

Earth, Life & Social Sciences

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 2016 R10496- A versie****Bepaling van de vezelconcentratie in de lucht
na asbestsanering**

Onderzoek naar de geschiktheid van licht- en
elektronenmicroscopische bepalingsmethoden bij de
eindcontrole na een asbestsanering

Datum	13 juni 2016
Auteur(s)	P.C. Tromp en J. Tempelman
Aantal pagina's	24 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid
Projectnaam	Onderzoek bruikbaarheid FCM
Projectnummer	060.14110/01.05

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.

© 2016 TNO

Samenvatting

Voorgeschiedenis

Eind 2013 werd in opdracht van Ministerie voor SZW het rapport TNO 2013 R11850 "Onderzoek naar de blootstelling aan asbest tijdens saneringswerkzaamheden" uitgebracht. Dit rapport beschrijft onderzoek naar blootstellingsniveaus, bronmaatregelen en persoonlijk beschermingsmiddelen in relatie tot de introductie van nieuwe grenswaarden voor asbest, en gaat tevens in op de bruikbaarheid van verschillende microscopische technieken bij de eindcontrole na sanering conform NEN 2990:2012.

Bruikbaarheid van verschillende microscopische technieken voor het meten van asbestvezels in de lucht

In dit rapport wordt een toelichting gegeven over de verschillende microscopische technieken die gebruikt worden bij de bepaling van asbestvezels in lucht en de normen waarin deze technieken zijn beschreven.

Bruikbaarheid van FCM bij eindcontrolemetingen na risicoklasse 2

In dit rapport wordt ook ingegaan op de bruikbaarheid van lichtmicroscopie bij eindcontroles na sanering. De voorlopige conclusie luidde in 2013:

"Uit de analyse van drie vergelijkende meetseries (FCM-metingen versus SEM/RMA-metingen) blijkt dat (indirecte) toetsing aan grenswaarde van 2000 vezels/m³ met fase-contrast lichtmicroscopie mogelijk is voor risicoklasse 2 saneringen van chrysotiel asbesthoudende materialen met minder dan 5% amfibool vezels. De meetserie kent echter beperkingen. Een analyse van een grotere, gedetailleerd gedocumenteerde, meetserie, veel groter dan thans beschikbaar, zal daar definitief uitsluitel over kunnen geven."

Inmiddels zijn door zes (bij Fenelab aangesloten) laboratoria/inspectie-instellingen in totaal 91 aanvullende parallelle metingen afkomstig uit 46 saneringsprojecten uitgevoerd, waarbij steeds de resultaten door middel van standaard FCM-analyse zijn vergeleken met de resultaten door middel van SEM/RMA-analyse metingen. Daarnaast zijn ook 39 parallelle metingen tijdens risicoklasse 2 saneringsactiviteiten afkomstig uit 11 projecten uitgevoerd, waarvan de resultaten van de monsters geanalyseerd met behulp van FCM en SEM/RMA zijn vergeleken.

Uit de meetgegevens blijkt dat fase-contrast lichtmicroscopie (FCM) in principe niet geschikt is voor het meten van asbestvezelconcentraties lager dan ca. 5.000 vezels/m³. FCM is een specifieke analysemethode, waarvan de bepalingsondergrens in de praktijk wordt beperkt door de "achtergrondruis" van altijd in de lucht aanwezige (niet-asbest) vezelvormige bestanddelen. Het direct toetsen aan de grenswaarde van 2.000 v/m³, op basis van FCM is dan ook niet mogelijk.

Wel blijkt dat bij een vezelconcentratie kleiner dan 10.000 v/m³, gemeten met FCM, de asbestvezelconcentratie, gemeten met SEM/EDX, in vrijwel alle gevallen onder de grenswaarde van 2.000 v/m³ blijft. Dit betekent dat de conclusie uit 2013 dat lichtmicroscopie vooralsnog toepasbaar blijft als indicator voor eindcontroles van standaard risicoklasse 2 saneringen (sanering hechtgebonden asbesthoudende producten die chrysotiel bevatten) in dit onderzoek bevestigd wordt. Nu echter

gebaseerd op een groter aantal meetresultaten en beter onderbouwd omdat ook een inschatting is gemaakt van het aandeel asbestvezels in de totale hoeveelheid gemeten vezels (SEM/MRA versus FCM).

Wel wordt aanbevolen om de met FCM uitgevoerde eindcontroles ook in de reguliere uitvoeringspraktijk steekproefsgewijs te controleren/valideren met behulp van parallel genomen monsters voor SEM/RMA.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding en doel	5
2	Bruikbaarheid van verschillende microscopische technieken voor het meten van asbestvezels in de lucht	6
2.1	Asbesttypen en benamingen	6
2.2	Fasecontrast lichtmicroscopie (FCM)	7
2.3	Scanning elektronenmicroscopie in combinatie met röntgen-microanalyse (SEM/RMA)	8
2.4	Transmissie elektronenmicroscopie (TEM).....	10
2.5	Overzicht van het toepassingsgebied voor de verschillende microscopische technieken	11
3	Bruikbaarheid van FCM bij eindcontrole-metingen na risicoklasse 2 saneringen	13
3.1	Probleemschets.....	13
3.2	Resultaten vergelijkende metingen met FCM en SEM/RMA.....	14
4	Conclusies en aanbevelingen	18
5	Referenties	19
6	Ondertekening	20
	Bijlage A: Meetresultaten	21

1 Inleiding en doel

Eind 2013 werd in opdracht van Ministerie voor SZW het rapport TNO 2013 R11850 “Onderzoek naar de blootstelling aan asbest tijdens saneringswerkzaamheden” uitgebracht [1]. Dit rapport beschrijft onderzoek naar blootstellingsniveaus, bronmaatregelen en persoonlijk beschermingsmiddelen in relatie tot de introductie van nieuwe grenswaarden voor asbest. In dit rapport wordt ook ingegaan op de bruikbaarheid van lichtmicroscopie bij eindcontroles na sanering.

De voorlopige conclusie luidde in 2013:

“Uit de analyse van drie vergelijkende meetseries (FCM-metingen versus SEM/RMA-metingen) blijkt dat (indirecte) toetsing aan grenswaarde van 2000 vezels/m³ met fase-contrast lichtmicroscopie mogelijk is voor risicoklasse 2 saneringen van chrysotiel asbesthoudende materialen met minder dan 5% amfibool vezels. De meetserie kent echter beperkingen. Een analyse van een grotere gedetailleerd gedocumenteerde meetserie, veel groter dan thans beschikbaar, zal daar definitief uitsluitsel over kunnen geven.”

Inmiddels zijn door zes (bij Fenelab aangesloten) laboratoria/inspectie-instellingen aanvullende metingen uitgevoerd waarbij steeds standaard FCM-metingen werden vergeleken met SEM/RMA metingen.

