

Princetonplein 9
3584 CC Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 22 78
F +31 88 866 20 42

TNO rapport

TNO 2022 R10832 A | Eindrapport

De verwerking van asbesthoudende daken en de verspreidingsroutes en blootstellingsrisico's van daarbij vrijkomende asbest(vezels)

Datum	15 juni 2022
Auteurs	P. Tromp S. Spaan B. ten Brug
Goedgekeurd door	M. Rennen
Exemplaarnummer	-
Aantal paginas	113 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	2
Opdrachtgever	Provincie Overijssel
Projectnaam	Onderzoek verwerking asbestdaken en gerelateerde blootstellingsrisico's
Projectnummer	060.45804

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.

© 2022 TNO

Samenvatting

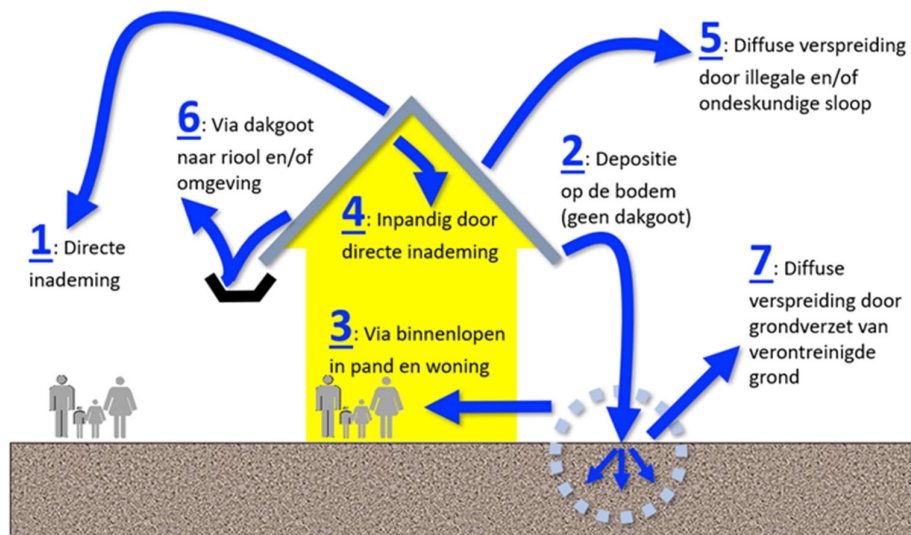
Inleiding en vraagstelling

Sinds 1978 is asbestbeleid ontwikkeld en uitgevoerd gericht op het terugdringen van het voorkomen van asbest in enigerlei vorm in het binnen- en buitenmilieu. Dit beleid heeft onder andere geleid tot een aanzienlijke reductie van de asbestvezelconcentratie in de buitenlucht. Op basis van het advies van de Gezondheidsraad uit 2010 heeft de Nederlandse regering in 2011 besloten om asbestdaken, als grootste resterende en toenemende bron van asbestvezels in de leefomgeving, aan te pakken. Hiervoor is een stimuleringsprogramma opgezet voor het verwijderen van asbesthoudende daken dat is verankerd in de ‘Samenwerkingsverklaring aanpak van asbestdaken’.

Inmiddels zijn 10 jaar verstreken en in die tijd is er veel discussie ontstaan over de werkelijke blootstellingsrisico's van asbest in relatie tot de verwerking van asbestdaken. Hoewel het logisch is dat met een oplopende leeftijd de staat van asbesthoudende materialen verslechtert waardoor vezels gemakkelijker in het (leef)milieu terecht komen, ontbreekt een duidelijke kwantificering en samenhangende blootstellingsrisico's hiervan. Actuele informatie over de verwerking van asbestdaken is derhalve gewenst om:

1. het verloop van de verwerking en de hoeveelheid vrijkomend asbest beter te kunnen inschatten,
2. de verspreidingsroutes vanuit asbestdaken kwantitatief in kaart te kunnen brengen,
3. het risico voor bewoners en omwonenden concreter te kunnen aangeven en
4. inzicht te krijgen in de bijdrage van asbestdaken aan de achtergrondconcentratie in Nederland.

Om inzicht te krijgen in de blootstellingsrisico's voor bewoners en omwonenden heeft de provincie Overijssel in overleg met het Ministerie van I&W aan TNO opdracht verleend om de verspreidings- en blootstellingsroutes van asbest(vezels) die vrijkomen uit verwerkende asbesthoudende daken van woningen, schuren en stallen in kaart te brengen (zie Figuur S1). Hierbij is het kwantitatief bepalen van de hoeveelheid asbest(vezels) die vrijkomt via zowel luchtersosie als uitspoeling via regenwater van belang, evenals het maken van een voorzichtige inschatting van het verloop van het verweringsproces in de komende ca. 10 - 20 jaar.



Figuur S1: Verspreidings- en blootstellingsroutes asbest(vezels) afkomstig van verwerkende asbestdaken (figuur opgesteld door Provincie Overijssel)

Normen en advieswaarden voor asbest

In 2010 zijn door de Gezondheidsraad voor milieublootstelling jaargemiddelde risiconiveau concentraties afgeleid die gelden voor levenslange blootstelling (GR, 2010):

- Een concentratie van 28 chrysotielvezels/m³, 3 amfibool asbestvezels/m³ of 13 vezels gemengd asbest (<20% amfibool)/m³ komt overeen met 10⁻⁶ risiconiveau dat is gekoppeld aan het Verwaarloosbaar Risico (VR);
- Een concentratie van 2800 chrysotielvezel/m³, 300 amfibool asbestvezels/m³ of 1300 vezels gemengd asbest (<20% amfibool)/m³ komt overeen met 10⁻⁴ risiconiveau dat is gekoppeld aan het Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR).

De risiconiveaus gelden voor vezels met een lengte van minimaal 5 µm, maar bij de risicoanalyse zijn de mogelijke effecten van vezels korter dan 5 µm wel impliciet meegenomen.

In 2003 zijn door het RIVM en TNO de risico's van asbest in de bodem beoordeeld (Swartjes et al., 2003). Op basis hiervan is een interventiewaarde bodem van 100 mg/kg ds (droge stof) afgeleid, uitgedrukt als de optelsom van de concentratie aan chrysotiel en 10x de concentratie amfibool asbest (gewogen norm). Ten behoeve van de locatie specifieke risicobeoordeling (Circulaire bodemsanering, 2013) is voor respirabele asbestvezels een waarde van 10 mg/kg ds (gewogen) vastgesteld, waarboven sprake is van "onaanvaardbare risico's".

Plan van aanpak

Het onderzoek is opgebouwd uit twee fasen: een literatuuronderzoek en een veldonderzoek. Op basis van beschikbare kennis afkomstig van de meest recente literatuur zijn kennishiaten geïnventariseerd en is een voorlopig plan van aanpak ontwikkeld voor het uit te voeren veldonderzoek dat is voorgelegd aan de technisch-wetenschappelijke begeleidingscommissie "Routeonderzoek asbestvezels". Na goedkeuring is het definitieve plan van aanpak gefinaliseerd.

Ten behoeve van de metingen zijn "realistische worst case" meetlocaties geselecteerd met variatie in type materiaal (asbestcement en asbestlei), type asbest (chrysotiel, crocidoliet), hellingshoek van het dak, ouderdom, verweringsgraad, toepassing (woning, schuur/loods en stal) en locatie (bebouwde/landelijke omgeving) (zie Tabel S1). Ook is rekening gehouden met de aan- en afwezigheid van dakgoten waarbij in het laatste geval van belang is of de inlooproute naar de woning via de afwateringzone loopt. Bij schuren, loods en stallen is verder nog onderscheid gemaakt in houten en stalen dakspanten vanwege de verschillen in uitzetten en inkrimpen als gevolg van temperatuursveranderingen. Om een goed inzicht te krijgen van de conditie en verweringsgraad van het asbestcement dak is op iedere geselecteerde locatie een visuele inspectie uitgevoerd in combinatie met kleefmonsters.

Om inzicht te krijgen in het vrijkomen van asbestvezels heeft het onderzoek plaatsgevonden op vijf locaties in de zomerperiode (16 juli 2021 t/m 13 oktober 2021) en vier locaties in de winterperiode (2 november 2021 t/m 3 maart 2022). Het veldonderzoek heeft zich primair gericht op het bepalen van de hoeveelheid asbest(vezels) die uitspoelt via regenwater om zo inzicht te krijgen in de verweringsnelheid (vrijkomende asbest in gr/m²/jaar en vezels/m²/jaar) via uitspoeling. Daarnaast zijn luchtmetingen uitgevoerd in woningen, schuren en stallen en in de buitenlucht rondom asbestdaken, om inzicht te krijgen in de actuele blootstellingsrisico's voor bewoners en omwonenden. Als aanvulling zijn kleefmonsters van oppervlakken genomen om een indruk te krijgen van de potentiële blootstellingsrisico's als gevolg van het weer in de lucht komen van gesedimenteerde asbestvezels.

Tabel S1: Kenmerken van de geselecteerde meetlocaties voor het verweringsonderzoek

Type	Conditie	Leeftijd	Asbest	Beschrijving object	Periode 1	Periode 2
Golfplaat	Sterk verweerd	45-60 jaar	CHR + CRO	Voormalige kippenschuur uit 1957 (163 m ²), geen dakgoot	Hoevelaken (1)	Hoevelaken (1)
			CHR	Voormalige veeschuur uit 1967 (405 m ²) en kippenschuur uit 1972 (115 m ²)		
		30-45 jaar	CHR + CRO	Voormalige varkensschuur (140 m ²) en kapschuur (100 m ²) zonder dakgoot	Loenen	Loenen
			CHR	Drie geschakelde kalverstallen uit 1980-1985 (1200 m ²)	Barneveld	
	Matig verweerd	45-60 jaar	CHR	Een koeienstal en varkensstal uit 1976 (beide 1200 m ²)	Milheeze	
			CHR + CRO	Voormalige varkensschuur uit 1975 (1200 m ²)		Hoevelaken (2)
		30-45 jaar	CHR	Kalverenschuur uit 1985 (1500 m ²)		
Daklei		30-45 jaar	CHR	Woningen uit 1980-1982 met gevel- en dakpanelen	Lelystad (1)	Lelystad (2)

* CHR = chrysotiel, CRO = crocidoliet

In de tweede meetperiode in de winter zijn naast de metingen die uitspoeling via regenwater in kaart brengen ook windrichting-aangestuurde luchtmetingen bovenwinds en benedenwinds van het asbestcement dak uitgevoerd om de verweringsnelheid via luchtersie (vrijkomende vezels/m²/jaar) in kaart te brengen. Hierbij zijn ook continue fijnstof metingen uitgevoerd om een beeld te krijgen van weersinvloeden op de deeltjesemissie vanuit asbestdaken door luchtersie. Om de mogelijke variaties in het vrijkomen van asbestvezels in de lucht te disconteren hebben alle luchtmetingen plaatsgevonden gedurende een lange periode van 2 – 6 weken; het regenwater met slib is gedurende 2 – 3 maanden opgevangen. Alle asbestanalyses beschreven in dit onderzoek zijn uitgevoerd met scanning electronmicroscopie in combinatie met röntgenmicroanalyse (SEM-EDX), waarbij naast asbestvezels ook andere anorganische vezels (o.a. vezelvormige silicaten en synthetische vezels) en de vezels langer en korter dan 5 µm zijn meegenomen.

De emissie van asbest(vezels) vanuit verwerende asbestdaken

Op basis van het verzamelde slib en regenwater is een gemiddelde maandelijkse emissies in de zomer en winter berekend van respectievelijk 0,2 (0,01 – 0,4) en 0,03 (0,01 – 0,05) gram per m² dakoppervlak. Aan de hand van metingen op de locaties Loenen en Hoevelaken-1, waar zowel in de zomer als in de winter uitgespoeld asbestslib is opgevangen, blijkt dat in de zomer de uitspoeling van asbestslib gemiddeld een factor 10 sneller verloopt dan in de winter. Voor de berekening van jaarlijkse emissiefactoren zijn de locatie specifieke emissiefactoren op basis van de verweringsgraad van het asbestcement dak gegroepeerd waarna gemiddelde waarden voor matig en sterk verweerde daken zijn berekend. De gemiddelde jaarlijkse emissie van asbest via uitspoeling met regenwater is 1,2 (0,2 – 2,7) gram per m² dakoppervlak per jaar. Voor matig en sterk verweerde asbestdaken ligt de jaarlijkse emissie op respectievelijk 0,4 (0,2 – 0,7) en 2,0 (0,9 – 2,7) gr/m²/jaar. Dit is in dezelfde range als reeds gepubliceerde emissiefactoren uit ander onderzoek; deze liggen tussen de 0,5 en 4 gram/m²/jaar.

