Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56
F +31 88 866 44 75

TNO-rapport

TNO 2021 R10986 | Eindrapport

Opzet en resultaten van experimenteel onderzoek met asbesthoudend materiaal (amosietplaat, asbestcement golfplaten en pakkingen)

Datum	21 oktober 2021
Auteur(s)	S. Spaan P. Tromp N. Lucas Luijckx H. de Weerd B. ten Brug R. Franken J. Schinkel
Goedgekeurd door	M. Rennen
Exemplaarnummer	-
Oplage	-
Aantal pagina's	210 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	7 (en een aparte bijlage met analysecertificaten)
Opdrachtgever	Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid
Projectnaam	Maatschappelijk Programma Arbeidsomstandigheden (MAPA) 2020-2021 - Ontwikkelingen gezond en veilig werken - Gezond en veilig werken met stoffen (asbest)
Projectnummer	060.42465 (2020) / 060.47156 (2021)

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.

© 2021 TNO

Samenvatting

In dit onderzoek zijn voor het onderdeel ‘Gezond en veilig werken met stoffen - Asbest’ binnen het Maatschappelijk Programma Arbeidsomstandigheden (MAPA) dat TNO uitvoert in opdracht van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) onder experimentele omstandigheden meetgegevens verzameld. Dit onderzoek had een tweeledig doel:

1. Het verzamelen van meetgegevens gericht op specifieke taken met specifieke asbesthoudende toepassingen onder specifieke omstandigheden, met daarbij aandacht voor:
   a. scenario’s waarvoor geen of zeer beperkt blootstellingsgegevens beschikbaar zijn;
   b. het kunnen vergelijken van verschillende scenario’s;
   c. de effectiviteit van bronmaatregelen.
2. Het verzamelen van meetgegevens in relatie tot de methodiek voor eindbeoordeling, met daarbij aandacht voor:
   a. het concentratieverloop in een ruimte nadat in deze ruimte is gewerkt met asbesthoudend materiaal;
   b. het concentratieverloop in een ruimte in relatie tot de mate van luchtverversing wanneer continu activiteit wordt gesimuleerd;
   c. het verzamelen van kleefmonsters als aanvulling op luchtmetingen.

In een vast containment zijn naast elkaar twee identieke containments met een dubbele wand opgebouwd. Hierdoor konden tijdens de experimenten de verschillende scenario’s onder gecontroleerde omstandigheden parallel aan elkaar worden uitgevoerd en worden geobserveerd. In het onderzoek zijn 14 specifieke taakgerichte scenario’s onderzocht, waarbij verschillende handelingen met verschillende soorten asbesthoudend materiaal onder verschillende omstandigheden zijn uitgevoerd. Deze scenario’s waren allen gericht op het genereren van (veel) emissie van asbestvezels tijdens het uitvoeren van de betreffende handeling. Hierdoor was de onzekerheid in de gemeten asbestvezelconcentraties zo laag mogelijk, en konden de resultaten van de verschillende scenario’s op een degelijke (statistisch onderbouwde) manier met elkaar worden vergeleken. De situaties zoals bemeten tijdens de experimenten zijn daarom niet vergelijkbaar met reguliere werkzaamheden met asbest, waarbij zorgvuldig moet worden gewerkt en moet worden gestreefd naar zo min mogelijk emissie van asbestvezels. De gemeten asbestvezelconcentraties zijn daarom ook niet representatief voor de mate van blootstelling van werknemers tijdens werkzaamheden met asbestcement golfplaten, amosietplaat of pakkingen, en kunnen daarom niet worden vergeleken met de grenswaarde.
Na afloop van een aantal scenario’s waarbij asbestvezels zijn vrijgekomen diverse metingen over de tijd verricht om het concentratieverloop vast te stellen.

Gedurende vijf dagen zijn 26 experimenten verdeeld over onderstaande 14 scenario’s uitgevoerd:

- Veelvuldig droog breken asbestcement golfplaten;

- Concentratieverloop na veelvuldig droog breken asbestcement golfplaten;
- Schoonmaken na veelvuldig droog breken asbestcement golfplaten;
- Hanteren van gebroken stukken droge asbestcement golfplaat;
- Schoonmaken na hanteren van gebroken stukken droge asbestcement golfplaat;
- Veelvuldig breken asbestcement golfplaten met schuim;
- Schoonmaken na veelvuldig breken asbestcement golfplaten met schuim;
- Droog verwijderen en ernstig beschadigen van pakkingen;
- Schoonmaken na droog verwijderen en ernstig beschadigen van pakkingen;
- Veelvuldig breken amosietplaat met schuim;
- Schoonmaken na veelvuldig breken amosietplaat met schuim;
- Veelvuldig droog breken amosietplaat;
- Concentratieverloop na droog breken amosietplaat;
- Schoonmaken na droog breken amosietplaat.

Tijdens elk concentratie-verloop experiment zijn 12 stationaire metingen verzameld (zes metingen in elk containment). Tijdens de overige experimenten zijn twee persoonlijke en twee stationaire metingen verzameld (één persoonlijke en één stationaire meting in elk containment). Verder zijn tijdens een deel van de experimenten kleef- en materiaalmonsters verzameld. Ook is gebruik gemaakt van twee fijnstof sensoren om in beide containments kwalitatief de variatie in de concentratie deeltjes in de lucht over de tijd in kaart te brengen. De overige monsters zijn geanalyseerd, en de resultaten hiervan worden in dit rapport gepresenteerd.

In onderstaande tabel worden de asbestvezelconcentraties (in vezels/m³) zoals gemeten tijdens de handelingsscenario's (in vezels/m³) samengevat.

Scenario	**N**	**AM**	**GM**	**min-max**
Asbestcement golfplaten breken met schuim	6	11.430	9.570	6.680-25.950
Asbestcement golfplaten breken droog	8	206.520	196.370	82.000-264.330
Schoonmaken na droog breken asbestcement golfplaten	8	63.600	10.010	830-397.700
Gebroken droge stukken asbestcement golfplaten hanteren	8	69.060	52.200	13.000-159.990
Schoonmaken na gebroken droge stukken asbestcement golfplaten hanteren	4	37.970	34.550	25.360-68.190
Pakkingen droog verwijderen	6	155.730	96.360	13.690-316.710
Schoonmaken na pakkingen droog verwijderen	4	3.220	3.160	2.535-3.990
Amosietplaat breken met schuim	8	687.120	520.830	139.430-1.408.320
Amosietplaat breken droog	8	1.715.900	917.550	39.319-3.000.000
Schoonmaken na droog breken amosietplaat	8	439.580	140.860	22.710-1.792.750

N = aantal luchtmetingen, AM = rekenkundig gemiddelde, GM = geometrisch gemiddelde, min-max = minimum - maximum

Droog breken van asbestcement golfplaten en amosietplaten en droog verwijderen van pakkingen geven hoge concentraties in de lucht. Het werken met schuim bij het breken van asbestcement golfplaten en amosietplaten laat een duidelijke reductie zien van de emissie, zij het ook met een aanzienlijk verschillend effect ervan tussen beide toepassingen. Daarnaast is de gemeten concentratie tijdens schoonmaken na het bewerken van asbesthoudend materiaal duidelijk lager dan tijdens het bewerken van het materiaal zelf.

De resultaten van deze experimenten geven een goed beeld van het effect van verschillende omstandigheden op de gemeten asbestvezelconcentraties, zoals type materiaal, type handelingen en het gebruik van schuim als beheersmaatregel. De resultaten laten ook zien dat de gemeten asbestvezelconcentraties sterk variëren, zelfs in deze gecontroleerde experimentele setting. Deze resultaten zullen onder andere worden gebruikt voor de validatie van het blootstellingsmodel Asbestos Removal Exposure Assessment Tool (AREAT).

Na het bewerken van asbesthoudend materiaal, waarbij veel asbestvezels zijn vrijgekomen, is er sprake van een duidelijke afname van de asbestvezelconcentratie in de lucht in tijd, met name een snelle daling in de periode direct na deze handeling. Op basis van de resultaten van dit onderzoek wordt geconcludeerd dat na werkzaamheden met asbest waarbij een relatief beperkte hoeveelheid asbestvezels vrijkomt (max. 10.000 vezels/m^3), de concentratie in de ruimte na afloop van de sanering in korte tijd (na 30 minuten) tenminste een factor vijf zal zijn gedaald, tot een niveau onder de grenswaarde van 2.000 vezels/m^3.

Inhoudsopgave

Samenvatting **2**

Dankwoord **7**

1 Inleiding **8**

2 Opzet en uitvoering experimenten **10**
2.1 Werkgebied voor uitvoering experimenten 10
2.2 Asbesthoudend materiaal 11
2.3 Experimentele opzet 12
2.4 Uitvoering metingen 24
2.5 Analyse monsters 25

3 Resultaten van de experimenten en beschouwing **27**
3.1 Resultaten materiaalmonsters 27
3.2 Kwaliteitsborging analyse en resultaten luchtmetingen 28
3.3 Resultaten concentratieverloop-metingen 41
3.4 Resultaten kleefmonsters 47
3.5 Resultaten sensoren 55

4 Discussie en conclusies **58**

5 Referenties **64**

6 Ondertekening **65**

Bijlage 1: Codering monsters **66**

Bijlage 2: Meetformulieren **69**

Bijlage 3: Overzicht resultaten luchtmetingen **73**

Bijlage 4: Aanvullende contextuele informatie omstandigheden tijdens experimenten handelingsscenario's **81**

Bijlage 5: Beeldmateriaal per handelingsscenario **88**
Droog breken asbestcement golfplaat 88
Schoonmaken na droog breken asbestcement golfplaat 101
Hanteren gebroken stukken asbestcement golfplaat 111
Schoonmaken na hanteren gebroken stukken asbestcement golfplaat 120
Breken asbestcement golfplaat met schuim 124
Schoonmaken na breken asbestcement golfplaat met schuim 134
Droog verwijderen pakkingen 143
Schoonmaken na droog verwijderen pakkingen 153
Breken amosietplaat met schuim 162

Schoonmaken na breken amosietplaat met schuim 176
Droog breken amosietplaat 181
Schoonmaken na droog breken amosietplaat 188

Bijlage 6: Aanvullende informatie concentratieverloopmetingen 197

Bijlage 7: Beeldmateriaal per concentratieverloopscenario 199
Concentratieverloop na breken asbestcement golfplaten 199
Concentratieverloop na droog breken amosietplaten 205

Bijlage 8: Variatie stofconcentratie tijdens meetdagen (fracties PM1 en PM2,5) 209

Dankwoord

Dit onderzoek is tot stand gekomen met behulp van de inzet van verschillende partijen. Daarom willen de auteurs de betrokken personen van Nomacon B.V. bedanken voor het uitvoeren van de metingen en de analyse van de verzamelde monsters. Daarnaast willen de auteurs de betrokken personen van Horyon Innovaties en Technieken B.V. bedanken voor het ter beschikking stellen van hun vaste containment en het verlenen van hun medewerking aan het onderzoek. Met name de personen die de handelingen hebben uitgevoerd en daarmee een belangrijke bijdrage hebben geleverd aan de praktische uitvoering van het onderzoek. Ook willen de auteurs RIR bedanken voor het ter beschikking stellen van het schuim dat is gebruikt tijdens de experimenten.

1 Inleiding

De aanpak en het managen van het risico van blootstelling aan gevaarlijke stoffen, waaronder asbest, blijft onverminderd een aandachtspunt van en voor bedrijven, zeker in hoog-risico sectoren. Een belangrijk deel van de totale arbeid-gerelateerde ziektelast (tijdens het werkzame leven en na pensionering) wordt veroorzaakt door blootstelling aan gevaarlijke stoffen op het werk. Deze blootstelling veroorzaakt zowel veel persoonlijk leed als aanzienlijke maatschappelijke kosten.

Bij het werken met asbest kunnen asbestvezels vrijkomen die gevaarlijk zijn voor zowel de werknemer als de omgeving. De mate van blootstelling is afhankelijk van vele verschillende factoren, waaronder de samenstelling van het product, het soort handeling dat wordt uitgevoerd met het asbesthoudende product, en het al dan niet toepassen van beheersmaatregelen. Blootstelling aan asbestvezels tijdens het saneren van asbesthoudende producten moet zoveel mogelijk worden beperkt om de kans op gezondheidseffecten te minimaliseren. Wanneer de mate van blootstelling aan asbestvezels voor een bepaald scenario in kaart kan worden gebracht kunnen (indien nodig) met behulp van specifieke beheersmaatregelen zowel de werknemer(s) als de omgeving worden beschermd. Bescherming kan op verschillende manieren plaatsvinden, bijvoorbeeld door het toepassen van een emissiebeperkende werkmethode, het afschermen van de werkzaamheden met asbest ten opzichte van de omgeving, het dragen van adembescherming door de werknemer (als alle andere maatregelen niet leiden tot een blootstellingsniveau onder de grenswaarde), en het beoordelen van het werkgebied voordat deze weer in gebruik wordt genomen.

Binnen het Maatschappelijk Programma Arbeidsomstandigheden (MAPA) dat TNO uitvoert in opdracht van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) is een van de onderwerpen ‘Gezond en veilig werken met stoffen’, waaronder asbest. Het deelprogramma rond asbest richt zich met name op het schatten van de mate van blootstelling van werknemers aan asbest en het tegengaan van onnodige gezondheidsrisico’s. Het verzamelen van kwantitatieve gegevens (dat wil zeggen asbestconcentratiemetingen) maakt onderdeel uit van dit programma, en richt zich zowel op het verzamelen van blootstellingsgegevens door TNO als het verkennen van mogelijkheden om de methodiek voor eindbeoordeling te optimaliseren en te vereenvoudigen. Dergelijke gegevens kunnen worden gebruikt om kennishiaten op te vullen.

Om asbestconcentratiemetingen te kunnen verzamelen zijn meetlocaties nodig waar wordt gewerkt met asbest. Het verzamelen van metingen tijdens praktijksituaties (lopende saneringswerkzaamheden) geeft het meest representatieve beeld van asbestvezelconcentraties zoals deze voorkomen op de werkplek. Om inzicht te krijgen in het effect van specifieke omstandigheden op de gemeten asbestvezelconcentratie is het echter nodig om bepaalde omstandigheden te kunnen variëren terwijl andere omstandigheden gelijk blijven. Het kunnen variëren van de omstandigheden is in praktijksituaties lastiger dan in een experimentele setting. Daarom is er voor gekozen

om het onderzoek in een experimentele setting in een voor dat doel gecreëerd (afgeschermd) werkgebied uit te voeren, met als doel:

1. Het verzamelen van meetgegevens in relatie tot specifieke taken met specifieke asbesthoudende toepassingen onder specifieke omstandigheden, met daarbij aandacht voor:
   a. scenario's waarvoor nu geen of zeer beperkt blootstellingsgegevens beschikbaar zijn (bijv. breken van asbestcement toepassingen, hanteren, schoonmaken);
   b. het kunnen vergelijken van verschillende scenario's;
   c. de effectiviteit van bronmaatregelen;
2. Het verzamelen van meetgegevens in relatie tot de methodiek voor eindbeoordeling, met daarbij aandacht voor:
   a. het concentratieverloop in een ruimte nadat in deze ruimte is gewerkt met asbesthoudend materiaal;
   b. het concentratieverloop in een ruimte in relatie tot de mate van luchtverversing wanneer continu activiteit wordt gesimuleerd;
   c. het verzamelen van kleefmonsters als aanvulling op luchtmetingen.

De meetgegevens gericht op specifieke handelingen met specifieke asbesthoudende toepassingen worden onder andere gebruikt voor de verdere ontwikkeling van het blootstellingsmodel Asbestos Removal Exposure Assessment Tool (AREAT). Deze gegevens zullen worden meegenomen in de validatie van AREAT, waarbij onder andere wordt gekeken of de factoren voor de verschillende determinanten van blootstelling die worden meegenomen in dit model, zoals die voor type materiaal, handeling en de effectiviteit van beheersmaatregelen, al dan niet moeten worden aangepast.

Eerder heeft SZW aan TNO gevraagd of het mogelijk is om na werkzaamheden waarbij de concentratie asbest in de lucht tijdens saneren tussen 2.000 en 10.000 vezels/m^3 ligt alleen een visuele eindbeoordeling te doen. In dat geval zouden er dus niet aanvullend luchtmetingen worden uitgevoerd om aan te tonen dat de asbestvezelconcentratie in de ruimte onder het toetsingscriterium van 2.000 vezels ligt. Op dat moment waren er geen specifieke kwantitatieve gegevens beschikbaar, maar werd op basis van een theoretisch model aangenomen dat wanneer tijdens werkzaamheden met asbest een relatief beperkte hoeveelheid asbestvezels zou vrijkomen (maximaal 10.000 vezels/m^3), deze concentratie vrijwel direct na afloop van de werkzaamheden zodanig zou zijn gedaald tot een niveau onder de grenswaarde. De relatief beperkte hoeveelheid asbestvezels die is vrijgekomen tijdens de werkzaamheden zal namelijk door middel van het ventileren van het containment met behulp van een onderdrukmachine uit de lucht worden verwijderd (Spaan et al., 2019). De meetgegevens gericht op het concentratieverloop in een ruimte nadat hierin is gewerkt met asbesthoudend materiaal worden onder andere gebruikt om na te gaan of een (minimale) afname van de asbestvezelconcentratie met een factor vijf op basis van kwantitatieve gegevens kan worden onderbouwd met specifieke meetgegevens.

2 Opzet en uitvoering experimenten

2.1 Werkgebied voor uitvoering experimenten

Het asbestsaneringsbedrijf Horyon Innovaties en Technieken B.V. heeft hun vaste containment ter beschikking gesteld (zie Foto 1). In dit vaste containment zijn naast elkaar twee identieke containments met een dubbele wand opgebouwd, beiden uitgerust met een decontaminatie-unit, een regelbare onderdrukmachine (ODM) (capaciteit 1650 m^3) en kijkvensters aan beide zijden. In deze containments zijn de experimenten uitgevoerd (zie Foto 2). Door het vaste containment in tweeën te verdelen was het mogelijk om parallel experimenten uit te voeren en te observeren. Elke dag zijn de filters van de ODMs vervangen, en zo nodig ook tussendoor.

Foto 1a en b: Vast containment bij Horyon Innovaties en Technieken B.V.

Foto 2a en b: Overzicht van de twee containments waarin de experimenten zijn uitgevoerd zoals opgebouwd in het vaste containment van Horyon Innovaties en Technieken B.V.

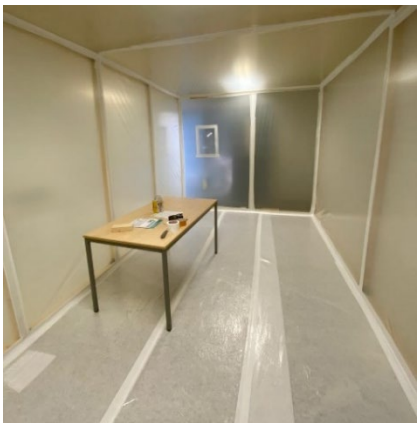


Foto 2 c en d: Overzicht van de twee containments waarin de experimenten zijn uitgevoerd zoals opgebouwd in het vaste containment van Horyon Innovaties en Technieken B.V.

De dimensies van beide containments waren 5 (diepte) bij 3 (breedte) bij 2,5 (hoogte) meter, met een inhoud van 37,5 m^3.

In elk containment waren een tafel en een stoel aanwezig, evenals twee ventilatoren en een asbeststofzuiger. Voorafgaand aan elk experiment werd er voor gezorgd dat al het benodigde (asbesthoudende) materiaal in het betreffende containment aanwezig was.

2.2 Asbesthoudend materiaal

Er is gekozen om de experimenten uit te voeren met verschillende soorten asbesthoudende materialen, om de resultaten van de experimenten op verschillende niveaus met elkaar te kunnen vergelijken. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Een niet-hechtgeboden materiaal, bij voorkeur bestaande uit amfibool asbest (bijvoorbeeld board);
- Een hechtgebonden materiaal, bij voorkeur een sterk verweerde asbestcement toepassing (bijvoorbeeld asbestcement golfplaat);
- Pakkingen in/op flensen;
- De asbesthoudende materialen dienen (voorafgaande aan het experiment) verwijderd te zijn zonder dat hierbij gebruik is gemaakt van bevochtigings- dan wel impregnatiemiddelen.

Omdat de experimenten niet zijn uitgevoerd binnen een reguliere sanering was beschikbaarheid van voldoende asbesthoudend materiaal om de experimenten uit te kunnen voeren een belangrijk criterium. In aanloop naar de uitvoering van de experimenten heeft Horyon Innovaties en Technieken B.V. na afloop van verschillende saneringsprojecten het verwijderde (ingepakte) asbesthoudende materiaal (flensen met pakkingen die in z'n geheel zijn verwijderd en golfplaten) tijdelijk opgeslagen om deze te kunnen gebruiken tijdens de experimenten. Daarnaast heeft het bedrijf vanuit hun netwerk geregeld dat er bij aanvang van de experimenten ook een kleine partij amosietplaat (board) beschikbaar was.

In Tabel 1 is de informatie met betrekking tot de beschikbare asbesthoudende materialen die zijn gebruikt tijdens de experimenten weergegeven. Deze informatie is afkomstig uit de respectievelijke asbestinventarisatierapporten.

Tabel 1: Overzicht asbesthoudende materialen zoals gebruikt tijdens de experimenten op basis van informatie uit asbestinventarisatierapporten

	Asbestcement golfplaten		**Pakkingen**	**Amosietplaat (board)**
Asbest-inventarisatie-bureau	Asbestinventarisatie & Milieuadvies BV		BOOT organiserend ingenieursbureau B.V.	BME Asbest Consult
Datum inventarisatie	20 april 2020		20 februari 2020 25 maart 2020	29 juni 2020
Projectnummer	AR 2004004		P18-8001-575	2020-001845
Object	Schuur / veldschuur		Gedeelte van een bouwwerk	Gedeelte van een bedrijfspand
Beschrijving asbesthoudend materiaal	Golfplaten incl. nokstukken op dak en wanden van schuur en veldschuur.	Golfplaten tegen gevel van schuur en veldschuur.	Flenspakkingen bij transforma-toren in blusleidingen	Brandwerend plaat-materiaal (asbestboard) die zich deels bevindt achter stalen beplating tegen het plafond
Hoeveelheid	370 m²	50 m²	228 stuks	12 m²
Bevestiging	Geschroefd	Losliggend	Vastgeplakt	Geschroefd
Asbestsoort(en) en gehalte	Chrysotiel 10-15% Crocidoliet 2-5%	Chrysotiel 10-15% Crocidoliet 2-5%	Chrysotiel 30-60%	Amosiet 30-60%
Hechtgebondenheid	Hecht-gebonden	Hecht-gebonden	Niet-hecht-gebonden	Niet-hecht-gebonden
Verwering	Licht verweerd	Licht verweerd	Niet verweerd	Niet verweerd
Beschadiging	Licht beschadigd	Licht beschadigd	Ernstig beschadigd	Ernstig beschadigd

2.3 Experimentele opzet

De experimentele opzet was gericht op zowel het verzamelen van meetgegevens met betrekking tot zowel specifieke handelingsscenario's als de methodiek voor eindbeoordeling. In verband met het beschikbare budget konden gedurende vijf meetdagen experimenten worden uitgevoerd en kon een (beperkt) aantal monsters worden geanalyseerd. Er moesten daarom bij de opzet van de experimenten keuzes

worden gemaakt met betrekking tot de scenario's die wel en niet konden worden bemeten en de monsters die wel en niet konden worden geanalyseerd.

2.3.1 Opzet experimenten handelingsscenario's

Bij de opzet van het onderzoek gericht op het verzamelen van meetgegevens tijdens specifieke handelingsscenario's zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Vast containment is in twee gelijke helften verdeeld (containment A en containment B), zodat per experiment twee verschillende personen (saneerder A in containment A en saneerder B in containment B) tegelijkertijd hetzelfde scenario konden uitvoeren.
- Het uitvoeren van een serie van specifieke taakgerichte scenario's, waarbij verschillende handelingen met verschillende soorten asbesthoudend materiaal onder vergelijkbare omstandigheden worden uitgevoerd, zodat het effect van afwijkende factoren kan worden bepaald. Voor een dergelijke vergelijking is het van belang dat de onzekerheid met betrekking tot de analyseresultaten zo klein mogelijk is. In algemene zin is de relatieve analyse-onzekerheid kleiner naarmate er meer vezels worden aangetroffen op het filter. Daarom waren deze scenario's gericht op het genereren van zoveel mogelijk emissie van asbestvezels, door handelingen zodanig uit te voeren dat kan worden aangenomen dat (relatief) veel vezels vrijkomen, bijvoorbeeld veelvuldig breken van materiaal, een hoge frequentie van hanteren, en het simuleren van niet voorzichtig verwijderen van materiaal. Ook zijn de meetgegevens verzameld in een kleine ruimte met een zeer beperkte mate van luchtverversing. Hierdoor zijn de meetgegevens verzameld tijdens scenario's die in de praktijk niet voor mogen komen, omdat tijdens werkzaamheden met asbest moet worden gestreefd naar een zo laag mogelijke emissie van asbestvezels. Bij de keuze van scenario's zijn verder de volgende overwegingen meegenomen:
  - Het verzamelen van taakgerichte metingen, waarbij per scenario een vooraf gedefinieerde specifieke (set van) handeling(en) wordt uitgevoerd (zie Tabel 2).
  - Ieder scenario wordt door twee verschillende personen uitgevoerd (saneerder A en saneerder B), en iedere persoon voert een scenario (bij voorkeur) twee keer uit om de variatie tussen en binnen personen in kaart te kunnen brengen. Ofwel, per scenario worden bij voorkeur twee experimenten bestaande uit tweemaal twee parallelle meetsessies uitgevoerd.
  - Vergelijkbaar scenario (breken) uitvoeren met zowel een hechtgebonden materiaal (asbestcement golfplaat) als een niet-hechtgebonden materiaal (amosietplaat), om het verschil in emissie van asbestvezels vanuit het materiaal in verder vergelijkbare omstandigheden te kunnen vergelijken.
  - Vergelijkbaar scenario (breken) uitvoeren zonder en met gebruik van een emissiebeperkende maatregel om een idee te krijgen van het effect van deze maatregel op de mate van emissie van asbestvezels.
  - Het hanteren van asbesthoudend materiaal als (onderdeel van een) werkmethode komt veelvuldig voor, maar hier zijn vrijwel geen specifieke blootstellingsgegevens voor beschikbaar omdat deze handeling over het algemeen niet apart wordt bemeten. Daarom is er voor gekozen om na het

droog breken van de asbestcement golfplaten ook metingen te verzamelen tijdens het hanteren van het gebroken materiaal.
    - Tijdens vrijwel alle metingen die zijn verzameld tijdens het verwijderen van pakkingen waarvan de resultaten beschikbaar zijn gesteld voor opname in de asbestdatabase (beheerd door TNO) is een bevochtigings- dan wel impregnatiemiddel toegepast als emissiebeperkende maatregel, en liggen de gemeten concentraties onder de bepalingsgrens. Daarom is er voor gekozen om metingen te verzamelen tijdens het op een grove manier verwijderen van pakkingen zonder gebruik te maken bronmaatregelen zoals een bevochtigingsmiddel, om er zeker van te zijn dat er asbestvezels vrijkomen.
    - Op basis van de gewenste meetduur per experiment, een schatting van de benodigde voor- en na-bereidingstijd per experiment en rekening houdend met de duur dat de betrokken personen met adembescherming aan het werk zijn, werd ingeschat dat per meetdag achtereenvolgens vijf (misschien zes) experimenten konden worden uitgevoerd. Hierbij moest zoveel mogelijk worden voorkomen dat de situatie tijdens het ene experiment de resultaten van het volgende experiment zouden kunnen beïnvloeden. Daarom zijn op een meetdag zoveel mogelijk verschillende scenario's met hetzelfde soort materiaal achter elkaar uitgevoerd, waarbij de volgorde (indien mogelijk) is bepaald op basis van een oplopende verwachte mate van emissie van asbestvezels. Op die manier zou de eventuele invloed van de vrijgekomen asbestvezels tijdens het ene experiment op de resultaten van het volgende experiment (relatief) beperkt zijn. Daarnaast zijn de containments tussendoor grondig schoongemaakt en geventileerd (8 verversingen per uur (18% van de capaciteit van de ODMs).
    - Schoonmaakwerkzaamheden komen als (onderdeel van een) werkmethode veelvuldig voor, maar voor deze handeling zijn vrijwel geen specifieke blootstellingsgegevens beschikbaar omdat deze handeling over het algemeen niet apart wordt bemeten. Daarom is besloten om het tussendoor schoonmaken van het containment ook als scenario mee te nemen in de onderzoeksopzet en dus apart te bemeten. Voorafgaand aan de schoonmaakwerkzaamheden zijn per containment op vier vaste locaties in het containment (op de tafel, onder de tafel, voor de ODM en voor de decontaminatie-unit) kleefmonsters verzameld als indicatie van de mate van verontreiniging van de verschillende oppervlakken van het containment. Omdat om budgetaire redenen niet alle verzamelde monsters konden worden geanalyseerd is besloten om een deel van de monsters zoals verzameld tijdens het schoonmaken van de containments op te slaan, zodat deze eventueel op een later moment kunnen worden geanalyseerd.
- Tijdens de experimenten, met uitzondering van het schoonmaken, is het ventilatievoud in het containment teruggebracht naar rond de 0,5 verversingen per uur (1% van de capaciteit van de ODMs), zodat de meetresultaten zo min mogelijk worden beïnvloed door de mate van ventilatie en luchtstromen in het containment.
- Per experiment zijn per containment een persoonlijke en een stationaire meting uitgevoerd, waarbij de stationaire meting op een kleine afstand (ongeveer 1,5-2

meter) van de plek waar de persoon aan het werk was werd geplaatst. Bij het verzamelen van deze metingen is uitgegaan van een meetduur van een uur, en een debiet van rond de 8 L/minuut. In geval van het schoonmaken is echter de daadwerkelijke tijd die nodig was om het containment schoon te maken aangehouden als meetduur. Verder werd verwacht dat er tijdens de experimenten waarin werd gewerkt met amosietplaat de kans op stofvorming groot zou zijn, waardoor de filters overbeladen zouden kunnen raken en niet analyseerbaar zouden zijn. Daarom is er voor gekozen om de meetduur bij de scenario's met amosietplaat te verkorten en zowel de persoonlijke als de stationaire metingen in duplo (met een langere en een kortere meetduur) uit te voeren.

Als emissiebeperkende maatregel is ervoor gekozen om het materiaal (asbestcement golfplaten en amosietplaat) voorafgaand aan het breken te bevochtigen met een schuim-product. Om het effect van schuim op de mate van emissie te kunnen vergelijken voor de verschillende materialen is tijdens de experimenten één soort schuim toegepast, namelijk RIR-foam. Dit schuim is door RIR ter beschikking gesteld om te worden gebruikt tijdens de experimenten (zie Foto 3a). Het schuim is toegepast volgens de door RIR aangegeven methode (1:200, 20 ml product op 5 liter water). Voorafgaand aan het breken is het betreffende asbesthoudende materiaal ingeschuimd met behulp van een gloriaspuit (zie Foto 3b), totdat er een laagje op het asbesthoudende materiaal bleef liggen, zonder een specifieke intrektijd aan te houden. Tussendoor is het asbesthoudende materiaal bijgeschuimd als de laag schuim begon te verdwijnen.

Foto 3a en b: RIR-foam zoals gebruikt tijdens experimenten (links), en gloriaspuit gebruikt voor het toepassen van het RIR-foam (rechts)

2.3.2 Opzet experimenten concentratieverloopscenario's

Bij de opzet van het onderzoek gericht op de methodiek van eindbeoordeling zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Om het verloop van de asbestvezelconcentratie over de tijd in een ruimte te kunnen bepalen, is het noodzakelijk om asbestvezels in de lucht te kunnen meten en is het dus noodzakelijk dat er aanzienlijke hoeveelheid (vrije) asbestvezels in de ruimte aanwezig is. Een dergelijke situatie is niet vergelijkbaar met een 'normale' eindbeoordeling, omdat met behulp van een eindbeoordeling wordt gecontroleerd of de ruimte na schoonmaak inderdaad schoon genoeg is om weer in gebruik genomen te kunnen worden. De verwachtte mate van verontreiniging van een ruimte is in een dergelijke situatie aanzienlijk minder, waardoor ook de kans op resuspensie van aanwezige asbestvezels veel kleiner zal zijn.
- Om er zeker van te zijn dat er asbestvezels in de lucht aanwezig zijn is gekozen om het verloop van de asbestvezelconcentratie in de lucht te bepalen na de experimenten waarbij de hoogste emissie van asbestvezels werd verwacht: het veelvuldig droog breken van hechtgebonden asbestcement golfplaten en het veelvuldig droog breken van niet-hechtgebonden amosietplaten. Doordat per experiment in de twee containments (A en B) hetzelfde scenario werd uitgevoerd, wordt aangenomen dat de mate van verontreiniging in beide containments na afloop van het veelvuldig droog breken van de asbestcement golfplaten dan wel de amosietplaat min of meer vergelijkbaar zal zijn. Hierdoor zijn de startomstandigheden in de beide containments bij aanvang van de concentratieverloop-experimenten min of meer hetzelfde.
- Om inzicht te verkrijgen in het verloop van de concentratie asbestvezels in de lucht na werkzaamheden zijn in elk containment zes luchtmetingen geplaatst. Deze luchtmetingen zijn tegelijkertijd aan gezet en in sets van twee metingen na een bepaalde tijd (respectievelijk 15, 30 en 60 minuten) automatisch uitgaan. Deze stationaire metingen zijn drie aan drie schuin tegenover elkaar in het containment geplaatst (zie Figuur 2).
- Doordat wordt aangenomen dat de startomstandigheden in beide containments min of meer hetzelfde zijn is het mogelijk om een aantal aspecten die in de verkenning van mogelijkheden voor optimalisatie van de methodiek voor de eindcontrole (Spaan et al., 2017) naar voren zijn gekomen mee te nemen. Er is voor gekozen om de focus te leggen op de invloed van ventilatievoud op de gemeten asbestvezelconcentratie, en twee scenario's met elkaar te vergelijken: relatief hoog ventilatievoud van 8 verversingen per uur (uitgaande van de op dat moment geldende methodiek voor eindbeoordeling) en een relatief laag ventilatievoud van <0,5 verversingen per uur (uitgaande van de voorgestelde alternatieve methodiek die ondertussen is opgenomen in de NEN 2990). Daarnaast is in beide containments activiteit gesimuleerd door aan het begin van de meting even kort te wapperen/borstelen langs oppervlakken en tijdens de gehele meting een continue luchtverplaatsing te genereren door in het containment schuin tegenover elkaar twee ventilatoren te plaatsen op verschillende hoogten (op de grond en op ooghoogte) die continue heen en weer bewogen. Hierdoor worden gesedimenteerde asbestvezels weer in de lucht gebracht. De combinaties van soort asbesthoudend materiaal met soort methodiek worden twee keer herhaald.
- Voorafgaand aan de start van de concentratieverloopmetingen zijn per containment op vier vaste locaties in het containment (op de tafel, onder de tafel, voor de ODM en voor de decontaminatie-unit) kleefmonsters verzameld als

indicatie van de mate van verontreiniging van verschillende delen van het containment.