Doelstelling van het onderhavige onderzoek is een evaluatie van de fase-contrast – methode (FCM) met betrekking tot de toepasbaarheid als indicator voor eindcontroles van standaard risicoklasse 2 saneringen (sanering hechtgebonden asbesthoudende producten die chrysotiel bevatten).

In dit rapport wordt een toelichting gegeven op de bruikbaarheid van verschillende microscopische technieken voor de bepaling van asbestvezels in lucht en de normen waarin deze technieken zijn beschreven. Daarnaast zal worden getoetst of vrijgave van beperkt-risico saneringen aan de hand van <10.000 vezels/m³ ook met een voldoende mate van zekerheid waarborgt dat de grens van 2000 asbestvezels/m³ (gemeten met SEM/RMA) niet wordt overschreden.

2 Bruikbaarheid van verschillende microscopische technieken voor het meten van asbestvezels in de lucht

Tot op heden is fase-contrast lichtmicroscopie (FCM) de methode die voorgeschreven is voor het bepalen van de asbestvezelconcentratie als eindcontrole na een asbestsanering conform NEN 2990:2012 (“vrijgave”) [2]. De techniek is relatief eenvoudig en een lichtmicroscop kan worden gebruikt in een mobiel laboratorium ter plaatse van de saneringslocatie. Andere meettechnieken zijn scanning elektronenmicroscopie in combinatie met röntgen-microanalyse (SEM/RMA) en transmissie elektronenmicroscopie (TEM). In dit hoofdstuk wordt eerst een beknopt overzicht gegeven van de commerciële asbestsoorten en de belangrijkste eigenschappen en toepassingen, waarna een overzicht volgt van de beschikbare meetmethoden voor asbestvezels in de lucht en hun toepassingsgebied.

2.1 Asbesttypen en benamingen

De tabel 2.1 geeft een overzicht van de zes bekende commerciële asbestsoorten.

Tabel 2.1: Overzicht eigenschappen en toepassingen van verschillende asbesttypen

Soort asbest	Mineraaltype	Kleinste vezeldiameter	Meest voorkomende toepassingen
chrysotiel	serpentijn	0,02 μm	asbestcement, isolatie, remvoeringen, filters, pakkingen, koord, asbesttextiel
crocidoliet	amfibool	0,05 μm	isolatie, asbestcement, pakkingen, spuitasbest
amosiet	amfibool	0,07 μm	spuitasbest, brandwerend board
anthofylliet asbest	amfibool	0,10 μm	soms als verontreiniging in talk, in bitumen antidreunlaag, kit
tremoliet asbest	amfibool	0,15 μm	soms in talk en in chrysotiel
actinoliet asbest	amfibool	0,10 μm	van nature in sommige mineralen

Chrysotiel, crocidoliet en amosiet zijn eigennamen voor de asbestiforme variant. Hiermee wordt dus altijd de asbestsoort aangeduid. Dit geldt niet voor anthofylliet, tremoliet en actinoliet. Deze komen ook voor in niet-vezelvormige structuur (“cleavage fragment”). Om de asbestiforme variant aan te duiden moet dus altijd worden vermeld anthofylliet asbest etc.

2.2 Fasecontrast lichtmicroscopie (FCM)

2.2.1 Principe bepaling van asbest in de lucht met FCM

Met een pomp wordt met een bekende hoeveelheid lucht door een filter gezogen (membraanfilter, cellulose-ester). Het filter wordt op een objectglaasje gelegd en met warme acetondamp deels opgelost, waardoor het doorzichtig wordt.

Na het aanbrengen van een druppel glyceroltriacetaat (brekingsindex 1,43) wordt een dekglasje aangebracht. Na ca. 10 minuten kan het filterpreparaat onder de fase-contrast microscoop worden bekeken. Standaard worden 100 graticule beeldvelden (zie afb.2.3.) afgezocht op vezels waarna het aantal vezels per (volledig) filter wordt berekend. Door het aantal vezels per filter te delen door het bemonsterd volume lucht wordt de vezelconcentratie vastgesteld. Met FCM kunnen de vezels niet worden geïdentificeerd dus alle vezelvormige deeltjes worden meegeteld. De methode wordt in detail beschreven in de norm NEN 2990:2012 [2].

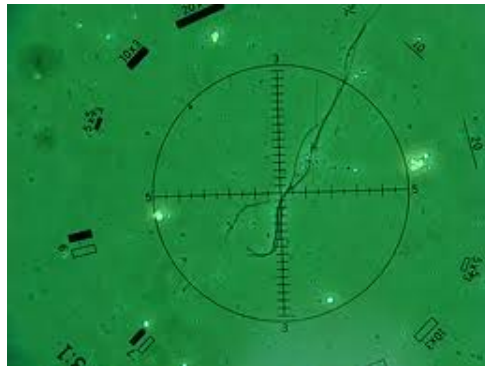


De FCM is momenteel nog het standaardmeetinstrument dat bij een eindcontrole na sanering ("vrijgave") wordt ingezet. Deze microscoop staat dan opgesteld in een meetauto van het laboratorium.

Figuur 2.1 Fasecontrast-lichtmicroscoop.



Figuur 2.2 Vezel in FCM bij een vergroting van 500x



Dit hulp-beeldkader dient om een gedefinieerd teloppervlak (diameter 100 micron) in te kaderen en de afmetingen van vezels te meten. De te volgen telregels zijn nauwkeurig beschreven in de NEN 2990:2012 [2].

Figuur 2.3 Waarneming van het microscoopbeeld met een Walton-Beckett graticule

2.2.2 Voor- en nadelen van de asbestbepaling met FCM

Voordelen:

- Snel (prepareren en analyseren),
- Goedkoop,
- Transportabel: analyses kunnen bij de saneringslocatie worden uitgevoerd

Nadelen:

- Geen herkenning vezels, niet selectief
- Onderste bepalingsgrens 2.000 vezels/m³
- Dunne vezels ($d < \text{ca. } 0,25 \mu\text{m}$) worden niet waargenomen

2.3 Scanning elektronenmicroscopie in combinatie met röntgen-microanalyse (SEM/RMA)

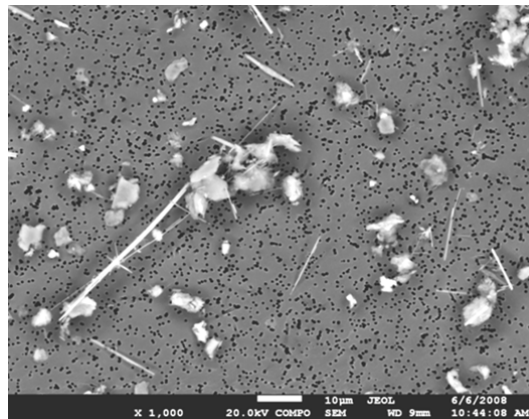
2.3.1 Principe bepaling van asbest in de lucht met SEM/RMA