Omdat tijdens de blootstellingsmetingen en windrichting-aangestuurde metingen geen asbestvezels in de lucht zijn aangetroffen (concentratie < bepalingsgrens van 10 vezels/m³) kan de emissie via luchtersie niet exact worden bepaald. Op basis van fijnstof metingen is de maximale bijdrage van matig en sterk verweerde asbestcement daken op de fijnstof concentratie benedenwinds van het dak berekend op respectievelijk ≤ 0,7 µg/m³ en 1,2 – 1,7 µg/m³. Ondanks dat de emissiefactor via luchtersie niet exact berekend kan worden, kan met behulp van het lijwervel model (Duyzer et al.,

2004) wel een schatting van de maximale vezelconcentratie worden afgegeven op basis van de fijnstof metingen en de bepalingsgrens van de vezelconcentratie. Op basis van de fijnstof metingen in de winter is de asbestemissie via luchterosie geschat op 0,012 (0 – 0,025) gr/m²/jaar. Dit betekent dat het aandeel aan luchterosie op basis van fijnstof maximaal 5% is van de totale emissie. Op basis van de gemeten vezelconcentratie (bepalingsgrens ca. 10 v/m³) gedurende de zomer- en winterperiode is de maximale asbestvezelemissie via luchterosie geschat op ca. 0,08 (0,01 – 0,21) x 10⁹ vezels/m²/jaar. Dit betekent dat het maximale aandeel van luchterosie op de totale asbestemissie ca. 0,1% is.

De door TNO bepaalde emissiefactoren geven een verdere detaillering van de in 2007 gepubliceerde globale indicatie van “gemiddeld 1 - 3 gram asbest/m²/jaar” (Tromp, 2007), rekening houdend met de verweringsgraad en seizoensinvloeden. De emissie van asbest door uitspoeling is verreweg de meest dominante route. Er lijkt een relatie te bestaan tussen de ouderdom van het dak en de emissie van asbest(vezels). Gezien de steeds hogere leeftijd van de asbestdaken zal de emissie van asbest(vezels) vanuit verwerende asbestdaken de komende jaren daardoor gaan toenemen. Echter, door de grote variatie in verwerende daken ontbreekt een éénduidige correlatie en is een accurate prognose van het verloop van de verwerking en de toename in de emissie van asbestvezels vooralsnog niet mogelijk.

Op basis van de in dit onderzoek bepaalde emissiefactoren voor uitspoeling en luchterosie en het huidige geschatte totale oppervlak aan asbestdaken in Nederland van ca. 74 mln m² kan wel een indicatie worden gegeven van de hoeveelheid vrijkomende asbest(vezels) vanuit asbestdaken op dit moment. Als wordt aangenomen dat het aantal sterk en matig verweerde asbestdaken in Nederland ongeveer gelijk is, komt ongeveer 90 (15 – 200) ton asbest per jaar via uitspoeling vrij. Voor luchterosie gaat het om maximaal 6 (0,7 – 16) x 10¹⁵ vezels per jaar; omgerekend naar massa is dit maximaal 50 kg per jaar. De hoeveelheid uitgespoeld asbest zal, afhankelijk van de regenwaterafvoer, deels via het rioolwater worden afgevoerd naar rioolwaterzuiveringsinstallaties, deels worden afgevoerd naar het oppervlaktewater in de directe omgeving en deels op de bodem onder asbestdaken terecht komen.

Verspreiding en blootstellingsroutes

Verspreiding van asbestvezels in de buitenlucht (route 1 in Figuur 1)

Tijdens de uitgevoerde meetcampagnes in de zomer- en winterperiode konden met de standaard meettechnieken (conform NEN-ISO 14966) in de buitenlucht in de nabijheid (0 – 30 meter) van asbestcementdaken¹ geen asbestvezels worden aangetoond in de buitenlucht (concentratie < bepalingsgrens van 10 vezels/m³)². Alle meetopstellingen zijn hierbij in de 'lijwervel' van het object geplaatst, waardoor het verdunningseffect zo laag mogelijk is gehouden³ (Duyzer et al., 2004). Met de specifieke analysemethode voor de bepaling van het achtergrondniveau (Tromp, 2016) zijn wel asbestvezels aangetoond; de gemeten asbestvezelconcentraties liggen in dezelfde concentratie range als de in Nederland gemeten achtergrondconcentraties in 2016, met een gemiddelde asbestvezelconcentratie van 13 vezels/m³ en een spreiding van <30 – 28 vezels/m³ voor alle asbestvezels en 3 vezels/m³ en een spreiding van <30 – 14 vezels/m³ voor vezels met een lengte langer dan 5 µm.

¹ De afstand van de meetopstelling tot het dak varieerde per locatie: Barneveld: 0mtr (dakrand), Hoevelaken-1: 3 – 10mtr, Hoevelaken-2: 10mtr, Lelystad-1: 10mtr, Lelystad-2: 30mtr, Loenen: 5 – 8mtr, Milheeze: 2 – 5mtr, zie paragraaf 4.3.4 - Meetperioden

² Tijdens de analyse zijn géén vezels aangetoond, dit betekent dat met een betrouwbaarheid van 95% de werkelijke concentratie in de lucht lager is dan de bepalingsgrens, zie paragraaf 4.4.1 - Luchtmetingen

³ Een lijwervel ontstaat aan de lizijde van een gebouw als gevolg van invloed van het gebouw op de vrije stroming van wind. Er ontstaat daarbij een gebied achter het gebouw waar de windsnelheid is verminderd, waardoor het verdunningseffect beperkt is, zie paragraaf 6.1 - De emissie van asbest(vezels) vanuit verwerende asbestdaken

De meetresultaten uit dit onderzoek bevestigen het beeld dat is ontstaan op basis van de resultaten van eerder gepubliceerd onderzoek; ook de gepubliceerde literatuur beschrijft dat in de buitenlucht vaak géén asbestvezels worden aangetroffen (concentratie < bepalingsgrens van 100 vezels/m³), en indien er asbestvezels werden aangetroffen was de gemeten concentratie nog steeds laag (~100 vezels/m³). Op basis van bovenstaande onderzoeken wordt geconcludeerd dat de verspreiding van asbestvezels van asbestdaken naar de lucht beperkt is; dit geldt ook als het dak (sterk) verweerd is.

Depositie op de bodem en verdere verspreiding asbestvezels (route 2+7 in Figuur 1)

Alleen wanneer een dakgoot ontbreekt of niet meer goed functioneert zal door uitspoeling van asbest door regenwater asbesthoudende restanten en -vezels op de onderliggende bodem terecht komen. Deze depositieroute is niet bemeaten in dit onderzoek. Voor een kwantitatief inzicht in deze depositie route is gebruik gemaakt van reeds uitgevoerd onderzoek; al deze onderzoeken geven een vergelijkbaar beeld van de concentraties aan asbest in de bodem. Onder licht – matig verweerde asbestdaken is de gemiddelde asbestconcentratie 90 ± 290 (SD) mg/kg; onder sterk verweerde asbestdaken ligt de concentratie een stuk hoger met 1200 ± 3900 (SD) mg/kg. Het asbest in de bodem bestaat deels uit matrix gebonden asbest en deels uit losse respirabele vezels. De gemiddelde respirabele vezelconcentratie is 18 ± 28 (SD) mg/kg. De verontreiniging bevindt zich voornamelijk in de toplaag (bovenste 5 cm) en in de directe afwateringzone (0 – 100 cm van de dakrand).

Op basis van het blootstellingsmodel voor asbest in de bodem (Swartjes en Tromp, 2008) zijn voor bovengenoemde bodemconcentraties (mg/kg) asbestvezelconcentraties in de lucht (vezels/m³) afgeleid. Uit de afgeleide asbestvezelconcentraties blijkt dat bij sterk verweerde asbestdaken er een verhoogd risico op blootstelling aan asbestvezels tijdens het uitvoeren van zware activiteiten (o.a. machinaal grondverzet) is; de afgeleide asbestvezelconcentratie ligt hierbij rond de 1000 vezels/m³. Deze conclusie wordt bevestigd door de resultaten van gepubliceerd blootstellingsonderzoek die laten zien dat bij lichte activiteiten in de afwateringzone, zoals lopen, handmatig spitten/harken en grasmaaien slechts een enkele keer een lage asbestvezelconcentratie in de buitenlucht wordt gemeten (~185 vezels/m³).

Inloop/inwaai van asbest(vezels) naar de woning (route 3 in Figuur 1)

Tijdens de 2 weken durende meetcampagnes zijn in de woningen in de buurt van de asbestcement daken geen asbestvezels aangetroffen (concentratie < bepalingsgrens van 30 vezels/m³). Dit geldt zowel voor de woningen in de buurt van schuren, loodsen en stallen met een asbestcement golfplaten dak als voor de woningen waarvan het dak en een deel van de gevel zelf bestond uit asbestcement leien. De meetresultaten van dit onderzoek bevestigen het beeld dat is ontstaan op basis van de resultaten van eerder onderzoek, ook daar werden in woningen vrijwel nooit asbestvezels aangetroffen, en indien er asbestvezels werden aangetroffen was de gemeten concentratie nog steeds laag (≤ 100 vezels/m³).

In twee eerder gepubliceerde onderzoeken waarbij een verhoogde concentratie in de binnenlucht werd aangetroffen betrof het woonwijken met veel asbestcement gevels en daken in sterk verweerde toestand, waarbij in één geval geen dakgoten aanwezig waren, met afwatering direct op de stoep voor de deur van de woning. Voor dergelijke situaties en bij schuren en stallen met asbestcement golfplaten daken met een directe inloop via een (verharde) afwateringzone naar de nabij gelegen woning is inwaai/inloop van asbest(vezels) een belangrijke (potentiële) blootstellingsroute. Wanneer een goed functionerende dakgoot aanwezig is en/of de afwateringzone zich niet bevindt op de route waar de meeste bewegingen voorkomen is de kans op verontreiniging van de woning door inloop van asbest(vezels) aanzienlijk kleiner.

Verspreiding asbestvezels in schuren en stallen door interne verwerking (route 4 in Figuur 1)

Tijdens de uitgevoerde meetcampagnes zijn in de schuren/loodsen en stallen geen asbestvezels in de lucht aangetroffen (concentratie < bepalingsgrens van 30 vezels/m³). In de verzamelde stofmonsters is op twee locaties een spoor chrysotiel aangetroffen. Op één van deze locaties is extra activiteit gesimuleerd door het plaatsen van ventilatoren; ook hier zijn géén asbestvezels in de lucht aangetroffen. De meetresultaten van dit onderzoek bevestigen het beeld dat is ontstaan op basis van de resultaten van eerder onderzoek, ook daar zijn vrijwel nooit asbestvezels aangetroffen (concentratie < bepalingsgrens van 100 vezels/m³) en indien er asbestvezels werden aangetroffen was de gemeten concentratie nog steeds laag (~100 vezels/m³). Op basis van bovenstaande wordt geconcludeerd dat onder normale gebruiksomstandigheden (wanneer het onderdak niet wordt beroerd) de verspreiding van asbestvezels door interne verwerking van het onderdak beperkt is.

Uitspoeling via regenwater in dakgoten (route 6 in Figuur 1)

Tijdens de meetcampagnes in de zomer en winterperiode variëren de gemeten asbestvezelconcentraties in het opgevangen regenwater tussen de 0,1 en 4,5 x 10⁶ vezels/L, met een gemiddelde van 1,4 x 10⁶ vezels/L. Bij omrekening naar vezels per kilogram slib betekent dit 2,5 (0,3 – 13) x 10¹¹ vezels/kg. Het totale asbestpercentage in het opgevangen slib varieert van 1,2 tot 23%, met een gemiddelde van 12% (120.000 mg/kg). Van deze 12% is ca. 1 (0,1 – 5) % aanwezig als losse asbestvezels; het overige deel is matrix gebonden asbesthoudend materiaal. Dit komt overeen met het gemiddelde percentage losse asbestvezels op de bodem onder asbestdaken. De meetresultaten van dit onderzoek bevestigen het beeld dat is ontstaan op basis van de resultaten van eerder onderzoek.

