07-05-18	test 4	Verontreinigd grit Excellent (0,2-2,0 mm)	Hoog	Midden		10	1
07-05-18	test 5	Verontreinigd grit Excellent (0,2-2,0 mm)	Hoog	Hoog		5	1
07-05-18	test 6	Verontreinigd grit Excellent (0,2-2,0 mm)	hoog	Hoog		10	1
08-05-18	1	Verontreinigd grit Excellent (0,2-2,0 mm)	Hoog	Hoog	90%, 99 Pa	5	2
08-05-18	2	Verontreinigd grit Excellent (0,2-2,0 mm)	Hoog	Laag	90%, 105 Pa	5	2
08-05-18	3	Verontreinigd grit Excellent (0,2-2,0 mm)	Hoog ¹	Hoog	90%, 115 Pa	5	2
08-05-18	4	Verontreinigd grit Excellent (0,2-2,0 mm)	Hoog ²	Laag	90%, 147 Pa	5	2
08-05-18	5	Verontreinigd grit Excellent (0,2-2,0 mm)	Laag	Laag	95%, 80 Pa	5	2
08-05-18	6	Verontreinigd grit Excellent (0,2-2,0 mm)	Laag ³	Laag	90%, 140 Pa	5	2

Datum	Run *	Soort straalgrit	Druk **	Verbruik ***	Ventilatie ****	Meetduur (min)	Debiet (L/min)
08-05-18	9	Schoon grit Asilicos (0,2-0,5 mm)	Laag	Laag	90%, 138 Pa	5	
08-05-18	10	Schoon grit Asilicos (0,2-0,5 mm)	Hoog ⁴	Hoog	90%, 90 Pa	5	
08-05-18	12	Schoon grit Excellent (0,2-0,8 mm)	Hoog	Hoog		5	
08-05-18	13	Schoon grit Excellent (0,2-0,8 mm)	Laag ³	Laag		5	

Datum	Run *	Soort straalgrit	Meetduur (min)	Debiet (L/min)	Opmerkingen *****
VULLEN					
07-05-18	0	Verontreinigd grit Excellent (0,2-2,0 mm)	3	8	zakken in straalketel
08-05-18	7	Verontreinigd grit Excellent (0,2-2,0 mm)	9	4	zakken in straalketel
08-05-18	8	Verontreinigd grit Excellent (0,2-2,0 mm)	5	4	7 zakken in ton
08-05-18	11	Schoon grit Excellent (0,2-0,8 mm)	5	4	zakken in straalketel

* Tijdens de testen van de pilot-fase zijn in plaats van duplometingen enkelvoudige metingen van respirabel stof en asbestvezels uitgevoerd.

** Druk: Hoog = 8 bar, Laag = 4 bar.

*** Verbruik: Hoog = 12 mm straalnozzle, Midden = 9,5 mm straalnozzle, Laag = 8 mm straalnozzle.

**** Ventilatie/onderdruk aan begin van experiment, zoals weergegeven op betreffende ODM, uitgedrukt als % van capaciteit en onderdruk in Pa; niet geregistreerd tijdens test-runs.

***** Debiet in geval van meten respirabel stof altijd 2,2 L/min.

¹ Druk gemeten bij straalnozzle 6 bar; ² Druk gemeten bij straalnozzle 7,5 bar; ³ Druk gemeten bij straalnozzle 4,5 bar; ⁴ Druk gemeten bij straalnozzle 6,5 bar.

3.3 Analysemethoden

3.3.1 Bepaling hoeveelheid respirabel stof in luchtmonsters

De stofconcentratie op elk Teflon-filter is gravimetrisch bepaald door de filters zowel voor als na monsternamen te wegen op een microbalans in een geconditioneerde weegkamer.

Bij de Teflon filters die bij de semi-praktijkmetingen zijn bemonsterd bleek bij het verwijderen van het Teflon-filter uit de filterhouder van de cycloon (insert) dat er bij 13 monsters ook stof op de filterhouder achterbleef (een teken dat het filter zwaar beladen was). In deze gevallen is de hoeveelheid stof op de filterhouder bepaald door deze eerst met stof te wegen, daarna de filterhouder schoon te maken en

nogmaals te wegen op een analytische balans. Deze (indicatieve) hoeveelheid stof op de filterhouder is opgeteld bij de hoeveelheid stof op het filter.⁵

3.3.2 Bepaling hoeveelheid asbestvezels in luchtmonsters

De Nuclepore filters die zijn bemonsterd tijdens de simulatie-experimenten in het laboratorium zijn direct geanalyseerd met SEM/RMA volgens NEN-ISO 14966. Om te zorgen voor een hogere betrouwbaarheid (95% betrouwbaarheidsinterval volgens de Poissonverdeling) zijn per filter minimaal 5 asbestvezels geteld. Per type straalgrit (meetlocaties 1-3) zijn 3 Nuclepore filters volledig geanalyseerd op asbestvezels.

Ondanks de minimaal aangezogen volumina tijdens de straal- en vul-experimenten (7-24 L) bleken de meeste bemonsterde Nuclepore filters overbeladen met stof en konden niet direct worden geanalyseerd conform NEN-ISO-14966. Het stof op de filters en de filters zelf zijn daarom kwantitatief overgebracht in 100 mL stofvrij water. Aan deze suspensies is circa 1,5 mL azijnzuur toegevoegd als dispergeer middel, waarna de suspensies 5 minuten (bij lage energie) ultrasoon zijn getrild. Hierna is een deel van de suspensie (1-10 mL) gefiltreerd over een nieuw goudgecoat Nuclepore filter (poriediameter 0,4 µm). De filters zijn daarna in een plasma verasser (5 min, 40 W) behandeld voor de verwijdering van eventueel organisch materiaal. De gevolgde monstervoorbewerking is in analogie aan de NEN-ISO 13794. De resulterende filters zijn geanalyseerd conform NEN-ISO-14966. Ter controle zijn tevens de originele bemonsterde filters met de elektronenmicroscop beoordeeld op de aanwezigheid van stof en vezels. Op géén van deze filters is asbest aangetroffen, wat betekent dat alle asbestvezels volledig zijn overgebracht in de suspensie.

Tijdens de vul-experimenten is een beperkt aantal metingen uitgevoerd. Enkele van de tijdens het vullen bemonsterde Nuclepore filters zijn gescreend met de mobiele SEM op locatie. Deze filters waren niet meer bruikbaar voor de analyse conform NEN-ISO 14966. Om toch voldoende metingen te hebben is daarom besloten om een tweetal bemonsterde Teflonfilters te gebruiken voor de asbestvezeltelling. Hiervoor is dezelfde monstervoorbewerking uitgevoerd als hierboven beschreven in analogie aan de NEN-ISO 13794.

Per straalactiviteit (hoge druk/hog verbruik, hoge druk/laag verbruik, lage druk/laag verbruik) en bij vullen zijn minimaal 2 experimenten uitgevoerd met duplometingen voor respirabel stof en asbestvezels. Van deze experimenten is iedere keer één van de duplo's geanalyseerd op asbestvezels. Daarnaast zijn van drie experimenten (2x bij stralen en 1x bij vullen) beide Nuclepore filters (duplo) geanalyseerd om inzicht te krijgen in de variantie als gevolg van de monsterneming en analyse.

⁵ Bij vijf filters was daarnaast sprake van een kleine hoeveelheid los stof op het filter, dat tijdens het wegen los in de petrischaal terecht is gekomen. De hoeveelheid los stof van deze monsters is indicatief bepaald met behulp van een analytische balans, waaruit bleek dat de relatieve bijdrage van dit stof ten opzichte van het monster als geheel zeer klein was. Daarom is besloten om de hoeveelheid los stof niet verder te kwantificeren, en is dus buiten beschouwing gelaten bij het bepalen van het stofgewicht van deze monster.

In Bijlage 1 zijn de gedetailleerde resultaten van de uitgevoerde asbestvezeltellingen voor de binnen dit onderzoek geanalyseerde monsters weergegeven.

3.3.3 Analyse monsters straalgrit

3.3.3.1 Bepaling korrelgrootteverdeling straalgrit

De zeeffracties van de verzamelde straalgritmonsters (zie Tabel 7) zijn door Kiwa Compliance bepaald volgens NEN 5898. Naast de standaard zeven (maaswijdte 20 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm en 0,5 mm) zijn ook een aantal extra zeeffracties bepaald (maaswijdte 0,4 mm, 0,25 mm, 0,12 mm, 0,04 mm) om inzicht te krijgen in de fijne korrelgrootte fractie. Voor de standaard zeeffracties is het totale verzamelde monster gebruikt, terwijl voor de kleinere zeeffracties een deelmonster van 500 gram is gebruikt.

3.3.3.2 Bepaling asbest in verontreinigd straalgrit

De analyse van het bulkmateriaal is uitgevoerd door TNO conform NEN 5898, waarbij is uitgegaan van de matrix grond, omdat de korrelgrootteverdeling van het straalgrit meer overeenkomt met grond dan met granulaat. Na het zeven van het materiaal zijn de volgende zeeffracties geanalyseerd:

- Fracties >2 mm: 100%
- Fractie 1-2 mm: 20% met een maximum van 0,5 kg
- Fractie 0,5-1 mm: 5% met een maximum van 0,2 kg
- Fracties <0,5 mm: 10-50 gram

De fractie <0,5 mm is kwantitatief onderzocht op asbeststructuren >100 µm, door van alle aangetroffen stukjes asbest (voornamelijk vezelbundels) de lengte en diameter op te meten en op basis van deze dimensies de massa te berekenen. Deze analyse betreft een aanvulling op de methodiek zoals beschreven in de NEN 5898, en is uitgevoerd omdat bleek dat een belangrijk deel van het totale asbestgehalte onderdeel uitmaakte van de fractie <0,5 mm. Van deze zeeffractie is ook de respirabele fractie asbest <100 µm geanalyseerd met behulp van scanning electronenmicroscopie in combinatie met röntgenmicroanalyse (SEM/RMA) conform NEN 5898.

3.4 Resultaten experimenten

3.4.1 Resultaten simulatie-experimenten met gebruikt straalgrit op laboratoriumschaal

De resultaten van de simulatie-experimenten zijn samengevat in Tabel 6, inclusief de belangrijkste karakteristieken van de gebruikte typen straalgrit. Uit de resultaten blijkt dat de amplitude van de trilmachine (= mate van activiteit) geen duidelijke invloed heeft op de relatie tussen asbestvezels en respirabel stof. Voor alle type straalgrit geldt dat er geen significante verschillen zijn gerelateerd aan de amplitude van de trilmachine. Per type straalgrit vallen de individuele nominale concentraties (vezels/mg) namelijk binnen de betrouwbaarheidsintervallen van de overige 2

metingen. Dit betekent ook dat per type straalgrit de individuele resultaten 'gepooled' kunnen worden (bijlage E NEN-ISO 14966) om de betrouwbaarheid van de relatie tussen asbestvezels en respirabel stof te verhogen. Per type straalgrit is de gewogen gemiddelde concentratie (vezels/mg) berekend, door van de 3 experimenten alle getelde vezels op te tellen en te delen door de som van de doorgezogen volumina lucht.

Op basis van de resultaten in Tabel 6 blijkt dat de vezelconcentratie in vezels/mg respirabel stof tussen het gebruikte straalgrit afkomstig van meetlocatie 1 en 2 (Fase 1) niet significant verschillend zijn op basis van het 95% betrouwbaarheidsinterval conform de Poisson-statistiek. Echter, met het gebruikte straalgrit afkomstig van meetlocatie 3 wordt wel een significant verhoogde vezelconcentratie gemeten dan met het gebruikte straalgrit van locatie 1 en 2.

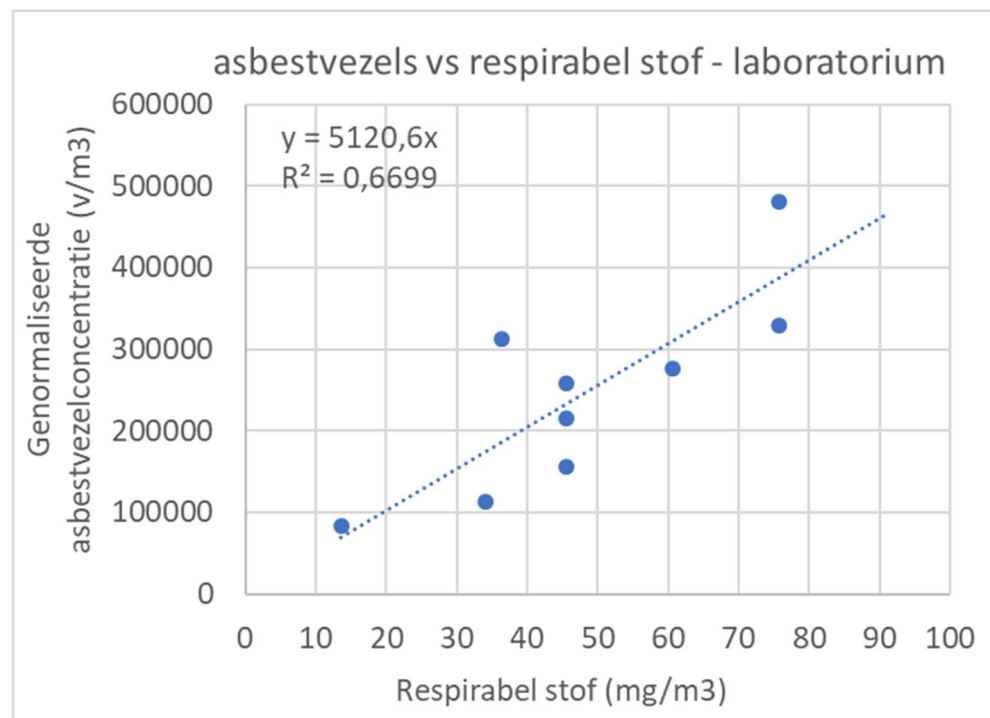
Tabel 6: Resultaten simulatie-experimenten met de typen gebruikt straalgrit afkomstig van de drie meetlocaties in Fase 1 van het onderzoek

Code	Beschrijving	Asbestgehalte ¹		Trillen (amplitude)	Stof (mg/m ³)		Asbestvezelconcentratie ²	
		mg/kg	vezels/kg		totaal	respirabel	vezels/m ³	vezels/mg respirabel stof
13	Gebruikt straalgrit locatie 1, 20/23-10-2017	6,0 (3,2-11)	400 (200-670) x 10 ⁶	Gemiddeld	121	45	430.000 (210.000-790.000)	9.500 (4.600-17.400)
				Laag	68	34	190.000 (62.000-450.000)	5.600 (1.800-13.200)
				Hoog	61	45	460.000 (150.000-1100.000)	7.600 (2.500-18.200)
				Gewogen gemiddelde straalgrit locatie 1:				
29	Gebruikt straalgrit locatie 2, 23-10-2017	3,6 (1,8-6,7)	73 (20-200) x 10 ⁶	Gemiddeld	18	14	69.000 (35000-120000)	5.100 (2.600-8.800)
				Laag	64	36	260.000 (83.000-600.000)	4.000 (1.300-9.200)
				Hoog	55	45	180000 (58.000-420.000)	7.200 (2.300-16.500)
				Gewogen gemiddelde straalgrit locatie 2:				
74	Gebruikt straalgrit locatie 3, 24-10-2017	7,0 (5,3-9,0)	950 (540-1500) x 10 ⁶	Gemiddeld	182	76	1.900.000 (920.000-3.500.000)	25.100 (12.100-46.200)
				Laag	182	76	1.300.000 (440.000-3.100.000)	17.200 (5.800-40.900)
				Hoog	91	45	620.000 (300.000-1.100.000)	13.600 (6.600-24.200)
				Gewogen gemiddelde straalgrit locatie 3:				

¹ Asbestgehalten zijn weergegeven als gemiddelde waarde (ondergrens-bovengrens 95%-betrouwbaarheidsinterval).

² Asbestvezelconcentraties zijn weergegeven als nominale waarde (ondergrens-bovengrens 95% betrouwbaarheidsinterval van de Poisson-verdeling).

De verhouding tussen respirabel stof en asbestvezels is afhankelijk van de verontreinigingsgraad van het straalgrit, waarbij naast het totale asbestgehalte in het straalgrit (mg/kg ds) vooral de respirabele vezelconcentratie (vezels/kg ds) een rol speelt. Om te komen tot een gemiddelde (genormaliseerde) relatie tussen respirabel stof en asbestvezels, die representatief is voor het gebruikte verontreinigde straalgrit in heel Nederland, wordt op basis van het gemiddeld asbestgehalte en de gemiddelde respirabele vezelconcentratie van de monsters straalgrit die TNO heeft geanalyseerd een correctie toegepast. TNO heeft zeven monsters gebruikt straalgrit geanalyseerd met een gemiddeld totaalgehalte van $4,0 \pm 2,3$ mg/kg ds en een respirabele vezelconcentratie van $2,4 \pm 3,2 \times 10^8$ vezels/kg ds). Het asbestgehalte van de in Fase 1 door TNO geanalyseerde monsters ongebruikt straalgrit (n=5) is vergelijkbaar met het gemiddelde asbestgehalte van de 160 monsters straalgrit afkomstig van de diverse partijen op de locatie van Eurogrit ($p >> 0,05$), namelijk circa 6 mg/kg ds (zie Tabel 9). Daarom wordt aangenomen dat de door TNO berekende gemiddelde waarde voor gebruikt straalgrit tevens een representatief beeld geeft van de gemiddelde verontreinigingsgraad van gebruikt straalgrit in Nederland.



Figuur 10: Correlatiediagram van de asbestvezelconcentratie (vezels/m³) en de concentratie respirabel stof (mg/m³) op basis van de simulatie-experimenten in het laboratorium, genormaliseerd naar een gemiddelde verontreinigingsgraad (4,0 mg/kg ds) van het onderzochte (gebruikte) straalgrit in Nederland.

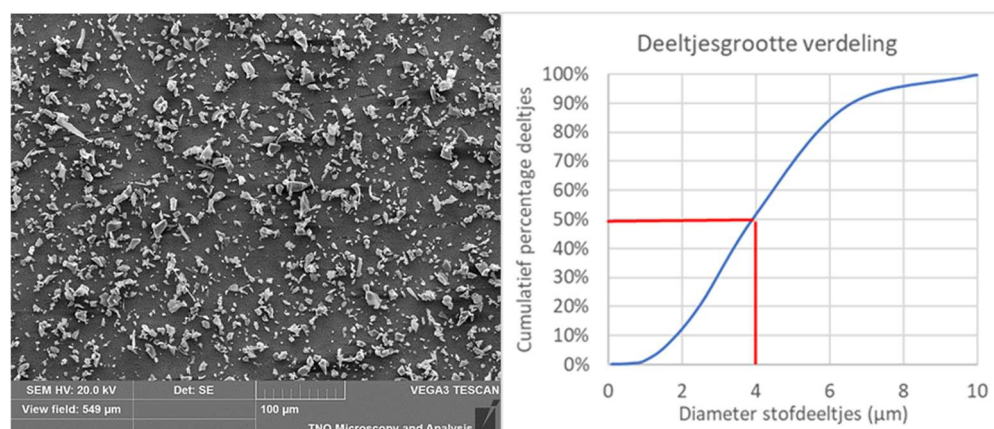
Wanneer het asbestgehalte van de drie typen straalgrit die zijn gebruikt tijdens de simulatie-experimenten wordt genormaliseerd naar de gemiddelde verontreinigingsgraad van het gebruikte straalgrit in Nederland, zijn de

(gecorrigeerde) vezelconcentraties van de experimenten met de drie typen straalgrit vergelijkbaar, zonder significante verschillen.

In Figuur 10 is een correlatiediagram weergegeven van de asbestvezelconcentraties uitgezet tegen de respirabel stofconcentraties. De asbestvezelconcentraties zijn genormaliseerd naar een gemiddelde verontreinigingsgraad van het onderzochte gebruikte straalgrit in Nederland.

3.4.2 Beperkte validatie van de relatie tussen respirabel stof en asbestvezels met behulp van meetresultaten uit de praktijk (Fase 1)

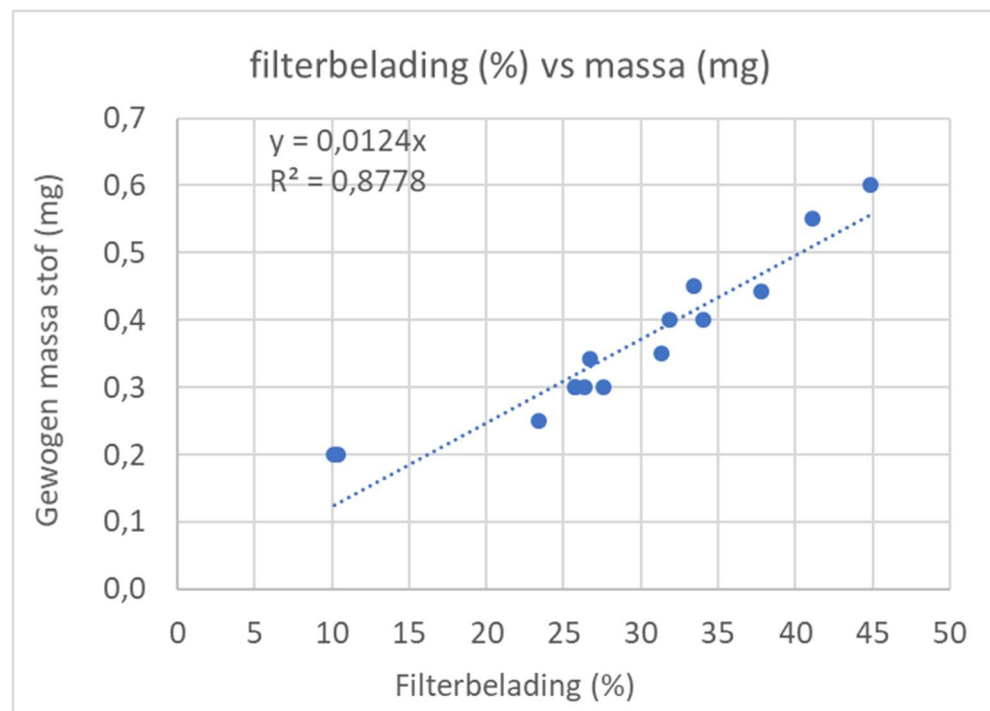
De omstandigheden tijdens de experimenten hebben geresulteerd in relatief hoge stof- en asbestconcentraties. Omdat in het geval van blootstellingsscenario's waarbij werknemers in aanraking komen met gebruikt straalgrit (zoals opruimwerkzaamheden of werkzaamheden in verontreinigd gebied) er in de praktijk waarschijnlijk ook lagere concentraties zullen optreden is het belangrijk om te beoordelen of de relatie tussen respirabel stof en asbest zoals afgeleid voor gebruikt straalgrit ook zal gelden in de lagere range van concentraties. Om te kunnen beoordelen of de verhouding tussen respirabel stof en asbestvezels ook in de lage range kan worden gebruikt, worden de resultaten getoetst aan de asbestvezel concentraties die in Fase 1 van het onderzoek zijn gemeten tijdens de opruimwerkzaamheden. Tijdens deze metingen zijn echter geen concentraties respirabel stof gemeten. De respirabele stofconcentratie kan echter wel worden geschat op basis van de bezettingsgraad van respirabele stofdeeltjes op de Nuclepore filters (uitgedrukt in percentage filterbelading). Hiervoor wordt eerst op basis van de simulatie-experimenten op het laboratorium de relatie bepaald tussen de gewogen hoeveelheid respirabel stof en de filterbelading met respirabel stof.



Figuur 11: SEM foto van de deeltjesbezetting op een bemonsterd Nuclepore filter tijdens de simulatie-experimenten (links) en de afgeleide respirabele stoffractie op basis van de deeltjesgrootte verdeling (rechts). De rode lijn geeft het percentage respirabel stof (50%).

De filterbelading is bepaald door met behulp van SEM foto's van het filteroppervlak te maken, in combinatie met automatische beeldanalyse (Scandium SIS software pakket). Op drie willekeurige plekken op het filter zijn foto's gemaakt van de stofbelading bij een standaardvergroting van 1000x. Met automatische beeldanalyse is het percentage bezet filteroppervlak bepaald en zijn de diameters van de deeltjes gemeten. Aan de hand van de gemeten diameters is een deeltjesgrootteverdeling gemaakt, op basis waarvan het percentage respirabel stof (<4 µm) is afgeleid (zie Figuur 11). De belading van het filter met respirabel stof wordt dan berekend door de totale deeltjesbelading te vermenigvuldigen met het percentage respirabel stof.

Van alle bemonsterde Nuclepore filters tijdens de simulatie-experimenten (n=15) is op de bovengenoemde wijze de filterbelading met respirabel stof bepaald. De resulterende correlatie tussen de gewogen massa respirabel stof en de stofbelading met respirabel stof is weergegeven in Figuur 12.



Figuur 12: Correlatiediagram van de gewogen massa's respirabel stof en de stofbelading met respirabel stof (in percentage filterbelading) op basis van de laboratorium simulatie-experimenten.

Ook van de Nuclepore filters zoals verzameld op de drie meetlocaties uit het Fase 1 onderzoek is op dezelfde wijze de stofbelading met respirabel stof bepaald. Deze stofbelading is daarna doorvertaald naar de massa respirabel stof op basis van de hierboven experimenteel bepaalde correlatiefactor (zie Figuur 12), waarna het aantal asbestvezels per mg respirabel stof is berekend voor de metingen in Fase 1 (zie Tabel 7). Per meetlocatie is de gewogen gemiddelde vezelconcentratie per mg

respirabel stof bepaald (vezels/mg) en zijn ze vergeleken met de gewogen concentraties op basis van de simulatie-experimenten. Hieruit blijkt dat de resultaten, in asbestvezels per mg respirabel stof, vergelijkbaar zijn (zie Tabel 7). De gewogen concentraties per meetlocatie vallen, op een enkele uitzondering na, binnen elkaars betrouwbaarheidsintervallen. Ook de rekenkundig gemiddelde waarden van alle metingen zijn vergelijkbaar (simulatie-experimenten: 5200 ± 1600 vezels/mg en locatiemetingen Fase 1 onderzoek: 4300 ± 1800 vezels/mg) en zijn statistisch niet afwijkend van elkaar ($p >> 0,05$).

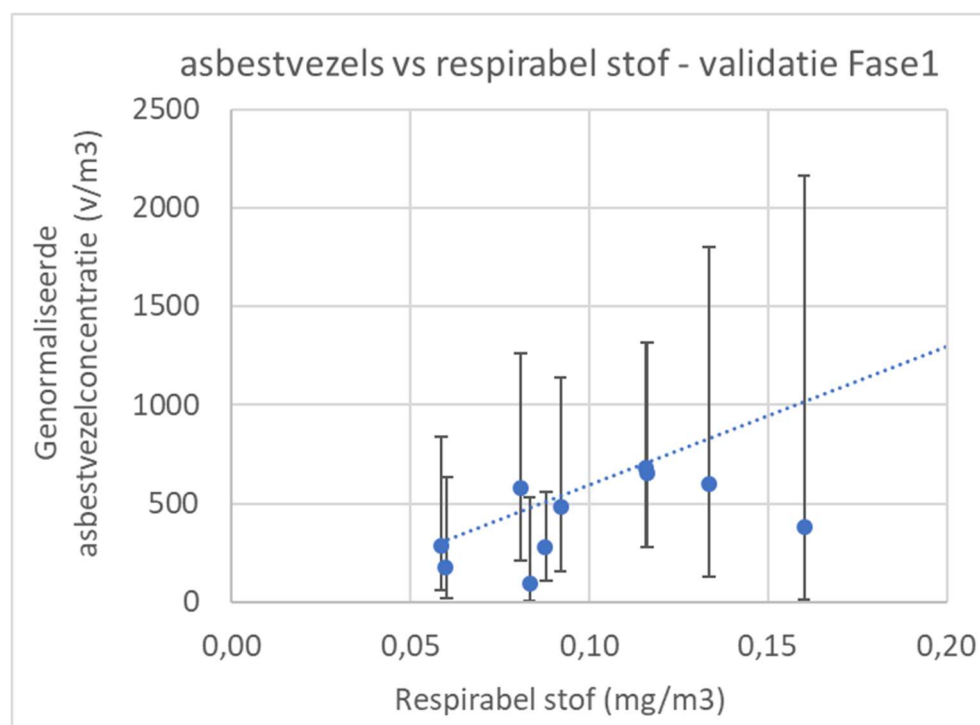
Tabel 7: Omgerekende resultaten asbestvezels per mg respirabel stof tijdens de blootstellingsmetingen in Fase 1 van het onderzoek

Code	Type meting	Belading filter (%)	Asbestvezel-concentratie (vezels/m ³) ¹	Concentratie stof (mg/m ³)		Vezels / mg respirabel stof ²
				totaal	respirabel	
56	STAT	4,6 ± 0,4	800 (260-1.900)	0,24	0,09	8.700 (2.800-20.600)
57	STAT	12,6 ± 1,0	480 (100-1.400)	0,65	0,06	8.200 (1.700-23.800)
60	PAS	13,1 ± 1,7	1.000 (210-3.000)	1,44	0,13	8.200 (1.700-24.600)
65	STAT	11,5 ± 0,3	960 (350-2.100)	0,59	0,08	11.800 (4.300-25.900)
66	STAT	11,9 ± 1,1	160 (4-890)	0,61	0,08	1900 (50-10.600)
Gewogen gemiddelde van de blootstellingsmetingen op locatie 1:						7.700 (4.600-12.200)
30	PAS	12,2 ± 0,7	320 (8,2-1.800)	1,20	0,16	2.000 (50-11.400)
Gewogen gemiddelde van de blootstellingsmetingen op locatie 2:						2.000 (50-11.400)
69	PAS	23,0 ± 1,6	2.700 (1.100-5.200)	2,01	0,12	22.900 (9.300-44.100)
70	PAS	1,3 ± 0,7	690 (83-2.500)	0,13	0,06	11.400 (4.800-22.800)
72	PAS	8,8 ± 1,2	2.600 (1.100-5.200)	0,81	0,12	22.500 (8.800-44.900)
73	STAT	16,8 ± 2,2	1.100 (430-2.200)	0,48	0,09	13.200 (1.600-47.900)
Gewogen gemiddelde van de blootstellingsmetingen op locatie 3:						17.500 (11.300-25.800)

¹ Asbestvezelconcentraties zijn weergegeven als nominale waarde (ondergrens-bovengrens 95% betrouwbaarheidsinterval van de Poisson-verdeling).

² Asbestgehalten zijn weergegeven als gemiddelde waarde (ondergrens-bovengrens 95% betrouwbaarheidsinterval).

De asbestvezelconcentratie (vezels/m³) uitgezet tegen de afgeleide concentratie respirabel stof (mg/m³) op basis van locatiemetingen in Fase 1 is vergeleken met de trendlijn op basis van de experimenteel bepaalde correlatiefactor zoals gebaseerd op de simulatie-experimenten (zie Figuur 13). Hieruit blijkt tevens dat de trendlijn tussen de onder- en bovengrenzen (95% betrouwbaarheidsinterval) van alle meetpunten loopt. Ook hier bevestigen de locatiemetingen van Fase 1 de experimenteel bepaalde correlatiefactor (5.121 vezels/mg) op basis van de simulatie-experimenten. Dit betekent ook dat de correlatiefactor voor het gehele respirabel stof bereik van 0-100 mg/m³ te gebruiken is.



Figuur 13: De asbestvezelconcentratie (vezels/m³) uitgezet tegen de concentratie respirabel stof op basis van meetresultaten in Fase 1. De respirabel stofconcentraties zijn afgeleide concentraties op basis van de experimenteel bepaalde correlatiefactor aan de hand van de simulatie-experimenten op laboratoriumschaal. Ook de trendlijn is gebaseerd op dezelfde correlatiefactor. De asbestvezelconcentraties zijn voorzien van een onder- en bovengrens op basis van het 95% betrouwbaarheidsinterval volgens de Poisson-verdeling.

3.4.3 Resultaten simulatie-experimenten tijdens stralen en vullen in semi-praktijksituatie

De resultaten van de metingen tijdens het stralen en vullen zijn weergegeven in Tabel 8. Bij ieder experiment zijn respirabel stof en asbestvezels in duplo gemeten. Per experiment is van beide respirabel stof filters de massa respirabel stof in mg/m³ bepaald en is één van de twee Nuclepore filters geanalyseerd op asbest. Om inzicht te krijgen in de variantie tussen de duplo filters binnen een experiment is voor drie experimenten (run 1, 3 en 8) ook het duplo-filter geanalyseerd op asbest. De variantie binnen de duplo-metingen per experiment is circa 30% en daarmee kleiner dan de verschillen in asbestconcentraties (in vezels/mg) tussen de verschillende typen experimenten (factor 3-130). Dit betekent dat de asbestconcentraties per type experiment (met variatie in stralen en vullen en straalinstellingen) significant verschillend zijn en apart beoordeeld moeten worden op de relatie tussen de respirabele stofconcentratie en de asbestvezelconcentratie. In Tabel 8 zijn daarom de gewogen gemiddelde asbestconcentraties gegeven per type experiment: stralen hoge druk/hoog verbruik, stralen hoge druk/laag verbruik, stralen lage druk/laag verbruik en vullen. Deze gewogen gemiddelde waarden zijn schematisch weergegeven in Figuur 14, waarin ook een vergelijking is gemaakt met de

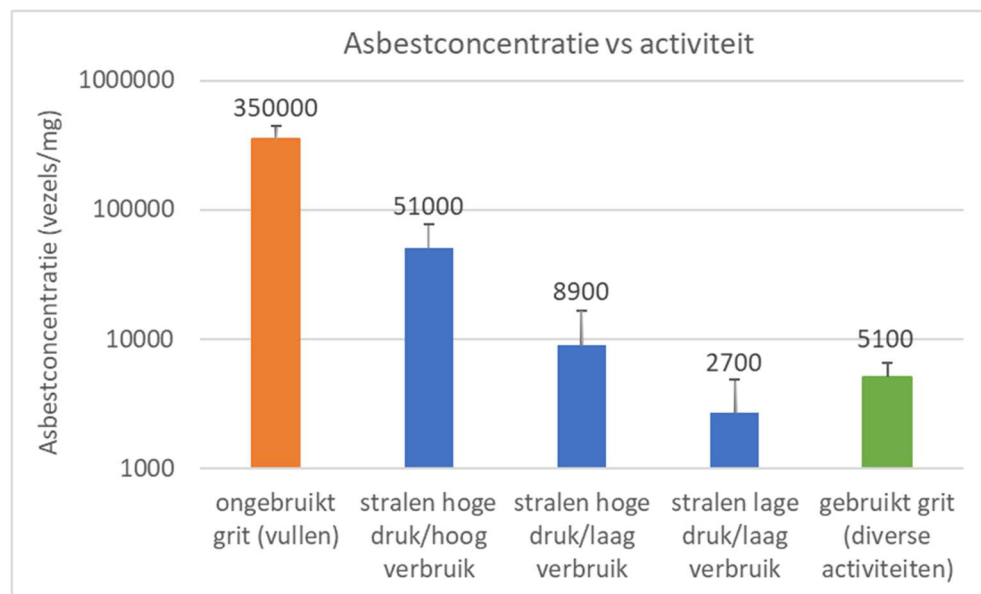
experimenteel bepaalde asbestconcentratie (in vezels/mg) tijdens het opruimen van gebruikt straalgrit.

Tabel 8: Resultaten van de simulatie-experimenten met het stralen en vullen van asbestverontreinigd straalgrit

Beschrijving Activiteit	Straalinstelling		TNO Code	Run	Respirabel stof (mg/m ³)	Asbestvezelconcentratie ¹		Vezeldimensies ²		
	Druk (bar)	Nozzle (mm)				10 ⁶ vezels/m ³	vezels/mg respirabel stof	L (µm)	D (µm)	L/D
Stralen (lage druk/ laag verbruik)	4	8	92	5	194,1	0,61 (0,22-1,3)	3.100 (1.100-6.700)	12,9	0,23	70
			93	6	129,2	0,29 (0,10-0,68)	2.200 (730-5.300)	12,6	0,20	99
			Gewogen gemiddelde stralen (laag/laag)				2.700 (640-1.300)	12,8	0,22	82
Stralen (hoge druk/ laag verbruik)	8	8	85	2	273,4	2,0 (0,59-5,6)	7.400 (2.100-20.500)	11,4	0,16	70
			89	4	199,6	2,1 (0,59-5,7)	10.300 (2.900-28.600)	22,6	0,14	180
			Gewogen gemiddelde stralen (hoog/laag)				8.900 (4.300-16.300)	17,5	0,15	130
Stralen (hoge druk/ hoog verbruik)	8	12	83	1	486,9	34 (14-70)	70.100 (28.800-143.000)	19,5	0,07	260
			84	1(d)	398,3	16 (6,0-35)	40.300 (15100-88700)	10,5	0,11	113
			87	3	559,5	16 (4,9-37)	28.100 (8.700-66.300)	21,7	0,12	178
			88	3(d)	704,9	46 (15-110)	65.600 (21.300-15.800)	12,8	0,09	137
			Gewogen gemiddelde stralen (hoog/hoog)				51000 (32300-76500)	16,2	0,10	175
Vullen (3 zakken 25kg in straalketel)	-	-	101	1	52,7	15 (7,5-26)	285.000 (142.000-493.000)	15,6	0,16	190
			100	7	103,0	24 (13-38)	233.000 (126.000-369.000)	17,9	0,17	116
Vullen (7 zakken 25kg in ton)	-	-	97	8	173,8	80 (52-120)	462.000 (300.000-695.000)	9,0	0,14	95
			98	8(d)	97,3	41 (22-73)	419.000 (226.000-754.000)	16,3	0,18	116
Vullen	-	-	Gewogen gemiddelde vullen		350.000 (269.000-447.000)		15,3	0,16	140	

¹ Asbestvezelconcentraties zijn weergegeven als nominale waarde (ondergrens-bovengrens 95% betrouwbaarheidsinterval van de Poisson-verdeling).

² L = lengte, D = diameter.



Figuur 14: Gewogen asbestvezelconcentraties per mg respirabel stof per activiteit en per straalinstelling, inclusief bovengrenzen van het 95% betrouwbaarheidsinterval.⁶

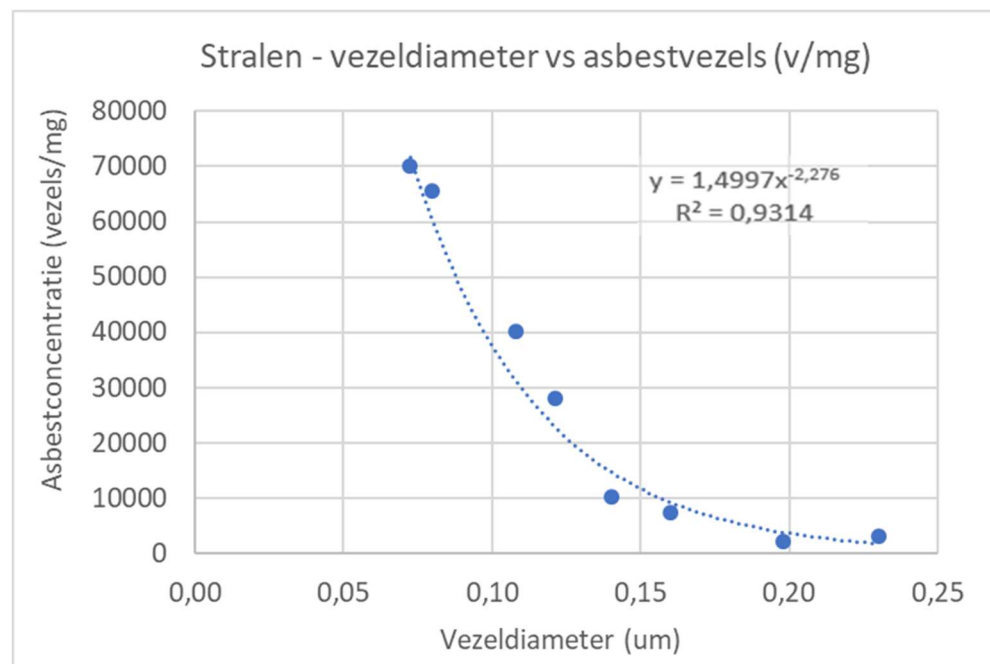
Uit de resultaten blijkt dat tijdens het vullen extreem hoge asbestvezelconcentraties per mg respirabel stof worden gevonden. Hierbij moet worden opgemerkt dat de fijne stoffractie (inclusief respirabele fractie) in het ongebruikte verontreinigde straalgrit een factor 100-200 lager is dan in het gebruikte straalgrit na stralen (zie Tabel 11). Dit geldt voor alle typen straalgrit. Als het ongebruikte straalgrit een vergelijkbare fijne stoffractie had gehad als het gebruikte straalgrit zou de asbestvezelconcentratie per mg respirabel stof uitkomen op circa 2.500 vezels per mg respirabel stof, wat vergelijkbaar is met stralen bij lage druk en laag verbruik.

Uit de resultaten komt een duidelijk verschil tussen de type activiteiten naar voren, vullen en stralen, en blijkt ook dat de straalinstelling een grote invloed heeft op de relatie tussen respirabel stof en asbestvezels. Zowel bij een hogere druk als bij meer verbruik (grotere diameter van de straalnozzle (=spuitmond)) neemt de asbestconcentratie in vezels per mg respirabel stof toe. De toename in asbestvezelconcentratie (vezels/m³) is hierbij veel sterker dan de toename in respirabel stofconcentratie (mg/m³). Het lijkt erop dat bij toenemende impact op het straaloppervlak de asbestvezelstructuren meer de neiging hebben om te splijten in dunnere asbestvezels dan dat de straalgritkorrels de neiging hebben om te breken: bij een toename in druk en verbruik neemt de respirabel stofconcentratie

⁶ NB: Voor het afleiden deze gewogen asbestvezelconcentraties (hierna ook wel omrekenfactoren genoemd) is uitgegaan van de nominale waarden van de individuele meetresultaten, omdat de kans op een gemeten concentratie vergelijkbaar met de nominale waarde het grootst is en daardoor op basis hiervan de meest realistische relatie tussen respirabel stofconcentraties en asbestvezelconcentraties kan worden bepaald. Dit in tegenstelling tot de bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval rond de nominale waarde op basis van de Poissonverdeling (waarbij rekening wordt gehouden met de analyseonzekerheid), welke als uitgangswaarde wordt gebruikt wanneer wordt getoetst aan een grenswaarde (compliance testing), vanuit de optiek dat er met voldoende zekerheid moet kunnen worden aangenomen dat een situatie veilig is (dat wil zeggen: de blootstelling aan asbestvezels in een bepaalde situatie is beneden de grenswaarde).

namelijk ongeveer lineair toe, maar de toename in asbestvezelconcentratie lijkt kwadratisch te zijn.

De kwadratische toename in vezelconcentratie kan worden verklaard op basis van de gemiddelde vezeldimensies per straal experiment (zie Tabel 8). De vezeldiameter neemt duidelijk af bij hogere druk en meer verbruik. Omdat het volume van een vezel kwadratisch afneemt bij een afname in vezeldiameter ($V = L \times 3,14/4 \times D^2$) zal de vezelconcentratie kwadratisch toenemen. De individuele resultaten binnen een experiment laten dit ook zien, een hogere asbestconcentratie gaat namelijk gepaard met een kleinere gemiddelde vezeldiameter.



Figuur 15: Correlatiediagram van de asbestvezelconcentratie per mg respirabel stof uitgezet tegen de gemiddelde vezeldiameter bepaald op basis van de aangetroffen asbestvezels per straal experiment.

Ter illustratie van dit fenomeen is in Figuur 15 een correlatiediagram weergegeven waarin, de asbestvezel concentratie per mg respirabel stof is uitgezet tegen de vezeldiameter. Hieruit blijkt ook dat de vezelconcentratie ongeveer kwadratisch toeneemt met afnemende vezeldiameter.

Voor het vullen gaat bovenstaande relatie tussen de vezeldiameter en de asbestvezelconcentratie niet op. Deze vezels zijn het resultaat van het productieproces van het straalgrit, namelijk fijnmalen en uitzeven, en zijn niet als gevolg van het straalproces vrijgemaakt. Daarom kunnen de vezeldimensies bij het vullen ook niet worden vergeleken met de vezeldimensies tijdens het stralen. Het merendeel van de vezels die tijdens het stralen worden gemeten zijn afkomstig van de grotere plukjes asbestmateriaal en vezelbundels in het straalgrit die door de

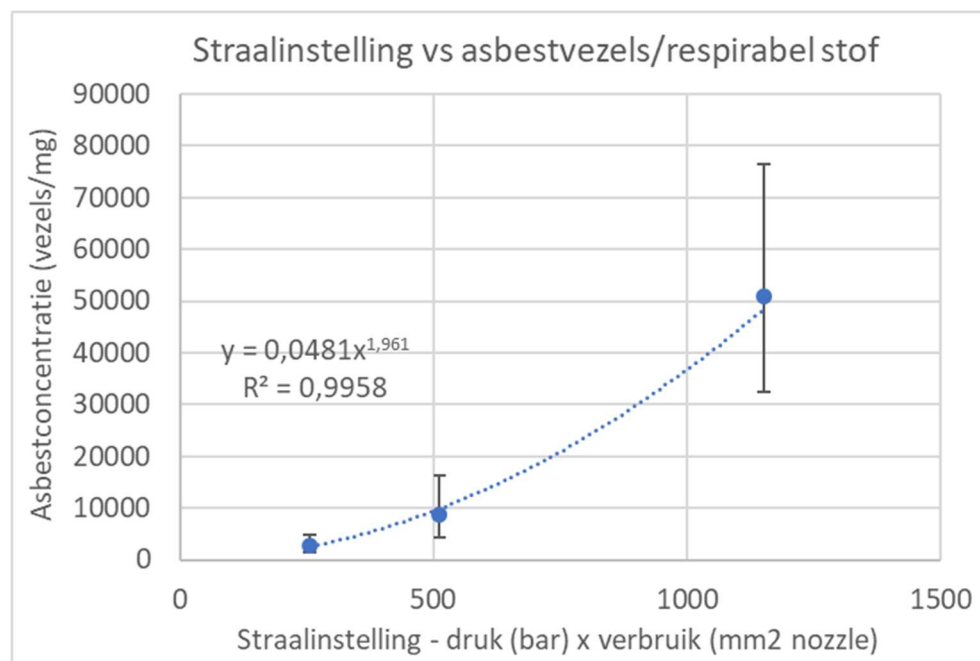
impact van het stralen splijten in fijne asbestvezels en zodoende in de lucht terecht komen.

Als de vezeldimensies tijdens het stralen worden vergeleken met de vezeldimensies tijdens het opruimen op de drie meetlocaties in het Fase 1 onderzoek valt op dat de gemeten vezeldiameters tijdens het opruimen veel groter zijn, met een gemiddelde van $0,35 \mu\text{m}$. Ook tijdens de simulatie-experimenten in het laboratorium met het gebruikte straalgrit zijn vergelijkbare vezeldiameters aangetroffen. Dunne vezels met een diameter kleiner dan $0,2 \mu\text{m}$ worden zelden aangetroffen. Dit betekent dat het merendeel van de dunne vezels die tijdens het gritstralen worden vrijgemaakt niet sedimenteren en dus niet in het gebruikte straalgrit terecht komen, maar met de ventilatielucht worden afgevoerd naar buiten of naar het aanwezige filtersysteem.

Tijdens de straalexperimenten is beperkt gevarieerd met de straalininstellingen: voor de druk is 4 en 8 bar toegepast en voor het verbruik is een straalnozzle van 8 en 12 mm gebruikt. De straalininstellingen die tijdens de respirabel stofmetingen op locatie zijn gebruikt zijn in de meeste gevallen niet goed vergelijkbaar met deze straalininstellingen. Per locatiemeting (meetsessie) is vrijwel iedere keer een andere druk (6,75-10 bar) en andere straalnozzle-diameter (6,5-12 mm) toegepast. Aangezien de straalininstellingen een grote invloed hebben op de relatie tussen asbestvezels en respirabel stof, is het voor de omrekening naar een asbestvezelconcentratie van belang om zo goed mogelijk aan te sluiten bij de juiste straalininstellingen zoals gehanteerd tijdens de experimenten. Er was echter sprake van grote verschillen in de straalininstellingen zoals die zijn toegepast tijdens de experimenten en zoals deze werden toegepast op de verschillende meetlocaties, waardoor het niet mogelijk was om deze 1-op-1 op elkaar aan te laten sluiten. In plaats van een directe vergelijking van de straalininstellingen tijdens de meetsessies en de experimenten is het beter om eerst een goede correlatie te vinden tussen de straalininstellingen en de asbestvezelconcentratie per mg respirabel stof en daarna op basis van interpolatie de meest geschikte omrekeningsfactor (asbestvezels/mg respirabel stof) te bepalen. Voor deze correlatie zijn eerst de twee parameters, druk (bar) en straalnozzle-oppervlak (mm^2), met elkaar vermenigvuldigd, zodat de asbestvezelconcentratie per mg respirabel stof kan worden uitgezet tegen één algemene straalinstelling, waar zowel druk en verbruik is inbegrepen. In Figuur 16 is het resulterende correlatiediagram weergegeven.

Uit de resultaten blijkt dat de beste correlatie (hoogste correlatiefactor) een vrijwel kwadratisch verband is tussen de straalinstelling en de asbestvezelconcentratie per mg respirabel stof (zie Figuur 16). Dit is volledig in overeenstemming met het splijtgedrag van de asbestvezels bij toenemende druk en verbruik (zie Figuur 15). Uit gegevens in Tabel 8 blijkt namelijk dat bij een verhoging van de druk met een factor 2 de vezels 2x kleiner worden en bij een verhoging van het verbruik (straalnozzle-oppervlak) met een factor 2 geldt hetzelfde. Dus de kwadratische correlatie is op

basis van het fysische proces goed te verklaren. Op basis van de correlatie in Figuur 16 kan voor elke gewenste straalinstelling (druk en straalnozzle-diameter) de omrekeningsfactor (asbestvezels/mg respirabel stof) worden bepaald.