Met een pomp wordt met een bekende hoeveelheid lucht door een filter gezogen (polycarbonaat kernporie-filter voorzien van een goudcoating). Het filter wordt daarna direct met dubbelzijdig koolstof-tape op een SEM tafeltje aangebracht en kan zonder verder voorbereidingen in de SEM worden bekeken. Standaard worden 100 beeldvelden afgezocht bij een vergroting van 2000x. Van de aangetroffen vezels wordt met RMA een elementspectrum opgenomen. Aan de hand van dit spectrum kunnen asbestvezels worden geïdentificeerd, waarna het aantal asbestvezels per filter wordt berekend. Door het aantal asbestvezels per filter te delen door het bemonsterd volume lucht wordt de vezelconcentratie bepaald. De methode is in detail beschreven in de norm ISO 14966 [3]. Relevante delen van deze norm zijn ook opgenomen in de NEN 2990:2012 [2] (onderdelen met een*), de NEN 2991:2015 [4] en de concept-NEN 2939 [5].



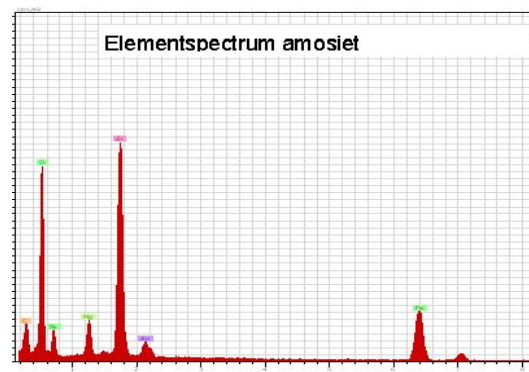
De SEM is uitgerust met een RMA-detector waarmee de asbestvezels kunnen worden geïdentificeerd. Ook zijn er inmiddels SEM's op de markt die transportabel zijn (table top SEM), en in een meetauto kunnen worden opgesteld.

Figuur 2.4 scanning elektronenmicroscoop (SEM) met een RMA-detector



Door een RMA-analyse van de aangetroffen vezels uit te voeren kan van elke vezel een elementspectrum worden bepaald, waarna op basis van de elementsamenstelling wordt bepaald of het om asbest gaat en zo ja om welke asbestsoort. De vezels op het filter zijn van het type amosiet. Het spectrum zoals weergegeven in afbeelding 1.5 is kenmerkend voor de asbestsoort amosiet.

Figuur 2.5 Beeldveld van een met asbestvezels bemonsterd filter



De verhoudingen van de elementen Si, Fe en Mg zijn kenmerkend voor deze asbestsoort.

Figuur 2.6 RMA-spectrum van een vezel van het asbesttype amosiet

2.3.2 Voor- en nadelen van de asbestbepaling met SEM/RMA

Voordelen:

- Identificatie asbestvezels met RMA mogelijk
- Lage bepalingsondergrens mogelijk (100-200 vezels/m³)
- Preparatie eenvoudig, waardoor weinig kans op fouten
- Goede prestatiekenmerken (validatie, ringonderzoek binnen EU)

Nadelen:

- Uitgebreide voorzieningen nodig om een SEM transportabel te maken; anders noodzaak om bemonsterde filters te transporteren naar het laboratorium
- Veel duurder dan een lichtmicroscop
- Vereist een hoger opleidingsniveau van de analist

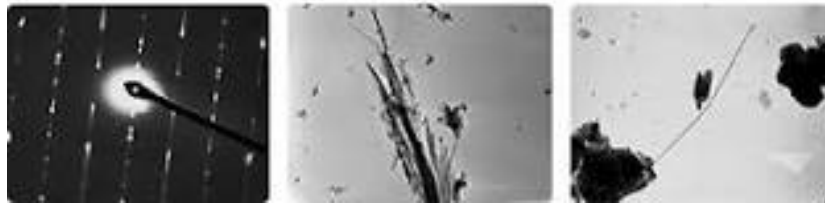
2.4 Transmissie elektronenmicroscopie (TEM)

2.4.1 Principe bepaling van asbest in de lucht met TEM

Met een pomp wordt met een bekende hoeveelheid lucht door een filter gezogen (directe methode: polycarbonaat kernporie-filter zonder goudcoating, of voor de indirecte methode: een groot volume lucht door cellulose ester membraanfilter). Bij de directe methode wordt onder hoog vacuüm een koolstof-coating opgedampt. Het filter wordt opgelost in b.v. chloroform waarna een koolvlies, met daarin de deeltjes op een gaasje met een diameter van 3 mm wordt gebracht. Het dunne koolvlies is transparant voor de elektronenbundel (80 – 100 kV) en geschikt om in de TEM te worden bekeken bij 10.000 tot 40.000 x vergroting. Bij de indirecte methode wordt het filter eerst verast om het filter en alle organische bestanddelen te verwijderen (voor-concentratie). Na eventuele verdere concentratie (zuurbehandeling) wordt de asrest opnieuw ultrasoon gesuspendeerd in water en gefiltreerd over een kernporie-filter. Verder is de procedure identiek aan die van de directe methode. Van aangetroffen vezels wordt met RMA een elementspectrum opgenomen. Aan de hand van dit spectrum kunnen asbestvezels worden geïdentificeerd. Als tweede analyse-techniek kan bij een TEM gebruik worden gemaakt van Selected Area Electron Diffraction (SAED). Uit het diffractiepatroon kan de specifieke kristalstructuur worden bepaald waarmee asbestvezels ondubbelzinnig geïdentificeerd kunnen worden. Na telling van een bekend oppervlak kan het aantal asbestvezels per filter wordt berekend. Door het aantal asbestvezels per filter te delen door het bemonsterd volume lucht wordt de vezelconcentratie bepaald. De methode wordt in detail beschreven in de normen ISO 10312 (TEM direct method) [6] and ISO 13794 (TEM indirect method) [7].



Figuur 2.7 Transmissie elektronenmicroscop



Figuur 2.8 Van links naar rechts:

- (Elektronen-)diffractiepatroon van een vezel opgenomen in een TEM
- Amfiboolasbest bij een vergroting van ca. 10.000x
- Elementaire asbestvezel bij ca. 40.000x

2.4.2 Voor- en nadelen van de asbestbepaling met TEM

Voordelen:

- Identificatie asbestvezels met RMA of elektronendiffractie
- Ook dunste ($< 0,02 \mu\text{m}$) asbestvezels zichtbaar

Nadelen:

- Niet transportabel
- Aanzienlijk duurder dan een SEM
- Preparatie complex (veel handelingen), veel kans op fouten of contaminatie
- Bepalingsgrens relatief hoog (1000-2000 vezels/m³), waardoor de methode ongeschikt is voor het bepalen van lage concentratieniveaus
- Prestatiekenmerken slechter dan SEM als gevolg van kleine steekproef (hoge vergroting = klein deel van het monster)
- Toepassing van SAED is zeer tijdrovend en vraagt vakkennis op academisch niveau (mineralogie/kristallografie)

2.5 Overzicht van het toepassingsgebied voor de verschillende microscopische technieken

In tabel 2.2 is aangegeven welke methoden voor de verschillende meetdoeleinden geschikt zijn en in welke norm deze zijn beschreven. In tabel 2.3 zijn de voor- en nadelen van verschillende microscopische technieken samengevat.