Aangezien tijdens de metingen in de buitenlucht weinig asbestvezels zijn aangetroffen (concentraties vergelijkbaar met achtergrondniveau) mag worden verondersteld dat resuspensie van asbestvezels uit slib in dakgoten nauwelijks optreedt. Om inzicht te krijgen in de potentiële blootstellingsrisico's tijdens het schoonmaken van dakgoten zijn op basis van het blootstellingsmodel voor asbest in de bodem (Swartjes en Tromp, 2008) asbestvezelconcentraties in de lucht afgeleid. De afgeleide asbestvezelconcentratie bij de genoemde activiteiten ligt tussen de 100 en 5000 vezels/m³. In hoeverre dit potentiële risico tot een actueel blootstellingsrisico leidt hangt af van veel factoren, zoals o.a. type, frequentie en duur van de activiteit, afstand tot de bron en vochtigheidsgraad van het slib.

Vergelijking met advieswaarden en achtergrondconcentraties in 2016

In 2016 is door TNO onderzoek uitgevoerd naar de achtergrondconcentratie in Nederland, waarbij een door TNO ontwikkelde analysemethode is toegepast waarmee korte en hele dunne vezels kunnen worden gedetecteerd (Tromp, 2016). In 2016 werd een gemiddelde asbestvezelconcentratie van 35 vezels/m³ met een spreiding van <30 – 81 vezels/m³ vastgesteld. Voor vezels met een lengte langer dan 5 µm was de gemeten concentratie lager: gemiddeld 6 vezels/m³ met een spreiding van <30 – 30 vezels/m³. In het huidige onderzoek zijn de meeste analyses uitgevoerd conform de NEN-ISO 14966, waarmee dunne vezels (< 0,1 µm) niet zichtbaar zijn. Daarom zijn voor de zomerlocaties (Barneveld, Loenen, Hoevelaken-1, Lelystad-1 en Milheeze) aanvullende analyses uitgevoerd met de nieuwe methode voor de bepaling van achtergrondconcentraties. Hierbij is een gemiddelde asbestvezelconcentratie van 13 vezels/m³ met een spreiding van <30 – 28 vezels/m³ vastgesteld. De gemiddelde concentratie voor asbestvezels met een lengte langer dan 5 µm is 3 vezels/m³ met een spreiding van <30 – 14 vezels/m³.

De gemeten asbestvezelconcentraties langer dan 5 µm liggen onder de door de Gezondheidsraad afgeleide jaargemiddelde verwaarloosbare risiconiveau concentraties voor chrysotiel (28 vezels/m³), amfibool asbest (3 vezels/m³) en gemengde asbestvezels (13 vezels/m³). De gemeten

achtergrondconcentraties in het huidige onderzoek liggen iets lager dan in het onderzoek uit 2016. Waarschijnlijk zijn de slechtere weersomstandigheden in 2021 (veel neerslag en weinig zon uren) hiervoor verantwoordelijk. Desondanks zijn de asbestvezelconcentraties in het huidige onderzoek ten opzichte van de gemeten concentraties in 2016 niet significant verschillend; de gemeten concentraties aan asbestvezels en overige minerale vezels bevinden zich in dezelfde concentratie range als de concentraties in 2016.

Doordat de gemeten asbestvezelconcentraties in de lucht niet zijn verhoogd ten opzichte van het achtergrondniveau in Nederland is de bijdrage van verwerende asbestdaken via luchterosie op de achtergrondconcentratie niet exact vast te stellen. Om te beoordelen of de met het regenwater uitgespoelde asbestvezels een bijdrage kunnen leveren aan deze achtergrond concentratieniveaus zijn vezeldimensies van de uitgespoelde asbestvezels vergeleken met vezeldimensies van de asbestvezels in de buitenlucht. Ondanks dat de met regenwater uitgespoelde vezels gemiddeld langer en dikker zijn dan de vezels in de buitenlucht, heeft ca. 50% van de asbestvezels soortgelijke dimensies als de vezels in de buitenlucht. Dit betekent dat door resuspensie een deel van de uitgespoelde vezels weer in de lucht kunnen komen; dit geldt zowel voor chrysotiel vezels als voor crocidolietvezels.

Representativiteit van het onderzoek

Vergelijking met VITO onderzoeken

De situatie in Nederland is vergelijkbaar met die van Vlaanderen (België). Ook daar is op grote schaal asbestcement plaatmateriaal gebruikt van het type Eternit⁴ voor de bekleding van daken en gevels van schuren, loodsen, stallen en woningen. De veroudering en degradatie van het Eternit plaatmateriaal, zal mede gezien de vergelijkbare klimatologische omstandigheden, in Nederland en Vlaanderen vergelijkbaar zijn. Door VITO zijn recentelijk meerdere onderzoeken uitgevoerd naar de verwerking van asbestcement daken. Bij een vergelijking van de onderzochte asbestdaken en gevels blijkt dat de selectie van objecten door TNO goed vergelijkbaar is met die van VITO. Door VITO zijn ook laag verweerde asbestdaken en gevels meegenomen, die door TNO niet in het onderzoek zijn betrokken. Dit bevestigt de “realistische worst case” selectie van TNO, die ook tot uitdrukking komt in de hogere gemiddelde leeftijd van de onderzochte asbestdaken en -gevels en de resultaten van de kleeftesten. De onderzoeksresultaten van TNO en VITO samen geven een goed beeld van de bandbreedte (variatie) in de verwerking van asbestcement daken en gevels voor de situatie in Nederland en Vlaanderen.

Seizoen- en weersinvloeden

De algemene aanname is dat tijdens droog en zonnig weer de emissie van asbestvezels via luchterosie of resuspensie hoger is dan tijdens bewolkt en regenachtig weer. In dit onderzoek hebben we deze veronderstelling niet kunnen bevestigen, aangezien in géén van de luchtmetingen in de zomer- en winterperiode asbestvezels in de lucht zijn aangetroffen (concentratie < 10 vezels/m³). Met de fijnstof metingen is géén correlatie gevonden tussen de emissie van fijnstof en de windsnelheid. In de winterperiode is alleen benedenwinds van het asbestcement dak gemeten; hierbij worden de hoogste asbestvezelconcentraties in de lucht verwacht. In de zomerperiode is continu gemeten en is een deel van de tijd lucht aangezogen die niet uit de richting van het asbestcement dak komt. Uit de meteo gegevens blijkt dat het grootste deel van de wind (60 – 100%) wel uit de richting van het dak komt. Dit betekent dat ook de metingen in de zomer een voldoende betrouwbaar beeld geven van de asbestvezelemissie van het asbestcement dak.

⁴ Eternit plaatmateriaal is afkomstig van het bedrijf Eternit. Voor Nederland en Vlaanderen vond de productie van asbestcement dakbedekking vooral plaats in Goor en de productie van gevelbekleding in Kapelle-op-den-Bos.

Op basis van de uitspoeling resultaten blijkt een groot verschil tussen de zomer- en winterperiode. In de zomerperiode wordt ca. 10 keer zoveel asbest met het regenwater mee gespoeld dan in de winterperiode. Dit verschil is groter dan verwacht en kan niet éénduidig worden verklaard. Enerzijds kan dit te maken hebben met de hoeveelheid en intensiteit van de neerslag (meer neerslag bij gelijkblijvende verwerking betekent een verdunning van de vezelconcentratie in het regenwater en korte hevige buien kunnen voor meer uitspoeling zorgen dan lange perioden met motregen). Anderzijds zouden temperatuurswisselingen een rol kunnen spelen (door vorst zal het water in de cementmatrix bevriezen en uitzetten waardoor de matrix gaat delamineren; in de zomer kunnen door extreme temperatuurverschillen beschadigingen in de matrix ontstaan door uitzetten en weer inkrimpen van de asbestcementplaten).

Beoordelingssystematiek verwerking asbestdaken

Een eenvoudige beoordeling op basis van visuele inspectie blijkt de beste methode om de mate van verwerking op objectieve wijze te kunnen schatten. Het gebruik van meer kwantitatieve methoden, zoals microscopisch onderzoek en kleefmonsters van het dakoppervlak, hebben slechts een geringe meerwaarde. Het door TNO ontwikkelde beoordelingssysteem is gebaseerd op een eenvoudige visuele inspectie in het veld op basis van een reeks indicatoren in combinatie met relevante gegevens van het gebouw, het dak en/of de gevels. Met kleefmonsters kan goed onderscheid worden gemaakt in nauwelijks-licht verweerde (hechtgebonden) daken en matig-sterk verweerde (niet-hechtgebonden) daken; verdere gradatie in verwerking kan op basis van kleefmonsters niet worden afgeleid.

De leeftijd is de belangrijkste indicator van de conditie van het asbestcement plaatmateriaal. In de door TNO ontwikkelde methode wordt daarom de puntenscore gecombineerd met de leeftijd van de beplating wat resulteert in een zogenaamde fictieve leeftijd. De onderstaande koppeling tussen verwerkingsgraad en puntenscore is in het onderzoek als leidraad gebruikt:

- matig verweerd: fictieve leeftijd jonger dan 60 jaar;
- sterk verweerd: fictieve leeftijd tussen de 60 en 80-90 jaar;
- ernstig verweerd: fictieve leeftijd ouder dan 80-90 jaar.

Deze systematiek zegt echter niets over het actuele en potentiële blootstellingsrisico. Daarom is het belangrijk om ook de verspreidingsroutes en het daarmee gepaard gaande blootstellingsrisico mee te laten wegen in de beoordeling.

Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de resultaten van het onderzoek, inclusief de uitgevoerde literatuurstudie, worden de volgende conclusies getrokken over de emissie van asbest(vezels) vanuit verwerkende asbestdaken, de mate van verspreiding en het risico op blootstelling voor bewoners en omwonenden:

Het verloop van de verwerking en de hoeveelheid vrijkomend asbest

- In Nederland is in 1993 het asbestverbod in werking getreden zodat vrijwel alle asbestcement dak- en gevelplaten in Nederland ouder zijn dan ca. 30 jaar. Deze toepassingen zijn allemaal matig tot sterk verweerd. Het onderzoek van het slib en regenwater toont aan dat er sprake is van een voortdurende uitspoeling van asbest(vezels) vanuit de asbestdaken. Tijdens de meetcampagnes in de zomer- en winterperiode zijn in het opgevangen slib concentraties tussen de 1,2 en 23% gemeten met een gemiddelde van 12% (120.000 mg/kg). Ongeveer 1 (0,1 – 5) % hiervan is aanwezig als losse asbestvezels; het overige deel is matrix gebonden asbesthoudend materiaal. In het regenwater variëren de asbestvezelconcentraties tussen de 0,1 en $4,5 \times 10^6$ vezels/L, met een gemiddelde van $1,4 \times 10^6$ vezels/L. Deze waarden liggen aan de bovenkant van de range van reeds gepubliceerde concentraties in slib en regenwater.

De gemiddelde jaarlijkse emissie van asbest via uitspoeling met regenwater is berekend op 1,2 (0,2 – 2,7) gram per m² dakoppervlak per jaar, waarbij onderscheid wordt gemaakt in matig verweerde asbestdaken (0,4 (0,2 – 0,7) gr/m²/jaar) en sterk verweerde asbestdaken (2,0 (0,9 – 2,7) gr/m²/jaar). Deze emissiefactoren liggen in dezelfde range als reeds gepubliceerde emissiefactoren uit andere onderzoeken; deze liggen tussen de 0,5 en 4 gram/m²/jaar. Verder blijkt dat de uitspoeling van asbest(vezels) via regenwater in de zomerperiode een factor 10 hoger ligt dan in de winterperiode. De reden voor dit verschil is in dit onderzoek niet nader onderzocht maar heeft mogelijk te maken met verschillen in temperatuur en hoeveelheid en intensiteit van de neerslag. Samenvattend, geven de door TNO bepaalde emissiefactoren een verdere detaillering van de in 2007 gepubliceerde globale indicatie van “gemiddeld 1 - 3 gram asbest/m²/jaar” (Tromp, 2007), rekening houdend met de verweringsgraad en seizoensinvloeden.