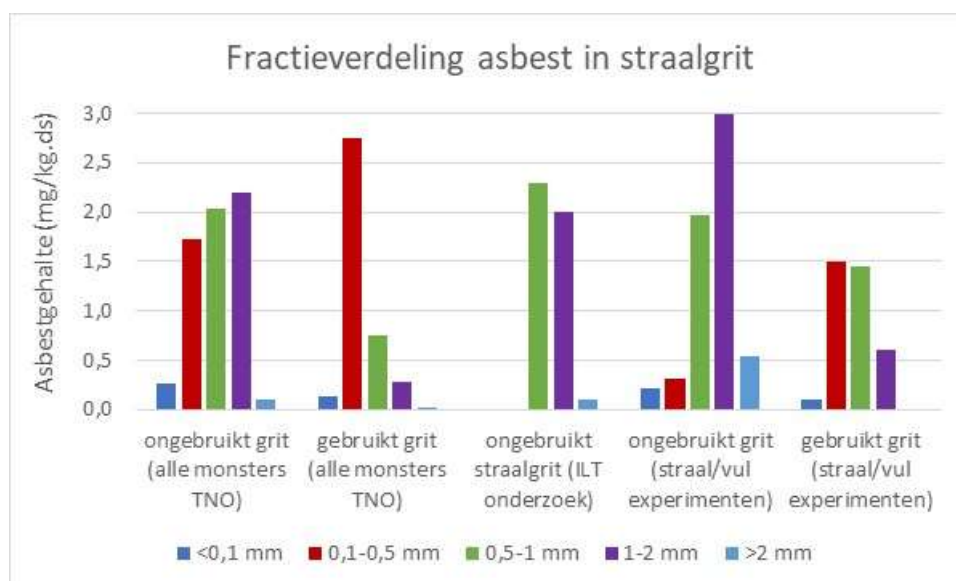


Figuur 16: Correlatiediagram van de asbestvezelconcentratie per mg respirabel stof uitgezet tegen de straalinstellingen, waarbij de druk (bar) is vermenigvuldigd met het oppervlak van de straalnozzle (mm²).

3.4.4 Resultaten straalgrit

3.4.4.1 Verontreinigingsgraad van het straalgrit

De verhouding tussen respirabel stof en asbestvezels is niet alleen afhankelijk van de activiteit maar ook van de verontreinigingsgraad van het straalgrit. Hierbij speelt zowel het totale asbestgehalte als ook de respirabele vezelconcentratie (vezels/kg ds) een rol. Net zoals voor de laboratorium simulatie-experimenten is het de bedoeling om te komen tot een gemiddelde (genormaliseerde) relatie tussen respirabel stof en asbestvezels, die representatief is voor het gebruikte verontreinigde straalgrit in heel Nederland. Om inzicht te krijgen in de representativiteit van de gebruikte partij verontreinigd straalgrit in de experimenten is zowel het ongebruikte straalgrit als het gebruikte straalgrit geanalyseerd op asbest conform NEN 5898 (zie Figuur 17 en Tabel 9). Uit de resultaten blijkt dat het straalgrit dat is gebruikt voor de experimenten een representatief beeld geeft van de gemiddelde verontreinigingsgraad van ongebruikt en gebruikt straalgrit in Nederland. Er kan dan ook geconcludeerd worden dat de verkregen correlatie tussen respirabel stof en asbest in de experimenten niet hoeft toe worden gecorrigeerd (genormaliseerd).



Figuur 17: Schematische weergave aanwezigheid asbest (in mg/kg ds) per korrelgrootte fractie in ongebruikt en gebruikt straalgrit zoals gebruikt voor de simulatie-experimenten tijdens vullen en stralen, vergeleken met de gemiddelde verdeling op basis van de door TNO geanalyseerde monsters straalgrit en de analysecertificaten aangeleverd door ILT.

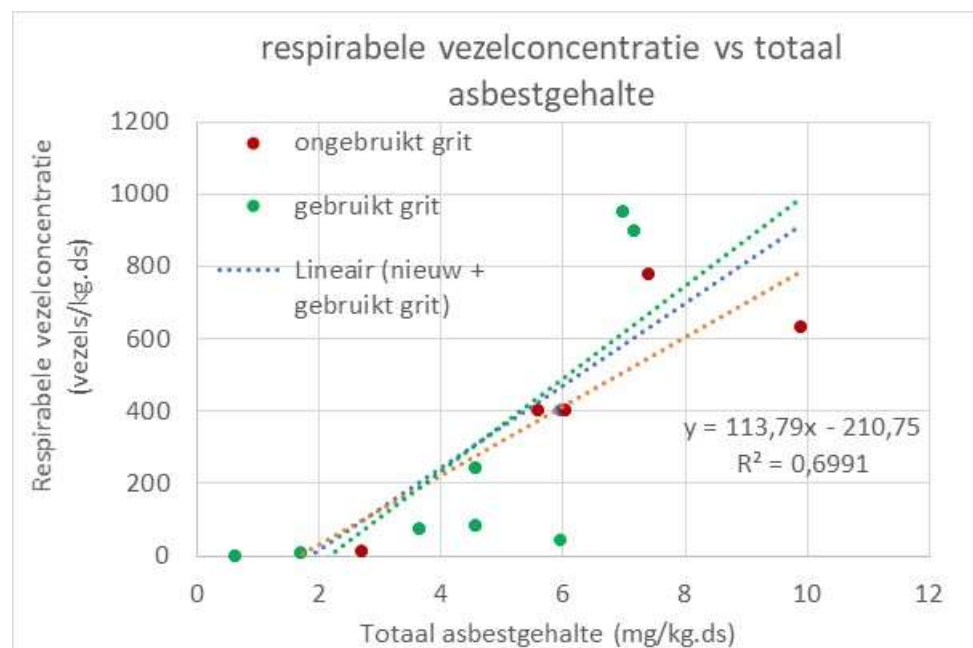
Tabel 9: Analyseresultaten straalgrit zoals gebruikt in de simulatie-experimenten tijdens stralen en vullen, vergeleken met het gemiddelde asbestgehalte van het straalgrit wat in Nederland is onderzocht door TNO en door een extern laboratorium onderzocht in opdracht van ILT op het terrein van Eurogrit

Code	Beschrijving	Asbestgehalte ¹		Asbestgehalte per zeeffractie (mm) (in mg/kg)				
		mg/kg	vezels/kg	<0,1	<0,5	0,5-1	1-2	>2
01	Ongebruikt straalgrit 0,2-2mm straalexperimenten	6,0 (2,6-12)	4,0 (2,5-12) x 10 ⁸	0,2	0,3	2,0	3,0	0,5
02	Gebruikt straalgrit 0,2-2mm straalexperimenten	4,6 (1,5-11)	2,4 (1,3-3,9) x 10 ⁸	0,1	0,9	3,0	0,6	-
-	Gemiddeld verontreinigd ongebruikt straalgrit TNO analyses (n=5)	6,3 ± 2,6	4,4 ± 2,9 x 10 ⁸	0,3	1,7	2,0	2,1	0,1
-	Gemiddeld verontreinigd gebruikt straalgrit TNO analyses (n=7)	4,6 ± 2,3	2,4 ± 3,2 x 10 ⁸	0,1	2,7	0,8	0,3	-
-	Gemiddeld verontreinigd ongebruikt straalgrit, diverse partijen locatie Eurogrit ILT analyses (n=160)	6,0 ± 4,2 ² Min.: 0,8 Max.: 20	n.a.	n.a.	n.a.	2,3	2,0	0,1

¹ Gemeten asbestgehalten zijn weergegeven als nominale waarde (ondergrens-bovengrens betrouwbaarheidsinterval). Gemiddelde asbestgehalten zijn weergegeven als rekenkundig gemiddelde waarden, inclusief standaarddeviatie.

² Gecorrigeerd asbestgehalte voor de niet-geanalyseerde fracties <0,1 mm (respirabele fractie) en <0,5 mm op basis van de analyseresultaten van TNO (correctiefactor 1,33). Min./Max. = minimaal/maximaal gemeten gecorrigeerde gehalte; n.a. = niet geanalyseerd.

Uit de resultaten kan worden opgemaakt dat de gevolgde analysemethodiek ook van invloed is op het uiteindelijke asbestgehalte. Bij een standaard analyse volgens de NEN 5898 wordt de fractie kleiner dan 500 µm en de fijne fractie (<100 µm) niet meegenomen. Dit betekent dat de in opdracht van ILT uitgevoerde analyses een onderschatting geven van de werkelijke concentratie. Om een goede vergelijking te kunnen maken tussen de door TNO uitgevoerde analyses en de analyses van ILT is een correctiefactor toegepast van 1,33 op de resultaten van ILT. Wanneer in een later stadium per bedrijf/locatie blootstellingsscenario's worden uitgewerkt dient hier ook rekening mee te worden gehouden. Het kan zijn dat er bij bedrijven analysegegevens van het straalgrit beschikbaar zijn op basis waarvan het mogelijk is om een correctie toe te passen op de omrekeningsfactor van respirabel stof naar de asbestvezelconcentratie. Hierbij moet echter wel dezelfde correctiefactor van 1,33 eerst worden toegepast om het werkelijke totale asbestgehalte (mg/kg ds) te verkrijgen.



Figuur 18: Correlatiediagram van de respirabele vezelconcentratie uitgezet tegen het totale asbestgehalte voor ongebruikt straalgrit (rode kleur) en gebruikt straalgrit (groene kleur). De blauwe trendlijn en de correlatieformule is gebaseerd op het totaal aantal analyses van gebruikt en ongebruikt straalgrit.

Aanvullend moet ook worden opgemerkt dat, in tegenstelling tot het stralen, bij het vullen en tijdens de (opruim)activiteiten na het stralen de asbestvezelconcentratie in de lucht voornamelijk wordt bepaald door de respirabele vezelconcentratie in het straalgrit, en niet zozeer door het totale asbestgehalte. Om de respirabele vezelconcentratie te kunnen afleiden op basis van het totale asbestgehalte zijn aan

de hand van alle door TNO uitgevoerde analyses het totale asbestgehalte en de respirabele vezelconcentratie met elkaar vergeleken (zie Figuur 18). Hierbij is onderscheid gemaakt tussen ongebruikt straalgrit en gebruikt straalgrit. Gezien het feit dat de correlatie voor gebruikt en ongebruikt straalgrit vergelijkbaar is, is op basis van de resultaten van alle geanalyseerde monsters een lineair verband afgeleid tussen het totale asbestgehalte en de respirabele vezelconcentratie. Bij het uitwerken van blootstellingsscenario's kan deze correlatie gebruikt worden om de respirabele vezelconcentratie in het straalgrit te bepalen.

3.4.4.2 Korrelgrootte en stoffigheid van het straalgrit

Het asbest-verontreinigde aluminiumsilicaat straalgrit dat is gebruikt in de experimenten wordt inmiddels niet meer toegepast bij de huidige straalwerkzaamheden. De meest gebruikte alternatieven, onder andere Asilicos en Excellent, zijn vergelijkbare straalmiddelen op basis van aluminiumsilicaat met vergelijkbare hardheid. Ondanks dat kunnen de diverse straalmiddelen toch een afwijkende stoffigheid hebben. Dit heeft ook effect op de relatie tussen respirabel stof en asbestvezels. Om meer inzicht te krijgen in de stoffigheid van deze alternatieve straalmiddelen ten opzichte van het verontreinigde straalgrit zijn een aantal experimenten/activiteiten ook uitgevoerd met de alternatieve straalmiddelen: stralen hoge druk/hoog verbruik, stralen lage druk/laag verbruik en vullen.

Bij de experimenten is per activiteit de respirabele stofconcentratie minimaal in duplo gemeten (zie Tabel 10). Uit de resultaten van het respirabel stof blijkt dat Excellent straalgrit een zelfde stoffigheid heeft als het verontreinigde straalgrit: er blijkt geen significant verschil te zijn tussen de gemeten respirabel stofconcentraties ($p > 0,05$). Asilicos straalgrit blijkt significant meer stoffig te zijn dan het verontreinigde Eurogrit straalgrit en Excellent straalgrit ($p < 0,05$). De stoffigheid tijdens het stralen van Asilicos neemt ook significant toe bij toenemende druk en verbruik ($p < 0,05$): bij hoge druk en hoog verbruik is de respirabele stofconcentratie circa 2x hoger en bij lage druk en laag verbruik is dit een factor 1,6. Dit betekent dat voor de locatiemetingen waarbij Asilicos als straalmiddel is gebruikt een correctiefactor op de respirabele stofconcentratie moet worden toegepast, die afhankelijk is van de straalinstellingen.

Aangezien uit de experimenten niet kan worden opgemaakt welke factor (druk of verbruik) het meeste effect heeft op de stoffigheid, wordt de correctiefactor bepaald op basis van het 'worst-case' principe. Alleen wanneer de druk (in bar) vermenigvuldigd met het verbruik (in mm^2 straalnozzle-oppervlak) groter is dan 1000 wordt voor Asilicos een correctiefactor van 2,0 toegepast. In de andere gevallen wordt een correctiefactor van 1,6 gebruikt. Bij het uitwerken van de blootstellingsscenario's door bedrijven hoeft hier geen rekening mee te worden gehouden aangezien dit een retrospectieve beoordeling als gevolg van het verontreinigde straalgrit.

Tabel 10: Gemeten respirabele stofconcentraties (mg/m³) tijdens het vullen en stralen, bij verschillende typen straalgrit die zijn gebruikt in de experimenten

Activiteit/ experiment	Type straalgrit	N	AM	SD	% respirabel stof t.o.v. verontreinigd straalgrit
Stralen hoge druk / hoog verbruik	Excellent	3	515	290	103%
	Verontreinigd grit	6	498	117	
	Asilicos	2	1263	15	200%
	Verontreinigd grit	2	632	103	
Stralen lage druk / laag verbruik	Excellent	2	152	15	94%
	Asilicos	2	257	39	159%
	Verontreinigd grit	4	162	42	
Vullen	Excellent	2	60	11	55%
	Verontreinigd grit	3	110	62	

Uit de resultaten in Tabel 10 lijkt de stoffigheid bij het vullen van het verontreinigde straalgrit hoger dan bij het vullen van Excellent. Echter, de omstandigheden zijn niet 1 op 1 te vergelijken: het aantal zakken straalgrit was niet hetzelfde en ook de manier van vullen was deels anders (in straalketel of in ton). Daarnaast is de variantie (standaard deviatie) van de respirabele stofconcentratie bij het verontreinigde straalgrit groot, waardoor het verschil in respirabele stofconcentratie tussen Excellent en verontreinigd straalgrit niet statistisch significant verschilt ($p >> 0,05$).

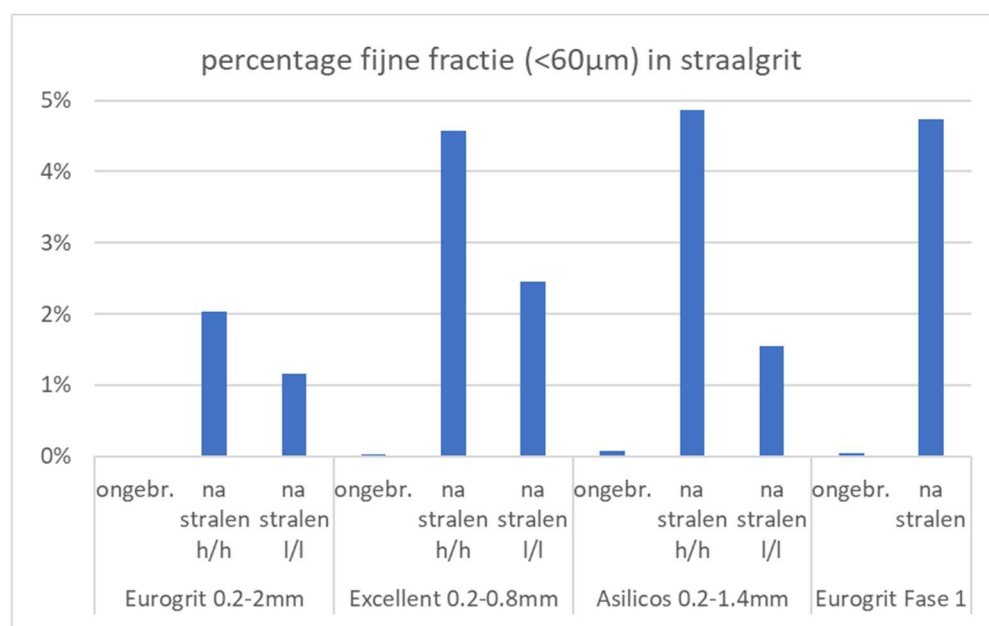
Ter controle van de gemeten respirabele stofconcentraties bij de activiteiten met zowel verontreinigd straalgrit, Excellent straalgrit als Asilicos straalgrit, is per type straalgrit tevens de korrelgrootteverdeling bepaald van het ongebruikte straalgrit en het gebruikte straalgrit na stralen bij hoge druk/hoog verbruik (h/h) en lage druk/laag verbruik (l/l) (zie Tabel 10). Ter vergelijking zijn tevens de respirabele stofconcentraties onderaan de tabel genoteerd. De stofconcentraties voor verontreinigd straalgrit wijken iets af van de in Tabel 10 gepresenteerde resultaten. Dit komt omdat in Tabel 10 is uitgegaan van gemiddelde waarden en in Tabel 11 is de stofconcentratie weergegeven van hetzelfde experiment als het bemonsterde straalgrit.

Uit de resultaten in de tabel kan worden opgemaakt dat de gemeten respirabele stofconcentraties een duidelijk verband vertonen met de korrelgrootteverdeling van het gebruikte straalgrit na stralen. Dit wordt vooral zichtbaar door de percentages fijne fractie <60 µm met elkaar te vergelijken (zie Figuur 19). Hierbij valt op dat het percentage fijne fractie in ongebruikt straalgrit een factor 100-200 lager is dan in gebruikt straalgrit na stralen. Daarnaast is het percentage fijne fractie gemiddeld 2-3x hoger (op basis van een enkelvoudige meting) wanneer er onder hoge druk en bij hoog verbruik wordt gestraald in vergelijking met lage druk en laag verbruik. Dit is in overeenstemming met de gemeten stoffigheid tijdens het stralen. Op basis van de resultaten kan worden geconcludeerd dat in algemene zin de

korrelgrootteverdelingen een bevestiging zijn van de gemeten respirabele stofconcentraties.

Tabel 11: Korrelgrootteverdelingen van drie typen straalgrit gebruikt in de experimenten, zowel ongebruikt als gebruikt na het stralen, waarbij tevens is vergeleken met het gemiddelde straalgrit afkomstig van de drie meetlocaties in het Fase 1 onderzoek

Fractie (mm)	Verontreinigd straalgrit 0,2-2 mm			Excellent straalgrit 0,2-0,8 mm			Asilicos straalgrit 0,2-1,4 mm			Straalgrit Fase 1 onderzoek	
	ongebruikt	gebruikt		ongebruikt	gebruikt		ongebruikt	gebruikt		ongebruikt	gebruikt
Activiteit	vullen	h/h	l/l	vullen	h/h	l/l	vullen	h/h	l/l	-	-
>2	81%	0,5%	3,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,2%	0,0%	0,0%	1%
1-2	12%	25%	55%	37%	1,0%	0,1%	77%	0,7%	5,6%	45%	6%
0.5-1	2,7%	34%	12%	42%	23%	32%	13%	9,0%	21%	41%	18%
0,25-0,5	4,0%	19%	14%	19%	23%	22%	8,9%	24%	33%	13%	27%
0,12-0,25	0,1%	13%	13%	1,2%	28%	36%	1,2%	45%	34%	1,0%	24%
0,06-0,12	0,03%	5,5%	3,0%	0,07%	21%	8%	0,3%	16%	4,9%	0,14%	7,7%
<0,06	0,01%	2,0%	1,2%	0,04%	4,6%	2,4%	0,08%	4,9%	1,6%	0,05%	4,7%
respirabel stof-mg/m ³	110	443	162	60	515	153		1263	257		



Figuur 19: Het percentage fijne fractie (<60 µm) afkomstig van de korrelgrootteverdelingen van het gebruikte en ongebruikte straalgrit.

Er is geen experiment uitgevoerd tijdens het vullen van Asilicos straalgrit. Er kunnen daarom ook geen uitspraken gedaan worden over de stoffigheid tijdens het vullen van dit type straalgrit. Er is echter geen reden om aan te nemen dat de stoffigheid van ongebruikt Asilicos straalgrit afwijkt van Excellent straalgrit en verontreinigd straalgrit, omdat aluminiumsilicaat straalgrit over het algemeen afkomstig is van smeltslakken dat op dezelfde manier wordt geproduceerd: fijnmalen en uitzeven tot

de gewenste range in korrelgrootte. Bij het uitzeven wordt het grootste deel van de fijne fractie (inclusief respirabel stof) uit het straalgrit gehaald. De verschillen in stoffigheid zijn veel eerder het resultaat van verschillen binnen een aangeleverde batch of partij, doordat er vaak onderop meer fijn materiaal zit dan bovenin. Gezien de resultaten en bovenstaande overwegingen zal bij het vullen niet worden gecorrigeerd voor het type straalgrit dat is toegepast.

4 Meetstudie respirabel stof tijdens praktijksituaties

In Hoofdstuk 3 zijn de experimenten beschreven die als doel hadden de relatie tussen respirabel stof en asbestvezels te bepalen. Naast deze experimenten zijn door TNO in samenwerking met KIWA Compliance en bedrijven voor de geselecteerde blootstellingsscenario's blootstellingsmetingen uitgevoerd. Indien mogelijk zijn voor elk blootstellingsscenario op meerdere locaties metingen uitgevoerd, waarbij naast de nodige stationaire metingen op toenemende afstand van bepaalde handelingen (bijvoorbeeld het stralen) ook diverse personen bij verschillende handelingen gelijktijdig en herhaaldelijk zijn bemeten, om zo een representatief beeld te krijgen van de blootstelling respirabel stof (en op basis daarvan asbestvezels) tijdens en na de toepassing van het straalgrit.

Deze metingen zijn verricht op locaties waar is gewerkt met asbestvrij aluminiumsilicaat straalgrit tijdens reguliere (ingeplande) werkzaamheden, waardoor de meetstudie niet onder asbestcondities hoefde te worden uitgevoerd.

4.1 Meetstrategie en organisatie meetstudie

Op basis van de informatie zoals verkregen tijdens de inventarisatie is een meetstrategie opgesteld. Hiervoor is een overzicht gemaakt van de variatie in voorkomende omstandigheden voor de parameters waarvan op voorhand werd aangenomen dat deze van invloed kunnen zijn op de mate van blootstelling tijdens de activiteiten die onderdeel uitmaken van de verschillende blootstellingsscenario's, op basis waarvan de realistische worst-case omstandigheden zijn bepaald. Op basis van overeenkomsten en verschillen tussen de verschillende activiteiten die zijn geïdentificeerd binnen de verschillende blootstellingsscenario's zijn daarna de relevante 'activiteiten geselecteerd om mee te nemen in de meetstudie. Hierbij is ook rekening gehouden met het al dan niet kunnen meenemen van specifieke activiteiten binnen de blootstellingsscenario's in de meetstudie en mogelijkheden voor extrapolatie van gegevens tussen activiteiten en blootstellingsscenario's. In Tabel 12 wordt per blootstellingsscenario een overzicht gegeven van de belangrijkste parameters met betrekking tot het ontstaan van blootstelling en de overwegingen die hebben geleid tot het al dan niet selecteren van bepaalde activiteiten voor de meetstudie.

Tabel 12: Per blootstellingsscenario een overzicht van de belangrijkste parameters met betrekking tot het ontstaan van blootstelling en overwegingen met betrekking tot de meetstrategie

Blootstellings-scenario	Variatie in parameters in relatie tot blootstelling	Overwegingen met betrekking tot meetstrategie
1. Stralen		
a. Besloten ruimte (tank, straalcabine)	<ul style="list-style-type: none"> • droog of vochtig straalgrit (droogstralen vs. natstralen) • korrelgrootte 	Geselecteerd voor meetstudie.
b. Straaltent (buiten)	<ul style="list-style-type: none"> • type straalnozzle / inwendige straalnozzlediameter 	Inschatting worst-case omstandigheden: - Droog straalgrit

Blootstellings-scenario	Variatie in parameters in relatie tot blootstelling	Overwegingen met betrekking tot meetstrategie
	<ul style="list-style-type: none"> • spuitbeeld • druk • hoeveelheid per tijdseenheid (use rate) • type object (beton/metaal) • afstand tot het object • situatie (binnen/buiten) • al dan niet afzuiging / mechanische ventilatie 	<ul style="list-style-type: none"> - Kleine korrelgrootte - Grote straalnozzle (10-13 mm) - Hoge druk (7-8 bar) (werken met korte slangen/weinig koppelstukken voor minimalisatie van drukverlies) - Use rate 250 kg/uur - Metalen oppervlak - Binnensituatie met beperkte afzuiging / mechanische ventilatie (zonder dat het zicht zodanig afneemt dat men niet meer veilig kan werken) <p>Maximaal verbruik in combinatie met minimaal noodzakelijke ventilatie (kan ook maximale ventilatie zijn), maar er wel voor zorgen dat er met het stralen minder lucht naar binnen wordt gebracht dan de lucht die naar buiten gaat m.b.v. de ventilatie</p>
2. Vullen van reservoirs/ketels en/of straalapparatuur		
<p>a. Vullen / storten vanuit vulsilo</p> <p>b. Vullen vanuit emmers / zakken</p>	<ul style="list-style-type: none"> - droog of vochtig straalgrit - hoeveelheid per tijdseenheid (use rate, vulsnelheid) - valhoogte (drop height) - grootte / inhoud van de straalketel/reservoir - grootte van de vulopening - buiten of binnen - al dan niet lokale afzuiging - al dan niet mechanische ventilatie (indien binnen) <p>Specifiek voor vulsilo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - grootte / inhoud vulsilo - open of gesloten systeem - handmatig of mechanische bediening - al dan niet gebruik maken van een stortslurf <p>Specifiek voor zakken/emmers:</p> <ul style="list-style-type: none"> - grootte zak / emmer - manier van werken (manier van openen zak, manier van leegstorten, al dan niet leegschudden zak, manier van met afval (lege zak) omgaan 	<p>Geselecteerd voor meetstudie.</p> <p>Inschatting worst-case omstandigheden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - droog straalgrit - hoge use rate - hoge valhoogte - grote straalketel - grote vulopening - binnensituatie - geen lokale afzuiging - geen mechanische ventilatie <p>Specifieke informatie m.b.t. vulsilo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - buiten (alleen in grote loodsen wordt wel eens een (kleine) silo binnen geplaatst) - de hoeveelheid stof is het meest aan het begin en het eind van het legen van de silo. - open systeem wordt als worst-case gezien. Er is echter altijd minimaal sprake van een semi-gesloten vulsysteem (een volledig gesloten systeem wordt dus niet toegepast), want er moet lucht kunnen ontsnappen uit de straalketel tijdens het vullen - een volledig mechanisch vulsysteem komt nauwelijks voor. Meestal

Blootstellings-scenario	Variatie in parameters in relatie tot blootstelling	Overwegingen met betrekking tot meetstrategie
		<p>handmatig door een schuif open te trekken. Vulsnelheid wordt gereguleerd door schuif verder open of dicht te zetten</p> <ul style="list-style-type: none"> - er wordt gebruik gemaakt van (provisorische) stortslurven (niet worst-case). - de valhoogte kan meestal niet worden gereguleerd; een opstelling is van de leverancier waaraan weinig kan worden ingesteld <p>Specifiek voor zakken/emmers:</p> <ul style="list-style-type: none"> - binnen (echter, in geval van het stralen van de binnenkant van bijvoorbeeld tanks staat de straalketel over het algemeen buiten de tank) - grote zak / emmer - ruige manier van werken (niet voorzichtig leegstorten, leegschudden, zak in elkaar proppen)
c.Zeefwerkzaamheden		<p>Niet geselecteerd voor meetstudie.</p> <p>Er wordt aangenomen dat deze activiteit niet zozeer als aparte activiteit wordt uitgevoerd door de straalbedrijven (m.u.v. als onderdeel van het vullen) met de betrekking tot het soort straalgrit waar het onderzoek zich op richt (aluminiumsilicaat is bedoeld voor eenmalig gebruik), maar wel veelvuldig voorkomt in het proces van de leverancier.</p>
3. Opruimen van gebruikt straalgrit en schoonmaken van vervuilde oppervlakken		
a. Vegen - Bezem - Veegmachine		<p>Niet geselecteerd voor meetstudie (onderzocht in Fase 1 tijdens absolute worst-case omstandigheden en realistische worst-case omstandigheden).</p> <p>Aangenomen wordt dat het gebruik van een veegmachine minder blootstelling veroorzaakt dan vegen met een bezem (is wel afhankelijk van het soort filter dat wordt gebruikt in de veegmachine)</p>
b.Scheppen		Geselecteerd voor meetstudie (hoewel onderzocht in Fase 1)

Blootstellings-scenario	Variatie in parameters in relatie tot blootstelling	Overwegingen met betrekking tot meetstrategie
		Op basis van resultaten Fase 1 geconcludeerd dat tijdens deze werkzaamheden de blootstelling aan asbest rond de grenswaarde ligt wanneer weinig tot geen beheersmaatregelen worden toegepast. Ter vergelijking nog een aantal metingen verzameld.
c. Opzuigen - zuigmachine - (stofzuiger)		Niet geselecteerd voor meetstudie. Meestal wordt gebruik gemaakt van zuigmachines die werken volgens het principe van een voorafscheider met daarna een cycloon. Aangenomen wordt dat het gebruik van een zuigwagen of stofzuiger minder blootstelling veroorzaakt dan scheppen. Inschatting blootstelling d.m.v. extrapolatie van resultaten uit Fase 1, eventueel aangevuld met info uit externe bronnen
d. Schoonblazen (perslucht)	<ul style="list-style-type: none"> - Grootte oppervlak - Hoeveelheid verontreiniging - Droge / vochtige verontreiniging - Afstand tot oppervlak - Druk compressor - Buiten / binnen / straaltent - Al dan niet mechanische ventilatie (in geval van binnensituatie) 	Geselecteerd voor meetstudie. Inschatting worst-case omstandigheden: <ul style="list-style-type: none"> - Groot oppervlak - Veel verontreiniging - Droge verontreiniging - Korte afstand tot oppervlak - Hoge compressor druk - Binnen - Geen mechanische ventilatie
e. Vervangen / schoonmaken filterunits van: - Veegmachine - Stofzuiger - Lokaal afzuigstelsel - Mechanisch ventilatiesysteem	<ul style="list-style-type: none"> - Grootte filterunits - Mate van verontreiniging filterunits - Binnen / buiten - Handmatig / geautomatiseerd (leegkloppen filters) - Al dan niet mechanische ventilatie (indien binnen) 	Geselecteerd voor meetstudie. Inschatting worst-case omstandigheden: <ul style="list-style-type: none"> - Grote filterunits - Veel verontreiniging - Handmatig leegkloppen filters (straalcabines, stofzuigers) - Binnen - Geen mechanische ventilatie
f. Legen van reservoir / opvangzak / bak van: - Veegmachine - Stofzuiger	<ul style="list-style-type: none"> - Grootte reservoir - Mate van vulling reservoir - Binnen / buiten (wordt voornamelijk buiten gedaan) - Frequentie (wordt niet vaak gedaan) - Handmatig / geautomatiseerd 	Geselecteerd voor meetstudie. Inschatting worst-case omstandigheden: <ul style="list-style-type: none"> - Groot reservoir

Blootstellings-scenario	Variatie in parameters in relatie tot blootstelling	Overwegingen met betrekking tot meetstrategie
<ul style="list-style-type: none"> - Zuigmachine - Lokaal afzuigstelsysteem - Mechanisch ventilatiesysteem 	<ul style="list-style-type: none"> - Handmatig: manier van werken (manier van leegstorten, al dan niet leegschudden, manier van met afval omgaan) - Grootte (vuil)container waarin wordt geleege - Grootte opening (vuil)container waar in wordt geleege - Valhoogte (drop height) - Al dan niet lokale afzuiging - Al dan niet mechanische ventilatie (indien binnen) - Storten van gebruikt straalgrit, storten van opgevangen stof 	<ul style="list-style-type: none"> - Vol reservoir / grote hoeveelheid (leggen van big bags gebruikt straalgrit in container) - Handmatig - Binnen - Kleine container waarin wordt geleege - Grote opening container - Grote valhoogte - Geen lokale afzuiging - Geen mechanische ventilatie
g. Opslaan / verpakken gebruikt straalgrit		<p>Niet geselecteerd voor meetstudie.</p> <p>Aangenomen wordt dat de activiteiten vullen (2), vervangen / schoonmaken filterunits (3e) en leggen van reservoirs/opvangbakken/-zakken (3f) meer worst-case zijn. Inschatting blootstelling d.m.v. extrapolatie van resultaten van deze activiteiten.</p>
h. Opruimen / schoonmaken apparatuur		<p>Niet geselecteerd voor meetstudie.</p> <p>Afhankelijk van de omstandigheden bestaat dit subscenario over het algemeen uit een combinatie van de activiteiten vegen (3a), scheppen (3b), opzuigen (3c) en schoonblazen (3d). Daarom is besloten om dit niet als aparte activiteit mee te nemen in de meetstudie.</p> <p>Inschatting blootstelling d.m.v. extrapolatie van resultaten van deze activiteiten, eventueel aangevuld met info uit externe bronnen</p>
4. Onderhoud van (straal-) apparatuur		
Onderhoud van (straal-) apparatuur		<p>Niet geselecteerd voor meetstudie.</p> <p>Aangenomen wordt dat eventuele blootstelling met name plaatsvindt tijdens schoonmaakwerkzaamheden (3). Inschatting blootstelling d.m.v. extrapolatie van resultaten van deze activiteiten, eventueel aangevuld met info uit externe bronnen.</p>
5. Omstanders (tijdens straalwerkzaamheden in het werkgebied)		

Blootstellings-scenario	Variatie in parameters in relatie tot blootstelling	Overwegingen met betrekking tot meetstrategie
Omstanders (tijdens straalwerkzaamheden in het werkgebied)	<p>Mangatwacht of veiligheidsinspecteur</p> <ul style="list-style-type: none"> - Buiten de straalzone, bij de opening van de straaltent (buiten) of de entree van de tank (mangat) (buiten) - Buiten de straalzone, in de ruimte - Buiten de straalzone, in een andere ruimte (afvoer van de ventilatiesysteem van de ruimte waar wordt gestraald uitkomt in een andere ruimte, bijvoorbeeld de werkplaats) <p>Omstanders van straalwerkzaamheden van objecten buiten / in woongebied (straalwerkzaamheden worden over het algemeen in een straaltent uitgevoerd)</p>	<p>Geselecteerd voor meetstudie door middel van stationaire metingen bij uitvoering van stralen (1) en vullen (2) op verschillende afstanden (binnen en buiten)</p> <p>Het mangat is altijd open tijdens stralen. Over het algemeen is er sprake van een inwaartse luchtstroom (onderdruk) in verband met het aanwezige ventilatiesysteem.</p> <p>Er wordt aangegeven dat zelden personen in dezelfde ruimte aan het werk zijn i.v.m. de hoge geluidsbelasting.</p>
6. Werkers in verontreinigd gebied waar gestraald is (na straalwerkzaamheden in het werkgebied)		
a. Inspectie na stralen	<ul style="list-style-type: none"> - Binnen / buiten - Mate van verontreiniging van de ruimte - Tijd tussen stralen en inspectie - Grootte van de ruimte - In hoeverre de omgeving is schoongemaakt voordat deze werkzaamheden worden uitgevoerd - Al dan niet mechanische ventilatie (indien binnensituatie) 	<p>Geselecteerd voor meetstudie (in combinatie met verplaatsen (6d)).</p> <p>Inschatting worst-case omstandigheden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Binnen - Niet schoongemaakt - Kleine ruimte - Korte tijdtijd na stralen (15 minuten) - Geen mechanische ventilatie <p>Een tank wordt vaak snel schoongemaakt, omdat het oppervlak zo snel mogelijk moet worden gecoat om corrosie tegen te gaan. Het kan zo zijn dat er na het stralen even wordt gewacht tot het meeste stof weg is d.m.v. ventilatie, er dan wordt geïnspecteerd en daarna het oppervlak meteen wordt gecoat, en pas daarna het straalgrit wordt opgeruimd. In geval van een tankbodem moet het straalgrit sowieso worden opgeruimd voordat kan worden gecoat.</p> <p>Bij constructies blijft het straalgrit vaker langer liggen en lopen werknemers vaker en langer in verontreinigd gebied.</p>

Blootstellings-scenario	Variatie in parameters in relatie tot blootstelling	Overwegingen met betrekking tot meetstrategie
		<p>Vaak wordt op basis van een visuele inschatting (zicht) besloten of de ruimte kan worden betreden voor inspectie (vaak na een tijdje ventileren). Hierbij moet worden opgemerkt dat respirabel stof minder goed zichtbaar is en langer in de lucht blijft hangen voordat het neerslaat</p>
<p>b. Handelingen aan of nabij gestraalde oppervlakken</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mate van verontreiniging van oppervlakken - In hoeverre de omgeving is schoongemaakt voordat deze werkzaamheden worden uitgevoerd - Tijd tussen stralen en handelingen - Grootte van de ruimte - Welke tools worden gebruikt - Afstand tot het oppervlak - Grootte van het oppervlak - Binnen / buiten - Al dan niet mechanische ventilatie (indien binnen) 	<p>Geselecteerd voor meetstudie.</p> <p>Inschatting worst-case omstandigheden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Veel verontreiniging - Omgeving niet schoongemaakt - Korte tijd na stralen - Kleine ruimte - Powertools met hoge energie - Korte afstand tot oppervlak - Groot oppervlak - Binnen - Geen mechanische ventilatie
<p>c. Afbreken van materieel, steigers, of schermen in een vervuilde ruimte of met vervuild materieel</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mate van verontreiniging - In hoeverre de omgeving is schoongemaakt voordat deze werkzaamheden worden uitgevoerd - Tijd tussen stralen en handelingen - Grootte van de ruimte - Hoogte van de steiger - Grootte van het materieel / steiger - Binnen / buiten - Al dan niet mechanische ventilatie (indien binnen) 	<p>Geselecteerd voor meetstudie.</p> <p>Inschatting worst-case omstandigheden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Legen van pijpen die vol zitten met straalgrit - Wegnemen en schoon tikken van de looppdelen (zit vaak veel fijn stof in de delen waarmee het loopdeel wordt bevestigd aan de steiger) - Veel verontreiniging - Niet schoongemaakt - Korte tijd na stralen - Binnen - Kleine ruimte - Beneden in de ruimte (onderste deel steiger dan wel op vloerniveau) - Geen mechanische ventilatie
<p>d. Verplaatsen in een ruimte / omgeving waar gestraald is</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mate van verontreiniging van de ruimte (vloer, steigerdelen) → of er vooraf al dan niet (een deel van het) straalgrit is opgeruimd - Mate van activiteit in de ruimte (lopen of rijden met bijvoorbeeld heftrucks, verplaatsen van slangen over de vloer) - Grootte van de ruimte - Binnen / buiten - Al dan niet mechanische ventilatie (indien binnen) 	<p>Geselecteerd voor meetstudie (in combinatie met inspectie (6a)).</p> <p>Inschatting worst-case omstandigheden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Veel verontreiniging - Veel activiteit - Binnen - Kleine ruimte - Geen mechanische ventilatie

Blootstellings-scenario	Variatie in parameters in relatie tot blootstelling	Overwegingen met betrekking tot meetstrategie
e. Activiteiten in een ruimte / omgeving waar straalgrit ingesleept is (secundaire verontreiniging)	<ul style="list-style-type: none"> - Mate van verontreiniging van de ruimte - Mate van activiteit in de ruimte - Grootte van de ruimte - Binnen / buiten - Al dan niet mechanische ventilatie (indien binnen) 	<p>Niet geselecteerd voor meetstudie.</p> <p>Niet als aparte activiteit meenemen in meetstudie; gecovered door activiteit 6d.</p> <p>Wordt aangenomen dat de blootstelling tijdens deze activiteiten (veel) lager is dan bij bijvoorbeeld inspectie (6a) of verplaatsen (6d) omdat het secundaire verontreiniging betreft, en er dus (veel) minder gebruikt straalgrit dan wel stof in deze ruimtes ligt.</p> <p>Inschatting blootstelling d.m.v. extrapolatie van resultaten inspectie (6a) en/of verplaatsen (6d), wat als meer worst-case wordt ingeschat, eventueel aangevuld met info uit externe bronnen.</p>
7. Transport van straalgrit en straalgrit-houdend materieel		
Transport van straalgrit en straalgrit-houdend materieel	<ul style="list-style-type: none"> - Transport in verpakkingsmateriaal (zakken) / in silo's / in open reservoirs/bakken - Wordt soms gecombineerd met het storten van straalgrit (10 tot 6.000 kg/uur - Binnen / buiten 	<p>Niet geselecteerd voor meetstudie.</p> <p>Wordt aangenomen dat eventuele blootstelling met name tijdens het storten plaatsvindt, maar dat dit voornamelijk geautomatiseerd gebeurt, waarbij de chauffeur zich op enige afstand dan wel in de cabine bevindt.</p> <p>Inschatting blootstelling d.m.v. extrapolatie van resultaten vullen (2), wat als meer worst-case wordt ingeschat</p>

De meetstrategie zoals toegepast tijdens deze meetstudie richtte zich in eerste instantie op het verzamelen van persoonlijke taakgerichte metingen tijdens de uitvoering van bepaalde activiteiten, om zo inzicht te verkrijgen in de blootstelling aan respirabel stof (en afgeleid daarvan de blootstelling aan asbestvezels) tijdens deze activiteiten. Wanneer informatie over de mate van blootstelling tijdens verschillende activiteiten wordt gecombineerd met informatie over blootstellingsprofielen ⁷ en informatie over de duur en frequentie van blootstelling

⁷ Binnen dit onderzoek wordt met de term blootstellingsprofiel een representatieve weergave/invulling van een werkdag (of verschillende soorten werkdagen) bedoeld. Onderdelen die hierbij een rol spelen zijn

kunnen risicoprofielen worden opgesteld, op basis waarvan de kans dat de betrokken (groepen) medewerkers gezondheidsschade zullen hebben opgelopen kan worden ingeschat. Naast persoonlijke metingen zullen voor sommige blootstellingsscenario's ook stationaire metingen worden ingezet om een idee te krijgen van de mate van verspreiding. Daarnaast is in een aantal gevallen parallel zowel binnen als buiten de straalkep de stofconcentratie gemeten, om een idee te krijgen van de effectiviteit van deze vorm van adembescherming.

Bij de opzet van de meetstrategie is gekozen voor een (realistische) worst-case aanpak op basis van de aanname dat wanneer deze activiteit of een vergelijkbare activiteit onder minder worst-case omstandigheden wordt uitgevoerd, de blootstelling lager zal zijn. Voorbeelden van minder worst-case omstandigheden zijn:

- Werkzaamheden buiten dan wel in een grotere ruimte;
- Werkzaamheden waarbij gebruik wordt gemaakt van mechanische ventilatie dan wel afzuiging;
- Werkzaamheden met vochtig materiaal dan wel het bevochtigen van de lucht in de werkomgeving tijdens het uitvoeren van de werkzaamheden;
- Werkzaamheden met kleinere hoeveelheden materiaal;
- Werkzaamheden waarbij de mate van verontreiniging kleiner is.

Om voldoende inzicht te verkrijgen in de variatie binnen en tussen locaties en binnen en tussen personen was het uitgangspunt van de meetstrategie om elke geselecteerde activiteit op minimaal 3 verschillende locaties te bemeten, waarbij per locatie minimaal 3 persoonlijke metingen zouden moeten worden verzameld om zo per activiteit minimaal 9 persoonlijke metingen te verzamelen. Daarnaast was het uitgangspunt om per locatie per activiteit minimaal 2 personen te bemeten, en zoveel mogelijk herhaalde metingen te verzamelen.

Ten behoeve van het blootstellingsonderzoek is per meetlocatie een gedetailleerd meetprotocol opgesteld, waarbij is uitgegaan van arbeidshygiënische principes. Hierbij is zoveel mogelijk rekening gehouden met de omstandigheden op de betreffende meetlocatie, bijvoorbeeld met betrekking tot de volgorde van de te bemeten activiteiten per meetsessie. Zo werden metingen tijdens inspectie dan wel verplaatsen altijd uitgevoerd aan het begin van de meetdag dan wel na een pauze, zodat er voldoende tijd tussen deze en de voorafgaande activiteit zat en het stof dat mogelijk was ontstaan tijdens de voorgaande activiteit voldoende tijd had om afgezogen te worden dan wel neer te slaan. Een samenvatting van dit meetprotocol per geselecteerde activiteit is opgenomen in Tabel 13.

bijvoorbeeld de activiteit die wordt of combinatie van activiteiten die worden uitgevoerd op een werkdag, de omstandigheden waaronder deze activiteit(en) word(t)(en) uitgevoerd, de (gemiddelde) duur van een activiteit op een werkdag, hoeveel medewerkers tegelijkertijd bij elkaar in de buurt dezelfde activiteit uitvoeren (in verband met secundaire blootstelling), en welke andere activiteiten er wellicht door andere medewerkers in de buurt worden uitgevoerd (in verband met secundaire blootstelling). Een blootstellingsprofiel kan zowel een individuele medewerker als een groep medewerkers (bijv. voor een bepaalde functiegroep) betreffen.

Tabel 13: Samenvatting van het meetprotocol per geselecteerde activiteit

Geselecteerde activiteiten per blootstellingsscenario	Meetprotocol per activiteit
<p>1. Stralen</p> <p>a. Besloten ruimte (tank, straalcabine) b. Straaltent (buiten)</p>	<p>Tijdens het stralen worden zeer hoge concentraties respirabel stof verwacht. Het is derhalve relevant om tijdens de metingen ook de effectiviteit van de ademhalingsbescherming die stralers veelal gebruiken (straalkap) mee te nemen. Daarnaast wordt het relevant geacht om zowel in binnensituaties (tank of straalcabine) als in buitensituaties (straaltent) te meten, om hier onderscheid tussen te kunnen maken. Naast de persoonlijke metingen zullen ook stationaire metingen worden uitgevoerd op toenemende afstand van de straalwerkzaamheden, om zodoende inzicht te krijgen in de blootstelling van personen die zich in de nabijheid van het straalproces hebben bevonden.</p> <p>Meetduur PAS-meting minimaal 15 minuten (bij voorkeur langer, maximaal duur van een shift).</p> <p>Minimaal PAS-meting binnen de straalkap, indien mogelijk parallelle PAS-metingen binnen en buiten straalkap.</p> <p>Indien meerdere personen tegelijkertijd aan het werk zijn deze ook tegelijkertijd bemeten.</p> <p>Per meetsessie verschillende stationaire metingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 binnen, 15 min - 1 binnen, duur PAS-meting straler(s) - 1 buiten, bij mangat/opening (<1 meter) - 1 buiten, verder van mangat/opening (>5 meter), waarbij het meetpunt benedenwinds van mangat/opening wordt geplaatst <p>NB1: stationaire metingen in tank naast elkaar plaatsen NB2: stationaire metingen in de tank dienen als proxi voor concentratie respirabel stof buiten straalkap NB3: variatie in meetduur stationaire metingen binnen in verband met mate van belading filters NB3: stationaire metingen buiten de tank dienen als proxi voor zowel omstanders als omwonenden</p>
<p>2. Vullen van reservoirs/ketels en/of straalapparatuur</p> <p>a. Vullen / storten vanuit vulsilo b. Vullen vanuit emmers / zakken</p>	<p>In verband met mogelijke verschillen in blootstelling tussen het vullen van een straalketel vanuit een vulsilo en vanuit zakken wordt het relevant geacht om beide activiteiten te bemeten.</p> <p>Meetduur PAS-meting zo lang mogelijk, bij voorkeur minimaal 5-10 minuten per shift.</p>

Geselecteerde activiteiten per blootstellingsscenario	Meetprotocol per activiteit
	<p>De tijd dat een ketelboy / dieselwacht per shift (van 1,5-2 uur) daadwerkelijk bezig is met vullen is relatief kort. Daarom alleen het daadwerkelijke vullen bemeten (en dus de pompen van zowel de PAS als de STAT-metingen alleen aanzetten als er daadwerkelijk wordt gevuld).</p> <p>Indien meerdere personen tegelijkertijd aan het werk zijn deze ook tegelijkertijd bemeten.</p> <p>Per meetsessie 1 stationaire meting nabij het stortpunt (\pm 3 meter), waarbij het meetpunt in de windrichting) wordt geplaatst.</p> <p>NB: stationaire meting nabij stortpunt dient als proxi voor zowel omstanders als omwonenden</p>
3. Opruimen van gebruikt straalgrit en schoonmaken van vervuilde oppervlakken	
<ul style="list-style-type: none"> b.Scheppen d.Schoonblazen (perslucht) e. Vervangen / schoonmaken filterunits f. Legen van reservoir / opvangzak / bak 	<p>Meetduur PAS-meting minimaal 10 minuten per activiteit.</p> <p>Indien de werknemer gebruik maakt van een straalkap tijdens de uitvoering van de activiteit dan wordt de cycloon buiten de straalkap geplaatst.</p> <p>Indien meerdere personen tegelijkertijd aan het werk zijn deze ook tegelijkertijd bemeten.</p> <p>NB: Bij deze activiteiten worden geen stationaire metingen verzameld.</p>
6. Werkers in verontreinigd gebied waar gestraald is (na straalwerkzaamheden in het werkgebied)	
<ul style="list-style-type: none"> a. Inspectie na stralen / d. Verplaatsen in een ruimte / omgeving waar gestraald is b. Handelingen aan of nabij gestraalde oppervlakken c. Afbreken van materieel, steigers, of schermen in een vervuilde ruimte of met vervuild materieel d. Verplaatsen in een ruimte / omgeving waar gestraald is 	<p>Meetduur PAS-meting minimaal 10 minuten per activiteit.</p> <p>Indien meerdere personen tegelijkertijd aan het werk zijn deze ook tegelijkertijd bemeten.</p> <p>Per meetsessie 1 stationaire meting, op enige afstand van waar gewerkt wordt. Indien per meetsessie meer dan twee PAS-metingen worden verzameld ook meerdere STAT-metingen uitvoeren.</p>

Tijdens de eerste meetdag (de pilot) zijn een aantal zaken, zoals meetduur en positionering van de monsternameapparatuur, uitgeprobeerd om te komen tot een goed monsternameprotocol.