Tabel 2.2 Overzicht meetmethoden asbest in lucht en de daarbij behorende normvoorschriften

Doel	Omstandigheden/matrix	Norm
Bepaling asbest-concentratie in lucht	<u>Na sanering</u> , eindcontrole containment	NEN 2990 (FCM en SEM/RMA bij hoog-risicosanering)
Bepaling asbest-concentratie in lucht	<u>Risicobeoordeling in niet-sloopsituaties</u>	NEN 2991 en ISO 14966 (SEM/RMA)
Bepaling asbest-concentratie in lucht	<u>Werkplek</u> , beoordeling nieuwe saneringsmethoden	ISO 14966 en Ontwerp-NEN 2939 (SEM/RMA)
Bepaling asbest-concentratie in lucht	Achtergrondconcentraties in buitenlucht	ISO 14966 (SEM/RMA) en ISO 10312/ ISO 13794 (TEM)
Meetstrategie voor risicobeoordelingen en werkplekmetingen	Opzet strategie voor bovengenoemde onderzoeken	ISO 16000 Part 7 (Indoor Air)

Tabel 2.3 Samenvatting voor- en nadelen van verschillende microscopische technieken

Eigenschap	FCM	SEM/RMA	TEM
Snelheid: op te stellen in een meetauto	++	+/-	-
Bepalingsondergrens* in vezels/m ³ lucht	ca. 2.000	ca. 100 -200	ca. 1000
Selectiviteit: asbestvezels te identificeren ?	--	+	+
Resolutie (dunste vezel zichtbaar)	0,2 µm	0,02 µm	0,01 µm
Complexiteit monstervoorbehandeling	eenvoudig	zeer eenvoudig	complex en tijdrovend, kleine steekproefgrootte
Kosten per analyse	laag	gemiddeld	hoog

*) Bepalingsondergrens: de laagste concentratie die met een zekerheid van 95% (Poisson-verdeling) meetbaar is. De ondergrens is verder te verlagen door het aanzuigen van een groter volume lucht, telling van meer beeldvelden, combinatie van meerdere monsters (gewogen gemiddelde) of toepassing van een voorconcentratie stap (indirecte methode).

3 Bruikbaarheid van FCM bij eindcontrole-metingen na risicoklasse 2 saneringen

3.1 Probleemschets

Naar aanleiding van het advies van de Gezondheidsraad inzake asbest [8] en het daaropvolgende TNO-rapport met betrekking tot de praktische consequenties van dit advies (TNO-034-UT-2010-013440) [9] is door het Ministerie van SZW een grenswaarde (8 uren gemiddelde) voor chrysotiel ingesteld van 2000 vezels/m³. Volgens mededeling van de Minister van SZW zal ook voor amfibool asbestsoorten een grenswaarde van 2000 vezels/m³ gaan gelden. In de NEN 2990:2012 [2] is uitgewerkt hoe de eindcontrole na asbestsanering moet plaatsvinden. Dit normprotocol is een uitwerking van de verplichting in artikel 4.51 van het Arbobesluit met betrekking tot de eindbeoordeling na sanering [10]. Er is vooralsnog de keuze gemaakt om eindbeoordeling van werkzaamheden in risicoklasse 2 (chrysotiel, hechtgebonden producten, beperkt-ricosaneringen) met de fase-contrast-methode (FCM) te blijven uitvoeren, in plaats van met de SEM/RMA-methode. Omdat de FCM-methode niet gevoelig genoeg is om tot op een niveau van 2000 vezels/m³ te meten, vindt de vrijgave van deze saneringen plaats aan de hand van de gebruikelijke 10.000 vezels/m³ grens. De hypothese is dat vrijgave van beperkt-risico saneringen aan de hand van <10.000 vezels/m³ ook met een voldoende mate van zekerheid waarborgt dat de grens van 2000 asbestvezels/m³ (gemeten met SEM/RMA) niet wordt overschreden. Op de achtergrond speelt de discussie mee dat toepassing van SEM/RMA tot hoge extra kosten leidt, waardoor het illegaal verwijderen van asbest zou kunnen toenemen.

In het TNO-onderzoek naar de blootstelling aan asbest tijdens saneringswerkzaamheden [1] is in eerste instantie een statistische analyse uitgevoerd van FCM vezelconcentraties tijdens eindcontrolemetingen. Doelstelling was om te kijken wat de spreiding is in gemeten vezelconcentraties, en in hoeveel gevallen er op basis van analyse met behulp van FCM concentraties lager dan 2.000 vezels/m³ zijn gemeten. In totaal gaat het om meer dan 75.000 FCM metingen uit databases afkomstig van twee bij Fenelab aangesloten laboratoria. Hieruit bleek dat in maximaal ca. 6% van de vrijgavemetingen met FCM een vezelconcentratie lager dan 2.000 vezels/m³ is gemeten. Dat betekent dat voor meer dan 90% van de metingen de vrijgave op grond van <10.000 vezels/m³ zou resulteren in een situatie waarbij de vrijgaveconcentratie >2.000 vezels/m³ is (en er dus sprake zou zijn van afkeur). Uit deze gegevens blijkt dat het zondermeer toepassen van FCM bij vrijgavemetingen voor risicoklasse 2 saneringen kwetsbaar is, en dat daarom een aanvullende evaluatie van parallelle metingen voor analyse met FCM en SEM/RMA noodzakelijk is.

Doordat met FCM geen onderscheid mogelijk is tussen asbestvezels en niet-asbestvezels geldt de concentratie voor het totaal aan vezelvormige deeltjes met naast asbest ook minerale wol, papier, huidschilfers, plantresten, textiel, etc. Hierdoor zal de concentratie aan vezels, geteld met FCM, vaak hoger uitkomen dan de concentratie aan asbestvezels, geteld met SEM/RMA. Dit geldt vooral voor (sanerings)activiteiten van materialen die ook veel andere vezelvormige materialen in de matrix bevatten (bijvoorbeeld vloerzeil en karton). Anderzijds kan de beperkte resolutie van FCM ook leiden tot onderschatting van de asbestconcentratie in lucht. Dit geldt met name voor de asbestsoorten chrysotiel en crocidoliet, die vezels kunnen bevatten die dunner zijn dan 0,20 µm. Bij eerdere parallelle metingen voor

analyse met FCM en SEM/RMA tijdens risicoklasse 2 saneringsactiviteiten, uitgevoerd door TNO, is reeds geconstateerd dat de beperkte resolutie van de FCM niet resulteerde in een onderschatting van de vezelconcentratie (Tabel A2, bijlage A). In alle gevallen bleek de FCM vezelconcentratie hoger of gelijk te zijn aan de SEM/RMA asbestvezelconcentratie.