- Om de totale hoeveelheid aan vrijkomende asbestvezels via luchterosie kwantitatief te kunnen bepalen zijn aanvullende windrichting-aangestuurde metingen (360° metingen) beneden- en bovenwinds van asbestcement daken uitgevoerd. Op basis van de bepalingsgrens (10 vezels/m³) en de gemeten fijnstof concentraties is met behulp van het lijwervel model (Duyzer et al., 2004) de maximale asbestvezelemisatie via luchterosie geschat op ca. 0,08 (0,01 – 0,21) x 10⁹ vezels/m²/jaar. Dit betekent dat het maximale aandeel van de emissie via lucht 0,1% is van de totale emissie. Daarmee is de emissie van asbest door uitspoeling verreweg de meest dominante route. Gezien de steeds hogere leeftijd van de asbestdaken zal de emissie van asbest(vezels) vanuit verwerende asbestdaken de komende jaren toenemen. Echter, door de grote variatie in mate van vertering van asbestdaken is er geen sprake van een éénduidige correlatie tussen de leeftijd van het asbestcement dak en de emissie van asbest(vezels) om het verloop van de vertering de komende jaren kwantitatief te kunnen voorspellen.
- Wanneer wordt uitgegaan van een totaal oppervlak aan asbestdaken in Nederland van ca. 74 mln m² zal ongeveer 90 (15 – 200) ton asbest per jaar via uitspoeling vrijkomen. Voor luchterosie gaat het om maximaal 6 (0,7 – 16) x 10¹⁵ asbestvezels per jaar die in de lucht terecht komen; omgerekend naar massa betekent dit maximaal 50 kg asbestvezels per jaar. De hoeveelheid uitgespoeld asbest zal, afhankelijk van de regenwaterafvoer, deels via het rioolwater worden afgevoerd naar rioolwaterzuiveringsinstallaties, deels worden afgevoerd naar het oppervlaktewater in de directe omgeving en deels op de bodem onder asbestdaken terecht komen.

Verspreiding en het risico voor bewoners en omwonenden

- Wanneer een dakgoot ontbreekt of niet meer goed functioneert zullen door uitspoeling via regenwater asbesthoudende restanten en -vezels op de onderliggende bodem terecht komen. In gepubliceerde literatuur zijn in de afwateringzone onder matig en sterk verweerde daken gemiddelde asbestconcentraties van respectievelijk 90 ± 290 (SD) mg/kg en 1200 ± 3900 (SD) mg/kg gemeten. Het asbest bestaat deels uit matrix gebonden asbest en deels uit losse respirabele vezels; de gemiddeld gemeten vezelconcentratie betrof 18 ± 28 (SD) mg/kg. De verontreiniging bevindt zich voornamelijk in de toplaag (bovenste 5 cm) en in de directe afwateringzone (0 – 100 cm van de dakrand). Uit eerder gepubliceerde meetgegevens blijkt dat tijdens lichte activiteiten in de afwateringzone van sterk verweerde asbestdaken, zoals lopen, handmatig spitten/harken en grasmaaien, er nauwelijks asbestvezels in de lucht worden aangetroffen (maximaal ~185 vezels/m³).

Op basis van het blootstellingsmodel voor asbest in de bodem (Swartjes en Tromp, 2008) blijkt echter wel dat bij deze sterk verweerde asbestdaken er sprake kan zijn van een evident blootstellingsrisico tijdens het uitvoeren van zwaardere activiteiten in de afwateringzone (o.a. machinaal grondverzet). Ditzelfde risico geldt ook voor de situatie waarin verontreinigd slib uit dakgoten wordt bewerkt, bijvoorbeeld tijdens reiniging van verstopte dakgoten. Het actuele blootstellingsrisico hangt af van veel factoren, zoals o.a. type, frequentie en duur van de activiteit, afstand tot de bron en vochtigheidsgraad van het slib.

- Bij het ontbreken van een dakgoot is een zeker risico op 'inloop' van asbest(vezels) naar de woning aanwezig. In eerder gepubliceerd onderzoek (Tromp, 2007) zijn in situaties zonder dakgoot waar uitgespoelde asbesthoudende restanten zich bevinden in de directe inlooprouten naar woningen toe verhoogde asbestconcentraties rond de door de Gezondheidsraad afgeleide jaargemiddelde maximaal toelaatbare risiconiveaus gemeten. Het ging hierbij om woningcomplexen waarvan de woningen waren bekleed met asbestcement golfplaat en dak- en gevellei. Voor dergelijke situaties en bij schuren en stallen met asbestcement golfplaten daken met een directe inloop via een (verharde) afwateringzone naar de nabij gelegen woning is er een verhoogd risico op blootstelling aan asbestvezels.

Bij aanwezigheid van een dakgoot of in situaties waar de afwateringzone zich niet bevindt op de directe inlooprouten naar woningen is de kans op verontreiniging van de woning door inloop en inwaaier van asbest(vezels) beperkt. Bij de metingen in woningen met asbestleien gevels en daken en in woningen in de nabijheid (5 – 25 meter) van schuren en stallen met asbestcement golfplaten daken ligt de asbestvezelconcentratie beneden de bepalingsgrens van 30 vezels/m³. Dit geldt ook voor het gesedimenteerde stof, waarin géén asbest is aangetroffen. Ook in andere gepubliceerde onderzoeken zijn in dergelijke situaties nauwelijks verhoogde asbestvezelconcentraties in de lucht aangetroffen (≤ 100 vezels/m³). Hiermee, liggen de gemeten asbestvezelconcentraties rond de door de Gezondheidsraad afgeleide jaargemiddelde verwaarloosbare risiconiveaus.

- Uit eigen onderzoek en gepubliceerde literatuur blijkt dat de verspreiding van asbestvezels naar de buitenlucht vanuit asbestdaken, ook bij sterke verwerking, beperkt is. De huidige gemeten concentraties aan asbestvezels in de buitenlucht in de nabijheid van asbestdaken (0 – 30 meter) liggen in dezelfde concentratie range als de in Nederland gemeten achtergrondconcentraties in 2016, met een gemiddelde asbestvezelconcentratie van 13 vezels/m³ en een spreiding van <30 – 28 vezels/m³ voor alle asbestvezels en 3 vezels/m³ en een spreiding van <30 – 14 vezels/m³ voor vezels met een lengte langer dan 5 μ m. Net zoals bij de metingen in 2016 blijkt ook hier dat slechts een klein deel van de vezels langer is dan 5 μ m (22%) en dat het merendeel van de vezels van het type chrysotiel is (80%). De gemeten asbestvezelconcentraties liggen onder de door de Gezondheidsraad afgeleide jaargemiddelde verwaarloosbare risiconiveaus.
- Onder normale gebruiksomstandigheden (wanneer het onderdak niet wordt beroerd) is de verspreiding van asbestvezels door interne verwerking van het onderdak beperkt. Ondanks dat in enkele schuren in het stof lage concentraties asbest zijn aangetroffen, ligt de gemeten asbestvezelconcentratie in de lucht overal beneden de bepalingsgrens van 30 vezels/m³. Ook in gepubliceerde literatuur wordt in een enkel geval een licht verhoogde concentratie gemeten (≤ 100 vezels/m³). Hiermee, liggen de gemeten asbestvezelconcentraties rond de door de Gezondheidsraad afgeleide jaargemiddelde verwaarloosbare risiconiveaus.

Met het uitgevoerde onderzoek, inclusief de windrichting-aangestuurde luchtmetingen, is een zo goed mogelijk beeld verkregen van de emissie van asbest(vezels) vanuit verwerende asbestdaken, inclusief de verspreiding en blootstellingsroutes van vrijkomende asbest(vezels) en de blootstellingsrisico's voor bewoners en omwonenden. Op een aantal punten is met het onderzoek nog geen volledig beeld verkregen: er ontbreekt nog een kwantitatief inzicht in het verloop van de verwerking de komende jaren en de verdere verspreiding van asbest dat wordt afgevoerd naar rioolwaterzuiveringsinstallaties en het oppervlaktewater, inclusief blootstellingsrisico's, is nog onvoldoende onderzocht.

Voor een prognose van het verloop van de verwerking in de komende ca. 10 - 20 jaar en de daarmee gepaard gaande toename in de emissie van asbestvezels wordt aanbevolen om aanvullende (uitspoelings)metingen uit te voeren bij een groter aantal asbestdaken met variatie in leeftijd en verweringsgraad. Om te onderzoeken in hoeverre asbest in zuiveringslib onschadelijk wordt gemaakt in verbrandingsinstallaties en of er hierbij emissies naar lucht kunnen optreden wordt geadviseerd om aanvullende metingen uit te voeren bij enkele verbrandingsinstallaties. Om inzicht te krijgen in de verspreiding naar het oppervlaktewater wordt aanbevolen om in het landelijk gebied aanvullende asbestmetingen in het oppervlaktewater en sediment uit te voeren.

Inhoud

Samenvatting	2
Inleiding en vraagstelling	2
Normen en advieswaarden voor asbest	3
Plan van aanpak	3
De emissie van asbest(vezels) vanuit verwerende asbestdaken	4
Verspreiding en blootstellingsroutes	5
Vergelijking met advieswaarden en achtergrondconcentraties in 2016	7
Representativiteit van het onderzoek	8
Beoordelingssystematiek verwerking asbestdaken	9
Conclusies en aanbevelingen	9
1 Inleiding.....	15
1.1 Achtergrond	15
1.2 Vraagstelling onderzoek	15
1.3 Doel van het onderzoek	16
1.4 Normen en advieswaarden	17
2 Plan van aanpak	18
2.1 Procedure	18
2.2 Onderzoekstrategie	19
2.2.1 Kennishiaten	19
2.2.2 Scope van het onderzoek	19
2.2.3 Meetstrategie	20
2.2.4 Onderzoek verspreidings- en blootstellingsroutes	21
3 Literatuuronderzoek.....	25
3.1 Verweringsprocessen	25
3.2 Emissie door luchterosie en uitspoeling via regenwater	26
3.2.1 Bepaling verweringsnelheid	26
3.2.2 Uitspoeling via regenwater	30
3.3 Blootstelling- en omgevingsmetingen	32
3.4 Depositie op de bodem	38
3.5 Beoordeling verwerking	42
4 Uitvoering en methoden	48
4.1 Selectie meetlocaties	48
4.2 Beoordeling dak	50
4.3 Monsterneming	51
4.3.1 Luchtmetingen	51
4.3.2 Regenwater en slib	53
4.3.3 Kleefmonsters en gesedimenteerd stof	53
4.3.4 Meetperioden	53
4.4 Analyse	56
4.4.1 Luchtmetingen	56
4.4.2 Regenwater en slib	57
4.4.3 Kleefmonsters en gesedimenteerd stof	57
4.4.4 Nauwkeurigheid van de meetmethoden	58
5 Resultaten	59
5.1 Beoordeling verwerking asbestdaken	59
5.2 Luchtmetingen	59

5.3	Continue fijnstof metingen.....	61
5.4	Regenwater en slib.....	62
5.5	Gesedimenteerd stof.....	66
6	Evaluatie onderzoeksresultaten	67
6.1	De emissie van asbest(vezels) vanuit verwerende asbestdaken	67
6.2	Verspreiding, blootstellingsroutes en blootstellingsrisico's	69
6.2.1	Route 1: Verspreiding van asbestvezels in de buitenlucht	69
6.2.2	Route 2+7: Depositie op de bodem en verdere verspreiding asbestvezels	70
6.2.3	Route 3: Inwaai/inloop van asbestvezels naar de woning	71
6.2.4	Route 4: Verspreiding door interne verwerking in schuren en stallen	72
6.2.5	Route 6: Uitspoeling via regenwater in dakgoten	72
6.3	Vergelijking met advieswaarden en achtergrondconcentraties	73
6.4	Representativiteit van het onderzoek.....	75
6.4.1	Vergelijking met VITO onderzoeken	75
6.4.2	Seizoen- en weersinvloeden	77
6.5	Beoordelingssystematiek verwerking asbestdaken	78
7	Conclusie en aanbevelingen.....	80
	Het verloop van de verwerking en de hoeveelheid vrijkomend asbest.....	80
	Verspreiding en het risico voor bewoners en omwonenden.....	81
8	Ondertekening.....	83
9	Referenties.....	84
	Bijlage I: Beschrijving meetlocaties	89
A)	Meetlocatie Barneveld.....	89
B)	Meetlocatie Hoevelaken-1.....	91
C)	Meetlocatie Hoevelaken-2.....	94
D)	Meetlocatie Lelystad-1	97
E)	Meetlocatie Lelystad-2	99
F)	Meetlocatie Loenen	102
G)	Meetlocatie Milheeze.....	105
	Bijlage II: Lijst met wetenschappelijke artikelen en onderzoeksrapporten zoals meegenomen in het literatuuronderzoek.....	107

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Sinds 1978 is asbestbeleid ontwikkeld en uitgevoerd gericht op het terugdringen van het voorkomen van asbest in enigerlei vorm in het binnen- en buitenmilieu. Dit beleid heeft onder andere geleid tot een aanzienlijke reductie van de asbestvezelconcentratie in de buitenlucht. In 2016 is door TNO onderzoek uitgevoerd naar de achtergrondconcentratie in Nederland, waarbij een gemiddelde asbestvezelconcentratie van 35 vezels/m³ met een spreiding van <30 – 81 vezels/m³ werd vastgesteld (Tromp, 2016). Voor vezels met een lengte langer dan 5 µm was de gemeten concentratie lager: gemiddeld 6 vezels/m³ met een spreiding van <30 – 30 vezels/m³.