2.3.3 Overzicht bemeten scenario's

Bovenstaande uitgangspunten hebben geresulteerd in een serie van 26 experimenten verdeeld over 14 scenario's die zijn uitgevoerd gedurende vijf dagen:

- Dag 1 en 2:
  - Droog breken asbestcement golfplaten (2x persoon A, 2x persoon B);
  - Concentratieverloop na droog breken asbestcement golfplaten (2x containment A (laag ventilatievoud), 2x containment B (hoog ventilatievoud));
  - Schoonmaken na droog breken asbestcement golfplaten (2x persoon A, 2x persoon B);
  - Hanteren van gebroken stukken droge asbestcement golfplaat (2x persoon A, 2x persoon B);
  - Schoonmaken na hanteren van gebroken stukken droge asbestcement golfplaat (2x persoon A, 1x persoon B);
- Dag 3:
  - Breken asbestcement golfplaten met schuim (1x persoon A, 2x persoon B);
  - Schoonmaken na breken asbestcement golfplaten met schuim (1x persoon A, 2x persoon B);
  - Droog verwijderen pakkingen (2x persoon A, 1x persoon B);
  - Schoonmaken na droog verwijderen pakkingen (2x persoon A, 1x persoon B);
- Dag 4 en 5
  - Breken amosietplaat met schuim (2x persoon A, 2x persoon B);
  - Schoonmaken na breken amosietplaat met schuim (2x persoon A, 2x persoon B);
  - Droog breken amosietplaat (2x persoon A, 2x persoon B);
  - Concentratieverloop na droog breken amosietplaat (2x containment A (laag ventilatievoud), 2x containment B (hoog ventilatievoud))
  - Schoonmaken na droog breken amosietplaat (2x persoon A, 2x persoon B);

In Tabel 2 worden de 14 scenario's beschreven zoals deze zijn uitgevoerd tijdens de experimenten. Zoals ook uit bovenstaand schema blijkt was het binnen de beschikbare tijd op de vijf meetdagen niet mogelijk om alle scenario's twee keer te laten uitvoeren door de beide personen. Daarom is er voor gekozen om vier scenario's (het breken van asbestcement golfplaten met schuim, het schoonmaken na het breken van asbestcement golfplaten met schuim, het droog verwijderen van pakkingen, en het schoonmaken na het droog verwijderen van pakkingen) drie keer in plaats van vier keer te bemeten. Verder is in verband met wat opstartproblemen tijdens de eerste meetdag besloten om het laatste scenario (het schoonmaken na het hanteren van droge stukken gebroken asbestcement golfplaat) te laten vervallen, waardoor dit scenario uiteindelijk twee keer in plaats van vier keer is bemeten.

Tabel 2: Overzicht van scenario's zoals bemeten tijdens de experimenten

Dag	Exp.	Duur	Scenario	Ventilatie *	Beschrijving scenario
1 / 2	1 / 6	60	Asbestcement golfplaten breken droog	Laag (A / B)	2 AC-golfplaten per containment, ingepakt in plastic (± 1,25 m² per stuk). AC golfplaat uitpakken m.b.v. mes (2x). Elke minuut stuk plaat (af)breken (60x breukvlak creëren) met hamer / met de hand op de rand van de tafel. Afgebroken stukken AC-golfplaat opstapelen op tafel, na het in stukken breken de stukken op stuk plastic leggen en onder de tafel leggen.
	2 / 7	60	Concentratie-verloop	Laag (A) / Hoog (B)	Aan het begin van meting loopt de laborant door het containment om te wapperen met plastic deksel. In het containment zijn schuin tegenover elkaar twee ventilatoren geplaatst op verschillende hoogten (op de grond en op ooghoogte) die continue aan staan en heen en weer bewegen.
	3 / 8	45-60	Opruimen / schoonmaken na droog breken asbestcement golfplaten	Hoog (A / B)	Gebroken stukken AC-golfplaat inpakken in plastic zak, kleine stukjes met de hand bij elkaar vegen en in plastic zak doen. Containment (vloer, wanden, tafel, etc.) schoonmaken met asbeststofzuiger. Containment (vloer, wanden, tafel, etc.) afnemen met natte doeken.
	4 / 9	60	Gebroken droge stukken AC-golfplaat hanteren	Laag (A / B)	Min of meer continu afgebroken stukken AC golfplaat verplaatsen binnen containment (oppakken en weer neerleggen), van de tafel naar de grond/stoel en vice versa. Tussendoor af en toe rusten.
	5 ** / 10	45-60	Opruimen / schoonmaken na hanteren gebroken stukken asbestcement golfplaat	Hoog (A / B)	Gebroken stukken AC-golfplaat inpakken in plastic zak, kleine stukjes met de hand bij elkaar vegen en in plastic zak doen. Containment (vloer, wanden, tafel, etc.) schoonmaken met asbeststofzuiger. Containment (vloer, wanden, tafel, etc.) afnemen met natte doeken.

Dag	Exp.	Duur	Scenario	Ventilatie *	Beschrijving scenario
3	11 / 13	60	Asbestcement golfplaten breken met schuim	Laag (A / B)	2 AC-golfplaten per containment, ingepakt in plastic (± 1,25 m² per stuk). Voorafgaand aan de start van de meting is de 1e AC golfplaat uitgepakt m.b.v. een mes en ingeschuimd met gloriaspuit totdat de gehele plaat is ingeschuimd en het schuim blijft liggen. Tussendoor is ook de 2e AC golfplaat uitgepakt en ingeschuimd. Elke minuut stuk plaat (af)breken (50x breukvlak creëren) met hamer / met de hand op de rand van de tafel. Tussendoor regelmatig opnieuw inschuimen als het schuim verdwijnt. Afgebroken stukken AC-golfplaat opstapelen op tafel, na het in stukken breken de stukken op stuk plastic leggen en onder de tafel leggen.
	12 / 14	45-60	Opruimen / schoonmaken na breken asbestcement golfplaten met schuim	Hoog (A / B)	Gebroken stukken AC-golfplaat inpakken in plastic zak, kleine stukjes met de hand bij elkaar vegen en in plastic zak doen. Containment (vloer, wanden, tafel, etc.) schoonmaken met asbeststofzuiger. Containment (vloer, wanden, tafel, etc.) afnemen met natte doeken.
	13 / 15	60	Droog verwijderen pakkingen	Laag (A / B)	15-20 flensen met pakking per containment, afgetaped. Op tafel bankschroef gemonteerd om flens in vast te kunnen zetten. Flens los bouten met slagmoersleutel / moeraanzetter, pakking er tussenuit halen, indien de pakking verkleefd zit de pakking los steken met een plamuurmes of hamer en beitel, daarna vlakken van de flens waar de pakking tegenaan zat met een plamuurmes, hamer en beitel, krabber en/of staalborstel schoonmaken.
	14 / 16	45-60	Opruimen / schoonmaken na droog	Hoog (A / B)	Verwijderde (stukken van) pakkingen inpakken in plastic zak,

Dag	Exp.	Duur	Scenario	Ventilatie *	Beschrijving scenario
			verwijderen pakkingen		kleine stukjes met de hand bij elkaar vegen en in plastic zak doen. Containment (vloer, wanden, tafel, etc.) schoonmaken met asbeststofzuiger. Containment (vloer, wanden, tafel, etc.) afnemen met natte doeken.
4 / 5	17 / 22		Amosietplaat breken met schuim	Laag (A / B)	1 amosietplaat per containment, ingepakt in plastic (± 1 m²). Voorafgaand aan de meting de amosietplaat uitpakken m.b.v. mes, en inschuimen met gloriaspuit totdat de gehele plaat is ingeschuimd en het schuim blijft liggen. Elke minuut met de hand stuk plaat (af)breken (50x breukvlak creëren). Tussendoor regelmatig opnieuw inschuimen als het schuim verdwijnt. Afgebroken stukken amosietplaat opstapelen op tafel.
	18 / 23		Opruimen / schoonmaken na breken amosietplaat met schuim	Hoog (A / B)	Gebroken stukken amosietplaat inpakken in plastic zak, kleine stukjes met de hand bij elkaar vegen en in plastic zak doen. Containment (vloer, wanden, tafel, etc.) schoonmaken met asbeststofzuiger. Containment (vloer, wanden, tafel, etc.) afnemen met natte doeken.
	19 / 24		Amosietplaat breken droog	Laag (A / B)	1 amosietplaat per containment, ingepakt in plastic (± 1 m²). Amosietplaat uitpakken m.b.v. mes. Elke minuut met de hand stuk plaat (af)breken (60x breukvlak creëren). Afgebroken stukken amosietplaat opstapelen op tafel.
	20 / 25		Concentratie-verloop	Laag (A) / Hoog (B)	Aan het begin van meting loopt de laborant door het containment om te wapperen met plastic deksel. In het containment zijn schuin tegenover elkaar twee ventilatoren geplaatst op verschillende hoogten (op de grond en op ooghoogte) die continue aan staan en heen en weer bewegen.
	21 / 26		Opruimen / schoonmaken	Hoog (A / B)	Gebroken stukken amosietplaat inpakken in plastic zak, kleine

Dag	Exp.	Duur	Scenario	Ventilatie *	Beschrijving scenario
			na droog breken amosietplaat		stukjes met de hand bij elkaar vegen en in plastic zak doen. Containment (vloer, wanden, tafel, etc.) schoonmaken met asbeststofzuiger. Containment (vloer, wanden, tafel, etc.) afnemen met natte doeken.

* Ventilatie in containment tijdens de metingen. Laag: 0,1-1 verversingen per uur; Hoog: minimaal 6 verversingen per uur en 20 Pascal onderdruk

** Experiment is komen te vervallen

2.3.4 Inzet sensoren

De conventionele manier van het bepalen van de concentratie respirabele asbestvezels in de lucht, het op een bepaalde locatie aanzuigen van een bepaalde hoeveelheid lucht door een filter gedurende een bepaalde tijd, waarna het filter in een laboratorium wordt geanalyseerd, geeft geen inzicht in de mogelijke variatie in de concentratie gedurende de tijd dat wordt gemeten. Daarnaast is het resultaat van dergelijke luchtmetingen niet direct beschikbaar. Met behulp van sensoren die real-time de deeltjesconcentratie in kaart brengen kan de variatie in de concentratie deeltjes in de lucht over de tijd echter wel in kaart worden gebracht. Op dit moment zijn er geen sensoren commercieel beschikbaar die specifiek (asbest)vezels kunnen meten. Er wordt echter aangenomen dat tijdens het werken met asbesthoudend materiaal de emissie van stofdeeltjes min of meer evenredig zal zijn met de emissie van asbestvezels. Daarom is gebruik gemaakt van de Airbeam2 (Habitat Map) fijnstof sensor om kwalitatief de variatie in de concentratie deeltjes in de lucht over de tijd in kaart te brengen.

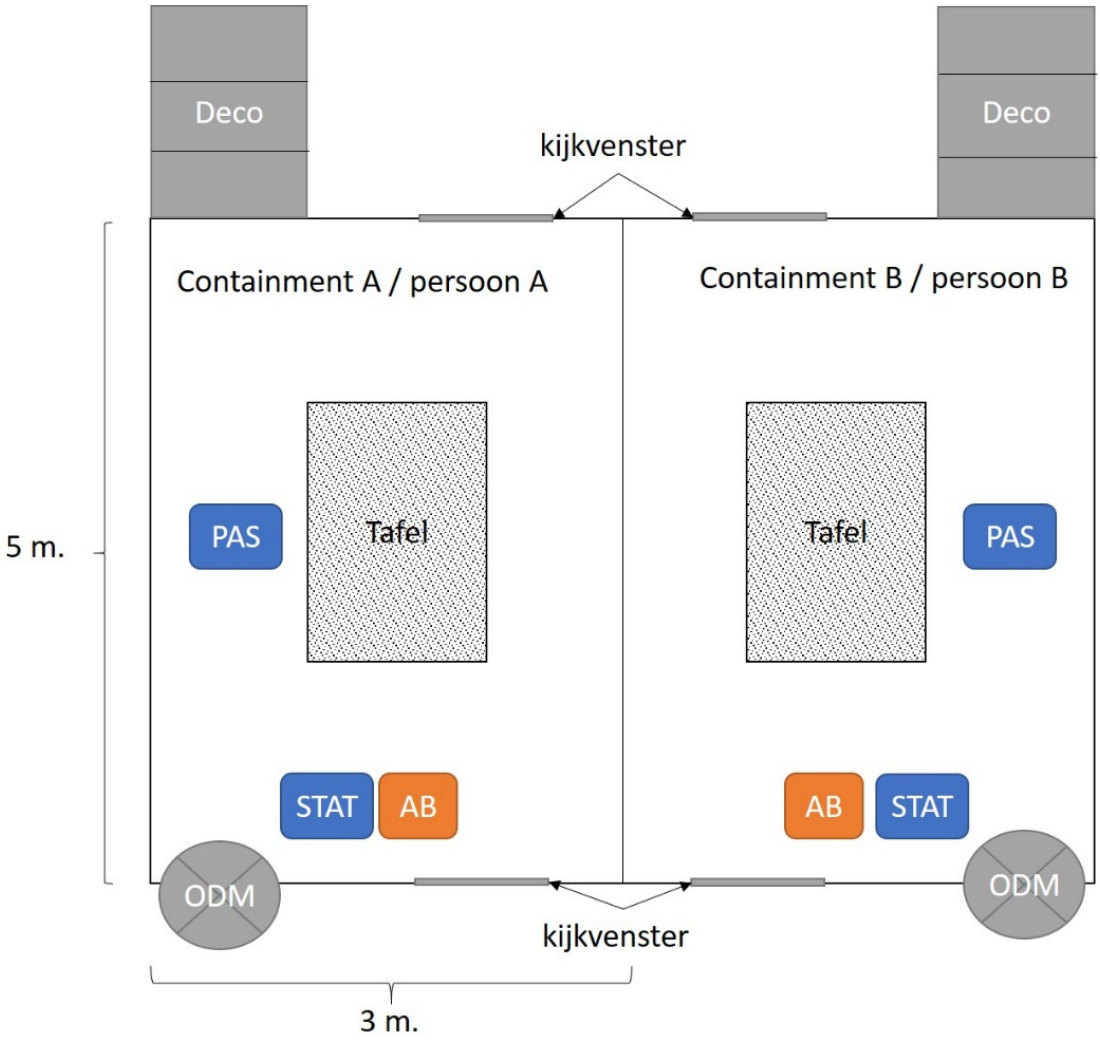
De AirBeam2 meet door middel van een lichtverstrooiingsmethode in z'n directe omgeving de concentraties fijnstof, ook wel particulate matter (PM) genoemd, in drie verschillende fracties (<1 µm (PM1), <2,5 µm (PM2.5) en <10 µm (PM10)). Lucht wordt door een detectiekamer gezogen waarin licht van een laser deeltjes in de luchtstroom verstrooit. Deze lichtverstrooiing wordt geregistreerd door een detector en omgezet in een meting die het aantal deeltjes in de lucht schat. Deze metingen worden één keer per seconde opgeslagen. De resultaten van deze metingen worden weergegeven als massaconcentratie (µg/m³) weergegeven.

Respirabele asbestvezels zijn in principe kleiner dan 3,5-4 µm. Wanneer de vezeldimensies (lengte en breedte) worden omgezet in equivalente aërodynamische diameters is het mogelijk om een vezelgrootteverdeling te produceren op basis van massa zodat deze kan worden vergeleken met de massaconcentraties van de verschillende stoffracties. Meer dan 90% van de asbestvezels heeft een respirabele grootte (PM2.5). Wanneer vezelaantallen worden omgezet in vezelmassa is 55% van de totale vezelmassa respirabel. De massaverdeling van asbestvezels met een lengte> 5 µm (volgens telregels in ISO 14966) lijkt echter meer op de verdeling PM10, dat onderdeel uitmaakt van de inhaleerbare stoffractie (Franken et al, 2021).

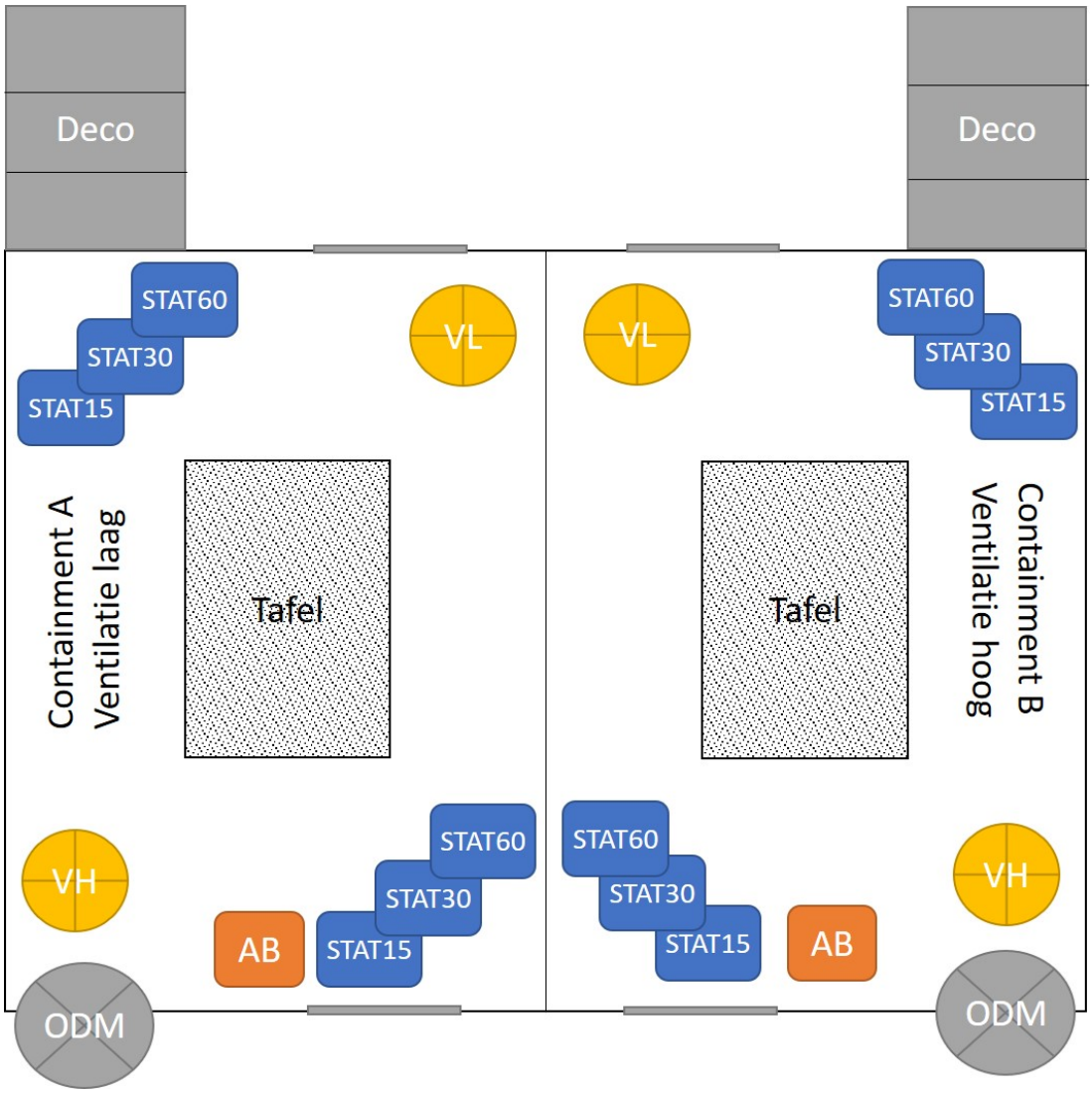
In elk containment is een Airbeam2 opgehangen, welke is gepositioneerd in de buurt van de stationaire meting(en). Deze twee Airbeams2 hebben tijdens elke meetdag continu gemeten, om zo een indruk te krijgen van de variatie in stofconcentraties gedurende de experimenten maar ook gedurende de dag. Met behulp van de software R zijn de data grafisch weergegeven. Omdat deze sensoren niet specifiek zijn voor (asbestvezels) en er geen vergelijking met referentiewaarden mogelijk was, kunnen de resultaten niet als absolute waarden worden gezien. De resultaten moeten daarom als indicatief worden beschouwd.

2.3.5 Inrichting containments

In Figuur 1 en 2 wordt schematisch weergegeven hoe de containments waren ingedeeld tijdens de experimenten waarin respectievelijk de specifieke handelingen (handelingsscenario's) zijn uitgevoerd en het concentratieverloop in kaart is gebracht (concentratieverloopscenario's). De positie van de tafel was niet altijd hetzelfde. Tijdens de eerste experimenten was deze dwars geplaats, daarna voornamelijk op de manier zoals in de figuren is aangegeven. Verder was de positie van de persoon niet statisch, want deze bewoog zich om de tafel heen, zeker wanneer er werd geschuimd. Ook wisselde de positie van de stationaire metingen en de Airbeam2's aan de korte zijde van het containment aan de kant van de ODMs in beperkte mate.



Figuur 1: Schematische weergave van de indeling van het containment tijdens handelingsscenario's (Deco = decontaminatie-unit, ODM = onderdrukmachine, PAS = persoonlijke meting, STAT = stationaire meting, AB = Airbeam2 sensor)



Figuur 2: Schematische weergave van de indeling van het containment tijdens concentratieverloopscenario's (Deco = decontaminatie-unit, ODM = onderdrukmachine, VH = ventilator hoog (op standaard), VL = ventilator laag (op de grond) STAT15/30/60 = stationaire meting 15/30/60 minuten, AB = Airbeam2 sensor)

2.4 Uitvoering metingen

Het onderzoek heeft plaatsgevonden van woensdag 15 juli tot en met dinsdag 21 juli 2020 (vijf werkdagen), en is uitgevoerd onder regie en toezicht van TNO. Het meet-technische deel is uitgevoerd door twee laboranten van het hiertoe geaccrediteerde laboratorium Nomacon B.V.. Iedere laborant was verantwoordelijk voor het uitvoeren van de metingen in één van de containments (A of B).

De luchtmetingen zijn uitgevoerd met behulp van 25 mm goud-gecoate polycarbonaat membraanfilters (type Nuclepore™) met een nominale poriegrootte van 0,8 µm. Deze filters bevonden zich in wegwerpfilterhouders (gold-coated polycarbonate filters, type CSG25080PC, TJ Environmental). Voor zowel de persoonlijke als de stationaire metingen is gebruik gemaakt van niet-draagbare accupompen (Airbox Variflow 8,

BaSystemen), welke waren ingesteld op een debiet van ± 8 L/min. In geval van de persoonlijke metingen werd de filterhouder in de ademzone van de persoon geplaatst, en met een lange slang (+/- 3 meter) aan de pomp bevestigd, zodat de persoon zich vrij kon bewegen. In geval van de stationaire metingen werd de filterhouder op een uitschuifbare antenne (onderdeel van de pomp) geplaatst op ongeveer 1,5 meter van de grond. De Airbeam2 werd met behulp van een statief ook op ongeveer 1,5 meter van de grond in de nabijheid van het stationaire meetpunt geplaatst.

Zowel direct voor als direct na de monsterneming is het ingestelde debiet gecontroleerd met een debietmeter (GT1355 Sho-rate G, Brooks Instruments) op basis van de gebruikte pomp-filterhouder combinatie.

Ter verificatie van de samenstelling van het asbesthoudende materiaal zoals gebruikt tijdens de experimenten zijn per meetdag een aantal materiaalmonsters verzameld.

Alle metingen zijn in een containment uitgevoerd. De handelingen waarbij de metingen zijn verzameld zijn uitgevoerd door twee medewerkers (A en B) van het betrokken gecertificeerde asbestsaneringsbedrijf Horyon Innovaties en Technieken B.V.. De opzet van de scenario's is voorafgaand aan de uitvoering van de experimenten gedeeld en afgestemd met het asbestsaneringsbedrijf, en voorafgaand aan elk experiment doorgesproken met de betrokken medewerkers en laboranten. Tijdens het uitvoeren van de experimenten droegen de betrokken saneerders adembescherming: een afhankelijk luchtsysteem tijdens de experimenten met asbestcement golfplaten en pakkingen, en een onafhankelijk luchtsysteem tijdens de experimenten met amosietplaat. De laboranten waren tijdens de experimenten zelf zo min mogelijk aanwezig in het containment. De aanwezige medewerkers van TNO en Nomacon zagen er op toe dat tijdens de experimenten de handelingen werden uitgevoerd volgens het vooraf opgestelde scenario. De codering van de te verzamelen monsters is voorafgaand aan de experimenten door TNO opgesteld en gedeeld met de betrokken laboranten (zie Bijlage 1).

De experimenten werden van buiten het containment geregisseerd en geobserveerd door een medewerker van TNO. Voor het registreren van de omstandigheden tijdens de metingen is gebruik gemaakt van vooraf opgestelde meetformulieren (zie Bijlage 2).

2.5 Analyse monsters

De analyse van de luchtmonsters is uitgevoerd conform ISO 14966 (ISO, 2019), de analyse van de materiaalmonsters is uitgevoerd conform NEN 5896 (NEN, 2003), en de analyse van de kleefmonsters is uitgevoerd conform ISO 16000-27 (ISO, 2014).

Het grootste deel van de luchtmonsters en alle materiaal- en kleefmonsters zijn geanalyseerd door het hiertoe geaccrediteerde laboratorium Nomacon B.V. Daarnaast heeft TNO een deel van de luchtmonsters geanalyseerd, en heeft TNO op

een beperkt aantal luchtmonsters een contra-analyse uitgevoerd. De verdeling van de luchtmonsters over de beide laboratoria is voorafgaand door TNO bepaald (zie ook Bijlage 3).

Een deel van de verzamelde monsters, namelijk van experimenten 12 en 14 (inpakken/schoonmaken na het breken van asbestcement golfplaten met schuim en inpakken/schoonmaken na het droog verwijderen van pakkingen) en van experimenten 18 en 23 (inpakken/schoonmaken na het breken van amosietplaat met schuim), is na afloop van de experimenten opgeslagen bij TNO om (eventueel) op een later tijdstip te worden geanalyseerd. De opgeslagen monsters omvatten zowel de luchtmonsters als de kleefmonsters.

3 Resultaten van de experimenten en beschouwing

3.1 Resultaten materiaalmonsters

In Tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de resultaten van de materiaalmonsters zoals verzameld tijdens de experimenten (de bijbehorende analysecertificaten zijn opgenomen in een aparte bijlage bij deze rapportage). Uit deze resultaten blijkt dat de resultaten van deze analyses niet altijd overeenkomen met de samenstelling van de verschillende asbesthoudende toepassingen zoals gerapporteerd in de asbestinventarisatie-rapporten behorende bij deze materialen (zie Tabel 1). De samenstelling van de pakkingen is vergelijkbaar, maar het gehalte amosiet zoals aangetroffen in de amosietplaat (board) ligt een categorie lager (15-30% versus 30-60%). Van de amosietplaat zoals is gehanteerd tijdens experimenten 17-18 en 22-23 (breken amosietplaat met schuim en daarna inpakken/opruimen) is geen materiaalmonster genomen. Maar aangezien deze amosietplaten afkomstig waren van een relatief kleine partij die als een geheel in dezelfde ruimte waren toegepast als plafondplaten wordt aangenomen dat de samenstelling hetzelfde zal zijn geweest. Echter, de partij asbestcement golfplaten bleek uit twee verschillende soorten te bestaan (chrysotiel met en zonder crocidoliet), terwijl de samenstelling volgens het asbestinventarisatierapport vergelijkbaar zou zijn (alleen chrysotiel met crocidoliet, zie Tabel 1).

Tabel 3: Overzicht resultaten materiaalmonsters

Dag	Experi-ment	Contain-ment	Monster	Materiaal	Resultaat	Hecht-gebonden
1	1-4	A	M01	Golfplaat	Chrysotiel 10-15%	Ja
		B	M02	Golfplaat	Chrysotiel 10-15%	Ja
2	6-10	A	M03 *	Golfplaat	Chrysotiel 10-15%, Crocidoliet 2-5%	Ja
		B	M04	Golfplaat	Chrysotiel 10-15%	Ja
3	11-12	A	M05	Golfplaat	Chrysotiel 10-15%, Crocidoliet 2-5%	Ja
		B	M06	Golfplaat	Chrysotiel 10-15%	Ja
	13-14	A	Mpakking **	Pakking	Chrysotiel 30-60%	Nee
		B	M01 **	Golfplaat	Chrysotiel 10-15%	Ja
	15-16	A	M07	Pakking	Chrysotiel 30-60%	Nee
		B	M08	Pakking	Chrysotiel 30-60%	Nee
4	17-21	A	M09	Board	Amosiet 15-30%	Nee
		B	M10	Board	Amosiet 15-30%	Nee
5	24-26	A	M11	Board	Amosiet 15-30%	Nee
		B	M12	Board	Amosiet 15-30%	Nee

* In materiaalmonster 2 verschillende soorten golfplaat aangetroffen. Het ene stuk golfplaat bevat 10-15% chrysotiel, het andere stuk golfplaat bevat 10-15% chrysotiel en 2-5% crocidoliet
** Extra materiaalmonster (afwijkende codering)

Bij het voorbereiden van de experimenten is uitgegaan van de informatie uit de asbestinventarisatierapporten, waardoor er voor elke serie experimenten twee

willekeurige ingepakte asbestcement golfplaten in het containment zijn gezet. Dit betekent dat achteraf (na analyse van de materiaalmonsters) is gebleken dat tijdens deze experimenten met verschillende soorten golfplaten is gewerkt, en dat tijdens in ieder geval één serie van de experimenten (experimenten 6-10) met beide soorten golfplaten is gewerkt.

Omdat tijdens het verzamelen van de materiaalmonsters steeds slechts een beperkt aantal stukjes materiaal bij elkaar in een zakje zijn gedaan om te worden geanalyseerd, bestaat de kans dat ook als er met twee soorten asbestcement golfplaat is gewerkt er in het materiaalmonster slechts één soort asbestcement golfplaat aanwezig is. Daarom wordt aangenomen dat als op de filters van de luchtmonsters (zie Bijlage 3) of op de kleefmonsters (zie Tabel 7) van een bepaalde serie experimenten crocidoliet is aangetroffen, er tijdens deze experimenten in ieder geval een van de twee asbestcement golfplaten crocidoliet bevatte (zie Tabel 4).

Tabel 4: Samenstelling van de asbestcement golfplaten zoals toegepast tijdens de experimenten zoals aangenomen op basis van de resultaten van zowel de materiaal- en als de luchtmonsters

Dag	Experiment	Containment	Samenstelling asbestcement golfplaten
1	1-4	A	Chrysotiel 10-15%, crocidoliet 2-5%
		B	Chrysotiel 10-15%
2	6-10	A	Chrysotiel 10-15%, crocidoliet 2-5%
		B	Chrysotiel 10-15%, crocidoliet 2-5% *
3	11-12	A	Chrysotiel 10-15%, crocidoliet 2-5%
		B	Chrysotiel 10-15%, crocidoliet 2-5%
	13-14	B	Chrysotiel 10-15%

* Op slechts 1 van de 14 filters van de luchtmonsters is naast chrysotiel ook crocidoliet aangetroffen

3.2 Kwaliteitsborging analyse en resultaten luchtmetingen

12 van de 14 verschillende scenario's waren gericht op het bepalen van de asbestvezelconcentratie tijdens het uitvoeren van specifieke handelingen met een bepaald asbesthoudend materiaal. In totaal zijn in dit kader 21 experimenten bestaande uit 42 meetseries uitgevoerd, waarbij 42 persoonlijke en 42 stationaire metingen zijn verzameld. Omdat vanwege het beschikbare budget niet alle verzamelde monsters konden worden geanalyseerd, zijn de filters van 34 persoonlijke metingen en 34 stationaire metingen geanalyseerd.
Daarnaast waren 2 van de 14 verschillende scenario's gericht op het bepalen van het verloop in de asbestvezelconcentratie na afloop van handelingen met asbesthoudend materiaal. In totaal zijn in dit kader vier experimenten bestaande uit acht meetseries uitgevoerd, waarbij 48 stationaire luchtmetingen zijn verzameld, en zijn geanalyseerd.

3.2.1 Kwaliteitsborging analyse luchtmetingen

Twee van de filters van de persoonlijke metingen waren overbeladen conform de criteria van ISO 14966 (zie Bijlage 3). Deze filters waren echter wel analyseerbaar, en

daarom is besloten om de resultaten van deze metingen wel mee te nemen in de verdere evaluatie van de meetgegevens. Overbelading leidt mogelijk tot een onderschatting van de werkelijke concentratie.

Van de 116 luchtmonsters zijn 100 luchtmonsters geanalyseerd door Nomacon B.V. en 16 luchtmonsters geanalyseerd door TNO. Bij de selectie van deze 16 monsters is uitgegaan van een gelijkmatige verdeling over de verschillende scenario's en uitgevoerde experimenten. Op basis van een eerste evaluatie van de resultaten bleek dat van een aantal luchtmetingen de gemeten asbestvezelconcentratie niet in lijn lag met de andere resultaten binnen hetzelfde scenario. Op basis van deze evaluatie is besloten om 20 filters van luchtmetingen opnieuw te laten analyseren door Nomacon B.V.. Op drie van deze 20 filters is tevens door TNO een contra-analyse uitgevoerd. Van de 20 opnieuw geanalyseerde filters bleek in 11 gevallen het resultaat van de heranalyse binnen het betrouwbaarheidsinterval van het resultaat van de eerste analyse te vallen. Van de overige negen filters bleek het resultaat van de heranalyse een factor 2 tot 10 maal hoger te liggen dan het resultaat van de eerste analyse. Hierdoor liggen de resultaten meer in de lijn met de andere resultaten binnen hetzelfde scenario. De hogere vezelconcentraties waren tevens vergelijkbaar met de concentraties van de door TNO geanalyseerde luchtfilters (contra-analyses). Voor alle opnieuw geanalyseerde filters is het resultaat van de heranalyse gebruikt bij de verdere verwerking en interpretatie van de resultaten van de experimenten. Voor de drie filters waar een contra-analyse op is uitgevoerd is het hoogste analyseresultaat gebruikt bij de verdere verwerking en interpretatie van de resultaten van de experimenten.

Een mogelijke verklaring voor het verschil tussen de resultaten van de eerste analyse en heranalyse zou de aanwezigheid van dunne vezels kunnen zijn, welke met behulp van de 'standaard' instelling van de microscoop minder eenvoudig te detecteren zijn. Daarnaast moest in verband met een lage vezelbelading op de filters voor een deel van de filters een groter aantal beeldvelden worden geanalyseerd.