Tijdens de organisatie van de meetstudie bleek het lastig om geschikte meetlocaties te vinden waar aluminiumsilicaat straalgrit zou worden toegepast, onder andere omdat de straalbedrijven voor een groot deel zijn overgestapt naar het gebruik van andere soorten straalgrit voor de straalwerkzaamheden waar eerder

aluminiumsilicaat straalgrit voor werd gebruikt. Daarnaast waren er soms problemen met de levering van het aluminiumsilicaat straalgrit, waardoor geplande werkzaamheden werden uitgesteld. Door middel van intensief contact met een aantal straalbedrijven waarvan bekend was dat zij gebruik maken van aluminiumsilicaat straalgrit is het gelukt om op verschillende locaties metingen te verzamelen tijdens reguliere geplande werkzaamheden onder in de praktijk veelvuldig voorkomende omstandigheden. Daarnaast waren twee straalbedrijven bereid om op een van hun eigen bedrijfslocaties bepaalde praktijksituaties onder zoveel mogelijk worst-case omstandigheden na te bootsen, zodat er voor bepaalde activiteiten voldoende metingen konden worden verzameld.

Tijdens de organisatie van de meetstudie bleek dat sommige van de geselecteerde activiteiten in de praktijk sporadisch worden uitgevoerd, waardoor het niet mogelijk was om deze mee te nemen in de meetstudie. Daarnaast bleek dat voor de verschillende activiteiten de worst-case omstandigheden zoals bepaald tijdens het opstellen van de meetstrategie in de praktijk niet altijd konden worden gerealiseerd. Zo lag de toegepaste druk en grootte van de straalnozzle vast aangezien deze samenhangt met het te stralen object en was het in verband met de veiligheid van de stralers niet mogelijk om de ventilatie te reduceren. Daarnaast kon bijvoorbeeld over het algemeen ook de vulhoogte, vulopening en vulsnelheid niet worden bepaald. Er wordt echter aangenomen dat de omstandigheden waaronder de metingen zijn uitgevoerd over het algemeen kunnen worden gezien als realistische worst-case omstandigheden, en dat de resultaten daarom representatief zijn voor de doel van het onderzoek.

4.2 Meetmethode en bepaling hoeveelheid respirabel stof in luchtmonsters

Er zijn zowel persoonlijke metingen uitgevoerd in de ademzone van werknemers, als ook stationaire metingen op een aanzuighoogte van circa 1,5 meter, welke op verschillende posities ten opzichte van de werkzaamheden (en dus de locatie van de persoonlijke metingen) zijn geplaatst.

De respirabel stofmetingen zijn uitgevoerd met behulp van 25 mm Teflon filters met een poriegrootte van 5 μm (Millipore PTFE membraanfilters (type LS) en Millipore PTFE Mitex membraanfilters (type LSWP)). Deze Teflon filters zijn bevestigd in kunststof cycloon samplers voor respirabel stof (SKC, type 225-69; Casella, Higgins-Dewell cycloon 116000B).

Voor zowel de persoonsgebonden als de stationaire metingen is gebruik gemaakt van draagbare accupompjes (Casella APEX 2), welke waren ingesteld op een debiet van 2,2 L/min. Zowel voor als na de monsterneming is het ingestelde debiet gecontroleerd met een debietmeter (Bios Defender 510).

De stofconcentratie op elk Teflon-filter is gravimetrisch bepaald door de filters zowel voor als na monsterneming te wegen tot constant gewicht op een microbalans

in een geconditioneerde weegkamer. Alle metingen met een niet-detecteerbare waarde kregen een waarde van 2/3 van de detectielimiet van de bepaling toegekend.⁸ De detectielimiet was 5 µg/filter. Indien bij het verwijderen van het Teflon-filter uit de filterhouder van de cycloon (insert) bleek dat er ook stof op de filterhouder achterbleef (een teken dat het filter zwaar beladen is), is de hoeveelheid stof op de filterhouder bepaald door deze eerst met stof te wegen, daarna de filterhouder schoon te maken en nogmaals te wegen op dezelfde microbalans. Daarnaast is indien van toepassing de hoeveelheid stof dat los op het filter lag en dat door de handelingen tijdens het wegen los in de petrischaal terecht is gekomen, bepaald met behulp van de microbalans. De (indicatief) bepaalde hoeveelheden stof op de filterhouder dan wel in de petrischaal zijn opgeteld bij de hoeveelheid stof op het filter.

4.3 Beschrijving meetlocaties

In onderstaande tabellen wordt per bemeten activiteit een samenvatting gegeven van de omstandigheden (contextuele informatie) waarbij de metingen zijn uitgevoerd op de verschillende meetlocaties, inclusief het aantal uitgevoerde meetsessie en verzamelde metingen. In Bijlage 2 is beeldmateriaal van de meetsessies op de verschillende meetlocaties opgenomen, om een indruk te geven van de uitgevoerde werkmethode en de omstandigheden in de ruimte tijdens de metingen. Helaas was het niet op alle meetlocaties toegestaan om foto's te nemen, en konden in verband met veiligheidsoverwegingen niet tijdens alle activiteiten foto's worden genomen (bijvoorbeeld gedurende het stralen). Daarnaast worden de foto's in zwart-wit weergegeven en zijn de foto's bewerkt om te zorgen dat herkenbare personen en items niet langer herkenbaar zijn, om te zorgen dat de deelnemende bedrijven en meetlocaties niet herleidbaar zijn.

De metingen die zijn verzameld op 17 mei en 24 mei betreffen meetlocaties waar bepaalde praktijksituaties onder realistische worst-case omstandigheden zijn nagebootst (semi-praktijksituatie), terwijl de rest van de metingen is verzameld tijdens reguliere geplande werkzaamheden onder in de praktijk voorkomende omstandigheden.

Er is op zeven verschillende locaties gemeten tijdens straalwerkzaamheden (zie Tabel 14), waarbij de eerste meetlocatie de pilot betrof. Daarnaast is op drie locaties tijdens straalwerkzaamheden in een besloten ruimte gemeten en is op drie locaties tijdens straalwerkzaamheden in een straaltent gemeten. De diameter van de gebruikte straalnozzles varieerde van 8 tot 12 mm, en de druk waarbij werd gestraald varieerde tussen de 6,75 en 8 bar. De grootte van de ruimte waarin werd

⁸ Hoewel er op verschillende manieren kan worden omgegaan met waarden onder de detectiegrens van een bepaalde bepaling, welke veelal zijn gebaseerd op de distributie van de meetset als geheel (CEN, 2018), wordt gezien het relatief kleine aantal monsters met een stofconcentratie onder de detectielimiet (8%) en feit dat deze monsters verspreid over de dataset voorkomen aangenomen dat in dit geval de eenvoudige manier van omgaan met waarden onder de detectielimiet, namelijk het toekennen van een waarde van 2/3 van de detectielimiet, volstaat, zeker ook omdat we binnen dit onderzoek met name geïnteresseerd zijn in de bovenkant van de blootstellingsdistributie.

gestraald varieerde tussen de 40 en de 5500 m³, waarbij de inhoud van de straaltenten duidelijk kleiner was dan de inhoud van de besloten ruimtes. Er waren wisselend één of twee stralers tegelijkertijd aan het werk in dezelfde ruimte. Op vijf meetlocaties is gebruik gemaakt van Asilicos aluminiumsilicaat straalgrit (korrelgrootte 0,5-0,8 of 0,2-1,4 mm) en op twee meetlocaties is gebruik gemaakt van Excellent aluminiumsilicaat straalgrit (korrelgrootte 0,5-0,8 of 0,25-1,4 mm). De capaciteit van de in de ruimtes gehanteerde ventilatiesystemen varieerde tussen de 3.600 en 21.000 m³ lucht/uur. Helaas bleek het vaak lastig om de tijdens de metingen de gebruikte hoeveelheid straalgrit en het gestraalde oppervlakte te bepalen, dus deze informatie is niet voor alle metingen voorhanden.

Tabel 14: Overzicht van omstandigheden op de verschillende meetlocaties waar is gemeten tijdens straalwerkzaamheden

Datum	Straalbedrijf	Locatie	Activiteit	Omstandigheden	Metingen
23-03	Bedrijf A	1A (pilot)	Binnen stralen stalen wand opslagtank, op een steiger (±6 meter hoog)	Ruimte 8 m hoog, diameter 5 m, inhoud 157 m ³ Straalgrit Asilicos 0,2-1,4 mm Diameter straalnozzle 10 mm Druk (compressor) 10 bar Use rate 200 kg/uur Gestraald oppervlak 10 m ² Ventilatie 6.000 m ³ /uur Verversing 8,5 x/uur	1 meetsessie, 1 persoon: - 1 PAS - onder straalkap - 1 STAT - binnen 15 min
12-04 en 13-04	Bedrijf A	1B	Buiten in straaltent stralen stalen buitenkant tank (39m ²) en buitenkant vat (55.2m ²), op een steiger	Straaltent bestaat uit twee delen, inhoud 480 m ³ en 650 m ³ Straalgrit Asilicos 0,2-1,4 mm Diameter straalnozzle 6,5 mm Druk (compressor) 6,75 bar / druk (nozzle) 6,25 bar Ventilatie 6.000/10.000 m ³ /uur Verversing 12,5/15,4 x/uur	4 meetsessies, 2 personen tegelijkertijd: - 8 PAS - onder straalkap - 3 STAT - binnen 15 min - STAT - binnen duur PAS - STAT - buiten (<1 m) - 1 STAT - buiten (>5 m)
30-04 en 01-05	Bedrijf A	1C	Binnen stralen stalen wand opslagtank, op een steiger	Ruimte 18,42 m hoog, diameter 19,5 m, inhoud 5.503 m ³ Straalgrit Asilicos 0,2-1,4 mm Diameter straalnozzle 8 mm Druk (compressor) 8-8,4 bar Ventilatie 6.000 m ³ /uur Verversing 1,6 x/uur	5 meetsessies, 2 personen tegelijkertijd: ¹ - 8 PAS - onder straalkap - 2 PAS - buiten straalkap - 8 STAT - binnen duur PAS - STAT - buiten (<1 m) - 5 STAT - buiten (>5 m)
17-05	Bedrijf B	2A	Binnen in straalcabine stralen stalen wand container en H-balk	Ruimte 28x15x7 m, inhoud 2.940 m ³ Straalgrit Excellent 0,5-0,8 mm Diameter straalnozzle 12 mm Druk (compressor) 8 bar / druk (nozzle) 6,5 bar Ventilatie 21.000 m ³ /uur ³ Verversing 7,1x/uur	3 meetsessies, 1 persoon: ² - 3 PAS - onder straalkap - 3 PAS - buiten straalkap - 3 STAT - binnen duur PAS - 3 STAT - buiten (<1 m)
17-05	Bedrijf B	2B	Buiten in straaltent,	Inhoud straaltent 40 m ³ Straalgrit Asilicos 0,5-0,8 mm	3 meetsessies, 1 persoon: ² - 3 PAS - onder straalkap - 3 PAS - buiten straalkap

Datum	Straalbedrijf	Locatie	Activiteit	Omstandigheden	Metingen
			stralen stalen H-balk	Diameter straalnozzle 8-12 mm ⁴ Druk (compressor) 8-8,25 bar Ventilatie 3.600 m ³ /uur ⁵ Verversing 90 x/uur	- 3 STAT - binnen duur PAS - 3 STAT - buiten (<1 m)
24-05	Bedrijf C	3	Binnen in straalcabine stralen stalen wand container	Ruimte 10x5x5,35 m, inhoud 267,5 m ³ Straalgrit Excellent 0,25-1,4 mm Diameter straalnozzle 10 mm Druk (compressor) 8 bar Use rate 80-100 L/sessie Gestraald oppervlak 3,2-6,5 m ² /sessie Ventilatie 19.500 m ³ /uur ⁶ Verversing 73x/uur	3 meetsessies, 2 personen wisselend: ² - 3 PAS - onder straalkap - 3 PAS - buiten straalkap - 3 STAT - binnen duur PAS - 3 STAT - buiten (<1 m)
29-05	Bedrijf B	4	Buiten in straaltent stralen onderkant stalen tank (pootjes)	Inhoud straaltent 160 m ³ Straalgrit Asilicos 0,5-0,8 mm Diameter straalnozzle 8 mm Druk (compressor) 8,5 bar Gestraald oppervlak 2 m ² /sessie Ventilatie 3.600 m ³ /uur ⁵ Verversing 22,5 x/uur	2 meetsessies, 1 persoon: ⁷ - 1 PAS - onder straalkap - 2 PAS - buiten straalkap - 2 STAT - binnen duur PAS - 1 STAT - buiten (<1 m) - 1 STAT - buiten (>5 m)

¹ Tijdens 1 van de 5 meetsessies zijn alleen stationaire metingen uitgevoerd, tijdens 1 van de 5 meetsessies is zowel binnen als buiten de straalkap gemeten.

² Omdat de straalcabine deel uitmaakt van een grotere loods, is besloten om alleen in de buurt van de ingang van de straalcabine een stationair meetpunt op te stellen.

³ Om de ventilatiecapaciteit iets meer in overeenstemming te brengen met de situatie tijdens straalwerkzaamheden op locatie stond slechts 1 van de 2 ventilatoren aan tijdens het stralen (capaciteit 350 m³/min per afzuigunit, normaliter 42.000 m³/uur).

⁴ Gezien de grote stofontwikkeling is na de eerste meetsessie besloten om over te stappen naar een kleinere straalnozzle.

⁵ Ventilatie straaltent via straal/zuig unit (vrachtauto).

⁶ Ventilatiesysteem van straalcabine niet regelbaar (29.000 m³/uur). Om de ventilatie iets terug te brengen tijdens het stralen is besloten om de eerste 5 minuten na het beginnen van het stralen de ventilatie uit te zetten, en daarna de laatste 10 minuten de ventilatie weer aan te zetten.

⁷ In verband met de korte duur van de activiteiten is er voor gekozen om de PAS-metingen binnen de straalkap en de twee stationaire metingen buiten de straaltent gedurende de duur van de twee achtereenvolgende meetsessies te laten lopen.

Er is op zes verschillende locaties gemeten tijdens vulwerkzaamheden (zie Tabel 15), waarvan de werkzaamheden op vier meetlocaties buiten en op twee meetlocaties binnen zijn uitgevoerd. Op één meetlocatie is gevuld met behulp van zowel een vulsilo als zakken, op twee meetlocaties is gevuld met behulp van of alleen zakken of alleen een vulsilo, en op één meetlocatie is gevuld vanuit een straal/zuig unit. Op vier meetlocaties is gebruik gemaakt van Asilicos aluminiumsilicaat straalgrit (korrelgrootte 0,5-0,8 of 0,2-1,4 mm) en op twee meetlocaties is gebruik gemaakt van Excellent aluminiumsilicaat straalgrit (korrelgrootte 0,25-1,4 mm). Indien de

hoeveelheid straalgrit die werd gevuld bekend was, varieerde deze tussen de 25 en 1.000 kg per meetssessie.

Tabel 15: Overzicht van omstandigheden op de verschillende meetlocaties waar is gemeten tijdens vulwerkzaamheden

Datum	Straalbedrijf	Locatie	Activiteit	Omstandigheden	Metingen
12-04 en 13-04	Bedrijf A	1B	Buiten vullen straalketel vanuit wisselend een vulsilo (2.000 kg) en zakken (25 kg)	Straalgrit Asilicos 0,2-1,4 mm Grootte straalketel 300 kg Grootte vulopening 80-100 cm ¹ Valhoogte straalketel (0,5-1,5 m) + trechter (0,3 m) 3x vullen per sessie Hoeveelheid onbekend ² Open vulsysteem Handmatig zakken leggen met beleid ³ of handmatige bediening	4 meetssessies, 2 personen wisselend: - 4 PAS - op revers - 4 STAT - op enige afstand van vulopening (3-5 m)
30-04 en 01-05	Bedrijf A	1C	Buiten vullen straalketel vanuit 25 zakken (25 kg)	Straalgrit Asilicos 0,2-1,4 mm Grootte straalketel 300 kg Grootte vulopening 80-100 cm ¹ Valhoogte straalketel (0,5-1,5 m) + trechter (0,3 m) 1x vullen per sessie Hoeveelheid 50-550 kg per sessie met 2 personen Open vulsysteem Handmatig zakken leggen, met beleid ²	4 meetssessies, 2 personen tegelijkertijd: - 8 PAS - op revers - 4 STAT - op enige afstand van vulopening (3-5 m)
17-05	Bedrijf B	2B	Buiten vullen bigbag vanuit vulsilo (30.000 kg)	Straalgrit Asilicos 0,5-0,8 mm Grootte bigbag 1.000 kg Grootte vulopening 2,25 m ² (opening bigbag) Valhoogte slang (3 m) + bigbag (1-1,5 m) 1x vullen per sessie Hoeveelheid 330 kg per sessie Semi-open vulsysteem ⁴ Handmatige bediening	3 meetssessies, 1 persoon: - 3 semi-PAS ⁵ - 3 STAT - op enige afstand van vulopening (3-5 m)
24-05	Bedrijf C	3	Binnen vullen van een vulsilo met zakken (25 kg)	Straalgrit Excellent 0,25-1,4 mm Grootte vulsilo 1.000 kg Grootte vulopening 2,25 m ² (bovenkant bigbag) Valhoogte vulsilo (0,1-1,5 m) 1x vullen per sessie Hoeveelheid 325-350 kg per sessie Open vulsysteem Handmatig zakken legen, met minder beleid	3 meetssessies 2 personen, wisselend: - 3 PAS - op revers - 3 STAT - op enige afstand van vulopening (3-5 m)
24-05	Bedrijf C	3	Binnen vullen van een bigbag (2x) of	Straalgrit Excellent 0,25-1,4 mm Grootte vulsilo/bigbag 1.000 kg	3 meetssessies, 2 personen, wisselend: - 3 PAS - op revers

Datum	Straalbedrijf	Locatie	Activiteit	Omstandigheden	Metingen
			een vulsilo (1x) vanuit vulsilo (2x 500 kg) of een bigbag (1x 1.000 kg)	Grootte vulopening 2,25 m ² (bovenkant vulsilo/bigbag) Valhoogte vulsilo/bigbag (0,1-1,5 m) 1x vullen per sessie Hoeveelheid 500-1000 kg per sessie Open vulsysteem Handmatige bediening	- 3 STAT - op enige afstand van vulopening (3-5 m)
29-05	Bedrijf B	4	Buiten, operator van de straal/zuigunit	Straalgrit Asilicos 0,5-0,8 mm Continue proces, operator niet direct betrokken bij het vullen	1 meetsessie, 1 persoon: - 1 PAS - op revers

¹ De straalketel is voorzien met een taps toelopende trechter met onderin (op het smalste punt) een zeef. Hierdoor zakt het straalgrit vrij langzaam in de straalketel en worden de zakken redelijk met beleid geleegd, omdat deze niet in 1x in z'n geheel in de trechter past.

² Hoeveelheid onbekend, omdat per meetsessie 1 of 2x een onbekende hoeveelheid werd gevuld vanuit de vulsilo. Per meetsessie werd echter ook 1 of 2x een bekende hoeveelheid met behulp van zakken gevuld, wat varieerde tussen de 1 en 10 zakken (25-250 kg).

³ De zak wordt of op de stapel met zakken opengesneden en dan op de rand van de trechter van de straalketel gelegd om ook vanaf de rand te worden geleegd, of de zak wordt op de rand van de trechter van de straalketel gelegd en opengesneden en dan ook van de rand af geleegd.

⁴ Semi-open wil hier zeggen dat het straalgrit eerst via een dicht systeem via een slang uit de vulsilo wordt geleid, maar uiteindelijk wel in een bigbag valt die van boven open is.

⁵ Omdat de bediening van de vulsilo zich op enige afstand van de vulopening bevond zijn dichtbij de vulopening stationaire metingen uitgevoerd om een idee te krijgen van de mate van emissie op deze positie. Deze stationaire metingen worden gezien als proximi voor de persoonlijke blootstelling en zijn in de berekeningen verder meegenomen als PAS-meting.

Er is op drie verschillende locaties gemeten tijdens opruimwerkzaamheden, waarbij op drie locaties is gemeten tijdens het schoonblazen van gestraalde objecten en op twee locaties is gemeten tijdens het opscheppen en verplaatsen van gebruikt straalgrit (zie Tabel 16). De metingen zijn allemaal verzameld in een besloten ruimte, waarbij tijdens vier van de vijf activiteiten geen sprake was van ventilatie. De diameter van de gebruikte straalsozzles tijdens het schoonblazen varieerde van 8 tot 12 mm, en de druk tijdens schoonblazen varieerde tussen de 8 en 8,5 bar. Tijdens alle metingen was slechts één persoon aanwezig in de betreffende ruimte. Op één meetlocatie is voorafgaand aan de bemeten activiteiten gestraald met Asilicos aluminiumsilicaat straalgrit (korrelgrootte 0,5-0,8 mm) en op twee meetlocaties is voorafgaand aan de bemeten activiteiten gestraald met Excellent aluminiumsilicaat straalgrit (korrelgrootte 0,5-0,8 of 0,25-1,4 mm).

Tabel 16: Overzicht van omstandigheden op de verschillende meetlocaties waar is gemeten tijdens opruimwerkzaamheden

Datum	Straalbedrijf	Locatie	Activiteit	Omstandigheden	Metingen
17-05	Bedrijf B	2A	Schoonblazen van gestraalde stalen	Ruimte 28x15x7 m, inhoud 2.940 m ³	3 meetsessies, 2 personen wisselend:

Datum	Straalbedrijf	Locatie	Activiteit	Omstandigheden	Metingen
			container / H-balk in straalcabine	Straalgrit Excellent 0,5-0,8 mm Diameter straalnozzle 12 mm Druk (compressor) 8 bar Geen ventilatie ¹	- 3 PAS - buiten straalkap (op revers)
17-05	Bedrijf B	2A	Opscheppen / verplaatsen van laagje gebruikt op de vloer van de straalcabine	Ruimte 28x15x7 m, inhoud 2.940 m ³ Straalgrit Excellent 0,5-0,8 mm Geen ventilatie ¹ Geen emissiebeperkende maatregelen (droog materiaal)	3 meetsessies, 1 persoon: - 3 PAS - op revers
24-05	Bedrijf C	3	Schoonblazen van gestraalde stalen container in straalcabine	Ruimte 10x5x5,35 m, inhoud 267,5 m ³ Straalgrit Excellent 0,25-1,4 mm Diameter straalnozzle 10 mm Druk (compressor) 8 bar Geen ventilatie ¹	3 meetsessies, 2 personen wisselend: - 3 PAS - buiten straalkap (op revers)
24-05	Bedrijf C	3	Opscheppen / verplaatsen van laagje gebruikt op de vloer van de straalcabine	Ruimte 10x5x5,35 m, inhoud 267,5 m ³ Straalgrit Excellent 0,25-1,4 mm Geen ventilatie ¹ Geen emissiebeperkende maatregelen (droog materiaal)	3 meetsessies, 2 personen wisselend: - 3 PAS - op revers
29-05	Bedrijf B	4	Schoonblazen van tank (pootjes) in straaltent vanaf een steiger	Inhoud straaltent 160 m ³ Straalgrit Asilicos 0,5-0,8 mm Diameter straalnozzle 8 mm Druk (compressor) 8,5 bar Schoongeblazen oppervlak 16 m ² per sessie Ventilatie 3.600 m ³ /uur ⁵ Verversing 22,5 x/uur	1 meetsessie, 1 persoon: - 1 PAS - onder straalkap - 1 PAS - buiten straalkap - 1 STAT - binnen duur PAS - 1 STAT - buiten (<1 m) - 1 STAT - buiten (>5 m)

¹ Tijdens de uitvoering van de activiteit en dus de meting stond de ventilatie in de straalcabine uit, voorafgaand stond de ventilatie wel aan om de ontstane hoeveelheid stof van de voorgaande activiteit in de ruimte naar beneden te brengen.

Er is op vier verschillende locaties gemeten tijdens werkzaamheden in verontreinigd gebied, waarbij op drie locaties is gemeten tijdens het verplaatsen in / inspectie van een ruimte waar is gestraald en op één locatie is gemeten tijdens het afbreken van steiger materiaal (zie Tabel 17). De metingen zijn allemaal verzameld in een besloten ruimte, waarbij tijdens drie van de vier activiteiten geen sprake was van (mechanische) ventilatie. Op twee meetlocaties is voorafgaand aan de bemeten activiteiten gestraald met Asilicos aluminiumsilicaat straalgrit (korrelgrootte 0,2-1,4 mm) en op twee meetlocaties is voorafgaand aan de bemeten activiteiten gestraald met Excellent aluminiumsilicaat straalgrit (korrelgrootte 0,5-0,8 of 0,25-1,4 mm).

Tabel 17: Overzicht van omstandigheden op de verschillende meetlocaties waar is gemeten tijdens werkzaamheden in verontreinigd gebied

Datum	Straalbedrijf	Locatie	Activiteit	Omstandigheden	Metingen
30-04 en 01-05	Bedrijf A	1C	Verplaatsen / inspectie, in de vorm van rondlopen door de ruimte ¹	Ruimte 18,42 m hoog, diameter 19,5 m, inhoud 5.503 m ³ Straalgrit Asilicos 0,2-1,4 mm Ventilatie 6.000 m ³ /uur Verversing 1,6 x/uur	4 meetsessies, 2 personen tegelijkertijd: ² - PAS - op revers - 4 STAT binnen - op enige afstand
17-05	Bedrijf B	2A	Verplaatsen / inspectie, in de vorm van rondlopen door de ruimte ³	Ruimte 28x15x7 m, inhoud 2.940 m ³ Straalgrit Excellent 0,5-0,8 mm Geen ventilatie ⁴	3 meetsessies, 2 personen wisselend: - 3 PAS - op revers - 3 STAT binnen - op enige afstand
24-05	Bedrijf C	3	Verplaatsen / inspectie, in de vorm van rondlopen door de ruimte ³	Ruimte 10x5x5,35 m, inhoud 267,5 m ³ Straalgrit Excellent 0,25-1,4 mm Geen ventilatie ⁴	3 meetsessies, 2 personen wisselend: - 3 PAS - buiten straalkap (op revers) - 3 STAT binnen - op enige afstand
04-06	Bedrijf A	1C	Afbreken van steiger-materiaal na stralen	Ruimte 18,42 m hoog, diameter 19,5 m, inhoud 5.503 m ³ Straalgrit Asilicos 0,2-1,4 mm Voorafgaand aan het afbreken is de ruimte schoongemaakt, er ligt dan ook weinig gebruikt straalgrit op de vloer. Tijdens elke meetsessie waren de personen op verschillende hoogtes in de ruimte aan het werk. Geen mechanische ventilatie, wel natuurlijke ventilatie door 2 open mangaten tegenover elkaar	3 meetsessies, 4-6 personen tegelijkertijd: - 16 PAS - op revers - 5 STAT binnen - op enige afstand - 3 STAT buiten (<1 m)

¹ Op de vloer van de ruimte ligt een laagje gebruikt straalgrit.

² Tijdens 1 van de 4 meetsessies is alleen een stationaire meting genomen, in de pauze tussen twee shifts van straalwerkzaamheden, terwijl er in de ruimte verder geen activiteiten plaatsvonden.

³ Op de vloer van de ruimte ligt op sommige plekken een laagje dan wel hoopjes gebruikt straalgrit en op sommige plekken een laagje stof.

⁴ Tijdens de uitvoering van de activiteit en dus de meting stond de ventilatie in de straalcabine uit, voorafgaand stond de ventilatie wel aan om de ontstane hoeveelheid stof van de voorgaande activiteit in de ruimte naar beneden te brengen.

4.4 Gemeten concentraties respirabel stof tijdens taakgerichte metingen

4.4.1 Kwaliteitscontrole

Tijdens de meetstudie zijn in totaal 201 metingen verzameld, waarvan 101 persoonlijke metingen, drie stationaire metingen als proxy voor persoonlijke blootstelling en 97 stationaire metingen. De (rekenkundig) gemiddelde meetduur was 34 minuten, en varieerde van 1,5 tot 134 minuten. Op 17 filters is een stofgewicht beneden de detectielimiet van de microbalans aangetroffen. Dit betroffen metingen die of in buitensituaties zijn genomen (n=14), of tijdens stralen onder de straalkap (n=2), of tijdens vullen in een binnensituatie op de revers (n=1). Verder is op 12 van de 24 inserts afkomstig van een meetlocatie waar is gemeten tijdens het stralen in een straaltent stof aangetroffen.

Het debiet van de gebruikte cyclonen voor het meten van respirabel stof zijn aan het begin van de meting ingesteld op een debiet van 2,2 L/min. Bij dit debiet is de afscheiding van respirabel stof optimaal (50% van de deeltjes kleiner dan 4,0 μm). Voor 15 van de 201 metingen is geconstateerd dat het gemeten debiet aan het eind van de meting meer dan 10% afweek van het debiet zoals ingesteld aan het begin van de meting. Deze afwijkingen bleken geen directe relatie met de stofbelasting van het bijbehorende filter te hebben, en op basis van de observaties die zijn gedaan tijdens de metingen zijn er voor deze metingen geen aanwijzingen waardoor dit verschil wordt veroorzaakt. Daarom is besloten om deze metingen buiten beschouwing te laten bij de verdere analyse van de beschikbare gegevens.

De rekenkundig gemiddelde (AM) gemeten concentratie respirabel stof van de gehele dataset is 34,5 mg/m^3 (standaard deviatie (SD) 115, range 0,01-1303 mg/m^3), met een bijbehorend geometrisch gemiddelde (GM) concentratie respirabel stof van 2,3 mg/m^3 (geometrische standaard deviatie (GSD) 10,9). Omdat de distributie van zowel de gehele dataset als voor de subsets behorend bij de verschillende blootstellingsscenario's lognormaal verdeeld bleek te zijn, en omdat er een aantal onverklaarbaar hoge concentraties werden gevonden binnen de subsets van de verschillende blootstellingsscenario's, is besloten om allereerst mogelijke uitschieters te identificeren. Met behulp van SAS software (v9.4) is een distributieanalyse en uitschieteridentificatie uitgevoerd op basis van de lognormaal getransformeerde concentraties respirabel stof, waarbij deze werden gegroepeerd op blootstellingsscenario en soort meting. Uitschieters werden geïdentificeerd met behulp van de PROC BOXPLOT functie. Metingen werden aangemerkt als een uitschieter als de gemeten concentratie 1,5x (uitschieter) en 3x (zware uitschieter) groter was dan de interkwartielafstand (IKA, $P_{75}-P_{25}$) vanaf het meest nabije kwartiel (F_{IKA}) op basis van de distributie van de bijbehorende subset. Op basis van deze analyse zijn acht metingen aangemerkt als uitschieter, waarvan drie zijn aangemerkt als zware uitschieter. Onder de uitschieters zijn 5 persoonlijke metingen (waarvan 2 onder de straalkap tijdens stralen) en 2 stationaire metingen (zie Tabel B3.1 in Bijlage 3). De twee hoge concentraties die zijn gemeten tijdens de twee opeenvolgende metingen onder de straalkap van een straler op één dag op locatie

1B zijn niet in lijn met de verwachtingen en doen vermoeden dat het straalpak, inclusief straalkap, die dag niet goed functioneerde en de aanvoer van onafhankelijke lucht daardoor niet optimaal was. Ook waren de omstandigheden tijdens het vullen met een vulsilo op meetlocatie 3 en het schoonblazen op meetlocatie 4 behoorlijk afwijkend van de omstandigheden tijdens de overige metingen binnen dit blootstellingsscenario. Daarom is besloten om de resultaten van deze metingen apart te beschrijven, en buiten beschouwing te laten bij de weergave van de beschrijvende statistiek.

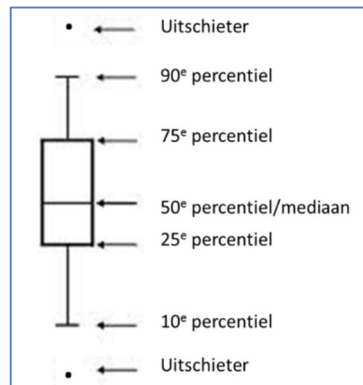
Om er zeker van te zijn dat de gemeten stofconcentraties een representatieve weergave zijn van de voorkomende stofconcentraties tijdens de verschillende activiteiten is ervoor gekozen om voor de verdere descriptieve (beschrijvende) data-analyse de metingen met een te grote afwijking met betrekking tot het gehanteerde debiet ($n=15$) en de metingen die als uitschieter zijn gekwalificeerd ($n=7$) buiten beschouwing te laten. De hieronder beschreven resultaten zijn daarom gebaseerd op een dataset met 179 metingen, met een GM van $2,2 \text{ mg/m}^3$ respirabel stof (GSD 10,6, range $0,02\text{-}833 \text{ mg/m}^3$).

4.4.2 Gemeten concentraties respirabel stof op basis van taakgerichte metingen

4.4.2.1 *Alle taakgerichte metingen*

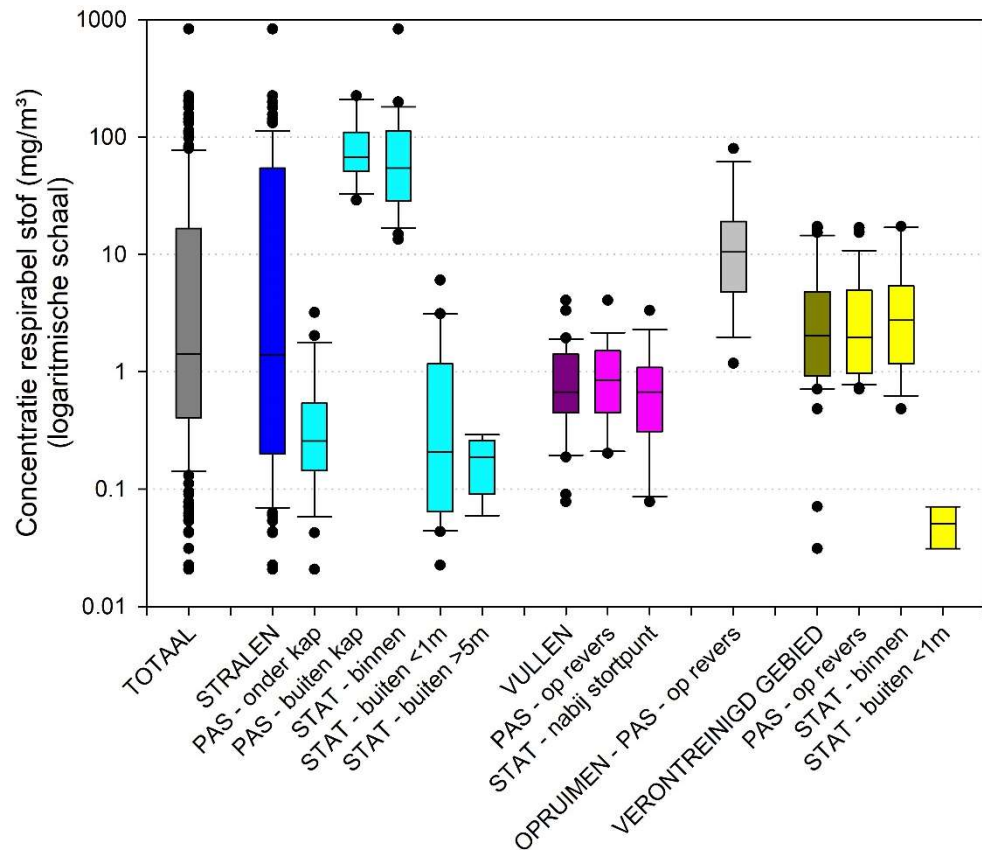
Zoals blijkt uit het overzicht in Tabel 18 waren er een aantal activiteiten geselecteerd op basis van de inventarisatie om te worden meegenomen in de meetstudie waarvoor het helaas niet is gelukt om metingen te verzamelen. Dit betreft de activiteiten 'vervangen / schoonmaken filterunits' en 'leggen van reservoir / opvangzak / bak' binnen het blootstellingsscenario 'opruimwerkzaamheden' en de activiteit 'handelingen aan of nabij gestraalde oppervlakken' binnen het blootstellingsscenario 'werkzaamheden in verontreinigd gebied'. Over het algemeen zijn de verschillende activiteiten op drie verschillende meetlocaties bemeaten. Uitzonderingen hierop zijn de activiteiten vullen met behulp van een vulsilo (twee locaties), scheppen (twee locaties), en afbreken steiger materiaal (één meetlocatie).

Om een vergelijking van de verschillende groepen mogelijk te maken worden de resultaten ook grafisch in de vorm van boxplots (zie hieronder) weergegeven. In het geval van de boxplots wordt de gevonden distributie voor een gevonden groep weergegeven aan de hand van het 25^{ste}, 50^{ste} (de mediaan) en 75^{ste} percentiel (de 'box'), het 10^{de} en 90^{ste} percentiel (de 'streepjes' aan de buitenkant van de box), en de uitschieters (de 'dots') (zie Figuur 20 ter illustratie).



Figuur 20: Voorbeeld van een boxplot.

Hierbij moet worden opgemerkt dat de uitschieters over het algemeen *niet* in de boxplot worden getoond als er slechts een kleine set datapunten beschikbaar is, omdat in deze gevallen niet voldoende informatie beschikbaar is om met zekerheid de onderliggende distributie te bepalen. In deze gevallen wordt dus alleen een indicatie van de distributie gegeven. Verder worden de resultaten van de acht metingen die op basis van de blootstellingsdistributie ook als uitschieter zijn aangemerkt (zie paragraaf 4.4.1) buiten beschouwing gelaten in de boxplots zoals hieronder worden gepresenteerd.



Figuur 21: Overzicht van taakgericht gemeten concentraties respirabel stof (in mg/m³) onderverdeeld naar blootstellingsscenario en soort meting.

In Tabel 18 en Figuur 21 ⁹ wordt een overzicht gegeven van de gemeten concentraties respirabel stof (in mg/m³) tijdens de verschillende blootstellingsscenario's. Daarnaast wordt in Tabel 18 ook een overzicht gegeven van de gemeten concentraties respirabel stof tijdens de verschillende activiteiten die als onderdeel van een bepaald blootstellingsscenario zijn gemeten. De geometrisch gemiddelde (GM) taakgerichte respirabel stofconcentratie was 2,2 mg/m³ (range <0,02-833 mg/m³) en 90 procent van de gevallen was de gemeten concentratie minder dan 78 mg/m³. Over het geheel gezien zijn de hoogste concentraties gemeten tijdens het blootstellingsscenario stralen, gevolgd door opruimen, werkzaamheden in verontreinigd gebied en vullen. De resultaten van alleen de persoonlijke metingen laten eenzelfde beeld zien, waarbij de volgende concentraties respirabel stof zijn gemeten:

- stralen - buiten de straalkap: GM 78 mg/m³ (range 29-225 mg/m³);
- stralen - binnen de straalkap: GM 0,3 mg/m³ (range <0,02-3,2 mg/m³);
- opruimwerkzaamheden (op revers): GM 10 mg/m³ (range 1,2-80 mg/m³);
- werkzaamheden in verontreinigd gebied (op revers): GM 2,3 (mg/m³range 0,7-17 mg/m³);
- vullen (op revers): GM 2,3 mg/m³ (range <0,2-4,1 mg/m³).

Hoewel de grenswaarde voor hinderlijk respirabel stof (dat wil zeggen stof zonder specifieke toxische eigenschappen) in Nederland in 2007 is komen te vervallen (was 5 mg/m³ op basis van een 8-uurs tijdgewogen gemiddelde (TGG)) variëren de grenswaarden die in het buitenland voor respirabel stof worden gehanteerd over het algemeen tussen de 3 en 6 mg/m³, en is in Duitsland zelfs 1,5 mg/m³).¹⁰ Ongeveer 50% van alle gemeten concentraties respirabel stof liggen boven de grenswaarde van 1,5 mg/m³ die in Duitsland wordt gehanteerd, en ongeveer 35% van alle gemeten concentraties respirabel stof ligt boven de vroeger in Nederland gehanteerde grenswaarde van 5 mg/m³). Hierbij moet wel worden opgemerkt dat deze concentraties zijn gemeten tijdens taakgerichte metingen, terwijl de grenswaarden zijn gebaseerd op een 8-uurs TGG over een werkdag, uitgaande van blootstelling tijdens een werkend leven (40 jaar).

Tabel 18: Overzicht van taakgericht gemeten concentraties respirabel stof (in mg/m³), per blootstellingsscenario en specifieke activiteiten

Activiteit	Soort meting	N	AM	GM	GSD	Min. ¹	P50	P75	P90	Max.
1.Stralen	Totaal	89	42,6	2,92	19,4	<0,02	1,38	54,1	113	833
	PAS - buiten kap	11	90,2	77,7	1,76	29,0	68,1	110	142	225
	PAS - onder kap	22	0,52	0,28	3,19	<0,02	0,26	0,53	1,21	3,20
	STAT – binnen ²	28	98,7	59,9	2,52	13,4	54,4	112	179	833
	STAT - buiten (<1 m)	20	0,94	0,30	5,02	<0,02	0,21	1,11	3,08	6,04

⁹ In Figuur 21 zijn de metingen waarvan er slechts 1 per soort meting per activiteit beschikbaar zijn voor het overzicht achterwege gelaten. Dit betreffen vier metingen die zijn gedaan tijdens de activiteit schoonblazen op meetlocatie 4.

¹⁰ GESTIS: Information system on hazardous substances of the German Social Accident Insurance, beschikbaar via het Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), met als onderdeel de database 'International limit values for chemical agents' (<http://limitvalue.ifa.dguv.de/>).

Activiteit	Soort meting	N	AM	GM	GSD	Min. ¹	P50	P75	P90	Max.
	STAT - buiten (>5 m)	8	0,18	0,16	1,81	<0,06	0,19	0,26	0,29	0,29
1a. besloten ruimte	Totaal	53	17,9	1,78	15,2	<0,02	0,55	32,0	54,6	81,9
	PAS - buiten kap	7	58,3	55,8	1,41	29,0	64,4	68,1	81,9	81,9
	PAS - onder kap	15	0,32	0,23	2,54	<0,02	0,21	0,49	0,55	1,21
	STAT - binnen	15	35,4	31,4	1,67	13,4	32,0	53,4	54,6	77,6
	STAT - buiten (<1 m)	11	0,39	0,20	3,40	<0,04	0,16	0,57	1,22	1,38
	STAT - buiten (>5 m)	5	0,18	0,16	1,66	0,08	0,15	0,25	0,26	0,26
1b. straaltent	Totaal	36	78,9	6,07	24,4	<0,02	4,62	112	179	833
	PAS - buiten kap	4	146	139	1,41	106	126	184	225	225
	PAS - onder kap	7	0,96	0,41	4,70	<0,04	0,40	2,03	3,20	3,20
	STAT - binnen	13	172	127	2,00	48,0	113	156	200	833
	STAT - buiten (<1 m)	9	1,62	0,51	6,92	<0,02	0,89	3,03	6,04	6,04
	STAT - buiten (>5 m)	3	0,19	0,16	2,34	<0,06	0,22	0,29	0,29	0,29
2. Vullen	Totaal	34	0,98	0,68	2,53	<0,08	0,67	1,39	1,86	4,07
	PAS - op revers	18	1,08	0,79	2,29	<0,20	0,84	1,50	1,94	4,07
	STAT - nabij stortpunt	16	0,87	0,58	2,80	<0,08	0,67	1,01	1,85	3,33
2a. vulsilo	Totaal	9	1,25	1,01	1,86	0,56	0,86	1,16	4,07	4,07
	PAS - op revers	4	1,82	1,42	2,21	0,62	1,30	2,80	4,07	4,07
	STAT - nabij stortpunt	5	0,80	0,77	1,35	0,56	0,83	0,86	1,16	1,16
2a/b. vulsilo en zakken	Totaal	7	0,35	0,23	2,60	<0,08	0,20	0,59	1,10	1,10
	PAS - op revers	3	0,63	0,51	2,36	<0,20	0,59	1,10	1,10	1,10
	STAT - nabij stortpunt	4	0,14	0,13	1,69	<0,08	0,14	0,21	0,22	0,22
2b. zakken	Totaal	17	1,12	0,86	2,16	<0,21	0,76	1,50	1,94	3,33
	PAS - op revers	10	0,97	0,73	2,30	<0,21	0,84	1,50	1,90	1,94
	STAT - nabij stortpunt	7	1,34	1,09	1,94	0,59	0,76	1,85	3,33	3,33
2x. operator vrachtwagen	PAS - op revers	1	0,57							
3. Opruimen	Totaal	16	25,1	6,80	5,71	0,41	8,22	18,5	79,7	205
	PAS - onder kap	1	0,66							
	PAS - op revers	12	16,2	9,78	2,86	1,18	10,5	18,5	19,8	79,7
	STAT - binnen	1	205							
	STAT - buiten (<1 m)	1	0,41							
	STAT - buiten (>5 m)	1	0,49							
3b. scheppen	PAS - op revers	6	6,31	4,94	2,33	1,18	5,56	8,59	13,2	13,2
3d. schoonblazen	Totaal	10	36,3	8,23	8,46	0,41	14,9	19,8	142	205
	PAS - onder kap ³	1	0,66							
	PAS - op revers	6	26,1	19,3	2,18	7,84	18,5	19,8	79,7	79,7
	STAT - binnen	1	205							
	STAT - buiten (<1 m)	1	0,41							
	STAT - buiten (>5 m)	1	0,49							
6. Verontreinigd gebied	Totaal	40	3,83	2,02	3,64	<0,03	2,03	4,69	11,0	17,3
	PAS - op revers	24	3,62	2,29	2,51	0,71	1,97	4,72	6,24	16,9

Activiteit	Soort meting	N	AM	GM	GSD	Min. ¹	P50	P75	P90	Max.
	STAT - binnen	14	4,74	2,78	2,93	0,48	2,75	4,98	16,7	17,3
	STAT - buiten (<1 m)	2	0,05			<0,03				0,07
6 a/d. verplaatsen / inspectie	Totaal	22	4,77	2,37	3,29	0,48	1,67	5,19	16,7	17,3
	PAS - op revers	12	4,12	2,03	3,16	0,71	1,15	4,13	15,3	16,9
	STAT - binnen	10	5,56	2,86	3,58	0,48	3,24	6,71	17,0	17,3
6c. afbreken steigermateriaal	Totaal	18	2,69	1,66	4,11	<0,03	2,09	3,66	6,02	6,24
	PAS - op revers	12	3,12	2,58	1,91	0,88	2,09	5,09	6,02	6,24
	STAT - binnen	4	2,71	2,60	1,40	1,66	2,75	3,33	3,66	3,66
	STAT - buiten (<1 m)	2	0,05			<0,03				0,07

N = aantal metingen, AM = rekenkundig gemiddelde, GM = geometrisch gemiddelde, GSD = geometrische standaarddeviatie, Min. = minimum, P50 = 50 percentiel (mediaan), P75 = 75 percentiel, P90 = 90 percentiel, Max = maximum.

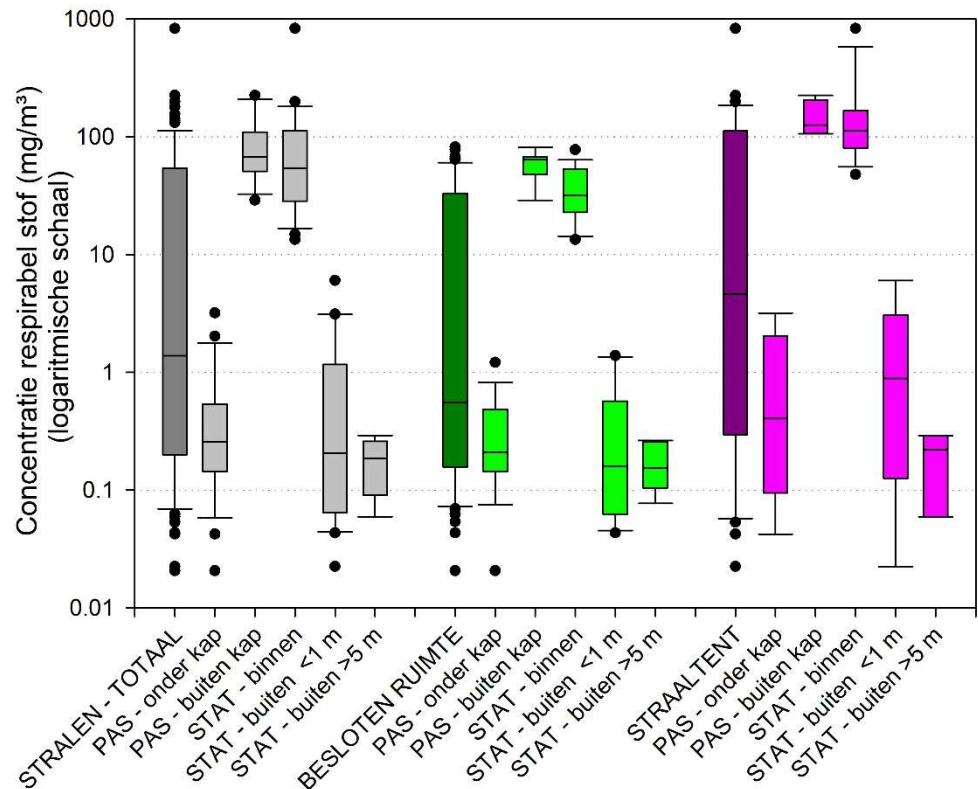
¹ < = stofgewicht van filter onder de detectielimiet.

² 4 stationaire metingen met een meetduur van 15 min samengevoegd met 24 stationaire metingen met een even lange meetduur als de parallelle PAS-meting.

³ Op één praktijklocatie is één meting verricht tijdens het schoonblazen, waarbij zowel binnen als buiten de straalkap is gemeten. De parallelle meting buiten de straalkap is echter aangemerkt als uitschieter, en is dus niet meegenomen in dit overzicht bij PAS - op revers.

4.4.2.2 Taakgerichte metingen tijdens stralen

In Figuur 22 wordt een overzicht gegeven van de gemeten concentraties respirabel stof tijdens straalwerkzaamheden (let op: weergegeven op logaritmische schaal), waarbij op basis van de totale dataset (n=89) een GM van 2,92 mg respirabel stof/m³ is gemeten (range <0,02-833 mg/m³). De concentraties zoals gemeten tijdens stralen in een straaltent (buiten) liggen over het algemeen iets hoger dan de gemeten concentraties tijdens stralen in een besloten ruimte (tank of straalcabine). De gemeten concentraties van persoonlijke metingen buiten de straalkap en stationaire metingen in dezelfde ruimte zijn (zeer) hoog tijdens beide activiteiten, maar wel redelijk vergelijkbaar. De spreiding in gemeten concentraties onder de straalkap is veel groter tijdens stralen in een straaltent vergeleken met stralen in een besloten ruimte.



Figuur 22: Overzicht taakgericht gemeten concentraties respirabel stof tijdens straalwerkzaamheden, onderverdeeld naar soort activiteit en soort meting.