Asbestdaken, onder andere veel toegepast in de agrarische sector, liggen al decennia op hun plek en zijn inmiddels veelal sterk verweerd. De verwachting is dat deze verwerking kan leiden tot emissie van asbestvezels. Op basis van het advies van de Gezondheidsraad uit 2010 heeft de Nederlandse regering in 2011 besloten om asbestdaken, als grootste resterende en toenemende bron van asbestvezels in de leefomgeving, aan te pakken, door middel van een wettelijk verbod en is een stimuleringsprogramma opgezet. Nu het wettelijk verbod niet is gekomen resteert stimulering van het verwijderen van asbesthoudende daken. Het nieuwe stimuleringsbeleid is verankerd in de 'Samenwerkingsverklaring aanpak van asbestdaken'.

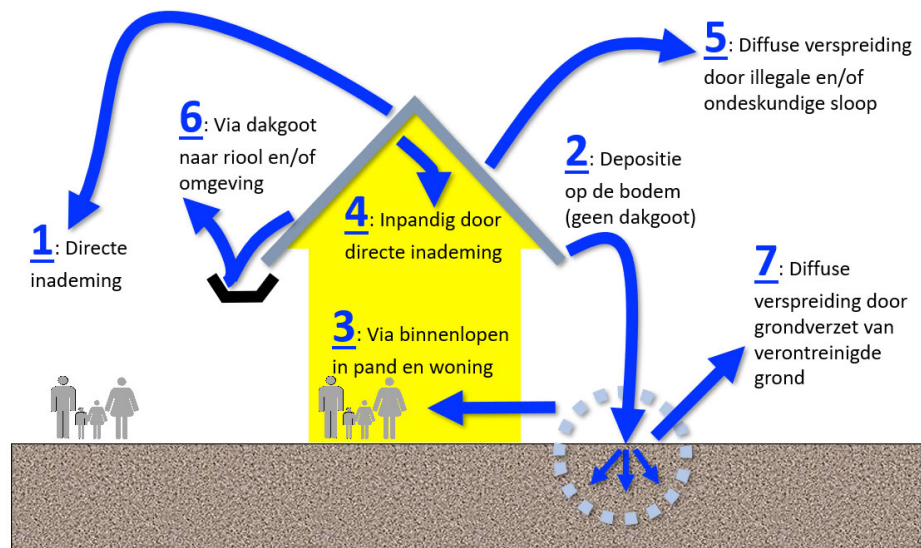
Anno 2022 is inmiddels zo'n 10 jaar verstreken na het initiële besluit tot een asbestdaken verbod. Gedurende deze periode is veel discussie ontstaan over de werkelijke blootstellingsrisico's van asbest in relatie tot de verwerking van asbestdaken. De Gezondheidsraad heeft in 2019 bevestigd dat de conclusies uit 2010 met betrekking tot de gezondheidsrisico's van asbest nog actueel zijn. Risico's worden naast de toxiciteit van asbestvezels mede bepaald door de mate, frequentie en duur van blootstelling aan asbestvezels. Actuele wetenschappelijke inzichten over de blootstelling door verwerking van asbestdaken ontbreken echter. Het laatste Nederlandse rapport hierover dateert uit 2007 (Tromp, 2007). Hoewel het logisch lijkt dat met een oplopende leeftijd de staat van asbesthoudende materialen verslechtert en hierdoor vezels gemakkelijker in het (leef)milieu terecht komen, ontbreekt een duidelijke kwantificering en beoordeling van samenhangende blootstellingsrisico's hiervan.

1.2 Vraagstelling onderzoek

Het verkrijgen van actuele informatie over de verwerking van asbestdaken en de verspreiding van asbest(vezels) vanuit asbestdaken om:

1. inzicht te krijgen in de mate van verwerking in relatie tot de leeftijd van het dak, type asbesttoepassing en bepaalde omgevingsvariabelen; zodanig dat het verloop van de verwerking c.q. hoeveelheid vrijkomend asbest beter kan worden ingeschat;
2. de mogelijke verspreidingsroutes van asbest(vezels) vanuit asbestdaken kwantitatief in kaart te brengen;
3. het blootstellingsrisico voor bewoners en omwonenden in het algemeen concreter te kunnen aangeven.
4. inzicht te krijgen in de bijdrage van verwerende asbestdaken aan de achtergrondconcentratie van asbestvezels in Nederland, met onderscheid in chrysotiel- en amfibole asbestvezels.

Het overzicht zoals weergegeven in Figuur 1 is opgesteld door de provincie Overijssel. Hierin zijn de mogelijke verspreidingsroutes en blootstellingsroutes van asbest(vezels) vanuit asbesthoudende daken afgebeeld.



Figuur 1: Verspreidings- en blootstellingsroutes asbest(vezels) afkomstig van verwerende asbestdaken (figuur opgesteld door Provincie Overijssel)

De volgende routes worden onderscheiden:

1. Verspreiding en directe inademing van asbestvezels in de buitenlucht vanuit asbestdaken.
2. Depositie van asbest(vezels) op de bodem door uitspoeling vanaf asbestdaken; wanneer een dakgoot ontbreekt kan asbest op de bodem onder het dak terecht komen.
3. Inademing van asbestvezels in woningen door inwaai/inloop; uitgespoeld asbest onder het dak kan door de wind of via het schoeisel in de woning terechtkomen.
4. Directe inademing asbestvezels in schuren en stallen; door interne verwerking van het asbestcement onderdak kunnen vezels vrijkomen.
5. Verspreiding en inademing asbestvezels door illegale/ondeskundige sloop.
6. Verspreiding en inademing van asbestvezels via verontreinigd slib in dakgoten; asbestvezels die door uitspoeling in de goot terecht komen worden afgevoerd naar het riool, waarna het zuiveringsslib wordt verbrand in verbrandingsinstallaties. Inademing kan wel plaatsvinden tijdens het reinigen van dakgoten.
7. Verspreiding en inademing van asbestvezels via verontreinigde grond; asbestvezels die door uitspoeling op de onderliggende bodem komen (route 2) kunnen door het verplaatsen/bewerken van de grond weer in de lucht komen.

De provincie Overijssel heeft TNO opdracht verleend een onderzoeksplan op te stellen waarin voor de bovengenoemde routes de bijdrage en/of blootstelling aan asbestvezels wordt bepaald. Route 5 is uitgezonderd, omdat het bepalen van de mate van blootstelling aan asbestvezels tijdens het verwijderen van asbesthoudende platen in het onderzoek van Arcadis is meegenomen (La Faille, 2020).

1.3 Doel van het onderzoek

Overleg tussen de provincie Overijssel, het ministerie van I&W en TNO heeft geleid tot een onderzoeksopzet met de volgende doelstellingen:

1. Het opstellen van een onderzoeksplan, rekening houdend met beschikbare kennis afkomstig van de meest recente (wetenschappelijke) literatuur, waarmee inzicht kan worden verkregen in de factoren die van invloed zijn op de verwerking van asbestdaken, de hoeveelheid asbest(vezels) die bij verwerking vrijkomen en de verspreiding van asbest(vezels) via lucht, water en sediment tot aan potentiële inademing door mensen.

2. Het inschatten van de hoeveelheid vrijkomende asbest(vezels) vanuit verwerende asbestdaken (waaronder asbestcement golfplaten en asbestleien daken) via luchterosie en uitspoeling via regenwater inclusief vergelijking met de huidige globale indicatie van “gemiddeld 1-3 g asbest/m²/jaar” (Tromp, 2007)
3. Een schatting van het verloop van het verweringsproces en een voorzichtige inschatting van de hoeveelheid vrijkomende asbest(vezels) in de komende ca. 10 - 20 jaar op basis van aangeleverde gegevens van de hoeveelheid asbestdaken in Nederland: aantallen, oppervlakken en leeftijd (kengetallen worden door de opdrachtgever geleverd).
4. Het in kaart brengen van de verspreiding, blootstellingsroutes en blootstellingsrisico's van vrijkomende asbest(vezels) van asbesthoudende daken van woningen, schuren en stallen en de actuele en potentiële blootstellingsrisico's voor bewoners, omwonenden en passanten (via inademing van asbestvezels). Dit moet uiteindelijk resulteren in een informatieve (voor het publiek begrijpelijke) beschrijving die bijdraagt aan een betere bewustwording van de risico's van asbest van de gemiddelde Nederlander.
5. Het verkrijgen van inzicht in de bijdrage van verwerende asbestdaken aan de achtergrondconcentratie van asbestvezels in de Nederlandse buitenlucht en een “update” van het in 2016 uitgevoerde onderzoek naar asbestvezels in de Nederlandse buitenlucht (Tromp, 2016), met onderscheid in chrysotiel- en amfibole asbestvezels.

1.4 Normen en advieswaarden

In juni 2010 heeft de Gezondheidsraad een advies uitgebracht waarin de gezondheidsrisico's van asbest opnieuw zijn geëvalueerd (GR, 2010). Op basis van, op kwaliteit getoetste wetenschappelijke studies naar de gezondheidseffecten van asbest, zijn asbestconcentraties behorende bij verschillende door de overheid gehanteerde risiconiveaus afgeleid. Voor milieublootstelling heeft de Gezondheidsraad de onderstaande jaargemiddelde risiconiveau concentraties afgeleid die gelden voor levenslange blootstelling:

- Een concentratie van 28 chrysotielvezels per m³, 3 amfibool asbestvezels per m³ of 13 vezels gemengd asbest (<20% amfibool) per m³ komt overeen met 10⁻⁶ risiconiveau, ofwel een sterftekans van 1 per miljoen bij levenslange blootstelling;
- Een concentratie van 2800 chrysotielvezels per m³, 300 amfibool asbestvezels per m³ of 1300 vezels gemengd asbest (<20% amfibool) per m³ komt overeen met 10⁻⁴ risiconiveau, ofwel een sterftekans van 1 per 10.000 bij levenslange blootstelling.

In het milieubeleid zijn risiconiveaus gekoppeld aan respectievelijk het Verwaarloosbaar Risico (VR = 10⁻⁶ risiconiveau) en het Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR = 10⁻⁴ risiconiveau). De risiconiveaus zijn afgeleid voor vezels met een lengte van minimaal 5 µm. Hierbij merkt de Gezondheidsraad wel op dat de mogelijke effecten van vezels korter dan 5 µm impliciet zijn meegenomen in de risicoanalyse.

In 2003 zijn door het RIVM en TNO de risico's van asbest in de bodem beoordeeld (Swartjes et al., 2003). Op basis hiervan is een interventiewaarde bodem van 100 mg/kg ds (droge stof) afgeleid, uitgedrukt als de optelsom van de concentratie aan chrysotiel en 10x de concentratie amfibool asbest (gewogen norm). De afgeleide concentratie in de lucht ligt hierbij tussen het VR en MTR (Tempelman et al., 2010). Ten behoeve van de locatie specifieke risicobeoordeling (Circulaire bodemsanering, 2013) is voor respirabele asbestvezels in de contactzone (bovenste 50cm van de bodem) een waarde van 10 mg/kg ds (gewogen) vastgesteld, waarboven sprake is van “onaanvaardbare risico's”.