De analyseresultaten van de drie filters die ook door TNO zijn geanalyseerd (contra-analyse) liggen gemiddeld ca. 10% hoger dan de analyseresultaten van Nomacon B.V., maar de verschillen zijn niet significant. De spreiding in de resultaten van de filters (uitgedrukt als variantie coëfficiënt (CV)) die tweemaal zijn geanalyseerd is 16%, terwijl de spreiding in de resultaten van de duplometingen (parallel verzamelde metingen ten behoeve van het concentratieverloop) ca. 52% is. Hieruit kan worden opgemaakt dat de monsterneming in het containment tweemaal meer bijdraagt aan de totale meetfout dan de analyse van de monsters. De spreiding in de resultaten van de duplometingen is namelijk het gevolg van de variantie in de monsterneming (ca. 36%) en de variantie in de analyse (ca. 16%). Met name voor concentratieverloop experimenten na het droog breken van amosietplaat is er sprake van een relatief grote spreiding in de resultaten van de duplometingen (ca. 60%), terwijl de spreiding na handelingen met asbestcement op het niveau zit van de analyse-variantie (ca. 27%). Verder is de spreiding in de resultaten van de duplometingen hoger bij concentratieverloop experimenten die zijn uitgevoerd in een containment met een

hoge ventilatievoud. Wellicht worden tijdens het ventileren van het containment amosietvezels vrijgemaakt uit de restanten van de daarvoor gebroken amosietplaat en/of komen vezels die zijn vrijgekomen tijdens het breken opnieuw in de lucht, en wordt dit effect sterker naarmate er meer wordt geventileerd. In geval van de asbestcement golfplaten zijn de chrysotielvezels goed gebonden in de cementmatrix, waardoor dit effect minder optreedt. Aangezien de filterhouders van de duplometingen op andere posities binnen het containment stonden, waarbij er één van de twee dichterbij de ODM was opgesteld, is dit een mogelijke verklaring voor de relatieve verschillen in de resultaten van de duplometingen.

3.2.2 Resultaten luchtmetingen

In Tabel 5 wordt een overzicht van de resultaten van de verzamelde taakgerichte persoonlijke en stationaire luchtmetingen per scenario weergegeven. In Bijlage 4 wordt in aanvulling op de informatie uit Tabel 2 indien relevant extra contextuele informatie gegeven met betrekking tot omstandigheden tijdens de experimenten, bijvoorbeeld met betrekking tot de hoeveelheid vloeistof die is gebruikt om het product in te schuimen, de hoeveelheid pakkingen die is verwijderd tijdens de metingen of de tijd die is besteed aan de verschillende onderdelen van de schoonmaakprocedure. In Bijlage 3 zijn de analyseresultaten van alle metingen weergegeven. De bijbehorende analysecertificaten zijn opgenomen in een aparte bijlage bij deze rapportage. In Bijlage 5 is per scenario beeldmateriaal (foto's) opgenomen.

De resultaten zoals verzameld tijdens de verschillende experimenten zijn gebruikt om scenario's met elkaar te vergelijken. Omdat de experimenten hebben plaatsgevonden in zeer kleine ruimtes (37,5 m^3) met geringe ventilatie, waarbij de afstand tussen de persoonlijke en de stationaire meting klein was (1,2-3 m), zal verdunning van concentratie door luchtverversing en afstand tot de bron nauwelijks hebben plaatsgevonden. Dat er nauwelijks verdunning heeft plaatsgevonden wordt over het algemeen bevestigd door de resultaten van de metingen (zie Tabel 5 en Bijlage 3). Gezien het doel van dit onderzoek, het bepalen van het (gemiddelde) effect van verschillende factoren op de gemeten asbestvezelconcentraties, is besloten om de resultaten van de persoonlijke en de stationaire metingen samen te voegen. Hierdoor is de beschikbare dataset per scenario groter, waardoor meer rekening wordt gehouden met de geobserveerde variatie in gemeten concentraties per scenario. Per scenario is een rekenkundig gemiddelde (AM) berekend op basis van de nominale waarden van de analyseresultaten van zowel de persoonlijke als de stationaire metingen, waarna de gemiddelde concentraties van scenario's met elkaar zijn vergeleken. Door het beperkte aantal metingen per scenario is geen statistische analyse op significantie uitgevoerd.

Tabel 5: Overzicht van gemeten nominale asbestvezelconcentraties (in vezels/m³) per scenario

Scenario	Set	N	AM	SD	GM	GSD	min-max
Asbestcement golfplaten breken met schuim (experiment 11 & 13)	PAS	3	15.100	9.860	13.000	4,5	6.680-25.950
	STAT	3	7.760	3.680	7.050	4,3	8.690-10.880
	Totaal	6	11.430	7.780	9.570	1,9	6.680-25.950
Asbestcement golfplaten breken droog (experiment 1 & 6)	PAS	4	181.700	75.330	167.270	1,7	82.000-263.540
	STAT	4	231.330	22.720	230.540	1,1	213.250-264.330
	Totaal	8	206.520	57.940	196.370	1,5	82.000-264.330
Schoonmaken na droog breken asbestcement golfplaten (experiment 3 & 8)	PAS	4	117.060	187.760	28.870	9,9	1.480-397.700
	STAT	4	10.140	16.710	3.470	5,1	830-35.170
	Totaal	8	63.600	136.000	10.010	8,7	830-397.700
Gebroken droge stukken asbestcement golfplaten hanteren (experiment 4 & 9)	PAS	4	51.120	40.500	39.470	2,4	13.000-108.360
	STAT	4	87.000	62.390	69.050	2,3	29.440-159.990
	Totaal	8	69.060	52.340	52.200	2,3	13.000-159.990
Schoonmaken na gebroken droge stukken asbestcement golfplaten hanteren (experiment 10)	PAS	2	24.690	950	24.680	1,0	25.360-24.020
	STAT	2	51.250	23.950	48.370	1,6	34.320-68.190
	Totaal	4	37.970	20.660	34.550	1,6	25.360-68.190
Pakkingen droog verwijderen (experiment 13 & 15)	PAS	3	131.900	104.510	79.020	4,6	13.690-212.010
	STAT	3	179.560	144.830	117.510	3,8	26.000-313.710
	Totaal	6	155.730	115.930	96.360	3,7	13.687-316.710
Schoonmaken na pakkingen droog verwijderen (experiment 16)	PAS	2	3.260	1.030	3.180	1,4	2.540-3.990
	STAT	2	3.170	670	3.140	1,2	2.700-3.650
	Totaal	4	3.220	710	3.160	1,2	2.540-3.990
Amosietplaat breken met schuim (experiment 17 & 22)	PAS	4	641.430	526.330	474.680	2,6	139.430-1.366.300
	STAT	4	732.800	513.710	571.460	2,5	166.000-1.408.320
	Totaal	8	687.120	483.950	520.830	2,4	139.430-1.408.320
Amosietplaat breken droog (experiment 19 & 24)	PAS	4	1.841.120	1.154.710	1.114.450	4,7	109.780-2.554.710
	STAT	4	1.590.670	1.211.470	755.450	7,3	39.320-3.000.000
	Totaal	8	1.715.900	1.108.290	917.550	5,3	39.320-3.000.000
Schoonmaken na droog breken amosietplaat (experiment 21 en 26)	PAS	4	771.810	853.620	286.160	7,0	30.770-1.792.750
	STAT	4	107.360	100.370	69.340	3,1	22.710-233.590
	Totaal	8	439.580	665.400	140.860	5,2	22.710-1.792.750
Totaal	PAS	34	438.640	749.410	91.350	7,5	1.480-2.554.710
	STAT	34	344.350	649.280	66.570	8,5	830-3.000.000
	Totaal	68	391.500	697.510	77.980	7,9	830-3.000.000

PAS = persoonlijke metingen, STAT = stationaire metingen, N = aantal metingen, AM = rekenkundig gemiddelde, SD = standaarddeviatie, GM = geometrisch gemiddelde, GSD = geometrische standaarddeviatie, min-max = minimum - maximum

Het samenvoegen van de resultaten van persoonlijke en stationaire metingen dan wel het gebruik van de resultaten van stationaire metingen als surrogaat voor persoonlijke

metingen is niet toegestaan wanneer de mate van blootstelling van personen wordt bepaald om de resultaten hiervan te toetsen aan de grenswaarde. In dat geval is het namelijk van groot belang de mate van blootstelling en bijbehorende variatie in blootstelling binnen en tussen personen zo direct en realistisch mogelijk in kaart te brengen.

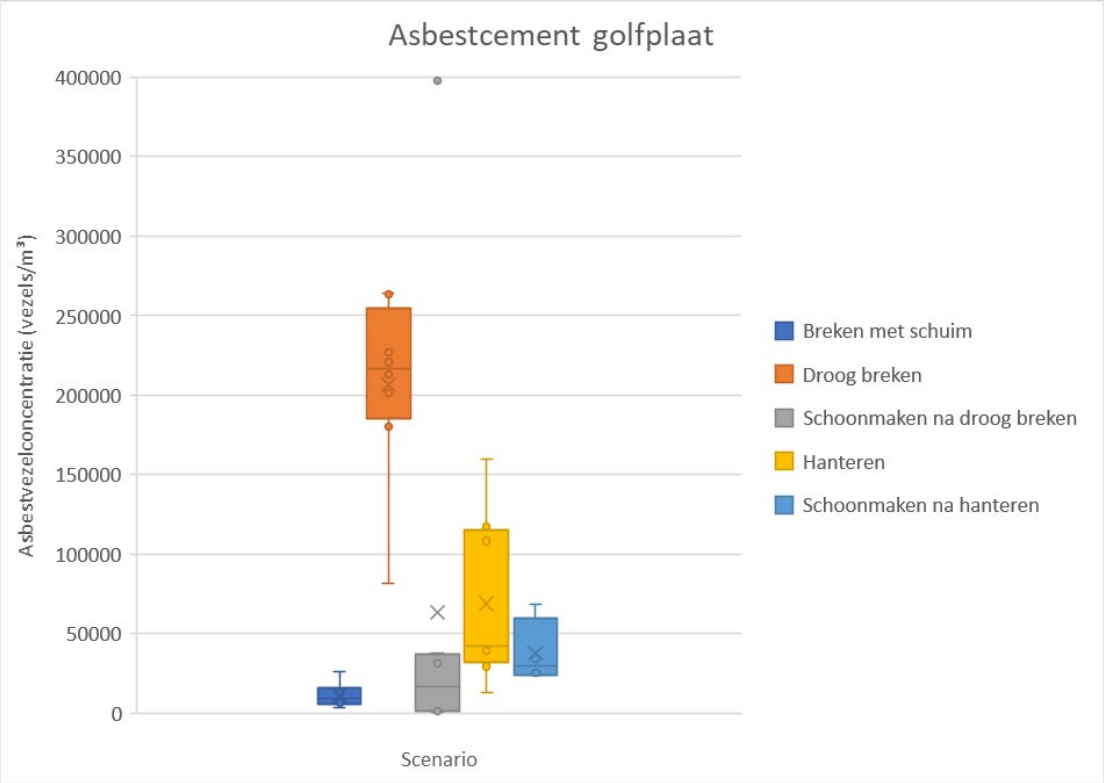
Alle experimenten zijn in een gecontroleerde omgeving uitgevoerd, waarbij per scenario een beperkt aantal handelingen werd uitgevoerd. Beide medewerkers hebben vooraf en tijdens de experimenten dezelfde instructies gekregen met betrekking tot het uitvoeren van deze handelingen. Tijdens het observeren van de experimenten zijn geen duidelijke verschillen geconstateerd in de manier van werken van beide medewerkers. Ook in deze experimentele opzet is er sprake van variatie in gemeten asbestvezelconcentraties binnen vrijwel ieder scenario, en is er ook sprake van variatie in gemeten asbestvezelconcentraties tussen de beide personen. De mate van variatie blijkt onder andere uit de grootte van de geometrische standaarddeviaties (GSDs). Over het algemeen zijn de GSDs zoals berekend voor de verschillende scenario's vergelijkbaar met de GSDs die worden gerapporteerd in relatie tot de resultaten van taakgerichte persoonlijke metingen voor andere gevaarlijke stoffen. Zo worden in de database met blootstellingsgegevens zoals gebruikt voor de ontwikkeling van het blootstellingsmodel Advanced Reach Tool (ART), voor het schatten van inhalatoire blootstelling aan chemische stoffen, voor de verschillende onderliggende datasets GSDs tussen 1,5 en 6 gerapporteerd (Schinkel et al., 2013). In deze database zijn ook de gegevens van een aantal (semi-)experimentele onderzoeken opgenomen. Ter illustratie, de GSDs voor het scheppen van poeder in een experimentele setting varieerden tussen 1,5 en 6 (Brouwer et al., 2006), en de GSDs tijdens het bereiden van medicijnen in apotheken in een semi-experimentele setting waarbij zoveel mogelijk factoren hetzelfde werden gehouden lagen rond de 6 (Tielemans et al., 2006). Daarnaast geeft ook het verschil tussen het minimum en het maximum van een dataset (de distributie van gemeten asbestvezelconcentraties) een indicatie van de mate van variatie. Met uitzondering van een aantal van de schoonmaak-scenario's en het droog breken van amosietplaat is dit verschil vergelijkbaar met de resultaten van andere taakgerichte metingen (factor 2-25 verschil). In geval van een aantal van de schoonmaak-scenario's en het droog breken van amosietplaat is de range tussen het minimum en het maximum aanzienlijk groter (factor 50-80 verschil), en zijn ook de GSDs relatief hoog, zonder aanwijsbare verklaring.

De resultaten van deze experimenten bevestigen dat een zekere mate van variatie in asbestconcentraties niet ongewoon is. Het is daarom belangrijk om voldoende blootstellingsmetingen te verzamelen wanneer men een uitspraak wil doen over de mate van blootstelling tijdens een bepaalde situatie, waarbij ook rekening moet worden gehouden met mogelijke variatie binnen (op verschillende momenten) en tussen personen. Op die manier kan de distributie van de mate van blootstelling op een goede manier in kaart worden gebracht, zodat bijvoorbeeld met voldoende zekerheid kan worden aangetoond of een grenswaarde wel of niet wordt overschreden. En wanneer slechts een indicatieve set van meetgegevens beschikbaar is, wordt door het hanteren van een veiligheidsfactor (toetsen aan 10% van de

grenswaarde) de mogelijke variatie in de mate van blootstelling wanneer die slechts ten dele bekend is alsnog in acht genomen.

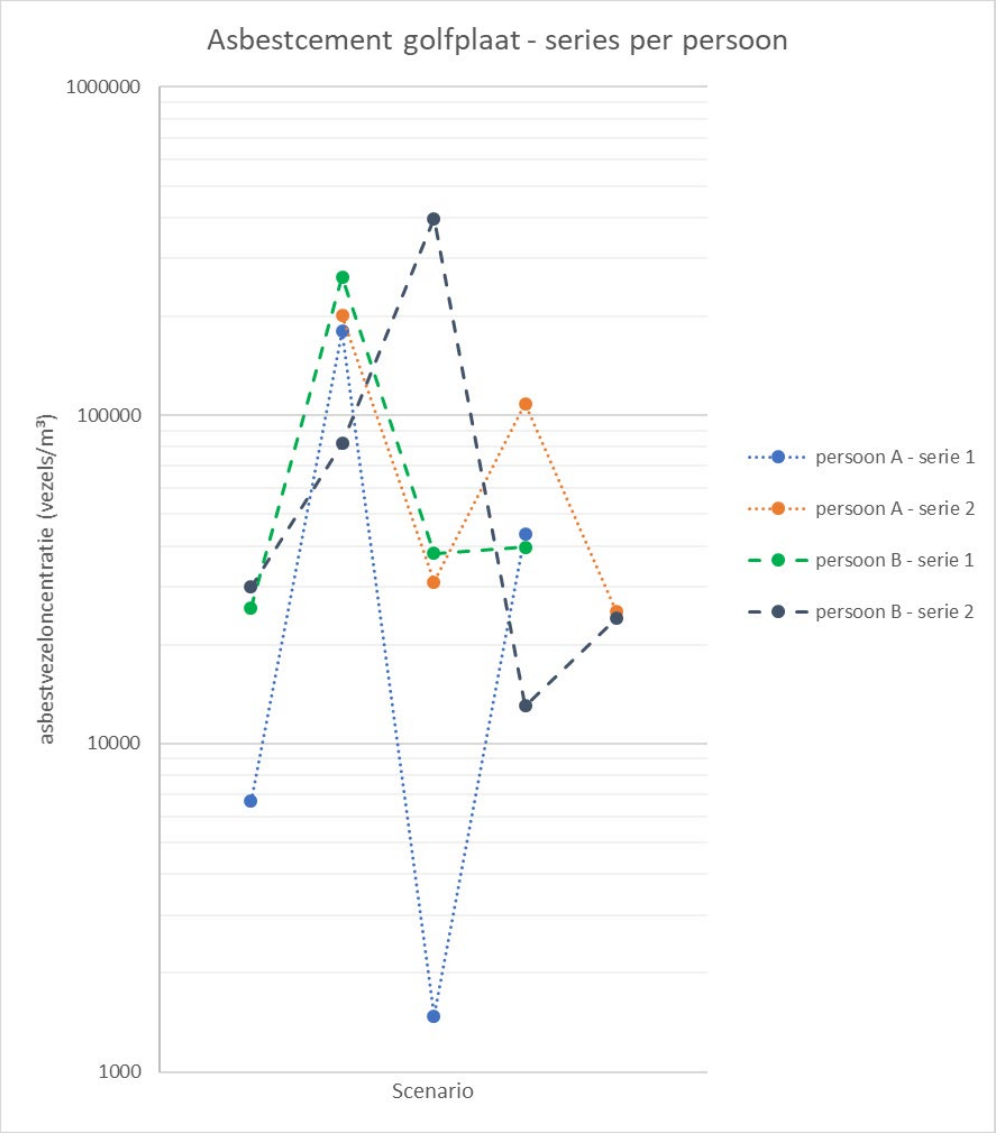
3.2.2.1 *Resultaten luchtmetingen asbestcement golfplaat*

De resultaten van de luchtmetingen zoals verzameld tijdens de handelingsscenario's met asbestcement golfplaat worden weergegeven in Tabel 5 en Figuur 3a en Figuur 3b. Van de negen experimenten verdeeld over vijf scenario's die zijn uitgevoerd met asbestcement golfplaat zijn over het algemeen de hoogste persoonlijke asbestvezelconcentraties gemeten tijdens het droog breken van het materiaal, gevolgd door het hanteren van de droge stukken gebroken materiaal, het schoonmaken na het droog breken, het schoonmaken na het hanteren van de droge gebroken stukken materiaal en het breken van het materiaal met schuim.



Figuur 3A: Persoonlijke en stationaire asbestvezelconcentraties (nominale waarden, in vezels/m³) zoals gemeten tijdens de experimenten met asbestcement golfplaat, op een lineaire schaal (van 0 tot 400.000 vezels/m³). Per scenario zijn de gemeten concentraties weergegeven als een boxplot. Hierbij wordt distributie weergegeven aan de hand van het 25ste, 50ste (de mediaan) en 75ste percentiel (de 'box'), het 25-percentiel minus 1,5*KIA en het 75-percentiel plus 1,5*IKA (de 'lijnen met streepjes' aan de buitenkant van de box), eventuele uitschieters (de 'dots' buiten de 'lijnen met streepjes') en het rekenkundig gemiddelde (de 'x') [1]

[1] De interkwartielafstand (IKA) is de afstand tussen de beide kwartielen aan weerszijden van de mediaan, dus het verschil tussen het 75-percentiel en het 25-percentiel. Gemeten concentraties worden gemarkeerd als 'uitschieter' wanneer de concentratie meer dan 1,5 keer de interkwartielafstand afwijkt.



Figuur 3B: Persoonlijke asbestvezelconcentraties (nominale waarden, in vezels/m³) zoals gemeten tijdens de experimenten met asbestcement golfplaat, op een logaritmische schaal (van 1.000 tot 1.000.000 vezels/m³). Per persoon zijn de gemeten asbestvezelconcentraties van een serie (van links naar rechts eerste of tweede keer uitvoeren van de scenario's breken met schuim, droog breken, schoonmaken na droog breken, hanteren van droge stukken en schoonmaken na hanteren) met elkaar verbonden. (NB. Niet alle scenario's zijn twee keer door beide personen uitgevoerd, en het scenario 'breken met schuim' is niet op dezelfde meetdag uitgevoerd als de andere scenario's).

Een aantal resultaten van individuele metingen wijkt op basis van het soort handeling dat is uitgevoerd af van de resultaten van de andere metingen binnen het scenario, en liggen niet in de lijn der verwachting. Zo is de gemeten concentratie van persoon B tijdens het schoonmaken na het droog breken van asbestcement golfplaat (experiment 8) hoger dan de gemeten concentratie tijdens het droog breken van het materiaal zelf (experiment 6). Verder is de gemeten concentratie van persoon B tijdens het schoonmaken na het droog hanteren van gebroken stukken asbestcement golfplaat (experiment 10) hoger dan de gemeten concentratie tijdens het hanteren

zelf (experiment 9). Op basis van de beschikbare informatie over de metingen en de analyse van de filters kan geen oorzaak voor deze 'afwijkende' meetresultaten worden aangewezen. De stofconcentraties zoals gemeten met de sensoren tijdens de verschillende experimenten (zie Figuur 12 in paragraaf hieronder) laten echter een ander beeld zien, en bevestigen dat de uitkomsten van deze twee experimenten afwijken. Op basis van deze gegevens zou de concentratie tijdens het schoonmaken na het droog breken (experiment 8) lager in plaats van hoger zijn geweest dan tijdens het droog breken van asbestcement golfplaat (experiment 6), en zou de concentratie tijdens het schoonmaken na hanteren van gebroken stukken asbestcement (experiment 10) lager in plaats van hoger zijn geweest dan tijdens het hanteren van droge stukken gebroken asbestcement golfplaat (experiment 9). Op basis van de evaluatie van de meetresultaten binnen de scenario's worden de gemeten asbestvezelconcentraties tijdens het schoonmaken na het droog breken van asbestcement golfplaat (experiment 8, containment B) aangemerkt als significant afwijkend (zie Figuur 3a). Daarnaast wordt het resultaat van de meting tijdens het schoonmaken na het hanteren van gebroken stukken asbestcement (experiment 10, containment B), dat hoger ligt dan verwacht maar niet significant afwijkt, aangemerkt als 'potentieel afwijkend'. Dit wil zeggen dat het meetresultaat afwijkt van wat men zou verwachten, maar wel wordt meegenomen in de berekeningen, omdat er geen (statistische) reden is om dit meetresultaat te verwerpen. De resultaten van de stationaire metingen zijn veelal vergelijkbaar met (soms wat hoger, soms wat lager; n=9) dan wel lager (n=5) dan de gemeten concentraties van de persoonlijke metingen zijn. Echter, voor een klein aantal metingen (n=3) ligt de gemeten concentratie van de stationaire metingen zonder aanwijsbare reden (ver) boven het resultaat van de persoonlijke meting.

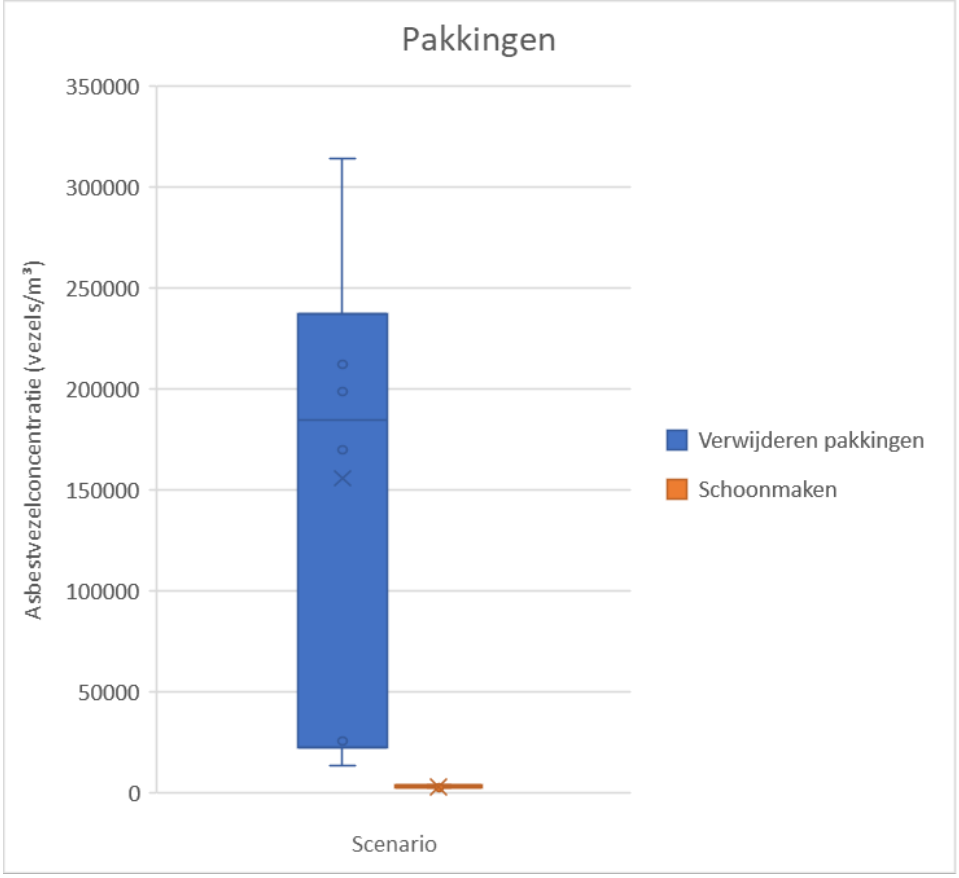
Vergelijking van de gemiddelde gemeten concentraties van de verschillende scenario's resulteert in de volgende factor-verschillen:

- Asbestcement golfplaten breken met schuim resulteert in een factor 18 lagere concentratie dan droog breken van asbestcement golfplaten;
- Hanteren van droge gebroken stukken asbestcement golfplaat resulteert gemiddeld in een factor 3 lagere concentratie dan droog breken van asbestcement golfplaten;
- Schoonmaken na een activiteit resulteert in lagere blootstelling dan de activiteit zelf. Een één-op-één vergelijking is echter niet mogelijk, omdat tijdens het schoonmaken het ventilatievoud in de ruimte hoog was (8 verversingen/uur), terwijl tijdens de voorgaande activiteit het ventilatievoud laag was (<0,5 verversingen/uur).

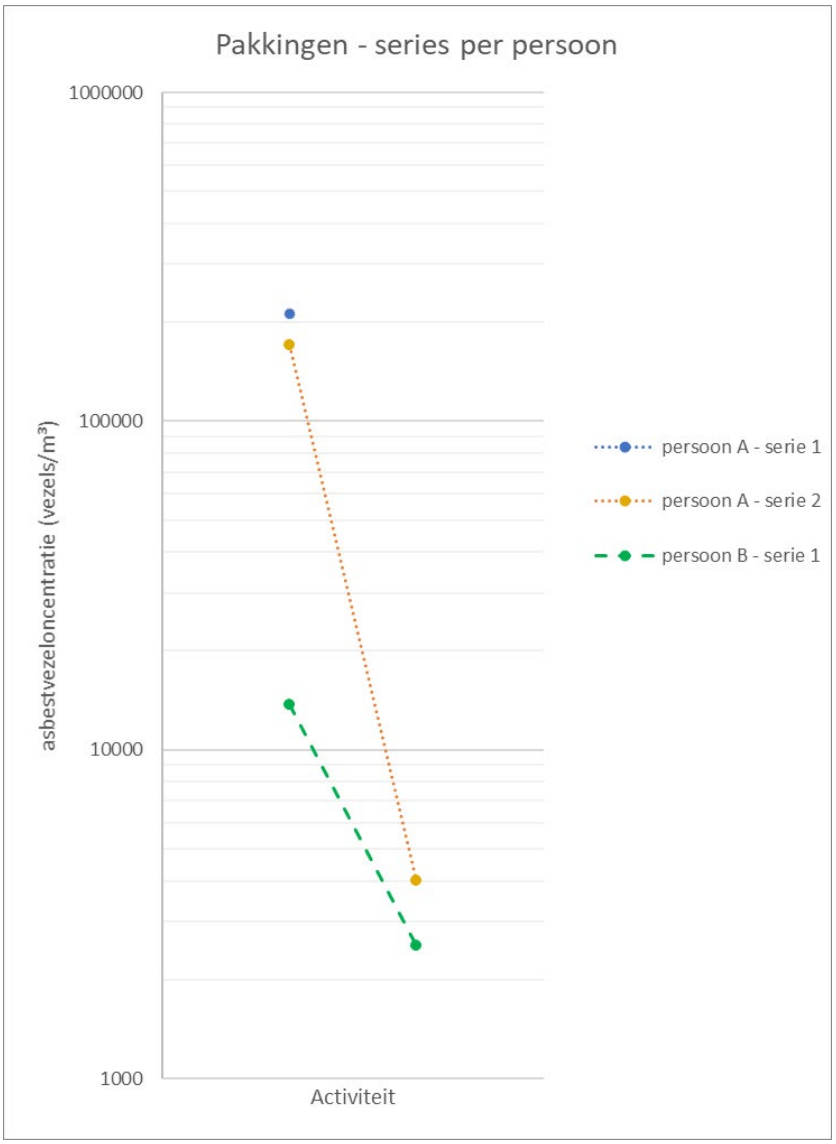
3.2.2.2 Resultaten luchtmetingen pakkingen

De asbesthoudende pakkingen (doorsnede 10-15 cm) werden gedurende een uur droog verwijderd van flensen van afgezaagde leidingen, waarbij onder andere gebruik werd gemaakt van een staalborstel. De resultaten van de luchtmetingen zoals verzameld tijdens de handelingsscenario's met pakkingen worden weergegeven in Tabel 5 en Figuur 4a en Figuur 4b. Van de drie experimenten verdeeld over twee scenario's die zijn uitgevoerd met pakkingen zijn tijdens het droog verwijderen van de

pakkingen duidelijk veel hogere persoonlijke asbestvezelconcentraties gemeten dan tijdens het schoonmaken na het verwijderen van de pakkingen.



Figuur 4A: Persoonlijke en stationaire asbestvezelconcentraties (nominale waarden, in vezels/m³) zoals gemeten tijdens de experimenten met pakkingen, op een lineaire schaal (van 0 tot 350.000 vezels/m³). Per scenario zijn de gemeten concentraties weergegeven als een boxplot. Hierbij wordt distributie weergegeven aan de hand van het 25ste, 50ste (de mediaan) en 75ste percentiel (de 'box'), het 25-percentiel minus 1,5*KIA en het 75-percentiel plus 1,5*IKA (de 'lijnen met streepjes' aan de buitenkant van de box), en het rekenkundig gemiddelde (de 'x')



Figuur 4B: Persoonlijke asbestvezelconcentraties (nominale waarden, in vezels/m³) zoals gemeten tijdens de experimenten met pakkingen, op een logaritmische schaal (van 1.000 tot 1.000.000 vezels/m³). Per persoon zijn de gemeten asbestvezelconcentraties van een serie (van links naar rechts eerste of tweede keer uitvoeren van de scenario's droog verwijderen pakkingen en schoonmaken na verwijderen pakkingen) met elkaar verbonden. (NB. Niet alle scenario's zijn twee keer door beide personen uitgevoerd).

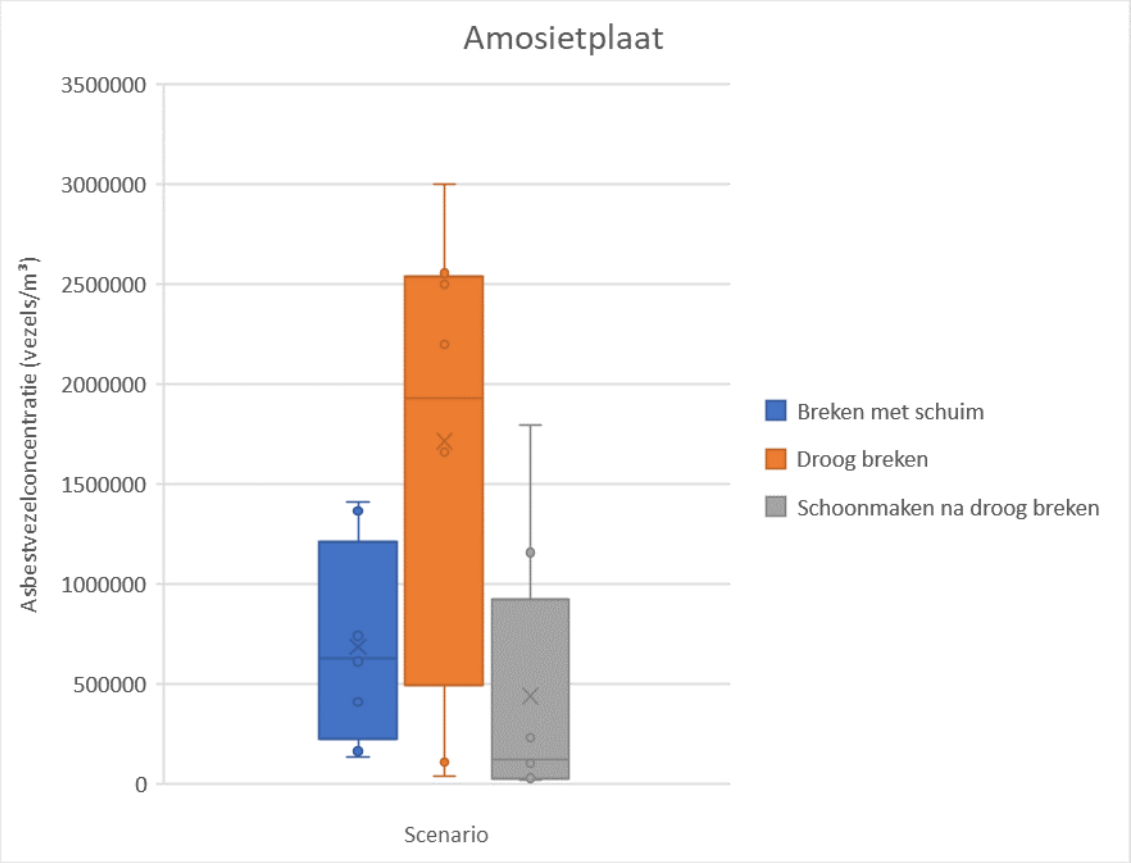
Het resultaat van één van de individuele metingen wijkt op basis van het soort handeling dat is uitgevoerd echter af van de resultaten van de andere metingen binnen het scenario, en ligt niet in de lijn der verwachting. De gemeten concentratie van persoon B tijdens verwijderen van de pakkingen (experiment 15) is namelijk niet veel hoger dan de gemeten concentratie tijdens het schoonmaken na het verwijderen van de pakkingen (experiment 16), en ligt ver onder de gemeten concentraties van persoon A tijdens het verwijderen van pakkingen. Op basis van de beschikbare informatie over de metingen en de analyse van de filters kan geen oorzaak voor dit 'afwijkende' meetresultaat worden aangewezen, en op basis van de statistische analyse van de resultaten van de metingen binnen het scenario is dit meetresultaat

ook niet significant afwijkend. De stofconcentraties zoals gemeten met de sensoren tijdens de verschillende experimenten (zie Figuur 12 in paragraaf hieronder) laten echter een ander beeld zien. Op basis van deze gegevens zou de concentratie tijdens het droog verwijderen van pakkingen (experiment 15) niet min of meer vergelijkbaar, maar duidelijk hoger zijn geweest dan tijdens het schoonmaken na het droog verwijderen van pakkingen (experiment 16). Daarom wordt het resultaat van deze meting (experiment 15, containment B), dat dus lager ligt dan verwacht, aangemerkt als 'potentieel afwijkend'. Dit wil zeggen dat het meetresultaat afwijkt van wat men zou verwachten, maar wel wordt meegenomen in de berekeningen, omdat er geen (statistische) reden is om dit meetresultaat te verwerpen. De resultaten van de stationaire metingen zijn vergelijkbaar met (soms wat hoger, soms wat lager; n=5) de resultaten van de persoonlijke metingen.