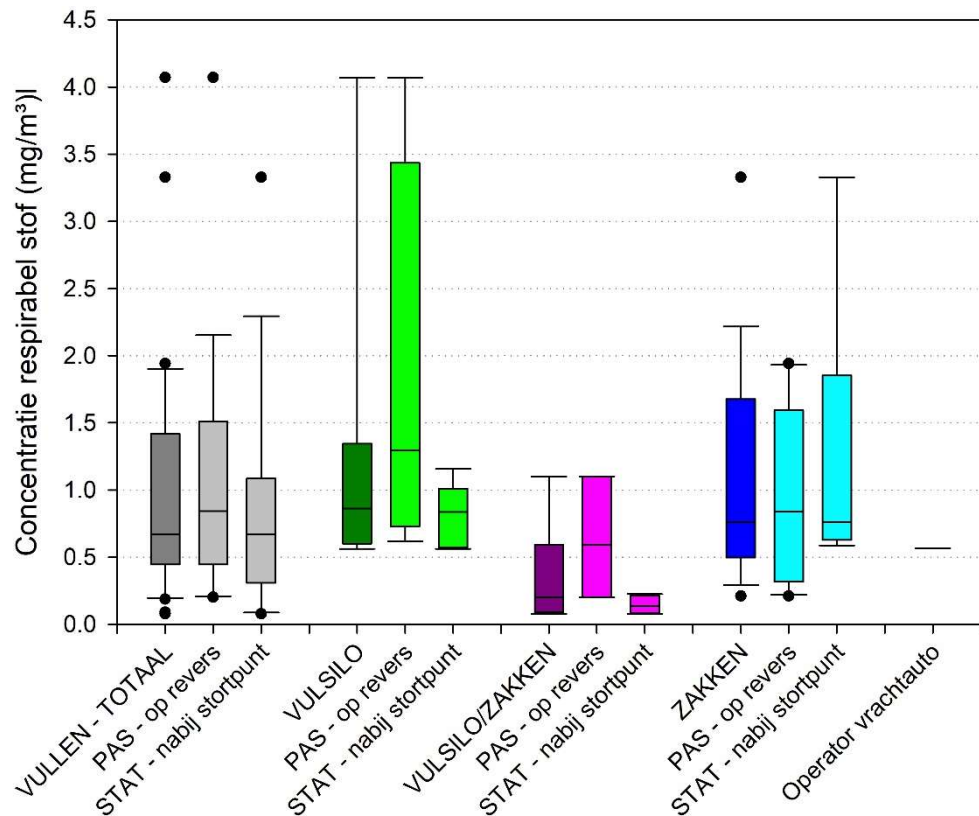
De gemeten concentraties van de stationaire metingen buiten de straaltent liggen veel lager dan de metingen binnen in de ruimte, en liggen in de range van die van de persoonlijke metingen onder de straalkap. Hierbij moet worden opgemerkt dat de geometrisch gemiddelde concentratie zoals gemeten vlakbij het mangat (<1 meter) wel iets hoger is maar niet veel verschilt van de concentratie zoals gemeten op grotere afstand van het mangat (>5 meter). De spreiding in gemeten concentraties dichtbij het mangat is echter wel groter dan op grotere afstand van het mangat, en op basis van deze gegevens kan worden aangenomen dat de concentratie respirabel stof (zoals verwacht) afneemt met toenemende afstand, ook in de windrichting.

Wanneer per activiteit een verdere onderverdeling wordt gemaakt naar meetlocatie (zie Tabel B3.2 in Bijlage 3), dan zijn ondanks de relatief grote verschillen in omstandigheden tijdens stralen in besloten ruimtes (zie Tabel 14) de gemeten concentraties tussen de drie verschillende meetlocaties vergelijkbaar. Tijdens het stralen in een straaltent zijn er wel verschillen in gemeten concentraties waar te nemen. Dit komt onder andere doordat tijdens de eerste meetsessie op meetlocatie 2B is gemeten onder worst-case omstandigheden (straalnozzle 12 mm, 8 bar druk), welke na de eerste meetsessie zijn aangepast op basis van de geobserveerde stofontwikkeling (straalnozzle 8 mm, 8 bar druk). De resultaten van twee van de vijf metingen uit deze eerste meetsessie zijn aangemerkt als uitschieter (PAS – buiten straalkap en STAT – buiten (>5 m), één meting is buiten beschouwing gelaten

wegens een te grote afwijking in het debiet (PAS - onder kap) en het resultaat van twee metingen betreffen de maximale waarde voor de betreffende groep metingen (STAT binnen en STAT buiten <1 m). Wanneer deze eerste meetsessie niet wordt meegenomen liggen gemiddeld genomen de gemeten concentraties op meetlocatie 2B hoger dan op meetlocatie 1B. Er wordt aangenomen dat dit met name te maken heeft met de instellingen waarbij is gestraald (namelijk een hogere druk en een hoger verbruik op locatie 2B ten opzichte van locatie 1B), hoewel de grootte van de straaltent ook van invloed zal zijn geweest (kleinere straaltent op locatie 2B ten opzichte van 1B). Daarentegen was er op locatie 2B juist weer sprake van meer mechanische ventilatie. Hoewel er op meetlocatie 4 slechts een beperkt aantal metingen is uitgevoerd, zijn de resultaten hiervan relatief laag. Dit heeft er waarschijnlijk mee te maken dat tijdens deze metingen een relatief klein oppervlak is gestraald waarvoor een straalnozzle met relatief kleine diameter (8 mm) is gebruikt.

4.4.2.3 Taakgerichte metingen tijdens vullen

In Figuur 23 wordt een overzicht gegeven van de gemeten concentraties respirabel stof tijdens vulwerkzaamheden, waarbij op basis van de totale dataset (n=34) een GM van 0,68 mg respirabel stof/m³ is gemeten (range 0,08-4,1 mg/m³). Hierbij moet worden opgemerkt dat er twee metingen tijdens vullen, en meer specifiek bij het vullen met behulp van een vulsilo, als uitschieter zijn aangemerkt en dus niet zijn meegenomen in de presentatie van de resultaten (zie Tabel B3.1 in Bijlage 3). Twee daarvan (1 PAS en 1 STAT) betreffen één sessie waarin een bigbag in één keer in een vulsilo is geleegd. Deze situatie is slechts eenmaal bemeten, en wijkt qua omstandigheden af van de andere bemeten activiteiten binnen dit blootstellingsscenario, onder andere omdat binnen zeer korte tijd (1,5 minuut) een zeer grote hoeveelheid (1.000 kg) straalgrit van relatief grote hoogte (een grotere valafstand dan bij de andere bemeten activiteiten) in een vulsilo met een relatief grote vulopening is gestort. Onder dergelijke omstandigheden wordt op basis van de theorie ook een hogere blootstelling verwacht.



Figuur 23: Overzicht taakgericht gemeten concentraties respirabel stof tijdens vulwerkzaamheden, onderverdeeld naar soort activiteit en soort meting.

Helaas zijn er in ieder geval voor twee van de drie activiteiten (vullen met behulp van een vulsilo, en een combinatie van een vulsilo en zakken) relatief weinig metingen beschikbaar, en is elke activiteit op slechts één (combinatie vulsilo en zakken) of twee meetlocaties (vulsilo en zakken) bemeaten, en variëren de omstandigheden waaronder de activiteiten zijn uitgevoerd (zie Tabel 15). In algemene zin liggen de gemeten concentraties van de persoonlijke metingen structureel hoger dan die van de parallel gemeten stationaire metingen, met uitzondering van het vullen met behulp van zakken (waarbij het geometrisch gemiddelde en de spreiding in gemeten concentraties hoger is voor de stationaire metingen). Hierbij moet worden opgemerkt dat de stationaire metingen benedenwinds zijn geplaatst, terwijl de personen als dat enigszins mogelijk is bovenwinds gaan staan tijdens het vullen.

Verder lijken de gemeten concentraties tijdens het vullen vanuit een vulsilo hoger te liggen dan tijdens de andere twee activiteiten, maar dit beeld wordt voornamelijk gedreven door het relatief hoge meetresultaat van één van de semi-PAS metingen (stationaire meting dichtbij de vulopening als proxi voor de persoonlijke blootstelling omdat de bediening van de vulsilo zich op enige afstand van de vulopening bevond). Er wordt aangenomen dat dit verschil in soort meting (semi-PAS versus PAS) de belangrijkste reden is dat de gemeten concentraties tijdens vullen vanuit een vulsilo op meetlocatie 2B hoger zijn dan op meetlocatie 3B, onder andere omdat op basis van de omstandigheden tijdens de metingen op locatie 3B

(binnensituatie, grotere hoeveelheid gestort binnen vergelijkbare tijdsduur, vergelijkbare vulopening) het tegenovergestelde zou worden verwacht (zie Tabel B3.2 in Bijlage 3). Wanneer de resultaten van het vullen vanuit zakken van de twee meetlocaties (1C en 3A) met elkaar worden vergeleken, dan kwamen de omstandigheden op meetlocatie 1C (buitensituatie, kleinere vulopening, kleinere valhoogte, kleinere hoeveelheid gestort binnen een vergelijkbare tijdsduur, voorzichtigere manier van werken) overeen met de lagere gemeten concentraties ten opzichte van meetlocatie 3A.

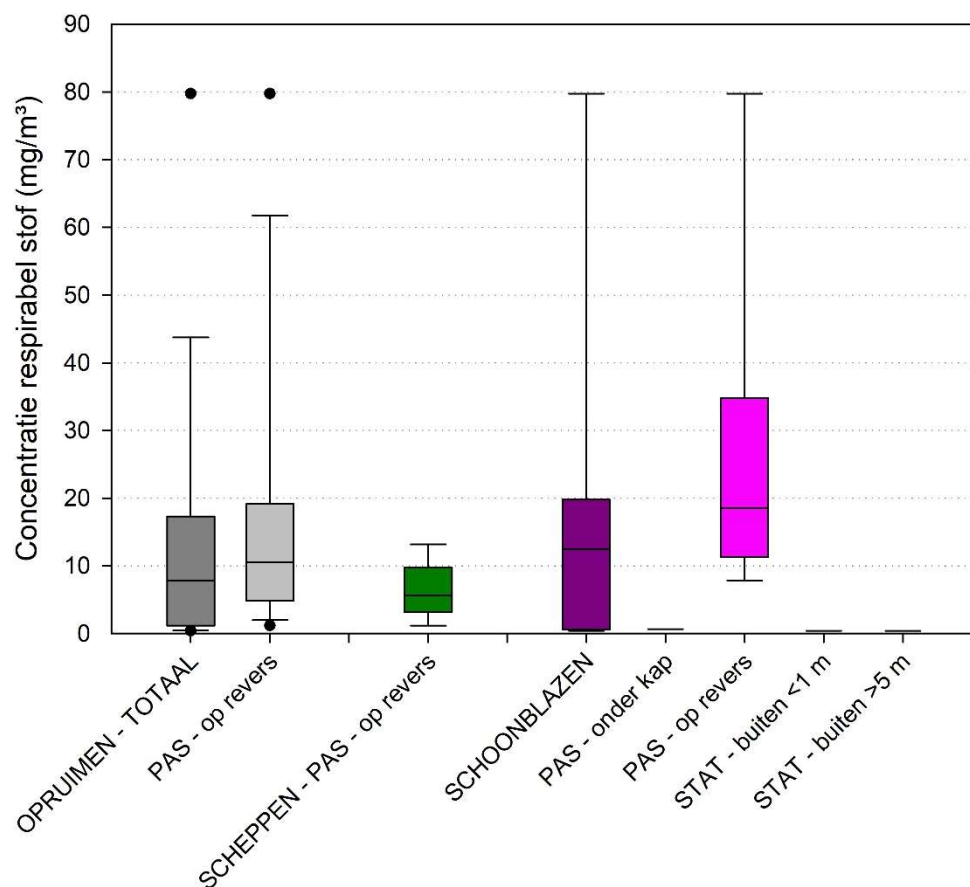
4.4.2.4 Taakgerichte metingen tijdens opruimwerkzaamheden

In Figuur 24 wordt een overzicht gegeven van de gemeten concentraties respirabel stof tijdens opruimwerkzaamheden, waarbij op basis van de totale dataset ($n=16$) een GM van 6,8 mg respirabel stof/ m^3 is gemeten (range 0,41-205 mg/ m^3). De gemeten concentraties tijdens de activiteit scheppen ($n=6$, GM=4,94 mg respirabel stof/ m^3 , range 1,18-13,3 mg/ m^3) zijn een stuk lager dan tijdens het schoonblazen met perslucht ($n=10$, GM = 8,23 mg respirabel stof/ m^3 , range 0,41-205 mg/ m^3).

De metingen tijdens de activiteit scheppen zijn op twee meetlocaties uitgevoerd, beide tijdens een semi-praktijksituatie. De gemeten concentraties op beide locaties zijn redelijk vergelijkbaar (zie Tabel 16), hoewel de variatie in gemeten concentraties voor meetlocatie 3 iets groter was (zie Tabel B3.2 in Bijlage 3). Dit zou samen kunnen hangen met het feit dat de ruimte waarin is geschept op meetlocatie 3 een factor 10 kleiner was dan de ruimte op meetlocatie 2A, want verder waren de omstandigheden min of meer vergelijkbaar (binnensituatie, geen ventilatie, vergelijkbare laag gebruikt straalgrit op de vloer, vergelijkbaar gereedschap, verder geen emissie beperkende maatregelen toegepast).

De metingen tijdens de activiteit schoonblazen zijn op drie meetlocaties uitgevoerd, waarvan op twee meetlocaties tijdens een semi-praktijksituatie en één tijdens een praktijksituatie, en waarbij de omstandigheden varieerden (zie Tabel 16). De gemeten concentraties tijdens de praktijksituatie (meetlocatie 4) liggen een stuk hoger (PAS op revers 189 mg/ m^3 (aangemerkt als uitschieter), STAT in de straaltent 205 mg/ m^3 (geen vergelijkbare metingen gedaan binnen blootstellingsscenario, dus identificatie voor uitschieters niet mogelijk) dan de gemeten concentraties op de andere twee meetlocaties (range 7,4-80 mg/ m^3). Waar deze verschillen precies door worden veroorzaakt is onbekend, maar verschillen in omstandigheden zullen hier in ieder geval deels mee te maken hebben. Zo zijn tijdens de praktijksituatie in de straaltent staand op de steiger steigerdelen schoon geblazen, waarbij zowel op de steigerdelen als op de vloer gebruikt straalgrit aanwezig was (grote mate van verontreiniging). Hierbij was de luchtstraal naar beneden gericht, waardoor er waarschijnlijk stof van het gestraalde object en de vloer in de lucht is gebracht. Op de andere twee meetlocaties is een vierkant object vanaf de vloer schoon geblazen, en kregen de personen de instructie om zo min mogelijk op de vloer te blazen. Daarentegen was in de straaltent sprake van mechanische ventilatie, terwijl op de andere twee meetlocaties er geen sprake was van mechanische ventilatie tijdens het schoonblazen. Verder moet worden opgemerkt dat er slechts één meetsessie in

een dergelijke praktijksituatie is uitgevoerd, waardoor deze resultaten slechts als indicatief kunnen worden gezien. Daarom is besloten om het resultaat van de stationaire meting tijdens schoonblazen in een straaltent niet weer te geven in Figuur 24.



Figuur 24: Overzicht taakgericht gemeten concentraties respirabel stof tijdens opruimwerkzaamheden, onderverdeeld naar soort activiteit en soort meting (resultaat stationaire meting in straaltent tijdens schoonblazen niet weergegeven).

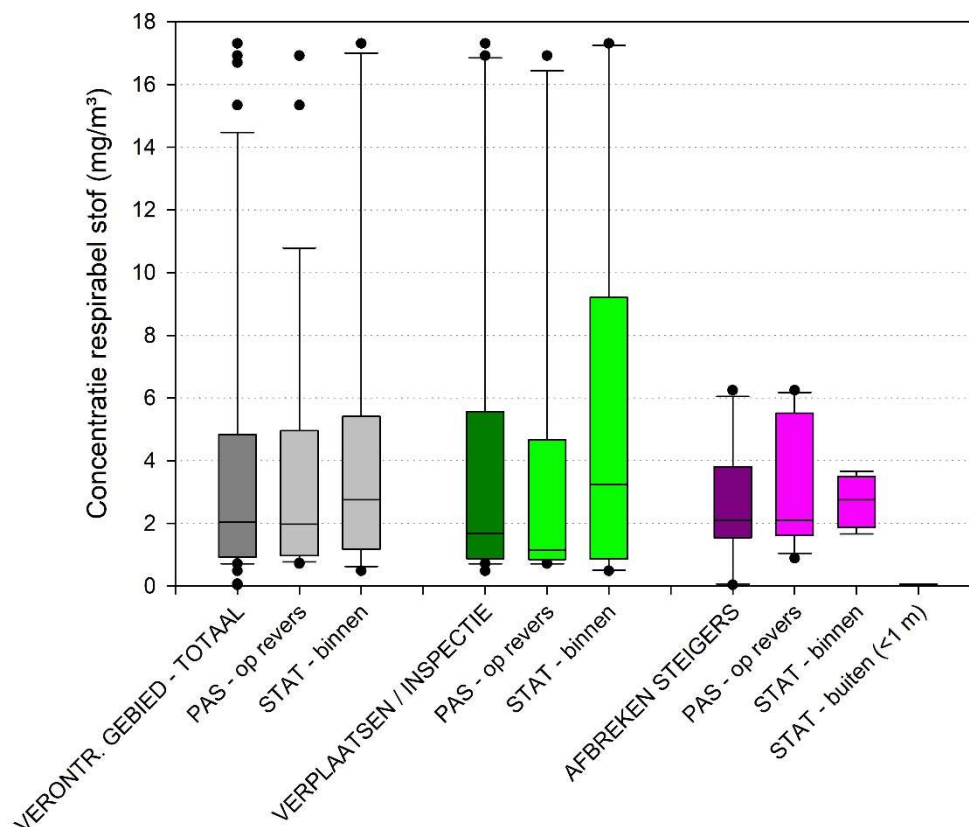
Wanneer de gemeten concentraties tijdens schoonblazen op de andere twee meetlocaties met elkaar worden vergeleken, zijn deze qua gemiddelde concentratie vergelijkbaar (19-20 mg/m³), maar is er voor meetlocatie 3 (relatief kleine ruimte) sprake van een grote spreiding in gemeten concentraties (8-80 mg/m³), terwijl de gemeten concentraties op meetlocatie 2A (relatief grote ruimte) vrij constant zijn (17-20 mg/m³). Omdat de omstandigheden tijdens het schoonblazen verder vrijwel vergelijkbaar waren, wordt aangenomen dat tijdens het schoonblazen op locatie 3 in ieder geval tijdens het schoonblazen van één van de drie metingen ook de vloer (deels) is meegenomen, maar dit is echter niet meer te achterhalen. Op basis van deze gegevens is het duidelijk dat tijdens schoonblazen de variatie aan concentraties respirabel stof groot is, en duidelijk afhangt van de omstandigheden.

Tijdens Fase 1 is op basis van de belading van de filters die zijn verzameld met behulp van de cyclonen de respirabele stofconcentraties van een aantal van de metingen bepaald (Tromp et al., 2017). Wanneer geen emissiebeperkende maatregelen werden toegepast en de saneerders op verzoek hun werkzaamheden zodanig hebben uitgevoerd dat er extra stofontwikkeling plaatsvond was een gemiddelde persoonlijke respirabele stofconcentratie van 115 mg/m³ (range 110-120 mg/m³) gemeten, terwijl de gemiddelde stofconcentratie van de stationaire metingen 50 mg/m³ (range 45-55 mg/m³) bedroeg. Wanneer geen emissiebeperkende maatregelen werden toegepast maar de saneerders de opruimwerkzaamheden op de gebruikelijke manier uitvoerden (en dus geen extra stofontwikkeling hebben veroorzaakt) was de gemiddelde persoonlijke respirabele stofconcentratie 7,4 mg/m³ (range 3,7-11 mg/m³), terwijl de gemiddelde stofconcentratie van de stationaire metingen 3,7 mg/m³ (range 2,0-5,3 mg/m³) bedroeg. De omstandigheden tijdens de tweede situatie van Fase 1 (geen emissiebeperkende maatregelen tijdens normale manier van werken) komen overeen met de omstandigheden tijdens de activiteit scheppen in deze meetstudie, en hetzelfde geldt voor de gemeten concentraties respirabel stof (range 1,2-13,3 mg/m³).

4.4.2.5 Taakgerichte metingen tijdens werkzaamheden in verontreinigd gebied

In Figuur 25 wordt een overzicht gegeven van de gemeten concentraties respirabel stof tijdens werkzaamheden in verontreinigd gebied, waarbij op basis van de totale dataset (n=40) een GM van 2,02 mg respirabel stof/m³ is gemeten (range 0,03-17,3 mg/m³). De gemeten concentraties tijdens de activiteit verplaatsen/inspectie (n=22, GM=2,37 mg respirabel stof/m³, range 0,48-17,3 mg/m³) liggen iets hoger dan tijdens het afbreken van steigermateriaal (n=18, GM = 1,66 mg respirabel stof/m³, range <0,03-6,24 mg/m³). Opvallend is dat de gemeten gemiddelde concentratie van de stationaire metingen tijdens beide activiteiten hoger is dan die van de persoonlijke metingen.

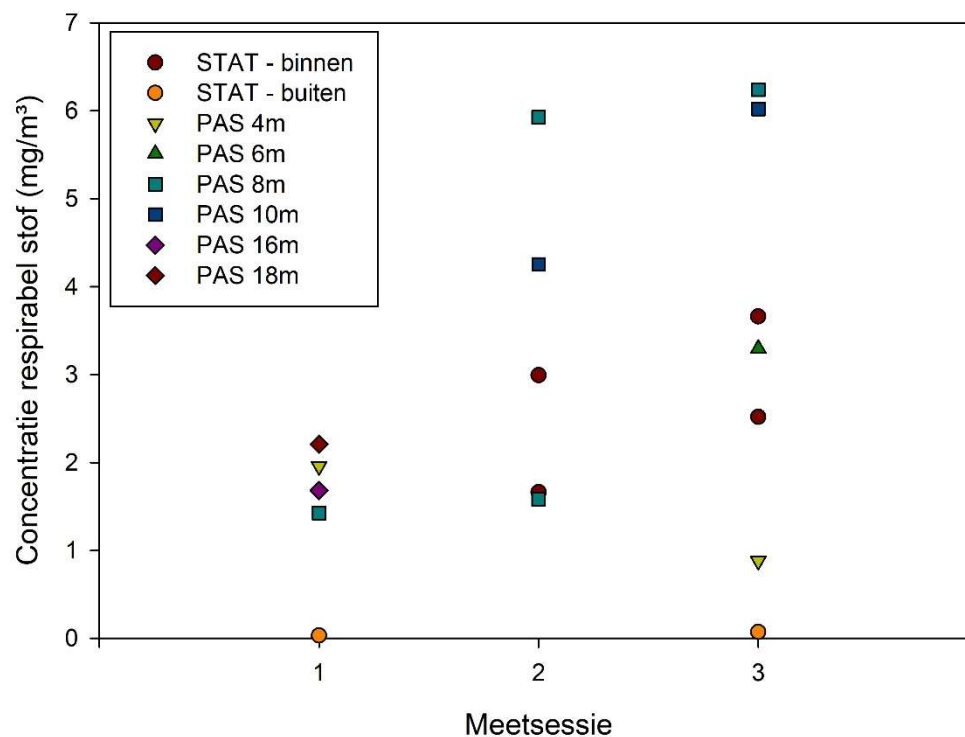
De metingen tijdens de activiteit verplaatsen/inspectie zijn op drie meetlocaties uitgevoerd, waarvan twee tijdens een semi-praktijksituatie en één tijdens een praktijksituatie, waarbij ook sprake was van variatie qua omstandigheden (zie Tabel 17). De gemeten concentraties tijdens de praktijksituatie op meetlocatie 1C liggen hoger (range 0,71-16,9 mg/m³) dan de gemeten concentraties op de andere twee meetlocaties (range 0,48-6,71 mg/m³), terwijl de ruimte van meetlocatie 1C groter was dan op de andere twee meetlocaties. Ook was er tijdens de metingen op meetlocatie 1C sprake van mechanische ventilatie, terwijl het ventilatiesysteem tijdens de metingen op de andere twee meetlocaties uit stond (zie Tabel B3.2 in Bijlage 3). Daarentegen waren er tijdens de metingen op meetlocatie 1C twee mensen tegelijkertijd door de tank aan het rondlopen, terwijl er op de andere twee meetlocaties slechts één persoon in de ruimte aanwezig was tijdens de uitvoering van de activiteit.



Figuur 25: Overzicht taakgericht gemeten concentraties respirabel stof tijdens werkzaamheden in verontreinigd gebied, onderverdeeld naar soort activiteit en soort meting

Het afbreken van steiger materiaal is slechts op één meetlocatie bemeten, maar omdat de ploeg steigerbouwers die in de betreffende tank aan het werk was vrij groot was, konden wel relatief veel metingen worden verzameld en konden mensen ook herhaald worden bemeten. Hierbij is ook gevraagd op welke hoogte men ongeveer aan het werk was tijdens de verschillende meetsessies, wat varieerde van 4 tot 18 meter hoog tijdens de eerste meetsessie, van 6 tot 14 meter tijdens de tweede meetsessie, en van 4 tot 10 meter tijdens de derde meetsessie. Er lijkt geen duidelijke relatie te zijn tussen de hoogte waarop men voornamelijk heeft gewerkt tijdens een bepaalde meetsessie en de gemeten stofconcentratie (zie Figuur 26), wat wellicht ook deels is veroorzaakt doordat twee personen gedurende de tweede en derde meetsessie ook deels buiten de tank aan het werk waren, terwijl ze in de tank op 4 a 6 meter hoogte aan het werk waren. Wel lijkt het er op dat gedurende de dag de concentratie in de tank in algemene zin omhoog gaat. Dit beeld ontstaat ook op basis van de resultaten van de stationaire metingen die zijn uitgevoerd op de vloer van de tank waarin de steiger werd afgebouwd, waarbij de gemeten concentraties iedere meetsessie iets hoger zijn dan de voorafgaande meetsessie. Dit wordt hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt doordat er tijdens het afbreken van het steiger materiaal steeds kleine hoeveelheden gebruik straalgrit en stof dat zich (nog) in en op het steiger materiaal bevindt naar beneden vallen, waarbij ook stof in de lucht terecht komt. In de tank was alleen sprake van natuurlijke ventilatie, waardoor de stofconcentratie in de tank steeds een beetje op lijkt te lopen. En dit is

zeker het geval onderin de tank, aangezien de werkzaamheden zich gedurende de dag steeds meer naar beneden verplaatsen, en er op de vloer van de tank gelopen wordt waardoor het aanwezig stof op de vloer resuspendeert.



Figuur 26: Overzicht van variatie in gemeten respirabele stofconcentraties per meetsessie tijdens het afbreken van steiger materiaal, waarbij de PAS-metingen zijn onderverdeeld op basis van de werkhoogte waarop gemiddeld genomen is gewerkt.

4.4.3 Effectiviteit straalkap

Met het oog op de hoge gemeten concentraties respirabel stof buiten de straalkap tijdens stralen, is het relevant om te weten wat de effectiviteit van de straalkap is. Op basis van de beschikbare meetgegevens binnen en buiten de straalkap is de effectiviteit van de straalkap als adembeschermingsmiddel binnen deze meetstudie onderzocht.

Binnen de meetstudie zijn 28 sets van parallelle metingen binnen en buiten de straalkap beschikbaar, waarvan 12 sets van persoonlijke metingen binnen en buiten de straalkap bij dezelfde persoon en 16 sets van een combinatie van een persoonlijke meting onder de straalkap en een stationaire meting in dezelfde ruimte. Echter, op basis van de hierboven beschreven kwaliteitscriteria (zie paragraaf 4.4.1) vielen er zeven sets metingen af, onder andere doordat twee PAS-metingen onder de straalkap en twee PAS-metingen buiten de straalkap (zie Tabel B3.1 in Bijlage 3) als uitschieters zijn aangemerkt. Daarnaast is besloten om vier sets metingen buiten beschouwing te laten, omdat de stationaire meting relatief ver was gepositioneerd van waar de betreffende persoon op dat moment aan het werk was

(bijvoorbeeld onder in de straaltank terwijl de persoon op een steiger aan het werk is), waardoor de concentraties van deze stationaire metingen minder representatief worden geacht als proxy voor een persoonlijke meting. Daarom is deze analyse uiteindelijk uitgevoerd op basis van 17 sets van parallelle metingen.

De mate van door de straalkap geboden bescherming is op twee manieren berekend, namelijk:

- De werkplek protectie factor (WPF) = $C_{\text{buiten}} / C_{\text{binnen}}$
- De effectiviteit van de straalkap = $(C_{\text{buiten}} - C_{\text{binnen}}) / C_{\text{buiten}} * 100\%$

Waarbij C_{buiten} de gemeten concentratie respirabel stof (in mg/m^3) buiten de straalkap is, en C_{binnen} de gemeten concentratie respirabel stof (in mg/m^3) binnen de straalkap is.

In Tabel 19 wordt een overzicht gegeven van de berekende WPFs en effectiviteit van de straalkap op basis van de beschikbare gegevens. Omdat er slechts een beperkt aantal metingen beschikbaar is kunnen deze resultaten alleen als een indicatie worden gezien van de werkelijke effectiviteit van de straalkap in de praktijk. Binnen de dataset als geheel is er een factor 100 verschil tussen de laagste en de hoogste berekende WPF (range 30-3.950). Wanneer alleen naar de sets met parallelle persoonlijke metingen wordt gekeken is deze variatie minder (44-458), maar liggen de WPFs wel ruim onder de nominale protectiefactor van 1000 die door fabrikanten wordt aangegeven voor in ieder geval een aantal typen straalkappen die in de praktijk worden toegepast (zie paragraaf 2.2.1).

Tabel 19: Indicatie van mate van bescherming geboden door straalkap

	N	AM	SD	Min.	P10	P25	P50	P75	P90	Max.
Werkplek protectie factor (WPF) straalkap										
Totaal	17	538	995	30	44	128	215	372	2.058	3.950
PAS onder en PAS buiten	9	262	143	44	44	136	264	372	458	458
PAS onder en STAT buiten	8	850	1.424	30	30	84	173	1.151	3.950	3.950
Effectiviteit straalkap (%)										
Totaal	17	99,21	0,88	96,68	97,75	99,22	99,53	99,73	99,95	99,97
PAS onder en PAS buiten	9	99,37	0,64	97,75	97,75	99,26	99,62	99,73	99,78	99,78
PAS onder en STAT buiten	8	99,03	1,11	96,68	96,68	98,64	99,39	99,77	99,97	99,97

N = aantal metingen, AM = rekenkundig gemiddelde, SD = standaarddeviatie, Min. = minimum, P10 = 10 percentiel, P25 = 25 percentiel, P50 = 50 percentiel (mediaan), P75 = 75 percentiel, P90 = 90 percentiel, Max. = maximum.

5 Omrekening van respirabel stofconcentratie naar asbestvezelconcentratie

5.1 Gebruikte omrekenfactoren en correctiefactoren

Met behulp van de uitgevoerde experimenten (beschreven in Hoofdstuk 3) zijn een aantal correctiefactoren en omrekeningsfactoren (asbestvezels per mg respirabel stof) bepaald op basis waarvan asbestvezelconcentraties kunnen worden afgeleid voor diverse activiteiten met straalgrit. Hieronder zijn de diverse factoren samengevat die (deels) moeten worden toegepast voor een juiste inschatting van de asbestvezelconcentratie tijdens het uitvoeren van een specifieke activiteit.

Hoewel er tijdens de meetstudie geen achtergrondmetingen naar respirabel stof zijn uitgevoerd, is het bekend dat er een achtergrondconcentratie aan fijn stof in de buitenlucht aanwezig is, waaronder ook respirabel stof. Voor de metingen tijdens activiteiten is dit niet van belang aangezien de respirabel stofconcentraties dermate hoog zijn dat de achtergrondconcentratie geen significante bijdrage levert. Voor de stationaire metingen buiten kan de achtergrondconcentratie echter wel relevant zijn. Om inzicht te krijgen in de achtergrondniveaus zijn op basis van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit van het RIVM meetpunten geselecteerd waarin zowel PM2.5 (ultrafijn stof <2,5 µm) en PM10 (fijn stof <10 µm) wordt gemeten zo dicht mogelijk bij de diverse locatiemetingen. De PM2.5 en PM10 stofconcentraties varieerden hierbij tussen de 10-12 µg/m³ voor PM2.5 en tussen de 20-25 µg/m³ voor PM10. Voor respirabel stof geldt dat 50% van de deeltjes kleiner is dan 4 µm. Op basis van interpolatie tussen PM10 en PM2.5 is een achtergrondconcentratie afgeleid van circa 0,015 mg/m³. Op basis van deze gegevens zijn de gemeten concentraties respirabel stof van alle metingen gecorrigeerd voor een landelijke achtergrondconcentratie van 0,015 mg/m³.

Voor elk blootstellingsscenario moeten de volgende factoren achtereenvolgens worden toegepast:

- Correctie voor de achtergrondconcentratie aan respirabel stof;
- Correctie voor de stoffigheid van het type aluminiumsilicaat straalgrit dat nu wordt toegepast (alleen in geval van Asilicos);
- Vertaling van de gecorrigeerde respirabel stofconcentratie naar een asbestvezelconcentratie op basis van de afgeleide omrekenfactoren voor de verschillende situaties (werkzaamheden met ongebruikt straalgrit, stralen, werkzaamheden met gebruikt straalgrit) en straalinstelling (druk en verbruik);
- Correctie voor de mate van asbestverontreiniging ten opzichte van een gemiddelde asbestverontreiniging van 6 mg/kg ds (indien gegevens over de mate van asbestverontreiniging van het straalgrit voorhanden zijn).

In Tabel 20 worden de in dit onderzoek (Hoofdstuk 3) afgeleide omrekeningsfactoren weergegeven zoals die zijn toegepast om op basis van de gemeten concentraties respirabel stof een inschatting te maken van de asbestvezelconcentratie voor de diverse activiteiten zoals bemeten op de

verschillende meetlocaties op basis van de specifieke omstandigheden tijdens de metingen (zie Hoofdstuk 4). Omdat de correctie voor de achtergrondconcentratie voor alle metingen hetzelfde is, is deze niet opgenomen in de tabel. Verder is bij de berekeningen van de asbestvezelconcentratie voor alle metingen uitgegaan van een gemiddelde verontreinigingsgraad van het straalgrit, en is hier dus geen aparte correctiefactor voor toegepast. Er zijn verschillende omrekeningsfactoren afgeleid voor de verschillende situaties (handelingen met ongebruikt straalgrit, stralen of handelingen met gebruikt straalgrit) om te komen van concentratie respirabel stof (in mg/m^3) naar een concentratie asbestvezels (in vezels/m^3), en bovendien is de omrekeningsfactor tijdens stralen afhankelijk van de gebruikte druk en grootte van de straalnozzle.

Tabel 20: Afgeleide omrekeningsfactoren, in vezels/mg respirabel stof, en correctiefactoren voor stoffigheid op basis van de experimenten met straalgrit

Locatie	Type activiteit	Type straalgrit	Correctie-factor stoffigheid	Straal-nozzle (mm)	Druk (bar)	Druk x nozzle opp. (bar x mm^2)	Omrekening vezels/mg respirabel stof
Locatie 1A	Stralen	Asilicos	2	10	10	1.000	36.700
Locatie 1B	Stralen	Asilicos	1,6	6,5	6,75	285	3.100
Locatie 1B	Vullen	Asilicos	1				350.000
Locatie 1C	Stralen	Asilicos	1,6	8	8	512	9.900
Locatie 1C	Stralen	Asilicos	1,6	8	8,4	538	10.900
Locatie 1C	Vullen	Asilicos	1				350.000
Locatie 1C	Verontreinigd gebied	Asilicos	1,6				5.100
Locatie 2A	Stralen	Excellent	1	12	8	1.152	48.500
Locatie 2A	Opruimen	Excellent	1				5.100
Locatie 2A	Verontreinigd gebied	Excellent	1				5.100
Locatie 2B	Stralen	Asilicos	1,6	8	8	512	9.900
Locatie 2B	Stralen	Asilicos	2	12	8	1.152	48.500
Locatie 2B	Stralen	Asilicos	1,6	8	8,25	528	10.500
Locatie 2B	Vullen	Asilicos	1				350.000
Locatie 3	Stralen	Excellent	1	10	8	800	23.700
Locatie 3	Vullen	Excellent	1				35.0000
Locatie 3	Opruimen	Excellent	1				5.100
Locatie 3	Verontreinigd gebied	Excellent	1				5.100
Locatie 4	Stralen	Asilicos	1,6	8	8,5	544	11.100
Locatie 4	Vullen	Asilicos	1				350.000
Locatie 4	Opruimen	Asilicos	1,6				5.100

Een fictief voorbeeld ter illustratie. De gemeten concentratie respirabel stof van persoon X op locatie 1C tijdens straalwerkzaamheden (inwendige diameter van de gebruikte straalnozzle was 8 mm, druk tijdens stralen was 8,4 bar) was $100 \text{ mg}/\text{m}^3$. Wanneer wordt uitgegaan van een gemiddelde verontreinigingsgraad ($6 \text{ mg}/\text{kg ds}$)

van het straalgrit wordt de bijbehorende geschatte asbestvezelconcentratie dan $((100\text{-correctiefactor achtergrondconcentratie}) / \text{correctiefactor stoffigheid}) * \text{omrekeningsfactor asbestvezels/mg respirabel stof op basis van straalinstellingen} = ((100 - 0,015) / 1,6) * 10.900 = 681.148 \text{ vezels/m}^3$.

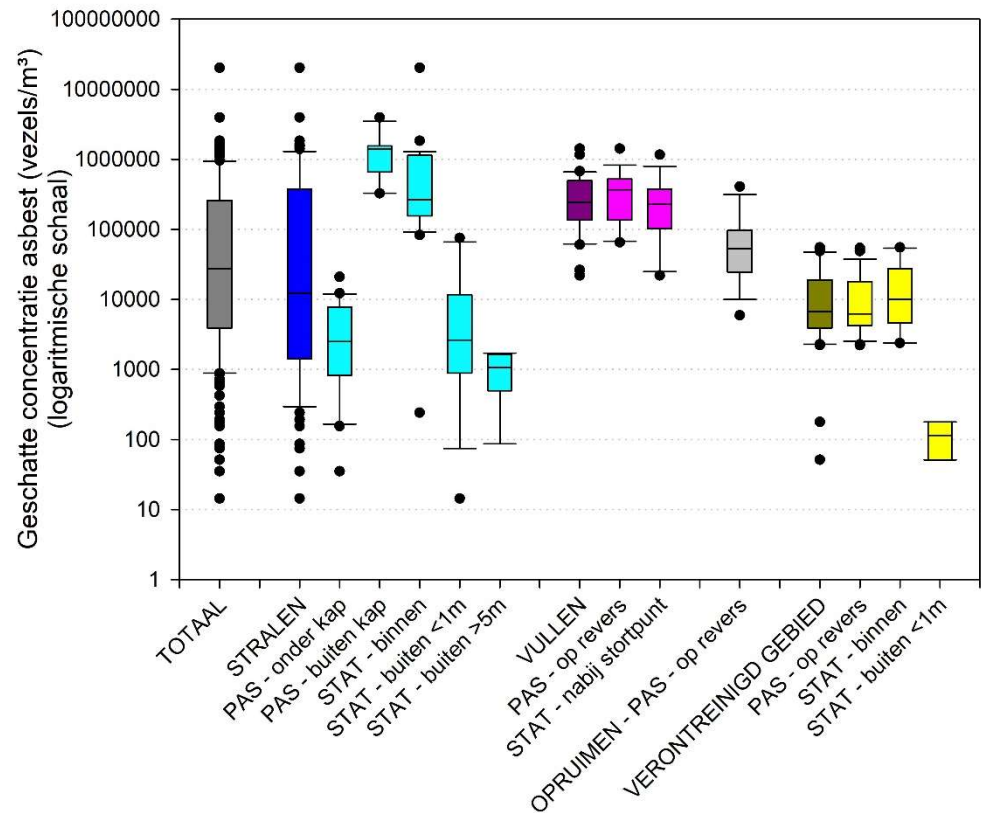
5.2 Geschatte concentratie asbestvezels voor activiteiten die zijn bemeten in de meetstudie

Zoals is beschreven in paragraaf 4.1 zijn op basis van overeenkomsten en verschillen tussen de verschillende activiteiten die zijn geïdentificeerd tijdens de inventarisatie (zie Hoofdstuk 2) relevante (worst-case) activiteiten geselecteerd voor de meetstudie, waarbij rekening is gehouden met mogelijkheden voor extrapolatie van gegevens tussen activiteiten. De resultaten van dit onderzoek geven een beeld van de blootstelling aan respirabel stof en asbestvezels tijdens de bemeten activiteiten uitgaande van de omstandigheden zoals die van toepassing waren tijdens de metingen. Tijdens de meetstudie zijn de metingen voor zover mogelijk onder worst-case omstandigheden uitgevoerd, en zijn taakgerichte metingen uitgevoerd tijdens activiteiten waarbij op voorhand emissie van (respirabel) stof en dus blootstelling wordt verwacht. Daarom is er bijvoorbeeld alleen gemeten tijdens daadwerkelijke vulwerkzaamheden, terwijl een ketelboy over het algemeen maar een deel van een werkdag een straalketel aan het vullen is. Dit geldt ook voor de metingen tijdens straalwerkzaamheden (een straler is over het algemeen niet de gehele werkdag aan het stralen) en opruimwerkzaamheden (er wordt over het algemeen niet gedurende de gehele werkdag perslucht gebruikt om dingen schoon te blazen). Dit betekent dat voor het kunnen schatten van de gemiddelde blootstelling gedurende een werkdag aan zowel respirabel stof als asbestvezels voor de verschillende taakgroepen zoals weergegeven in Tabel 1 aanvullende informatie nodig is over bijvoorbeeld de omstandigheden waarin werkzaamheden worden uitgevoerd, inclusief gegevens over de (gemiddelde) duur van activiteiten gedurende een werkdag en welke (andere) activiteiten de verschillende groepen werknemers (gemiddeld) tijdens een werkdag uitvoeren. Ook voor vergelijking met een grenswaarde is het berekenen van een 8-uurs TGG blootstelling noodzakelijk. Dit lag echter buiten de scope van het huidige onderzoek.

Met betrekking tot de dataset die is gebruikt voor het inschatten van de asbestvezelconcentraties zijn dezelfde criteria in acht genomen als bij het berekenen van de gemeten concentraties respirabel stof, en zijn dus de metingen die zijn aangemerkt als uitschieter en de metingen met een afwijking in het debiet groter dan 10% buiten beschouwing gelaten. Daarnaast zijn de metingen waarvan er per activiteit slechts één binnen de verschillende soorten metingen zijn verzameld ook buiten beschouwing gelaten. Deze laatste groep betreffen vier metingen die zijn gedaan tijdens de activiteit schoonblazen op meetlocatie 4. De beschikbare dataset bestaat daardoor uit 174 van de 201 verzamelde metingen.

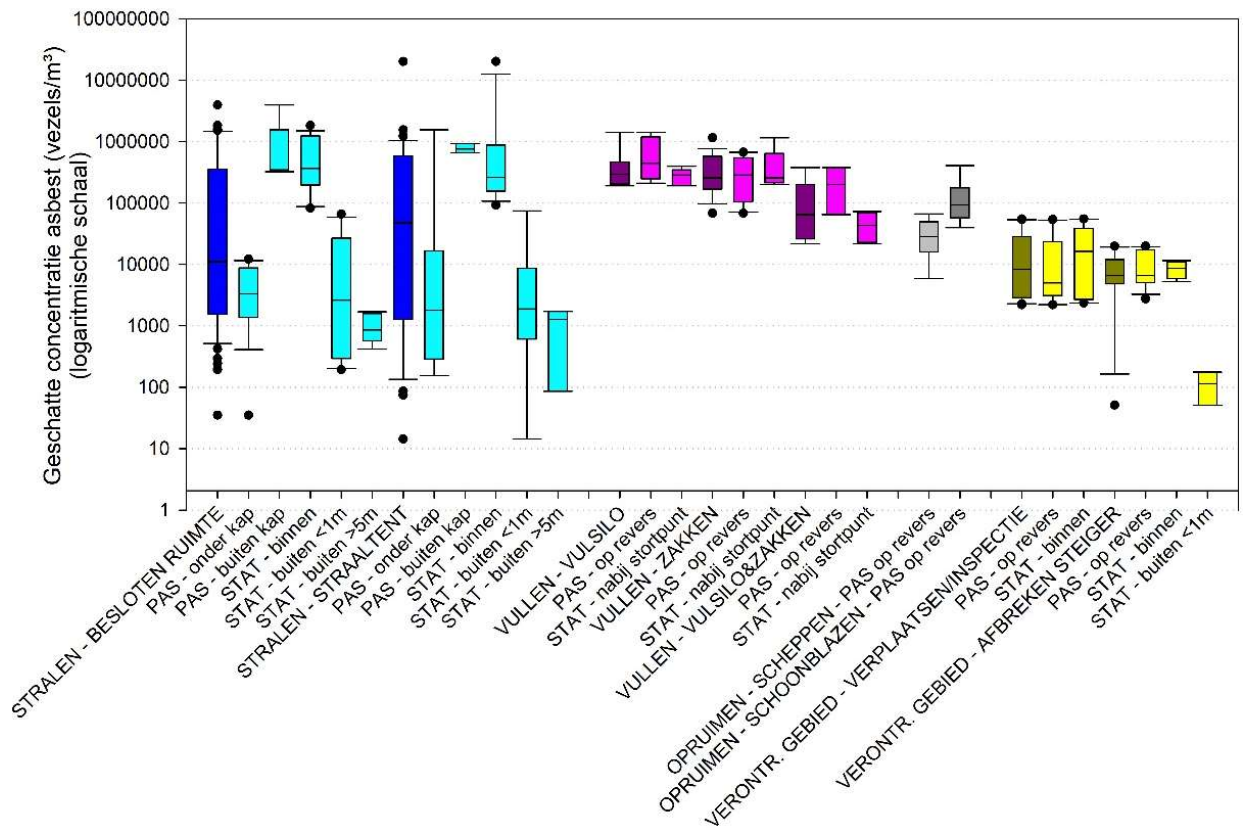
In Figuur 27 is een overzicht gegeven van de geschatte taakgerichte concentraties asbestvezels (in vezels/m^3) voor de verschillende blootstellingsscenario's zoals zijn

meegenomen in de meetstudie. In Figuur 28 wordt onderscheid gemaakt in geschatte taakgerichte concentraties asbestvezels tijdens de uitvoering van de verschillende activiteiten. Meer gedetailleerde informatie over de bijbehorende niveaus is gegeven in Tabel 21.



Figuur 27: Overzicht van geschatte taakgerichte concentraties asbest (in vezels/m³) op basis van de gecorrigeerde concentraties respirabel stof per blootstellingsscenario.

Zoals kan worden opgemaakt uit de beide figuren zijn de geschatte asbestvezelconcentraties hoog tot zeer hoog, en is er net als bij de gemeten concentraties respirabel stof sprake van een grote spreiding (variatie) in de geschatte asbestvezelconcentraties. Over alle blootstellingsscenario's heen is het geometrisch gemiddelde van de geschatte asbestconcentraties 28.000 vezels/m³ (GSD 15, range 10-20.200.000 vezels/m³). Op basis van de geschatte asbestvezelconcentraties, die voor 80-85% van de taakgerichte metingen ver boven de grenswaarde liggen, kan worden verwacht dat wanneer deze gegevens worden gebruikt om een 8-uurs TGG blootstelling over een werkdag te berekenen, een substantieel deel hiervan boven de grenswaarde zal eindigen.



Figuur 28: Overzicht van geschatte taakgerichte concentraties asbest (in vezels/m³) op basis van de gecorrigeerde concentraties respirabel stof per activiteit.