2 Plan van aanpak

2.1 Procedure

Voor het onderzoek naar de verwerking van asbestdaken en de emissie en verspreiding van asbest(vezels) is in de periode februari - maart 2021, op basis van op dat moment beschikbare kennis, een voorlopig plan van aanpak ontwikkeld voor het uit te voeren veldonderzoek. Op basis van een literatuuronderzoek (zie Hoofdstuk 3), grotendeels uitgevoerd in april - mei 2021, is zoveel mogelijk reeds beschikbare informatie met betrekking tot de verwerking van asbestdaken geïnventariseerd en geëvalueerd. Op basis van deze informatie is beoordeeld waar de kennishiaten liggen met betrekking tot de verwerking van asbestdaken en de daarmee gepaard gaande verspreiding en blootstellingsrisico's van asbestvezels. Op deze manier wordt een mogelijke herhaling van reeds uitgevoerd onderzoek (inclusief bijbehorende analyses) zoveel mogelijk vermeden. Op basis van de meest recente informatie uit de literatuur is het voorlopige plan van aanpak eind mei 2021 bijgesteld, inclusief een beschrijving van de onderbouwing voor aanvullende windrichting-aangestuurde (veld)metingen.

Deze (veld)metingen zullen zich richten op:

1. De hoeveelheid asbest(vezels) die bij afwatering vrijkomt, rekening houdend met de mate van verwerking, toepassing en leeftijd van het dak.
2. De mate van blootstelling van bewoners/gebruikers van huizen, schuren en stallen voorzien van asbesthoudende daken via inademing van asbestvezels in gecontamineerde binnen- en buitenlucht. Hierbij zal rekening worden gehouden met de staat van verwerking c.q. leeftijd van het dak.

Het bijgestelde plan van aanpak is op 3 juni 2021 voorgelegd aan de technisch-wetenschappelijke begeleidingscommissie "Routeonderzoek asbestvezels". De begeleidingscommissie bestaat uit:

- Sven de Mulder (OVAM)
- Frank Swartjes (RIVM)
- Jan Tempelman (Adviesbureau Jan Tempelman)
- Yvonne Waterman (Stichting Expertise Centrum Asbest & Vezels (ECAV))
- Nico van Zandwijk (University of Sydney, Faculty of Medicine and Health)

In het overleg met de commissie op 9 juni 2021 zijn commentaarpunten besproken, en is op basis daarvan het bijgestelde plan van aanpak op een aantal punten verder aangepast:

1. De hoeveelheid asbest in gesedimenteerd stof is een belangrijke indicator voor het potentiële blootstellingsrisico, derhalve zullen in de binnenruimten (woningen, loodsen en schuren) aanvullende stofmonsters worden genomen.
2. Behalve materiaaleigenschappen, zoals type plaat (golfplaat, lei), asbestsoorten, coating en dikte plaatmateriaal is ook de hellingshoek van het dak belangrijk. Bij de selectie van locaties zal daarom ook worden gelet op de hellingshoek van het dak.
3. De vezelemisatie vanuit asbestdaken is waarschijnlijk een discontinu proces, onder invloed van bepaalde weerscondities. Bij langdurige metingen is de kans groter dat deze specifieke condities "gevangen" worden. De duur van de buitenluchtmetingen zal daarom worden verlengd naar minstens 4 weken.
4. Bij loodsen met stalen dakspanten ontstaat meer frictie tussen de asbestcementplaten vanwege uitzetting en inkrimping van het staal onder invloed van de temperatuur. Bij de selectie van locaties zullen daarom een aantal loodsen, schuren of stallen worden gezocht met stalen dakspanten.

Het definitieve plan van aanpak is op 17 juni 2021 gedeeld met de opdrachtgever en de technisch-wetenschappelijke begeleidingscommissie, en akkoord bevonden. In dit plan van aanpak is als optie aanvullend onderzoek (windrichting-aangestuurde (360°) luchtmetingen) opgenomen, gericht op het bepalen van de asbestvezelemissie via luchterosie.

Het bepalen van deze verwerkingssnelheid via luchterosie (vezels/m²/jaar) is complex en maakte in eerste instantie geen onderdeel uit van het onderzoek. In juli 2021 is definitief besloten deze extra windrichting-aangestuurde (360°) metingen alsnog toe te voegen aan het onderzoeksplan, en is in augustus 2021 hiervoor een aanvullend meetplan ontwikkeld wat is voorgelegd aan de provincie Overijssel. In het overleg op 24 augustus 2021 met de provincie Overijssel en het Ministerie I&W is het aanvullend meetplan akkoord bevonden en is overeengekomen om deze metingen, gezien de lange voorbereidingstijd, in te zetten in de winterperiode, gelijktijdig met de reeds geplande veldmetingen in deze periode. Als onderdeel van het aanvullende meetplan zitten tevens extra analyses, conform de procedure in het in 2016 uitgevoerde onderzoek naar de achtergrondconcentratie aan asbestvezels in de Nederlandse buitenlucht (Tromp, 2016), met onderscheid in chrysotielvezels en amfibole asbestvezels.

2.2 Onderzoekstrategie

2.2.1 Kennishiaten

Uit het literatuuronderzoek is gebleken dat het belangrijkste kennishiaat de emissie van asbestvezels via luchterosie is (vezels/m²/jaar). In meerdere studies zijn wel omgevingsmetingen en blootstellingsmetingen in de binnen- en buitenlucht uitgevoerd, maar dit betrof veelal kortdurende metingen met relatief hoge detectiegrenzen. De uitspoeling via regenwater is in enkele studies wel redelijk in kaart gebracht, maar door het ontbreken van contextuele informatie en/of essentiële gegevens (onder andere dakoppervlak, hoeveelheid neerslag) kan op basis van deze studies nog geen goed inzicht worden verkregen in de verwerkingssnelheid (gr/m²/jaar en vezels/m²/jaar) via uitspoeling. Bovendien maakt het ontbreken van deze contextuele informatie het moeilijk en in sommige gevallen zelfs onmogelijk om een vertaling naar de Nederlandse praktijk te maken.

2.2.2 Scope van het onderzoek

Het veldonderzoek heeft zich primair gericht op het bepalen van de hoeveelheid asbest(vezels) die uitspoelt via regenwater om zo inzicht te krijgen in de verwerkingssnelheid (gr/m²/jaar en vezels/m²/jaar) via uitspoeling. Daarnaast zijn luchtmetingen uitgevoerd in binnensituaties (in pandig in woningen en schuren/loodsen) en buitensituaties (rondom asbestdaken), om inzicht te krijgen in de actuele blootstellingsrisico's voor bewoners en omwonenden. Hierbij zijn zowel de vezels langer en korter dan 5 µm meegenomen. Als aanvulling op de luchtmetingen zijn in binnensituaties kleefmonsters van (stoffige) oppervlakken genomen om een indruk te krijgen van de mogelijke potentiële blootstellingsrisico's als gevolg van het weer in de lucht brengen van gesedimenteerde asbestvezels. Daarnaast zijn metingen in de buitenlucht uitgevoerd om de verwerkingssnelheid via luchterosie (vezels/m²/jaar) in kaart te brengen. In de tweede meetperiode zijn in de buitenlucht windrichting-aangestuurde luchtmetingen bovenwinds en benedenwinds van het asbestcement dak uitgevoerd. In Tabel 1 is de aanpak beschreven om de diverse blootstellingsroutes in kaart te brengen. Daarbij is tevens aangegeven welke onderdelen binnen de scope van dit onderzoek vallen.

Tabel 1: Plan van aanpak beoordeling verschillende blootstellingsroutes

Route	Beschrijving blootstellingsroute	Uitvoering onderzoek
1	Verspreiding en directe inademing asbestvezels vanuit asbestdaken	Via metingen in de buitenlucht in de omgeving van AC daken en via windrichting-aangestuurde metingen beneden- en bovenwinds van het dak
2	Depositie op de bodem door uitspoeling vanaf asbestdaken	Via literatuuronderzoek en metingen naar uitspoeling via route 6
3	Inademing asbestvezels in woningen door inwaai/inloop	Via metingen in de binnenlucht en monsterneming gesedimenteerd stof
4	Directe inademing asbestvezels in schuren en stallen	Via metingen in de binnenlucht en monsterneming gesedimenteerd stof
5	Verspreiding en inademing asbestvezels door illegale/ondeskundige sloop en asbestbrand	Buiten de scope van het onderzoek
6	Uitspoeling via regenwater en inademing asbestvezels via verontreinigd slib van dakgoten	Indirect, via kwantificatie uitspoeling asbest (gr/m ² /jaar en vezels/m ² /jaar) en blootstellingsmodel asbest in bodem (TNO/RIVM, 2008)
7	Verspreiding en inademing asbestvezels via verontreinigde grond (o.a. grondverzet)	Indirect via literatuuronderzoek en blootstellingsmodel asbest in bodem (TNO/RIVM, 2008)

2.2.3 Meetstrategie

Voor een vertaling naar een “conservatief” jaargemiddeld beeld zijn “realistische worst case” meetlocaties geselecteerd. Bij de selectie van de meetlocaties is gezocht naar locaties met (bij voorkeur) variatie in:

- type materiaal: asbestcement en asbestlei,
- type asbest: alleen chrysotiel en chrysotiel + crocidoliet,
- hellingshoek van het dak: <15°, 15-30° en >30°,
- ouderdom: 30-45 en 45-60 jaar,
- verweringsgraad: licht en sterk verweerd,
- toepassing: woning, schuur/loods en stal,
- locatie: bebouwde en landelijke omgeving

Bij de selectie van de locaties is ook rekening gehouden met de volgende aandachtspunten:

- De woning dient op hetzelfde erf en dichtbij de schuur, loods of stal (met AC dak) te staan. Dit is de worst case situatie voor inloop/inwaai van asbest naar de woning;
- Bij voorkeur asbestcementdaken met beperkte mosgroei, omdat mosgroei de uitspoeling van asbest met regenwater hindert en de meting bemoeilijkt;
- Bij voorkeur geen bomen dichtbij het asbestcement dak omdat afgevallen bladeren het regenwater opvangsysteem hinderen;
- Bij voorkeur een aantal locaties zonder dakgoot. Dit is de worst case situatie voor inloop/inwaai van asbest via de afwateringzone naar de woning;
- Bij voorkeur enkele locaties met stalen dakspanten bij loods, schuren en stallen; stalen dakspanten zorgen voor meer wrijving tussen de asbestcement dakplaten vanwege uitzetten en inkrimpen als gevolg van temperatuursveranderingen.

In het onderzoek is uitgegaan van een beperkte steekproef; hierbij is het belangrijk dat er een goed inzicht wordt verkregen van de conditie en verweringsgraad van het AC dak. Om dit te realiseren is een visuele inspectie uitgevoerd in combinatie met kleefmonsters. Deze aanpak maakt het mogelijk om de onderzoeksresultaten te vergelijken met die van de onderzoeken van VITO (Peters et al.,

2013, 2015, 2016a, 2016b), zodat de resultaten in perspectief geplaatst kunnen worden. Dit betekent dat er een beter beeld ontstaat van de representativiteit van de geselecteerde locaties en kan ook de bandbreedte (variatie) in de verweringsnelheid worden aangegeven voor een betrouwbare doorvertaling naar de situatie in heel Nederland.

Van de geselecteerde locaties zijn twee locaties in beide seizoenen (winter en zomer) bemeaten. Er zijn in totaal vijf locaties geselecteerd voor de eerste meetperiode in de zomer/herfst, en vier locaties voor de tweede meetperiode in de herfst/winter. Op de herfst/winterlocaties zijn aanvullende windrichting-aangestuurde (360°) luchtmetingen uitgevoerd. Per seizoen is gedurende 2 tot 3 maanden de uitspoeling via regenwater gemeten. Daarnaast zijn per locatie gedurende 2 weken binnen (in de woning en in de schuur/stal) en gedurende 4 tot 6 weken buiten (in de buurt van de AC daken) luchtmetingen uitgevoerd. De meetduur van meerdere weken is zodanig gekozen dat er voldoende laag kon worden gemeten (bepalingsondergrens <20 vezels/m³). Daarnaast ontstaat hierdoor een meer representatief beeld van het 'discontinue' verweringsproces en de mate van blootstelling aan asbestvezels, omdat wordt aangenomen dat alle gangbare/normale activiteiten van de bewoners in een dergelijke periode worden meegenomen. In Tabel 2 is de meetstrategie samengevat.