De bovengenoemde benadering voor eindcontrole metingen is ook kort genoemd in bijlage B van NEN 2990:2012 [2], maar was nog onvoldoende onderbouwd met een inzichtelijke analyse van meetgegevens. Inmiddels zijn door verschillende bij Fenelab aangesloten laboratoria vergelijkende metingen (analyse met FCM versus analyse met SEM/RMA) uitgevoerd bij reguliere risicoklasse 2 saneringen in containment. In dit hoofdstuk wordt op basis van deze metingen onderzocht of en in hoeverre bovengenoemde hypothese voor eindcontrole (vrijgave) van beperkt-risicosaneringen opgaat.

3.2 Resultaten vergelijkende metingen met FCM en SEM/RMA

In totaal zijn door 6 laboratoria meetseries beschikbaar gesteld met zowel FCM resultaten als SEM/RMA resultaten (Tabel A2, bijlage A). Voor 4 meetseries zijn nominale vezelconcentraties inclusief de bovengrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval (Poisson) verstrekt. De concentraties liggen alle ruim onder de huidige vrijgavegrens van 10.000 vezels/m³, die voor de FCM methode gedefinieerd is als de bovengrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval (NEN 2990:2012). Voor de overige 2 meetseries wordt volstaan met de vermelding dat voldaan wordt aan het vrijgave-criterium <10.000 vezels/m³. De verstrekte meetseries bestaan in totaal uit 91 parallele metingen en zijn afkomstig uit 46 saneringsprojecten. Deze projecten omvatten de sanering van 6 verschillende typen materiaal (asbestcement (19x), vinylzeil (4x), colovinyll (2x), pakking (1x), bitumen (6x), leidingisolatie (1x)) en een reiniging van een asbestbesmetting (2x). Van 11 projecten is niet bekend welk type materiaal is gesaneerd.

Aangezien zowel het bemonsterd volume als het aantal te tellen beeldvelden strikt is vastgelegd in de norm NEN 2990:2012 [2], wordt aangenomen dat de meetonzekerheid in de FCM bepalingen voor alle laboratoria vrijwel gelijk is. Alle vergelijkende metingen werden pas uitgevoerd nadat bij de daaraan voorafgaande visuele inspectie het containment als "stofvrij" was beoordeeld.

Uit de toelichting bij de metingen valt op te maken dat de database is "vervuild" met enkele monsters waarin amfibool asbestvezels worden aangetroffen, terwijl het verwijderde asbesthoudende materiaal uitsluitend chrysotiel bevat. Dit wordt soms ook bij validatiemetingen en dergelijke aangetroffen en is zeer waarschijnlijk toe te schrijven aan het werken met gecontamineerde apparatuur, zoals steigermateriaal, deco-units, gereedschap, stofzuigers en monsterpompen. Nu de grenswaarden steeds lager worden, moeten hoge eisen worden gesteld aan de reinheid van deze apparatuur en benodigdheden. Op dit onderwerp wordt in deze notitie niet verder ingegaan.

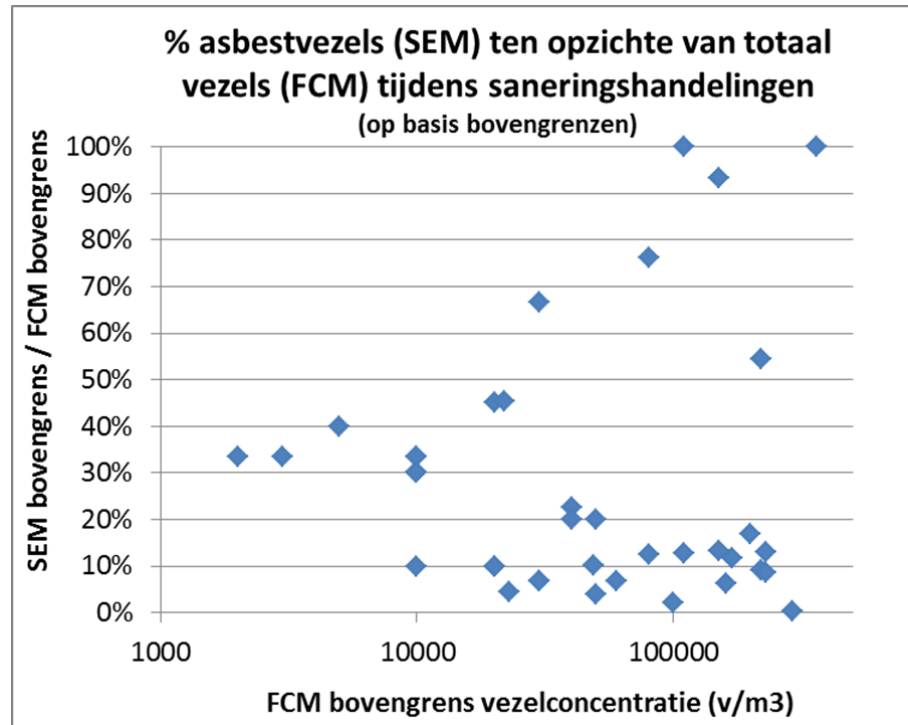
Als aanvulling op de beschikbaar gestelde vrijgave meetseries zijn ook vergelijkende metingen met FCM en SEM/RMA verzameld die tijdens risicoklasse 2 saneringsactiviteiten zijn uitgevoerd (Tabel A2, bijlage A). Het gaat om 39 parallele metingen afkomstig uit 11 saneringsprojecten. Alle metingen en analyses zijn hierbij uitgevoerd door TNO. De projecten omvatten voornamelijk sanering en bewerking

van asbestcement toepassingen (beplating en buizen), maar ook saneringsprojecten met kassenkit, vinylzeil en colovynyl zijn aanwezig.