Tabel 21: Overzicht geschatte taakgerichte asbestvezelconcentraties (in vezels/m³) tijdens uitgevoerde activiteiten op basis van gemeten concentraties respirabel stof

Activiteit	Soort meting *	N	AM	GM	GSD	Min.	P10	P25	P50	P75	P90	Max.
Totaal	Totaal	174	360.000	28.000	15	10	880	3.900	28.000	260.000	930.000	20.200.000
1. Stralen	Totaal	89	570.000	22.000	26	10	290	1.500	12.000	370.000	1.300.000	20.200.000
	PAS - buiten kap	11	1.300.000	1.100.000	2,1	330.000	350.000	660.000	1400.000	1.600.000	1.600.000	4.000.000
	PAS - onder kap	22	4.600	2.000	4,9	40	190	880	2.500	7.400	11.000	21.000
	STAT - binnen	28	1.300.000	420.000	3,4	83.000	93.000	180.000	320.000	1.100.000	1.300.000	20.200.000
	STAT - buiten (<1 m)	20	12.000	2.100	9,6	10	130	590	2.300	9.500	47.000	75.000
	STAT - buiten (>5 m)	8	1.000	770	2,7	90	90	570	1.100	1.600	1.700	1.700
1a. besloten ruimte	Totaal	53	400.000	22.000	22	40	660	1.600	11.000	350.000	1.400.000	4.000.000
	PAS - buiten kap	7	1.500.000	1.100.000	2,5	330.000	330.000	350.000	1.500.000	1.600.000	4.000.000	4.000.000
	PAS - onder kap	15	4.800	2.600	4,5	40	660	1.400	3.300	8.800	11.000	12.000
	STAT - binnen	15	670.000	420.000	2,9	83.000	92.000	200.000	370.000	1.300.000	1.300.000	1.800.000
	STAT - buiten (<1 m)	11	13.000	2.700	7,9	190	240	290	2.600	27.000	29.000	66.000
	STAT - buiten (>5 m)	5	1.000	910	1,8	420	420	710	860	1.500	1.700	1.700
1b. straaltent	Totaal	36	820.000	21.000	34	10	150	1.300	48.000	520.000	960.000	20.200.000
	PAS - buiten kap	4	980.000	920.000	1,5	660.000	660.000	710.000	850.000	1.200.000	1.600.000	1.600.000
	PAS - onder kap	7	4.200	1.200	5,7	150	150	190	1.200	3.900	21.000	21.000
	STAT - binnen	13	2.000.000	430.000	4,2	93.000	130.000	160.000	260.000	820.000	1.200.000	20.200.000
	STAT - buiten (<1 m)	9	11.000	1.600	13	10	10	1.100	1.900	5.800	75.000	75.000
	STAT - buiten (>5 m)	3	1.000	570	5,2	90	90	90	1.300	1.700	1.700	1.700
2. Vullen	Totaal	33	340.000	230.000	2,7	22.000	65.000	170.000	240.000	480.000	650.000	1.400.000
	PAS - op revers	17	380.000	270.000	2,4	65.000	68.000	170.000	370.000	520.000	670.000	1.400.000
	STAT - nabij stortpunt	16	300.000	190.000	3,0	22.000	26.000	130.000	230.000	350.000	640.000	1.200.000
2a. vulsilo	Totaal	9	430.000	350.000	1,9	190.000	190.000	210.000	300.000	400.000	1.400.000	1.400.000

Activiteit	Soort meting *	N	AM	GM	GSD	Min.	P10	P25	P50	P75	P90	Max.
	PAS - op revers	4	630.000	490.000	2,2	210.000	210.000	290.000	450.000	970.000	1.400.000	1.400.000
	STAT - nabij stortpunt	5	270.000	260.000	1,4	190.000	190.000	200.000	290.000	300.000	400.000	400.000
2b. zakken	Totaal	17	390.000	300.000	2,2	68.000	100.000	170.000	260.000	520.000	670.000	1.200.000
	PAS - op revers	10	330.000	250.000	2,3	68.000	86.000	110.000	290.000	520.000	660.000	670.000
	STAT - nabij stortpunt	7	460.000	380.000	2,0	200.000	200.000	210.000	260.000	640.000	1.200.000	1.200.000
2c.vulsilo en zakken	Totaal	7	120.000	74.000	2,8	22.000	22.000	26.000	65.000	200.000	380.000	380.000
	PAS - op revers	3	220.000	170.000	2,4	65.000	65.000	65.000	200.000	380.000	380.000	380.000
	STAT - nabij stortpunt	4	45.000	40.000	1,8	22.000	22.000	24.000	43.000	67.000	73.000	73.000
3. Opruimen	PAS - op revers	12	83.000	50.000	2,9	5.900	19.000	28.000	54.000	94.000	100.000	410.000
3b. scheppen	PAS - op revers	6	32.000	25.000	2,3	5.900	5.900	19.000	28.000	44.000	67.000	67.000
3d. schoonblazen	PAS - op revers	6	130.000	99.000	2,2	40.000	40.000	63.000	94.000	100.000	410.000	410.000
6. Verontreinigd gebied	Totaal	40	14.000	7.200	4,0	50	2.300	4.000	6.700	19.000	41.000	55.000
	PAS - op revers	24	13.000	8.100	2,5	2.200	2.800	4.300	6.200	17.000	26.000	54.000
	STAT - binnen	14	18.000	11.000	2,9	2.400	2.400	5.200	10.000	25.000	53.000	55.000
	STAT - buiten (<1 m)	2	110	100	2,4	50						180
6a/d. verplaatsen / inspectie	Totaal	22	18.000	9.700	3,3	2.200	2.400	2.900	8.400	26.000	53.000	55.000
	PAS - op revers	12	15.000	8.100	3,2	2.200	2.300	3.400	5.000	21.000	49.000	54.000
	STAT - binnen	10	21.000	12.000	3,5	2.400	2.400	2.800	16.000	34.000	54.000	55.000
6c.afbreken steigermateriaal	Totaal	18	8.500	5.000	4,7	50	180	5.000	6.600	12.000	19.000	20.000
	PAS - op revers	12	9.900	8.200	1,9	2.800	4.500	5.100	6.600	16.000	19.000	20.000
	STAT - binnen	4	8.600	8.200	1,4	5.200	5.200	6.600	8.700	11.000	12.000	12.000
	STAT - buiten (<1 m)	2	110	100	2,4	50						180

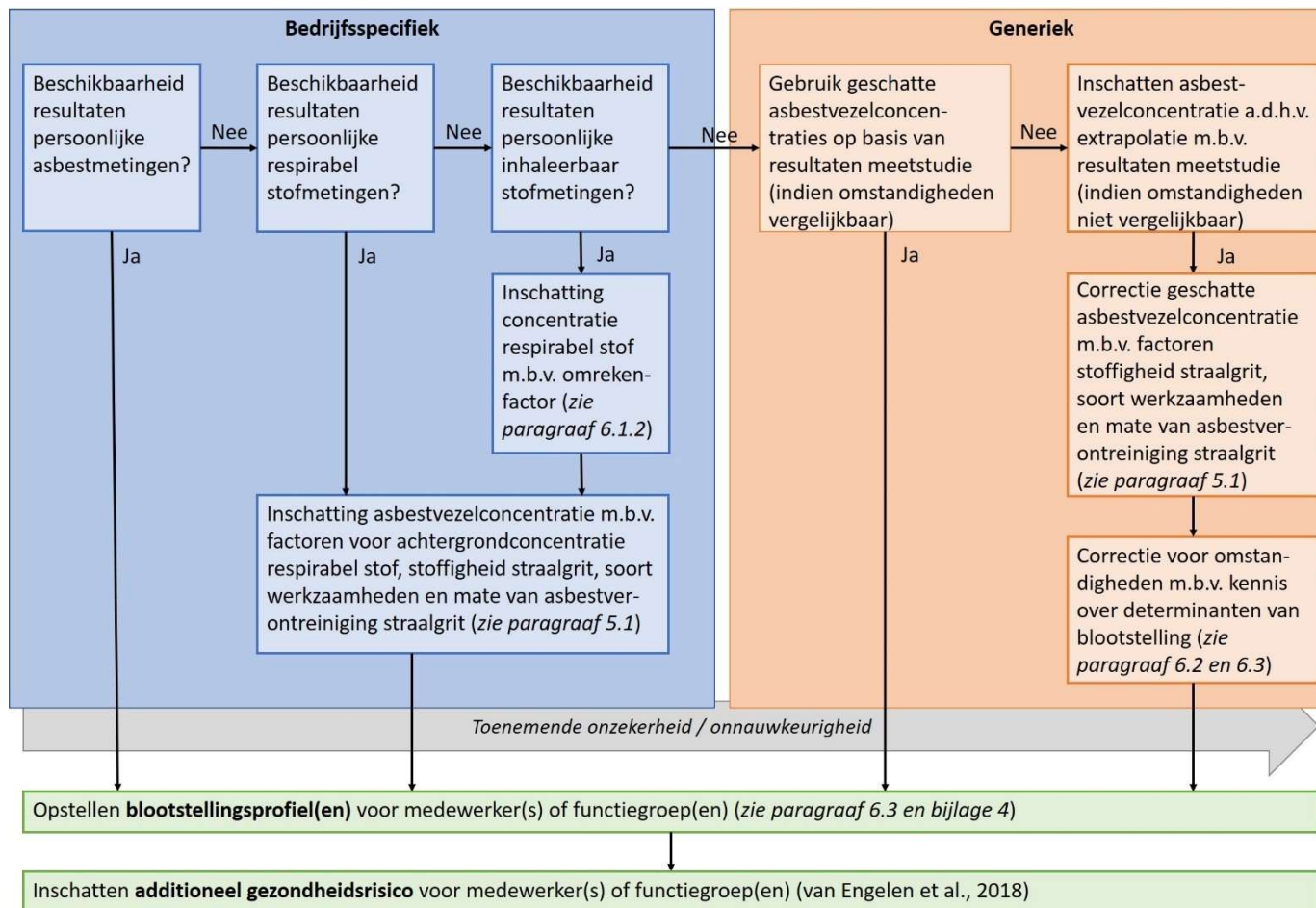
N = aantal metingen, AM = rekenkundig gemiddelde, GM = geometrisch gemiddelde, GSD = geometrische standaarddeviatie, Min. = minimum, P10 = 10 percentiel, P25 = 25 percentiel, P50 = 50 percentiel (mediaan), P75 = 75 percentiel, P90 = 90 percentiel, Max = maximum.

6 Inschatting van de asbestvezelconcentratie per blootstellingsscenario

Op basis van de resultaten van de experimenten (zie Hoofdstuk 3), waaruit de relatie respirabel stof versus respirabel asbest is bepaald, en de resultaten van de meetstudie (zie Hoofdstuk 4), waarbij de blootstelling aan respirabel stof is gemeten tijdens het uitvoeren van verschillende activiteiten, zijn asbestvezelconcentraties geschat voor de verschillende activiteiten binnen de blootstellingsscenario's die zijn bemeaten in de meetstudie (zie Tabel 21).

De getallen zoals gepresenteerd in Tabel 21 geven de geschatte taakgerichte blootstelling aan asbestvezels weer wanneer gewerkt zou zijn met het verontreinigde aluminiumsilicaat van Eurogrit met een verontreinigingsgraad van 6 mg/kg ds, onder de omstandigheden zoals van toepassing waren tijdens de metingen. Deze waarden kunnen gebruikt worden om taakgerichte asbestvezelconcentraties te schatten binnen de blootstellingsscenario's. Daarnaast kunnen verschillende omrekenfactoren gebruikt worden om te extrapoleren naar andere omstandigheden. Denk daarbij aan tijdsduur per dag dat een activiteit wordt uitgevoerd of het verschil tussen werken in een grote geventileerde ruimte of werken in een niet geventileerde kleine ruimte. Ook is er tijdens de experimenten zoals uitgevoerd binnen dit onderzoek een lineaire relatie tussen de hoeveelheid asbest in het product en de hoeveelheid vezels in de lucht gevonden. Wanneer de daadwerkelijke verontreinigingsgraad van het verontreinigde straalgrit dat binnen een bedrijf is gebruikt bekend is, kan de genormaliseerde schatting op basis van 6 mg/kg ds gecorrigeerd worden naar het werkelijke asbestgehalte.

Uit de inventarisatie van omstandigheden van gebruik van het straalgrit bleek echter dat er veel meer activiteiten in variërende omstandigheden hebben plaatsgevonden binnen de geïdentificeerde blootstellingsscenario's dan bemeaten konden worden in de meetstudie. Daarom wordt in dit hoofdstuk tevens een aanpak gepresenteerd waarbij op basis van de resultaten van dit onderzoek voor verschillende situaties een inschatting van de blootstelling aan asbest kan worden gemaakt. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen situaties waarbij bedrijfsspecifieke informatie met betrekking tot blootstellingsgegevens voorhanden is en situaties waarin een meer generieke aanpak wordt gevolgd. Deze aanpak is schematisch weergegeven in Figuur 29, en wordt in onderstaande paragrafen verder uitgewerkt. Wanneer de asbestvezelconcentraties worden afgeleid van specifieke gegevens zijn de schattingen het meest nauwkeurig. De methoden in Figuur 29 geven van links naar rechts steeds meer onzekerheid. De meest accurate methode staat links weergegeven en de meest onnauwkeurigste methode rechts. Daarnaast zijn in Bijlage 4 een aantal voorbeelden van uitgewerkte blootstellingsprofielen opgenomen.



Figuur 29: Schematisch overzicht aanpak voor in kaart brengen blootstelling aan asbest voor specifieke blootstellingsscenario's

6.1 Inschatting van blootstelling aan asbestvezels op basis van specifieke informatie over blootstelling aan respirabel stof

6.1.1 Beschikbaarheid respirabel stofmetingen

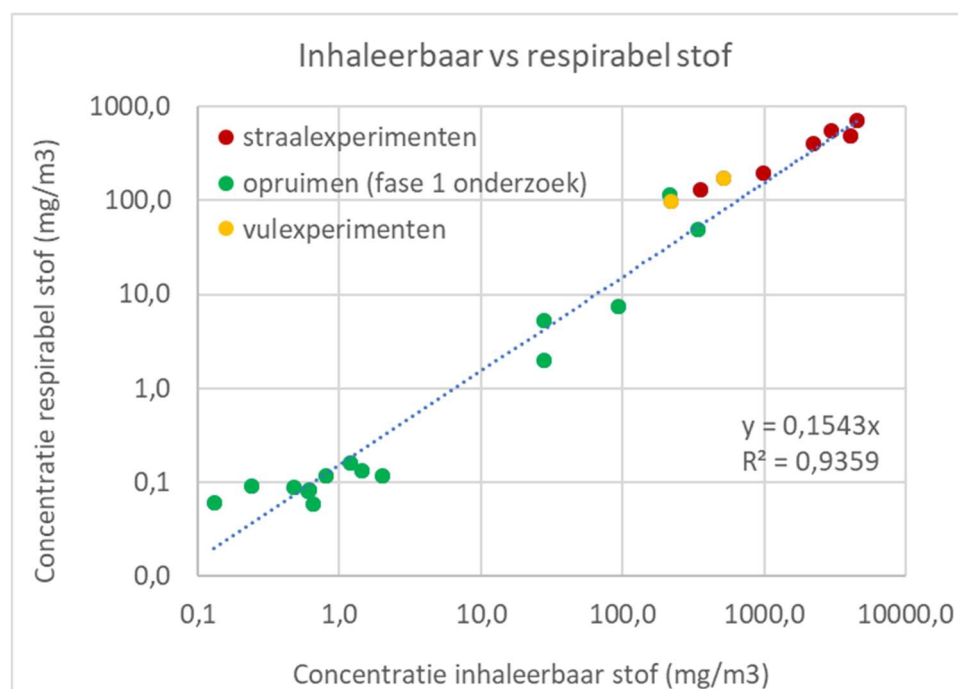
Binnen de meetstudie hebben we voor een aantal blootstellingsscenario's de respirabele stofconcentratie tijdens de uitvoering van specifieke activiteiten bemeaten. Blootstelling aan stof, waaronder respirabel stof, is een bekend gezondheidsrisico bij straalactiviteiten. Hierdoor is het waarschijnlijk dat bedrijven in het kader van de Risico Inventarisatie en Evaluatie (RI&E) zelf al de blootstelling aan respirabel stof van hun werknemers in kaart hebben gebracht. Wanneer deze specifieke gegevens beschikbaar zijn, kan de blootstelling aan asbest (voor bedrijven die mogelijk hebben gewerkt met asbest-verontreinigd straalgrit) worden geschat met behulp van de relevante omrekenfactoren die in dit onderzoek zijn bepaald (zie Tabel 20 in paragraaf 5.2). Wanneer deze gegevens niet beschikbaar zijn is het natuurlijk ook nog mogelijk om de blootstelling aan respirabel stof in specifieke bedrijfssituaties te meten. Hierbij moet dan wel rekening gehouden worden met de eigenschappen van het aluminiumsilicaat ten opzichte van de eigenschappen van het gebruikte verontreinigde Eurogrit aluminiumsilicaat. Experimenten in dit onderzoek hebben bijvoorbeeld aangetoond dat aluminiumsilicaat straalgrit van Excellent en Eurogrit een vergelijkbare stoffigheid geven, terwijl Asilicos stoffiger is tijdens stralen.

6.1.2 Beschikbaarheid inhaleerbaar stofmetingen als indicator voor respirabel stof

Wanneer bedrijven, bijvoorbeeld in het kader van de RI&E, geen gegevens hebben over de blootstelling aan respirabel stof, maar in plaats daarvan wel de blootstelling aan inhaleerbaar stof van hun werknemers in kaart hebben gebracht, kunnen deze blootstellingsgegevens ook worden gebruikt om een inschatting van de blootstelling aan asbestvezels te maken. Hierbij dient echter eerst een omrekening plaats te vinden van inhaleerbaar stof naar respirabel stof, omdat er anders sprake zou kunnen zijn van een overschatting van de blootstelling aan asbestvezels. Een dergelijke omrekening is in principe mogelijk, maar gaat wel gepaard met onzekerheid. De relatie respirabel / inhaleerbaar stof is namelijk afhankelijk van het soort activiteit, de mate van ventilatie en de afstand van de meting tot de activiteit (bron). Hoe meer activiteit (en luchtwerveling), hoe meer grof stof er in de lucht wordt gebracht. Er kan worden aangenomen dat op grotere afstand van de bron het grove inhaleerbare stof meestal al is neergeslagen (gesedimenteerd), terwijl het veel fijnere respirabele stof nog steeds in de lucht aanwezig is.

Echter, zowel tijdens Fase 1 (meetstudie tijdens opruimwerkzaamheden) als tijdens Fase 2 (simulatie-experimenten tijdens stralen en vullen) zijn gelijktijdig inhaleerbaar en respirabel stof gemeten. Voor de bepaling van de concentratie inhaleerbaar stof kan namelijk gebruik worden gemaakt van dezelfde Nuclepore filters die zijn gebruikt voor de analyse op asbestvezels. De beladen Nuclepore filters

zijn hiervoor eerst gewogen op een microbalans, waarna het aanwezige inhaleerbaar stof van de filters is gespoeld. Na drogen bij kamertemperatuur zijn de filters opnieuw gewogen. Op basis van deze set metingen is gekeken naar de relatie tussen gemeten concentraties inhaleerbaar stof en respirabel stof over een groot concentratiebereik (0,1-10.000 mg/m³) (zie Figuur 30). De omstandigheden van de metingen waren iedere keer anders. Zo zijn de metingen uitgevoerd bij drie verschillende activiteiten: vullen in een experimentele setting, stralen (hoge druk/hoog verbruik, hoge druk/laag verbruik en lage druk/laag verbruik) in een experimentele setting, en opruimactiviteiten (scheppen en vegen) onder praktijkomstandigheden. Daarnaast zijn de vulexperimenten uitgevoerd met ongebruikt straalgrit, en zijn de opruimwerkzaamheden uitgevoerd met gebruikt straalgrit. De verhouding tussen de gemeten concentraties inhaleerbaar stof en respirabel stof blijkt redelijk constant te zijn over de verschillende situaties, waardoor de regressievergelijking in Figuur 30 kan worden gebruikt om voor deze blootstellingsscenario's op basis van een bekende concentratie inhaleerbaar stof de bijbehorende concentratie respirabel stof te schatten. Deze geschatte concentratie respirabel stof kan dan weer worden gebruikt om op basis van de omrekenfactoren zoals weergegeven in Tabel 20 (zie paragraaf 5.2) een inschatting te maken van de concentratie asbestvezels.



Figuur 30: Respirabele stofconcentratie uitgezet tegen de inhaleerbare stofconcentratie.

6.1.3 Inschatting blootstelling aan inhaleerbaar stof als indicator voor respirabel stof

Als voor een bepaald blootstellingsscenario zowel de concentratie inhaleerbaar stof als de concentratie respirabel stof **niet** bekend is, kan als laatste optie voor in ieder

geval een aantal activiteiten met bijvoorbeeld behulp van de Advanced REACH Tool (ART) de blootstelling aan inhaleerbaar stof worden ingeschat (Fransman et al., 2011). ART is een blootstellingsmodel dat in de Europese wetgeving is geaccepteerd als model voor het schatten van blootstelling aan onder andere (inhaleerbaar) stof (ECHA, 2008).

Het gebruik van ART voor het schatten van blootstelling aan inhaleerbaar stof (dat omgerekend kan worden naar respirabel stof) is met name relevant voor situaties waarbij men geïnteresseerd is in het schatten van blootstelling dichtbij de bron ('near field'), omdat in deze situaties kan worden aangenomen dat de verhouding inhaleerbaar stof versus respirabel stof vergelijkbaar is (zie hierboven). Er wordt aangenomen dat dichtbij de bron voldoende luchtwerveling aanwezig is zodat ook het inhaleerbare stof dat vrijkomt in de lucht blijft en niet meteen neerslaat. Op grotere afstand van de bron zal, afhankelijk van de omstandigheden (zoals mate van ventilatie dan wel mate van luchtwerveling), de verhouding inhaleerbaar stof versus respirabel stof (over het algemeen) anders worden. Oftewel: op grotere afstand van de bron neemt de concentratie respirabel stof in vergelijking tot de concentratie inhaleerbaar stof over het algemeen toe.

6.2 Inschatting van blootstelling aan asbestvezels op basis van blootstellingsfactoren

Wanneer de specifieke bedrijfssituatie niet is onderzocht in deze studie, en er voor deze bedrijfssituatie ook geen gegevens over blootstelling aan respirabel stof (of inhaleerbaar stof) voorhanden zijn, is de enige andere mogelijkheid om een inschatting te maken van de blootstelling aan de hand van extrapolatie met behulp van kennis over de invloed van determinanten van blootstelling (factoren die een effect hebben op blootstelling). Deze methode gaat echter gepaard met onzekerheid en dient alleen te worden ingezet als geen van bovenstaande methodes te gebruiken zijn. Hieronder staan een aantal relevante blootstellingsfactoren en hun effecten beschreven. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de kennis over het effect van deze factoren met name is gebaseerd op informatie met betrekking tot blootstelling aan inhaleerbaar stof. Er wordt echter aangenomen dat, met name met betrekking tot blootstellingssituaties dicht bij de bron (<1 meter, near field), het effect van blootstellingsfactoren op de aanwezige concentratie respirabel stof vergelijkbaar zal zijn.

6.2.1 Tijdsduur

De beschreven concentraties in dit onderzoek betreffen taakgerichte metingen. De gemeten concentraties zijn daardoor van toepassing op omstandigheden waarin de activiteit gedurende de gehele werkdag wordt uitgevoerd. Wanneer een bepaalde activiteit in plaats van acht uur per dag slechts één uur per dag wordt uitgevoerd, zal de gemiddelde concentratie gedurende de werkdag $1/8^{\circ}$ zijn ten opzichte van de gemeten taakgerichte concentratie. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat gedurende

de resterende zeven uur geen sprake is van blootstelling aan respirabel stof (op niveaus boven de achtergrondconcentratie).

6.2.2 Factoren gerelateerd aan de manier van uitvoeren van de activiteit

Vaak is niet zozeer de activiteit die wordt uitgevoerd bepalend voor de mate van blootstelling, maar bepaalt met name de manier waarop of de omstandigheden waarbij de activiteit wordt uitgevoerd de mate van blootstelling tijdens een activiteit.

6.2.2.1 Straalwerkzaamheden

Binnen het ART-model is geen activiteit-categorie (binnen ART 'activity class' (AC) genoemd) beschikbaar waarmee direct de blootstelling aan het straalmiddel tijdens stralen kan worden ingeschat, omdat met de betreffende activiteit-categorie (namelijk 'abrasive blasting') ontwikkeld is voor het schatten van de blootstelling aan (stoffen in) de verwijderde coating in plaats van blootstelling aan het straalmiddel. De invloed van de onderliggende parameters die van invloed zijn op de blootstelling worden echter vergelijkbaar geacht. Deze parameters betreffen:

- de grootte van het bewerkte oppervlak per tijdseenheid, waarbij ten opzichte van een klein oppervlak een groot oppervlak resulteert in een factor 3 hogere blootstelling en een zeer groot oppervlak in een factor 10 hogere blootstelling;
- droog of nat stralen, waarbij nat stralen in een factor 3 lagere blootstelling resulteert;
- de straalrichting, waarbij ten opzichte van een combinatie van horizontaal en neerwaarts (naar beneden gericht) stralen het in alle richtingen stralen in een factor 3 hogere blootstelling resulteert, en alleen neerwaarts stralen in een factor 3 lagere blootstelling.

Verder blijkt uit de resultaten van de simulatie-experimenten dat zowel bij een toename van de druk waarmee het straalgrit wordt gestraald als bij een toename van de inwendige diameter van de straalnozzle (als maat voor verbruik) de hoeveelheid stof dat vrijkomt toeneemt. Daarnaast wordt aangenomen dat ook de verhouding perslucht/straalgrit waarmee wordt gestraald (het bedrijfsmengsel) en de vorm van het object dat wordt gestraald (ook wel spuitbeeld genoemd), bijvoorbeeld een vlak oppervlak ten opzichte van een object met een zekere ronding (zoals een tankwand), van invloed zijn op de mate dat stof vrijkomt tijdens stralen.

6.2.2.2 Vulwerkzaamheden dan wel storten als onderdeel van transport

Het vullen van reservoirs/straalketels met dan wel het storten van straalgrit komt het meest overeen met de activiteit-categorie transfer van poeders ('transfer of powders, granules, or pelletized material') (Fransman et al., 2011). De parameters waarvan wordt aangenomen dat deze van invloed zijn op de mate van blootstelling bij het uitvoeren van dergelijke werkzaamheden zijn:

- de hoeveelheid materiaal per tijdseenheid, waarbij het storten van grote hoeveelheden (via bigbags) tot hogere blootstelling leidt dan het storten van kleinere hoeveelheden.

- de manier van omgang met het materiaal, waarbij een voorzichtige manier van vullen/storten resulteert in een factor 3 lagere blootstelling ten opzichte van routinematig storten;
- de valhoogte, waarbij een valhoogte van 0,5 meter of meer resulteert in een factor 3 hogere blootstelling dan een valhoogte van minder dan 0,5 meter;
- de mate van afscherming van het proces (bijvoorbeeld via een stortslurf), waarbij afscherming resulteert in een factor 3 lagere blootstelling ten opzichte van een open proces.

6.2.2.3 Opruimwerkzaamheden

Zowel het (op)scheppen van straalgrit als het opzuigen van straalgrit worden binnen het ART-model gezien als een vorm van verplaatsen van poeders ('transfer of powders') (zie paragraaf 6.2.2.2).

De hoeveelheid straalgrit die wordt opgeruimd is van invloed op de blootstelling. Hoe meer straalgrit per tijdseenheid wordt opgeruimd hoe hoger de blootstelling. Daarnaast is de manier van opruimen ook belangrijk. Wanneer eenzelfde hoeveelheid straalgrit wordt opgezogen in plaats van opgeschept wordt een factor 30 lagere blootstelling verwacht.

Met betrekking tot het in beweging brengen dan wel agiteren van een aanwezige verontreiniging (vegen of schoonblazen) in de vorm van (gebruikt) straalgrit of stof waardoor stofdeeltjes in de lucht worden gebracht (AC 'movement and agitation of powders, granules or pelletized material'), worden de volgende parameters meegenomen bij het schatten van de blootstelling:

- de hoeveelheid van het materiaal, waarbij ten opzichte van het in beweging brengen van 1-10 kg per tijdseenheid het in beweging brengen van 10-100 kg per tijdseenheid resulteert in een factor 3 hogere blootstelling, en het in beweging brengen van 0,1-1 kg resulteert in een factor 3 lagere blootstelling;
- de mate van in beweging brengen van het materiaal, waarbij ten opzichte van vegen (matig agitatie niveau) het toepassen van perslucht (hoog agitatie niveau) resulteert in een factor 30 hogere blootstelling.
- de mate van afscherming van het proces, waarbij het tegengaan van het in contact komen van het materiaal met de aangrenzende lucht ten opzichte van een open proces resulteert in een factor 3 lagere blootstelling.

Voor het transporteren van objecten die aan de buitenkant verontreinigd zijn met straalgritstof, bijvoorbeeld het verplaatsen van apparatuur of het vervoer van zakken/silo's ('handling of contaminated solid objects'), worden de volgende parameters meegenomen bij het schatten van de blootstelling:

- de mate van verontreiniging, waarbij ten opzichte van het hanteren van zwaar verontreinigde objecten (een dikke laag zichtbaar stof) het hanteren van zichtbaar verontreinigde objecten (bedekt met een laagje gesedimenteerde stof afkomstig van stoffige activiteiten in de omgeving) in een factor 3 lagere blootstelling resulteert, het hanteren van objecten met een beperkte verontreiniging (een laag zichtbaar stof) in een factor 10 lagere blootstelling

- resulteert, en het hanteren van objecten met een lichte verontreiniging (een dun laagje zichtbaar stof) in een factor 30 lagere blootstelling resulteert;
- de manier van werken, waarbij voorzichtig werken in een factor 3 lagere blootstelling resulteert ten opzichte van een normale manier van werken, en werken op een manier die afwijkt van reguliere werkprocedures en waar grote hoeveelheden energie aan te pas komen in een factor 3 hogere blootstelling resulteert.

6.2.2.4 Werkzaamheden in verontreinigd gebied

Binnen het ART-model zijn verschillende activiteit-categorieën relevant met betrekking tot het identificeren van parameters die van invloed zijn op de mate van blootstelling tijdens werkzaamheden die kunnen worden uitgevoerd in verontreinigd gebied (Fransman et al., 2011).

Met betrekking tot het hanteren van objecten die aan de buitenkant verontreinigd zijn (AC 'handling of contaminated solid objects') wordt aangenomen dat de mate van verontreiniging van deze objecten over het algemeen minder zal zijn dan tijdens opruimwerkzaamheden, maar worden verder ook de parameters mate van verontreiniging en manier van werken relevant geacht voor het schatten van de blootstelling (zie paragraaf 6.2.2.3).

Bij activiteiten waarbij door het in beweging brengen dan wel agiteren van een aanwezige verontreiniging in de vorm van (ongebruikt of gebruikt) straalgrit of stof stofdeeltjes in de lucht worden gebracht (AC 'movement and agitation of powders, granules or pelletized material') worden de parameters hoeveelheid van het materiaal, mate van in beweging brengen van het materiaal en mate van afscherming van het proces relevant geacht voor het schatten van de blootstelling (zie paragraaf 6.2.2.3). Het verschil in mate van stofemissie tussen inspectiewerk en opruimwerkzaamheden wordt met name veroorzaakt door de hoeveelheid materiaal dat in beweging wordt gebracht.

6.2.3 Bronmaatregelen

Bronmaatregelen beschrijven technische beheersmaatregelen die dichtbij de bron worden toegepast om de emissie van stoffen aan de bron en daarmee de blootstelling te reduceren. Bronmaatregelen die relevant zijn voor de activiteiten rondom straalgrit zijn onder andere bevochtigen van het materiaal, lokale beheersmaatregelen en afschermen van de bron.

6.2.3.1 Bevochtigen

Bij het schatten van blootstelling aan (inhaleerbaar) stof gaat het ART-model er vanuit dat wanneer het vochtgehalte van het product groter is dan 5%, de potentie voor stofemissie met 90% wordt gereduceerd (factor 10 lager) in vergelijking tot het werken met een droog product. Wanneer het vochtgehalte van het product >10% is, wordt deze reductie zelfs 99% (factor 100 lager).

Resultaten van een eerdere oriënterende studie laten zien dat met een geringe bodemvochtigheid (5-10%, normaal voor veldvochtige grond) de asbestvezelemissie met minstens een factor 10-20 wordt gereduceerd ten opzichte van droge grond (Tromp, 2002; Swartjes & Tromp 2008). Daarnaast werd in een studie in de wegenbouw bij een vochtgehalte van 5-10% een reductie van de concentratie respirabel stof van minimaal een factor 10 waargenomen (Spoelstra, Tempelman & Arzoni, 2001).

Het voorkomen dan wel beheersen van stofemissie door middel van bevochtigen door bijvoorbeeld een waterlevel toe te passen is in de praktijk, zeker tijdens straalwerkzaamheden, veelal geen optie in verband met corrosie.

6.2.3.2 Lokale beheersmaatregelen

Voor verschillende vormen van lokale beheersmaatregelen is de mate van blootstellingsreductie die het toepassen van deze beheersmaatregelen ten opzichte van een situatie waarin geen lokale beheersmaatregelen worden toegepast afgeleid (Fransman et al., 2011).

In paragraaf 6.2.3.1. is al beschreven dat het bevochtigen van het product voordat de activiteit wordt uitgevoerd een goede methode is om blootstelling te verlagen. Daarnaast is het ook mogelijk om tijdens het uitvoeren van een activiteit het materiaal op het punt waar de stofemissie ontstaat te bevochtigen. In dat geval wordt een reductiefactor van 10 toegepast.

Voor het toepassen van een eenvoudige afscherming (insluiting of omhulling van de bron zonder ventilatie, bijvoorbeeld door middel van een klep of deksel of een zak rond een overdrachtpunt, die niet luchtdicht is afgesloten maar ook niet wordt geopend tijdens de activiteit), wordt een reductiefactor van 10 toegepast, terwijl voor een zeer geavanceerde afscherming (een volledig gesloten systeem) een reductiefactor van 1000 wordt toegepast.

Met betrekking tot lokale afzuiging zijn er verschillende opties mogelijk. Wanneer een beweegbare / flexibele lokale afzuiging wordt toegepast, waarbij niet kan worden voorkomen dat er werkzaamheden worden uitgevoerd buiten het bereik van het systeem en het gedrag van de werknemer de effectiviteit van het systeem kan beïnvloeden wordt uitgegaan van een reductiefactor van 2. Wanneer een vaste opvangkap in de nabijheid van en gericht op de emissiebron wordt toegepast, waarbij het ontwerp zodanig is dat het werk wordt uitgevoerd binnen het bereik van het systeem wordt uitgegaan van een reductiefactor van 10. Ook in geval van 'on-tool' extractie, waarbij de afzuiging is geïntegreerd in een proces of apparatuur die niet kunnen worden gescheiden van de primaire emissiebron, wordt ook uitgegaan van een reductiefactor van 10.

Bij gebruik van een 'glove box' zonder verdere specificaties wordt uitgegaan van een reductiefactor van 1000. Er wordt aangenomen dat een straalkabinet, waarbij de straalnozzle en het te stralen object zich in het kabinet bevinden en de straler zich

buiten het kabinet bevindt en met behulp van handschoenen de straalnozzle kan bedienen, vergelijkbaar is met een laag specificatie 'glove box'.

6.2.3.3 Afscherming

Wanneer een bron gedeeltelijk wordt gescheiden van de werkomgeving door de bron in een aparte ruimte te isoleren (bijvoorbeeld met open deuren en / of ramen naar het aangrenzende gebied) (in ART 'segregation' genoemd), deze ruimte niet wordt betreden door de werknemer en deze ruimte niet actief wordt geventileerd, wordt uitgegaan van een reductiefactor van 3 van de concentratie ten opzichte van een situatie zonder afscheiding. Wanneer de bron echter compleet wordt afgescheiden zonder verdere ventilatie of de afgescheiden ruimte gedeeltelijk wordt geventileerd wordt uitgegaan van een reductiefactor van 3. Wanneer de bron compleet wordt afgeschermd, deze ruimte wordt geventileerd en recirculerende lucht wordt gefiltreerd wordt uitgegaan van een reductiefactor van 10.

Naast dat de bron kan worden gescheiden van de werkomgeving, kan er ook (of in aanvulling op de segregatie) voor worden gekozen om de persoon af te schermen van de bron. In geval van een gedeeltelijke afscherming van de persoon zonder actieve ventilatie, bijvoorbeeld doordat de persoon zich in een cabine of ruimte bevindt die door middel van open ramen of een deur in contact staat met de werkomgeving waar de bron zich bevindt, wordt uitgegaan van een reductiefactor 3 van de concentratie ten opzichte van een situatie zonder afscheiding. Wanneer de persoon volledig is afgescheiden van de bron en de ruimte waar de persoon zich in bevindt wordt geventileerd wordt uitgegaan van een reductiefactor van 10.

6.2.4 Verdunning van de concentratie in de lucht

De mate van verdunning van de concentratie asbestvezels in de lucht is onder andere afhankelijk van de grootte van de ruimte, de mate van ventilatie, de afstand tot de bron en of het een binnen- of een buitensituatie betreft.

Verdunningsfactoren op basis van grootte van de ruimte, ventilatievoud, afstand tot de bron (near-field (NF) ≤ 1 meter, far field (FF) > 1 meter) en buitensituaties zijn in detail beschreven door Cherrie et al. (2011) en samengevat door Fransman et al. (2011), en worden hier daarom beperkt toegelicht.

6.2.4.1 Ventilatie

6.2.4.1.1 (Ruimte)ventilatie

Met ventileren wordt in deze casus het verversen van de lucht in de ruimte bedoeld, en niet het forceren van ventilatie door het plaatsen van bijvoorbeeld ventilatoren. Het plaatsen van ventilatoren zal namelijk zorgen voor opwerveling van stof (met daarin de asbestvezels) en is onwenselijk. In de literatuur zijn simulatiestudies beschreven waarbij werd gevarieerd met het volume van en het ventilatievoud in de ruimte. Uit deze studies blijkt dat met name in kleine ruimtes de blootstelling met ongeveer een factor 5 verminderd wanneer er wordt geventileerd ten opzichte van een situatie zonder ventilatie (Fransman et al., 2011).

6.2.4.1.2 *Buitensituaties*

Het is bekend dat de concentratie asbestvezels snel lager wordt in een buitensituatie. De mate van verdunning is onder andere afhankelijk van de afstand tot de bron (zie 6.2.4.2), de windsnelheid, en de mate van beschutting. In het open veld zal de invloed van wind groter zijn dan op een beschutte plek.

6.2.4.2 **Afstand tot de bron**

Respirabele asbestvezels verspreiden zich relatief snel en vermengen zich met de omgevingslucht, waardoor verdunning ontstaat. Dat betekent dat de concentraties snel zullen verminderen wanneer de afstand ten opzichte van de uitgevoerde activiteit toeneemt. Dit blijkt ook uit de resultaten van de metingen die zijn verricht tijdens de meetstudie. De stationaire meetpunten die zich op iets grotere afstand van de activiteiten bevonden laten duidelijk lagere waarden zien dan de stationaire meetpunten op kleinere afstand tot de bron. Verder is een duidelijke trend zichtbaar tussen persoonlijke metingen (dicht bij de bron), stationaire metingen iets verder van de bron maar in dezelfde ruimte als de bron, en stationaire metingen buiten de ruimte op kleiner dan 1 meter en meer dan 5 meter afstand van de opening van die ruimte. Hoe verder van de bron, hoe lager de blootstelling.

6.2.5 **Adembescherming en andere persoonlijke beschermingsmiddelen**

De asbestvezels zoals onderzocht in deze studie zijn potentieel schadelijk via inademing en komen dus het lichaam binnen via de longen. In eerste instantie moet de concentratie in de lucht zoveel mogelijk worden beperkt door het gebruik van bronmaatregelen (zoals hierboven beschreven), maar indien dat niet mogelijk is kunnen werknemers zich beschermen tegen inademing van asbestvezels door het dragen van adembeschermingsmiddelen. Er zijn veel verschillende typen adembeschermingsmiddelen en deze middelen hebben allemaal verschillende beschermingsfactoren. Deze beschermingsfactoren worden uitgedrukt in nominale beschermingsfactoren ('nominal protection factors' (NPF), welke onder experimentele omstandigheden worden bepaald), 'workplace protection factors' (WPF, die onder werkplek omstandigheden worden bepaald), en toegekende beschermingsfactoren ('assigned protection factors' (APF), waarbij rekening wordt gehouden met variatie in gebruik en onderhoud van de middelen). De toegekende beschermingsfactoren (APF) zijn hier het meest relevant, omdat deze de beschermingsfactoren in praktijksituaties weergeven. Of deze beschermingsfactoren daadwerkelijk bereikt worden is weer afhankelijk van onder andere het gebruik en onderhoud van de betreffende middelen.

In paragraaf 4.4.3 is beschreven welke beschermingsfactoren er gevonden zijn voor de straalkappen die veelvuldig worden gebruikt tijdens straalwerkzaamheden. Deze factoren zijn gebaseerd op gegevens die in de praktijk zijn verzameld, en worden daarom werkplek beschermingsfactoren genoemd ('workplace protection factors' (WPF). De gevonden gemiddelde beschermingsfactor van de straalkap is vele malen lager dan de nominale beschermingsfactor van 1000.

Uit de inventarisatie blijkt dat ook mondkapjes dan wel halfgelaatsmasker (FFP3 / P3) veelvuldig worden gebruikt in situaties waar met ongebruikt of gebruikt straalgrit gewerkt wordt. Het op een goede manier dragen van een goed onderhouden (halfgelaats)masker met P3-filter zorgt potentieel al voor een reductie van minimaal een factor 10 (APF), en biedt dus 90% bescherming tegen stof en asbestvezels (Fransman et al., 2011). Hiermee beschermt de werknemer zich niet alleen tegen asbest, maar ook tegen inhaleerbaar / respirabel stof en andere type vezels.

Wanneer wegwerpkleding wordt gedragen zal hierdoor verspreiding van de verontreiniging naar andere plekken dan de werkplek waar bepaalde werkzaamheden worden verricht worden voorkomen.

6.3 Geschatte asbestvezelconcentraties voor geïdentificeerde blootstellingsscenario's

Zoals al eerder beschreven is het binnen dit onderzoek niet mogelijk gebleken alle geïnventariseerde blootstellingsscenario's mee te nemen in de meetstudie. Enerzijds waren er teveel verschillende blootstellingsscenario's en anderzijds bleken sommige activiteiten met een verwachte hoge blootstelling binnen bepaalde blootstellingsscenario's zo sporadisch voor te komen dat het niet mogelijk bleek deze in de periode van de meetstudie te bemeten. Hieronder volgt een overzicht van de geschatte blootstelling aan asbest voor elk van de blootstellingsscenario's op basis van enkele veel voorkomende combinaties van activiteiten en omstandigheden, waarbij de geschatte asbestvezelconcentraties zoals weergegeven in Tabel 21 als uitgangspunt zijn genomen. Met behulp van experts op het gebied van arbeidshygiëne en de beschreven aanpak (zie Figuur 29) zouden bedrijven in staat moeten zijn om voor de specifieke situaties die zich in het bedrijf hebben voorgedaan een blootstellingsschatting te maken.

Voor sommige activiteiten is aanvullende informatie uit externe bronnen beschikbaar. Tijdens de inventarisatie is namelijk aan bedrijven gevraagd of zij bestaande gegevens met betrekking tot blootstelling aan respirabel stof en/of asbest ten tijde van of voor het incident met het verontreinigde straalgrit zouden willen delen. Deze uitvraag heeft een groot aantal gegevens opgeleverd met betrekking tot het in kaart brengen van asbestverontreinigingen in verschillende situaties. De verkregen gegevens zijn geëvalueerd op relevantie, en zijn indien mogelijk gebruikt ter ondersteuning van de schatting van de blootstelling aan asbest voor een aantal blootstellingsscenario's. De informatie uit deze (vaak vertrouwelijke) bronnen is meegenomen in de inschatting van de asbestvezelconcentraties voor de verschillende blootstellingsscenario's.

Bij het weergeven van de geschatte taakgerichte asbestvezelconcentraties in de paragrafen hieronder ligt de nadruk op de geschatte persoonlijke asbestvezelconcentraties (op basis van de PAS-metingen). Hierbij worden met name de geometrisch gemiddelde geschatte asbestvezelconcentratie en het 90-percentiel

van de geschatte distributie voor een bepaalde meetset (per blootstellingsscenario dan wel activiteit) weergegeven. Deze gegevens worden het meest relevant geacht voor het in kaart brengen van de blootstelling aan asbestvezels tijdens werkzaamheden met verontreinigd straalgrit met het oog op het bepalen van eventuele gezondheidsrisico's.

Daarnaast moet worden opgemerkt dat de weergegeven geschatte asbestvezelconcentraties niet zijn gecorrigeerd voor de achtergrondconcentratie. Deze correctie is niet uitgevoerd omdat een (zeer klein) aantal van de geschatte asbestvezelconcentraties onder de indicatieve maximale achtergrondconcentratie van 57 vezels/m³ voor asbestvezels groter dan 5 µm ligt, welke is afgeleid op basis van door TNO in 2016 uitgevoerde asbestvezelconcentratiemetingen in de buitenlucht (Tromp & Spaan, 2018).

6.3.1 Stralen

De geschatte persoonlijke asbestvezelconcentraties tijdens stralen zijn hoog en variëren sterk. De geschatte concentraties buiten de straalkap variëren tussen 330.000 en 4.000.000 vezels/m³. Tijdens straalwerkzaamheden wordt een straalpak inclusief straalkap met onafhankelijke lucht gedragen. De geschatte asbestvezelconcentraties tijdens persoonlijke metingen **onder** de straalkap liggen tussen de 40 en 21.000 vezels/m³.

De geschatte asbestvezelconcentratie op basis van taakgerichte metingen naar respirabel stof onder de straalkap van stralers die werkten onder verschillende omstandigheden, waaronder worst-case omstandigheden waarbij werd gestraald met hoge druk en hoog verbruik, was gemiddeld (GM) rond 2.000 vezels/m³ en in 90% van de gevallen minder dan ongeveer 11.000 vezels/m³. De geschatte gemiddelde asbestvezelconcentratie voor personen die aan het werk waren in besloten ruimtes (een straalcabine dan wel een tank) was over het algemeen iets hoger dan die voor personen die aan het werk waren in een straaltent (GM 2.600 versus 1.200 vezels/m³), maar de spreiding in geschatte asbestvezelconcentraties was kleiner voor personen werkzaam in een besloten ruimte in vergelijking met een straaltent (90-percentiel 11.000 versus 21.000 vezels/m³). Dit hangt waarschijnlijk samen met de grootte van de ruimte (de besloten ruimtes waren over het algemeen groter dan de straaltenten) en de mate van ventilatie van de ruimte, waarbij in het geval van de straaltenten meer sprake is van natuurlijke ventilatie (verspreiding naar buiten) omdat deze minder hermetisch afgesloten zijn.

Wanneer gestraald zou zijn in buitensituaties of in straalcabines met optimale ventilatie (want deze was tijdens de meetstudie in de straalcabines verlaagd om de worst-case omstandigheden na te bootsen) zouden de geschatte asbestvezelconcentraties onder de straalkap waarschijnlijk enkele factoren lager zijn.

Bovenstaande schattingen zijn gebaseerd op taakgerichte metingen. Wanneer er vanuit wordt gegaan dat stralers gemiddeld zes uur per dag onder deze

omstandigheden aan het werk zijn, en wordt aangenomen dat zij gedurende de rest van de dag geen activiteiten hebben uitgevoerd waarbij blootstelling aan asbest plaats heeft gevonden, zal de geschatte 8-urige tijdgewogen blootstelling van de straler onder de straalkap gemiddeld (GM) 1.500 vezels/m³ en in 90% van de gevallen minder dan 8.300 vezels/m³ bedragen.

Tijdens de meetstudie droegen enkele stralers een mondkapje onder hun straalkap voor extra bescherming. Uitgaande van maximaal zes uur effectief stralen en een P3-masker met een APF van 10 zal de geschatte 8-urige tijdgewogen blootstelling van de straler onder de straalkap in dat geval gemiddeld (GM) 150 vezels/m³ en in 90% van de gevallen minder dan 830 vezels/m³ bedragen.

Tijdens zowel de simulatie-experimenten als de meetstudie zijn alleen situaties waarbij stalen objecten werden gestraald bemeaten. Bij de inventarisatie is aangegeven dat het stralen van beton beperkt voorkomt, en dat bij het stralen van beton veelal een lagere druk wordt toegepast dan bij staalconstructies. In verband met de lagere toegepaste druk tijdens stralen, wordt op basis van de experimenten zoals beschreven in hoofdstuk 3 aangenomen dat tijdens het stralen van beton over het algemeen minder blootstelling aan asbestvezels zal optreden dan tijdens het stralen van staal. Daarnaast wordt verwacht dat er tijdens het stralen van beton relatief meer stof zal ontstaan doordat tijdens het stralen ook het beton deels kapot zal gaan. Hoeveel extra stof dit betreft kan niet worden aangegeven, dus er kan geen extra factor voor de mate van stoffigheid tijdens het stralen van beton worden afgeleid. Wanneer op basis van de omrekenfactoren zoals verkregen door middel van dit onderzoek de asbestvezelconcentratie tijdens het stralen van beton wordt ingeschat zal dit een overschatting van de blootstelling opleveren.

In Bijlage 4 is een voorbeeld van een blootstellingsprofiel voor een straler uitgewerkt.

6.3.2 Vullen van reservoirs/ketels van straalapparatuur

Uit de inventarisatie blijkt dat de omstandigheden tijdens het vullen van reservoirs/straalketels enorm kunnen verschillen. Denk hierbij aan variaties in duur van de werkzaamheden (van enkele minuten tot enkele uren), hoeveelheid gebruikt straalgrit (vullen van emmers, ketels tot ruim 200 kg of silo's of bulkvrachtauto's tot 10.000 kg), manier van vullen (handmatig uit zakken, handmatig vanuit een vulsilo of automatisch vanuit een vulsilo), het toepassen van afzuiging of een stortslurf bij de vulmond/opening, de locatie (binnen in een kleine niet-geventileerde ruimte of buiten in de open lucht) en het gebruik van adembescherming (geen adembescherming, een masker met (FF)P3 filter of een halfgelaatsmasker). Al deze factoren zullen van invloed zijn op de uiteindelijke geschatte blootstelling.

In deze studie is het vullen vooral onder worst-case omstandigheden bemeaten. De gemeten concentraties respirabel stof waren vergeleken met de concentraties tijdens stralen relatief beperkt. Het gehalte asbestvezels per mg respirabel stof is echter vele malen hoger in geval van het vullen van ongebruikt straalgrit versus het

respirabel stof dat vrijkomt tijdens stralen. De gemiddelde (GM) geschatte taakgerichte asbestconcentratie tijdens het vullen vanuit een vulsilo in een binnensituatie was ongeveer 490.000 vezels/m³ en in 90% van de gevallen was de geschatte concentratie minder dan 1.400.000 vezels/m³. De hoogste geschatte asbestvezelconcentratie tijdens vulwerkzaamheden is 8.600.000 vezels/m³. Hierbij moet vermeld worden dat dit gemeten is tijdens worst-case omstandigheden (binnen is in zeer korte tijd (1,5 minuut) een zeer grote hoeveelheid (1.000 kg) straalgrit van relatief grote hoogte in een vulsilo met een relatief grote vulopening gestort). Omdat deze meting als uitschieter is aangemerkt en daarom niet is meegenomen in de gepresenteerde geschatte asbestvezelconcentraties, en deze situatie ook slechts eenmaal is bemeten, is deze asbestvezelconcentratie slechts indicatief.

Bij het handmatig storten van zakken, waarbij de hoeveelheid gestort product vaak al minder is in vergelijking met storten uit een vulsilo, was de gemiddelde (GM) geschatte asbestconcentratie ongeveer 250.000 vezels/m³ en in 90% van de gevallen was de geschatte concentratie minder dan 660.000 vezels/m³. Wanneer de omstandigheden tijdens het handmatig vullen met zakken in oenschouw worden genomen, komt de meest gunstige situatie (buitensituatie, kleinere vulopening, kleinere valhoogte, kleinere hoeveelheid gestort straalgrit binnen een vergelijkbare tijdsduur, voorzichtigere manier van werken) overeen met de lagere geschatte asbestvezelconcentraties ten opzichte van metingen tijdens minder gunstige omstandigheden.

Op slechts één meetlocatie was één ketelboy verantwoordelijk voor het vullen van twee straalketels (en daarmee het tegelijkertijd bedienen van twee stralers), waarvan er een straalketel werd gevuld vanuit een vulsilo en een straalketel met zakken in een buitensituatie. Elke meting bestond uit drie vulmomenten, verdeeld over de vulsilo en de zakken, waarvoor de gemiddelde (GM) geschatte asbestvezelconcentratie 170.000 vezels/m³ bedraagt en in 90% van de gevallen de geschatte asbestvezelconcentratie minder dan 380.000 vezels/m³ was.