Tabel 2: Meetstrategie

Selectie locaties				Veldonderzoek								
Type	Leeftijd & verwerking	Object	Asbest*	Meet sessie	Beoordeling dak		Regen water & slib	Stof	Luchtmetingen			
					visueel	kleef			Buiten	Buiten 360°	Woning	Schuur / stal
Golf-plaat	45-60 jaar sterk	Stal / schuur	1 v/d 3 locaties	2	1	2	2	2	1	1	2	2
		Schuur	CHR +	1	1	2	1	2	1	1	1	1
		Stal	CRO	1	1	2	1	2			1	1
	30-45 jaar licht	Stal / schuur	1 v/d 3 locaties	2	1	2	2	2	1	1	2	2
Stal / schuur		CHR +	1	1	2	2	2	1	-	1	1	
Dak-lei	30-45 jaar sterk	Woning	CHR	1	1	2	1	2	1	-	1	-
	45-60 jaar licht	Woning	CHR	1	1	2	1	2	-	1	1	-
<i>Totaal aantal metingen:</i>				9	7	14	9	14	5	4	9	7

* CHR = chrysotiel, CRO = crocidoliet

2.2.4 Onderzoek verspreidings- en blootstellingsroutes

Het onderzoek richt zich op het in kaart brengen van de verschillende relevante verspreiding- en blootstellingsroutes:

- Blootstelling via uitspoeling van asbestverontreinigd slib van asbestdaken

Het onderzoek heeft zich beperkt tot het in kaart brengen van de mate van uitspoeling van asbesthoudende restanten en -vezels vanuit asbestdaken. Hierbij is het meegevoerde slib afgescheiden van het regenwater door middel van een zeef met een maaswijdte van ca. 200 µm. In Figuur 2 is het wateropvangsysteem zoals is toegepast binnen dit onderzoek schematisch weergegeven. Door zowel het slib als het regenwater apart te analyseren kan zowel het totaal aan uitgespoeld asbest worden bepaald (slib+regenwater), in gram asbest per m² dakoppervlak per jaar en ook het aantal respirabele asbestvezels (regenwater), in vezels per m² dakoppervlak per jaar.

Het aantal asbestvezels is meer bepalend voor het blootstellingsrisico dan de totale massa aan asbest.

Via bovenstaande uitspoelingsgegevens wordt het blootstellingsrisico geschat als gevolg van het asbesthoudend slib in dakgoten (o.a. tijdens het schoonmaken van de dakgoten). Hierbij wordt ook gebruik gemaakt van informatie uit de literatuur met betrekking tot asbestconcentraties in slib (o.a. Tromp, 2007; Peters et al., 2013). Voor een inschatting van de potentiële blootstellingsrisico's wordt het blootstellingsmodel voor asbest in de bodem gebruikt (Swartjes & Tromp, 2008).



Figuur 2: Schematisch weergave van het regenwater opvangsysteem voor (links) een dak zonder dakgoot en (rechts) een **dak** met dakgoot.

- Blootstelling buitenlucht via luchterosie voor bewoners en directe omwonenden

De metingen in de buitenlucht zijn gericht op het in kaart brengen van de blootstelling van bewoners en omwonenden. In de onderzoeksopzet is uitgegaan van enkelvoudige continue metingen gedurende een lange periode van 4 – 6 weken dichtbij het asbestcement dak. De metingen zijn geplaatst op ademhoogte op strategische worst case locaties, rekening houdend met de positie van het asbestcement dak, de dominante windrichting en specifieke kennis over de verspreiding van stoffen vanaf een dakoppervlak. Dit betekent dat alle metingen in de lijwervel van het object zijn geplaatst, waarbij het verdunningseffect zo laag mogelijk is (zie paragraaf 6.1) (Duyzer et al., 2004).

- Inpandige blootstelling, direct en via inlopen/inwaaien

Bij de beoordeling van de inpandige blootstellingsrisico's is onderscheid gemaakt in woningen met asbestdaken (voornamelijk asbestleien daken) en woningen naast schuren, loodsen en stallen met asbestdaken (voornamelijk asbestcement golfplaten). Daarnaast is rekening gehouden met situaties met en zonder dakgoot. In het laatste geval komt het asbest op de onderliggende bodem/verharding terecht, waarbij het asbest via inloop/inwaai in de woning terecht kan komen. Naast deze indirecte blootstellingsroute is ook directe inpandige blootstelling mogelijk in de schuur/loods of stal. Door interne verwerking van het asbestcement onderdak kunnen vezels inpandig vrijkomen en voor een blootstellingsrisico zorgen.

In de onderzoeksopzet is uitgegaan van enkelvoudige continue metingen, gedurende 2 - 4 weken in de woning, de schuur/loods of stal. Naast luchtmetingen zijn in de woning en in de schuur/loods

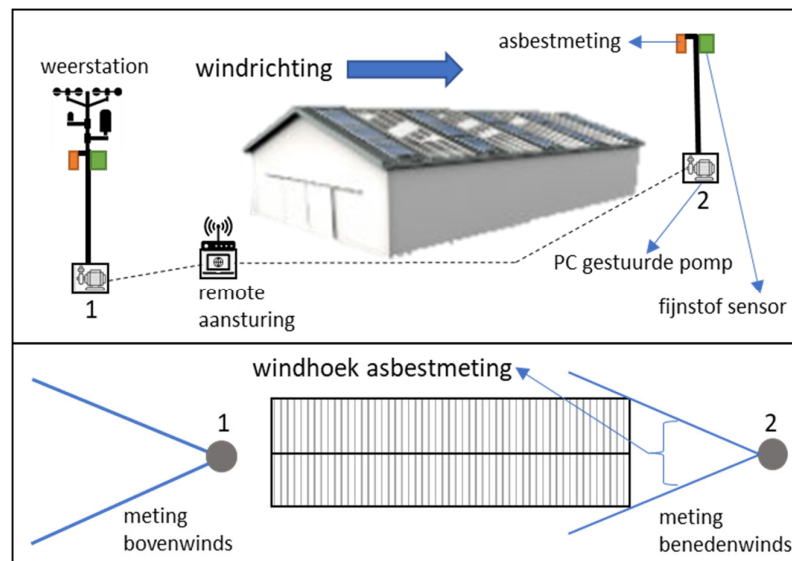
of stal op enkele plekken kleefmonsters van aanwezig stof genomen om een inschatting te kunnen maken van het potentiële blootstellingsrisico als gevolg van het weer in de lucht geraken van gesedimenteerd asbest. Hierbij is een worst-case strategie aangehouden, waarbij plekken zijn bemonsterd waar makkelijk stof sedimenteert en die vrijwel nooit worden schoongemaakt (o.a. op kasten en op draagbalken).

- Blootstelling door depositie van asbest op de bodem

De directe depositie van asbest op de bodem in de afwateringzone als gevolg van uitspoeling van met asbest verontreinigd slib en asbestvezels van asbestcement daken is door veel onderzoeksbureaus reeds goed in kaart gebracht (Oosterwegel, 2014; Wetterauw, 2017; Abesim, 2019; Peters et al., 2015; Peters et al., 2021; ACMAA, 2015). Daarom zijn voor deze blootstellingroute géén aanvullende veldmetingen uitgevoerd. De beschikbare informatie van de genoemde studies in combinatie met het blootstellingsmodel voor asbest in de bodem (Swartjes & Tromp, 2008) worden gebruikt om de potentiële blootstellingsrisico's in kaart te brengen.

- Blootstelling buitenlucht via luchterosie voor de omgeving

Meta emissiegegevens van asbestvezels vanuit asbestdaken kan via modelberekeningen de verspreiding van asbestvezels voor de gehele omgeving in kaart worden gebracht en zo mogelijk ook de bijdrage van de verwerking van asbestdaken op de achtergrondconcentratie in Nederland worden bepaald. De vezelemissie naar lucht wordt bepaald door de verwerkingssnelheid via luchterosie (vezels/m²/jaar) en kan worden afgeleid op basis van windrichting-aangestuurde metingen (360° metingen) bovenwinds en benedenwinds van het asbestcement dak. Aangezien de te verwachte vezelemissie door luchterosie laag is, zijn voor de tweede meetperiode in de onderzoeksopzet van de windrichting-aangestuurde luchtmetingen aan weerszijden van het dak ook 'real time' fijnstof sensoren meegenomen. Op basis van de resultaten van de asbestmetingen en stofsensoren kan het netto effect van het betreffende asbestcement dak op de deeltjes- en vezelconcentratie in de lucht bepaald worden (zie Figuur 3). De sensormetingen geven inzicht in de totale emissie (deeltjes en vezels) via luchterosie en de variatie in de emissie als gevolg van verschillende weerscondities. Hiermee kan, via modelberekeningen, worden nagegaan onder welke meteorologische omstandigheden (vocht, wind, temperatuur, zon) de hoogste vezelemissies zijn te verwachten en wat het potentiële blootstellingsrisico is.



Figuur 3: Schematische weergave van de windrichting aangestuurde meetopstelling met (1) bovenwindse en (2) benedenwindse locatie.

De totale meetperiode van de windrichting-aangestuurde (360°) luchtmetingen was afhankelijk van de windrichting; hoe vaker de wind over het dak waaide in de richting van de benedenwindse meetopstelling, hoe langer de netto meetduur en hoe korter de meetperiode. De meetopstellingen zijn ingericht op basis van de meest dominante windrichting, rekening houdend met de meetperiode en geografische locatie. De windhoek is bepaald op basis van de grootte van het dak en afstand tot het dak. Op basis van de meetresultaten kan, met verspreidingsmodellen een jaargemiddelde concentratie in de omgeving worden afgeleid en kan op basis van gegevens over daken in Nederland (aantallen, oppervlakken, conditie en leeftijd) de hoeveelheid vrijkomende asbest(vezels) vanuit asbestdaken in Nederland worden ingeschat.

3 Literatuuronderzoek

Voor het literatuuronderzoek zijn verschillende bronnen geraadpleegd:

- TNO onderzoeksrapporten;
- systematisch 'review' van gepubliceerde wetenschappelijke publicaties (PubMed, EMBASE, Scopus);
- openbare externe onderzoeksrapporten;
- niet openbare / nog niet gepubliceerde rapporten door actieve benadering van internationale onderzoeksinstituten: VITO (BE), HSE (UK), INRS (FR), DGUV (DE), FIOH (FI), NFA (DK), INAIL (IT), AUVA (AT), STAMI (NO);
- alsmede literatuur aangedragen door de technische begeleidingscommissie van het onderhavige project.

De raadpleging van bovengenoemde bronnen heeft geresulteerd in een lijst van ca. 90 wetenschappelijke artikelen en onderzoeksrapporten (zie Bijlage II). Voor de beoordeling van de informatie uit bovengenoemde bronnen is gebruik gemaakt van een (database)structuur, die is onderverdeeld naar onderwerp/blootstellingsroute:

- Emissie door uitspoeling via regenwater;
- Emissie door luchtersie;
- Blootstellingsmetingen (binnenlucht, buitenlucht);
- Stofmetingen (in pandig);
- Depositie op de bodem;
- Beoordeling verwerking.

Bij de beoordeling is onder andere aandacht besteed aan de volgende punten:

- Geografische locatie (plaats, stedelijk/platteland) en type gebouw: woning, stal/loods, fabriek, etc.;
- Beschrijving asbesthoudende materialen: type (golfplaat, daklei), dikte, verweringsgraad, typen asbest (chrysotiel, crocidoliet), dak/gevel-oppervlak;
- Onderzoeksoepzet: kwalitatief – beschrijvend, kwantitatief – meetdata, kwaliteit van het onderzoek;
- Gebruikte meetmethode(n): beschrijving van metingen (binnen- en buitenlucht, slib, water, stof, bodem) zoals meetduur, meetperiode, monstergrootte;
- Gebruikte analysemethode: opwerkmethode, analysetechniek (FCM, SEM, TEM).

Alle nieuw verkregen informatie is beoordeeld op kwaliteit en vergeleken met eerder onderzoek (o.a. Tromp, 2007) dat ten grondslag heeft gelegen aan het advies van de Gezondheidsraad (Gezondheidsraad, 2010) en de praktische consequentie hiervan (Tempelman et al., 2010). Daarbij is beoordeeld welke nieuwe relevante informatie dient te worden toegevoegd aan de reeds bekende gegevens. Hierbij is rekening gehouden met de kwaliteit van de nieuwe referenties en de omstandigheden waaronder dit onderzoek is uitgevoerd.

3.1 Verweringsprocessen

Door veroudering van de asbestcementplaten zal de interne structuur van het asbestcement worden aangetast. Fysische, chemische en biologische factoren zijn verantwoordelijk voor het verouderingsproces (verwerking, corrosie) van asbestcementproducten in de buitenlucht (Tempelman, 1984).