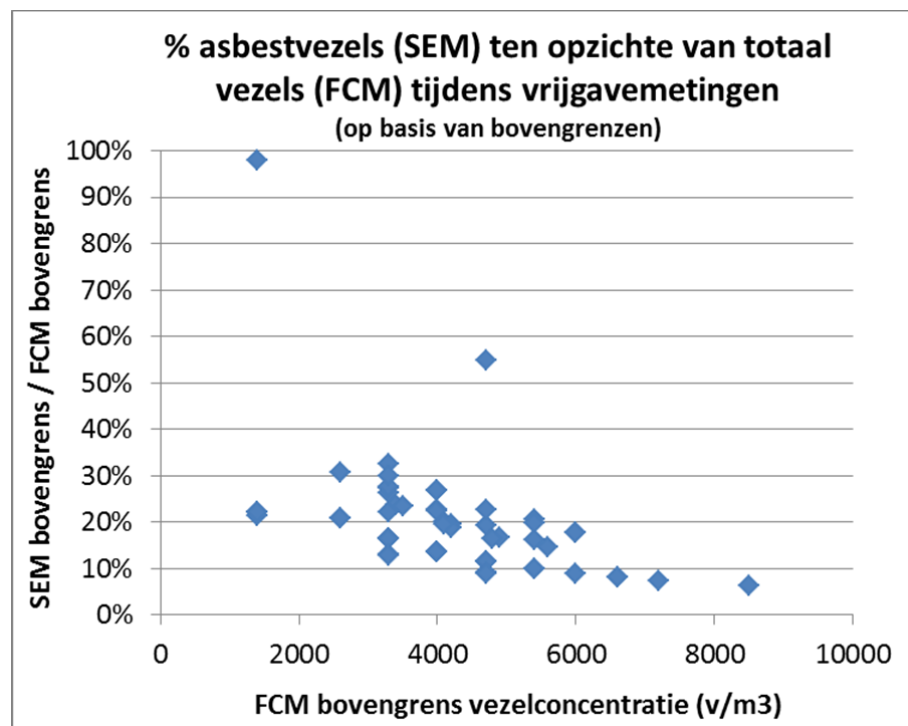
Voor zowel de vrijgavemetingen als de saneringsmetingen is het percentage asbestvezels berekend door de asbestvezelconcentratie, gemeten met SEM/RMA, te delen door de totale vezelconcentratie, gemeten met FCM. Op basis van een dergelijke ratio kan worden ingeschat wat het aandeel daadwerkelijke asbestvezels (gemeten met SEM/RMA) is bij een gegeven totale vezelconcentratie (gemeten met FCM). Om gebruik te kunnen maken van FCM voor vrijgavemetingen na risicoklasse 2 saneringen zal de totale vezelconcentratie vermenigvuldigd met het percentage asbestvezels uiteindelijk kleiner moeten zijn dan 2000 vezels/m³ (totale vezelconcentratie x % asbestvezels < 2000 asbestvezels/m³). Voor alle metingen is het asbestpercentage gebaseerd op de bovengrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval (conform het toetsingscriterium in NEN 2990:2012). Gemiddeld blijkt voor de vrijgavemetingen dat ca. 17% van de totale vezelconcentratie uit asbestvezels bestaat; voor de saneringsmetingen is dit percentage gemiddeld 28%. Het hogere percentage asbestvezels voor saneringshandelingen is verklaarbaar doordat hier asbesthoudend materiaal wordt verwijderd waardoor, in vergelijking met andere vezels, meer asbestvezels in de lucht komen.

In figuur 3.1 en 3.2 is het percentage asbestvezels uitgezet tegen de totale vezelconcentratie. Uit de figuren blijkt dat voor de vrijgavemetingen (Figuur 3.2) het percentage asbestvezels lijkt af te nemen met oplopende totale vezelconcentraties, terwijl dit bij saneringshandelingen (Figuur 3.1) niet het geval is. Deze afnemende tendens is echter een artefact, aangezien deze wordt veroorzaakt door de bepalingsondergrens van de SEM metingen (ca. 800 v/m³). Hoe lager de totale vezelconcentratie, hoe hoger het aandeel van de bepalingsgrens ten opzichte van de vezelconcentratie.

Aan de hand van Figuur 3.2 kan worden afgeleid (op basis van FCM concentratie x percentage asbestvezels), dat in slechts één van de 64 vrijgavemetingen de grenswaarde van 2000 asbestvezels/m³ wordt overschreden als met FCM de bovengrens van de totale vezelconcentratie onder 10.000 v/m³ blijft: 4700 v/m³ x 55% asbestvezels = 2600 asbestvezels/m³. Echter, dit is waarschijnlijk veroorzaakt door met amfibool asbest gecontamineerde apparatuur van de SEM-meetopstelling, aangezien in het containment uitsluitend chrysotiel-houdend materiaal is verwijderd. Voor de metingen tijdens saneringshandelingen (Figuur 3.1) kan eenzelfde afleiding worden gemaakt voor concentraties kleiner dan 10.000 v/m³. Bij totale vezelconcentraties kleiner dan 10.000 v/m³ (9 metingen, gemeten met FCM), is het gemiddelde percentage asbestvezels ca. 30% (±8%), wat betekent dat de grenswaarde van 2.000 asbestvezels/m³ mogelijk kan worden overschreden als de totale vezelconcentratie boven de 6600 v/m³ komt; namelijk 6600 v/m³ x 30% asbestvezels = 2000 asbestvezels/m³. Deze observatie toont aan dat zelfs bij saneringshandelingen niet alle gemeten vezels (zoals aangetoond met FCM) uit asbestvezels bestaan. In vergelijking met eindcontrolemetingen (gemiddelde percentage asbestvezels: 20% (±13%)) ligt het percentage asbestvezels bij saneringshandelingen wel iets hoger.



Figuur 3.1 Percentage asbestvezels, geteld met SEM/RMA, uitgezet tegen de bovengrens vezelconcentratie, geteld met FCM, tijdens risicoklasse 2 saneringsactiviteiten (gebaseerd op 39 parallele metingen)



Figuur 3.2 Percentage asbestvezels, geteld met SEM/RMA, uitgezet tegen de bovengrens vezelconcentratie (95%), geteld met FCM, tijdens eindcontrolemetingen (gebaseerd op 64 parallele metingen)

De theoretische bepalingsondergrens van de FCM-methode is ca. 2.000 vezels/m³. Echter, de “asbestgerelateerde” bepalingsondergrens van de FCM-methode wordt beperkt door de “achtergrondruis” van altijd in de lucht aanwezige (niet-asbest) vezelvormige bestanddelen. De praktische bepalingsgrens van de FCM-methode voor asbestvezels ligt dus hoger dan de theoretische bepalingsgrens. In principe kan op basis van de vergelijkende metingen met FCM en SEM/RMA inzicht worden verkregen in de hoogte van de praktische bepalingsgrens. Deze kan worden uitgerekend door de met SEM gemeten gemiddelde asbest vezelconcentratie (95% percentiel: 1100 v/cm³) af te trekken van de met FCM gemeten gemiddelde vezelconcentratie (95% percentiel: 6500 v/cm³). Hieruit blijkt dat FCM in principe niet geschikt is voor het meten van asbest vezelconcentraties lager dan 5.400 vezels/m³, aangezien bij lagere concentraties de aanwezigheid van (niet-asbest) vezels te veel stoort.