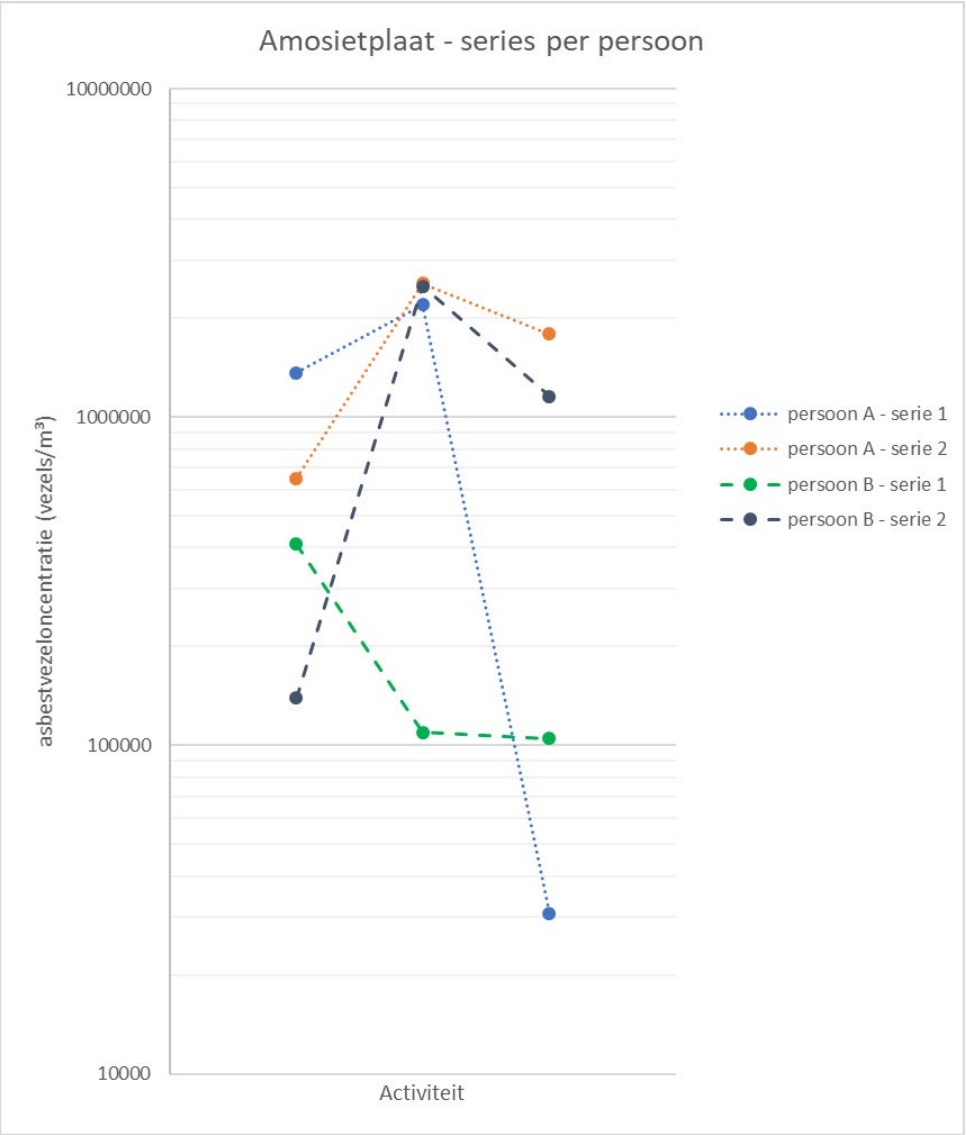
Wanneer de gemiddelde gemeten concentraties van de twee scenario's met elkaar worden vergeleken resulteert schoonmaken na het droog en grof verwijderen van pakkingen in een veel lagere gemeten asbestvezelconcentratie dan het droog en grof verwijderen van pakkingen. Een één-op-één vergelijking waarbij een factor wordt afgeleid is echter niet mogelijk, omdat tijdens het schoonmaken het ventilatievoud in de ruimte hoog was (8 verversingen/uur), terwijl tijdens de voorgaande activiteit het ventilatievoud laag was (<0,5 verversingen/uur).

3.2.2.3 Resultaten luchtmetingen amosietplaat

De resultaten van de luchtmetingen zoals verzameld tijdens de handelingsscenario's met asbestcement golfplaat worden weergegeven in Tabel 5 en Figuur 5a en Figuur 5b. Van de zes experimenten verdeeld over drie scenario's die zijn uitgevoerd met amosietplaat zijn gemiddeld gezien de hoogste persoonlijke asbestvezelconcentraties gemeten tijdens het droog breken van het materiaal, gevolgd door het breken van het materiaal met schuim en het schoonmaken na het droog breken.



Figuur 5A: Persoonlijke en stationaire asbestvezelconcentraties (nominale waarden, in vezels/m³) zoals gemeten tijdens de experimenten met amosietplaat, op een lineaire schaal (van 0 tot 3.500.000 vezels/m³). Per scenario zijn de gemeten concentraties weergegeven als een boxplot. Hierbij wordt distributie weergegeven aan de hand van het 25ste, 50ste (de mediaan) en 75ste percentiel (de 'box'), het 25-percentiel minus 1,5*KIA en het 75-percentiel plus 1,5*IKA (de 'lijnen met streepjes' aan de buitenkant van de box), en het rekenkundig gemiddelde (de 'x')



Figuur 5B: Persoonlijke asbestvezelconcentraties (nominale waarden, in vezels/m³) zoals gemeten tijdens de experimenten met amosietplaat, op een logaritmische schaal (van 10.000 tot 10.000.000 vezels/m³). Per persoon zijn de gemeten asbestvezelconcentraties van een serie (van links naar rechts eerste of tweede keer uitvoeren van de scenario's breken met schuim, droog breken en schoonmaken na droog breken) met elkaar verbonden.

Het resultaat van één van de individuele metingen wijkt op basis van het soort handeling dat is uitgevoerd echter af van de resultaten van de andere metingen binnen het scenario, en ligt niet in de lijn der verwachting. De gemeten concentratie van persoon B tijdens het droog breken van amosietplaat (experiment 19) is namelijk lager dan de gemeten concentratie tijdens het breken van het materiaal met schuim (experiment 17), evenals lager dan een aantal van de gemeten stationaire concentraties tijdens het daarop volgende concentratieverloop-experiment (experiment 20) en het schoonmaken tijdens het droog breken (experiment 21), en ligt ook ver onder de andere gemeten concentraties voor dit scenario. Op basis van de beschikbare informatie over de metingen en de analyse van de filters kan geen oorzaak voor dit 'afwijkende' meetresultaat worden aangewezen, en op basis van de

statistische analyse van de resultaten van de metingen binnen het scenario wordt dit meetresultaat ook niet geïdentificeerd als een significant afwijkend. De stofconcentraties zoals gemeten met de sensoren tijdens de verschillende experimenten (zie figuur 12 in paragraaf hieronder) laten echter een ander beeld zien, en bevestigen dat het resultaat van dit experiment afwijkt. Op basis van deze gegevens zou de concentratie tijdens het droog breken van amosietplaat (experiment 19) wel lager zijn geweest dan tijdens het breken van amosietplaat met schuim (experiment 17), maar hoger dan sommige metingen tijdens het concentratieverloop-experiment (experiment 20), en hoger dan tijdens het schoonmaken na het droog breken van amosietplaat (experiment 21). Daarom wordt het resultaat van deze meting (experiment 19, containment B), dat dus lager ligt dan verwacht, aangemerkt als 'potentieel afwijkend'. Dit wil zeggen dat het meetresultaat afwijkt van wat men zou verwachten, maar wel wordt meegenomen in de berekeningen, omdat er geen (statistische) reden is om dit meetresultaat te verwerpen. De resultaten van de stationaire metingen zijn vergelijkbaar met (soms wat hoger, soms wat lager; n=7) dan wel lager (n=5) dan de resultaten van de persoonlijke metingen.

Vergelijking van de gemiddelde gemeten concentraties van de verschillende scenario's resulteert in de volgende factor-verschillen:

- Amosietplaat breken met schuim resulteert in een factor 2,5 lagere concentratie dan het droog breken van amosietplaat;
- Schoonmaken na droog breken resulteert in lagere blootstelling dan de activiteit zelf. Een één-op-één vergelijking is echter niet mogelijk, omdat tijdens het schoonmaken het ventilatievoud in de ruimte hoog was (8 verversingen/uur), terwijl tijdens de voorgaande activiteit het ventilatievoud laag was (<0,5 verversingen/uur).

3.3 Resultaten concentratieverloop-metingen

Twee van de 14 onderzochte scenario's waren gericht op het in kaart brengen van het concentratieverloop in een afgeschermde ruimte met een hoog en een laag ingesteld ventilatievoud na het veelvuldig breken van asbesthoudend materiaal (asbestcement golfplaten en amosietplaat). In totaal zijn in dit kader vier experimenten bestaande uit acht meetseries uitgevoerd, waarbij 48 stationaire metingen zijn verzameld. Twee van de 48 filters konden niet worden geanalyseerd omdat bij het openen van de filterhouder bleek dat het filter gescheurd was. De oorzaak hiervan is onbekend. Daarnaast was bij twee van de 48 metingen sprake van meer dan 10% verloop in het debiet gedurende de meting. Omdat het feitelijke volume aangezogen lucht van deze metingen bekend is (wordt namelijk geregistreerd door de accupomp) is besloten de resultaten van deze metingen wel mee te nemen in de verdere evaluatie van de meetgegevens.

In Tabel 6 en Figuur 6 en 7 wordt een overzicht gegeven van het concentratieverloop in de containments met een laag ingesteld ventilatievoud (containment A) en een hoog ingesteld ventilatievoud (containment B) na het droog breken van respectievelijk asbestcement golfplaat en amosietplaat. In Bijlage 3 en in Figuur B6.1

in Bijlage 6 zijn ook de analyseresultaten van de individuele metingen weergegeven. De bijbehorende analysecertificaten zijn opgenomen in een aparte bijlage bij deze rapportage. In Bijlage 7 is per scenario beeldmateriaal (foto's) opgenomen.

Tabel 6: Overzicht van gemiddelde asbestvezelsconcentraties (in vezels/m³) over de tijd (rust) na het droog breken van asbestcement golfplaat en amosietplaat (handeling) bij laag en hoog ventilatievoud

	Containment A (<0,5 verversingen/uur)		**Containment B (8 verversingen/uur)**	
Concentratieverloop na droog breken asbestcement golfplaat	Experiment 2 *	Experiment 7	Experiment 2 *	Experiment 7
Gemiddelde concentratie tijdens droog breken asbestcement golfplaat (experiment 1 en 6) **	222.160 (100%)	210.930 (100%)	245.350 (100%)	147.630 (100%)
Gemiddelde concentratie na 15 minuten	5.900 (2,7%)	7.740 (3,7%)	5.390 (2,2%)	6.540 (4,4%)
Gemiddelde concentratie na 30 minuten	590 (0,3%)	3.220 (1,5%)	1.580 (0,6%)	4.430 (3,0%)
Gemiddelde concentratie na 60 minuten	1.540 (0,7%)	620 (0,3%)	380 (0,2%)	3.520 (2,4%)
Gemiddelde concentratie tijdens concentratieverloop	2.680 (1,2%)	3.860 (1,8%)	2.450 (1,0%)	4.830 (3,3%)
Concentratieverloop na droog breken amosietplaat	Experiment 20	Experiment 25	Experiment 20	Experiment 25
Gemiddelde concentratie tijdens droog breken amosietplaat (experiment 19 en 24) **	1.932.150 (100%)	2.777.350 (100%)	2.263.010 *** (100%)	2.079.530 (100%)
Gemiddelde concentratie na 15 minuten	146.310 (7,6%)	754.870 (27,2%)	134.110 (5,9%)	206.330 (9,9%)
Gemiddelde concentratie na 30 minuten	68.200 (3,5%)	326.610 (11,8%)	66.370 (2,9%)	163.850 (7,9%)
Gemiddelde concentratie na 60 minuten	39.450 (2,0%)	152.170 (5,5%)	59.290 (2,6%)	121.330 (5,8%)
Gemiddelde tijdens concentratieverloop	87.940 (4,6%)	342.490 (12,3%)	86.590 (3,8%)	163.830 (7,9%)

* Langere tijd tussen start metingen concentratieverloop-experiment en einde voorafgaande experiment

** Op basis van de resultaten van de persoonlijke en de stationaire meting in hetzelfde containment

*** De gemiddelde asbestvezelconcentratie zoals gemeten in containment B tijdens het droog breken van amosietplaat (experiment 19) is aangemerkt als 'potentieel afwijkend'. Daarom is deze waarde verder niet meegenomen in de vergelijking, en is een alternatieve waarde berekend op basis van het gemiddelde van de gemeten concentraties tijdens het droog breken van amosietplaat van de drie andere meetseries.

Om het verloop van de concentratie in de containments in kaart te brengen, is de gemiddelde gemeten concentratie tijdens het voorafgaande experiment (het droog

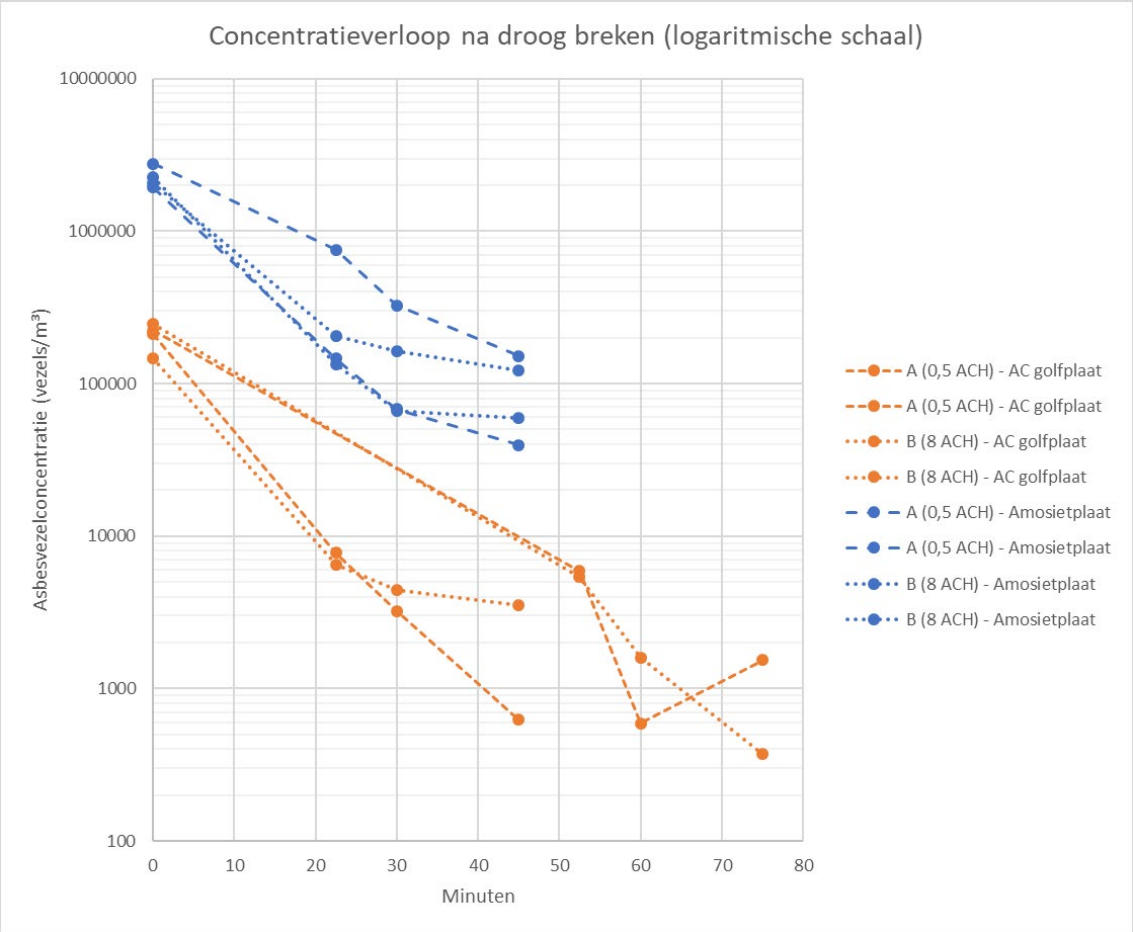
breken van asbestcement golfplaten of het droog breken van amosietplaat) als ‘start’ concentratie aangehouden. De metingen van de concentratieverloop-experimenten zijn relatief kort (15-18 minuten) na het einde van het voorafgaande experiment ingezet. Bij de start van deze metingen zijn ook pas de ventilatoren aangezet, en is de mate van ventilatie door de ODM van containment B aangepast om het gewenste ventilatievoud te verkrijgen van respectievelijk 0,5 en 8 verversingen per uur in respectievelijk containment A en B. In de tussentijd stond in beide containments het ventilatievoud ingesteld op 0,5 verversingen/uur. Op de eerste meetdag was de tijd tussen het eind van het voorafgaande experiment (experiment 1) en de start van het concentratieverloop-experiment (experiment 2) echter langer (47 minuten), waardoor de concentratie in de containments in de tussentijd waarschijnlijk meer is afgenomen dan op de andere meetdagen.

In zowel Figuur 6 (gemeten concentraties op logaritmische schaal) als in Figuur 7 (percentage afname op lineaire schaal) wordt het concentratieverloop op basis van het rekenkundig gemiddelde van de gemeten asbestvezelconcentraties op een bepaald tijdstip voor zowel asbestcement golfplaat als amosietplaat weergegeven. Omdat de gemeten concentratie de gemiddelde concentratie zoals gemeten over een bepaalde periode (15, 30 en 60 minuten) weergeeft, is de helft van de meetduur genomen als ijkpunt in de figuren (respectievelijk 7,5, 15 en 30 minuten). Verder is de tijd tussen het einde van het voorgaande experiment waarbij het materiaal is gebroken en de start van het concentratieverloop-experiment (45 dan wel 15 minuten) opgeteld bij de meetduur.

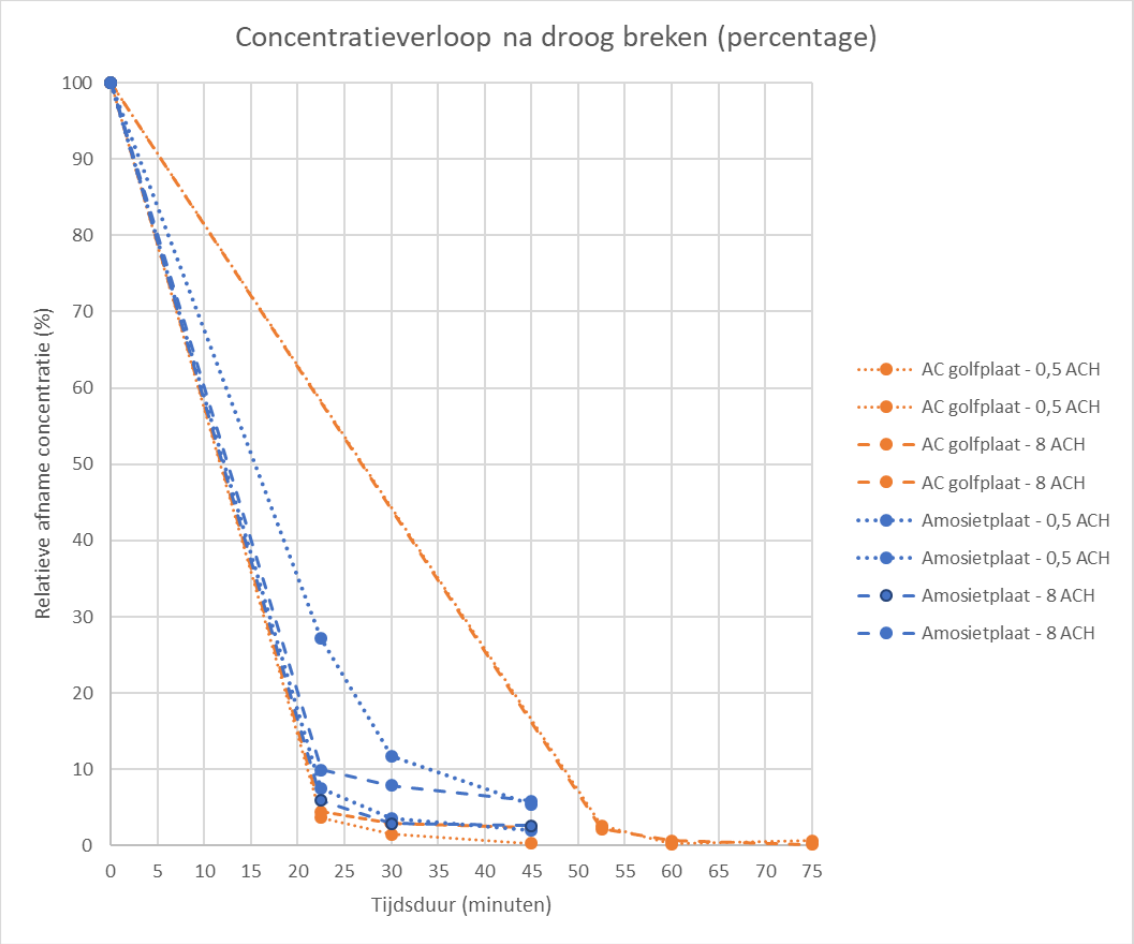
Over het geheel gezien neemt de asbestvezelconcentratie in ruimtes met een hoge mate van verontreiniging waarin ventilatoren zorgen voor een continue luchtverplaatsing snel af. De afname van de asbestvezelconcentratie was relatief gezien het grootst bij de eerste meting (gemiddelde over 15 minuten). Op dat tijdstip betrof de gemiddelde asbestvezelconcentratie in de containments 2-4% van de concentratie zoals gemeten tijdens het droog breken van asbestcement golfplaten en 8-27 % van de concentratie zoals gemeten tijdens het droog breken van amosietplaten; de gemiddelde concentratie in de ruimte lag dus een factor 4-45 lager dan de startconcentratie. Bij de derde meting (gemiddelde over 60 minuten) betrof de gemiddelde asbestvezelconcentratie in de containments 0,2-2% van de concentratie zoals gemeten tijdens het droog breken van asbestcement golfplaten, en 2-6% van de concentratie zoals gemeten tijdens het droog breken van amosietplaten; de gemiddelde concentratie in de ruimte lag dus een factor 17-655 lager dan de startconcentratie.

De concentratie na het droog breken van asbestcement golfplaat loopt relatief meer terug dan na het droog breken van amosietplaat. Dit verschil wordt deels verklaard doordat er bij het eerste experiment na het droog breken van asbestcement golfplaten meer tijd zat tussen de voorafgaande handeling en de start van het concentratieverloop experiment, waardoor de concentratie bij de start van het experiment al meer is afgenomen. Daarnaast komen reeds gesedimenteerde amosietvezels door de continue luchtverplaatsing in de containments (door de twee

ventilatoren voor het simuleren van activiteit) waarschijnlijk makkelijker weer in de lucht dan (voornamelijk) chrysotielvezels afkomstig uit de asbestcement golfplaten.



Figuur 6: Gemiddelde asbestvezelconcentratie tijdens concentratieverloopmetingen in containment na het droog breken asbestcement (AC) golfplaat of amosietplaat (0 minuten) bij een laag (<0,5 verversingen/uur (ACH), containment A) en hoog (8 ACH, containment B) ventilatievoud. Logaritmische schaal. Tijdstip in minuten van elk meetpunt is combinatie van helft van de meetduur (15, 30 en 60 minuten) en de tijd tussen het einde van het voorgaande experiment en de start van het concentratieverloop-experiment. Doordat er meer tijd zat tussen het einde van het experiment waarin het asbestcement werd gebroken (experiment 1) en de start van de metingen van het concentratieverloop-experiment (experiment 2) op de eerste meetdag (45 in plaats van 15 minuten) laten de resultaten van deze experimenten (de twee meest rechtse oranje lijnen) een iets ander beeld zien.



Figuur 7: Resultaten van concentratieverloopmetingen, gepresenteerd als relatieve percentages, na het droog breken van asbestcement (AC) golfplaat en amosietplaat. NB. In deze figuur zijn rechte lijnen getrokken tussen de verschillende meetpunten, terwijl wordt aangenomen dat het concentratieverloop in feite een exponentiele curve naar beneden zal volgen (zie ook Figuur B6.2 in Bijlage 6). Doordat er meer tijd zat tussen het einde van het experiment waarin het asbestcement werd gebroken (experiment 1) en de start van de metingen van het concentratieverloop-experiment (experiment 2) op de eerste meetdag (45 in plaats van 15 minuten) laten de resultaten van deze experimenten (de twee meest rechtse oranje lijnen) een iets ander beeld zien.

Bij de opzet van de experimenten is ervoor gekozen om het concentratieverloop in kaart te brengen direct na het droog breken van het asbesthoudend materiaal, zonder tussentijdse schoonmaak van de containments. De asbestvezelconcentratie in de lucht is dan nog hoog, zodat de afname in asbestvezelconcentratie beter te meten is. Het schoonmaken van de ruimte zou resulteren in een verdere verdunning en daardoor verlaging van de concentratie in de ruimte, waardoor (wanneer de concentratie vezels in de lucht onder de bepalingsgrens zou komen) het verloop in de concentratie over de tijd niet zichtbaar zou zijn geweest. De consequentie van deze keuze is dat deze situatie niet direct kan worden vergeleken met de situatie tijdens een eindbeoordeling, waarbij de ruimte al is schoongemaakt en daardoor de kans op resuspensie (zeer) klein is. Wanneer het werkgebied is schoongemaakt mag worden

aangenomen dat er geen vezels in de lucht komen door resuspensie, waardoor de concentratie in de lucht nog sneller af zal nemen.

De resultaten van de experimenten laten zien dat de concentratie asbestvezels in de lucht na het stoppen van de handeling(en) met asbesthoudend materiaal exponentieel afneemt. Op een gegeven moment lijkt er zich een evenwicht te ontwikkelen, waarbij het aantal deeltjes dat in de lucht gebracht wordt door de ventilatoren vergelijkbaar is met de hoeveelheid vezels die door de ODMs uit de ruimte wordt verwijderd. De stofconcentraties zoals gemeten met de sensoren tijdens de verschillende experimenten (zie Figuur 12 in paragraaf hieronder) bevestigen dit beeld. De resultaten van deze sensoren laten ook zien dat de stofconcentraties in de tijd tussen het eind van het voorgaande experiment en de start van het concentratieverloop-experiment (15-47 minuten) al behoorlijk is afgenomen. Voor de Figuren 6 en 7 betekent dit dat de asbestvezelconcentratie bij de start van de concentratieverloop-experimenten lager zal zijn geweest dan de aangegeven concentraties op tijdstip 0 minuten.

Afgezien van deze tussentijdse afname laten de resultaten van de sensoren een snellere verlaging van de concentratie in containment A zien dan op grond van een ventilatievoud van 0,5 verversingen per uur zou worden verwacht. Daarnaast lijkt er nauwelijks sprake te zijn van een verschil in het verloop van de asbestvezelconcentratie in de lucht tussen de ruimte met een laag of hoog ventilatievoud (zie Figuur 6 en 7), terwijl bij een hoog ventilatievoud (8 ACH, containment B) de verdunning 16x sneller zou moeten gaan dan bij een laag ventilatievoud (0,5 ACH, containment A). Vooral het concentratieverloop in containment A, met een vooraf ingesteld ventilatievoud van 0,5 verversingen per uur, wijkt af van het verwachte verloop.

Op basis van de resultaten van de concentratieverloopmetingen en de sensoren wordt geconcludeerd dat het ventilatievoud in containment A tijdens de concentratieverloopmetingen (en dus ook tijdens de andere experimenten waarbij het ventilatievoud was ingesteld op 0,5 verversingen per uur) waarschijnlijk hoger was. Uit de vergelijking van de gemeten gemiddelde asbestvezelconcentraties en stofconcentraties zoals gemeten met de sensoren met het verwachte concentratieverloop na een momentane (eenmalige) emissie bij verschillende ventilatievouden (zie Figuur B6.2 in Bijlage 6) blijkt dat het daadwerkelijke ventilatievoud in beide containments waarschijnlijk min of meer vergelijkbaar was, en tussen de 5 tot 8 verversingen per uur zal hebben gelegen. Omdat het verwachte concentratieverloop uitgaat van een momentane (eenmalige) emissie terwijl in de containments sprake was van continue luchtverplaatsing en daardoor resuspensie van asbestvezels door de ventilatoren, en de luchtstromingen in de containments in relatie tot een al dan niet gelijkmatige menging en verversing van de lucht in de containments niet zijn onderzocht, kan het werkelijke ventilatievoud tijdens deze experimenten niet met zekerheid worden afgeleid. Wel kan worden aangenomen dat het ventilatievoud in containment A in ieder geval hoger was dan het ingestelde ventilatievoud van 0,5 verversingen per uur. Het is mogelijk dat ook in containment B

het werkelijke ventilatievoud niet helemaal in overeenstemming was met het ingestelde ventilatievoud van 8 verversingen per uur.
Voor het instellen van het ventilatievoud in de containments is gebruik gemaakt van regelbare ODMs, waarvan de capaciteit kan worden ingesteld van 0-100%. De capaciteit van deze ODMs was vrij groot in verhouding tot de grootte van de containments, waardoor voor het realiseren van een ventilatievoud van 0,5 verversingen per uur deze werden ingesteld op 1% van hun capaciteit. Bij het instellen van de capaciteit (in procenten) in relatie tot het gewenste ventilatievoud is aangenomen dat de capaciteit zich lineair verhoudt tot de afgezogen hoeveelheid lucht. Het is mogelijk dat dergelijke machines onnauwkeuriger zijn bij afstelling in het lage deel van het bereik, en in dat geval de afgezogen hoeveelheid lucht niet lineair verloopt met de ingestelde capaciteit maar er meer lucht wordt afgezogen dan volgens de instelling van de ODMs verwacht zou worden.

Op basis van de resultaten van deze experimenten kan de invloed van verschil in ventilatievoud op het concentratieverloop in een ruimte na afloop van een handeling waarbij asbestvezels vrijkomen niet worden gekwantificeerd. Wel is bevestigd dat de concentratie in een ruimte na afloop van een reguliere sanering in korte tijd tenminste een factor vijf zal zijn gedaald. De afname in gemeten asbestvezelconcentraties en de resultaten van de sensoren tonen aan dat in een ruimte met een hoge asbestvezelconcentratie en veel luchtverplaatsing (en dus een hoge kans op resuspensie) de concentratie binnen 20 minuten een factor 5 is afgenomen. Er wordt aangenomen dat de concentratie in een ruimte waar wordt gesaneerd al tijdens het schoonmaken van de ruimte als onderdeel van de sanering terug zal lopen, onder andere doordat door het schoonmaken de (potentiele) bron van emissie wordt verwijderd en daardoor de kans op resuspensie afneemt, en omdat door de verversing van de lucht in het containment met behulp van een ODM de concentratie in de lucht steeds verder afneemt.[2] Na afloop van de schoonmaakwerkzaamheden zal de lucht in de ruimte ook nog enige tijd ververst worden, onder andere omdat de ruimte nog moet worden beoordeeld door een onafhankelijke inspectie-instelling alvorens deze wordt vrijgegeven, waardoor asbestvezels die nog in de lucht aanwezig zijn zullen worden verwijderd.

3.4 Resultaten kleefmonsters

De kleefmonsters werden voorafgaand aan de concentratieverloop-experimenten dan wel de experimenten waarin is schoongemaakt op vier vaste locaties in het containment (op de tafel, onder de tafel, voor de ODM en voor de decontaminatie-unit) per containment verzameld als indicatie van de mate van verontreiniging van de verschillende oppervlakken van het containment.

Van zes van de 10 experimenten waarbij kleefmonsters zijn verzameld zijn de kleefmonsters ook geanalyseerd. De resultaten van deze analyses zijn weergegeven

[2] Wanneer de verwachte 8-uurs tijdgewogen gemiddelde concentratie tijdens een sanering boven 2.000 vezels/m³ ligt moeten deze werkzaamheden verplicht in een afgeschermde ruimte met ventilatie (minimaal 6 verversingen/uur) worden uitgevoerd.

in Tabel 7 en Figuur 8, onderverdeeld naar het containment waarin de kleefmonsters zijn verzameld (A of B) en locatie waar het kleefmonster is genomen (voor de deco-unit (sluis), op de tafel waarop is gewerkt, onder deze tafel, en voor de ODM (de bijbehorende analysecertificaten zijn opgenomen in een aparte bijlage bij deze rapportage). In Figuur 8 is geen onderscheid gemaakt in het soort asbestvezel wat op het kleefmonster is aangetroffen (chrysotiel of amfibool asbest). Indien beide soorten zijn aangetroffen zijn de aantallen bij elkaar opgeteld.

Op 13 van de 48 kleefmonsters zijn geen vezelstructuren aangetroffen, met name voor de ODM (n=6) en voor de sluis (n=4). In beide containments wordt over het algemeen het meeste asbest aangetroffen op en onder de tafel waarop is gewerkt.

Na het droog verwijderen van pakkingen wordt relatief gezien het minste asbest op de kleefmonsters aangetroffen (variërend van 0 (5x) tot 198 vezelstructuren/cm²), en worden in beide containments in ieder geval vezelstructuren op de tafel aangetroffen. Na het hanteren van droge stukken gebroken asbestcement golfplaat wordt ook relatief weinig asbest op de kleefmonsters aangetroffen (variërend van 0 (3x) tot 472 vezelstructuren/cm². Hierbij is er wel een duidelijk verschil tussen containment A (waar alleen op het kleefmonster dat onder de tafel is genomen asbest wordt aangetroffen) en containment B (waar op elk kleefmonster asbest wordt aangetroffen, variërend van 61 vezelstructuren/cm² voor de ODM tot 472 vezelstructuren/cm² op de tafel). Zowel na het droog breken van asbestcement golfplaat als na het droog breken van amosietplaat wordt relatief gezien het meeste asbest aangetroffen op de kleefmonsters, variërend van 0 (1x) tot 909 vezelstructuren/cm² voor asbestcement golfplaat en variërend van 0 (3x) tot 1698 vezelstructuren/cm² voor amosietplaat. Voor beide scenario's wordt het meeste asbest aangetroffen op en onder de tafel. De resultaten duiden op een hogere mate van verontreiniging na het droog breken van asbestcement golfplaat dan na het droog breken van amosietplaat, hoewel in containment B na het droog breken van amosietplaat op en onder de tafel de hoogste mate van verontreiniging is aangetroffen.