De werknemers die de reservoirs vullen zullen dit slechts een beperkt deel van hun tijd doen. Uit de inventarisatie blijkt dat de duur van deze activiteiten tussen de 5 en 60 minuten bedraagt. Tijdens de metingen in praktijksituaties varieerde de meetduur voor vulwerkzaamheden tijdens een shift van 2,5 tot 36,5 minuten, en was gemiddeld 10 minuten, dus gemiddeld 30 minuten gedurende een werkdag. Wanneer wordt aangenomen dat deze werknemers gedurende de rest van de dag geen activiteiten hebben uitgevoerd waarbij blootstelling aan asbest plaats heeft gevonden zal de gemiddelde dagblootstelling tijdens het vullen vanuit een vulsilo onder worst-case omstandigheden dan ook een factor 8 tot 100 lager liggen dan de geschatte taakgerichte blootstellingen. De geschatte asbestvezelconcentraties op basis van de bemeten situaties waar het vullen buiten plaatsvond bevinden zich meer aan de onderkant van de geschatte blootstellingsdistributie, en in goed geventileerde ruimtes zal de blootstelling ook aanzienlijk minder zijn. Daarnaast zal het toepassen van lokale afzuiging of een semi-gesloten vulopening door middel van

het gebruik van een stortslurf ook in lagere geschatte blootstellingen resulteren. Ook beschermen de werknemers zich regelmatig (maar niet altijd) met een stofkapje, wat ook zorgt voor een reductie van de blootstelling met een factor 10. Desalniettemin zijn de geschatte blootstellingen tijdens het vullen hoog en is er mogelijk ook sprake geweest van een verhoogde blootstelling in de directe omgeving van vulplaatsen.

In Bijlage 4 is een voorbeeld van een blootstellingsprofiel voor een ketelboy / dieselwacht uitgewerkt.

6.3.3 Opruimen van gebruikt straalgrit en schoonmaken van vervuilde oppervlakken en apparatuur

Net als bij het blootstellingsscenario vullen blijken ook bij het opruimen enorme variaties in werkmethoden te worden toegepast. Denk hierbij aan variaties in duur van de werkzaamheden (van enkele minuten tot een hele dag), hoeveelheid opgeruimd straalgrit (schoonmaken van kleine hoeveelheden ingesleept stof (secundaire verontreinigingen) tot het opruimen van tonnen straalgrit), manier van schoonmaken (vegen/scheppen, zuigen, schoonblazen met behulp van perslucht) het al dan niet bevochtigen van het straalgrit, de locatie (binnen in een kleine niet-geventileerde ruimte of buiten in de open lucht) en het gebruik van adembescherming (geen adembescherming, een masker met (FF)P3 filter of een halfgelaatsmasker). Al deze factoren zullen van invloed zijn op de uiteindelijke geschatte blootstelling.

Op basis van de resultaten van de meetstudie blijkt dat de geschatte taakgerichte asbestvezelconcentraties sterk afhankelijk zijn van de gebruikte techniek en de mate van verontreiniging. Het schoonblazen van gestraalde objecten in zwaar verontreinigde situaties resulteert in een gemiddelde (GM) geschatte asbestvezelconcentratie van 99.000 vezels/m³ en maximaal ongeveer 410.000 vezels/m³. De hoogste geschatte asbestvezelconcentratie tijdens het schoonblazen (gemeten op de revers buiten de straalkap) is 1.600.000 vezels/m³. Hierbij is gemeten tijdens worst-case omstandigheden, namelijk het van bovenaf schoonblazen van steigerdelen waar straalgrit op ligt en waarbij waarschijnlijk ook stof van het gestraalde object en de vloer in de lucht is gebracht. Omdat deze meting als uitschieter is aangemerkt en daarom niet is meegenomen in de gepresenteerde geschatte asbestvezelconcentratie, en deze situatie ook slechts eenmaal is bemeten, is de geschatte asbestvezelconcentratie slechts indicatief.

Tijdens het schoonblazen met perslucht wordt veelal een straalkap gedragen, en de geschatte asbestvezelconcentratie van de parallelle meting onder de straalkap is 5.700 vezels/m³). Wordt er niet schoon geblazen maar wordt droog straalgrit geschept dan is deze gemiddelde (GM) concentratie ongeveer 25.000 vezels/m³ en maximaal ongeveer 67.000 vezels/m³. Wanneer tijdens het vege en scheppen beperkte emissiebeperkende maatregelen worden toegepast (namelijk het bevochtigen van het materiaal tot een vochtgehalte van <2%), zoals is onderzocht in Fase 1), is een taakgerichte blootstelling van maximaal 5.200 vezels/m³ gemeten,

waarbij de omstandigheden verder bestonden uit het handmatig opruimen van grote hoeveelheden droog uitgangsmateriaal in een binnensituatie zonder geforceerde ventilatie. Op basis van de eigenschappen van het straalgrit resulteert het bevochtigen van het materiaal met >5% water in een reductiefactor 10. Ook het opruimen van kleinere hoeveelheden straalgrit per tijdseenheid zal leiden tot lagere blootstellingen. In geval van het opzuigen van straalgrit met een zuigmachine wordt ingeschat dat de stofblootstelling en daarmee de asbestblootstelling een factor 10 lager zal liggen ten opzichte van het relatief voorzichtig scheppen van vochtig materiaal (<2 %) en een factor 30 lager ten opzichte van normaal scheppen.

Afgezien van de onderhavige worst-case meetstudie zijn er ook door externe bureaus en laboratoria validatiestudies uitgevoerd tijdens het opruimen van asbesthoudend straalgrit onder stringentere omstandigheden. Eén van de externe bronnen betreft een validatiestudie waarbij asbesthoudend straalgrit eerst is bevochtigd door middel van een nevel, het straalgrit vervolgens is opgeschept dan wel opgeveegd van de vloer dan wel steigerdelen, restanten straalgrit zijn opgezogen met een stofzuiger, en tijdens elke meting een stofzuigerzak is verwisseld. Hierbij zijn geen asbestvezels aangetroffen op de verzamelde monsters. Tijdens een andere validatiestudie, waarbij met name in het trappenhuis van de steiger in een grote straaltent droog verontreinigd straalgrit is opgezogen met behulp van een stofzuiger, nat straalgrit is opgeschept, tijdens elke meting minimaal één stofzuigerzak is gewisseld, en in één meetsessie ook is gestampt op de steiger, is op slechts één van de verzamelde monsters een asbestvezel aangetroffen (gemeten concentratie <2.000 vezels/m³). Tijdens een derde validatiestudie, waarbij verontreinigd straalgrit is opgeruimd in een grote hal door middel van het opzuigen van het straalgrit met behulp van een vacuüm zuigwagen en het los schrapen van een vastgekoekte laag straalgrit met behulp van een schraper zijn op de monsters van de persoonlijke metingen geen asbestvezels aangetroffen tijdens de analyse. Op ongeveer de helft van de monsters van de stationaire metingen zijn echter wel asbestvezels aangetroffen (gemeten concentraties <2.000 vezels/m³), wat lijkt te duiden op emissie van asbestvezels in de hal tijdens het uitvoeren van deze werkzaamheden.

Bij gebruik van een veegmachine voor het opruimen van gebruikt straalgrit en gesedimenteerd stof in plaats van scheppen en vegen wordt ook aangenomen dat de blootstelling lager zal zijn. Vergelijkbaar als bij vulwerkzaamheden zijn ook voor dit blootstellingsscenario de duur van deze werkzaamheden en of er gedurende de werkdag nog andere activiteiten zijn uitgevoerd waarbij blootstelling aan asbest plaats kan hebben gevonden belangrijke parameters bij het schatten van de uiteindelijke blootstelling aan asbestvezels gedurende een werkdag. Zo wordt bijvoorbeeld aangenomen dat de asbestvezelconcentratie tijdens het vervangen of schoonmaken van filterunits van een veegmachine, stofzuiger, lokaal afzuigstelsel of mechanisch ventilatiesysteem kan leiden tot kortdurende hoge piekconcentraties waarvan wordt aangenomen dat de potentie voor blootstelling ligt tussen het droog scheppen van straalgrit en het schoonblazen van oppervlakken met perslucht. Dergelijke werkzaamheden worden echter slechts sporadisch uitgevoerd, en als ze

worden uitgevoerd dan betreft dit over het algemeen een kortdurende activiteit (van een aantal minuten). Ook het legen van reservoirs dan wel opvangzakken of bakken van veegmachines, stofzuigers, zuigmachines, lokale afzuigsystemen of mechanische ventilatiesystemen komt niet heel vaak voor en duurt niet zo lang. Bij dit soort activiteiten wordt een blootstelling aan respirabel stof verwacht die vergelijkbaar is aan de stofconcentraties zoals gemeten tijdens het vullen, aangezien tijdens vullen onder vergelijkbare omstandigheden dergelijke hoeveelheden product worden gestort. Voor het schatten van de asbestvezelconcentratie zou dan echter een omrekeningsfactor van 5.100 vezels/mg respirabel stof in plaats van 350.000 vezels/mg respirabel stof moeten worden toegepast, omdat er tijdens dit blootstellingsscenario geen sprake meer is van ongebruikt straalgrit. Ook het opslaan dan wel verpakken van gebruikt straalgrit heeft overeenkomsten met vulwerkzaamheden, hoewel wordt aangenomen dat de omstandigheden tijdens het vullen over het algemeen worst-case zullen zijn, en ook in dit geval de omrekeningsfactor voor het hanteren van gebruikt straalgrit (van 5.100 vezels/mg respirabel stof) zou moeten worden toegepast. Met betrekking tot het opruimen dan wel schoonmaken van apparatuur die is gebruikt in verband met stralen wordt een geschatte asbestvezelconcentratie verwacht die afhankelijk van de precieze werkzaamheden vergelijkbaar zal zijn met de geschatte dan wel gemeten asbestvezelconcentratie tijdens vegen, scheppen, opzuigen en/of schoonblazen.

Met betrekking tot bijvoorbeeld het vervangen/schoonmaken van filterunits, het legen van reservoirs/opvangbakken/zakken, het schoonmaken van apparatuur die is gebruikt tijdens straalwerkzaamheden is geen directe informatie uit externe bronnen beschikbaar. Wel is indirecte informatie beschikbaar met betrekking tot bijvoorbeeld de mate van verontreiniging. Zo zijn materiaalmonsters genomen van het stof uit filterunits (zowel uit de bigbag die wordt gebruikt om het afgevangen stof op te vangen als uit het doekenfilter) van een loods waar is gewerkt met verontreinigd straalgrit. Het materiaal uit de filterunits bleek niet verontreinigd te zijn met asbest. Daarnaast zijn tijdens NEN 2991-onderzoek lucht- en kleefmonsters genomen bij de uitlaat van het ventilatiesysteem van de straalloods (buiten), waarin ook geen asbest is aangetroffen. Tijdens het inventariseren van verschillende apparatuur die is gebruikt tijdens straalwerkzaamheden is echter in een aantal (maar niet alle) verzamelde monsters van materiaal uit (straal)ketels, doekenfilters, grit- en stofbakken wel asbest aangetroffen. Met betrekking tot de resultaten van deze externe onderzoeken moet wel worden opgemerkt deze als indicatief beschouwd moeten worden. De analyse van het soort asbestvezels dat aanwezig is in het verontreinigde straalgrit is namelijk zeer lastig, omdat dit dunne vezels betreft die moeilijk zijn waar te nemen tijdens de analyse bij een standaard vergroting.

Wanneer de opruimwerkzaamheden buiten hebben plaatsgevonden zal de blootstelling aan asbestvezels over het algemeen lager zijn dan wanneer de werkzaamheden binnen hebben plaatsgevonden. In binnensituaties zijn de grootte van de ruimte en de mate van ventilatie van invloed op de uiteindelijke geschatte blootstelling aan asbestvezels. Daarnaast zijn het al dan niet toepassen van bronmaatregelen (zoals bevochtigen van het materiaal of het toepassen van een

nevel om stof dat vrijkomt eerder neer te laten slaan) en het al dan niet dragen van adembescherming tijdens de uitvoering van deze werkzaamheden ook van belang bij het bepalen van de uiteindelijke blootstelling.

In Bijlage 4 is een voorbeeld van een blootstellingsprofiel met betrekking tot opruimwerkzaamheden uitgewerkt.

6.3.4 Onderhoud van straalgerelateerde apparatuur

Vaak wordt voordat wordt begonnen met het onderhoud van straalgerelateerde apparatuur, deze apparatuur eerst schoongemaakt door middel van zuigen, vegen/afstoffen of schoonblazen met behulp van perslucht. Deze activiteiten zijn vergelijkbaar met de activiteiten zoals beschreven als onderdeel van het blootstellingsscenario opruimen (zie paragraaf 6.3.3). Het verschil met opruimwerkzaamheden is echter dat het schoon te maken oppervlak en de mate van verontreiniging (de hoeveelheid aanwezig stof dan wel gebruikt straalgrit) over het algemeen veel kleiner zullen zijn. Hierdoor zijn ook de potentieel aanwezige hoeveelheden asbestvezels vele malen kleiner. Deze inschatting van de relatief lage mate van verontreiniging wordt bevestigd door informatie uit externe bronnen, waaruit naar voren komt dat de gebruikte apparatuur veelal niet verontreinigd was (zie paragraaf 6.3.3).

Er wordt daarom verwacht dat de blootstelling aan asbestvezels tijdens onderhoudswerkzaamheden aan straalgerelateerde apparatuur vanwege de veronderstelde beperkte mate van verontreiniging laag zal zijn geweest.

6.3.5 Omstanders tijdens straalwerkzaamheden in het werkgebied

Tijdens straalwerkzaamheden kunnen ook omstanders zijn blootgesteld aan asbestvezels, zoals de ketelboy, schoonmakers, steigerbouwers, mangatwachten / veiligheidsinspecteurs en passanten. Deze omstanders kunnen over het algemeen niet dichtbij het straalproces in de buurt komen, omdat deze in een besloten ruimte plaatsvinden dan wel worden afgeschermd door een straaltent. De omstanders zullen zich dus dikwijls op enige afstand van de straalwerkzaamheden bevinden. Daarnaast wordt door middel van de instellingen van de straalapparatuur en het ventilatiesysteem altijd gestreefd naar onderdruk in de ruimte waar wordt gestraald, om ervoor te zorgen dat het stof dat ontstaat zoveel mogelijk in de ruimte blijft, en wordt de afgezogen lucht door een filtersysteem geleid om te zorgen dat zo min mogelijk stof in de buitenlucht terecht komt.

Tijdens deze studie zijn stationaire metingen verricht op verschillende posities van de straalwerkzaamheden. De worst-case positie was direct in de opening van een besloten ruimte of tent waarin gestraald werd. De geschatte asbestvezelconcentratie op basis van die stationaire worst-case positie was gemiddeld (GM) ongeveer 2.100 vezels/m³ en in 90% van de gevallen was de geschatte concentratie minder dan 47.000 vezels/m³. Dit betrof in alle gevallen buitensituaties. Werknemers die zich regelmatig op deze positie bevinden zijn

mangatwachten. Deze mensen staan vaak gedurende langere tijd op deze positie, en bevinden zich over het algemeen tijdens een shift binnen een straal van 5 meter van het mangat dan wel de opening van de tent. Wanneer de afstand tot het mangat of de opening van de tent groter wordt, neemt de geschatte asbestvezelconcentratie al snel af. Voor de meetpunten op iets grotere afstand van de opening van de ruimte waarin op hetzelfde moment een activiteit werd uitgevoerd (tijdens stralen op >5 meter afstand van het mangat / de opening, en tijdens werkzaamheden in verontreinigd gebied op <1 meter afstand van het mangat / de opening) waren de geschatte asbestconcentraties maximaal 1.700 vezels/m³. Op basis hiervan kan worden aangenomen dat tijdens deze activiteiten de verspreiding van asbestvezels naar de omgeving gering zal zijn geweest, zeker ook gezien het feit dat de respirabele asbestvezels snel verspreiden, en voor een groot deel via het ventilatiesysteem met stoffilters zullen worden afgevangen. Omstanders van straalwerkzaamheden, die niet werk-gerelateerd aanwezig waren, zullen naar alle waarschijnlijkheid geen verhoogde blootstelling aan asbestvezels hebben gehad.

Echter, de geschatte asbestconcentraties tijdens het vullen in de buurt van het stortpunt (afstand 3-5 meter, geplaatst benedenwinds) zijn, net als de geschatte persoonlijke asbestvezelconcentraties tijdens vullen, wel zeer hoog (GM 190.000 (range 22.000-1.200.000) vezels/m³). Op basis hiervan kan worden aangenomen dat tijdens vulactiviteiten er wel sprake is geweest van verspreiding van asbestvezels naar de omgeving. De mate van verspreiding is hierbij onder andere afhankelijk van de omgevingsomstandigheden (zoals windsnelheid, windrichting, luchtvochtigheid, neerslag), of deze binnen of buiten plaatvonden (in binnensituaties is er minder verspreiding naar de omgeving), of er beheersmaatregelen zijn toegepast (zoals afzuiging of een stortslurf) en de duur van de vulwerkzaamheden. Met betrekking tot de eventuele blootstelling van omstanders tijdens vulwerkzaamheden is verder de afstand van de omstanders ten opzichte van de bron (het stortpunt) van belang.

In Bijlage 4 is een voorbeeld van een blootstellingsprofiel voor een mangatwacht uitgewerkt.

6.3.6 Omstanders na straalwerkzaamheden in het werkgebied

Werknemers die zich bevonden in gebieden waar straalwerkzaamheden hebben plaatsgevonden kunnen ook blootgesteld zijn geweest aan asbestvezels. De mate van blootstelling is hierbij vooral afhankelijk van de activiteiten die zijn verricht en de mate van verontreiniging van het gebied. Zo zal tijdens het uitvoeren van inspectiewerk in een gebied dat al is schoongemaakt in potentie minder blootstelling optreden dan tijdens inspectiewerk dat direct na straalwerkzaamheden wordt uitgevoerd en een laag gebruikt straalgrit op de vloer en/of de steigers ligt (zoals bemeten in deze studie). Ook zal bij een vergelijkbare mate van verontreiniging van het werkgebied het uitvoeren van inspectiewerk, waarbij relatief weinig werveling op zal treden, in potentie minder blootstelling veroorzaken dan wanneer steigers worden afgebroken, waarbij relatief veel

werveling zal optreden omdat gebruikt straalgrit vanaf en vanuit het steigermateriaal soms meters naar beneden valt.

Tijdens de meetstudie zijn twee activiteiten binnen dit blootstellingsscenario bemeten, namelijk het uitvoeren van inspectiewerk in een zwaar verontreinigde omgeving (direct na stralen) en het afbreken van steigermateriaal nadat de ruimte (en de steiger) was schoongemaakt. De tijd tussen (het nabootsen van) inspectiewerkzaamheden en de voorafgaande activiteit in de ruimte (allemaal activiteiten waarbij veel sprake was van stofemissie, zoals stralen, schoonblazen of scheppen) was over het algemeen relatief kort (van enkele minuten tot een paar uur, en in een enkel geval een dag), en in de tussenliggende tijd werd de ruimte altijd geventileerd zodat de hoeveelheid stof in de lucht zo laag mogelijk was. Beide activiteiten zijn uitgevoerd in een besloten ruimte.

De geschatte taakgerichte asbestvezelconcentratie tijdens het inspecteren / verplaatsen in een zwaar verontreinigde omgeving was gemiddeld (GM) 8.100 vezels/m³ en in 90% van de gevallen minder dan ongeveer 49.000 vezels/m³. Tijdens deze metingen liep(en) de werknemer(s) gedurende enkele minuten in een besloten ruimte door een (dikke) laag gebruikt straalgrit afkomstig van eerder uitgevoerde straalwerkzaamheden. De uiteindelijk geschatte dagblootstelling aan asbestvezels zal hoogstwaarschijnlijk een stuk lager zijn, omdat wordt aangenomen dat activiteiten als inspectiewerkzaamheden of verplaatsen in een ruimte waar is gestraald niet 8 uur per dag plaatsvinden, maar hangt ook af van welke andere activiteiten gedurende een werkdag worden uitgevoerd. Ook was tijdens de metingen geen tot beperkte mechanische ventilatie aanwezig. De geschatte asbestvezelconcentraties zal lager zijn voor binnensituaties waarbij wel sprake was van (goede) mechanische ventilatie of inspectiewerkzaamheden die buiten plaats hebben gevonden. Ook wordt aangenomen dat de geschatte asbestvezelconcentratie lager zal zijn tijdens inspectiewerkzaamheden op locaties waarbij de mate van verontreiniging minder is, bijvoorbeeld omdat de locatie eerst is schoongemaakt. Het dragen van een P3 stofkapje tijdens inspectiewerkzaamheden zorgt voor een reductie van de geschatte blootstelling met een factor 10.

Het afbreken van steigermateriaal is bemeten in een besloten ruimte nadat deze was schoongemaakt. De lucht in deze ruimte werd door middel van natuurlijke ventilatie verversd. De geschatte asbestvezelconcentratie tijdens het afbreken van steigermateriaal was gemiddeld (GM) 8.200 vezels/m³ en in 90% van de gevallen minder dan ongeveer 19.000 vezels/m³. Deze geschatte asbestvezelconcentratie komt overeen met blootstelling aan asbest gedurende een werkdag wanneer gedurende een hele dag steigermateriaal wordt afgebroken, en zal dus lager zijn wanneer deze werkzaamheden gedurende een deel van de dag worden uitgevoerd. De mate van verontreiniging van het werkgebied, inclusief het steigermateriaal, tijdens de metingen was realistisch, en dus niet worst-case, omdat er vooraf al was schoongemaakt. De geschatte concentratie asbestvezels zal daarom hoger zijn indien de mate van verontreiniging van het werkgebied groter is. Aan de andere kant zal de geschatte asbestvezelconcentratie lager zijn wanneer er sprake zou zijn

van meer ventilatie in de ruimte of wanneer de werkzaamheden in een buitensituatie zouden zijn uitgevoerd. Het dragen van een P3 stofkapje tijdens dergelijke werkzaamheden zorgt voor een reductie van de geschatte blootstelling met een factor 10.

De door insleping ontstane verontreiniging wordt ook wel een secundaire verontreiniging genoemd, en wordt veroorzaakt door transfer van een (deel van de) aanwezige verontreiniging van de ene ruimte/werkomgeving naar de andere door middel van bijvoorbeeld (de onderkant van) schoenen, banden van voertuigen of het verplaatsen van verontreinigde objecten van de ene naar de andere ruimte. Tijdens dit onderzoek zijn geen metingen uitgevoerd tijdens activiteiten in een ruimte dan wel werkomgeving waar straalgrit is ingeslept vanuit een andere (verontreinigde) ruimte, en zijn ook geen gegevens verzameld op basis waarvan een kwantitatieve inschatting kan worden gemaakt van de mate van verontreiniging van een ruimte die hierdoor kan ontstaan. De respirabele stofconcentraties en bijbehorende geschatte asbestvezelconcentraties zoals gemeten tijdens de activiteit inspectie/verplaatsen zouden kunnen worden gebruikt als startpunt om door middel van extrapolatie toch een inschatting te kunnen maken van de potentiële blootstelling aan asbest tijdens activiteiten in een ruimte waar sprake is van secundaire verontreiniging. Hierbij moet in acht worden genomen dat de omstandigheden waarbij is gemeten tijdens inspectie/verplaatsen veel meer worst-case zijn geweest dan waar sprake van zal zijn tijdens activiteiten in ruimtes met secundaire verontreiniging, met name omdat de mate van verontreiniging van de ruimte in het laatste geval over het algemeen gering zal zijn, en in ieder geval vele malen minder dan tijdens de metingen tijdens inspectie/verplaatsen, waarbij er een laag gebruikt straalgrit op de vloer lag waarop werd gelopen. Dat de mate van secundaire verontreiniging van ruimtes door middel van insleping over het algemeen gering zal zijn wordt bevestigd door informatie uit externe bronnen. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat deze informatie vaak is gebaseerd op de analyse van kleefmonsters (en soms materiaal- en/of luchtmonsters) van gesedimenteerd stof van oppervlakken, waarbij de kanttekening moet worden geplaatst dat vooral de kleine asbestvezels / asbestvezelstructuren (<100 µm), waarvan de aanwezigheid is aangetoond tijdens de straalexperimenten en in het gebruikte straalgrit, niet zichtbaar zijn op kleefmonsters wanneer deze worden geanalyseerd met SEM/RMA bij een vergroting van 300x zoals die normaliter wordt toegepast (hierbij zijn voornamelijk vezelbundels zichtbaar). De informatie uit deze externe bronnen wordt daarom als indicatief beschouwd. Veel informatie uit externe bronnen betreffen asbestinventarisatie-rapporten, waarbij tegelijkertijd materiaalmonsters van asbestverdacht straalgrit (verpakt straalgrit dan wel los achtergebleven straalgrit in de ruimte/omgeving waar is gestraald) en kleefmonsters van stof in de omgeving van het veelal verpakte straalgrit zijn genomen. Over het algemeen wordt er in de materiaalmonsters wel asbest aangetroffen, maar wordt er (op een aantal uitzonderingen na) op de kleefmonsters geen asbest aangetroffen, wat een indicatie is dat het werkgebied waar het straalgrit is opgeslagen verder niet verontreinigd is geraakt. In één geval is daarnaast ook een materiaalmonster van los stof genomen, waarin geen asbest is

aangetroffen. Daarnaast zijn op verschillende locaties naast de kleefmonsters in de buurt van verpakt straalgrit ook kleefmonsters genomen van gesedimenteerd stof op oppervlakken in werkbussen, een heftruck, containers waarin straalapparatuur is opgeslagen, een keet/kantine, een kleedruimte, kantoorruimte en slaapverblijven, waarbij op geen van verzamelde kleefmonsters asbest is aangetroffen. Een andere bron betreft een risicobeoordeling conform NEN 2991 die is uitgevoerd in gebouwen die mogelijk verontreinigd zijn geraakt doordat werknemers met verontreinigd schoeisel en/of kleding de ruimte c.q. het gebouw hebben betreden. Hierbij is op geen van de verzamelde lucht- en kleefmonsters asbest aangetroffen. Tijdens een vergelijkbare risicobeoordeling op een andere bedrijfslocatie zijn in verschillende (kantoor)ruimtes lucht- en kleefmonsters verzameld tijdens gebruikssituaties. Ook op deze monsters is geen asbest aangetroffen. Het wordt uit deze rapportage echter niet duidelijk of er op deze bedrijfslocatie überhaupt verontreinigd straalgrit aanwezig is geweest (in ieder geval niet ten tijde van het onderzoek).

Waterman Legal Consultancy heeft, namens Koninklijke OnderhoudNL, opdracht gegeven voor de uitvoering van een onderzoek naar de mogelijke risico's met betrekking tot voorkomende handelingen in relatie tot het verontreinigde aluminiumsilicaat straalgrit. Het onderzoek heeft zich gericht op de handelingen statische opslag, gebruikt product in de buitenlucht, en gebruikt product in een afgesloten ruimte, en is uitgevoerd op basis van de resultaten van door de leden reeds uitgevoerde onderzoeken (Kosters, 2017). 25 leden hebben in totaal 60 onderzoeksrapporten gedeeld, waaronder losse analysecertificaten (n=38), asbestinventarisatierapporten (n=19) en NEN 2991 onderzoeken (n=3). Op basis van de verkregen gegevens wordt geconcludeerd dat in geval van statische opslag (open en onverpakte opslag op buitenterrein, verpakte opslag op buitenterrein of verpakte opslag in een afgesloten ruimte) tijdens statische opslag in een afgesloten ruimte geen verontreiniging van de omgeving ontstaat en dat bij het verplaatsen van het product in de onaangetaste originele verpakking ook geen verontreiniging van de omgeving optreedt. Met betrekking tot de blootstelling tijdens gebruik van het verontreinigde straalgrit in de buitenlucht (tijdens stralen) wordt geconcludeerd dat onder andere in verband met een snelle verspreiding en het lage percentage asbestvezels in het product geen verhoogde concentratie asbestvezels worden aangetroffen in de directe omgeving van het gebied waar het verontreinigde product is toegepast. Met betrekking tot blootstelling aan gebruikt product in afgesloten ruimtes worden geen uitspraken gedaan.

In Bijlage 4 is zowel een voorbeeld uitgewerkt van een blootstellingsprofiel voor iemand die gestraalde oppervlakken inspecteert als een voorbeeld van een blootstellingsprofiel voor iemand die steigers opbouwt dan wel afbreekt.

6.3.7 Transport van straalgrit en straalgrit-houdend materiaal

Op basis van de resultaten van de meetstudie blijkt dat verhoogde geschatte asbestvezelconcentraties voornamelijk plaatsvinden bij activiteiten waarbij langdurig aanzienlijke hoeveelheden verontreinigd straalgrit worden gehanteerd.

Wanneer tijdens het transport (inclusief laden en lossen) van straalgrit en/of straalgrit-houdend materiaal het straalgrit goed verpakt is dan wel zich in een afgesloten vervoersmiddel (zoals een vulsilo) bevond, zal potentiële blootstelling met name plaats hebben gevonden door de aanwezigheid van verontreinigingen aan de buitenkant van het middel waarin het straalgrit werd vervoerd of gedurende incidentele kortdurende handelingen. Met betrekking tot transport van (goed) verpakt straalgrit of straalgrit-houdend materiaal wordt daarom een lage geschatte asbestvezelconcentratie verwacht. Wanneer het straalgrit echter in grote open reservoirs / bakken / vulsilo's werd vervoerd, is de kans iets groter dat er potentiële blootstelling heeft plaatsgevonden. De mate van deze blootstelling zal onder andere afhangen van de weersomstandigheden, de afstand tussen het straalgrit en de persoon die het transport verzorgt, de mate van afscherming van de persoon die het transport verzorgt (bijvoorbeeld een cabine van een vrachtwagen die al dan niet is voorzien van een airco/luchtfilteringssysteem) en de frequentie en duur van eventuele incidentele kortdurende handelingen die werden uitgevoerd tijdens het transport. Over het algemeen wordt echter aangenomen dat ook tijdens deze vorm van transport de geschatte asbestvezelconcentratie laag zal zijn.

Tijdens de inventarisatie kwam naar voren dat het transporteren van straalgrit ook wel wordt gecombineerd met het storten van straalgrit, waarbij de hoeveelheid straalgrit die wordt gestort per tijdseenheid kan variëren van 10 tot 6.000 kg/uur. Hoewel de uitvoering van dit soort werkzaamheden niet is meegenomen in de meetstudie, en daarom de asbestvezelconcentratie tijdens het storten van straalgrit niet direct kan worden ingeschat, zijn er wel veel overeenkomsten met vulwerkzaamheden, waardoor de resultaten van dat blootstellingsscenario als uitgangspunt genomen kunnen worden voor het schatten van de asbestvezelconcentratie tijdens het storten van straalgrit als onderdeel van transport. Hierbij wordt aangenomen in vergelijking met de hiervoor besproken vulwerkzaamheden tijdens het storten als onderdeel van transport er vaker gebruik gemaakt wordt van een geautomatiseerd systeem, waardoor de persoon zich over het algemeen verder van de bron (de vulopening) zal bevinden, en dat er ook vaker gebruik gemaakt zal worden van een (semi-)gesloten systeem, bijvoorbeeld door gebruik te maken van een vulslang. Daarentegen zal tijdens het storten van straalgrit vaak een grotere hoeveelheid straalgrit per tijdseenheid worden gestort dan het geval is tijdens vulwerkzaamheden, en zullen in geval van een open stortstelsel de valhoogte en de stort- en de vulopening vaak groter zijn. De geschatte dagblootstelling aan asbestvezels tijdens het storten van straalgrit hangt daarom, net als tijdens vulwerkzaamheden, af van de precieze omstandigheden waarbij deze werkzaamheden zijn uitgevoerd, zoals de duur en de frequentie van de werkzaamheden, de weersomstandigheden, de hoeveelheid straalgrit die is gestort, de afstand van de persoon tot de bron, eventuele afscherming van de persoon en/of de bron, of de werkzaamheden binnen dan wel buiten zijn uitgevoerd (en indien binnen, in welke mate de ruimte werd geventileerd), en het al dan niet dragen van adembescherming tijdens deze werkzaamheden. Daarnaast is het soort straalgrit dat wordt gestort van belang, want indien dit gebruikt straalgrit betreft zou voor het schatten van de asbestvezelconcentratie op basis van een concentratie respirabel

stof een omrekeningsfactor van 5.100 vezels/mg respirabel stof in plaats van 350.000 vezels/mg respirabel stof (voor ongebruikt straalgrit) moeten worden toegepast.

6.3.8 Omwonenden van een straalproject

Naast dat omstanders tijdens of na straalwerkzaamheden werkgerelateerd kunnen zijn blootgesteld aan asbestvezels afkomstig van het gebruikte verontreinigde aluminiumsilicaat straalgrit, is het ook mogelijk dat straalprojecten in een bebouwde omgeving zijn uitgevoerd, waardoor ook passanten en/of omwonenden kunnen zijn blootgesteld aan asbestvezels.

Met betrekking tot de potentiële blootstelling van omwonenden wordt aangenomen dat de mate van vrijkomen (emissie) van asbestvezels tijdens straal- en vulwerkzaamheden, welke over het algemeen in combinatie met elkaar worden uitgevoerd, de belangrijkste bronnen zijn geweest. De resultaten van zowel de stationaire metingen die op verschillende afstanden van de emissiebron tijdens stralen als de stationaire metingen die nabij het vulpunt tijdens vulwerkzaamheden zijn verricht kunnen als schatting worden gebruikt voor het inschatten van de blootstelling van omwonenden. Hierbij wordt aangenomen dat vrijgekomen respirabele asbestvezels zich relatief snel verspreiden en vermengen met de omgevingslucht. Op basis van deze geschatte asbestvezelconcentraties wordt aangenomen dat op afstanden groter dan 5 meter van de straalwerkzaamheden de asbestvezelconcentraties over het algemeen (zeer) laag zullen zijn geweest. De mate van verspreiding naar de omgeving is uiteindelijk afhankelijk van de precieze omstandigheden waarbij deze werkzaamheden zijn uitgevoerd in een bepaalde periode (zoals windsnelheid, windrichting, duur van de werkzaamheden, mate van afsluiting van de straalwerkzaamheden met behulp van een straaltent, manier van vullen, hoeveelheid gevuld materiaal, en afstand en positie van omwonenden tot de locatie waar deze werkzaamheden werden uitgevoerd).

In Bijlage 4 is een voorbeeld van een blootstellingsprofiel voor omwonenden van een straalproject uitgewerkt, waarbij met behulp van een verspreidingsmodel en op basis van de resultaten van de meetstudie geschatte emissies voor straal- en vulwerkzaamheden een inschatting van de blootstelling van omwonenden is gemaakt.

7 Discussie

Toen het straalmiddel Eurogrit aluminiumsilicaat smeltslak grit verontreinigd bleek te zijn met asbest is er ongerustheid ontstaan bij betrokkenen van de straalwerkzaamheden en omwonenden over de mogelijke blootstelling aan asbest en de bijbehorende gezondheidsrisico's. Na het onderzoek naar de (potentiële) blootstelling aan asbest tijdens het opruimen van het verontreinigde straalgrit (Fase 1), is in dit onderzoek (Fase 2) de blootstelling aan asbest van medewerkers tijdens en na de toepassing van het verontreinigde straalgrit in kaart gebracht. Omdat het door praktische en veiligheidsredenen niet mogelijk was om een blootstellingsstudie tijdens het werken met asbest-verontreinigde straalgrit uit te voeren (directe methode), is in plaats daarvan een indirecte methode toegepast om blootstelling aan asbestvezels te bepalen. Deze indirecte retrospectieve methode bestond uit een aantal onderdelen, namelijk:

1. een inventarisatie van de omstandigheden waarin het aluminiumsilicaat straalgrit werd toegepast voordat bekend werd dat dit straalgrit was verontreinigd met asbest;
2. het bepalen van de relatie tussen de respirabele stofconcentratie en de asbestvezelconcentratie op basis van experimenten met verontreinigd straalgrit;
3. het meten van de blootstelling aan respirabel stof tijdens (realistische worst-case) praktijkomstandigheden met niet-verontreinigd straalgrit;
4. het schatten van de asbestvezelconcentratie op basis van de gemeten respirabel stofconcentratie.

Omdat dit een retrospectief onderzoek betreft is het niet mogelijk de asbestvezelconcentratie voor iedere situatie exact vast te stellen, maar kan deze alleen worden ingeschat op basis van een inventarisatie van activiteiten en omstandigheden die toen hebben plaatsgevonden.

7.1 Blootstellingsscenario's

De inventarisatie met betrekking tot activiteiten en omstandigheden zoals voorgekomen met het verontreinigde straalgrit is uitgezet onder ongeveer 30 bedrijven waarmee contact was via het netwerk van TNO, KIWA Compliance of iSZW. Hieronder waren ook de brancheorganisatie OnderhoudNL en vakbond FNV. Iedere benaderde partij is gevraagd om de inventarisatie verder uit te zetten bij betrokkenen, bijvoorbeeld de leden van de brancheorganisatie. Het is daardoor niet bekend onder hoeveel partijen de inventarisatie is uitgezet, en dus wat het responspercentage is. Het is hierdoor niet zeker of de verkregen input volledig is en afkomstig is van een representatieve groep partijen. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat de grotere straalbedrijven over-gerepresenteerd zijn, en dat hierdoor een vorm van selectie-bias is opgetreden. Hoewel het lastig is om te achterhalen of dit daadwerkelijk het geval is, hebben wel alle bedrijven de gelegenheid gehad om te reageren, en om aan te geven als iets niet klopte, dus er wordt aangenomen dat de invloed hiervan op de resultaten beperkt zal zijn. Daarnaast is de informatie afkomstig van de inventarisatie aangevuld met informatie uit observaties en

gesprekken met medewerkers van verschillende straalbedrijven tijdens de meetstudie. Deze additionele informatie bevestigt het beeld van de inventarisatie. Daarom wordt aangenomen dat op deze manier tot een representatieve weergave van de werkelijke werksituaties op verschillende plaatsen en bij verschillende activiteiten is gekomen. Dit wordt tevens bevestigd door het feit dat de situaties zoals beschreven door de respondenten niet noodzakelijkerwijs overeenkomen met geldende wet- en regelgeving met betrekking tot arbeidsomstandigheden en/of milieu, waaruit blijkt dat in ieder geval niet alleen sociaal-wenselijke informatie is verstrekt.

Uit de inventarisatie blijkt dat er veel verschillende activiteiten worden uitgevoerd met aluminiumsilicaat straalgrit. Deze verschillende activiteiten worden ook nog eens uitgevoerd onder verschillende omstandigheden (zowel met betrekking tot de gevolgde werkprocedures als de toegepaste technieken). Hierdoor is er sprake van een grote verscheidenheid aan potentiële blootstellingsscenario's met betrekking tot het gebruik van verontreinigd aluminiumsilicaat straalgrit. Hierdoor was het binnen de context van dit onderzoek niet mogelijk om elk geïnventariseerd blootstellingsscenario een meetstudie te verrichten. In plaats daarvan is gekozen om een aantal geselecteerde activiteiten realistisch worst-case te bemeten, om zodoende inzicht te krijgen in de asbestvezelconcentraties zoals deze plaatsvonden tijdens relatief ongunstige omstandigheden. Daarnaast is gebruik gemaakt van informatie uit externe bronnen als aanvulling op de resultaten uit dit onderzoek. Omdat TNO niet betrokken is geweest bij de uitvoering van deze onderzoeken en daardoor geen zicht heeft op de precieze omstandigheden waarbij deze zijn uitgevoerd worden deze gegevens als indicatief beschouwd.

Op basis van de resultaten uit deze meetstudie is het lastig om uitspraken te doen over de mogelijke asbestvezelconcentraties in specifieke situaties. In deze studie zijn hoge asbestvezelconcentraties geschat onder relatief ongunstige situaties. Uit de inventarisatie blijken situaties echter enorm te variëren. Daarom wordt bedrijven geadviseerd om voor hun eigen situatie een inschatting te maken van de blootstelling aan respirabel stof. De uitkomsten van dit onderzoek bieden handvatten voor bedrijven om voor de verschillende blootstellingsscenario's en specifieke activiteiten binnen deze blootstellingsscenario's, die van toepassing zijn voor een bepaald bedrijf, een inschatting te maken van de blootstelling aan asbest van de werknemers. Deze inschatting van de taakgerichte concentratieniveaus moet worden gecombineerd met een inschatting van het blootstellingsprofiel gedurende een (gemiddelde) werkdag (bijvoorbeeld met betrekking tot de duur van activiteiten op een werkdag en het al dan niet gebruiken van adembeschermingsmiddelen) om de uiteindelijke daggemiddelde blootstelling te kunnen bepalen.

7.2 Gemeten respirabel stofconcentraties

Het is bekend dat tijdens straalwerkzaamheden hoge stofconcentraties voor kunnen komen. Zo rapporteert een Amerikaanse studie geometrisch gemiddelde

concentraties totaal stof van 1739 (range 1080-2810) mg/m³ tijdens het stralen van 'specular hematite', 4215 (range 1716-9989) mg/m³ tijdens het stralen van koolslakken en 1686 (range 879-9490) mg/m³ tijdens het stralen van staalgrit. De geometrisch gemiddelde concentraties respirabel stof bedroegen 238 (range 62-1841) mg/m³ tijdens het stralen van 'specular hematite', 1000 (range 232-5652) mg/m³ tijdens het stralen van koolslakken en 193 (range 31-1400) mg/m³ tijdens het stralen van staalgrit (Meeker, Susi & Pellegrino, 2006). Ook in dit onderzoek worden hoge concentraties respirabel stof gemeten, niet alleen tijdens straalwerkzaamheden, maar ook tijdens andere activiteiten waarbij men met het straalgrit in aanraking komt, zoals tijdens vulwerkzaamheden en opruimwerkzaamheden. Een groot deel van de gemeten respirabel stofconcentraties bevindt zich boven de grenswaarden zoals deze in het buitenland worden gehanteerd. Naast sec hoge respirabel stofconcentraties is er ook een erg grote spreiding in de gemeten taakgerichte stofconcentraties geconstateerd, welke in ieder geval deels kan worden verklaard door de variatie in omstandigheden waarin met aluminiumsilicaat straalgrit wordt gewerkt in de praktijk.

Bij de opzet van de meetstudie is uitgegaan van het uitvoeren van de stofmetingen tijdens ongunstige omstandigheden. Dit bleek in de praktijk helaas niet altijd realiseerbaar te zijn, bijvoorbeeld omdat het in verband met de veiligheid van de betrokken werknemers niet verantwoord was. Daarnaast is het door praktische omstandigheden niet voor alle activiteiten gelukt om de vooraf bepaalde hoeveelheid metingen op drie verschillende meetlocaties te verzamelen. Het beschikbare aantal metingen per activiteit wordt echter wel voldoende geacht, en de metingen zijn over het algemeen onder zodanige omstandigheden uitgevoerd dat op basis van de resultaten van de meetstudie een inschatting kan worden gegeven van taakgerichte blootstelling aan respirabel stof tijdens straal- en daaraan gerelateerde werkzaamheden onder realistische worst-case omstandigheden.

Zoals is beschreven in paragraaf 4.4.1 zijn de resultaten van een aantal metingen niet meegenomen in het uitvoeren van de beschrijvende statistiek omdat deze niet aan de vooraf bepaalde kwaliteitsstandaarden voldeden (een te grote afwijking van het debiet tijdens de meting). De resultaten van deze 15 metingen laten wel een vergelijkbaar beeld zien, wat betreft gemeten concentraties respirabel stof, als de rest van de metingen.

De op dit moment in het buitenland gehanteerde grenswaarden voor respirabel stof zijn geënt op blootstelling aan 'hinderlijk stof', dat wil zeggen stof zonder specifieke schadelijke of giftige bestanddelen. Tijdens de vorige fase van het onderzoek (Fase 1) is aangegeven dat de respirabele stoffractie vezelvormige aluminiumsilicaten (naaldvormig) met sporen magnesium, kalium, calcium en ijzer bevat. Deze minerale vezels kwamen toen in zeer hoge concentraties voor in zowel de luchtmonsters (tijdens opruimen van gebruikt straalgrit) als de respirabele fractie van het gebruikte straalgrit. Omdat in het ongebruikte straalgrit de concentraties minerale vezels beduidend lager waren werd aangenomen dat deze minerale vezels waarschijnlijk worden gevormd tijdens het straalproces. In het huidige onderzoek (Fase 2) zijn in

de monsters die zijn verzameld tijdens de experimenten ook weer aluminiumsilicaat naalden aangetroffen. De bijbehorende minerale vezelconcentraties zijn echter wel lager dan tijdens Fase 1, wat er op duidt dat de vorming van naalden afhankelijk is van het gritstraalproces en/of het type straalgrit. De gevonden naaldvormige minerale vezels zijn wat betreft vorm en samenstelling vergelijkbaar met minerale wolvezels (zoals glaswol, steenwol en superfijne glasvezels (SPF)), waarvoor in het buitenland grenswaarden worden gehanteerd van 1.000.000 vezels/m³.¹¹ Of, en zo ja in welke situaties, deze grenswaarde voor minerale vezels wordt overschreden valt op basis van de resultaten van dit onderzoek niet goed te beoordelen. Wel is duidelijk dat het respirabel stof dat ontstaat tijdens straalwerkzaamheden en aan stralen gerelateerde werkzaamheden niet alleen hinderlijk is, maar ook voor een deel bestaat uit schadelijke bestanddelen.

Zowel tijdens de inventarisatie als tijdens de meetstudie kwam naar voren dat bronmaatregelen om stofvorming te voorkomen weinig worden toegepast. De meest voorkomende maatregelen zijn het toepassen van ruimteventilatie en het dragen van adembescherming, waarbij tijdens veel activiteiten mondkapjes of (FF)P3 (halfgelaats)maskers wisselend wel en niet worden gedragen. Tijdens straalwerkzaamheden (en schoonblazen) wordt wel altijd een straalkap gedragen, maar uit de resultaten van de metingen blijkt dat de straalkap weliswaar een behoorlijke bescherming biedt, maar over het algemeen niet de nominale beschermingsfactor 1000 die in de praktijk wordt gehanteerd. Door de hoge (respirabel) stofconcentraties die tijdens het stralen zijn gemeten zal de straalkap in de praktijk niet altijd de benodigde bescherming bieden om blootstellingsrisico's volledig uit te sluiten.

Met behulp van het ventilatiesysteem wordt een inwaartse luchtstroom (onderdruk) in de betreffende ruimte gecreëerd, om te zorgen dat van het stof dat vrijkomt tijdens het stralen zo min mogelijk emissie naar buiten optreedt (milieumaatregel). En hoewel op basis van de resultaten van de respirabel stofmetingen blijkt dat het overgrote deel van het stof wordt afgevoerd via het ventilatie/filtersysteem, blijkt ook dat een klein deel van dit stof toch buiten de betreffende ruimte terechtkomt, en er dus wel sprake is van emissie naar de omgeving. De bedrijven geven aan dat het neerslaan van of het voorkomen van stof dat vrijkomt door middel van het toepassen van bevochtigingstechnieken vaak niet mogelijk is omdat corrosie moet worden voorkomen.

7.3 Geschatte asbestvezelconcentraties

Uit de resultaten van het onderzoek blijkt dat de relatie tussen respirabel stof en asbestvezels afhankelijk is van de activiteit die wordt uitgevoerd in combinatie met het soort straalgrit waarmee deze activiteit wordt uitgevoerd. Zo zijn voor activiteiten met ongebruikt straalgrit (vullen), stralen en activiteiten met gebruikt straalgrit (opruimen en werkzaamheden in verontreinigd gebied) aparte

¹¹ GESTIS database 'International limit values for chemical agents' (<http://limitvalue.ifa.dguv.de/>).

omrekenfactoren afgeleid, waarbij in geval van stralen deze omrekenfactor tevens afhangt van de toegepaste druk en verbruik tijdens stralen.

Tijdens de experimenten voor het afleiden van de relatie tussen respirabel stof en asbest zijn enorme hoeveelheden stof gemeten, waardoor de analyses op asbest bijzonder moeilijk zijn (zeer arbeidsintensief). Om toch analyses op asbestvezels uit te kunnen voeren moesten de filters niet te zwaar beladen worden. Hierdoor kon er relatief kort gemeten worden, wat effect kan hebben op de betrouwbaarheid (representativiteit) van het meetresultaat voor bepaalde langdurige (onregelmatige) taakgerichte activiteiten. Daarnaast zijn deze monsters verzameld met behulp van experimenten in een testopstelling waarin praktijksituaties zijn gesimuleerd. Dit is gedaan om mensen niet onnodig bloot te stellen aan asbestvezels en anderzijds om te voorkomen dat praktijklocaties worden besmet. Daarnaast bleek dit ook de enige werkbare oplossing te zijn vanwege het feit dat asbesthoudend straalgrit nagenoeg niet meer beschikbaar was. Dit houdt in dat het aantal omstandigheden waarin de monsters zijn verzameld beperkt is. Daarnaast is slechts een beperkt aantal van de genomen monsters geanalyseerd vanwege de zeer arbeidsintensieve analyse. Het aantal monsters waarop de relatie tussen respirabel stof en asbest kon worden gebaseerd en de variatie in omstandigheid is dus relatief beperkt. De relatie voor activiteiten met ongebruikt straalgrit is gebaseerd op vier sets parallelle metingen, de relatie tijdens stralen op acht sets parallelle metingen en de relatie tijdens activiteiten met gebruikt straalgrit op 11 sets parallelle metingen. De retrospectief afgeleide relaties tussen respirabel stof en asbest voor de verschillende situaties moeten dan ook worden gezien als een schatting met een zekere spreiding. Hierbij is de relatie bij activiteiten met ongebruikt straalgrit de meest onzekere relatie. De relatie tijdens stralen is gebaseerd op meerdere sets metingen, maar deze zijn wel verdeeld over meerdere combinaties van omstandigheden. Ondanks het relatief beperkte aantal waarnemingen wordt echter aangenomen dat de afgeleide relaties tussen respirabel stof en asbest representatief zijn, omdat de geobserveerde relaties worden onderschreven door de theorie en samen een coherent geheel vormen. Daarnaast zijn diverse duplomonsters geanalyseerd, waaruit blijkt dat spreiding in analyseresultaat gering is. Ook kon de relatie voor activiteiten met gebruikt straalgrit worden gevalideerd met gegevens zoals verzameld tijdens Fase 1.