4 Conclusies en aanbevelingen

- Fase-contrast lichtmicroscopie (FCM) is in principe niet geschikt voor het meten van asbestvezelconcentraties lager dan ca. 5.000 vezels/m³. FCM is een specifieke analysemethode, waarvan de bepalingsondergrens in de praktijk wordt beperkt door de “achtergrondruis” van altijd in de lucht aanwezige (niet-asbest) vezelvormige bestanddelen. Het direct toetsen aan de grenswaarde van 2.000 v/m³, op basis van FCM is dan ook niet mogelijk.
- Bij een vezelconcentratie kleiner dan 10.000 v/m³, gemeten met FCM, blijft de asbestvezelconcentratie, gemeten met SEM/RMA, in vrijwel alle gevallen onder de grenswaarde van 2.000 v/m³. Dit betekent dat de conclusie uit 2013 dat lichtmicroscopie vooralsnog toepasbaar blijft als indicator voor eindcontroles van standaard risicoklasse 2 saneringen (sanering hechtgebonden asbesthoudende producten die chrysotiel bevatten) in dit onderzoek bevestigd wordt. Nu echter gebaseerd op een groter aantal meetresultaten en beter onderbouwd omdat ook een inschatting is gemaakt van het aandeel asbestvezels in de totale hoeveelheid gemeten vezels (SEM/RMA versus FCM).
- Aanbevolen wordt om de met FCM uitgevoerde eindcontroles ook in de reguliere uitvoeringspraktijk steekproefsgewijs te controleren/valideren met behulp van parallel genomen monsters voor SEM/RMA.

5 Referenties

- [1] Tempelman, J.; den Boeft, J. ; Schinkel, J. (2013)
Onderzoek naar de blootstelling aan asbest tijdens saneringswerkzaamheden.
TNO 2013 R11850, TNO, Utrecht
- [2] Nederlands Normalisatie-instituut (2012)
Lucht – eindcontrole na asbestverwijdering
NEN 2990: 2012 nl, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft
- [3] Nederlands Normalisatie-instituut (2003)
Buitenlucht – Bepaling van de numerieke concentratie van anorganische vezelachtige deeltjes – Scanning elektronenmicroscopie methode.
NEN-ISO 14966: 2003 en, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft
- [4] Nederlands Normalisatie-instituut (2015)
Lucht - Bepaling van de asbestconcentraties in de binnenlucht en risicobeoordeling in en rondom bouwwerken, constructies of objecten waarbij asbesthoudende materialen zijn verwerkt.
NEN 2991: 2015 nl, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft
- [5] Nederlands Normalisatie-instituut (2008)
Werkplekatmosfeer - Bepaling van de concentratie aan respirabele asbestvezels in de lucht bij het werken met of in de directe omgeving van asbest of asbesthoudende producten, m.b.v. microscopische technieken.
NEN 2939:2008 Ontw. nl, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft
- [6] Nederlands Normalisatie-instituut (1999)
Buitenluchtmetingen - Bepaling van de concentratie aan asbestvezels met behulp van transmissie elektronenmicroscopie, directe methode
NEN-ISO 10312:1999 en, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft
- [7] Nederlands Normalisatie-instituut (1999)
Luchtkwaliteit - Buitenlucht - Bepaling van de concentratie aan asbestvezels - Bepaling met transmissie elektronenmicroscopie, indirecte methode.
NEN-ISO 13794:1999 en, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft
- [8] Gezondheidsraad (2010)
Asbest; Risico's van milieu- en beroepsmatige blootstelling.
Den Haag, Gezondheidsraad
- [9] Tempelman, J.; Tromp, P.C.; Swartjes, F.A.; Knol, A.B. (2010)
Praktische consequenties van het advies van de Gezondheidsraad inzake asbest 2010 TNO-034-UT-2010-01344, TNO, Utrecht/RIVM 607647001, RIVM, Bilthoven
- [10] Overheidsinformatie (2013)
Arbeidsomstandighedenbesluit - artikel 4.51a. Eindbeoordeling
Verkregen op 16 oktober, 2013 van
http://wetten.overheid.nl/BWBR0008498/volledig/geldigheidsdatum_16-10-2013#Hoofdstuk4_Afdeling5_4

6 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever:
Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid
Directie Gezond en Veilig werken
T.a.v. mevrouw L. van den Aker
Postbus 90810
2509 LV Den Haag

Naam en functies van medewerkers:
J. Tempelman, Senior Technical Consultant
P.C. Tromp, Senior Research Scientist

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

Brancheverenigingen die hebben bijgedragen aan de totstandkoming van het onderzoek
Fenelab

Datum waarop of tijdsbestek waarin het onderzoek heeft plaatsgehad:
Mei 2013 tot en met april 2016

Naam en paraaf tweede lezer:
Dr. S. Spaan



Ondertekening:



P.C. Tromp, MSc.
Auteur

Autorisatie vrijgave:



Dr. B. Bos
Research Manager

Bijlage A: Meetresultaten

Tabel A.1 (Asbest)vezelconcentraties van parallel uitgevoerde metingen tijdens vrijgave ten behoeve van het vergelijken van FCM- en SEM/RMA-analyseresultaten

FCM* (vezels/m ³) nominaal	FCM (vezels/m ³) Poisson (95%)	SEM/RMA (asbest- vezels/m ³) nominaal	SEM/RMA (asbest- vezels/m ³) Poisson (95%)	Type sanering/materiaal en overige opmerkingen
2300	5400	380	1120	Project 1, 1x 2 amfiboolvezels
1800	4700	-	540	
900	3300	-	1070	
900	3300	-	540	
1400	4000	-	1070	Project 2
1400	4000	-	540	
900	3300	-	540	
1400	4000	-	540	
1800	4700	710	2580	Project 3, 1x3 amfiboolvezels
2300	5400	-	540	
1800	4700	-	1070	
1800	4700	-	540	
2800	6000	-	1070	Project 4
2300	5400	-	540	
1800	4700	-	540	
1400	4000	-	540	
900	3300	180	990	Project 5, 1x1 amfiboolvezel
1400	4000	-	1070	
2800	6000	-	1070	
2300	5400	-	1070	
900	3300	-	540	Project 6
1800	4700	-	540	
4600	8500	-	540	Project 7
3600	7200	-	540	
1400	4000	-	540	
900	3300	-	540	
2800	6000	-	540	Project 8
3200	6600	-	540	
1400	4000	-	540	
500	2600	-	540	
1400	4000	-	540	Project 9
3200	6600	-	540	
900	3300	-	540	Project 10
900	3300	-	540	
1400	4000	-	1070	Project 11
500	2600	-	540	
1800	4800	-	790	verwijdering pakkingen ca. 30 stuks, 30-60% chrysotiel
1400	4200	-	790	
1400	4100	-	800	kelderboxen, reiniging amosiet besmetting
500	2600	-	800	
2300	5600	-	820	verwijdering buismateriaal chrysotiel,