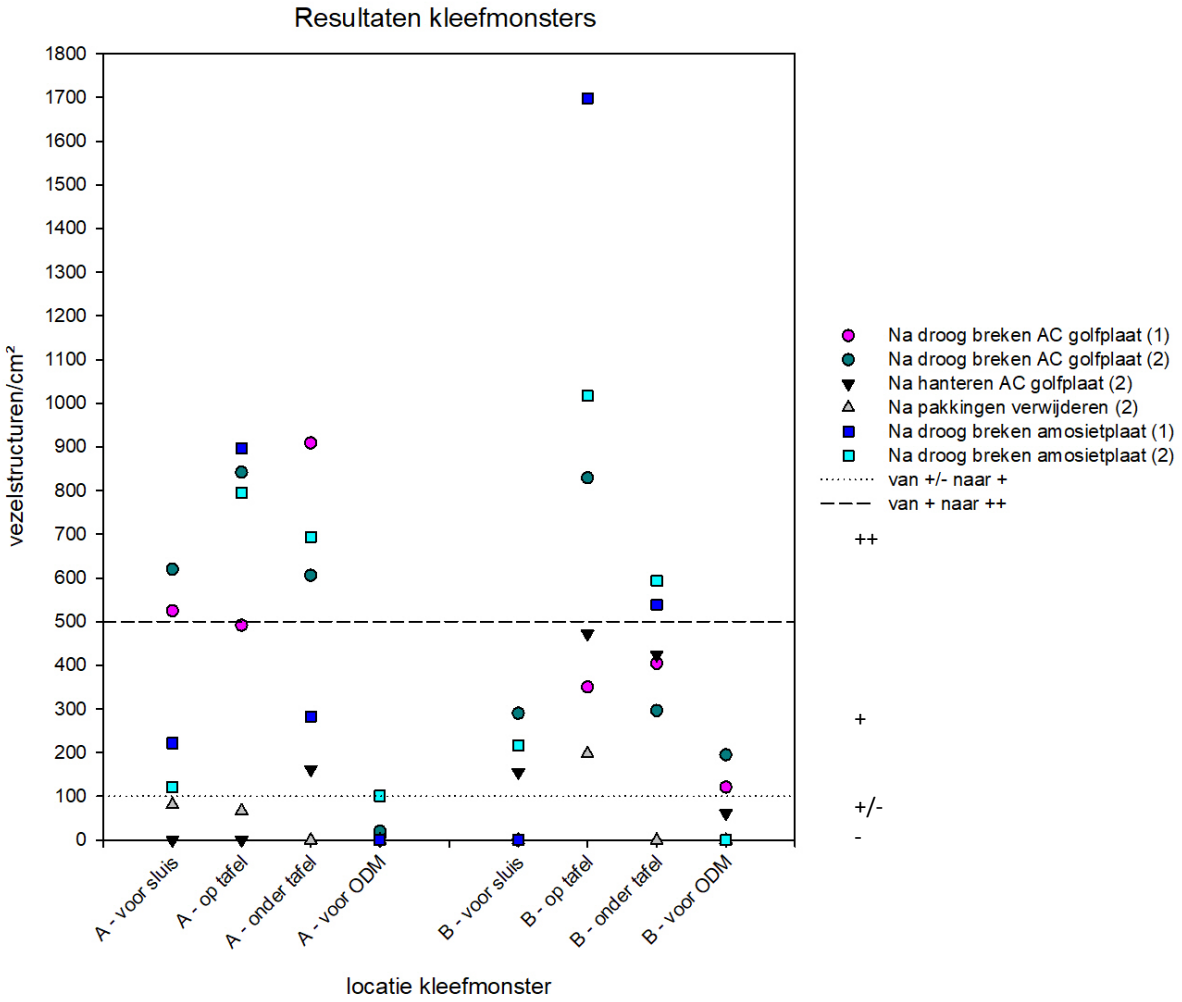
Zoals verwacht wordt met name in het deel van het containment waar de saneerders met het asbesthoudende materiaal aan het werk waren (op en onder de tafel) de hoogste mate van verontreiniging aangetroffen. Ook andere delen van het containment raken verontreinigd, met name tijdens scenario's waarbij sprake is van een hoge emissie van asbestvezels (droog breken van zowel asbestcement golfplaat als amosietplaat). Er wordt minder asbest aangetroffen voor de ODM (waarvoor wordt aangenomen dat de verontreiniging met name wordt veroorzaakt door depositie van vrijgekomen asbestvezels) dan voor de deco-unit (waarvoor wordt aangenomen dat de verontreiniging wordt veroorzaakt door een combinatie van depositie en versleping (transfer) van het werkgebied rond de tafel naar de deco-unit).

Tabel 7: Overzicht resultaten kleefmonsters

Dag	Moment monstername	Containment	Monster	Locatie monster	Resultaat *	Vezelstructuren/cm²	
						Chrysotiel	Amfibool
1	Na droog breken asbestcement golfplaten (exp. 1), voor concentratieverloop (exp. 2) en schoonmaken (exp. 3)	A	KM01	Voor sluis	++	525	n.a.
			KM02	Op tafel	+	357	135
			KM03	Op vloer	++	909	n.a.
			KM04	Voor ODM	+/-	13	n.a.
		B	KM05	Op tafel	+	350	n.a.
			KM06	Onder tafel	+	404	n.a.
			KM07	Voor sluis	-	n.a.	n.a.
			KM08	Voor / onder ODM	+	121	n.a.
2	Na droog breken asbestcement golfplaten (exp. 6), voor concentratieverloop (exp. 7) en schoonmaken (exp. 8)	A	KM17	Voor sluis	++	620	n.a.
			KM18	Op tafel	++	532	310
			KM19	Onder tafel	++	606	n.a.
			KM20	Voor ODM	+/-	20	n.a.
		B	KM21	Op tafel	++	829	n.a.
			KM22	Onder tafel	+	296	n.a.
			KM23	Voor sluis	+	290	n.a.
			KM24	Voor / onder ODM	+	195	n.a.
2	Na hanteren droge gebroken stukken asbestcement golfplaat (exp. 9), voor schoonmaken (exp. 10)	A	KM25	Voor sluis	-	n.a.	n.a.
			KM26	Op tafel	-	n.a.	n.a.
			KM27	Onder tafel	+	162	n.a.
			KM28	Voor ODM	-	n.a.	n.a.
		B	KM29	Op tafel	+	472	n.a.
			KM30	Onder tafel	+	424	n.a.
			KM31	Voor sluis	+	155	n.a.
			KM32	Voor / onder ODM	+/-	61	n.a.
3	Na droog verwijderen pakkingen (exp. 15), voor schoonmaken (exp. 16)	A	KM49	Voor sluis	+/-	81	n.a.
			KM50	Op tafel	+/-	67	n.a.
			KM51	Onder tafel	-	n.a.	n.a.
			KM52	Voor ODM	-	n.a.	n.a.
		B	KM53	Op tafel	+	168	n.a.
			KM54	Onder tafel	-	n.a.	n.a.
			KM55	Voor sluis	-	n.a.	n.a.
			KM56	Voor / onder ODM	-	n.a.	n.a.
4	Na droog breken amosietboard (exp. 19), voor concentratieverloop	A	KM65	Voor sluis	+	n.a.	222
			KM66	Op tafel	++	n.a.	896
			KM67	Onder tafel	+	n.a.	283
			KM68	Voor ODM	-	n.a.	n.a.

Dag	Moment monstername	Containment	Monster	Locatie monster	Resultaat *	Vezelstructuren/cm²	
						Chrysotiel	Amfibool
	(exp. 20) en schoonmaken (exp. 21)	B	KM69	Voor sluis	-	n.a.	n.a.
			KM70	Op tafel	++	n.a.	1698
			KM71	Onder tafel	++	n.a.	539
			KM72	Voor ODM	-	n.a.	n.a.
5	Na droog breken amosietboard (exp. 24), voor concentratieverloop (exp. 25) en schoonmaken (exp. 26)	A	KM81	Voor sluis	+	n.a.	121
			KM82	Op tafel	++	n.a.	795
			KM83	Onder tafel	++	n.a.	694
			KM84	Voor ODM	+	n.a.	101
		B	KM85	Op tafel	++	n.a.	1017
			KM86	Onder tafel	++	n.a.	593
			KM87	Voor sluis	+	n.a.	216
			KM88	Voor / onder ODM	-	n.a.	n.a.

* -: geen vezels aangetroffen (0 vezelstructuren/cm²), +/-: sporen asbest aangetroffen (1-100 vezelstructuren/cm²), +: oppervlakte duidelijk verontreinigd met asbest (101-500 vezelstructuren/cm²), ++: oppervlakte zeer sterk verontreinigd met asbest (>500 vezelstructuren/cm²)



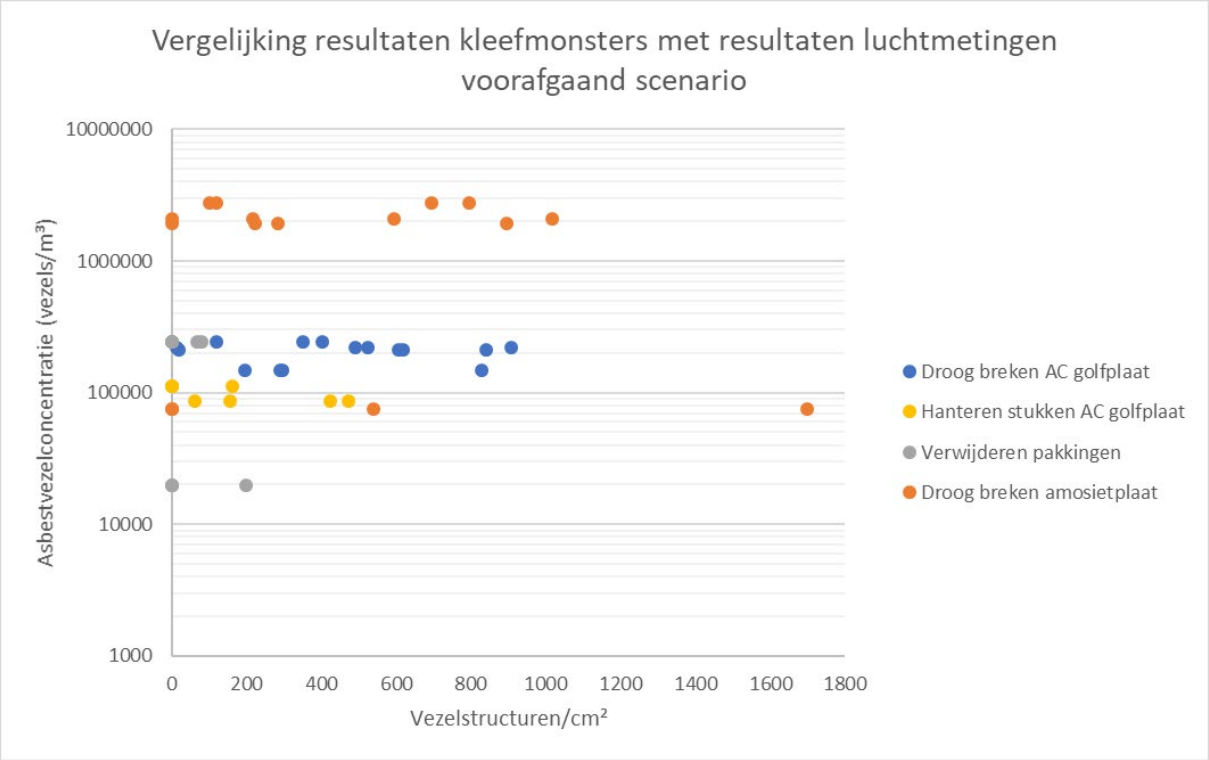
Figuur 8: Resultaten van de kleefmonsters in totaal aantal aangetroffen vezelstructuren/cm², onderverdeeld naar containment (A of B) en locatie waar het kleefmonster is genomen (voor de deco-unit (sluis), op de tafel waarop is gewerkt, onder de tafel, en voor de onderdrukmachine (ODM). Hierbij is geen onderscheid gemaakt in soort asbestvezel wat op het kleefmonster is aangetroffen (chrysotiel of amfibool asbest), en indien beide soorten zijn aangetroffen zijn de aantallen bij elkaar opgeteld.

Kleefmonsters worden ingezet om gesedimenteerd stof en/of gesedimenteerde asbestvezels (losse vezels en vezelagglomeraten die met het blote oog zichtbaar zijn) van oppervlakken te verzamelen. Gesedimenteerd asbesthoudend stof dat zich op (horizontale) oppervlakken heeft afgezet, kan door activiteit opnieuw in de lucht worden gebracht (re-suspensie) en op die manier tot blootstelling leiden (secundaire emissie). Kleefmonsters worden op verschillende manieren ingezet, bijvoorbeeld als onderdeel van de eindbeoordeling (NEN 2990) als aanvulling op de visuele inspectie in geval van RK2a saneringen (amfiboolhoudende toepassingen), of als onderdeel van een risicobeoordeling (NEN 2991) als uitbreiding van een visuele inspectie op de aanwezigheid van asbestrestanten. In beide gevallen worden de resultaten van kleefmonsters gebruikt als indicatie van de potentiële blootstelling aan asbest op basis van de mate van verontreiniging van de ruimte. Hierbij wordt een min of meer lineair

verband verwacht tussen de mate van verontreiniging en de (potentiële) concentratie in de lucht.

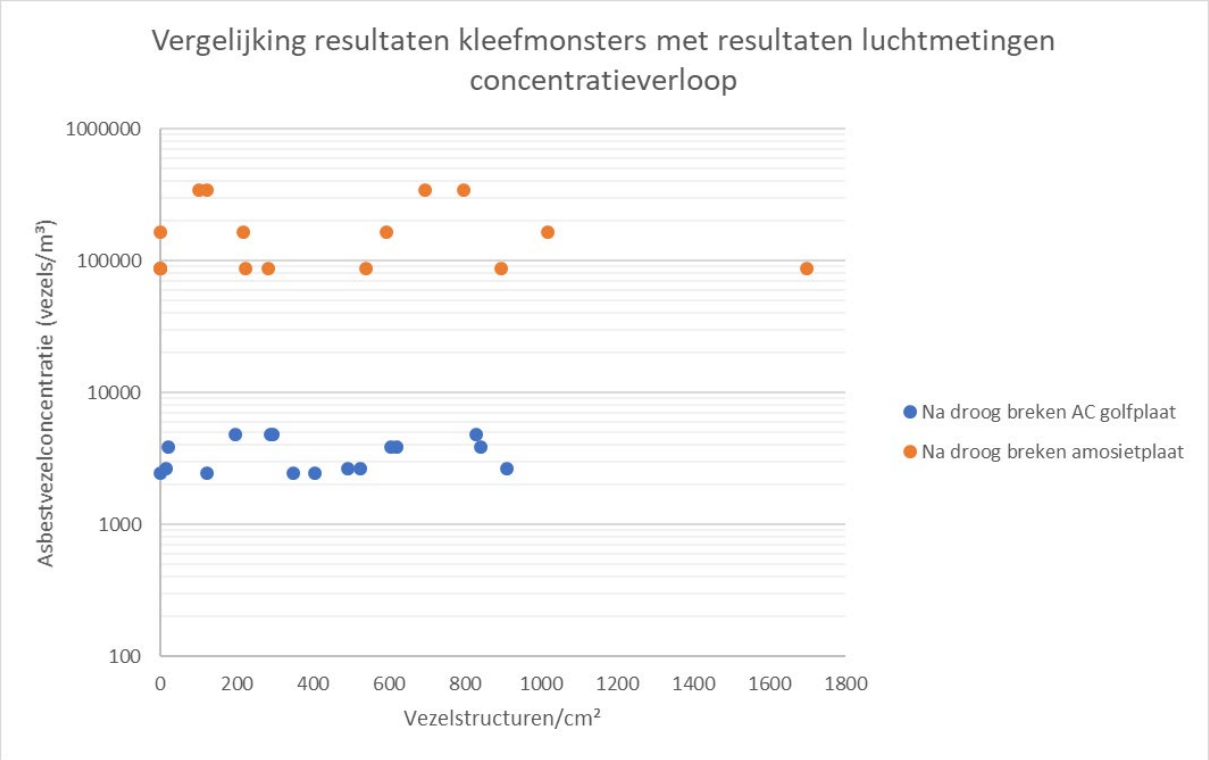
Om een idee te krijgen van de relatie tussen mate van verontreiniging en de (potentiële) concentratie in de lucht zijn de resultaten van de kleefmonsters vergeleken met de resultaten van de luchtmonsters (gemiddelde van de resultaten van de persoonlijke en stationaire meting) van de experimenten die voorafgaand aan en na het nemen van de kleefmonsters in het betreffende containment zijn uitgevoerd. Bij deze vergelijking is onderscheid gemaakt tussen de scenario's waarbij voorafgaand aan het verzamelen van de kleefmonsters met asbesthoudende materiaal droog is gebroken (zie Figuur 9), de concentratieverloopmetingen na afloop van het verzamelen van de kleefmonsters (in vier van de zes gevallen, zie Figuur 10), en het schoonmaken van de containments nadat de kleefmonsters zijn genomen (waarbij in vier van de zes gevallen eerst de concentratieverloopmetingen hebben plaatsgevonden, zie Figuur 11).

Op basis van de vergelijking van de resultaten is er geen duidelijke relatie tussen de gemiddelde asbestvezelconcentratie van de luchtmetingen tijdens de verschillende handelingen en de resultaten van de kleefmonster zoals na afloop van deze handelingen in hetzelfde containment zijn verzameld (zie Figuur 9). De grote variatie in gemeten asbestvezelconcentraties resulteert niet in een vergelijkbare mate van variatie in de resultaten van de kleefmonsters. Wel wordt er over het algemeen na scenario's waarbij een hoge asbestvezelconcentratie in de lucht is gemeten (droog breken van zowel asbestcement golfplaat als amosietplaat) altijd minimaal één '++' (sterk verontreinigd) aangetroffen (met uitzondering van containment B na experiment 1).



Figuur 9: Vergelijking resultaten kleefmonsters (in vezelstructuren/cm²) met de gemiddelde asbestvezelconcentratie (in vezels/m³, lognormale schaal) van de luchtmetingen van het scenario zoals voorafgaand aan het verzamelen van de kleefmonsters in hetzelfde containment zijn uitgevoerd

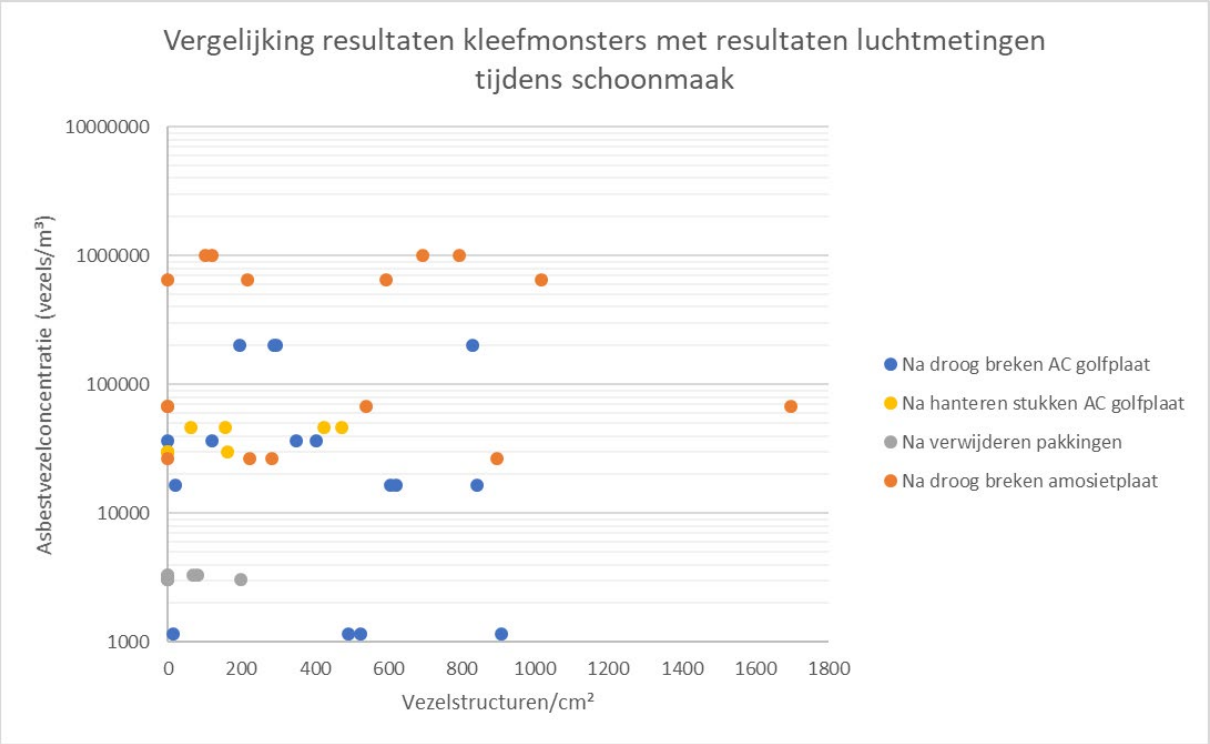
Er is ook geen sprake van een duidelijke relatie tussen de gemiddelde asbestvezelconcentratie van de concentratieverloopmetingen en de resultaten van de kleefmonster zoals voorafgaand aan deze metingen in hetzelfde containment zijn verzameld (zie Figuur 10). Ondanks dat de geconstateerde mate van verontreiniging van de verschillende oppervlakken redelijk vergelijkbaar is, is er wel sprake van variatie in de gemeten asbestvezelconcentraties in de lucht. De resultaten duiden er wel op dat chrysotielvezels minder makkelijk re-suspenderen dan amosietvezels. Er wordt aangenomen dat de gemeten asbestvezelconcentraties tijdens de concentratieverloopmetingen een combinatie zijn van de (afnemende) asbestvezelconcentratie zoals aanwezig was in het containment tijdens het droog breken van asbestcement golfplaat dan wel amosietplaat en re-suspensie van neergeslagen asbestvezels door de continue luchtverplaatsing met behulp van de ventilatoren. Omdat de gemeten asbestvezelconcentraties tijdens met name het droog breken van amosietplaat zeer hoog waren, zal het ook relatief lang duren totdat alle asbestvezels uit de lucht zijn neergedaald dan wel zijn afgevoerd door middel van ventileren via de ODM, zeker wanneer de aanwezige (amosiet)vezels door de continue luchtverplaatsing resuspenderen.



Figuur 10: Vergelijking resultaten kleefmonsters (in vezelstructuren/cm²) met de gemiddelde asbestvezelconcentratie (in vezels/m³, lognormale schaal) van de concentratieverloopmetingen zoals direct na het verzamelen van de kleefmonsters in hetzelfde containment zijn uitgevoerd

Schoonmaakwerkzaamheden maken in de meeste gevallen een belangrijk deel uit van de saneringswerkzaamheden. In dergelijke gevallen bepaalt de manier van saneren van het betreffende asbesthoudende materiaal veelal in welke mate het werkgebied verontreinigd raakt tijdens de werkzaamheden. De manier van saneren in combinatie met het soort asbesthoudende materiaal kan dan als indicatie van de mate van verontreiniging worden gezien. Deze combinatie bepaalt dan ook de potentiële mate van blootstelling tijdens de schoonmaakwerkzaamheden. Het komt in de praktijk echter ook voor dat op een bepaalde locatie een verontreiniging wordt aangetroffen die moet worden verwijderd zonder dat hier direct saneringswerkzaamheden aan vooraf zijn gegaan. In dergelijke gevallen zou de mate van verontreiniging van het werkgebied als indicatie voor de mate van blootstelling tijdens de schoonmaakwerkzaamheden kunnen worden gezien, omdat wordt aangenomen dat de mate van blootstelling tijdens deze schoonmaakwerkzaamheden met name wordt veroorzaakt door de mate van re-suspensie van aanwezige asbestvezels. De vergelijking van de resultaten van de kleefmonsters met de gemiddelde concentratie asbestvezels zoals gemeten tijdens het schoonmaken wijst niet op een duidelijke relatie tussen beiden (zie Figuur 11). Wanneer van elke serie kleefmonsters alleen naar het hoogste resultaat wordt gekeken lijkt er sprake te zijn van een oplopende luchtconcentratie met een oplopende mate van verontreiniging van de kleefmonsters, maar dit verband lijkt niet zeer sterk. Ook voor deze vergelijking geldt dat de variatie van de mate van verontreiniging van de kleefmonsters zeer beperkt is in vergelijking met de mate van variatie in de gemeten concentraties asbestvezels in

de lucht tijdens het schoonmaken van het werkgebied na afloop van handelingen met verschillende soorten asbesthoudende toepassingen.



Figuur 11: Vergelijking resultaten kleefmonsters (in vezelstructuren/cm²) met de gemiddelde asbestvezelconcentratie (in vezels/m³, lognormale schaal) van de luchtmetingen tijdens schoonmaakwerkzaamheden zoals na het verzamelen van de kleefmonsters in hetzelfde containment zijn uitgevoerd, in vier van de zes gevallen voorafgegaan door concentratieverloopmetingen

3.5 Resultaten sensoren

In elk containment heeft tijdens elke meetdag continu een Airbeam2 de massaconcentratie van (stof)deeltjes in de lucht gemeten, als indicatie van zowel de variatie in stofconcentraties gedurende de experimenten als de variatie in stofconcentraties gedurende de dag. Hoewel wordt aangenomen dat tijdens het werken met asbesthoudend materiaal de verhouding waarin stofdeeltjes en asbestvezels vrijkomen min of meer evenredig is, kunnen de gemeten massaconcentraties slechts als indicator worden gezien voor de hoeveelheid asbestvezels dat is vrijgekomen. De output van de Airbeam2 sensoren wordt dan ook als indicatieve resultaten gezien, en wordt daarom alleen kwalitatief beoordeeld. Verder stonden de Airbeam2 sensoren naast de stationaire meetpunten, en dus op enige afstand van de saneerders, opgesteld.

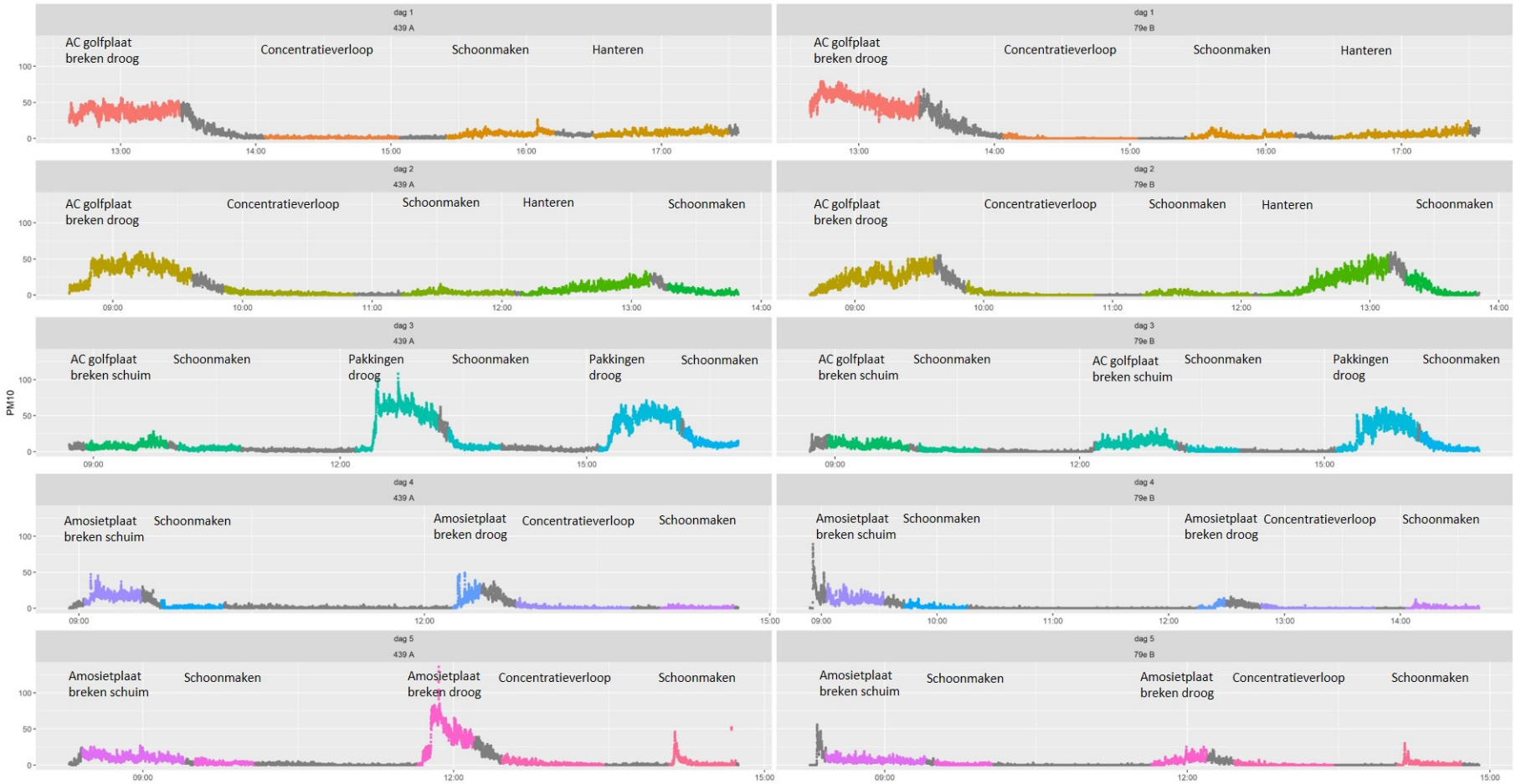
De output van de Airbeam2 sensoren wordt weergegeven in drie fracties, namelijk <1 µm (PM1), <2,5 µm (PM2.5) en <10 µm (PM10). Uitgaande van de dimensies van asbestvezels zoals deze worden geteld tijdens de analyse conform ISO 14966 en uitgaande van de dimensies van respirabele asbestvezels die worden meegenomen in

vergelijking tot de grenswaarde voor asbest (asbestdeeltjes die langer zijn dan 5 µm, een middellijn hebben van minder dan 3 µm en een lengte-breedteverhouding hebben van meer dan 3:1) wordt aangenomen dat de asbestvezels zich met name in de PM10 fractie zullen bevinden.

In Figuur 12 zijn de continu gemeten massaconcentraties in containment A (links) en containment B gedurende de vijf meetdagen (van boven naar beneden) voor de PM10 fractie weergegeven. Hierbij zijn de periodes dat er een experiment werd uitgevoerd gekleurd weergegeven. De weergaven voor de PM1 en PM2,5 fracties zijn weergegeven in Figuur B8.1 en Figuur B8.2 in Bijlage 8.

Er is duidelijk te zien dat de stofconcentratie in het containment varieert over de tijd, zowel tussen periodes van activiteit wanneer de experimenten worden uitgevoerd en periodes van rust, als tijdens de experimenten zelf. Bijvoorbeeld tijdens de experimenten waarin asbestcement golfplaat of amosietplaat wordt gebroken, waarbij elke minuut een breuk werd veroorzaakt en de saneerder in de tussentijd niets deed, gaat de stofconcentratie gedurende de tijd op en neer. Hetzelfde geldt voor de experimenten tijdens het verwijderen van pakkingen, waarbij de stofconcentratie ook varieert over de tijd, en de hoogste pieken waarschijnlijk zijn ontstaan tijdens het schoon schrapen en borstelen van het oppervlak van de flensen. Gedurende de tweede serie metingen tijdens het hanteren van droge gebroken stukken asbestcement golfplaat loopt de stofconcentratie geleidelijk op, terwijl dit tijdens de eerste serie niet zozeer het geval was. Waarschijnlijk heeft dit ermee te maken dat de saneerders tijdens de tweede serie minder voorzichtig te werk gingen ten opzichte van de eerste serie, en ook gedurende de tweede serie steeds minder voorzichtig gingen werken. Dit scenario bleek namelijk tamelijk vermoeiend te zijn voor de saneerders, die tijdens deze experimenten continu stukken asbestcement golfplaat aan het verplaatsen waren. Gedurende de tweede serie werden de stukken regelmatig minder voorzichtig neergelegd dan tijdens de eerste serie.

Na de experimenten waarin het asbesthoudende materiaal wordt bewerkt loopt de stofconcentratie steeds relatief snel terug. Hetzelfde kan worden geobserveerd tijdens de concentratieverloop-experimenten. Ook is de stofconcentratie tijdens het schoonmaken na een scenario waarin asbesthoudend materiaal is bewerkt vrijwel altijd beduidend lager dan tijdens de handeling(en) in het voorafgaande experiment. In een aantal gevallen zijn de saneerders vrijwel direct na het scenario waarin asbesthoudend materiaal is bewerkt begonnen met schoonmaken. In die gevallen zie je de stofconcentratie met name het eerste deel van deze experimenten nog behoorlijk afnemen, terwijl de saneerders onder andere bezig zijn met het inpakken van het asbesthoudende materiaal. Met name tijdens het schoonmaken na het droog breken van amosietplaat wordt aan het begin van de meting een piekje geobserveerd, dat waarschijnlijk te maken heeft met het inpakken van de gebroken stukken amosietplaat en/of het met de hand bij elkaar schuiven van restanten voordat deze worden ingepakt.



Figuur 12: Variatie in massaconcentratie voor fractie PM10 tijdens experimenten gedurende de vijf meetdagen (van boven naar beneden) in containment A (links) en containment B (rechts). De schaal op de y-as loopt van 0 tot 150. De tijd op de x-as varieert per dag. Ieder experiment is met een aparte kleur weergegeven.

4 Discussie en conclusies

De experimenten zoals in dit rapport zijn beschreven zijn bedoeld om de mate van emissie van asbestvezels te vergelijken onder verschillende omstandigheden. De handelingsscenario's zijn in een experimentele setting onder gecontroleerde omstandigheden uitgevoerd, met als doel om een hoge vezelemissie te bereiken. De handelingsscenario's zoals bemeten tijdens de experimenten zijn daarom niet vergelijkbaar met reguliere werkzaamheden met asbest, waarbij zorgvuldig moet worden gewerkt, en moet worden gestreefd naar zo min mogelijk emissie van asbestvezels door bijvoorbeeld beheersmaatregelen toe te passen. De gemeten asbestvezelconcentraties zijn daarom ook niet representatief voor de mate van blootstelling van werknemers tijdens het werkzaamheden met asbestcement golfplaten, amosietplaat of pakkingen.