Voor het afleiden van de relaties tussen respirabel stof en asbest is ondanks de brede 95%-betrouwbaarheidsintervallen¹² rond de nominale waarde uitgegaan van de nominale waarden van de individuele meetresultaten, omdat de kans op een gemeten concentratie vergelijkbaar met de nominale waarde het grootst is. Op basis van de nominale waarde kan dus de meest realistische relatie tussen respirabel stof en asbest worden bepaald. Dit betreft daarom een andere situatie dan wanneer op basis van de bovengrens wordt getoetst aan een grenswaarde, om met voldoende zekerheid aan te kunnen nemen dat een situatie veilig is.

¹² Voor elk filter zijn tussen de 5 en 20 vezels geteld om de betrouwbaarheidsintervallen zo smal mogelijk te krijgen, resulterend in een relatieve variantie van ca. 30-100%, wat normaal is voor een dergelijke asbestanalyse.

Met betrekking tot de geschatte (taakgerichte) asbestvezelconcentraties op basis van gemeten respirabel stofconcentraties kan het volgende worden opgemerkt:

- Activiteiten met ongebruikt straalgrit, zoals het vullen van straalketels, leidt (in verhouding met straalwerkzaamheden) tot beperkte blootstelling aan respirabel stof. Maar door het hoge aandeel asbestvezels in de respirabele fractie van het ongebruikte straalgrit zijn de geschatte taakgerichte asbestvezelconcentraties tijdens vullen wel aanzienlijk, met een gemiddelde (GM) geschatte asbestconcentratie tijdens worst-case omstandigheden van 270.000 vezels/m³. Omdat de duur van de activiteit vullen gedurende een werkdag relatief beperkt is (van enkele minuten tot een uur) zal de uiteindelijke dagblootstelling vele malen lager liggen. Dat neemt niet weg dat werknemers tijdens het vullen van reservoirs/ketels potentieel een blootstelling aan asbestvezels hebben gehad die boven de grenswaarde uitkomt.
- Zoals bekend is de stofconcentratie tijdens straalwerkzaamheden erg hoog, waardoor de geschatte asbestvezelconcentratie ook erg hoog is. In de ruimte waar gestraald wordt kan de asbestvezelconcentratie oplopen tot boven de miljoen vezels/m³. Op basis van de resultaten van de metingen onder de straalkap blijkt dat de straalkap een behoorlijke bescherming biedt, maar dat in veel gevallen de geschatte asbestvezelconcentratie onder de straalkap rondom de grenswaarde van 2.000 vezels/m³ ligt.
- Ook tijdens activiteiten in werkgebieden waar gestraald is en waar sprake is van een aanzienlijke mate van verontreiniging kunnen verhoogde asbestvezelconcentraties optreden. Denk hierbij aan het schoonspuiten van oppervlakken met perslucht, het opscheppen van grote hoeveelheden droog straalgrit, het afbreken van verontreinigd steigermateriaal of het lopen door sterk verontreinigd gebied. Hierbij kunnen de geschatte taakgerichte asbestvezelconcentraties oplopen tot enkele tienduizenden vezels/m³.
- De vrijgekomen respirabele asbestvezels verspreiden zich relatief snel en vermengen zich met de omgevingslucht. De resultaten van stationaire metingen op verschillende afstanden van de emissiebron laten zien dat tijdens straalwerkzaamheden of werkzaamheden in verontreinigd gebied op afstanden groter dan 5 meter van de bron de asbestvezelconcentraties over het algemeen (zeer) laag zullen zijn geweest. Personen die zich op korte afstand van de activiteiten hebben bevonden, bijvoorbeeld direct bij het mangat of bij de opening van een straaltent, zijn waarschijnlijk wel blootgesteld aan asbestvezels, waarbij de grenswaarde mogelijk is overschreden. Ook de geschatte asbestvezelconcentraties tijdens het vullen in de buurt van het stortpunt (benedenwinds) zijn hoog tot zeer hoog. Daarom kan worden aangenomen dat er tijdens vulwerkzaamheden wel sprake is geweest van verspreiding van asbestvezels naar de omgeving. De mate van uiteindelijke verspreiding naar de omgeving is afhankelijk van de omstandigheden waarbij de werkzaamheden zijn uitgevoerd (zoals windsnelheid, windrichting, duur van de werkzaamheden, manier van vullen, hoeveelheid gevuld materiaal, binnen versus buiten en de afstand van omstanders en omwonenden tot de locatie waar deze werkzaamheden werden uitgevoerd). Daarom kan op voorhand niet

worden uitgesloten dat er tijdens straalwerkzaamheden (die gepaard gaan met vulwerkzaamheden) op afstanden groter dan 5 meter geen verhoogde blootstelling aan asbestvezels is opgetreden, wat ook blijkt uit het uitgewerkte blootstellingsprofiel voor omwonenden (zie paragraaf 6.3.8 en bijlage 4).

8 Conclusies en aanbevelingen

Het doel van het onderzoek zoals beschreven in deze rapportage betreft het uitvoeren van een onafhankelijk retrospectief onderzoek naar de blootstelling aan asbest van medewerkers en omstanders tijdens en na het werken met verontreinigde straalgrit. Om te kunnen reproduceren wat de blootstelling aan asbest is geweest tijdens de periode dat met verontreinigd straalgrit is gewerkt is eerst een inventarisatie uitgevoerd onder bedrijven naar de omstandigheden waarin met dit straalgrit is gewerkt. Vervolgens is door middel van experimenten onderzocht wat de relatie is tussen respirabel stof en asbestvezels. Dit is gedaan voor de volgende processen: activiteiten met ongebruikt straalgrit, stralen en activiteiten met gebruikt straalgrit. Parallel zijn op basis van de inventarisatie door middel van een meetstudie in praktijksituaties respirabel stofmetingen verricht onder realistische worst-case omstandigheden. Aan de hand van tijdens de meetstudie gemeten respirabel stofconcentraties is een inschatting gemaakt van asbestvezelconcentraties aan de hand van de gevonden relatie tussen respirabel stof en asbest.

8.1 Conclusies

De volgende conclusies kunnen worden getrokken uit dit onderzoek:

- Uit de inventarisatie blijkt dat er veel verschillende activiteiten onder verschillende omstandigheden (zowel met betrekking tot de gevolgde werkprocedures als de toegepaste technieken) zijn uitgevoerd met het verontreinigde aluminiumsilicaat straalgrit. Hierdoor is er sprake van een grote verscheidenheid aan potentiële blootstellingsscenario's met betrekking tot het gebruik van verontreinigd aluminiumsilicaat straalgrit.
- De relatie tussen respirabel stof en asbestvezels hangt af van de activiteit die wordt uitgevoerd in combinatie met het soort straalgrit waarmee deze activiteit wordt uitgevoerd, wat heeft geresulteerd in aparte omrekenfactoren voor de verschillende situaties (activiteiten met ongebruikt straalgrit, stralen en activiteiten met gebruikt straalgrit. In geval van stralen hangt deze omrekenfactor tevens af van de toegepaste druk en verbruik tijdens stralen. Verder wordt de mate van stofvorming mede bepaald door het gebruikte straalmiddel.
- Er zijn over het algemeen hoge concentraties respirabel stof gemeten tijdens de verschillende taakgerichte activiteiten, met uitzondering van een aantal stationaire meetpunten die op enige afstand van de werkzaamheden waren opgesteld. Verder is er sprake van een grote spreiding in gemeten concentraties respirabel stof.
- Op basis van de resultaten van de experimenten en de meetstudie zijn asbestvezelconcentraties geschat, waarbij is gecorrigeerd voor de achtergrondconcentratie aan respirabel stof en is uitgegaan van een gemiddeld asbestgehalte in het verontreinigde straalgrit van 6 mg/kg ds. De geschatte asbestvezelconcentraties zijn hoog tot zeer hoog, en er is sprake van een grote spreiding in de geschatte asbestvezelconcentraties. Er wordt aangenomen dat

wanneer deze gegevens worden gebruikt om een 8-uurs TGG blootstelling over een werkdag te berekenen, een substantieel deel boven de grenswaarde zal uitkomen.

- Wanneer werknemers grote hoeveelheden ongebruikt straalgrit hanteren is een hoge blootstelling aan asbestvezels waarschijnlijk;
- Ook tijdens stralen en tijdens bepaalde opruimwerkzaamheden waarbij weinig tot geen stofbeheersing wordt toegepast is een hoge blootstelling aan asbestvezels waarschijnlijk;
- Bij secundaire verontreinigingen (door inloop, insleep) zijn de aanwezige hoeveelheden straalgrit zo beperkt dat de kans op een blootstelling aan asbest boven de grenswaarde zeer onwaarschijnlijk lijkt.
- Voor omwonenden is de kans op een verhoogde asbestblootstelling onwaarschijnlijk.
- De blootstelling aan asbest voor omstanders die zich op enkele meters afstand van de werkzaamheden bevinden is beperkt geweest, met uitzondering van de vulwerkzaamheden. Tijdens deze werkzaamheden zijn de geschatte asbestvezelconcentraties zo hoog dat verhoogde blootstelling aan asbest in de nabijheid van vulwerkzaamheden reëel lijkt.
- Uitgaande van de arbeidshygiënische strategie dient in eerste instantie de concentratie aan (respirabel) stof zoveel mogelijk te worden beperkt door het gebruik van bronmaatregelen. Indien dat niet mogelijk is kunnen werknemers zich beschermen tegen inademing van stof door het dragen van adembeschermingsmiddelen. Het blijkt echter dat bronmaatregelen om stofvorming te voorkomen dan wel tegen te gaan weinig worden toegepast tijdens straal- en daaraan gerelateerde werkzaamheden. De meest voorkomende maatregelen zijn het toepassen van ruimteventilatie en het dragen van adembescherming. In veel situaties is het toepassen van bevochtigingstechnieken niet mogelijk in verband met corrosievorming.
- De straalkap die wordt gedragen tijdens straalwerkzaamheden biedt een behoorlijke bescherming, maar blijkt in de praktijk lang niet zo effectief te zijn als door de fabrikant wordt aangegeven. Ook onder de straalkap worden detecteerbare hoeveelheden respirabel stof gemeten, en de geschatte asbestvezelconcentratie onder de straalkap tijdens stralen ligt gemiddeld rond de grenswaarde.
- De resultaten van dit onderzoek geven de geschatte asbestvezelconcentraties onder relatief ongunstige (worst-case) omstandigheden weer. Uit de inventarisatie blijkt dat er zeer veel verschillende omstandigheden zijn waarin met straalgrit is gewerkt. Dit onderzoek biedt bedrijven handvatten om voor specifieke bedrijfssituaties de blootstelling aan asbestvezels in te schatten.

8.2 Aanbevelingen

Het risico op asbest gerelateerde gezondheidseffecten wordt niet alleen bepaald door de hoogte van de taakgerichte blootstelling. Dit risico wordt ook bepaald door de blootstellingsperiode en blootstellingsfrequentie. De inventarisatie laat zien dat omstandigheden waarin gewerkt wordt enorm variëren. Daarnaast bevestigd de

meetstudie naar respirabel stof dat de blootstelling erg varieert. Dit maakt het onmogelijk om generieke uitspraken te doen over het mogelijke blootstellingsrisico (en het daaraan gerelateerde gezondheidsrisico).

Daarom adviseren wij om per bedrijf de blootstellingsrisico's voor de (verschillende groepen) werknemers in te schatten. Dit kan op de volgende manieren:

- i) Maak gebruik van bedrijfsspecifiek verzamelde gegevens over blootstelling aan asbest tijdens relevante werkzaamheden en informatie over bedrijfsspecifieke blootstellingsprofielen;
- ii) Maak gebruik van bedrijfsspecifiek verzamelde gegevens over blootstelling aan respirabel stof tijdens relevante werkzaamheden, en maak op basis hiervan een inschatting van de blootstelling aan asbestvezels door middel van de in dit onderzoek gepresenteerde correctie- en omrekenfactoren en informatie over bedrijfsspecifieke blootstellingsprofielen;
- iii) Maak gebruik van bedrijfsspecifiek verzamelde gegevens over blootstelling aan inhaleerbaar stof en extrapoleer deze naar blootstelling naar respirabel stof. Maak op basis hiervan een inschatting van de blootstelling aan asbestvezels door middel van de in dit onderzoek gepresenteerde correctie- en omrekenfactoren en informatie over bedrijfsspecifieke blootstellingsprofielen;
- iv) Maak op basis van de meetgegevens uit dit rapport en specifieke informatie over blootstellingsfactoren, zoals duur van de activiteiten, mate van ventilatie, hoeveelheden gebruikt product, toepassing van bronmaatregelen en gebruik van adembescherming, een inschatting van wat de daggemiddelde blootstelling aan asbestvezels van de werknemers is geweest.

Dergelijke blootstellingsschattingen kunnen eventueel samen met (externe) Arbodeskundigen met kennis op het gebied van blootstellingsonderzoek worden uitgevoerd. De onzekerheid van de schattingen neemt toe naarmate een meer generieke methode gevolgd wordt.

Daarnaast wordt aanbevolen om een inschatting te (laten) maken van de kans dat medewerkers die tijdens de periode dat het verontreinigde straalgrit in omloop was (potentieel) zijn blootgesteld aan asbest als gevolg van deze blootstelling gezondheidsschade hebben opgelopen. Hiervoor is naast informatie over blootstellingsniveaus ook informatie over de periode van blootstelling en de frequentie van blootstelling relevant. Ter illustratie heeft het RIVM voor een aantal generieke blootstellingsprofielen, zoals weergegeven in Bijlage 4, het additionele gezondheidsrisico bepaald, waarbij ook de gehanteerde aanpak is beschreven (van Engelen et al., 2018). Dit geeft de bedrijven de mogelijkheid om zich te identificeren met één van de uitgewerkte generieke opties, of voor een bedrijfsspecifieke situatie dit additionele gezondheidsrisico te bepalen.

Gezien de (relatief) hoge blootstelling aan respirabel stof tijdens werkzaamheden die worden uitgevoerd voor, tijdens en na het stralen met aluminiumsilicaat straalgrit wordt aanbevolen om te werken aan een structurele verlaging van de blootstelling aan respirabel stof en de mogelijke bestanddelen van dit stof tijdens deze werkzaamheden. Het wordt aanbevolen om hier een combinatie van

technische (onder andere bronmaatregelen) en organisatorische maatregelen (onder andere het opstellen en opvolgen van vaste procedures) in te zetten. Daarnaast is meer inzicht in de effectiviteit van de verschillende straalkappen die worden gebruikt tijdens praktijksituaties van belang, zodat duidelijk wordt welke straalkappen in welke situaties moeten worden gebruikt om de werknemers voldoende te beschermen, dan wel op zoek te gaan naar alternatieven die meer bescherming bieden.

9 Referenties

Cherrie JW, Maccalman L, Fransman W, Tielemans E, Tischer M, Van Tongeren M. Revisiting the effect of room size and general ventilation on the relationship between near- and far-field air concentrations. *Ann. Occup. Hyg.* 2011; 55 (9):1006-1015.

ECHA. Guidance on information requirements and chemical safety assessment; chapter R.14: occupational exposure estimation. Helsinki, Finland, European Chemicals Agency (ECHA), 2008.

Fransman W, Cherrie J, van Tongeren M, Cherrie J, Tischer M, Schneider T, Schinkel J, Kromhout H, Warren N, Goede H, Tielemans E. The Advanced REACH Tool (ART): Development of the mechanistic model. *Ann. Occup. Hyg.* 2011; 55 (9): 957-979.

Kosters JHP. Onderzoeksrapport Eurogrit V1.0. 27 oktober 2017. Admanstars, Hellevoetsluis, 26 oktober 2017.

Meeker JD, Susi P, Pellegrino A. Comparison of Occupational Exposures Among Painters Using Three Alternative Blasting Abrasives. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2006; 3 (9): D80-D84.

NEN 2991. Lucht - Bepaling van de asbestconcentraties in de binnenlucht en risicobeoordeling in en rondom bouwwerken, constructies of objecten waarbij asbesthoudende materialen zijn verwerkt. Nederlands normalisatie instituut (NEN), Delft, 1 september 2015.

NEN 5896. Kwalitatieve analyse van asbest in materialen met polarisatiemicroscopie. Nederlands normalisatie instituut (NEN), Delft, 1 mei 2003.

NEN 5897+C1. Inspectie en monsterneming van asbest in bouw- en sloopafval en recyclinggranulaat. Nederlands normalisatie instituut (NEN), Delft, 1 augustus 2016.

NEN 5898+C1: Bepaling van het gehalte aan asbest in grond, waterbodem, bouw- en sloopafval en granulaat. Nederlands normalisatie instituut (NEN), Delft, 1 augustus 2016.

NEN-EN 689. Workplace exposure - Measurement of exposure by inhalation to chemical agents - Strategy for testing compliance with occupational exposure limit values. Nederlands normalisatie instituut (NEN), Delft, 1 mei 2018.

NEN-ISO 13794. Ambient air - Determination of asbestos fibres - Indirect-transfer transmission electron microscopy method. Nederlands normalisatie instituut (NEN), Delft, 1 september 1999.

NEN-ISO 14966. Ambient air - Determination of numerical concentration of inorganic fibrous particles - Scanning electron microscopy method. Nederlands normalisatie instituut (NEN), Delft, 1 januari 2003, inclusief correctieblad C1 (gepubliceerd op 1 juli 2007).

Spoelstra H, Tempelman J, Arzoni RJ. Stofbestrijding bij werkzaamheden in de wegenbouw, TNO-rapport R 2001/564, 2001.

Swartjes FA, Tromp PC. A tiered approach for the assessment of the human health risks of asbestos in soils. *Soil & Sediment Contamination* 2008; 17: 137-149.

Tromp PC. Oriënterende studie naar blootstellingsrisico's door met asbest verontreinigde bodem. TNO rapport R2002/078, februari 2002.

Tromp P, Spaan S, Diks M, de Jong R, Schinkel J. Blootstelling aan asbest van werknemers bij het opruimen van met asbest verontreinigd gebruikt straalgrit (fase 1). TNO rapport TNO 2017 R11273, 13 november 2017.

Tromp P, Spaan S. Afleiden algemene achtergrondconcentratie asbestvezels in Nederland. TNO-notitie, referentienummer 0100305345, TNO, Utrecht, 28 februari 2018.

van Engelen J, van de Weijert V, Beetstra R. Gezondheidsrisico's voor werknemers en omwonenden ten gevolge van blootstelling aan met asbest verontreinigd straalgrit. Opdrachtnummer Z/110037/03, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven, 2018.

Van Ham J, Pulles MPJ. HET NIEUWE NATIONAAL MODEL. Model voor de verspreiding van luchtverontreiniging uit bronnen over korte afstanden. Rapportage over het onderzoek Revisie Nationaal Model en de besluitvorming daarover in de begeleidingscommissie. TNO rapport MEP R 98/306, 1998.

Veenstra SJ, Brouwer D, Hendrix JMH, Kerkhoff R, Leeuw JCR, Liemburg J, Lumens MEGL, Remijn AP. Selectie en gebruik van adembeschermingsmiddelen. Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiëne, Werkgroep Ademhalingsbescherming, maart 2001.

10 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever:

Dr. L.M.N Kroon, Directeur Inspectie SZW
Parnassusplein 5, 2511 VX Den Haag, B10.13
Postbus 90801 | 2509 LV | Den Haag

Naam en functies van medewerkers:

S. Spaan, Research Scientist
P.C. Tromp, Senior Research Scientist
R. de Jong, Research assistant
M.V. Diks, Research assistant
E. Voogd, Research Scientist
H.L.M. Verhagen, Research assistant
M.M. Moerman, Research assistant
J.M. Schinkel, Senior Research Scientist

Naam van de instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

KIWA Compliance en KIWA Inspection & Testing - Blootstellingsmetingen

Kwaliteitsborging

Het onderzoek is uitgevoerd onder een kwaliteitssysteem dat voldoet aan ISO-9001.

Datum waarop of tijdsbestek waarin het onderzoek heeft plaatsgehad:

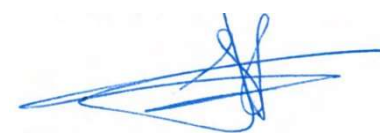
November 2017 - Oktober 2018

Naam en paraaf tweede lezer:

W. Fransman



Ondertekening:



S. Spaan
Auteur

Autorisatie vrijgave:

M.A.J. Rennen
Research Manager



Autorisatie vrijgave:



J. Schinkel
Auteur

Bijlage 1: Gedetailleerde resultaten asbestvezeltellingen

Tabel B1.1: Gedetailleerde meet- en analysegegevens laboratorium simulatie-experimenten

Code	amplitude trilapparaat	duur (min)	debiet (L/min)	volume (L)	beeld velden	getelde vezels	asbestvezelconcentratie (vezels/m ³)
Loc1/B13	50%	1,5	1,0	1,5	187	C5 / A0	460.000 (150.000 – 1.100.000)
Loc1/B9	20%	3,0	1,0	3,0	225	C5 / A0	190.000 (62.000 – 450.000)
Loc1/B11	80%	1,5	1,0	1,5	400	C10 / A0	430.000 (210.000 – 790.000)
Loc1/B12	50%	1,5	1,0	1,5	100	C0 / A0	< 520.000
Loc2/A1	50%	5,0	2,0	10,0	410	C11 / A0	69.000 (35.000 – 120.000)
Loc2/A4	20%	2,5	2,0	5,0	101	C5 / A0	260.000 (83.000 – 600.000)
Loc2/A5	80%	3,0	1,0	3,0	291	C5 / A0	180.000 (58.000 – 420.000)
Loc2/A8	50%	1,0	1,0	1,0	135	C0 / A0	< 580.000
Loc3/C15	50%	1,0	1,0	1,0	180	C10 / A0	1.900.000 (920.000 – 3.500.000)
Loc3/C16	20%	1,0	1,0	1,0	128	C5 / A0	1.300.000 (440.000 – 3.100.000)
Loc3/C19	80%	1,5	1,0	1,5	280	C10 / A0	620.000 (300.000 – 1.100.000)

C= chrysotiel, A=amfibool

Tabel B1.2: Gedetailleerde meet- en analysegegevens straal en vulexperimenten

Code	beschrijving	duur (min)	debiet (L/min)	volume (L)	ver-dunning	beeld velden	getelde vezels	asbestconcentratie (10 ⁶ vezels/m ³)
83	Stralen run 1	2,0	12,0	24,0	100x	22	C7 / A0	34 (14-70)
84	Stralen run 1	2,0	6,1	12,1	40x	31	C6 / A0	16 (6,0-35)
87	Stralen run 3	2,0	6,0	11,9	40x	28	C5 / A0	16 (4,9-37)
88	Stralen run 3	2,0	6,0	12,0	100x	23	C5 / A0	46 (15-110)
85	Stralen run 2	2,0	5,8	11,7	20x	148	C5 / A0	2,0 (0,59-5,6)
89	Stralen run 4	2,0	5,8	11,6	10x	61	C5 / A0	2,1 (0,59-5,7)
92	Stralen run 5	2,0	6,3	12,5	-	20	C6 / A0	0,61 (0,22-1,3)
93	Stralen run 6	2,0	5,7	11,5	-	46	C5 / A0	0,29 (0,10-0,68)
101	Vullen run 1	2,2	3,1	6,8	5x	15	C12 / A0	15 (7,5-26)
100	Vullen run 7	2,2	10,0	22,0	20x	15	C15 / A0	24 (13-38)
97	Vullen run 8	4,0	4,9	19,8	40x	15	C24 / A0	80 (52-120)
98	Vullen run 8	4,0	4,9	19,5	40x	15	C12 / A0	41 (22-73)

C= chrysotiel, A=amfibool

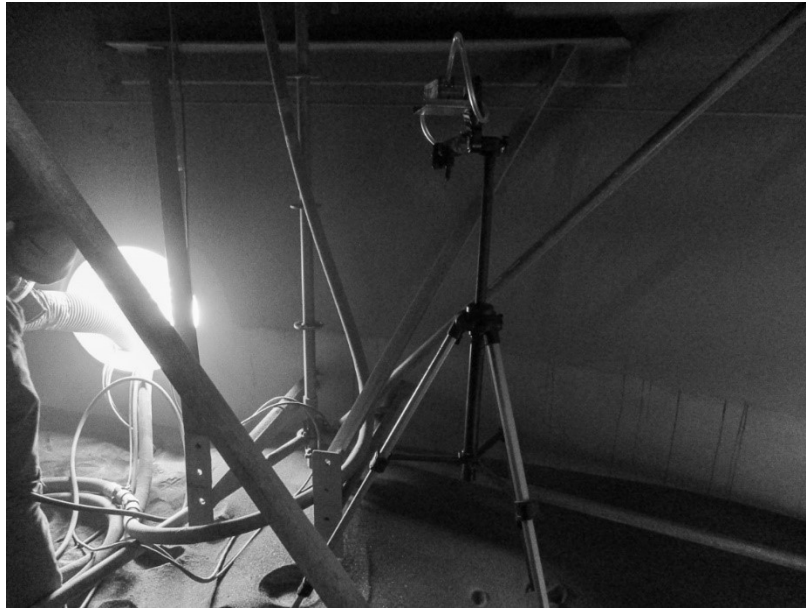
Bijlage 2: Beeldmateriaal van meetlocaties

Locatie	Bemeten activiteiten tijdens meetstudie
1A	Stralen
1B	Stralen, vullen
1C	Stralen, vullen, verplaatsen/inspectie, afbreken steigermateriaal
2A	Stralen, schoonblazen, scheppen/schuiven, verplaatsen/inspectie
2B	Stralen, vullen
3	Stralen, vullen, schoonblazen, scheppen/schuiven, verplaatsen/inspectie
4	Stralen, verplaatsen/inspectie

Meetlocatie 1A



Meetlocatie 1A: Overzichtsfoto meetlocatie

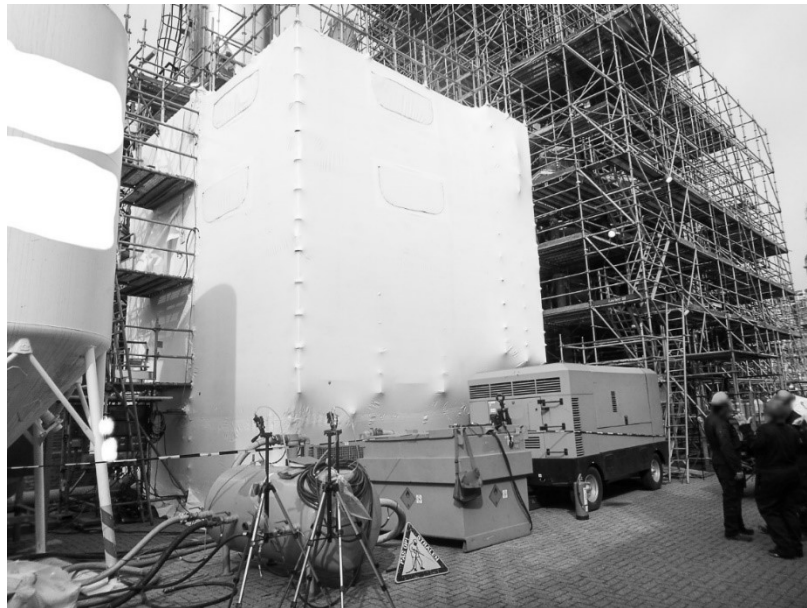


Meetlocatie 1A: Positie stationair meetpunt in tank tijdens stralen



Meetlocatie 1A: Persoonlijke meting bij straler in tank, inclusief beschermende kleding en straalkap

Meetlocatie 1B



Meetlocatie 1B: Overzichtsfoto meetlocatie (linkerkant straaltent)



Meetlocatie 1B: Positie stationair meetpunt bij opening linkerkant straaltent



Meetlocatie 1B: Opening rechterkant straaltent



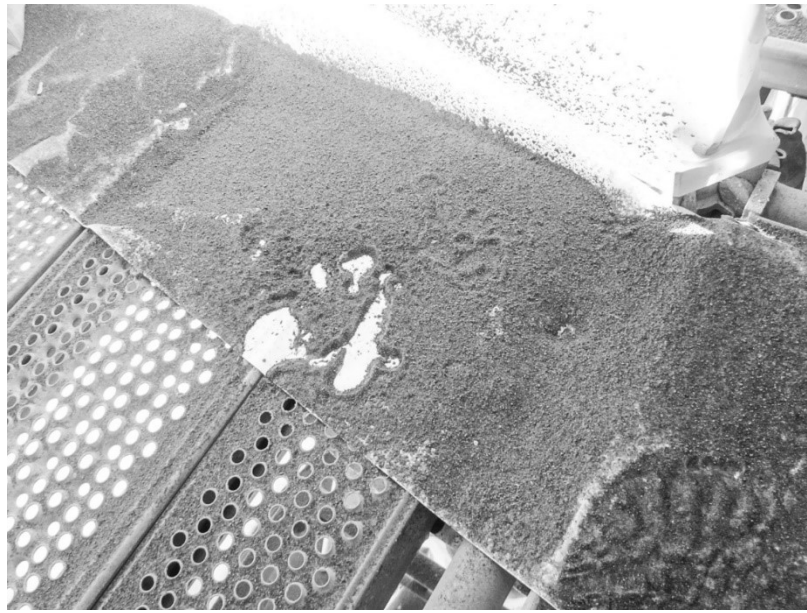
Meetlocatie 1B: Positie stationair meetpunt bij opening rechterkant straaltent



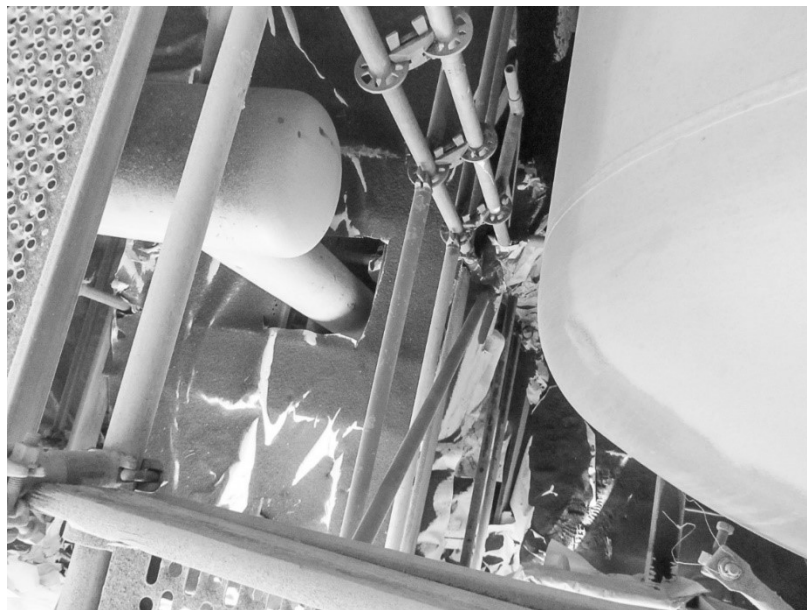
Meetlocatie 1B: Te stralen stalen object linkerkant straaltent



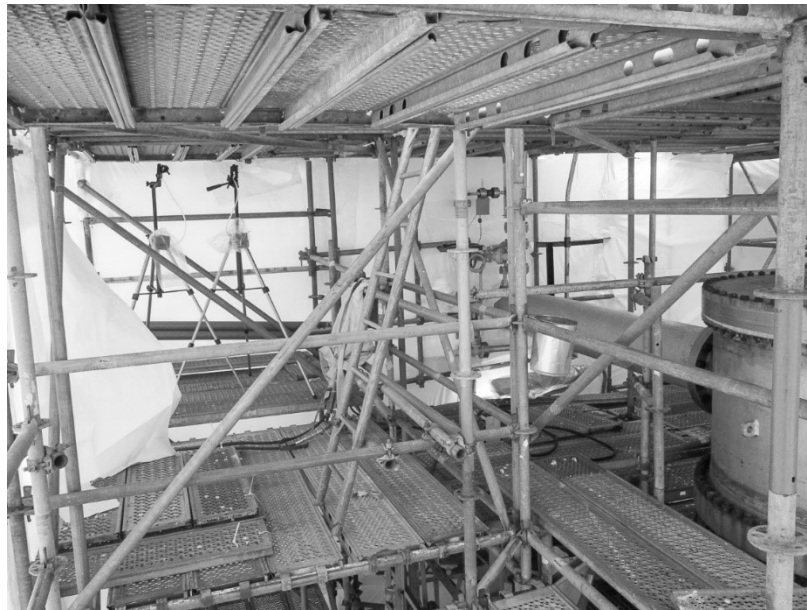
Meetlocatie 1B: Te stralen stalen object rechterkant straaltent



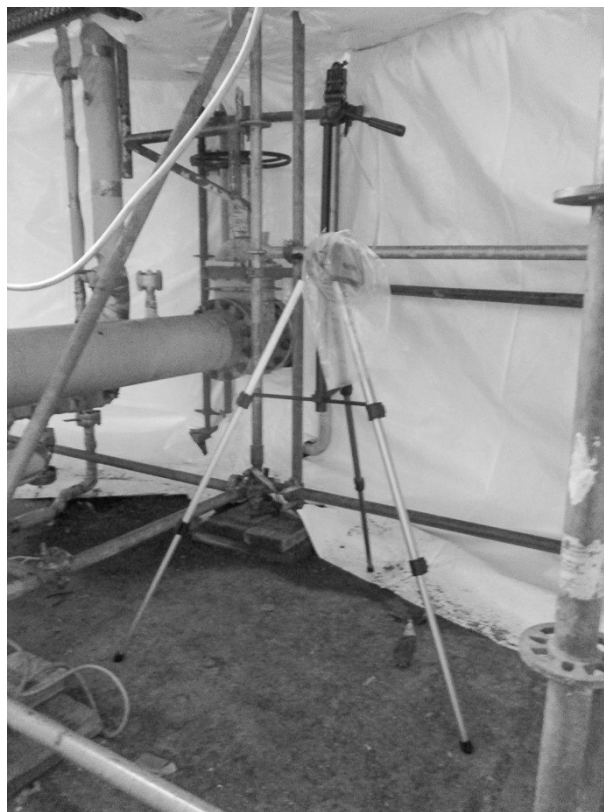
Meetlocatie 1B: Gebruikt straalgrit op steiger in straaltent



Meetlocatie 1B: Gebruikt straalgrit op lagere niveaus in straaltent



Meetlocatie 1B: Positie stationaire meetpunten in linkerkant straaltent tijdens stralen



Meetlocatie 1B: Positie stationair meetpunt in rechterkant straaltent tijdens stralen



Meetlocatie 1B: Voorbereiding persoonlijke meting onder de straalkap bij straler



Meetlocatie 1B: Beschermende kleding, inclusief straalkap, zoals gedragen door straler tijdens straalwerkzaamheden



Meetlocatie 1B: Asilicos aluminiumsilicaat straalgrit in zakken, zoals gebruikt tijdens deel van de vulwerkzaamheden



Meetlocatie 1B: Vullen van straalketel vanuit de vulsilo, handmatige bediening



Meetlocatie 1B: Vullen van de straalketel met zakken



Meetlocatie 1B: Overzichtsfoto van opstellen tijdens vullen (links vullen vanuit vulsilo, rechts vullen vanuit zakken, positie stationair meetpunt, en positie straaltent ten opzichte van vulwerkzaamheden

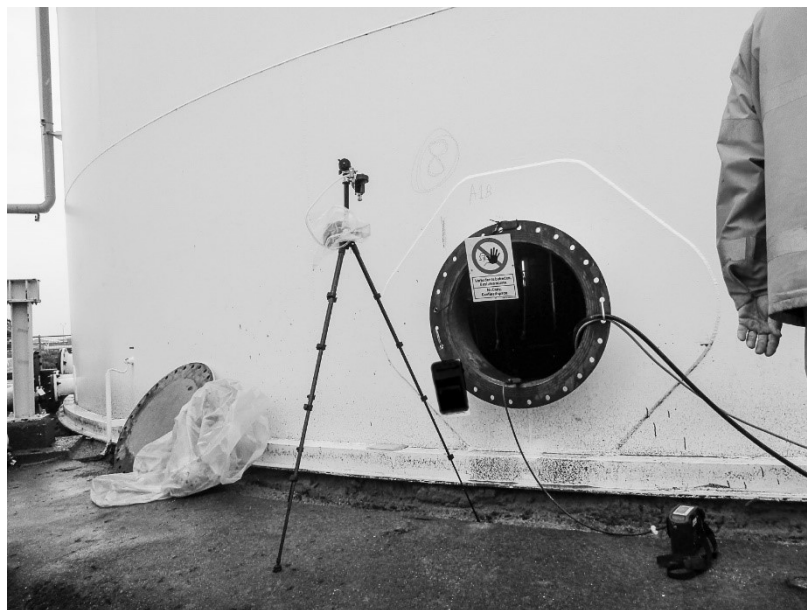


Meetlocatie 1B: Overzichtsfoto van opstellen tijdens vullen (links vullen vanuit vulsilo, rechts vullen vanuit zakken, positie stationair meetpunt, en positie straaltent ten opzichte van vulwerkzaamheden

Meetlocatie 1C



Meetlocatie 1C: Overzichtsfoto, met vulopstelling op de voorgrond en tank waarin wordt gestraald op de achtergrond in het midden



Meetlocatie 1C: Positie stationair meetpunt bij mangat (<1 m)



Meetlocatie 1C: Positie stationair meetpunt bij mangat (>5 m)



Meetlocatie 1C: Posities stationaire meetpunten bij mangat (<1 en >5 m)



Meetlocatie 1C: Opstelling straalketels voor vulwerkzaamheden, met op de achtergrond onder andere de ventilatie-unit met klopperfilter en compressor voor toevoer straalgrit en toevoer verse lucht voor straalkap



Meetlocatie 1C: Vullen van de straalketels met zakken, inclusief positie stationair meetpunt



Meetlocatie 1C: Ongebruikt straalgrit op de rand van de straalketel na het vullen van de straalketel met zakken



Meetlocatie 1C: Beschermende kleding, inclusief straalkap, zoals gedragen door straler tijdens straalwerkzaamheden



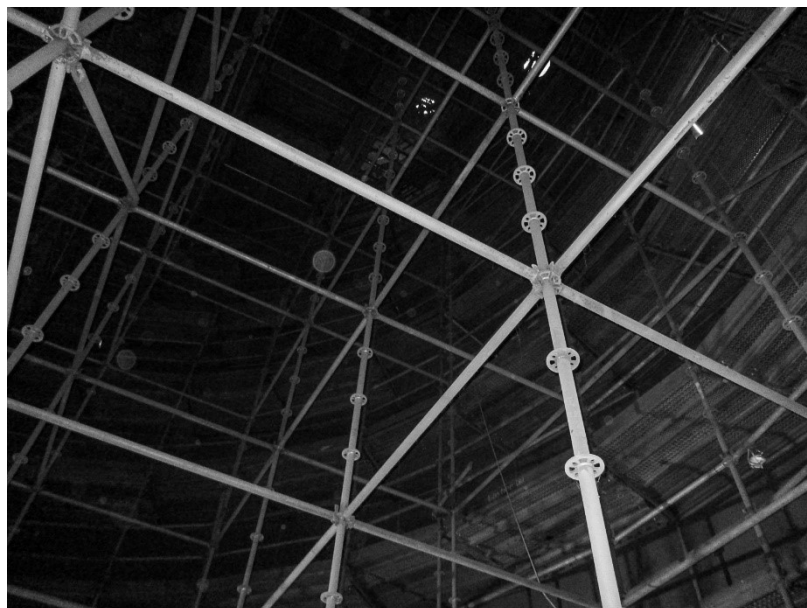
Meetlocatie 1C: Betreden van tank via mangat



Meetlocatie 1C: Overzicht van binnenkant tank, inclusief aanwezigheid verontreinigd straalgrit op de vloer van de tank



Meetlocatie 1C: Aanwezigheid verontreinigd straalgrit op de vloer van de tank (doorheen gelopen tijdens activiteit 'verplaatsen/inspectie')



Meetlocatie 1C: Overzicht van steiger aan binnenkant van de tank



Meetlocatie 1C: Positie stationair meetpunt tijdens verplaatsen/inspectie



Meetlocatie 1C: Positie stationair meetpunt tijdens verplaatsen/inspectie



Meetlocatie 1C: Overzichtsfoto van omstandigheden tijdens afbreken steigermateriaal (5 weken na straalwerkzaamheden, vooraf is de tank schoongemaakt)



Meetlocatie 1C: Buiten aannamen van steigermateriaal vanuit de tank



Meetlocatie 1C: Annemen en opstapelen steiger materiaal



Meetlocatie 1C: Annemen en opstapelen steiger materiaal, inclusief positie stationair meetpunt (vlakbij mangat)



Meetlocatie 1C: Aannemen en opstapelen steiger materiaal, inclusief positie stationair meetpunt (vlakbij mangat)



Meetlocatie 1C: Verontreiniging op de vloer van de tank nadat deel van de steiger is afgebroken, inclusief positie stationair meetpunt in de tank tijdens werkzaamheden



Meetlocatie 1C: Verontreiniging op de vloer van de tank nadat deel van de steiger is afgebroken



Meetlocatie 1C: Verontreiniging op de vloer van de tank nadat deel van de steiger is afgebroken

Meetlocatie 2A



Meetlocatie 2A: Overzicht binnenkant straalcabine, inclusief positie stationair meetpunt



Meetlocatie 2A: Overzicht binnenkant straalcabine, inclusief positie stationair meetpunt



Meetlocatie 2A: Overzicht binnenkant straalcabine, inclusief positie stationair meetpunt



Meetlocatie 2A: Gestraalde objecten (H-balk + zijkant container) binnenin straalcabine



Meetlocatie 2A: Verontreiniging van de vloer van de straalcabine met gebruikt straalgrit



Meetlocatie 2A: Positie stationair meetpunt buiten de opening van de straalcabine

Meetlocatie 2B



Meetlocatie 2B: Overzichtsfoto straal tent, inclusief posities stationaire meetpunten (<1 meter en >5 meter van opening) en positie straal/zuig unit (vrachtauto)



Meetlocatie 2B: Overzichtsfoto vullen van een bigbag vanuit een grote vulsilo, inclusief positie stationaire meetpunten dichtbij vulopening (proxi voor persoonlijke meting) en verder vanaf de vulopening. De vulsilo wordt van bovenaf bediend.

Meetlocatie 3



Meetlocatie 3: Vullen van bigbag vanuit vulsilo (handmatige bediening)



Meetlocatie 3: Vullen van bigbag vanuit vulsilo (handmatige bediening)



Meetlocatie 3: Vullen van vulsilo met zakken



Meetlocatie 3: Vullen van vulsilo met zakken



Meetlocatie 3: Storten van bigbag in vulsilo



Meetlocatie 3: Binnenzijde straalcabine, aanvoer straalgrit (onder) en ventilatie-systeem (boven)



Meetlocatie 3: Straalapparatuur (inclusief straalnozzle) in straalcabine



Meetlocatie 3: Stalen object (container) die is gestraald en schoongeblazen in straalcabine



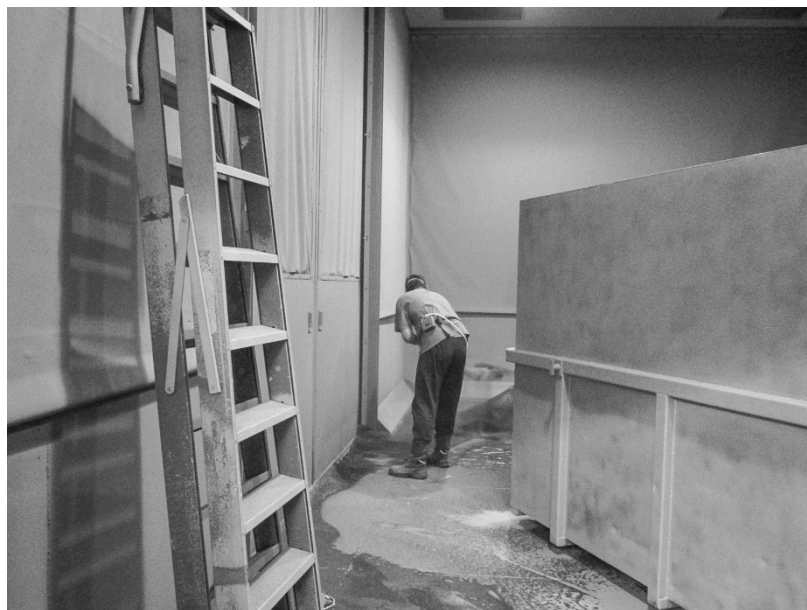
Meetlocatie 3: Gebruikt straalgrit op de vloer van de straalcabine



Meetlocatie 3: Positie stationair meetpunt bij ingang straalcabine, rechts straalketel met daarboven een vulsilo



Meetlocatie 3: Persoonlijke meting bij straler (buiten de straalkap), inclusief beschermende kleding en straalkap



Meetlocatie 3: Scheppen / schuiven van gebruikt straalgrit in straalcabine



Meetlocatie 3: Scheppen / schuiven van gebruikt straalgrit in straalcabine



Meetlocatie 3: Scheppen / schuiven van gebruikt straalgrit in straalcabine



Meetlocatie 3: Hoop opgeschept gebruikt straalgrit achterin de straalcabine



Meetlocatie 3: Hoopjes opgeschept gebruikt straalgrit achterin de straalcabine



Meetlocatie 3: Nabootsen verplaatsen / inspectie in de straalcabine (lopen door gebruikt straalgrit op de vloer van de straalcabine)



Meetlocatie 3: Voetstappen door laagje gebruikt straalgrit op de vloer van de straalcabine na nabootsen verplaatsen / inspectie

Meetlocatie 4



Meetlocatie 4: Overzichtsfoto meetlocatie met straaltent

Bijlage 3: Gedetailleerde resultaten respirabel stof

Tabel B3.1: Overzicht van geïdentificeerde uitschieters

Datum	Bedrijf	Locatie	Activiteit	Soort meting	Respirabel stof (mg/m ³)	Soort uitschieter
13-04	A	1B	Stralen - straaltent	PAS - onder kap	68,4	Zware uitschieter
13-04	A	1B	Stralen - straaltent	PAS - onder kap	80,1	Zware uitschieter
17-05	B	2B	Stralen - straaltent	PAS - buiten kap	1303	Zware uitschieter
17-05	B	2B	Stralen - straaltent	STAT - buiten (>5 m)	0,78	Uitschieter
24-05	C	3	Vullen - vulsilo	PAS - op revers	24,5	Uitschieter
24-05	C	3	Vullen - vulsilo	STAT - nabij stortpunt	6,4	Uitschieter
29-05	B	4	Opruimen - schoonblazen	PAS - op revers	189	Uitschieter

Tabel B3.2: Overzicht van gemeten concentraties respirabel stof (in mg/m³), onderverdeeld naar activiteit en meetlocatie (niet gecorrigeerd voor achtergrondconcentratie)

Activiteit	Locatie	Soort meting	N	AM	GM	GSD	Min.	Max.
STRALEN								
Besloten ruimte	Bedrijf A, locatie 1C	PAS - buiten kap	2	49,5	49,5	1,04	47,9	51,0
	Bedrijf A, locatie 1C (+1x 1A)	PAS - onder kap	9	0,34	0,21	3,13	<0,02	1,21
	Bedrijf A, locatie 1C (+1x 1A)	STAT - binnen	9	30,2	27,4	1,63	13,4	54,1
	Bedrijf A, locatie 1C	STAT - buiten (<1 m)	5	0,09	0,08	1,85	<0,04	0,16
	Bedrijf A, locatie 1C	STAT - buiten (>5 m)	5	0,18	0,16	1,66	0,08	0,26
	Bedrijf B, locatie 2A	PAS - buiten kap	2	55,4	48,7	2,08	29,0	81,9
	Bedrijf B, locatie 2A	PAS - onder kap	3	0,18	0,18	1,24	0,14	0,21
	Bedrijf B, locatie 2A	STAT - binnen	3	24,4	24,3	1,06	22,9	25,8
	Bedrijf B, locatie 2A	STAT - buiten (<1 m)	3	0,67	0,38	4,65	0,07	1,38
	Bedrijf C, locatie 3	PAS - buiten kap	3	66,1	66,1	1,03	64,4	68,1
	Bedrijf C, locatie 3	PAS - onder kap	3	0,40	0,36	1,86	0,17	0,53
	Bedrijf C, locatie 3	STAT - binnen	3	61,9	60,9	1,23	53,4	77,6
	Bedrijf C, locatie 3	STAT - buiten (<1 m)	3	0,59	0,44	2,49	0,21	1,22
Straaltent	Bedrijf A, locatie 1B	PAS - onder kap	4	0,77	0,44	3,61	0,09	2,03
	Bedrijf A, locatie 1B	STAT - binnen	8	103	94,1	1,55	48,0	200
	Bedrijf A, locatie 1B	STAT - buiten (<1 m)	5	2,03	0,46	11,9	0,02	6,04
	Bedrijf A, locatie 1B	STAT - buiten (>5 m)	1	0,06				
	Bedrijf B, locatie 2B	PAS - buiten kap	2	124	123	1,23	106	142
	Bedrijf B, locatie 2B	PAS - onder kap	2	1,80	1,14	4,33	0,40	3,20
	Bedrijf B, locatie 2B	STAT - binnen	3	374	258	2,77	132	833
	Bedrijf B, locatie 2B	STAT - buiten (<1 m)	3	1,40	0,82	3,97	0,20	3,13
	Bedrijf B, locatie 2B	STAT - buiten (>5 m)	2	0,26	0,25	1,22	0,22	0,29
	Bedrijf B, locatie 4	PAS - buiten kap	2	168	157	1,66	110	225
	Bedrijf B, locatie 4	PAS - onder kap	1	0,04				

Activiteit	Locatie	Soort meting	N	AM	GM	GSD	Min.	Max.
	Bedrijf B, locatie 4	STAT - binnen	2	146	142	1,38	113	179
	Bedrijf B, locatie 4	STAT - buiten (<1 m)	1	0,20				
VULLEN								
Vulsilo	Bedrijf B, locatie 2B	semi-PAS - op revers	2	2,57	2,08	2,58	1,07	4,07
	Bedrijf B, locatie 2B	STAT - nabij stortpunt	3	0,66	0,65	1,24	0,56	0,83
	Bedrijf C, locatie 3B	PAS - op revers	2	1,07	0,97	1,90	0,62	1,53
	Bedrijf C, locatie 3B	STAT - nabij stortpunt	2	1,01	1,00	1,23	0,86	1,16
Vulsilo en zakken	Bedrijf A, locatie 1B	PAS - op revers	3	0,63	0,51	2,36	0,20	1,10
	Bedrijf A, locatie 1B	STAT - nabij stortpunt	4	0,14	0,13	1,69	0,08	0,22
Zakken	Bedrijf A, locatie 1C	PAS - op revers	7	0,81	0,67	1,98	0,31	1,50
	Bedrijf A, locatie 1C	STAT - nabij stortpunt	4	1,17	1,05	1,73	0,59	1,85
	Bedrijf C, locatie 3A	PAS - op revers	3	1,34	0,91	3,57	0,21	1,94
	Bedrijf C, locatie 3A	STAT - nabij stortpunt	3	1,55	1,14	2,54	0,63	3,33
Operator vrachtwagen	Bedrijf B, locatie 4	PAS - op revers	1	0,57				
OPRUIMEN								
Scheppen	Bedrijf B, locatie 2A	PAS - op revers	3	4,98	4,78	1,41	3,82	7,08
	Bedrijf C, locatie 3	PAS - op revers	3	7,65	5,11	3,63	1,18	13,2
Schoonblazen	Bedrijf B, locatie 2A	PAS - op revers	3	18,9	18,9	1,08	17,3	19,8
	Bedrijf C, locatie 3	PAS - op revers	3	33,3	19,8	3,41	7,84	79,7
	Bedrijf B, locatie 4	PAS - onder kap	1	0,66				
	Bedrijf B, locatie 4	STAT - binnen	1	205				
	Bedrijf B, locatie 4	STAT - buiten (<1 m)	1	0,41				
	Bedrijf B, locatie 4	STAT - buiten (>5 m)	1	0,49				
VERONTREINIGD GEBIED								
Verplaatsen / inspectie	Bedrijf A, locatie 1C	PAS - op revers	6	5,97	2,31	4,57	0,71	16,9
	Bedrijf A, locatie 1C	STAT - binnen	4	8,92	3,75	5,73	0,77	17,3
	Bedrijf B, locatie 2A	PAS - op revers	3	3,57	3,40	1,47	2,47	5,19
	Bedrijf B, locatie 2A	STAT - binnen	3	5,36	5,28	1,24	4,40	6,71
	Bedrijf C, locatie 3	PAS - op revers	3	0,94	0,94	1,15	0,83	1,09
	Bedrijf C, locatie 3	STAT - binnen	3	1,27	1,08	2,11	0,48	2,08
Afbreken steigers	Bedrijf A, locatie 1C	PAS - op revers	12	3,12	2,58	1,91	0,88	6,24
	Bedrijf A, locatie 1C	STAT - binnen	4	2,71	2,60	1,40	1,66	3,66
	Bedrijf A, locatie 1C	STAT - buiten (<1 m)	2	0,05	0,05	1,79	0,03	0,07

N = aantal metingen, AM = rekenkundig gemiddelde, GM = geometrisch gemiddelde, GSD = geometrische standaarddeviatie, Min. = minimum, Max. = maximum.