FCM* (vezels/m ³) nominaal	FCM (vezels/m ³) Poisson (95%)	SEM/RMA (asbest- vezels/m ³) nominaal	SEM/RMA (asbest- vezels/m ³) Poisson (95%)	Type sanering/materiaal en overige opmerkingen
1800	4900	-	820	10-15%, crocidoliet 2-5%
1400	4100	-	820	verwijdering vloertegels en lijmlaag, chrysotiel 2-5%
900	3400	-	810	
1400	4200	-	820	reiniging amosiet besmetting
900	3500	-	820	meterkast
900	3300	-	870	verwijdering teerlaag , 2-5% chrysotiel
1400	4000	-	910	verwijdering vloerzeil, 30-60% chrysotiel
900	3300	-	900	verwijdering AC-buis 10-15% en teerlaag met 0,1-2% chrysotiel
1800	4700	-	910	verwijdering teerlaag , 2-5% chrysotiel
2300	5400	-	870	verwijdering vloerzeil, 30-60% chrysotiel
900	3300	-	730	vensterbank, schoollokaal 10-15% chrysotiel
1400	4000	-	910	wandplaten koelcel 10-15% chrysotiel en 2-5% crocidoliet
1400	4000	-	900	verwijdering vloerzeil, 30-60% chrysotiel
900	3300	-	910	plafondplaten uit CV-ruimte 10-15% chrysotiel en 2-5% crocidoliet
	<10000	-	300	verwijdering vensterbank, chrysotiel 10- 15%
	<10000	-	300	verwijdering vinyl tegels (met lijm), chrysotiel 0,1-2%
	<10000	-	300	verwijdering buis, chrysotiel 10-15%
	<10000	-	300	verwijdering vlakke plaat, 2-5% chrysotiel
	<10000	-	300	verwijdering koker, chrysotiel 15-30%, in duplo meting 6 amfiboolvezels
	<10000	600	1300	verwijdering wandbeplating, chrysotiel 10-15%
	<10000	-	300	verwijdering golfplaatbesmetting chrysotiel 10-15%, crocidoliet 2-5%
	<10000	-	300	verwijdering plafondbeplating, chrysotiel 2-5%
	<10000	-	300	verwijdering vlakke plaat, 2-5% chrysotiel
	<10000	-	980	woonkamer, na sanering
	<10000	-	980	asbesthoudend bitumen, chrysotiel 2- 5%
	<10000	-	950	woonkamer, na sanering
	<10000	-	940	asbesthoudend bitumen, chrysotiel 2- 5%
	<10000	-	190	keuken, na sanering asbesthoudend bitumen, chrysotiel 2-5%
	<10000	-	980	keuken, na sanering asbesthoudend bitumen, chrysotiel 2-5%
	<10000	-	960	in badkamer na verwijdering AC- plaat, 10-15% chrysotiel
	<10000	-	970	in badkamer na verwijdering AC- plaat, 10-15% chrysotiel
	<10000	-	300	verwijdering van vlakke beplating chrysotiel 10-15% en 2-5% amosiet, in duplo meting 1 amfiboolvezel
	<10000	100	560	in duplo meting 1 amfiboolvezel

FCM* (vezels/m ³) nominaal	FCM (vezels/m ³) Poisson (95%)	SEM/RMA (asbest- vezels/m ³) nominaal	SEM/RMA (asbest- vezels/m ³) Poisson (95%)	Type sanering/materiaal en overige opmerkingen
	<10000	-	300	verwijdering van vlakke beplating chrysotiel 5-10%
	<10000	-	300	verwijdering van buis en vlakke plaat chrysotiel 5-10% en chrysotiel 10- 15%
	<10000	-	300	verwijdering plafondplaat chrysotiel 10-15%
	<10000	-	300	verwijdering van asbesthoudende ac- koker chrysotiel 10-15%
	<10000	-	300	verwijdering vlakke plaat chrysotiel 2- 5%
-	1400	-	310	verwijdering leiding isolatie >60% chrysotiel
-	1400	630	1370	
-	1400	-	310	
-	1400	-	300	
-	1400	-	310	
1800	4700	-	430	verwijdering vinylzeil 30-60% chrysotiel
900	3300	-	430	
1800	4700	-	420	
900	3300	-	420	

Tabel A.2 (Asbest)vezelconcentraties van parallel uitgevoerde metingen tijdens sanering ten behoeve van het vergelijken van FCM- en SEM/RMA-analyseresultaten

FCM* (vezels/m ³) nominaal	FCM (vezels/m ³) Poisson (95%)	SEM/RMA (asbest- vezels/m ³) nominaal	SEM/RMA (asbest- vezels/m ³) Poisson (95%)	Type sanering
10000	20000	3000	9000	breken gevelbeplating
60000	80000	44000	61000	breken vensterbank
60000	110000	6300	14000	demontage gevelplaat
20000	40000	4000	9000	inpakken gevelplaten
35000	49000	2000	5000	verwijdering gevelplaten
110000	150000	11000	20000	verwijdering golfplaten
160000	200000	21000	34000	verwijdering golfplaten
10000	20000	-	2000	verwijdering buizen
20000	30000	-	2000	verwijdering buizen
-	3000	-	1000	verwijdering buizen
10000	23000	-	1000	verwijdering buizen
4000	10000	-	1000	verwijdering buizen
11000	20000	-	2000	verwijdering buizen
-	2000	-	2000	verwijdering buizen
-	5000	-	2000	verwijdering buizen
10000	50000	-	2000	verwijdering buizen
-	30000	-	2000	verwijdering buizen
30000	100000	-	2000	verwijdering buizen
20000	40000	1400	8000	verwijdering buizen
30000	60000	-	4000	verwijdering buizen
-	30000	-	20000	bewerking buizen
80000	230000	-	30000	bewerking buizen
30000	80000	-	10000	bewerking buizen
100000	220000	50000	120000	bewerking buizen
70000	220000	-	20000	bewerking buizen
30000	230000	-	20000	bewerking buizen
10000	50000	-	10000	bewerking buizen
50000	160000	-	10000	bewerking buizen
-	10000	-	10000	bewerking buizen
-	10000	-	10000	bewerking buizen
10000	22000	-	10000	bewerking buizen
-	10000	-	3000	bewerking buizen
-	10000	-	3000	verwijderen kassenkit
-	10000	-	3000	verwijderen kassenkit
110000	150000	100000	140000	verwijdering vinylzeil (forbo)
140000	170000	10000	20000	verwijdering vinylzeil (forbo)
64000	110000	64000	110000	verwijdering vinylzeil (verfstripper)
240000	360000	240000	360000	verwijdering vinylzeil (behangstomer)
10000	290000	-	1000	verwijdering colovinyl