Per experiment zijn er in ieder containment een persoonlijke en een stationaire meting in de directe omgeving van de werkzaamheden uitgevoerd. Daarnaast is in elk containment een indicatieve deeltjesmeting gedaan met een fijnstof sensor. Tijdens de experimenten zijn verschillende scenario's uitgevoerd in relatief kort tijdsbestek. Om een vergelijking te kunnen maken tussen verschillende factoren is het noodzakelijk om in de te vergelijken omstandigheden asbestvezels te meten. Bovendien neemt de relatieve analysefout af naarmate er meer asbestvezels worden geteld. De scenario's zijn in bijna alle gevallen tweemaal parallel door twee verschillende personen in afzonderlijke containments uitgevoerd. De conclusies die uit de resultaten van deze experimenten kunnen worden getrokken zijn daarom vooral gericht op het vergelijken van blootstellingsfactoren.

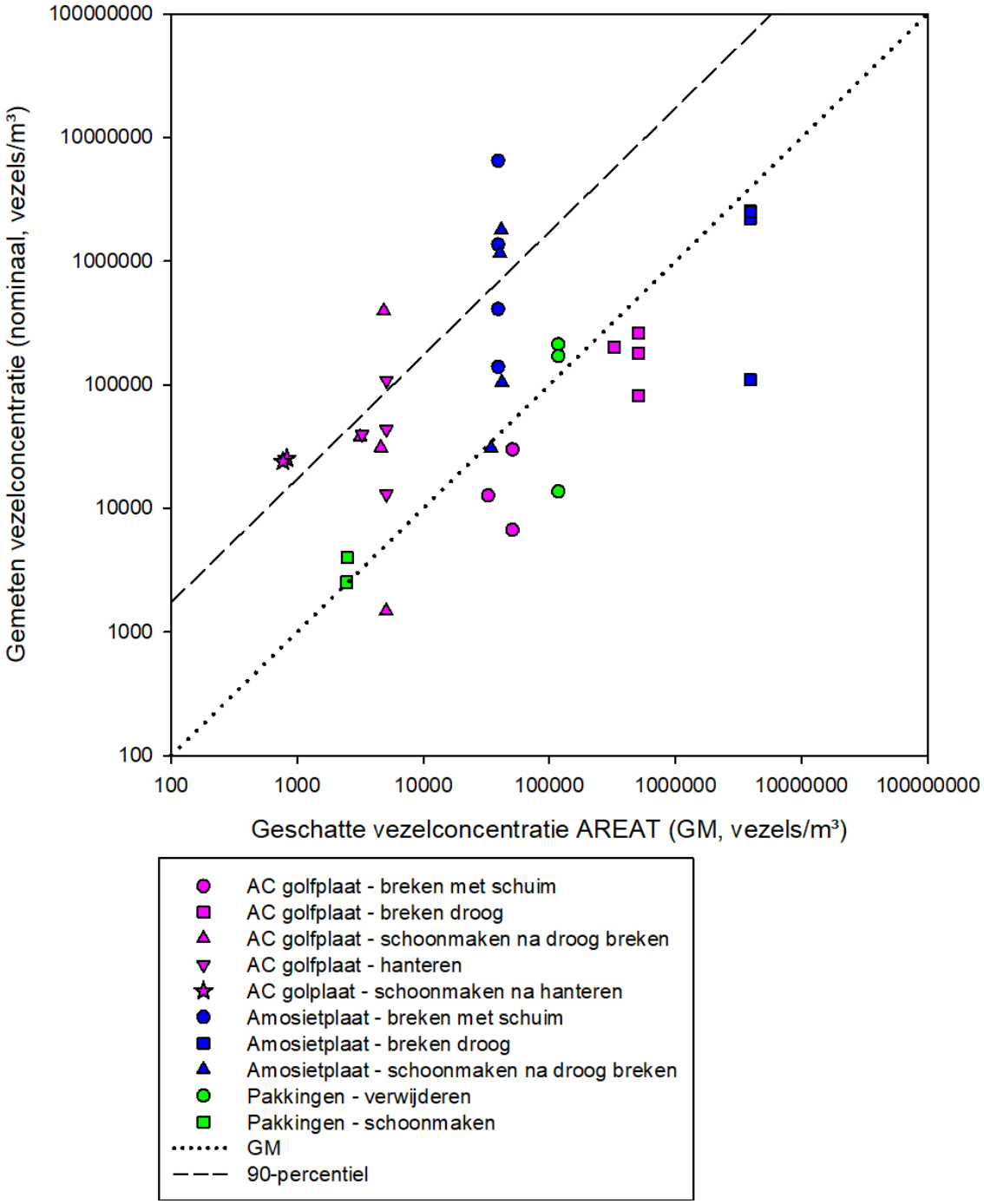
De diverse meetresultaten komen per scenario over het algemeen goed overeen, hoewel er wel sprake is van variatie in gemeten asbestvezelconcentraties tussen en binnen personen. Echter, er zijn ook enkele afwijkende resultaten van luchtmetingen die niet verklaarbaar zijn, en waarvan achteraf niet goed kan worden vastgesteld wat de reden of oorzaak is geweest. Er zijn geen technische onvolkomenheden of storingen in de meetapparatuur geobserveerd. Ook zijn er tijdens de experimenten géén bijzonderheden waargenomen. De deeltjesmetingen laten daar over het algemeen wel een consistent beeld zien

Hoewel de meetresultaten soms variabel zijn, is de algemene tendens dat het droog bewerken van asbesthoudend materiaal resulteert in hoge asbestvezelconcentraties. Dat geldt zowel voor asbestcement golfplaten, amosietplaten en pakkingen. Bij toepassing van schuim laten de resultaten van de experimenten een grotere reductie van de vezelconcentratie zien bij het breken van asbestcement golfplaten (factor 18 lagere concentratie) dan bij het breken van amosietplaten (factor 2,5 lagere blootstelling). Schuim als emissiebeperkende maatregel heeft in de regel een dubbele werking: het schuim schermt het oppervlak van het materiaal af, en de vloeistof (veelal water) waaruit het schuim is opgebouwd maakt het oppervlak vochtig en dringt afhankelijk van het soort materiaal ook (deels) in het materiaal. Hierdoor worden eventueel vrijkomende vezels afgevangen en verspreiden zich daardoor

minder. Tijdens de experimenten werd geobserveerd dat het vocht van het schuim dat tijdens de experimenten is gebruikt meer in de asbestcement golfplaten leek te dringen dan in de amosietplaten. Het schuim leek minder van de ene laag naar de andere laag van de amosietplaat te migreren. Daarnaast werd geobserveerd dat na het aanbrengen van een laag schuim op het materiaal, de schuimlaag op beide materialen niet gedurende lange tijd intact bleef, waardoor tussendoor regelmatig is bijgeschuimd. Hierdoor was waarschijnlijk tijdens het creëren van een deel van de vele breukvlakken sprake van een verminderde afdichtende werking van het schuim, waardoor de kans op emissie van asbestvezels wordt vergroot. De aard van de experimenten is zodanig dat de resultaten niet kunnen worden gebruikt voor de validatie van een werkmethode waarbij schuim wordt toegepast als emissiebeperkende maatregel.

De resultaten van deze experimenten zullen onder andere worden gebruikt voor de validatie van het kwantitatieve blootstellingsmodel AREAT. Hierbij wordt nagegaan of de mate van blootstelling voor verschillende scenario's zoals geschat met behulp van dit model overeenkomt met de performance van het model zoals beschreven in relatie tot de kalibratie van het model (Franken et al., 2021). De performance bestaat uit de accuraatheid van het model om de mate van blootstellingen als geometrisch gemiddelde te schatten, en de manier waarop het model de variabiliteit in de resultaten van blootstellingmetingen meeneemt in deze schattingen (als maat voor hoe conservatief het model is). Vergelijkbaar met andere blootstellingsmodellen die in een regulatoir kader worden gebruikt is het belangrijk dat AREAT de mate van blootstelling aan asbestvezels niet onderschat. AREAT is gekalibreerd met behulp van de resultaten van blootstellingsmetingen die zijn verzameld tijdens veelal praktijksituaties. Uit deze kalibratie is gebleken dat de geschatte gemiddelde concentratie (als geometrisch gemiddelde) vermenigvuldigd moet worden met een factor 17,3 (onzekerheidsfactor) om te zorgen dat de individuele (gemeten) blootstelling van een werknemer op een werkdag met 90% zekerheid lager zal zijn dan de geschatte concentratie asbestvezels (90-percentiel). Op deze manier wordt er door het model rekening gehouden met modelonzekerheid en variabiliteit in blootstelling. AREAT houdt voor een specifiek scenario dus rekening met een grote spreiding in de mate van blootstelling (factor 300 tussen het 10- en 90-percentiel van de geschatte blootstellingsdistributie). Hoewel er sprake is van variatie in de gemeten asbestvezelconcentraties tussen en binnen personen voor de verschillende handelingsscenario's, zijn bijv. de verschillen tussen de gemeten minimum en maximum concentraties binnen een scenario veel kleiner.

Tijdens de validatie van het blootstellingsmodel AREAT worden AREAT-schattingen vergeleken met de resultaten van een set metingen die zijn verzameld in verschillende situaties, inclusief de resultaten van deze experimenten. Wanneer uit deze validatie blijkt dat de performance van het AREAT-model niet overeenkomt met de performance zoals bepaald tijdens de kalibratie van het model zal het model worden aangepast. Ter illustratie zijn in Figuur 13 de gemeten nominale concentraties van alle persoonlijke metingen (inclusief de metingen met een (potentieel) afwijkend resultaat) uitgezet tegen de geschatte geometrisch gemiddelde concentraties.



Figuur 13: Vergelijking van gemeten asbestvezelconcentraties van de persoonlijke metingen van de verschillende handelingsscenario's met de op basis van het blootstellingsmodel AREAT geschatte asbestvezelconcentraties.

Daarnaast is in Figuur 13 de 90-percentiel schatting weergegeven, waarmee rekening wordt gehouden met variabiliteit in resultaten van metingen en de onzekerheid van de modelschattingen. Voor alle datapunten die boven 90-percentiellijn liggen geldt dat de geschatte concentratie op basis van het 90-percentiel van de distributie lager is dan de gemeten concentratie. Dit is bij 8 van de 34 datapunten (24%) het geval (2x tijdens het schuimen van amosietplaat, 1x tijdens het hanteren van gebroken stukken

asbestcement golfplaat, en 5x tijdens schoonmaken). Voor vijf van de tien handelingsscenario's liggen alle geschatte asbestvezelconcentraties onder de 90-percentiellijn. Hoewel de emissiepotentie van de onderzochte handelingsscenario's door bijvoorbeeld de extreme manier van breken groter is dan de emissiepotentie van worst-case situaties zoals die in de praktijk voorkomen, resulteert het gebruik van AREAT over algemeen niet in een onderschatting van de asbestvezelconcentratie. Opvallend is wel dat voor een groot aantal metingen tijdens het schoonmaken van de containments en voor een aantal metingen waarbij schuim is toegepast wel sprake is van onderschatting. Hier zal tijdens de validatie aandacht aan worden besteed.

Na afloop van een sanering vindt een eindbeoordeling van het werkgebied plaats om te controleren of de ruimte na afloop van deze werkzaamheden weer veilig kan worden betreden. De eindbeoordeling bestaat uit een visuele inspectie die al dan niet wordt aangevuld met luchtmonsters en kleefmonsters. De resultaten van de luchtmonsters worden indirect (in geval van analyse met FCM) of direct (in geval van analyse met SEM) vergeleken met een toetsingswaarde van 2.000 vezels/m³. Na afloop van een handeling met asbesthoudend materiaal waarbij dit materiaal veelvuldig wordt gebroken dan wel wordt bewerkt loopt de concentratie in de ruimte relatief snel terug. Dat gebeurt zowel tijdens het schoonmaken van de ruimte na afloop van deze handeling als tijdens het simuleren van activiteit in de (zwaar) verontreinigde ruimte met behulp van ventilatoren. De snelheid waarmee de concentratie in de ruimte op een aanvaardbaar niveau komt zodat deze veilig kan worden betreden is afhankelijk van de startconcentratie. Wanneer wordt uitgegaan van een exponentiële afname, waarvan in de praktijk sprake zal zijn in verband met het ventileren van de ruimte, is na het veelvuldig droog breken van asbestcement golfplaat na 20 minuten de concentratie een factor 5 gedaald. Na het veelvuldig droog breken van amosietplaat is dit na 30 minuten het geval. Doordat er relatief meer asbestvezels vrijkomen tijdens het breken van amosietplaat dan tijdens het breken van asbestcement golfplaten, en amfibole asbestvezels over het algemeen makkelijker resuspenderen dan chrysotielvezels, duurt het na het breken van amosietplaat langer tot de concentratie in de lucht tot een acceptabel niveau is gedaald. De resultaten van deze experimenten bevestigen de aanname dat na werkzaamheden met asbest waarbij een relatief beperkte hoeveelheid asbestvezels vrijkomt (max. 10.000 vezels/m³), de concentratie in de ruimte tijdens het schoonmaken na afloop van deze werkzaamheden al reeds lager zal zijn. Na afloop van de gehele sanering zal de concentratie in de ruimte in korte tijd (30 minuten) zeker vijf maal lager liggen, oftewel zal zijn gedaald tot een niveau onder de grenswaarde van 2.000 asbestvezels/m³. Hierbij speelt de mate van verversing van de lucht in de ruimte een belangrijke rol: hoe hoger het ventilatievoud, hoe sneller de concentratie in de lucht tot een aanvaardbaar niveau zal zijn gedaald. Dit zal ook het geval zijn als de ruimte onverhoopt nog niet helemaal schoon blijkt te zijn en er in deze ruimte veel luchtverplaatsing (activiteit) plaatsvindt. In dergelijke gevallen heeft het uitvoeren van luchtmetingen als onderdeel van de eindbeoordeling, waarbij (indirect) wordt getoetst aan een waarde van 2.000 vezels/m³, geen toegevoegde waarde. Dit bevestigt het eerdere advies dat in situaties met een (verachte) beperkte mate van

emissie van asbestvezels als eindbeoordeling kan worden volstaan met het uitvoeren van alleen een visuele inspectie (Spaan et al., 2019).

Doordat de concentratieverloop metingen zijn uitgevoerd in een zwaar verontreinigde ruimte waarin ook nog eens ventilatoren waren geplaatst, is het waarschijnlijk dat het weer vrijkomen in de lucht van reeds gesedimenteerde asbestvezels een rol speelt. Over het algemeen daalde de concentratie asbestvezels in de lucht na het stoppen van de handeling(en) met asbesthoudend materiaal relatief snel. De concentratie na het droog breken van asbestcement golfplaat liep relatief meer terug dan na het droog breken van amosietplaat. Er wordt aangenomen dat dit verschil wordt veroorzaakt doordat er tijdens het breken van amosietplaat relatief meer losse amosietvezels vrijkomen, en dat deze amosietvezels ook minder snel neerslaan en door de continue luchtverplaatsing ook makkelijker weer in de lucht komen dan de (voornamelijk) chrysotielvezels afkomstig uit de asbestcement golfplaten. Doordat er meer amfibole asbestvezels vrijkomen tijdens het breken en deze vezels over het algemeen makkelijker resuspenderen betekent dit dat het langer duurt tot de concentratie in de lucht tot een acceptabel niveau is gedaald.

Op basis van het verloop in de gemeten asbestvezelconcentraties en het verloop in de stofconcentraties zoals gemeten met de sensoren is achteraf geconcludeerd dat het ventilatievoud in beide containments min of meer vergelijkbaar was. Hierdoor kon geen duidelijk verschil worden aangetoond met betrekking tot het concentratieverloop in de ruimte over de tijd in relatie tot het ventilatievoud (het aantal luchtverversingen per uur) in deze ruimte. Mogelijk is het bepalen van het ventilatievoud op basis van alleen de capaciteit van de ODM en het volume van de ruimte niet afdoende is, ook niet wanneer een ODM regelbaar is. Ook kunnen andere factoren een rol gespeeld hebben, zoals de luchttoevoer in het containment, in hoeverre het containment volledig afgesloten is (al dan niet aanwezig zijn van ‘gaten’), de positie van de ODM ten opzichte van de luchtinlaat, de heersende luchtstromingen in de ruimte, en de mate waarin de lucht in de ruimte al dan niet volledig wordt gemengd wanneer de lucht in de ruimte wordt ververst. Om met zekerheid te kunnen zeggen wat het ventilatievoud is in een ruimte zal deze moeten worden bepaald. Dit kan door het meten van de luchtsnelheid op verschillende punten in het containment met behulp van een anemometer, waarna het ventilatievoud kan worden berekend. Ook kan een rookproef worden uitgevoerd, waarbij het containment wordt vol gezet met rook, en wordt gekeken hoe lang het duurt voordat alle rook uit het containment is verdwenen. Een dergelijke rookproef geeft ook een goed beeld of er sprake is van voldoende menging van de lucht in de ruimte. Op dit moment wordt er in de praktijk over het algemeen meer gestuurd op onderdruk dan op ventilatievoud. Alleen de onderdruk zegt echter nog niets over de mate van ventileren van de ruimte, dit wordt bepaald door een combinatie van de onderdruk en de aanvoer van schone lucht (bijvoorbeeld door middel van ventilatiegaten). In de praktijk is de capaciteit van de ODMs over het algemeen (ruim) voldoende, en saneerders geven ook aan dat het ventilatievoud tijdens saneringen (veel) hoger ligt dan de minimale ventilatievoud van zes verversingen per uur. Het voldoende ventileren van een ruimte waarin met asbest wordt gewerkt is van belang voor de gezondheid van de werknemer die in deze ruimte

aan het werk is, zeker in situaties waarin veel asbestvezels vrijkomen. Daarom wordt geadviseerd om de praktijk meer bewust te maken van het belang van een juist (en bij voorkeur vastgesteld) ventilatievoud.

Op basis van het verzamelen van gesedimenteerd stof (inclusief eventuele asbestvezels) van oppervlakken door middel van kleefmonsters wordt een indicatie verkregen van de mate van verontreiniging van de ruimte. De plek waar kleefmonsters worden genomen in het werkgebied is hierbij van groot belang. In dit onderzoek werd de meeste verontreiniging aangetroffen in dat deel van het containment waar de saneerders met het asbesthoudende materiaal aan het werk waren (op en onder de tafel), maar ook in andere delen van het containment, met name wanneer sprake is van een hoge emissie van asbestvezels (tijdens droog breken van zowel asbestcement golfplaat als amosietplaat). De mate van verontreiniging van de ruimte lijkt relatief gezien groter te zijn na het droog breken van asbestcement golfplaat (een hechtgebonden toepassing) dan na het droog breken van amosietplaat (een niet-hechtgebonden toepassing). Dit komt waarschijnlijk doordat bij het breken van amosietplaat kleinere vezels/vezelbundels vrijkomen, die zich makkelijker door de lucht en door de ruimte verplaatsten dan de grotere chrysotielvezels/vezelbundels en asbestcementflinters die vrijkomen bij het breken van asbestcement golfplaat. Hierdoor is na het veelvuldig droog breken van de asbestcement golfplaat en het verwijderen van pakkingen met name het gebied waar de handeling zelf heeft plaatsgevonden (rond de tafel) verontreinigd, terwijl na het veelvuldig breken van amosietplaat wordt aangenomen dat de ruimte als geheel in meer of mindere mate verontreinigd is. Daarnaast wordt aangenomen dat de vrijgekomen amosietvezel(bundel)s makkelijker worden afgevoerd en ook na sedimentatie makkelijker weer in de lucht terecht komen (resuspensie), waardoor een relatief groter deel van de amosietvezels al uit de lucht zijn verwijderd door de heersende ventilatie. Er is geen sprake van een duidelijke relatie tussen de mate van verontreiniging zoals in kaart gebracht met de kleefmonsters en de concentratie asbestvezels in de lucht. Deze conclusie is in lijn met eerder onderzoek (Spaan et al., 2017). De resultaten van deze experimenten laten zien dat (zelfs) in kleine ruimten die in hoge mate zijn vervuild de mate van sedimentatie van asbestvezels binnen deze ruimte niet consistent is. Dit wil zeggen dat een negatief resultaat niet perse betekent dat het betreffende oppervlak ook schoon is. Een positief resultaat geeft aan dat het betreffende oppervlak (nog) niet schoon is, maar geeft niet direct inzicht in het feitelijke blootstellingsrisico. Hierdoor is de interpretatie van de resultaten van kleefmonsters niet eenduidig.

5 Referenties

Brouwer DH, Links IHM, de Vreede SAF, Christopher Y. Size selective dustiness and exposure -Simulated workplace comparisons. Ann. Occup. Hyg. 2006; 50 (5): 445-452.

Franken R, Tromp P, van de Hoef W, Jadoenathmisier T, Schinkel J. The development and calibration of a mechanistic asbestos removal exposure assessment tool (AREAT). Ann. Work Exp. Health 2021, wxaa112 (https://doi.org/10.1093/annweh/wxaa112).

ISO. ISO 14966:2019/C1:2007 (en) - Ambient air - Determination of numerical concentration of inorganic fibrous particles - Scanning electron microscopy method. 1 december 2019.

ISO. ISO 16000-27:2014 (en) - Indoor air - Part 27: Determination of settled fibrous dust on surfaces by SEM (scanning electron microscopy) (direct method). 1 juni 2014.

Nederlands Normalisatie Instituut (NEN). NEN 5896:2003 (nl). Kwalitatieve analyse van asbest in materialen met polarisatiemicroscopie. 1 mei 2003.

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

Nederlands Normalisatie Instituut (NEN). NEN 2990:2020+C1 (nl). Lucht – eindbeoordeling na asbestverwijdering. 1 september 2020.

Schinkel J, Ritchie P, Goede H, Fransman W, van Tongeren M, Cherrie JW, Tielemans E, Kromhout H, Warren N. The Advanced REACH Tool (ART): Incorporation of an Exposure Measurement Database. Ann. Occup. Hyg 2013; 57 (6): 717-727.

Spaan S, Tromp P, Diks M, Krystek P, Schinkel J. Mogelijkheden optimalisatie methodiek eindcontrole na asbestsanering. TNO rapport TNO 2017 R10706, 5 oktober 2017.

Spaan S, Tromp PC, Schinkel JM. Aanknopingspunten voor differentiatie in risico's van werkzaamheden met asbest ten behoeve van beheersregimes. TNO rapport TNO 2019 R11239, 5 september 2019.

Tielemans E, le Feber M, Groenewold M, Schaafsma G, de Heer C, Rijnders E, de Vreede S. Risico's tijdens het bereiden van geneesmiddelen in de apotheek. Methodieken voor categorisatie van blootstelling en gevaar. TNO rapport V6288 (2), december 2006.

6 Ondertekening

Utrecht, 21 oktober 2021 TNO

M. Rennen
Research Manager

S. Spaan
Auteur

Bijlage 1: Codering monsters

Tabel B1.1: Codering monsters experimenten

Dag	Experiment	Containment A				Containment B			
		PAS	**STAT**	**KLEEF**	**MAT**	**PAS**	**STAT**	**KLEEF**	**MAT**
1	1	PAS1	STAT1		MAT1	PAS2	STAT2		MAT2
	2		STAT3 STAT4 STAT5 STAT6 STAT7 STAT8	KM1 KM2 KM3 KM4			STAT9 STAT10 STAT11 STAT12 STAT13 STAT14	KM5 KM6 KM7 KM8	
	3	PAS3	STAT15			PAS4	STAT16		
	4	PAS5	STAT17			PAS6	STAT18		
	5 [1]	PAS7	STAT19	KM9 KM10 KM11 KM12		PAS8	STAT20	KM13 KM14 KM15 KM16	
2	6	PAS9	STAT21		MAT3	PAS10	STAT22		MAT4
	7		STAT23 STAT24 STAT25 STAT26 STAT27 STAT28	KM17 KM18 KM19 KM20			STAT29 STAT30 STAT31 STAT32 STAT33 STAT34	KM21 KM22 KM23 KM24	
	8	PAS11	STAT35			PAS12	STAT36		
	9	PAS13	STAT37			PAS14	STAT38		
	10	PAS15	STAT39	KM25 KM26 KM27 KM28		PAS16	STAT40	KM29 KM30 KM31 KM32	
3	11	PAS17	STAT41		MAT5	PAS18	STAT42		MAT6
	12 [5]	PAS19	STAT43	KM33 KM34 KM35 KM36		PAS20	STAT44	KM37 KM38 KM39 KM40	
	13	PAS21	STAT45			PAS22	STAT46		
	14 [5]	PAS23	STAT47	KM41 KM42 KM43 KM44		PAS24	STAT48	KM45 KM46 KM47 KM48	
	15	PAS25	STAT49		MAT7	PAS26	STAT50		MAT8
	16	PAS27	STAT51	KM49 KM50 KM51 KM52		PAS28	STAT52	KM53 KM54 KM55 KM56	
4	17 [2]	PAS29	STAT53			PAS31	STAT55		

Dag	Experiment	Containment A				Containment B			
		PAS	**STAT**	**KLEEF**	**MAT**	**PAS**	**STAT**	**KLEEF**	**MAT**
		PAS30	STAT54			PAS32	STAT56		
	18 [5]	PAS33	STAT57	KM57 KM58 KM59 KM60		PAS34	STAT58	KM61 KM62 KM63 KM64	
	19 [2]	PAS35 PAS36	STAT59 STAT60		MAT9	PAS37 PAS38	STAT61 STAT62		MAT10
	20		STAT63 STAT64 STAT65 STAT66 STAT67 STAT68	KM65 KM66 KM67 KM68			STAT69 STAT70 STAT71 STAT72 STAT73 STAT74	KM69 KM70 KM71 KM72	
	21	PAS39	STAT75			PAS40	STAT76		
5	22 [3]	PAS41 PAS42	STAT77 STAT78			PAS43 PAS44	STAT79 STAT80		
	23 [5]	PAS45	STAT81	KM73 KM74 KM75 KM76		PAS46	STAT82	KM77 KM78 KM79 KM80	
	24 [3, 4]	PAS47 PAS48	STAT83 STAT84 STAT201 STAT202 STAT204 STAT205 STAT207 STAT208		MAT11	PAS49 PAS50	STAT85 STAT86		MAT12
	25		STAT87 STAT88 STAT89 STAT90 STAT91 STAT92	KM81 KM82 KM83 KM84			STAT93 STAT94 STAT95 STAT96 STAT97 STAT98	KM85 KM86 KM87 KM88	
	26	PAS51	STAT99			PAS52	STAT100		

PAS = persoonlijke meting; STAT = stationaire meting; KLEEF = kleefmonster, MAT = materiaalmonster

[1] Experiment is komen te vervallen

[2] Monsters in duplo genomen i.v.m. mogelijke overbelading van de filters. Het filter met de kortste meetduur (respectievelijk 15 minuten (met schuim) en 5 minuten (zonder schuim) wordt pas geanalyseerd als het parallel verzamelde filter met de langere meetduur (respectievelijk 30 minuten (met schuim) en 15 minuten (zonder schuim) overbeladen is.

[3] Monsters in duplo genomen i.v.m. mogelijke overbelading van de filters. Het filter met de kortste meetduur (respectievelijk 30 minuten (met schuim) en 15 minuten (zonder schuim)

wordt pas geanalyseerd als het parallel verzamelde filter met de langere meetduur (respectievelijk 60 minuten (met schuim) en 30 minuten (zonder schuim) overbeladen is.

[4] Parallel extra stationaire metingen uitgevoerd in verband met een andere onderzoeksvraag (maakt geen onderdeel uit van deze rapportage).

[5] De monsters die zijn verzameld tijdens dit experiment zijn (nog) niet geanalyseerd, en zijn opgeslagen bij TNO.

Bijlage 2: Meetformulieren

Meetformulier experimenten handelingsscenario's

Datum	
Experiment nr.	
Ruimte	
Persoon	
Ventilatie / ODM	
Materiaal	
Soort handeling	
Beheersmaatregel(en)	
Gereedschap	
Opmerkingen	

Luchtmetingen		
	Persoonlijk	**Stationair**
Monsternr.	PAS	STAT
Starttijd		
Eindtijd		
Begin flow		
Eind flow		
Volume (m^3)		
Analyse		
Kleefmonsters		
Monsternr.	Locatie	
KM		
KM		
KM		
KM		
KM		
Materiaalmonsters		
Monsternr.	Opmerkingen	
MAT		

Meetformulier experimenten concentratieverloop

Datum	
Experiment nr.	
Ruimte	
Ventilatie / ODM	
Activiteit	
Opmerkingen	

Luchtmetingen						
Monsternr.	STAT	STAT	STAT	STAT	STAT	STAT
Starttijd						
Eindtijd						
Begin flow						
Eind flow						
Volume (m^3)						
Analyse						
Kleefmonsters						
Monsternr.	Locatie					
KM						
KM						
KM						
KM						

Bijlage 3: Overzicht resultaten luchtmetingen

Tabel B3.1: Overzicht van de analyseresultaten van de luchtmetingen (in vezels/m³)

Dag	Exp.	Beschrijving experiment	Cont.	Monster	Analyse	Meetduur (min.)	Volume (m³)	# beeldv. [1]	# getelde vezels [2]	Concentratie (95% BI Poisson) (vezels/m³) [3]	Opmerkingen
1	1	Asbestcement golfplaten droog breken	A	PAS1	TNO	60	0,4956	50	128 CHR, 18,5 CRO	180000 (150000 - 210000)	Filter overbeladen maar wel geanalyseerd en meetresultaat wel meegenomen in beschrijving resultaten
				STAT1	Nomacon	60	0,501	22	102 CHR	264328 (215528 - 320877)	
			B	PAS2	Nomacon	60	0,508	22	103 CHR	263542 (214867 - 319257)	
				STAT2	Nomacon	60	0,508	25	101 CHR	227155 (185021 - 276014)	
	2	Concentratie-verloop ventilatievoud laag	A	STAT3 [4]	Nomacon	15	0,123	4000	78 CHR	4184 (3307 - 5222)	
				STAT4 [4]	Nomacon	15	0,123	4000	142 CHR	7616 (6415 - 8977)	
				STAT5 [4]	Nomacon	30	0,248	2000	19	1011 (609 - 1579)	Afwijking in debiet tijdens meting >10% (18%); meetresultaat wel meegenomen in beschrijving resultaten
				STAT6 [4]	Nomacon	30	0,229	2000	0	<172 (0 - 172)	
				STAT7	TNO	60	0,4929	1000	15 CHR, 3 CRO	1100 (660 - 1800	
				STAT8 [4]	Nomacon	60	0,493	1000	37	1981 (1395 - 2370)	
		Concentratie-verloop ventilatievoud hoog	B	STAT9	Nomacon	15	0,122	4000	81 CHR	4741 (3765 - 5893)	
				STAT10	Nomacon	15	0,127	3730	100 CHR	6030 (4906 - 7334)	
				STAT11	Nomacon	30	0,254	2000	27 CHR	1518 (1000 - 2209)	
				STAT12	Nomacon	30	0,251	2000	29 CHR	1650 (1105 - 2370)	
				STAT13	Nomacon	60	0,477	1000	5 CHR	299 (97 - 699)	Afwijking in debiet tijdens meting >10% (13%);

Dag	Exp.	Beschrijving experiment	Cont.	Monster	Analyse	Meetduur (min.)	Volume (m^3)	# beeldv. [1]	# getelde vezels [2]	Concentratie (95% BI Poisson) (vezels/m^3) [3]	Opmerkingen
											meetresultaat wel meegenomen in beschrijving resultaten
				STAT14	Nomacon	60	0,508	1000	8 CHR	450 (194 - 886)	
	3	Schoonmaken na droog breken asbestcement golfplaten	A	PAS3	Nomacon	47	0,3860	1000	20 CHR	1480 (904 - 2286)	
				STAT15	Nomacon	47	0,4131	1000	12 CHR	830 (429 - 1450)	
			B	PAS4	TNO	48	0,4043	110	55 CHR	38000 (29000 - 49000)	
				STAT16	Nomacon	48	0,404	201	100 CHR	35174 (28619 - 42781)	
	4	Gebroken droge stukken asbestcement golfplaten hanteren	A	PAS5	Nomacon	60	0,490	134	100 CHR	43501 (35394 - 52909)	
				STAT17	Nomacon	60	0,493	141	100 CHR	41090 (33433 - 49977)	
			B	PAS6	Nomacon	60	0,508	142	100 CHR	39596 (32217 - 48159)	
				STAT18	Nomacon	60	0,508	191	100 CHR	29438 (23952 - 35804)	
2	6	Asbestcement golfplaten droog breken	A	PAS9	Nomacon	60	0,492	30	104 CHR	201257 (164442 - 243857)	
				STAT21	Nomacon	60	0,498	26	100 CHR	20598 (179487 - 268306)	
			B	PAS10	TNO	60	0,5063	50	67,5 CHR	82000 (63000 - 100000)	Veel bundels en matrices; Concentratie tijdens breken lager dan tijdens schoonmaken (niet in de lijn er verwachting)
				STAT22	Nomacon	60	0,506	27	102 CHR	213250 (173880 - 258872)	
	7	Concentratie-verloop ventilatievoud laag	A	STAT23	Nomacon	15	0,124	2250	95 CHR, 5 CRO	9033 (7090 - 11545)	
				STAT24	Nomacon	15	0,124	3571	97 CHR, 3 CRO	6450 (5114 - 8199)	
				STAT25	Nomacon	30	0,246	2000	52 CHR, 2 CRO	3135 (2269 - 4378)	
				STAT26	Nomacon	30	0,246	2000	54 CHR, 3 CRO	3309 (2391 - 4599)	
				STAT27	Nomacon	60	0,477	1000	9 CHR	539 (246 - 1023)	
				STAT28	Nomacon	60	0,486	1000	12 CHR	705 (364 - 1232)	

Dag	Exp.	Beschrijving experiment	Cont.	Monster	Analyse	Meetduur (min.)	Volume (m^3)	# beeldv. [1]	# getelde vezels [2]	Concentratie (95% BI Poisson) (vezels/m^3) [3]	Opmerkingen
		Concentratie-verloop ventilatievoud hoog	B	STAT29	Nomacon	15	0,124	3456	100 CHR	6665 (5423 - 8107)	
				STAT30	Nomacon	15	0,125	3566	100 CHR	6408 (5214 - 7794)	
				STAT31	Nomacon	30	0,253	1847	100 CHR	6112 (4973 - 7434)	
				STAT32	Nomacon	30	0,250	2000	48 CHR	2742 (2022 - 3636)	
				STAT33	Nomacon	60	0,494	1000	49 CHR	2833 (2096 - 3746)	
				STAT34	TNO	60	0,5062	200	14 CHR	4200 (2300 - 7100)	
	8	Schoonmaken na droog breken asbestcement golfplaten	A	PAS11	Nomacon	52	0,422	218	100 CHR	31048 (25262 - 37763)	
				STAT35	Nomacon	52	0,432	1250	35 CHR	1853 (1291 - 2577)	
			B	PAS12 [4]	Nomacon	52	0,428	20	129 CHR	397698 (332034 - 472548)	Concentratie tijdens schoonmaken na breken hoger dan tijdens breken (niet in lijn der verwachting)
				STAT36	Nomacon	52	0,434	1250	50 CHR, 1 CRO	2685 (1955 - 3764)	
	9	Gebroken droge stukken asbestcement golfplaten hanteren	A	PAS13	Nomacon	60	0,493	54	98 CHR, 3 CRO	108364 (86026 - 137545)	
				STAT37	Nomacon	60	0,496	50	100 CHR, 2 CRO	117477 (93989 - 148403)	
			B	PAS14	TNO	60	0,4974	200	41 CHR	13000 ((9100 - 17000)	Veel matrices
				STAT38	Nomacon	60	0,497	37	103 CHR	159986 (130586 - 194030)	
	10	Schoonmaken na hanteren gebroken droge stukken asbestcement golfplaten	A	PAS15	Nomacon	31	0,256	440	100 CHR	25358 (20632 - 30842)	
				STAT39	Nomacon	31	0,253	329	100 CHR	34315 (27920 - 41737)	
			B	PAS16	Nomacon	31	0,260	462	101 CHR	24017 (19562 - 29182)	
				STAT40 [4]	Nomacon	31	0,258	105	70 CHR	68191 (53158 - 86155)	Concentratie tijdens schoonmaken na hanteren hoger dan tijdens hanteren (niet in lijn der verwachting)