Bijlage 4: Uitwerking blootstellingsprofielen

Bij het opstellen van onderstaande voorbeelden van blootstellingsprofielen voor een aantal van de betrokken werknemersgroepen zijn de volgende algemene uitgangspunten in acht genomen:

- De blootstellingsprofielen zijn zoveel mogelijk gebaseerd op de omstandigheden waarbij is gemeten tijdens de meetstudie, zodat gebruik gemaakt kon worden van de geschatte asbestvezelconcentraties op basis van de gemeten respirabel stofconcentraties. Deze metingen zijn verricht onder worst-case omstandigheden;
- Waar mogelijk is bij het opstellen van de blootstellingsprofielen uitgegaan van de resultaten voor persoonlijke blootstelling;
- Per blootstellingsprofiel is een berekening gemaakt van de daggemiddelde blootstelling op basis van zowel het geometrisch gemiddelde (GM) als het 90-percentiel (p90) van de bijbehorende distributie;
- Per blootstellingsprofiel een berekening van de daggemiddelde blootstelling waarbij voor de periode van een werkdag waarvan wordt aangenomen dat er geen sprake is van blootstelling aan asbest in relatie tot werk zowel niet als wel is uitgaan van een achtergrondconcentratie voor asbest.

Op basis van deze illustratieve generieke blootstellingsprofielen heeft het RIVM het additionele gezondheidsrisico bepaald, waarbij ook de gehanteerde aanpak is beschreven (van Engelen et al., 2018).

Blootstellingsprofiel 1: Ketelboy / dieselwacht

Beschrijving blootstellingsscenario:

Bij het opstellen van dit blootstellingprofiel is er vanuit gegaan dat een ketelboy gedurende een werkdag meerdere malen een grote straalketel vult met zakken aluminiumsilicaat straalgrit van 25 kg. Tijdens het vullen wordt de zak op de rand van de straalketel gelegd, en vandaar geleegd in de straalketel. Wanneer de zak leeg is wordt deze nog voorzichtig leeggeschud boven de straalketel, en daarna in een afvalzak gepropt. De straalketel staat buiten op een relatief open terrein, en dient voor de aanvoer van straalgrit dat wordt gebruikt door straler die op 20 meter afstand in een besloten ruimte aan het stralen is. De ketelboy staat in contact met de straler, houdt toezicht op het functioneren van alle apparatuur (compressor straalgrit, compressor onafhankelijke lucht, ventilatiesysteem, straalketel, etc.), en grijpt in als dat nodig is. Zowel tijdens de vulwerkzaamheden als tijdens het toezicht draagt de ketelboy geen adembescherming.

Er wordt vanuit gegaan dat tijdens een gemiddelde werkdag de ketelboy één uur bezig is met het vullen van de straalketel, en vijf uur buiten toezicht houdt op de apparatuur en communiceert met de straler die binnen bezig is. De andere twee uur is de ketelboy bezig met voorbereidende werkzaamheden bij de loods/opslag van het bedrijf en pauzeert in de kantine van het bedrijf, waarbij wordt uitgegaan van een achtergrondconcentratie.

Berekening daggemiddelde blootstelling (8-uurs TGG):Uitgangspunten:

- Geometrisch gemiddelde geschatte taakgerichte asbestvezelconcentratie tijdens vullen met zakken (op basis van 10 persoonlijke respirabel stofmetingen): 250.000 vezels/m³;
- 90-percentiel van de distributie van geschatte taakgerichte asbestvezelconcentraties tijdens vullen met zakken (op basis van 10 persoonlijke respirabel stofmetingen): 660.000 vezels/m³;
- Geometrisch gemiddelde geschatte taakgerichte asbestvezelconcentratie tijdens vullen door straalwerkzaamheden (op basis van 5 stationaire respirabel stofmetingen >5 meter van de opening van de ruimte tijdens stralen in een besloten ruimte): 910 vezels/m³;
- 90-percentiel van de distributie van geschatte taakgerichte asbestvezelconcentraties tijdens vullen door straalwerkzaamheden (op basis van 5 stationaire respirabel stofmetingen >5 meter van de opening van de ruimte tijdens stralen in een besloten ruimte): 1.700 vezels/m³;
- Achtergrondconcentratie asbest zoals deze voor Nederland is bepaald: 57 vezels/m³ (Tromp & Spaan, 2018).

Daggemiddelde blootstelling op basis van GM-en en achtergrondconcentratie:

$$((250.000*1) + (910*5) + (57*2)) / 8 = (250.000 + 4.550 + 114) / 8 = 31.833 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling op basis van P90-en en achtergrondconcentratie:

$$((660.000*1) + (1.700*5) + (57*2)) / 8 = (660.000 + 8.500 + 114) / 8 = 83.577 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling op basis van GM-en, zonder achtergrondconcentratie:

$$((250.000*1) + (910*5)) / 8 = (250.000 + 4550) / 8 = 31.819 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling op basis van P90-en, zonder achtergrondconcentratie:

$$((660.000*1) + (1.700*5)) / 8 = (660.000 + 8.500) / 8 = 83.563 \text{ vezels/m}^3$$

Blootstellingsprofiel 2: Straler**Beschrijving blootstellingsscenario:**

Bij het opstellen van dit blootstellingprofiel is er vanuit gegaan dat de wand van een stalen opslagtank (hoogte 18,5 meter, inhoud 5.503 m³) aan de binnenkant wordt gestraald met aluminiumsilicaat straalgrit (besloten ruimte). Er zijn tegelijkertijd twee stralers aan het werk in de tank, die beiden grotendeels vanaf een steiger aan het stralen zijn. Beide stralers maken gebruik van een straalsozzle met een inwendige diameter van 8 mm en stralen bij een druk van 8-8,4 bar. Tijdens het stralen dragen de stralers een straalkap met onafhankelijke lucht. De lucht in de besloten ruimte wordt mechanisch geventileerd (6.000 m³ lucht per uur, ventilatievoud 1,6 maal per uur).

Er wordt vanuit gegaan dat tijdens een gemiddelde werkdag een straler zes uur bezig is met straalwerkzaamheden, en de andere twee uur bezig is met voorbereidende werkzaamheden bij de loods/opslag van het bedrijf en pauzeert in de kantine van het bedrijf, waarbij wordt uitgegaan van een achtergrondconcentratie.

Berekening daggemiddelde blootstelling (8-uurs TGG):

Uitgangspunten:

- Geometrisch gemiddelde geschatte taakgerichte asbestvezelconcentratie (op basis van 8 persoonlijke respirabel stofmetingen onder de straalkap): 1.100 vezels/m³;
- 90-percentiel van de distributie van geschatte taakgerichte asbestvezelconcentraties (op basis van 8 persoonlijke respirabel stofmetingen onder de straalkap): 7.400 vezels/m³;
- Achtergrondconcentratie asbest zoals deze voor Nederland is bepaald: 57 vezels/m³ (Tromp & Spaan, 2018);
- Op basis van de resultaten van parallel genomen persoonlijke metingen onder en buiten de straalkap is de berekende rekenkundig gemiddelde werkplek protectiefactor (WPF) van de straalkap 262 (range 44-458).

Daggemiddelde blootstelling op basis van GM en achtergrondconcentratie:

$$((1.100*6) + (57*2)) / 8 = (6.600 + 114) / 8 = 839 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling op basis van P90 en achtergrondconcentratie:

$$((7.400*6) + (57*2)) / 8 = (44.400 + 114) / 8 = 5.564 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling op basis van GM, zonder achtergrondconcentratie:

$$(1.100*6) / 8 = 825 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling op basis van P90, zonder achtergrondconcentratie:

$$(7.400*6) / 8 = 5.550 \text{ vezels/m}^3$$

Blootstellingsprofiel 3: Mangatwacht

Beschrijving blootstellingsscenario:

Bij het opstellen van dit blootstellingprofiel is er vanuit gegaan dat een mangatwacht zich tijdens de straalwerkzaamheden in een besloten ruimte binnen 1 meter van de entree van deze ruimte bevindt om toezicht te houden op de situatie. De entree is open, de mangatwacht bevindt zich buiten, en draagt geen adembescherming. Gedurende dit toezicht wordt er op 20 meter afstand buiten op open terrein de bijbehorende straalketel gevuld met zakken door een ketelboy.

Er wordt vanuit gegaan dat tijdens een gemiddelde werkdag de mangatwacht gedurende zes uur toezicht houdt op straalwerkzaamheden in een besloten ruimte, en de andere twee uur bezig is met voorbereidende werkzaamheden bij de loods/opslag van het bedrijf en pauzeert in de kantine van het bedrijf, waarbij wordt

uitgegaan van een achtergrondconcentratie. Gedurende één van die zes uur wordt er op relatief grote afstand buiten een straalketel gevuld met zakken.

Berekening daggemiddelde blootstelling (8-uurs TGG):

Uitgangspunten:

- Geometrisch gemiddelde geschatte taakgerichte asbestvezelconcentratie tijdens toezicht door straalwerkzaamheden (op basis van 11 stationaire respirabel stofmetingen <1 meter van de opening van de ruimte tijdens stralen in een besloten ruimte): 2.700 vezels/m³;
- 90-percentiel van de distributie van geschatte taakgerichte asbestvezelconcentraties tijdens toezicht door straalwerkzaamheden (op basis van 11 stationaire respirabel stofmetingen <1 meter van de opening van de ruimte tijdens stralen in een besloten ruimte): 29.000 vezels/m³;
- Geometrisch gemiddelde geschatte taakgerichte asbestvezelconcentratie tijdens toezicht door vulwerkzaamheden (op basis van 10 persoonlijke respirabel stofmetingen tijdens buiten vullen van een straalketel met zakken): 250.000 vezels/m³ (proxi voor emissie);
- 90-percentiel van de distributie van geschatte taakgerichte asbestvezelconcentraties tijdens toezicht door vulwerkzaamheden (op basis van 10 respirabel persoonlijke stofmetingen tijdens buiten vullen van een straalketel met zakken): 660.000 vezels/m³ (proxi voor emissie);
- Dispersie-multiplier (verspreiding) voor een bron in een buitensituatie die zich ver van gebouwen bevindt, en waarbij de persoon zich ver (>4 meter) van de bron bevindt: 0,00167 (Fransman et al., 2011);
- Achtergrondconcentratie asbest zoals deze voor Nederland is bepaald: 57 vezels/m³ (Tromp & Spaan, 2018).

Daggemiddelde blootstelling op basis van GM-en en achtergrondconcentratie:

$$((2.700*6) + (250.000*1*0,00167) + (57*2)) / 8 = (16.200 + 418 + 114) / 8 = 2.091 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling op basis van P90-en en achtergrondconcentratie:

$$((29.000*6) + (660.000*1*0,00167) + (57*2)) / 8 = (174.000 + 1102 + 114) / 8 = 21.902 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling op basis van GM-en, zonder achtergrondconcentratie:

$$((2.700*6) + (250.000*1*0,00167)) / 8 = (16.200 + 418) / 8 = 2.077 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling op basis van P90-en, zonder achtergrondconcentratie:

$$((29.000*6) + (660.000*1*0,00167)) / 8 = (174.000 + 1102) / 8 = 21.888 \text{ vezels/m}^3$$

Blootstellingsprofiel 4: Opruimwerkzaamheden (schoonmaker)

Beschrijving blootstellingsscenario:

Bij het opstellen van dit blootstellingprofiel is er vanuit gegaan dat een schoonmaker, als onderdeel van een schoonmaakploeg, in een besloten ruimte

(binnen) gebruikt straalgrit aan het opruimen is, waarbij eerst het grootste deel van het gebruikte straalgrit wordt opgeruimd met behulp van een zuigwagen en daarna de restanten gebruikt straalgrit bij elkaar bij elkaar worden geveegd en opgescheept om te worden afgevoerd. Tijdens de schoonmaakwerkzaamheden is er geen sprake van mechanische ventilatie, maar is er wel sprake van natuurlijke ventilatie. De schoonmaker draagt een P3-masker wanneer deze in de besloten ruimte aan het werk is.

Omdat er wisselend droog en vochtig materiaal wordt opgeruimd is er voor gekozen om twee opties door te rekenen, namelijk:

- Het opruimen van droog gebruikt straalgrit
- Het opruimen van gebruikt straalgrit dat voor het wordt opgeruimd is bevochtigd met water tot 5% van het totale gewicht

Er wordt vanuit gegaan dat tijdens een gemiddelde werkdag een schoonmaker 3,5 uur bezig is met de zuigwagen, 3,5 uur bezig is met vegen en scheppen, en 1 uur bezig is met voorbereidende werkzaamheden bij de loods/opslag van het bedrijf en pauzeert in de kantine van het bedrijf, waarbij wordt uitgegaan van een achtergrondconcentratie.

Berekening daggemiddelde blootstelling (8-uurs TGG):

Uitgangspunten:

- Geometrisch gemiddelde geschatte taakgerichte asbestvezelconcentratie tijdens droog scheppen (op basis van 6 persoonlijke respirabel stofmetingen): 25.000 vezels/m³;
- 90-percentiel van de distributie van geschatte taakgerichte asbestvezelconcentraties tijdens droog scheppen (op basis van 6 persoonlijke respirabel stofmetingen): 67.000 vezels/m³;
- Er wordt aangenomen dat de stofblootstelling en daarmee de asbestblootstelling tijdens het opzuigen van straalgrit met een zuigmachine ten opzichte van normaal scheppen van droog materiaal een factor 30 lager zal liggen (Fransman et al., 2011);
- Er wordt aangenomen dat wanneer het gebruikte straalgrit tot 5% wordt bevochtigd de stofblootstelling en daarmee de asbestblootstelling een factor 10 lager zal liggen ten opzichte van het opruimen van droog materiaal (Fransman et al., 2011; Tromp, 2002; Swartjes & Tromp 2008; Spoelstra, Tempelman & Arzoni, 2001; Tromp et al., 2017);
- Toegekende beschermingsfactor (APF) P3-masker is een factor 20 (Veenstra et al., 2001), maar in dit geval gaan we worst-case uit van een factor 10;
- Achtergrondconcentratie asbest zoals deze voor Nederland is bepaald: 57 vezels/m³ (Tromp & Spaan, 2018).

Optie 1: Opruimen van droog materiaal:

Daggemiddelde blootstelling aan asbest op basis van GM en achtergrondconcentratie:

$$\left(\left(\left(25.000/30\right)*3,5\right)/10\right) + \left(\left(25.000*3,5\right)/10\right) + (57*1) / 8 = (292 + 8.750 + 57) / 8 = 1.137 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling aan asbest op basis van P90 en achtergrondconcentratie:

$$\left(\left(\left(67.000/30\right)*3,5\right)/10\right) + \left(\left(67.000*3,5\right)/10\right) + (57*1) / 8 = (782 + 23.450 + 57) / 8 = 3.036 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling aan asbest op basis van GM, zonder achtergrondconcentratie:

$$\left(\left(\left(25.000/30\right)*3,5\right)/10\right) + \left(\left(25.000*3,5\right)/10\right) / 8 = (292 + 8.750) / 8 = 1.130 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling aan asbest op basis van P90, zonder achtergrondconcentratie:

$$\left(\left(\left(67.000/30\right)*3,5\right)/10\right) + \left(\left(67.000*3,5\right)/10\right) / 8 = (782 + 23.450) / 8 = 3.029 \text{ vezels/m}^3$$

Optie 2: Opruimen van bevochtigd materiaal:

Daggemiddelde blootstelling aan asbest op basis van GM en achtergrondconcentratie:

$$\left(\left(\left(\left(25.000/30\right)*3,5\right)/10\right)\right) + \left(\left(\left(25.000*3,5\right)/10\right)/10\right) + (57*1) / 8 = (29 + 875 + 57) / 8 = 120 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling aan asbest op basis van P90 en achtergrondconcentratie:

$$\left(\left(\left(\left(67.000/30\right)*3,5\right)/10\right)/10\right) + \left(\left(\left(67.000*3,5\right)/10\right)/10\right) + (57*1) / 8 = (78 + 2.345 + 57) / 8 = 310 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling aan asbest op basis van GM, zonder achtergrondconcentratie:

$$\left(\left(\left(\left(25.000/30\right)*3,5\right)/10\right)/10\right) + \left(\left(\left(25.000*3,5\right)/10\right)/10\right) / 8 = (29 + 875) / 8 = 113 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling aan asbest op basis van P90, zonder achtergrondconcentratie:

$$\left(\left(\left(\left(67.000/30\right)*3,5\right)/10\right)/10\right) + \left(\left(\left(67.000*3,5\right)/10\right)/10\right) / 8 = (78 + 2.345) / 8 = 303 \text{ vezels/m}^3$$

Blootstellingsprofiel 5: Inspectie van gestraalde objecten (inspecteur)

Beschrijving blootstellingsscenario:

Bij het opstellen van dit blootstellingprofiel is er vanuit gegaan dat een inspecteur gestraalde oppervlakken in een besloten ruimte inspecteert na afloop van de straalwerkzaamheden. Deze inspectie vindt een halfuur na afronding van de straalwerkzaamheden plaats. In de tussentijd is de ruimte geventileerd, en is het

vrijgekomen stof neergeslagen (stof zichtbaar aanwezig in de lucht). De ruimte is tussendoor niet schoongemaakt, en de inspecteur loopt dus door een zwaar verontreinigde omgeving (een laag gebruikt straalgrit op de grond van de ruimte en op de steiger). Tijdens de inspectie wordt de ruimte niet of nauwelijks geventileerd, en de inspecteur draagt tijdens de inspectie geen adembescherming.

Er wordt vanuit gegaan dat tijdens een gemiddelde werkdag de inspecteur één keer een inspectie van een half uur uitvoert, en de rest van de werkdag doorbrengt op het kantoor van het bedrijf, waarbij wordt uitgegaan van een achtergrondconcentratie.

Berekening daggemiddelde blootstelling (8-uurs TGG):

Uitgangspunten:

- Geometrisch gemiddelde geschatte taakgerichte asbestvezelconcentratie (op basis van 12 persoonlijke respirabel stofmetingen): 8.100 vezels/m³;
- 90-percentiel van de distributie van geschatte taakgerichte asbestvezelconcentraties (op basis van 12 persoonlijke respirabel stofmetingen): 49.000 vezels/m³;
- Achtergrondconcentratie asbest zoals deze voor Nederland is bepaald: 57 vezels/m³ (Tromp & Spaan, 2018).

Daggemiddelde blootstelling aan asbest op basis van GM en achtergrondconcentratie:

$$((8.100*0,5) + (57*7,5)) / 8 = (4.050 + 427,5) / 8 = 560 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling aan asbest op basis van P90 en achtergrondconcentratie:

$$((49.000*0,5) + (57*7,5)) / 8 = (24.500 + 427,5) / 8 = 3.116 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling aan asbest op basis van GM, zonder achtergrondconcentratie:

$$(8.100*0,5) / 8 = 506 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling aan asbest op basis van P90, zonder achtergrondconcentratie:

$$(49.000*0,5) / 8 = 3063 \text{ vezels/m}^3$$

Blootstellingsprofiel 6: Afbreken van steigermateriaal (steigerbouwer)

Beschrijving blootstellingsscenario:

Bij het opstellen van dit blootstellingprofiel is er vanuit gegaan dat de steiger, die is opgebouwd in een stalen opslagtank met een inhoud van 5.503 m³ (18,5 meter hoog) om de wand van de tank aan de binnenkant te kunnen stralen, wordt afgebroken door een ploeg van steigerbouwers, die op verschillende hoogtes aan het werk zijn. Ook wordt het steigermateriaal door één van de twee mangaten naar

buiten getild (doorgegeven) en daar opgestapeld om te worden afgevoerd. De tankwand is een aantal weken daarvoor gestraald met aluminiumsilicaat straalgrit (0,2-1,4 mm), en in de tussentijd is de ruimte schoongemaakt, waarbij het gebruikte straalgrit van de vloer en de steiger is verwijderd. In/tussen de steigerdelen is tijdens het stralen gebruikt straalgrit terecht gekomen, dat tijdens het afbreken eruit en naar beneden valt. Tijdens het afbreken van de steigers is er geen sprake van mechanische ventilatie, maar is er wel sprake van natuurlijke ventilatie door middel van de twee open mangaten, die zich tegenover elkaar aan de onderkant van de tank bevinden. De steigerbouwers dragen een P3-masker wanneer ze in de tank aan het werk zijn.

Er wordt vanuit gegaan dat tijdens een gemiddelde werkdag een steigerbouwer 6,5 uur bezig is met het afbreken van de steiger, en de andere 1,5 uur bezig is met voorbereidende werkzaamheden bij de loods/opslag van het bedrijf en pauzeert in de kantine van het bedrijf, waarbij wordt uitgegaan van een achtergrondconcentratie.

Er wordt verder vanuit gegaan dat een steigerbouwer gemiddeld gezien de helft van de tijd bezig is met het opbouwen van steigers (waarbij wordt verondersteld dat er geen sprake is van blootstelling aan stof en asbest) en de helft van de tijd bezig is met het afbreken van steigers.

Berekening daggemiddelde blootstelling (8-uurs TGG):

Uitgangspunten:

- Geometrisch gemiddelde geschatte taakgerichte asbestvezelconcentratie (op basis van 12 persoonlijke respirabel stofmetingen): 8.200 vezels/m³;
- 90-percentiel van de distributie van geschatte taakgerichte asbestvezelconcentraties (op basis van 12 persoonlijke respirabel stofmetingen): 19.000 vezels/m³;
- Toegekende beschermingsfactor (APF) P3-masker masker is een factor 20 (Veenstra et al., 2001), maar in dit geval gaan we worst-case uit van een factor 10;
- Achtergrondconcentratie asbest zoals deze voor Nederland is bepaald: 57 vezels/m³ (Tromp & Spaan, 2018).

Daggemiddelde blootstelling aan asbest op basis van GM en achtergrondconcentratie:

$$(((8.200*6,5)/10) + (57*1,5)) / 8 = (5.330 + 85,5) / 8 = 677 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling aan asbest op basis van P90 en achtergrondconcentratie:

$$(((19.000*6,5)/10) + (57*1,5)) / 8 = (12.350 + 85,5) / 8 = 1.554 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling aan asbest op basis van GM, zonder achtergrondconcentratie:

$$((8.200*6,5)/10) / 8 = 666 \text{ vezels/m}^3$$

Daggemiddelde blootstelling aan asbest op basis van P90, zonder achtergrondconcentratie:

$$((19.000*6,5)/10) / 8 = 1.544 \text{ vezels/m}^3$$

Blootstellingsprofiel 7: Omwonenden van straalproject

Beschrijving blootstellingsscenario's

Scenario A: langdurige straalwerkzaamheden

Bij het opstellen van dit blootstellingprofiel is uitgegaan van een situatie waarbij een metalen constructie wordt gestraald met aluminiumsilicaat straalgrit in een straaltent. De constructie bevindt zich in een open omgeving, met op enige afstand bebouwing.

De straalwerkzaamheden zijn uitgevoerd over een periode van twee maanden, waarbij elke dag 6 uur is gestraald in de straaltent, en in totaal 1 uur van deze 6 uur (verdeeld over 6x 10 minuten) ook vulwerkzaamheden werden uitgevoerd. Hierbij wordt een straalketel handmatig gevuld met zakken van 25 kg, en is de straalketel naast de straaltent opgesteld.

Er wordt aangenomen dat gedurende deze twee maanden elke dag straalwerkzaamheden zijn uitgevoerd, en dat de omwonenden gedurende deze twee maanden zich 24 uur per dag steeds buiten in de buurt van de straalwerkzaamheden bevonden (*worst-case aanname*).

Scenario B: kortdurende straalwerkzaamheden (worst case)

Bij het opstellen van dit blootstellingprofiel is uitgegaan van een situatie waarbij straalwerkzaamheden worden uitgevoerd aan een metalen constructie in een woonwijk. Er wordt gestraald met aluminiumsilicaat straalgrit, en de straalwerkzaamheden worden uitgevoerd in de open lucht (zonder straaltent). Het stralen zonder straaltent is een worst case aanname: het bouwen van een straaltent is verplicht. Uit de inventarisatie (zie hoofdstuk 2) bleek dat stralen zonder straaltent af en toe voorkomt, maar dan waarschijnlijk wel slechts kortdurend.

De straalwerkzaamheden zijn uitgevoerd over een periode van 2 dagen waarbij elke dag 6 uur is gestraald zonder straaltent, en in totaal 1 uur van deze 6 uur (verdeeld over 6x 10 minuten) ook vulwerkzaamheden werden uitgevoerd. Hierbij wordt een straalketel handmatig gevuld met zakken van 25 kg, en is de straalketel naast de straalwerkzaamheden opgesteld.

Er wordt aangenomen dat de omwonenden zich gedurende de betreffende twee dagen steeds 24 uur per dag buiten in de buurt van de straalwerkzaamheden bevonden (*worst-case aanname*).

Secundaire verontreiniging

Omdat de mate van insleping (secundaire verontreiniging) op de werkplek minimaal lijkt te zijn geweest (Kosters, 2017), wordt aangenomen dat ook de mate insleping bij de omliggende woningen ook zeer klein zal zijn geweest. Daarnaast is ook de mogelijke contaminatie vanuit de buitenlucht naar een binnensituatie niet meegenomen. Daarom wordt aangenomen dat alleen gedurende de zes uur per dag dat er activiteiten met het straalgrit worden uitgevoerd, emissie plaatsvindt, die kan leiden tot blootstelling van de omwonenden.

Berekening uursgemiddelde blootstelling op basis van bronsterkte en meteorologische omstandigheden*Het verspreidingsmodel*

De atmosferische verspreiding van asbestdeeltjes is een fysisch proces dat afhangt van meteorologische omstandigheden, de grootte van de deeltjes en de ruimtelijke eigenschappen van de omgeving waarin de verspreiding plaatsvindt. De blootstelling aan asbestdeeltjes van omwonenden als gevolg van de straalwerkzaamheden aan de constructie die zich in de buurt van hun huis bevindt is geschat met behulp van het verspreidingsmodel genaamd het Nieuw Nationaal Model (NNM) (van Ham & Pulles, 1998). Dit is een zogenaamd Gaussisch verspreidingsmodel. Dit modeltype is relatief simpel, maar zeer gangbaar voor de berekening van verspreiding in de nabijheid van emissiebronnen. De verspreiding wordt berekend aan de hand van informatie over de windrichting, de windsnelheid en de atmosferische stabiliteit die gelden voor Nederland. Daarnaast wordt ook het verwijderen van de deeltjes uit de lucht ten gevolge van de regen, zwaartekracht en willekeurige beweging van de deeltjes meegenomen. De wiskundige beschrijving van het model (Gaussische pluim formulering) is hieronder weergegeven, waaruit kan worden opgemaakt dat de concentratie recht evenredig is met de emissiesterkte en omgekeerd evenredig met de windsnelheid:

$$C = \frac{Q}{2\pi \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot u} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \cdot \left(e^{-\frac{-(z-h)^2}{2\sigma_z^2}} - e^{-\frac{-(z+h)^2}{2\sigma_z^2}} \right)$$

Met daarin:

- C Concentratie
- Q Emissie sterkte
- U Wind snelheid
- y Horizontale afstand tot het midden van de pluim
- z Verticale afstand tot het midden van de pluim
- σ Turbulentie parameter, afhankelijk van onder andere de atmosferische stabiliteit

De straal- en vulwerkzaamheden worden gezien als één bron van emissie, en de concentratie nabij deze werkzaamheden is berekend op verschillende afstanden tot deze bron, namelijk 5, 10, 25, 50 en 100 meter. Omdat wind van invloed is op de mate van blootstelling, is de positie van de blootgestelden ten opzichte van bron

daarom relevant. Omdat wordt aangenomen dat de omwonenden zich in alle richtingen rond de constructie kunnen bevinden, is hier in de berekening rekening mee gehouden door zowel ten noorden, westen, oosten en zuiden van de bron de blootstelling te berekenen en deze te middelen (*realistisch scenario wat betreft locatie*).

De bronsterkte (hoeveelheid vrijkomende respirabele asbestvezels)

De input van het verspreidingsmodel is emissie als massa (aantal vrijkomende deeltjes) per tijdseenheid. Bij de modelberekeningen is er vanuit gegaan dat alle asbestvezels respirabel zijn, met een aerodynamische diameter kleiner dan 4 μm , op basis waarvan is uitgegaan van deeltjes van 4 μm , wat overeenkomt met de deeltjesgrootteverdeling van het asbest in het onderzochte straalgrit. De emissies zoals gebruikt in de modelberekeningen zijn op de volgende manier berekend:

- Emissie van asbestvezels tijdens straalwerkzaamheden in straaltent: Hiervoor zijn de geschatte asbestconcentraties tijdens straalwerkzaamheden in een straaltent op basis van de meetstudie naar respirabel stof als uitgangspunt genomen. Allereerst is de potentiële emissie van asbestvezels (in vezels/uur) tijdens het stralen geschat door de gemeten asbestconcentraties (in vezels/ m^3) te vermenigvuldigen met de hoeveelheid afgezogen lucht in de tent tijdens de metingen (in m^3/uur).
 - In geval van een situatie zonder straaltent wordt er vanuit gegaan dat alle asbestvezels die tijdens het stralen in de lucht komen zich volledig naar buiten verspreiden. Op basis van de distributie van 17 geschatte emissies voor stralen in een straaltent (4 persoonlijke metingen buiten de straalkap en 13 stationaire metingen) zijn de volgende emissiewaarden meegenomen in de berekeningen:
 - GM: 2,8E+9 vezels/uur
 - P90: 4,9E+9 vezels/uur
 - In geval dat er wel gebruik gemaakt wordt van een straaltent wordt er vanuit gegaan dat er wel afzuiging aanwezig is in de straaltent en dat slechts een deel van de asbestvezels die tijdens het stralen in de straaltent in de lucht komen ook buiten de tent terecht komen. De emissiewaarde is bepaald door de verhouding (percentage) tussen de parallel gemeten asbestconcentraties (in asbestvezels/ m^3) van de stationaire metingen op <1 meter van de opening van de tent (positie mangatwacht) en de stationaire metingen in de tent te bepalen en deze te vermenigvuldigen met de emissiewaarden tijdens het stralen. Om voldoende gegevens te hebben zijn hiervoor de metingen tijdens stralen in een besloten ruimte en in een straaltent gecombineerd. Op basis van 26 paar parallel gemeten concentraties asbestvezels in de ruimte en in het mangat tijdens straalwerkzaamheden is een gemiddeld percentage van 1,5% met een 90-percentiel van 4,6% bepaald. Dat betekent dat de metingen laten zien dat er gemiddeld 1,5% van de asbestvezels die worden gevormd tijdens stralen ook daadwerkelijk buiten de straaltent terechtkomen. In 90% van de gevallen kwam minder dan 4,6% van de gevormde asbestvezels buiten

de tent terecht. Wanneer deze percentages worden vermenigvuldigd met de hoeveelheid asbestvezels welke tijdens stralen worden gevormd, resulteert dit in de volgende emissiewaarden, die zijn meegenomen in de berekeningen:

- GM: $2.8E+9 * 1,5\% = 4,3E+7$ vezels/uur
 - P90: $4.9E+9 * 4,6\% = 2,3E+8$ vezels/uur
- Emissie van asbestvezels tijdens vullen van straalketel met 25 kg zakken:
Hiervoor zijn de hoeveelheden straalgrit die per meetsessie tijdens vullen met zakken zijn geregistreerd gebruikt als uitgangspunt. Tijdens 13 persoonlijke metingen verzameld tijdens vullen met zakken is tussen de 25 (1 zak) en 350 kg (14 zakken) gedurende 3 tot 11,5 minuut per meetsessie gevuld. De hoeveelheden (in kg) zijn vermenigvuldigd met de in eerder onderzoek (Fase 1) bepaalde gemiddelde hoeveelheid respirabele asbestvezels per kg ongebruikt straalgrit, te weten $2.40E+08$ asbestvezels/kg ds.
 - In geval van een *worst-case scenario wat betreft emissiesterkte* wordt er vanuit gegaan dat alle asbestvezels die in het aluminiumsilicaat aanwezig zijn in de lucht komen tijdens het vullen. Op basis van de distributie van de 13 geschatte emissies voor vullen met zakken zijn de volgende emissiewaarden meegenomen in de berekeningen:
 - GM: $3,3E+10$ vezels/uur
 - P90: $7,8E+10$ vezels/uur
 - In geval van een meer *realistisch scenario wat betreft emissiesterkte* wordt er vanuit gegaan dat slechts een deel van de in het ongebruikte straalgrit aanwezig asbestvezels tijdens het vullen in de lucht komen. Helaas zijn er geen precieze gegevens bekend over wat dit percentage in werkelijkheid is. Echter, op basis van de resultaten van de simulatie-experimenten die op laboratoriumschaal met gebruikt straalgrit zijn uitgevoerd is berekend dat 0,3-1,0% van de in het gebruikte straalgrit aanwezig asbestvezels vrijkomen in de lucht tijdens de experimenten. Omdat de omstandigheden tijdens deze experimenten niet volledig overeenkomen met de omstandigheden tijdens praktijksituaties en deze experimenten zijn uitgevoerd met gebruikt straalgrit in plaats van ongebruikt straalgrit van een meer conservatieve benadering uitgegaan en is daarom aangenomen dat 10% (in plaats van 1%) van de aanwezige respirabele asbestvezels in de lucht komen tijdens het vullen. De volgende emissiewaarden zijn meegenomen in de berekeningen:
 - GM: $3,3E+10 * 10\% = 3,3E+9$ vezels/uur
 - P90: $7,8E+10 * 10\% = 7,8E+9$ vezels/uur

Voor het verspreidingsmodel is onder andere een emissiesterkte nodig om de blootstelling voor omwonenden te kunnen schatten. Omdat de emissiesterkte afhankelijk is van verschillende factoren kiezen wij ervoor om de blootstellingen te schatten op basis van verschillende emissiescenario's, die zijn gebaseerd op wisselende factoren en daarom ook wisselende emissiesterktes toegekend hebben gekregen. Voor het bepalen van de emissiesterkte wordt er bij alle vier de emissiescenario's uitgegaan dat er per dag 6 uur gestraald wordt en gedurende die

periode ook in totaal 1 uur gevuld wordt. De totale emissie duur per dag is daarom 6 uur. Hieronder is voor elk van de 4 emissiescenario's beschreven hoe de emissiesterkte is bepaald:

- Stralen zonder tent / GM worst-case emissiesterkte: $((6 \cdot 2.8 \text{ E}+9) + (1 \cdot 3.3\text{E}+10)) / 6 = 8.30\text{E}+09$ vezels/uur;
- Stralen zonder tent / P90 worst-case emissiesterkte: $((6 \cdot 4.9 \text{ E}+9) + (1 \cdot 7.8\text{E}+10)) / 6 = 1.79\text{E}+10$ vezels/uur;
- Stralen met tent / GM realistisch emissiesterkte: $((6 \cdot 4.3 \text{ E}+7) + (1 \cdot 3.3\text{E}+9)) / 6 = 5.93\text{E}+08$ vezels/uur;
- Stralen met tent / P90 realistisch emissiesterkte: $((6 \cdot 2.3 \text{ E}+8) + (1 \cdot 7.8\text{E}+9)) / 6 = 1.53\text{E}+09$ vezels/uur.

Berekeningen

Per scenario is voor de verschillende afstanden tot de bron (5, 10, 25, 50 en 100 meter) de concentratie asbestvezels in de lucht berekend. Hierbij is aangenomen dat op elke dag van het jaar de emissie gedurende zes uur per dag plaatsvindt, en er gedurende de rest van de dag geen emissie van asbestvezels plaatsvindt. De berekening is vervolgens uitgevoerd op basis van de meteorologische omstandigheden die in 2017 in Nederland zijn geregistreerd. Omdat de weersomstandigheden wisselen is voor elk uur in 2017 een berekening uitgevoerd, resulterend in 8760 uurgemiddelde concentraties per locatie ten opzichte van de emissiebron (noord, oost, zuid, west), dus 35040 uurgemiddelde concentraties in totaal. Per tijdserie is het gemiddelde en de verdeling over de tijd bepaald, op basis waarvan een inschatting is gemaakt van de blootstelling. Er wordt hierbij aangenomen dat de temporele variabiliteit in de berekende asbestvezelconcentraties voldoende wordt gerepresenteerd doordat de berekeningen voor elk afzonderlijk uur zijn uitgevoerd.

Resultaten

In Tabel B4.1 worden de resultaten van de berekende (additionele) asbestvezelconcentraties op verschillende afstanden van de bron (combinatie van stralen en vullen) weergegeven. Hieruit blijkt dat meer dan 90% van de berekende uurgemiddelde asbestvezelconcentraties binnen een jaar nagenoeg 0 vezels/m³ is. De berekeningen laten tevens zien dat er in ongunstige omstandigheden, wanneer de omwonenden zich benedenwinds van de bron bevinden, er sprake kan zijn van hoge (uurgemiddelde) piekconcentraties. De resultaten laten een duidelijke daling van de asbestvezelconcentratie zien met een toenemende afstand tot de bron. Wanneer op basis van deze uurgemiddelde concentraties een jaargemiddelde concentratie wordt berekend op basis van het rekenkundig gemiddelde (AM), is de jaargemiddelde concentratie op vijf meter afstand van de bron voor drie van de vier scenario's hoger dan 500 vezels/m³ (range 410-12.300 vezels/m³), en op 10 meter afstand voor twee van de vier scenario's hoger dan 500 vezels/m³ (range 140-4.300 vezels/m³). Oftewel: voor de meest realistische scenario's ligt het rekenkundig jaargemiddelde onder de 500 vezels/m³. Omdat de distributie van de uurgemiddelde concentraties geen normale verdeling heeft, waardoor de zeer hoge concentraties voor een groot deel dit gemiddelde bepalen, is ook het geometrisch

gemiddelde (GM) weergegeven (welke uitgaat van een lognormale verdeling). Aangezien het verspreidingsmodel gemiddelde concentraties over een uur berekent en niet over een dag, wordt het geometrisch gemiddelde gezien als een meer representatieve maat voor de concentratie asbestvezels in de lucht tijdens de blootgestelde periode. Zoals in Tabel B4.1 te zien is, zijn voor alle vier de scenario's op vijf afstanden van de emissiebron de jaargemiddelde asbestvezelconcentraties op basis van het GM zeer laag, variërend van 1,1 tot 2,9 vezels/m³. Dit geldt ook voor de twee scenario's waarbij wordt uitgegaan van worst-case omstandigheden, waarbij alle respirabele asbestvezels in het straalgrit vrijkomen tijdens vullen en waarbij alle respirabele asbestvezels tijdens stralen niet worden afgezogen maar zich verspreiden naar de omgeving.

De rekenkundig gemiddelde asbestvezelconcentratie van de stationaire metingen in de meetstudie tijdens straalwerkzaamheden op meer dan 5 meter van de straalcabine dan wel straaltent is 1.000 vezels/m³ (GM 770 vezels/m³, range 90-1.700 vezels/m³). Deze meetpunten zijn benedenwinds gepositioneerd en daarom worst-case. Dit komt redelijk goed overeen met de geschatte gemiddelde asbestvezelconcentratie op vijf meter van de bron in een realistisch scenario.

Tabel B4.1: Distributie van de berekende uurgemiddelde asbestvezelconcentraties (in vezels/m³) over een jaar op verschillende afstanden tot de emissiebron voor de verschillende emissie-scenario's

Emissie-scenario	Afstand (m)	N	AM	GM	GSD	Min.	P50	P75	P90	P95	P99	Max.
Stralen zonder tent / GM worst-case emissie-sterkte	5	35040	5.700	2,7	23,2	0	0	0	0	47.700	113.400	562.600
	10	35040	2.010	2,4	16,2	0	0	0	0	15.200	45.000	172.100
	25	35040	420	2,0	9,0	0	0	0	0	2.040	10.900	44.000
	50	35040	110	1,6	5,9	0	0	0	0	320	3.170	15.700
	100	35040	30	1,3	4,2	0	0	0	0	40	870	5.700
Stralen zonder tent / P90 worst-case emissie-sterkte	5	35040	12.300	2,9	29,0	0	0	0	0	103.000	244.500	1.213.300
	10	35040	4.340	2,6	20,3	0	0	0	0	32.900	97.300	371.100
	25	35040	900	2,1	11,2	0	0	0	0	4.400	23.400	95.000
	50	35040	240	1,7	7,1	0	0	0	0	690	6.800	33.800
	100	35040	60	1,4	4,9	0	0	0	0	90	1.880	12.300
Stralen met tent / GM realistische emissie-sterkte	5	35040	410	2,1	10,8	0	0	0	0	3.410	8.100	40.200
	10	35040	140	1,9	7,6	0	0	0	0	1.090	3.200	12.300
	25	35040	30	1,5	4,4	0	0	0	0	150	780	3.100
	50	35040	8	1,3	3,3	0	0	0	0	20	230	1.100
	100	35040	2	1,1	3,1	0	0	0	0	3	62	410
Stralen met tent / P90 realistische emissie-sterkte	5	35040	1.050	2,3	14,2	0	0	0	0	8.800	20.900	103.700
	10	35040	370	2,1	10,0	0	0	0	0	2.800	8.300	31.700
	25	35040	80	1,7	5,7	0	0	0	0	380	2.000	8.100
	50	35040	20	1,4	4,0	0	0	0	0	60	580	2.900
	100	35040	5	1,1	3,3	0	0	0	0	8	160	1.050

N = aantal berekende uurgemiddelde concentraties, AM = rekenkundig jaargemiddelde, GM = geometrisch jaargemiddelde, GSD = geometrische standaarddeviatie, Min. = minimaal uurgemiddelde, P50 = 50-percentiel (mediaan), P75 = 75-percentiel, P90 = 90-percentiel, P95 = 95-percentiel, P99 = 99-percentiel, Max. = maximaal uurgemiddelde

Het model schat de concentratie aan asbestvezels voor elk uur per dag over een periode van een jaar. Omdat uitgegaan wordt van zes uur werkzaamheden per dag zal er 18 uur per dag geen emissie van asbestvezels plaatsvinden. Daarom zijn de meeste uurgemiddelde geschatte concentraties 0. Wanneer de ongeveer 9% van de berekende uurgemiddelde concentraties met een concentratie > 0 vezels/m³ in meer detail worden bekeken, blijkt dat de spreiding in deze uurgemiddelde concentraties groot is. Dit wil ook zeggen tijdens de perioden van de dag dat er aan de constructie gewerkt werd, op locaties benedenwinds van de straalwerkzaamheden, de omwonenden tijdelijk aan hoge concentraties kunnen zijn blootgesteld, met name op korte afstanden van de bron (5 tot 10 meter). Omdat dit echter slechts een beperkte tijd van de dag het geval is (namelijk de tijd dat er ook daadwerkelijk emissie is (6 uur per dag), en ook alleen op de benedenwindse locaties rond de bron, ligt zowel het geschatte rekenkundig gemiddelde als het geometrisch gemiddelde van de berekende uurgemiddelde concentraties veel lager.

Conclusie voor blootstelling van omwonenden

Scenario A: Langdurige straalwerkzaamheden

Omdat het risico op gezondheidseffecten wordt bepaald op basis van cumulatieve blootstelling aan asbestvezels wordt het rekenkundig gemiddelde gezien als de meest relevante maat voor blootstelling. Immers dit geeft de gemiddelde blootstelling gedurende een periode van een jaar weer. In het geval van scenario A, waarbij er vanuit wordt gegaan dat gedurende twee maanden straalwerkzaamheden plaatsvinden in een straaltent (emissie-scenario P90 met straaltent, afstand 5 meter), wordt daarom aangenomen dat de concentratie 1.050 vezels/m³ het beste de blootstelling aan asbestvezels van omwonenden afkomstig van de straalwerkzaamheden gedurende deze periode beschrijft. Deze concentratie geeft de gemiddelde concentratie weer gedurende de langdurige periode (in dit geval 2 maanden). Omdat deze gemiddelde concentratie is bepaald aan de hand van uren waarbij wel en geen emissie was, hoeft deze concentratie niet gecorrigeerd te worden voor blootstellingsduur. Bij het schatten van deze blootstelling is gecorrigeerd voor weersomstandigheden en locatie ten opzichte van de bron, wordt er vanuit gegaan dat 4,6% van alle vezels die tijdens de straalwerkzaamheden in de straaltent worden gevormd in extreme situaties (P90 emissiesterkte) ook daadwerkelijk in de lucht buiten de straaltent terecht komen en 10% van alle respirabele asbestvezels die in het ongebruikte straalgrit tijdens het vullen aanwezig zijn in extreme situaties (P90 emissiesterkte, grote hoeveelheden straatgrit gehanteerd) in de lucht terecht komen. Daarnaast wordt aangenomen dat dagelijks straalwerkzaamheden zijn uitgevoerd, terwijl dit in de praktijk bij langdurige onderhoudswerkzaamheden niet het geval is. Nadat een gedeelte is afgerond wordt dit oppervlak over het algemeen eerst opnieuw gecoat voordat de staalwerkzaamheden worden hervat, op te zorgen dat omgevingsomstandigheden

het gestraalde oppervlak niet negatief beïnvloeden (bijv. voorkomen corrosie). De ervaring leert dat er twee dagen wordt gestraald en de derde dag niet. Verder wordt aangenomen dat de omwonenden zich 2 maanden lang elk uur van de dag buitenshuis in de buurt van de straalwerkzaamheden hebben begeven. In vele opzichten is dit dus een worst-case benadering.

Scenario B: Kortdurende straalwerkzaamheden (worst case)

Scenario B beschrijft de mogelijkheid dat omwonenden zich gedurende kortdurende straalwerkzaamheden in de open lucht op een kleine afstand van de bron (de locatie van de straalwerkzaamheden) bevonden, en de weersomstandigheden gedurende deze korte periode zodanig ongunstig waren dat alle vrijgekomen asbestvezels zich in de richting van deze omwonende hebben verspreid, waardoor deze omwonenden tijdelijk (tijdens de straalwerkzaamheden) aan hoge piekconcentraties zijn blootgesteld. Wanneer wordt uitgegaan van het meest conservatieve worst-case scenario (emissie-sterkte P90, geen gebruik van een straaltent, afstand 5 meter van de bron, benedenwinds van de bron (overeenkomend met 99-percentiel van de distributie van de berekende uurgemiddelde concentraties), dan is een uurgemiddelde piekconcentratie van 244.500 vezels/m³ volgens de schattingen mogelijk. Logischerwijs gelden deze uurgemiddelde piekconcentraties alleen wanneer er ongunstige omstandigheden zijn tijdens de straalwerkzaamheden. Wanneer er rekening wordt gehouden met de duur van de straalwerkzaamheden op een dag, en er dus sprake is van 6 in plaats van 24 uur emissie van asbestvezels, wordt de daggemiddelde blootstelling van de omwonenden geschat op 61.100 vezels/m³ (244.500 vezels/m³ * (6/24)).

Logischerwijs laten de modelberekeningen zien dat de blootstelling afneemt met toenemende afstand tot de bron. Het verspreidingsmodel gaat ervan uit dat zich in de omgeving van de bron geen obstakels (zoals bebouwing of bomen) bevinden die van invloed kunnen zijn op verspreiding van de vezels. Het is bekend dat de aanwezigheid van bijv. bebouwing binnen een straal van 5 meter van de bron resulteert in een minder snelle verspreiding van de ontstane deeltjes, en daardoor resulteert in een hogere concentratie. De aanwezigheid van obstakels op grotere afstand van de bron resulteert juist in meer verticale werveling en daardoor lagere concentraties. Wanneer de straalwerkzaamheden zouden hebben plaatsgevonden in de nabijheid van gebouwen in plaats van in een open ruimte mag worden aangenomen dat de vrijgekomen asbestvezels zich minder snel hebben verspreid wat resulteert in hogere asbestvezelconcentraties nabij de bron. In dat geval zullen de gepresenteerde getallen een onderschatting geven van de blootstelling voor omwonenden. Er wordt echter aangenomen dat dit effect niet erg groot zal zijn geweest.