Dag	Exp.	Beschrijving experiment	Cont.	Monster	Analyse	Meetduur (min.)	Volume (m^3)	# beeldv. [1]	# getelde vezels [2]	Concentratie (95% BI Poisson) (vezels/m^3) [3]	Opmerkingen
3	11	Asbestcement golfplaten breken met schuim	A	PAS17 [4]	Nomacon	60	0,494	1000	57 CHR, 68 CRO	6678 (5124 - 8550)	
				STAT41 [4]	Nomacon	60	0,480	1000	88 CHR, 70 CRO	8687 (6880 - 10823)	
			B	PAS18	TNO	60	0,496	100	40 CHR / 7 AMO / 2 CRO	30000 (22000 - 40000)	Veel bundels en enkele matrices; verontreiniging met amosiet (niet materiaal-eigen)
				STAT42	Nomacon	60	0,499	526	100 CHR	10882 (8854 - 13236)	
	13	Pakkingen droog verwijderen	A	PAS21	Nomacon	60	0,485	30	108 CHR	212014 (173919 - 255973)	
				STAT45	Nomacon	60	0,477	31	103 CHR	198958 (162396 - 241294)	
		asbestcement golfplaten breken met schuim	B	PAS22	Nomacon	60	0,501	450	100 CHR	12669 (10308 - 15409)	
				STAT46	Nomacon	60	0,501	1000	65 CHR	3706 (2860 - 4723)	
	15	Pakkingen droog verwijderen	A	PAS25	TNO	60	0,4865	50	140 CHR	170000 (150000 - 200000)	Filter overbeladen maar wel geanalyseerd en meetresultaat wel meegenomen in beschrijving resultaten
				STAT49	Nomacon	60	0,484	19	101 CHR	313709 (255521 - 381184)	
			B	PAS26 [4]	Nomacon	60	0,4936	1000	256 CHR	13687 (12061 - 15470)	Concentratie tijdens pakkingen verwijderen vergelijkbaar als tijdens schoonmaken na verwijderen pakkingen (niet in lijn der verwachting)
				STAT50 [4, 5]	TNO	60	0,4998	200	84,5 CHR	26000 (21000 - 32000)	
					Nomacon			205	102 CHR	21621 (17629 - 26246)	
	16		A	PAS27	Nomacon	45	0,378	1250	64 CHR, 2 CRO	3990 (2994 - 5377)	

Dag	Exp.	Beschrijving experiment	Cont.	Monster	Analyse	Meetduur (min.)	Volume (m^3)	# beeldv. [1]	# getelde vezels [2]	Concentratie (95% BI Poisson) (vezels/m^3) [3]	Opmerkingen
		Schoonmaken na pakkingen droog verwijderen		STAT51	Nomacon	45	0,381	1250	42 CHR, 3 CRO	2699 (1853 - 3931)	
			B	PAS28	Nomacon	40	0,3377	1500	45 CHR	2535 (1849 - 3392)	
				STAT52	Nomacon	40	0,3294	1500	63 CHR	3646 (2802 - 4665)	
4	17	Amosietplaat breken met schuim	A	PAS30	Nomacon	30	0,254	20	243 AMO	1366302 (1199900 - 1549327)	
				STAT54	Nomacon	30	0,252	20	131 AMO	742412 (620729 - 880976)	
			B	PAS32	TNO	30	0,2487	50	164,5 AMO	410000 (350000 - 470000)	Veel vezels, weinig matrix. Enkele clusters en bundels
				STAT56	Nomacon	30	0,252	19	103 AMO	614451 (501535 - 745200)	
	19	Amosietplaat breken droog	A	PAS36	TNO	15	0,1267	50	445,5 AMO	2200000 (2000000 - 2400000)	Veel vezels, weinig matrix. Enkele clusters en bundels
				STAT60	Nomacon	15	0,127	20	148 AMO	1664302 (1406974 - 1955072)	
			B	PAS38 [4]	Nomacon	15	0,125	150	78 AMO	109782 (86778 - 137013)	Concentratie tijdens droog breken lager dan tijdens breken met schuim (niet in de lijn der verwachting)
				STAT62	Nomacon	15	0,127	572	100 AMO	39319 (31992 - 47823)	Concentratie tijdens droog breken lager dan tijdens breken met schuim (niet in de lijn der verwachting)
	20	Concentratie-verloop ventilatievoud laag	A	STAT63	Nomacon	15	0,127	111	101 AMO	204644 (166686 - 248661)	
				STAT64 [4]	Nomacon	15	0,126	175	74 AMO	87966 (69012 - 110519)	
				STAT65 [4, 5]	TNO	30	0,253	200	88 AMO	53000 (43000 - 66000)	
					Nomacon			156	102 AMO	68201 (55610 - 82792)	

Dag	Exp.	Beschrijving experiment	Cont.	Monster	Analyse	Meetduur (min.)	Volume (m^3)	# beeldv. [1]	# getelde vezels [2]	Concentratie (95% BI Poisson) (vezels/m^3) [3]	Opmerkingen
				STAT66	Nomacon	-	-	-	-	-	Filter is beschadigd en niet geanalyseerd
				STAT67 [4]	Nomacon	60	0,494	125	77 AMO	32907 (25970 - 41128)	
				STAT68	TNO	60	0,4913	100	73 AMO	46000 (36000 - 57000)	Veel vezels, weinig matrix. Enkele clusters en bundels
		Concentratie-verloop ventilatievoud hoog	B	STAT69	Nomacon	15	0,126	258	100 AMO	87865 (71490 - 106867)	Concentratie tijdens concentratieverloop hoger dan tijdens droog breken (niet in lijn der verwachting)
				STAT70	Nomacon	15	0,127	125	100 AMO	180351 (146740 - 219355)	Concentratie tijdens concentratieverloop hoger dan tijdens droog breken) (niet in lijn der verwachting)
				STAT71 [4, 5]	TNO	30	0,251	200	112,5 AMO	69000 (57000 - 83000)	
					Nomacon			213	101 AMO	49855 (40607 - 60578)	
				STAT72 [4]	Nomacon	30	0,252	115	70 AMO	63744 (49691 - 80536)	
				STAT73	Nomacon	60	0,501	63	100 AMO	90495 (73631 - 110066)	Concentratie tijdens concentratieverloop hoger dan tijdens droog breken (niet in lijn der verwachting)
				STAT74 [4]	Nomacon	60	0,501	150	80 AMO	28093 (22276 - 34964)	
	21	Schoonmaken na droog breken amosietplaat	A	PAS39	Nomacon	39	0,326	299	105 AMO	30768 (25165 - 37247)	
				STAT75	Nomacon	39	0,330	397	104 AMO	22709 (18555 - 27515)	
			B	PAS40	Nomacon	37	0,305	91	102 AMO	104901 (85534 - 127342)	Concentratie tijdens schoonmaken hoger dan tijdens

Dag	Exp.	Beschrijving experiment	Cont.	Monster	Analyse	Meetduur (min.)	Volume (m^3)	# beeldv. [1]	# getelde vezels [2]	Concentratie (95% BI Poisson) (vezels/m^3) [3]	Opmerkingen
											droog breken (niet in lijn der verwachting)
				STAT76	Nomacon	37	0,313	299	100 AMO	30559 (24864 - 37168)	
5	22	Amosietplaat breken met schuim	A	PAS42	TNO	60	0,4983	50	524,5 AMO	650000 (590000 - 700000)	Veel vezels, weinig matrix. Enkele clusters en bundels
				STAT78	Nomacon	60	0,504	20	497 AMO	1408316 (1287207 - 1537749)	
			B	PAS44 [4]	Nomacon	60	0,495	39	102 AMO	139434 (113692 - 169263)	
				STAT80 [4]	Nomacon	60	0,501	33	104 AMO	166007 (135638 - 201142)	
	24	Amosietplaat breken droog	A	PAS48	Nomacon	30	0,242	20	432 AMO	2554705 (2319448 - 2807354)	
				STAT83	TNO	15	0,1255	50	605,5 AMO	3000000 (2700000 - 3200000)	Veel vezels, weinig matrix. Enkele clusters en bundels
			B	PAS50	TNO	30	0,251	50	1019,5 AMO	2500000 (2300000 - 2600000)	Veel vezels, weinig matrix. Enkele clusters en bundels
				STAT86	Nomacon	30	0,251	20	291 AMO	1659050 (1473889 - 1861036)	
	25	Concentratie-verloop ventilatievoud laag	A	STAT87	Nomacon	15	-	-	-	--	Filter gescheurd en niet geanalyseerd
				STAT88	Nomacon	15	0,125	31	102 AMO	754872 (615508 - 916363)	
				STAT89	Nomacon	30	0,251	43	103 AMO	273127 (222935 - 331246)	
				STAT90	Nomacon	30	0,253	30	101 AMO	380088 (309588 - 461841)	
				STAT91	TNO	60	0,502	50	187 AMO	230000 (200000 - 260000)	
				STAT92	Nomacon	60	0,499	77	100 AMO	74338 (60485 - 90415)	
		Concentratie-verloop	B	STAT93	Nomacon	15	0,123	285	106 AMO	86369 (70712 - 104461)	
				STAT94	Nomacon	15	0,123	79	111 AMO	326283 (268415 - 392929	

Dag	Exp.	Beschrijving experiment	Cont.	Monster	Analyse	Meetduur (min.)	Volume (m^3)	# beeldv. [1]	# getelde vezels [2]	Concentratie (95% BI Poisson) (vezels/m^3) [3]	Opmerkingen
		ventilatievoud hoog		STAT95 [4]	Nomacon	30	0,246	200	82 AMO	43983 (34981 - 54595)	
				STAT96	Nomacon	30	0,245	42	102 AMO	283711 (231332 - 344406)	
				STAT97	Nomacon	60	0,490	48	106 AMO	122656 (105392 - 155693)	
				STAT98	TNO	60	0,4988	50	97,5 AMO	120000 (97000 - 150000)	
	26	Schoonmaken na droog breken amosietplaat	A	PAS51 [4]	Nomacon	39	0,329	20	447 AMO	1792749 (1630386 - 1966904)	
				STAT99	Nomacon	39	0,325	38	101 AMO	233592 (190265 - 283836)	
			B	PAS52 [4]	Nomacon	47	0,386	20	339 AMO	1158831 (1038742 - 1288995)	
				STAT100	Nomacon	47	0,393	52	102 AMO	142564 (116244 - 173062)	

[1] Vergroting (telling) 2000x; TNO oppervlak 1 beeldveld 0,0124 mm^2, diameter effectief filteroppervlak 22 mm; Nomacon oppervlakte 1 beeldveld 0,0148 mm^2, diameter effectief filteroppervlak 23,2 mm

[2] Aantal getelde vezels lengte >5 µm, CHR = chrysotiel, CRO = crosidoliet, AMO = amosiet

[3] Nominale waarde (95% betrouwbaarheidsinterval van de Poisson-verdeling rond de nominale waarde (ondergrens - bovengrens))

[4] Monster opnieuw geanalyseerd (heranalyse); alleen het resultaat van de heranalyse wordt weergegeven.

[5] Contra-analyse (monster zowel door Nomacon als door TNO geanalyseerd)

Bijlage 4: Aanvullende contextuele informatie omstandigheden tijdens experimenten handelingsscenario's

Tabel B4.1: Extra contextuele informatie met betrekking tot de omstandigheden tijdens de experimenten voor de handelingsscenario's

Scenario	Exp.	Containment A	Containment B
Asbestcement golfplaten breken met schuim	11	± 3 L vloeistof gebruikt om in te schuimen. Eerste keer inschuimen voorafgaand aan de start van de meting. Naast breken van de asbestcement golfplaten met een hamer ± 2 minuten bezig geweest met het inpakken van de stukken van de 1e asbestcement golfplaat in plastic om deze onder de tafel te leggen het uitpakken van de 2e asbestcement golfplaat, en ± 5 minuten bezig geweest met het inschuimen van de 2e asbestcement golfplaat. Tussendoor nog 1x extra bijgeschuimd. Op basis van observatie lijkt het schuim gedeeltelijk in de golfplaat te trekken. Op de breukvlakken is een kleurverschil te zien tussen de bovenkant (donkerder), dat is ingeschuimd, en de onderkant (lichter), die niet is ingeschuimd,	± 4 L vloeistof gebruikt om in te schuimen. Eerste keer inschuimen voorafgaand aan de start van de meting. Naast breken van de asbestcement golfplaten met een hamer ± 3 minuten bezig geweest met het inpakken van de stukken van de 1e asbestcement golfplaat in plastic om deze onder de tafel te leggen het uitpakken van de 2e asbestcement golfplaat, en ± 8 minuten bezig geweest met het inschuimen van de 2e asbestcement golfplaat. Tussendoor nog 12x extra bijgeschuimd. Saneerder A had gedurende het experiment wat problemen met de gloriaspuit, waardoor de dikte van het schuim niet optimaal was. Was tussen het breken door regelmatig met de apparatuur bezig. Op basis van observatie lijkt het schuim gedeeltelijk in de golfplaat te trekken. Op de breukvlakken is een kleurverschil te zien tussen de bovenkant (donkerder), dat is ingeschuimd, en de onderkant (lichter), die niet is ingeschuimd,
	13	x	± 3,5 L vloeistof gebruikt om in te schuimen. Eerste keer inschuimen na de start van de meting. Naast breken van de asbestcement golfplaten met een hamer ± 5 minuten bezig geweest met het uitpakken en

Scenario	Exp.	Containment A	Containment B
			inschuimen van de 13 asbestcement golfplaat, ± 2 minuten bezig geweest met het inpakken van de stukken van de 1e asbestcement golfplaat in plastic om deze onder de tafel te leggen het uitpakken van de 2e asbestcement golfplaat, en ± 8 minuten bezig geweest met het inschuimen van de 2e asbestcement golfplaat (op deze golfplaat ligt veel vuil/mos, waardoor het schuim niet goed blijft liggen). Tussendoor nog 3x extra bijgeschuimd. Op basis van observatie lijkt het schuim gedeeltelijk in de golfplaat te trekken. Op de breukvlakken is een kleurverschil te zien tussen de bovenkant (donkerder), dat is ingeschuimd, en de onderkant (lichter), die niet is ingeschuimd,
Asbestcement golfplaten breken droog	1	Tafel staat dwars in het containment. Naast breken van de asbestcement golfplaten met een hamer ± 4 minuten (2x2 minuten) bezig geweest met het uitpakken van de asbestcement golfplaten en 1-2 minuten bezig geweest met het inpakken van gebroken stukken plaat in het plastic waar deze uit kwam om de stukken onder tafel te kunnen leggen.	Tafel staat dwars in het containment. Naast breken van de asbestcement golfplaten met een hamer ± 4 minuten (2x2 minuten) bezig geweest met het uitpakken van de asbestcement golfplaten
	6	Naast breken van de asbestcement golfplaten met een hamer ± 3 minuten (1x2 minuten en 1x1 minuut) bezig geweest met het uitpakken van de asbestcement golfplaten en 1 minuut bezig geweest met het inpakken van gebroken stukken plaat in het plastic waar deze uit kwam om	Naast breken van de asbestcement golfplaten met een hamer ± 3 minuten (1x2 minuten en 1x1 minuut) bezig geweest met het uitpakken van de asbestcement golfplaten en 1 minuut bezig geweest met het inpakken van gebroken stukken plaat in het plastic waar deze

Scenario	Exp.	Containment A	Containment B
		de stukken onder tafel te kunnen leggen.	uit kwam om de stukken onder tafel te kunnen leggen. Tijdens de meting is de pomp van de PAS-meting even uitgevallen, deze is tijdens de meting vervangen.
Schoonmaken na droog breken asbestcement golfplaten	3	Tafel staat schuin in het containment. De saneerder heeft 13 minuten ingepakt (stukken in afvalzak, plastic opvouwen en in minibag doen, restanten met de hand bij elkaar vegen en in minibag doen, afvalzakken en minibag dichttapen), 25 minuten gestofzuigd (met name de vloer), en 9 minuten afgenomen met vochtige doeken (doek inspuiten met water met behulp van gloriaspuit en daarmee oppervlakken afnemen)	Tafel staat dwars in het containment De saneerder heeft 15 minuten ingepakt (stukken in afvalzak, plastic opvouwen en in minibag doen, restanten met de hand bij elkaar vegen en in minibag doen, afvalzakken en minibag dichttapen), 15 minuten gestofzuigd (met name de vloer), en 16 minuten afgenomen met vochtige doeken (doek inspuiten met water met behulp van gloriaspuit en daarmee oppervlakken afnemen)
	8	De saneerder heeft 15 minuten ingepakt (stukken in afvalzak, plastic opvouwen en in minibag doen, 2 minuten restanten met de hand bij elkaar vegen en in minibag doen, afvalzakken en minibag dichttapen), 27 minuten gestofzuigd (met name de vloer, ook de wanden, ook spullen verplaatst en soms restanten opgeraapt), en 9 minuten afgenomen met vochtige doeken (doek inspuiten met water met behulp van gloriaspuit en daarmee oppervlakken afnemen)	De saneerder heeft 9 minuten ingepakt (stukken in afvalzak, plastic opvouwen en in minibag doen, restanten met de hand bij elkaar vegen en in minibag doen, afvalzakken en minibag dichttapen), 18 minuten gestofzuigd (met name de vloer, ook de wanden), en 18 minuten nat afnemen (doek inspuiten met water met behulp van gloriaspuit en daarmee oppervlakken afnemen)
Gebroken droge stukken asbestcement golfplaten hanteren	4	Verplaatst de stukken golfplaat van de tafel naar de grond naast de tafel. Hanteert de stukken asbestcement golfplaat op het oog in het begin vrij voorzichtig, wordt daarna iets minder voorzichtig. Krijgt na	Tafel staat dwars in het containment. Verplaatst de stukken golfplaat van de tafel naar twee stoelen achter de tafel. Hanteert de stukken asbestcement golfplaat op het oog vrij voorzichtig.

Scenario	Exp.	Containment A	Containment B
		verloop van tijd ook wat last van zijn rug door het bukken.	
	9	Verplaatst de stukken golfplaat van de tafel naar de grond naast de tafel. Hanteert de stukken golfplaat op het oog regelmatig minder voorzichtig dan tijdens de eerste meetserie (meer stukken tegelijkertijd verplaatsen, minder voorzichtig neerleggen, daardoor in totaal meer verplaatsingen). Neemt tussendoor soms even rust om zijn rug te ontlasten.	Verplaatst de stukken golfplaat van de tafel naar twee stoelen naast de tafel en deels op de grond voor de stoelen. Hanteert de stukken golfplaat op het oog minder voorzichtig dan tijdens de eerste meetserie (meer stukken tegelijkertijd verplaatsen, minder voorzichtig neerleggen, daardoor in totaal meer verplaatsingen).
Schoonmaken na gebroken droge stukken asbestcement golfplaten hanteren	10	De saneerder heeft 11 minuten ingepakt (stukken in afvalzak, doek (lag op tafel en op de grond, om de stukken op te leggen) opvouwen en in minibag doen, afvalzakken en minibag dichttapen, uitsluizen), 13 minuten gestofzuigd (met name de vloer), en 6 minuten afgenomen met vochtige doeken (doek inspuiten met water met behulp van gloriaspuit en daarmee oppervlakken afnemen).	De saneerder heeft 11 minuten ingepakt (stukken in afvalzak, doek (lag op tafel en op de grond, om de stukken op te leggen) opvouwen en in minibag doen, afvalzakken en minibag dichttapen, uitsluizen), 11 minuten gestofzuigd (met name de vloer), en 9 minuten afgenomen met vochtige doeken (doek inspuiten met water met behulp van gloriaspuit en daarmee oppervlakken afnemen) Tijdens de meting is de pomp van de PAS-meting even uitgevallen, deze is tijdens de meting vervangen.
Pakkingen droog verwijderen	13	11 pakkingen verwijderd (tussendoor kwamen van een flens de bouten niet los, deze is niet open gemaakt). Alle pakkingen waren (zeer) verkleefd met een of beide flensoppervlakken. Deels van de pakking is soms losgescheurd. Flensoppervlakken bewerkt met plamuurmes, krabber en staalborstel. Kwam redelijk veel stof bij vrij, met name tijdens schoonborstelen met staalborstel. I.v.m.	x

Scenario	Exp.	Containment A	Containment B
		stofvorming besloten om de flensdelen niet 100% schoon te maken	
	15	18 pakkingen verwijderd Alle pakkingen waren (zeer) verkleefd met een of beide flensoppervlakken, 12 kwamen makkelijk los en 4 kwamen niet makkelijk los. Flensoppervlakken bewerkt met plamuurmes, krabber en staalborstel. Kwam redelijk veel stof bij vrij, met name tijdens schoonborstelen met staalborstel.	18 pakkingen verwijderd Alle pakkingen waren (zeer) verkleefd met een of beide flensoppervlakken, 12 kwamen makkelijk los en 4 kwamen niet makkelijk los. Bij 1 flens relatief lang bezig geweest om de bouten los te krijgen. Flensoppervlakken bewerkt met plamuurmes, krabber en staalborstel. Kwam redelijk veel stof bij vrij, met name tijdens schoonborstelen met staalborstel.
Schoonmaken na pakkingen droog verwijderen	16	De saneerder heeft 15 minuten ingepakt (stukken in afvalzak, flensdelen in minibag doen, afvalzakken en minibag dichttapen, uitsluizen), 12 minuten gestofzuigd (met name de vloer), en 5 minuten afgenomen met vochtige doeken (doek inspuiten met water met behulp van gloriaspuit en daarmee oppervlakken afnemen).	De saneerder heeft 15 minuten ingepakt (stukken in afvalzak, flensdelen in minibag doen, afvalzakken en minibag dichttapen, uitsluizen), 14 minuten gestofzuigd (met name de vloer), en 5 minuten afgenomen met vochtige doeken (doek inspuiten met water met behulp van gloriaspuit en daarmee oppervlakken afnemen).
Amosietplaat breken met schuim	17	± 2,5 L vloeistof gebruikt om in te schuimen. Eerste keer inschuimen voorafgaand aan de start van de meting. Tussendoor regelmatig bijschuimen. Materiaal valt uit elkaar in lagen. Voornamelijk breken met de hand op tafel (stuk amosietplaat naar zich toe buigen tot het breekt, soms met vuist extra kracht zetten). Rafelige breukvlakken. Op basis van observatie lijkt het schuim slechts beperkt in de amosietplaat te trekken. De amosietplaat bestaat uit dunne laagjes vezelachtig materiaal, en het schuim lijkt alleen in de bovenste	± 2 L vloeistof gebruikt om in te schuimen. Eerste keer inschuimen voorafgaand aan de start van de meting. Tussendoor regelmatig bijschuimen. Materiaal valt uit elkaar in lagen. Voornamelijk breken met de hand op tafel (stuk amosietplaat naar zich toe buigen tot het breekt, soms met vuist extra kracht zetten). Soms ook stuk amosietplaat met twee handen voor zich breken. Rafelige breukvlakken. Op basis van observatie lijkt het schuim slechts beperkt in de amosietplaat te trekken. De amosietplaat bestaat uit dunne laagjes vezelachtig materiaal,

Scenario	Exp.	Containment A	Containment B
		laag/lagen door te dringen, maar niet of slechts zeer beperkt door te dringen in de volgende lagen.	en het schuim lijkt alleen in de bovenste laag/lagen door te dringen, maar niet of slechts zeer beperkt door te dringen in de volgende lagen.
	22	± 2,5 L vloeistof gebruikt om in te schuimen. Eerste keer inschuimen voorafgaand aan de start van de meting. Tussendoor regelmatig bijschuimen. Ten opzichte van de eerste meetsessie lijkt het schuim beter te blijven liggen (materiaal eerder verzadigd?) en lijkt het materiaal minder uit elkaar te vallen. Voornamelijk breken door stuk amosietplaat op de rand van de tafel te leggen en dan van zich af naar beneden te duwen. Soms ook naar zichzelf toe trekken. Kleinere stukken ook op tafel of met twee handen voor zich breken. Rafelige breukvlakken. Op basis van observatie lijkt het schuim slechts beperkt in de amosietplaat te trekken. De amosietplaat bestaat uit dunne laagjes vezelachtig materiaal, en het schuim lijkt alleen in de bovenste laag/lagen door te dringen, maar niet of slechts zeer beperkt door te dringen in de volgende lagen.	± 3 L vloeistof gebruikt om in te schuimen. Eerste keer inschuimen voorafgaand aan de start van de meting. Tussendoor regelmatig bijschuimen. Materiaal valt vergelijkbaar met de eerste meetsessie uit elkaar in lagen Voornamelijk breken door stuk amosietplaat op de rand van de tafel te leggen en dan van zich af naar beneden te duwen. Soms ook naar zichzelf toe trekken. Kleinere stukken ook op tafel of met twee handen voor zich breken. Rafelige breukvlakken. Op basis van observatie lijkt het schuim slechts beperkt in de amosietplaat te trekken. De amosietplaat bestaat uit dunne laagjes vezelachtig materiaal, en het schuim lijkt alleen in de bovenste laag/lagen door te dringen, maar niet of slechts zeer beperkt door te dringen in de volgende lagen.
Amosietplaat breken droog	19	Voornamelijk breken door stuk amosietplaat op de rand van de tafel te leggen en dan van zich af naar beneden te duwen. Soms ook naar zichzelf toe trekken. Kleinere stukken ook op tafel of met twee handen voor zich breken. Rafelige breukvlakken.	Voornamelijk breken door stuk amosietplaat op de rand van de tafel te leggen en dan van zich af naar beneden te duwen. Soms ook naar zichzelf toe trekken. Kleinere stukken ook op tafel of met twee handen voor zich breken. Rafelige breukvlakken.
	24	Voornamelijk breken door stuk amosietplaat op de rand van de tafel te leggen en dan van zich af naar beneden te	Voornamelijk breken door stuk amosietplaat op de rand van de tafel te leggen en dan van zich af naar beneden te duwen.

Scenario	Exp.	Containment A	Containment B
		duwen. Soms ook naar zichzelf toe trekken. Kleinere stukken ook op tafel of met twee handen voor zich breken. Rafelige breukvlakken.	Soms ook naar zichzelf toe trekken. Kleinere stukken ook op tafel of met twee handen voor zich breken. Rafelige breukvlakken.
Schoonmaken na droog breken amosietplaat	21	De saneerder heeft 9 minuten ingepakt (stukken in afvalzak, plastic opvouwen en in minibag doen, afvalzakken en minibag dichttapen, uitsluizen), 17 minuten gestofzuigd (vloer en wanden), en 12 minuten afgenomen met vochtige doeken (ruimte nevelen, doek inspuiten met water met behulp van gloriaspuit en daarmee oppervlakken afnemen).	De saneerder heeft 7 minuten ingepakt (stukken in afvalzak, plastic opvouwen en in minibag doen, afvalzakken en minibag dichttapen, uitsluizen), 12 minuten gestofzuigd (vloer en wanden), en 17 minuten afgenomen met vochtige doeken (ruimte nevelen, doek inspuiten met water met behulp van gloriaspuit en daarmee oppervlakken afnemen).
	26	De saneerder heeft 8 minuten ingepakt (stukken in afvalzak, plastic opvouwen en in minibag doen, afvalzakken en minibag dichttapen, uitsluizen), 22 minuten gestofzuigd (vloer en wanden), en 8 minuten afgenomen met vochtige doeken (ruimte nevelen, doek inspuiten met water met behulp van gloriaspuit en daarmee oppervlakken afnemen).	De saneerder heeft 11 minuten ingepakt (stukken in afvalzak, plastic opvouwen en in minibag doen, afvalzakken en minibag dichttapen, uitsluizen), 11 minuten gestofzuigd (vloer en wanden), en 24 minuten afgenomen met vochtige doeken (ruimte nevelen, doek inspuiten met water met behulp van gloriaspuit en daarmee oppervlakken afnemen).

Bijlage 5: Beeldmateriaal per handelingsscenario

Droog breken asbestcement golfplaat

Experiment 1

Containment A

Containment B

Containment B

Containment A

Containment A

Containment B

Containment B

Containment B

Containment B

Containment A

Containment B

Containment B

Containment A [3]

[3] Tijdens de experimenten heeft een vroege versie van de Asbestos ALERT PRO 1000 (gele koffer die op sommige foto's te zien is) meegelopen. Dit betrof een proto-type en dus niet een reeds gevalideerd meetinstrument. De resultaten hiervan vallen daarom buiten de scope van dit onderzoek.

Containment A

Containment B

Containment A

Containment A

Containment A

Containment B

Containment B

Containment B

Experiment 6

Containment B

Containment B

Containment A

Containment B

Containment B

Containment A

Containment A

Containment B

Containment B

Containment B

Containment A

Containment B

Containment A

Containment B

Containment A

Schoonmaken na droog breken asbestcement golfplaat

Experiment 3

Containment A

Containment B

Containment B

Containment B

Containment B

Containment B

Containment A

Containment A

Containment B

Containment A

Containment A

Containment A

Containment A

Experiment 8

Containment A

Containment B

Containment B

Containment A

Containment A

Containment A

Containment B

Containment A

Containment B

Containment A

Containment B

Containment B

Containment A

Containment A

Containment A

Hanteren gebroken stukken asbestcement golfplaat

Experiment 4

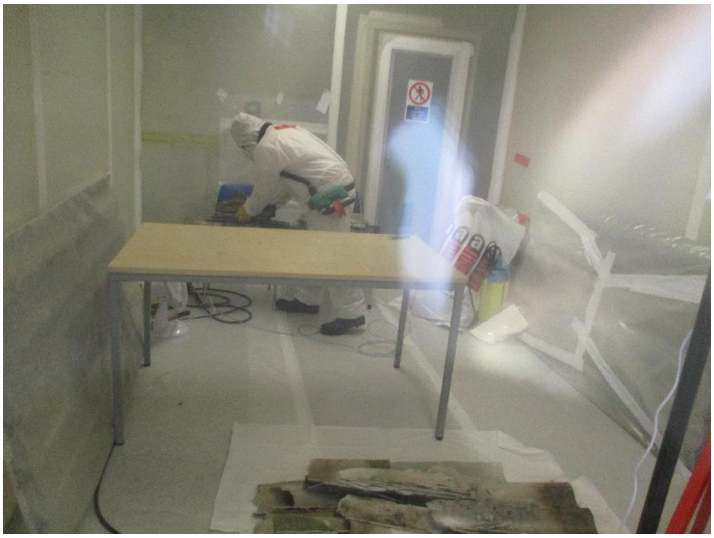
Containment B

Containment A

Containment A

Containment B

Containment B



Containment B

Containment B

Containment A

Containment A

Containment B

Containment B

Containment B

Containment A

Containment A

Containment A

Experiment 9

Containment B

Containment A

Containment B

Containment B

Containment A

Containment B

Containment A

Containment B

Schoonmaken na hanteren gebroken stukken asbestcement golfplaat

Experiment 10

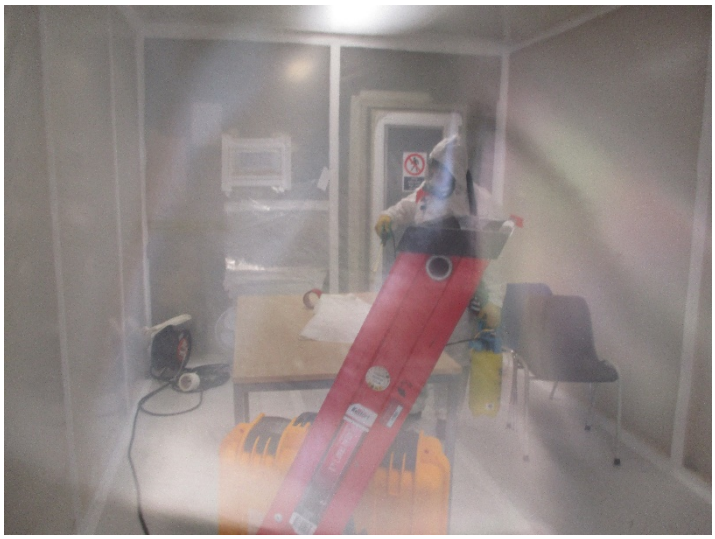
Containment B

Containment A

Containment B

Containment A

Containment A



Containment B

Containment B

Containment A

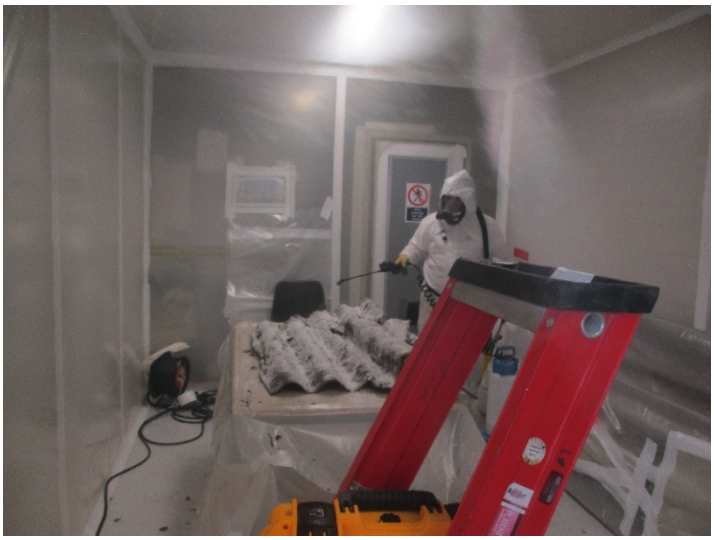
Containment B

Containment A

Breken asbestcement golfplaat met schuim

Experiment 11

Containment B



Containment B

Containment B

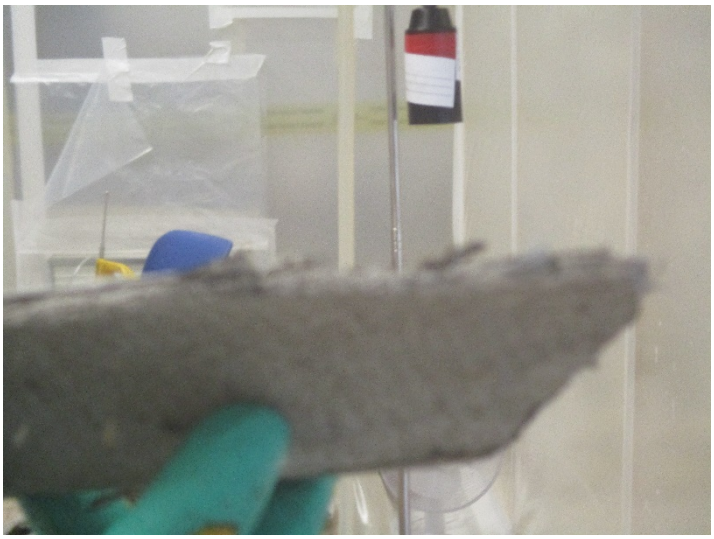
Containment A

Containment A

Containment A

Containment B

Containment A



Containment A

Containment B

Containment B

Containment B

Containment A

Containment B

Containment A

Containment B

Containment B

Containment B

Containment A

Experiment 13

Containment B

Containment B

Containment B

Containment B

Containment B

Containment B

Containment B

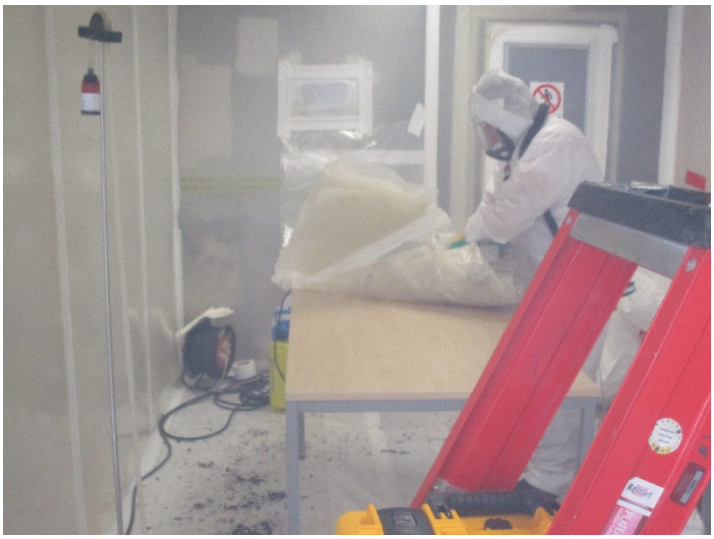
Containment B

Containment B

Schoonmaken na breken asbestcement golfplaat met schuim

Experiment 12

Containment B



Containment B

Containment B

Containment A

Containment A

Containment A

Containment B

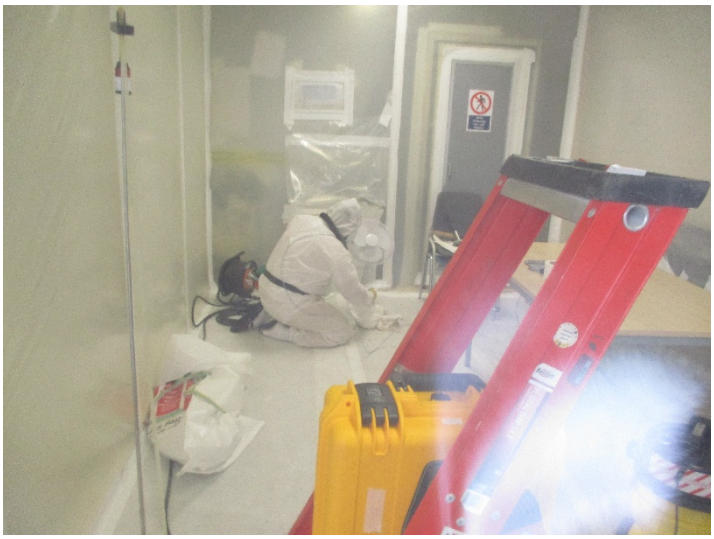
Containment A

Containment B

Containment A

Containment A

Containment B



Containment B

Experiment 14

Containment B

Containment B

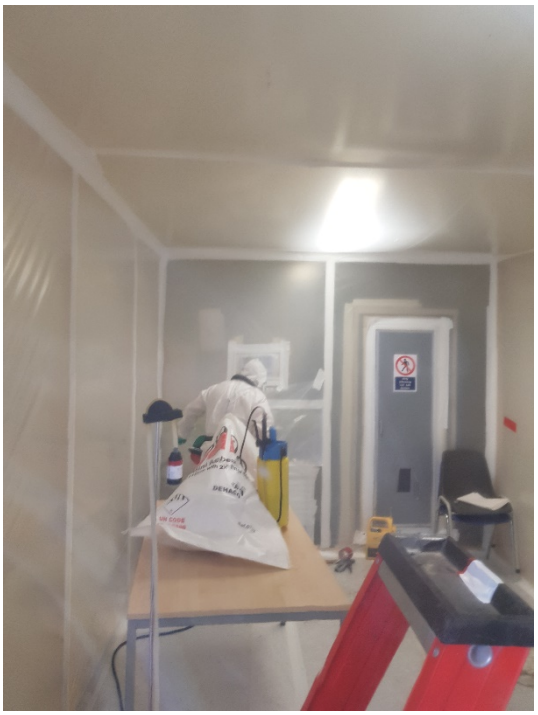
Containment B

Containment B

Containment B

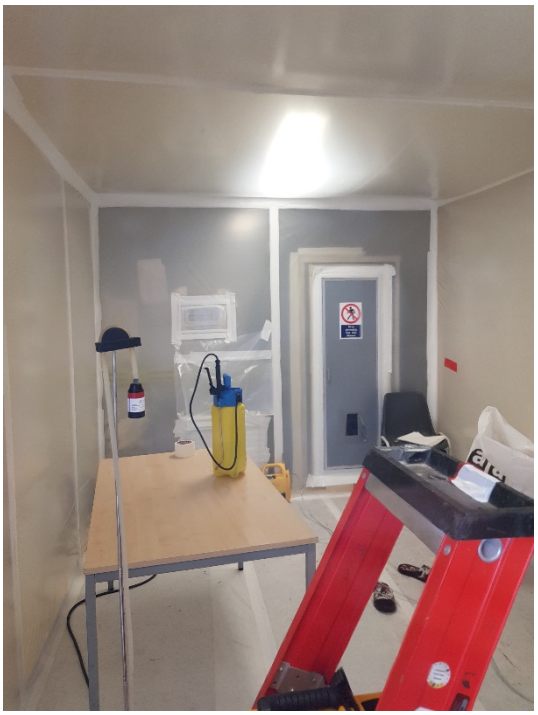
Containment B

Containment B



Containment B

Containment B



Containment B

Droog verwijderen pakkingen

Experiment 13

Containment A

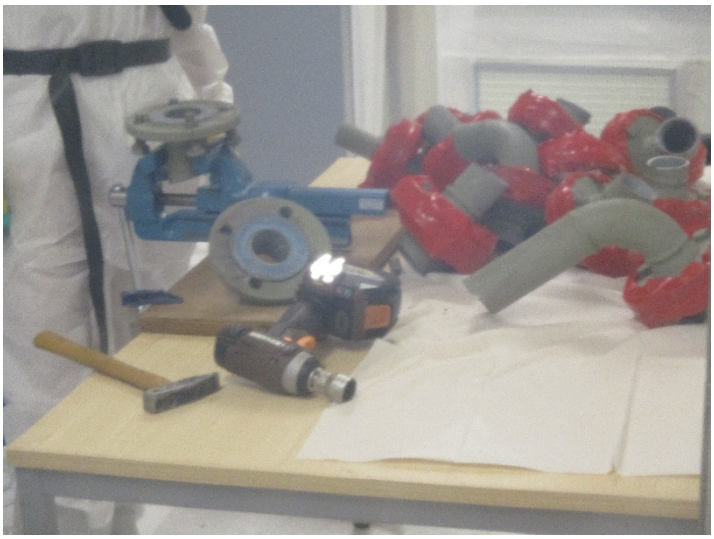
Containment A

Containment A

Containment A

Containment A

Containment A



Containment A

Containment A

Containment A

Containment A

Experiment 15

Containment B

Containment B

Containment B

Containment A

Containment A

Containment B

Containment A

Containment B

Containment A

Containment B

Containment A

Containment A

Containment A

Containment B

Containment B

Containment B

Containment A

Containment A

Schoonmaken na droog verwijderen pakkingen

Experiment 14

Containment A

Containment A

Containment A

Containment A

Containment A

Containment A

Containment A

Containment A

Containment A

Containment A

Containment A

Containment A

Experiment 16

Containment B

Containment A

Containment A

Containment B

Containment B

Containment B

Containment A

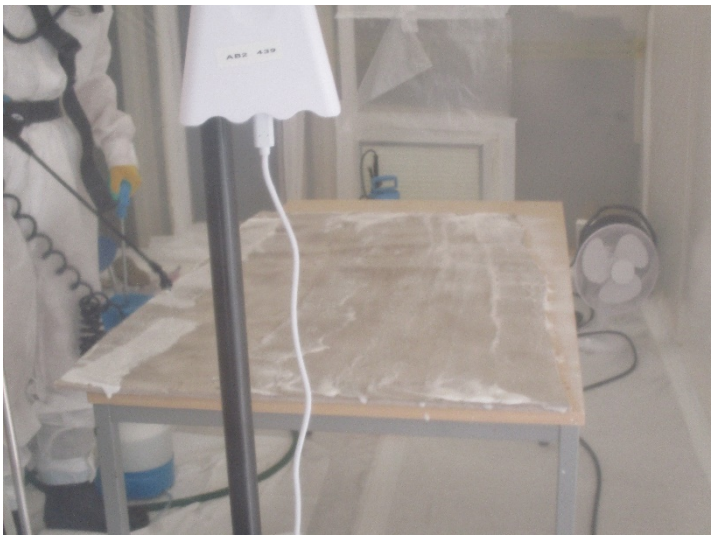
Containment A

Containment B

Breken amosietplaat met schuim

Experiment 17

Containment A



Containment A

Containment B

Containment B

Containment A

Containment A

Containment A

Containment A

Containment B

Containment A

Containment A

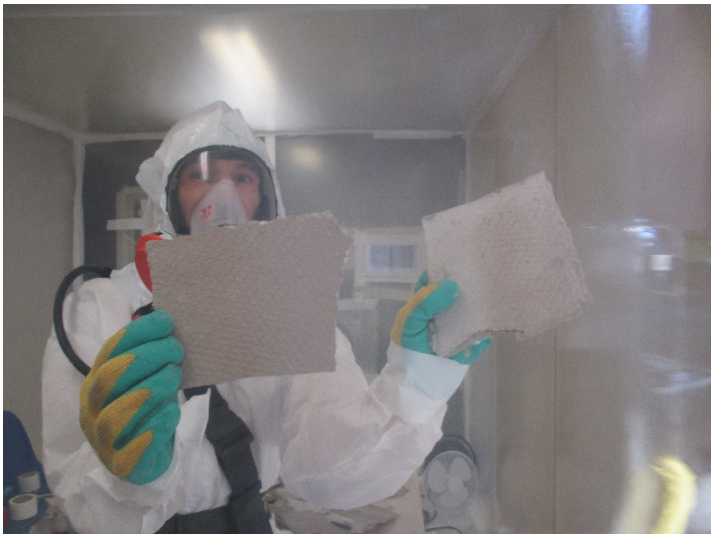
Containment A

Containment B

Containment A

Containment B

Containment B

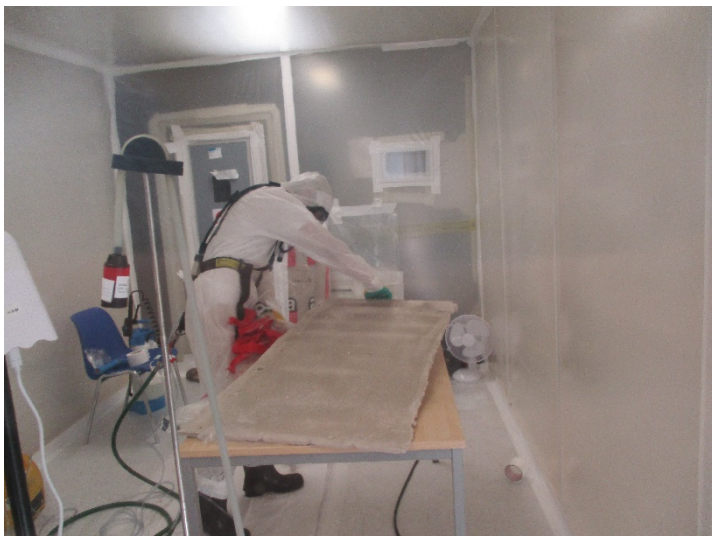


Containment A

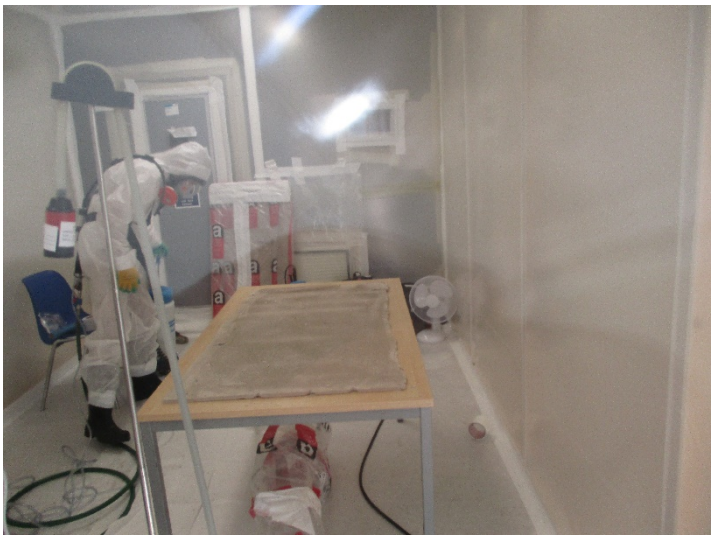
Containment B

Experiment 22

Containment B



Containment A



Containment A

Containment A

Containment A

Containment B

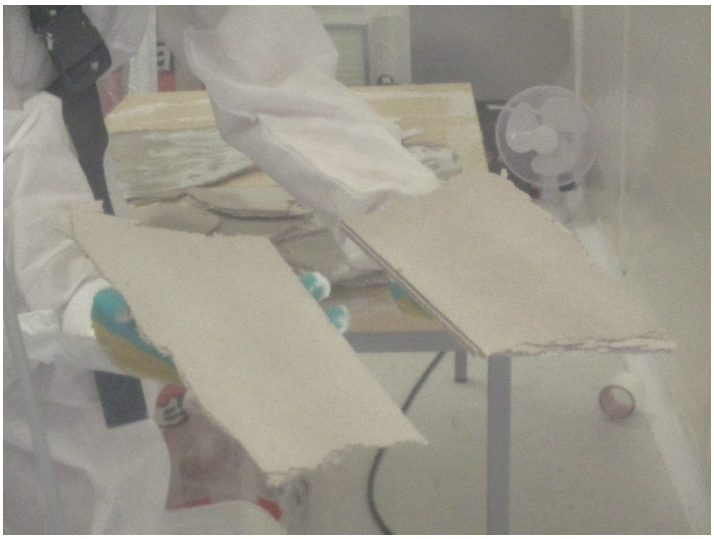
Containment B

Containment A

Containment B

Containment A

Containment A



Containment A

Containment A

Containment A

Containment B

Containment B

Containment A

Containment A

Containment B

Containment B

Schoonmaken na breken amosietplaat met schuim

Experiment 18

Containment B

Containment A

Containment B

Containment A

Containment B

Experiment 23

Containment A

Containment B

Containment B

Containment A

Containment A

Containment B

Containment A

Containment A

Droog breken amosietplaat

Experiment 19

Containment A

Containment B

Containment A

Containment B

Containment B

Containment A

Experiment 24

Containment B

Containment A

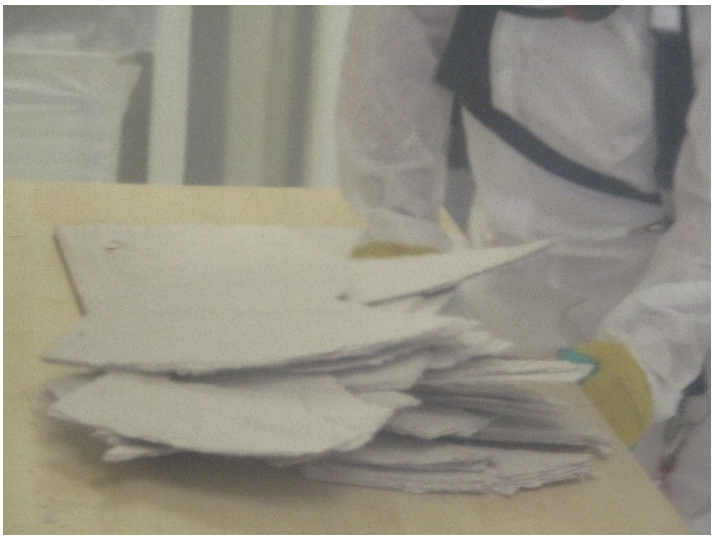
Containment A

Containment B

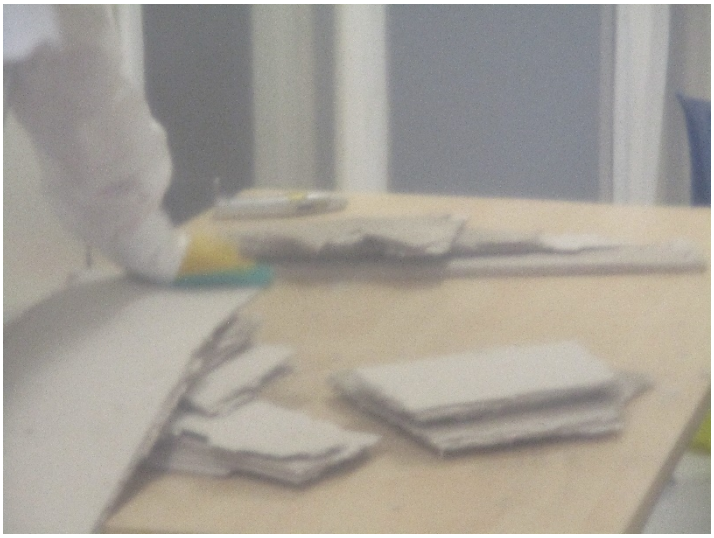
Containment B

Containment B

Containment A



Containment B



Containment A

Containment A

Containment B

Containment B

Schoonmaken na droog breken amosietplaat

Experiment 21

Containment B

Containment A

Containment A

Containment B

Containment A

Containment A

Containment B

Containment A

Containment B

Containment A

Experiment 26

Containment A

Containment B

Containment B

Containment A

Containment A

Containment A

Containment B

Containment A

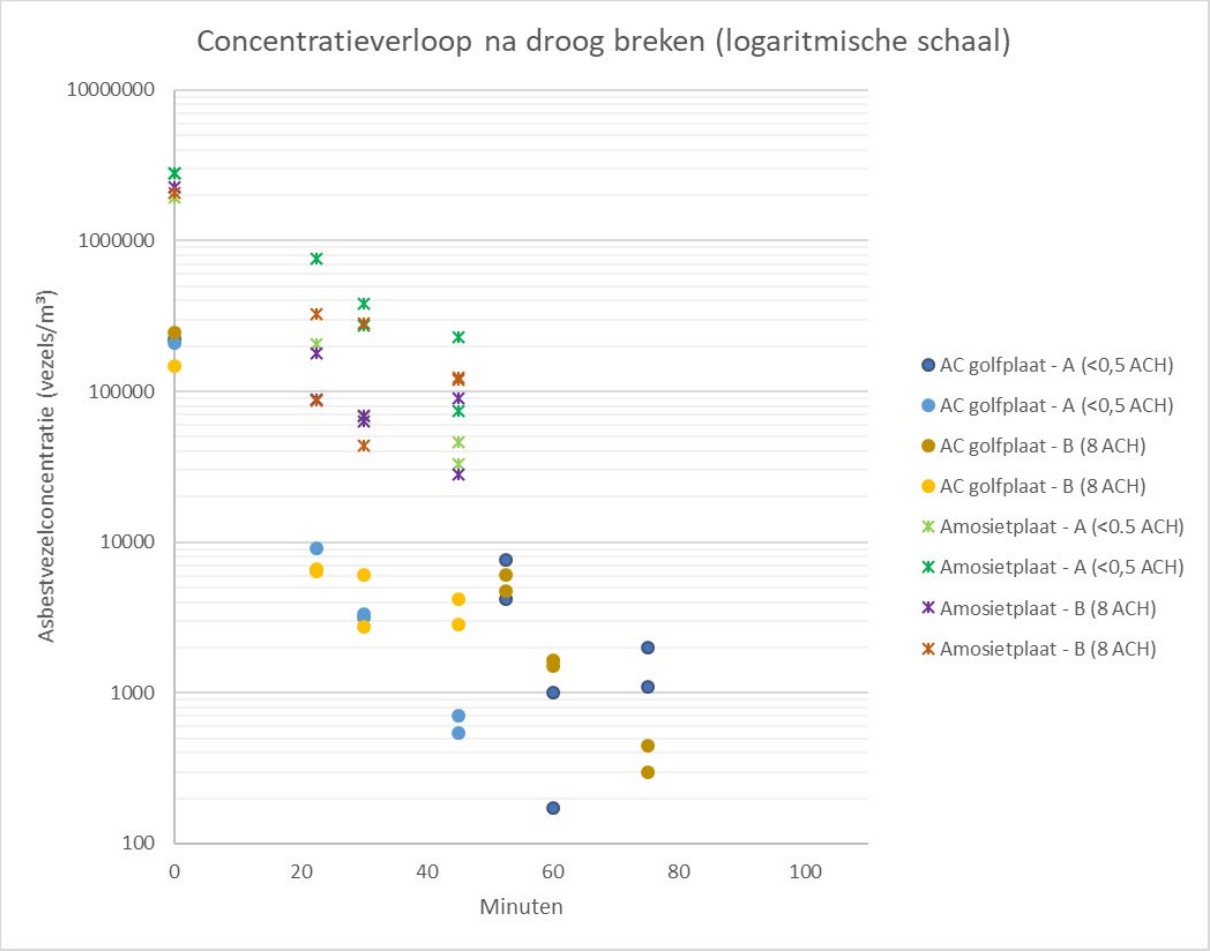
Containment B

Containment A

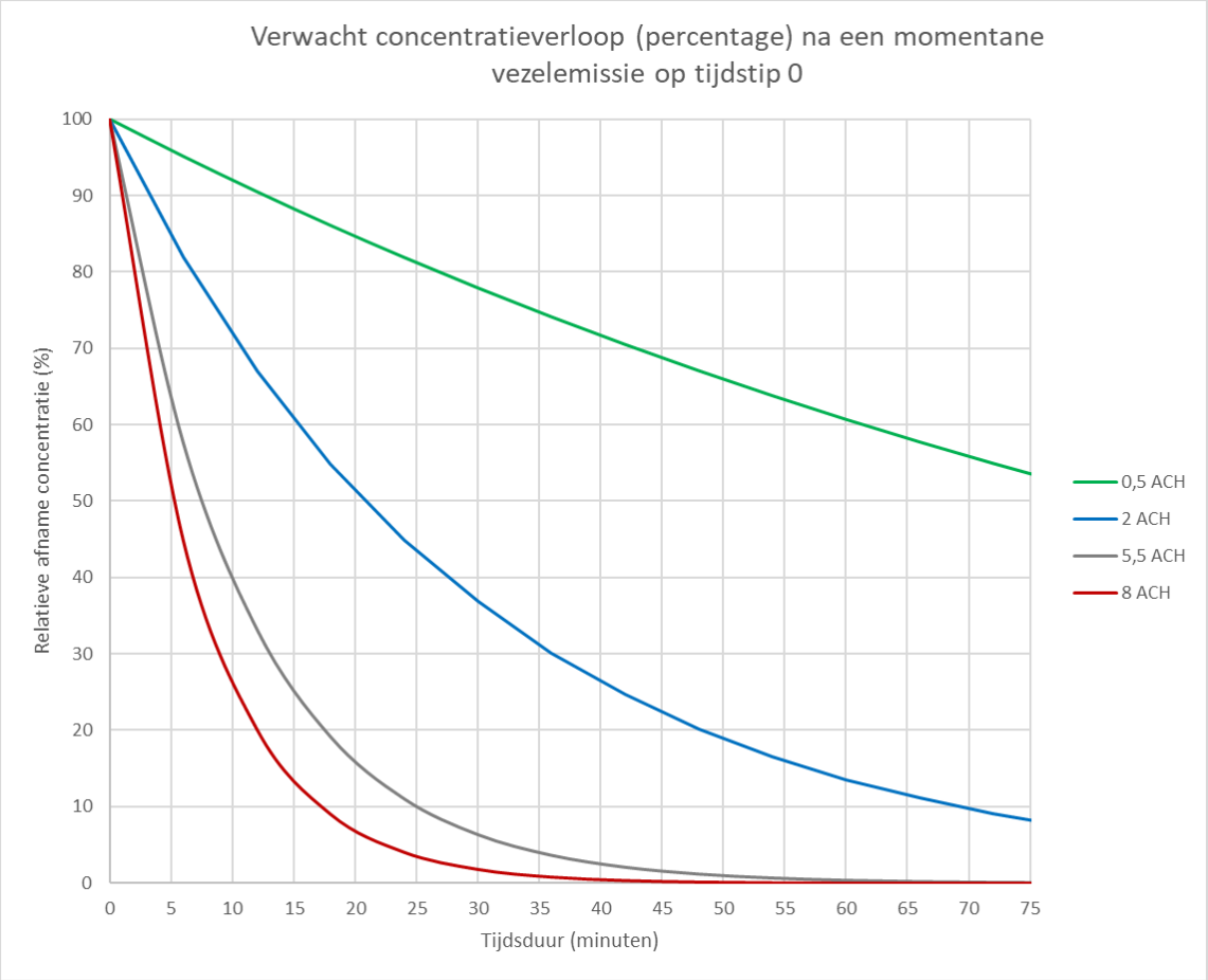
Containment B

Containment B

Bijlage 6: Aanvullende informatie concentratieverloopmetingen



Figuur B6.1: Gemeten concentraties tijdens concentratieverloopmetingen in containment na droog breken asbestcement (AC) golfplaat of amosietplaat (0 minuten) bij een laag (<0,5 verversingen/uur (ACH), containment A) en hoog (8 ACH, containment B) ventilatievoud. Logaritmische schaal.



Figuur B6.2: Theoretisch concentratieverloop bij ventilatievoud (ACH) van 0,5, 2, 5,5 en 8 verversingen per uur uitgaande van een momentane vezelemissie op tijdstip 0.

Bijlage 7: Beeldmateriaal per concentratieverloopscenario

Concentratieverloop na breken asbestcement golfplaten

Experiment 2

Opstelling in containment A

Opstelling in containment B

Experiment 7

Opstelling in containment A

Opstelling in containment B

Concentratieverloop na droog breken amosietplaten

Experiment 20

Opstelling in containment A

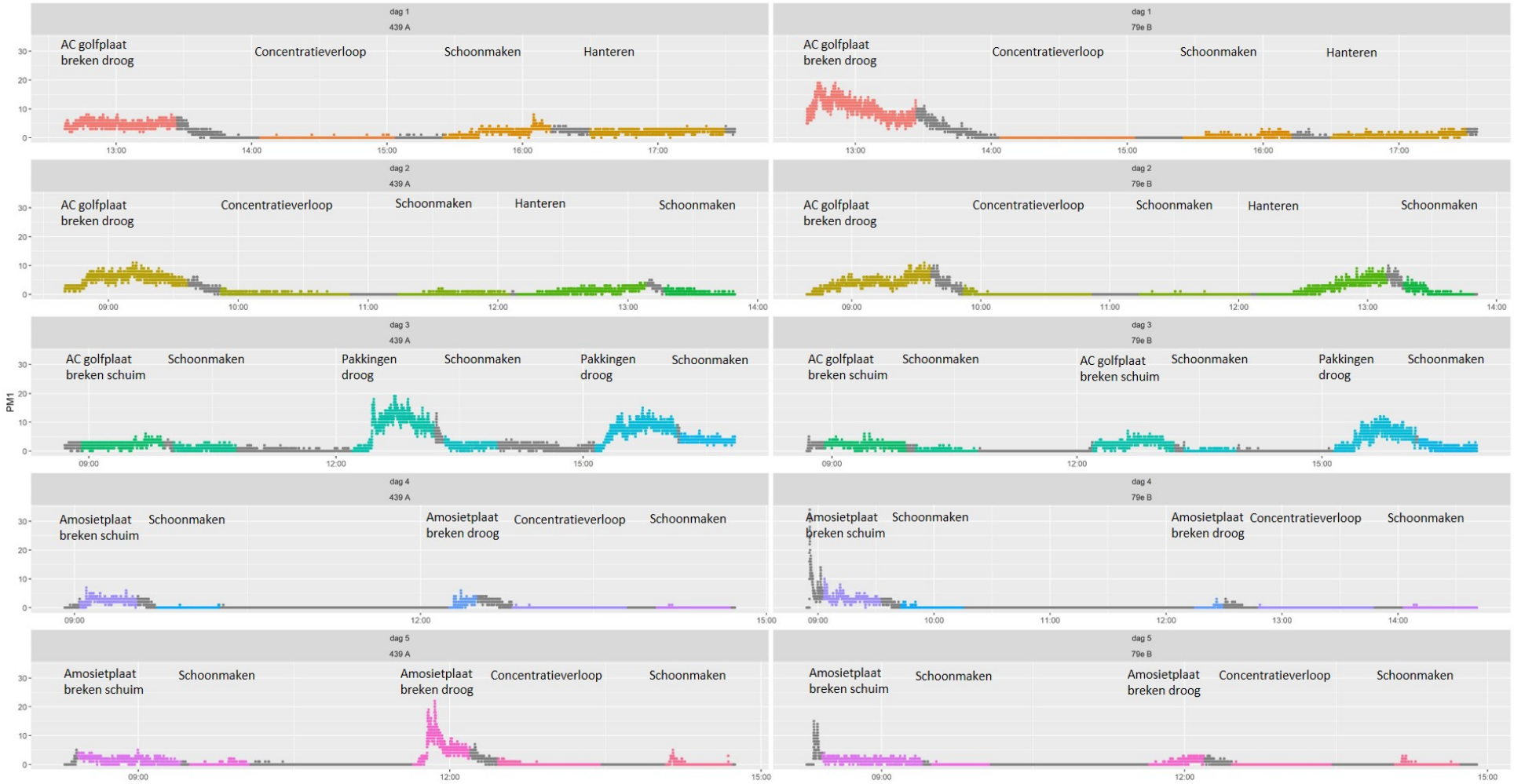
Opstelling in containment B

Experiment 25

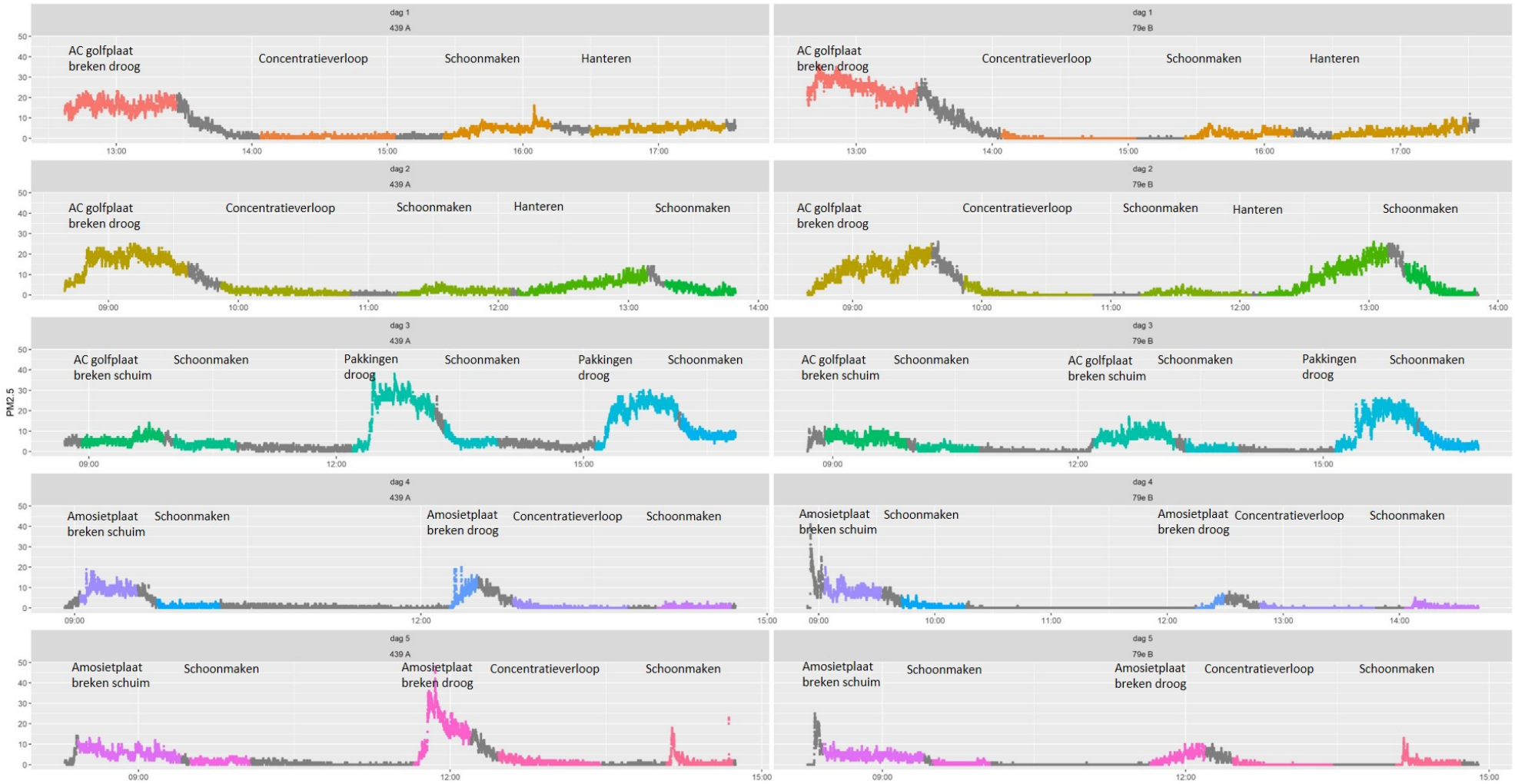
Opstelling containment A

Opstelling containment B

Bijlage 8: Variatie stofconcentratie tijdens meetdagen (fracties PM1 en PM2,5)



Figuur B8.1: Variatie in massaconcentratie voor fractie PM1 tijdens experimenten gedurende de vijf meetdagen (van boven naar beneden) in containment A (links) en containment B (rechts). De schaal op de y-as loopt van 0 tot 40. De tijd op de x-as varieert per dag. Ieder experiment is met een aparte kleur weergegeven.



Figuur B8.2: Variatie in massaconcentratie voor fractie PM2,5 tijdens experimenten gedurende de vijf meetdagen (van boven naar beneden) in containment A (links) en containment B (rechts). De schaal op de y-as loopt van 0 tot 50. De tijd op de x-as varieert per dag. Ieder experiment is met een aparte kleur weergegeven.