Fysische effecten

In het materiaal kunnen soms grote temperatuurverschillen voorkomen. Dit kan op verschillende manieren op het materiaal inwerken: het materiaal kan uitzetten en inkrimpen en kristalwater aan de lucht afstaan. Door uitdroging kan de oppervlaktelaag bros worden, waardoor deeltjes tijdens een regenbui kunnen uitspoelen. Daarnaast wordt vooral door bevroering de mate van verwerking versneld. Het aantal malen dat het vriespunt wordt gepasseerd is van grote invloed op de snelheid van het verweringsproces, doordat het in het materiaal opgenomen water hierbij een sprongsgewijze volumevergroting ondergaat. Dit betekent dat er tijdens een vorstperiode spanning op het materiaal komt te staan, waardoor er beschadigingen en scheurtjes in het materiaal ontstaan. Ook door sneeuwdruk kan het dak worden aangetast.

Chemische effecten

Zure depositie (HNO_3 , H_2SO_3 , H_2CO_3) kan de pH in de oppervlaktelaag van het asbestcement verlagen, zodat bepaalde basische componenten uit het cement kunnen oplossen, waardoor het oppervlak wordt verzwakt. Ook chrysotiel zal op den duur in een zuur milieu gaan verwerken door het oplossen van de basische magnesiumhydroxide groepen aan het oppervlak van de vezels. Amfibool asbest daarentegen zal onaantast blijven. Naast zure depositie zal ook de ammoniakuitstoot vanuit de ontlasting van dieren in stallen de pH in het asbestcementoppervlak verlagen en deze op den duur aantasten.

Biologische effecten

Na verloop van tijd zullen in veel gevallen korstmossen op het oppervlak gaan groeien. Deze mossen houden het asbestcementoppervlak vochtig en produceren zuren, waardoor de pH verlaagd wordt, met de eerder genoemde gevolgen. De groei van mossen is vooral groot op naar het noorden gerichte platen, omdat hier minder extreme temperatuurverschillen optreden en de vochtigheid meestal hoog is. Mosgroei komt vooral voor op platen die niet van een coating zijn voorzien.

Samenvattend zorgen chemische en biologische effecten ervoor dat het cement, wat als bindmiddel fungeert, zal uitloggen, waardoor de mechanische sterkte van de dakplaten afneemt en het dak gevoeliger wordt voor beschadigingen en erosie door wind, hagel en temperatuurverschillen. Het dak gaat uiteindelijk lekken en wordt onbruikbaar. Ook kunnen hierdoor asbestvezels vrij komen te liggen en emitteren naar de lucht of met het regenwater uitspoelen naar de bodem. Aan de andere kant kunnen chemische en biologische effecten ervoor zorgen dat de fysisch/chemische structuur van vezels aan het oppervlak zodanig wordt aangetast dat de kenmerkende asbeststructuur verdwijnt; uiteindelijk zullen de vezels volledig oplossen. Dit proces verloopt vermoedelijk langzaam en is alleen voor chrysotiel mogelijk relevant.

3.2 Emissie door luchterosie en uitspoeling via regenwater

3.2.1 Bepaling verweringsnelheid

In vergelijking met de informatie over verweringsnelheden uit het literatuuronderzoek in 2007 (Tromp, 2007) is de laatste 15 jaar vrij weinig nieuwe informatie beschikbaar gekomen. Twee nieuwe studies (Cattaneo et al., 2009; Zhang et al., 2016), met kwantitatieve informatie over verweringsnelheden en emissies, zijn relevant en vormen een goede aanvulling op de reeds bestaande gegevens. In Tabel 3 zijn alle oude gegevens van voor 2000 en de nieuw beschikbaar gekomen informatie met betrekking tot de verweringsnelheid en emissies naar lucht en water nogmaals samengevat.

In het onderzoek van Fischer en Meyer (1983) werd gesteld dat ongecoate platen van 40 jaar een verweringslaag van ca. 0,3 – 0,4 mm vertonen. De gemiddelde verweringsnelheid van ongecoate platen (met een leeftijd tussen de 4 en 36 jaar) werd geschat op ca. 0,024 mm per jaar. Aanvullende

metingen in Berlijn toonden aan dat de verwerking lineair verloopt. Hierbij wordt geschat dat de totale asbestemissie, door uitspoeling met regenwater en via emissie naar de lucht, maximaal 3 gram/m²/jaar is (Fischer & Meyer, 1983). Dit is in goede overeenstemming met een vergelijkbare studie van Bornemann & Hildebrand (1986), waarin voor sterk verweerde ongecoate platen een verweringsnelheid van ca. 0,01 mm per jaar werd geschat met een totale emissie van 3 gram/m²/jaar. Uit de metingen van Meyer (1986) in hetzelfde jaar bleek dat de emissie via het regenwater, bij kunstmatige beregening, vele malen hoger was dan de emissie via lucht: de emissie is geschat op ca. 2×10^7 vezels per liter regenwater. Met behulp van luchtersie simulatie-experimenten is door Meyer een gemiddelde emissiefactor naar lucht berekend van $0,1 - 5 \times 10^6$ vezels/m²/uur, wat overeenkwam met ca. 0,01 gram/m²/jaar. Na een vorstperiode werd de hoogste vezelemisatie gemeten en er bleek een duidelijk verschil tussen gecoate en ongecoate platen. Uit het experiment bleek echter ook dat bij de platen met de grootste mate van verwerking zowel de laagste als hoogste waarden werden gemeten, wat duidt op een grillig emissiepatroon of een verkeerde proefopzet.

Spurny (1989) heeft tevens een serie simulatie-luchtmetingen uitgevoerd met verschillende typen asbestcementplaten van 3 – 60 jaar oud. Hierbij waren verschillen te zien tussen ongecoate en gecoate platen, en bleek dat de vezelemisatie afhankelijk is van de leeftijd van de plaat. Daarnaast bleek ook dat de weersomstandigheden een groot effect hebben op de vezelemisatie. De asbestemissie naar de lucht was ca. $10^6 - 10^8$ vezels/m²/uur, wat overeenkomt met een gemiddelde van 0,7 gram/m²/jaar. De emissie naar de lucht bleek hierbij ca. 20-25% van de totale emissie te zijn. Uit dezelfde metingen bleek dat de verweringsdiepte van ongecoate platen in de loop van ca. 18 jaar ongeveer 0,16 mm bedroeg, wat overeenkwam met een verweringsnelheid van 0,009 mm per jaar. Verder bleekt uit deze metingen dat de verweringsnelheid pas echt toeneemt bij platen ouder dan ca. 20 jaar. Bij oorspronkelijk gecoate platen was de verweringsnelheid lager maar nog wel zichtbaar. Bij dergelijke platen van 20 jaar oud lag de verweringsdiepte onder de 0,05 mm. Bij doorrekening van de gepubliceerde verweringsnelheden en verweringsdiepten bleek dat dit overeenkwam met een totale emissie van 0,5 – 4 gram/m²/jaar. In dezelfde studie van Spurny (1989) bleek dat oorspronkelijk gecoate platen weliswaar in het begin een iets lagere vezelemisatie hadden, maar in de loop van de tijd (ca. 3-5 jaar) verweerde de coating en nam de vezelemisatie alsnog toe. Vooral de meest gangbare zwarte coating verweerde snel.

Door Brown en Angelopoulos (1991) werd bij vergelijkbare luchtersietesten als Spurny (1989) en Meyer (1986) helemaal géén vezelemisatie geconstateerd. Dit duidt erop dat de verkregen resultaten een behoorlijke onzekerheidsmarge hebben. In dezelfde studie is ook een borsteltest ontwikkeld voor de beoordeling van de verweringsgraad van asbestcement plaatmateriaal (Brown & Angelopoulos, 1991). Met deze methodiek is een serie metingen uitgevoerd met verschillende typen verweerd asbestcement plaatmateriaal. De metingen zijn uitgevoerd bij droog en zonnig weer en met compleet droog asbestcement plaatmateriaal, dat zich bevond aan de Noord- of West-zijde (normaal gesproken de meest verweerde zijden). Gemeten asbestvezelmissies varieerden van $0,1 - 270 \cdot 10^6$ vezels/m²/uur. Het vrijmaken van vezels via de borstelmethode verschilt van het proces van uitloging van vezels via het regenwater, waardoor wordt aangenomen dat met deze methode een meer compleet beeld worden verkregen van de totale vezelemisatie. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat met deze methode alleen de emissie van vezels wordt beoordeeld; vezelbundels en conglomeraten (samengeklitte vezelbundels en matrixdeeltjes (bijv. cement)) worden niet meegenomen in de beoordeling. Ook deze studie liet een duidelijke verhoging van de vezelemisatie met veroudering van de platen zien. Daarnaast was er een duidelijke correlatie te zien tussen de visuele beoordeling van de verwerking en de daadwerkelijke vezelemisatie.

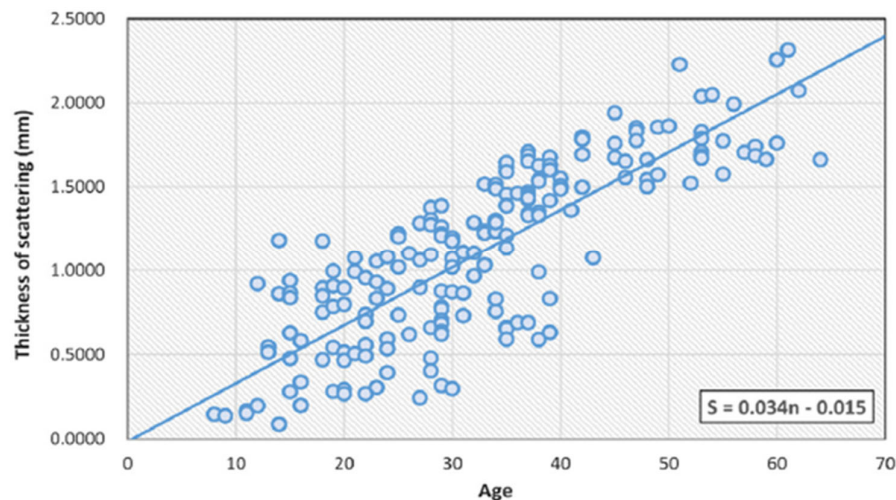
In een latere studie van Brown (1989), waarbij de dikte van asbestcementplaten over de jaren is gemonitord, bleek de verweringsnelheid te variëren tussen de 0,005 – 0,018 mm/jaar. Bij doorrekening van deze data komt dit overeenkomt met een totale emissie van 1 – 3,5 gram/m²/jaar. In hetzelfde onderzoek werd geconstateerd dat 25-27 jaar oude asbestcementplaten hun statische sterkte behielden. Verwerking tast blijkbaar niet zodanig de interne met vezels versterkte structuur aan dat de integriteit van het materiaal verloren gaat. Uit dezelfde studie kwam wel naar voren dat wanneer het vochtgehalte in de platen toeneemt, de conditie van het materiaal sneller achteruit gaat. Asbestcement is een intrinsiek bros materiaal en is daardoor ontvankelijk voor barsten en scheurvorming.

Tabel 3: Overzicht van studies naar de verweringsnelheid van asbestcement daken en de resulterende emissies als gevolg van uitspoeling via regenwater en luchtrosie

Studie	Beschrijving AC	Locatie	Meettechniek	Analyse techniek	Verwerking snelheid (mm/jaar)	Totale emissie (gr/m ² /j)	Emissie naar lucht (10 ⁶ v/m ² /uur)
Fischer & Meyer (1983)	ongecoat, 4 - 36 jaar	West-Duitsland	meting afname dikte AC platen	-	0,024	max 3	-
Meyer (1986)	ongecoat, 30 jaar	West-Duitsland	simulatie met ventilator (1 - 5 m/s)	SEM-EDX	-	0,01 (lucht)	0,1 - 5
Bornemann & Hildebrand (1986)	oude sterk verweerde ongecoate platen	West-Duitsland	meting afname dikte AC platen	-	0,01	3	-
Spurny (1989)	ongecoat, 3 - 60 jaar	West-Duitsland	simulatie in gesloten systeem met ventilator (1 - 5 m/s)	SEM-EDX	-	0,7 (lucht)	15 (0,1-225)
	ongecoat, > 20 jaar				-	-	21 (0,1-225)
	ongecoat, 10-20 jaar				-	-	7 (0,1 - 55)
	ongecoat, <10 jaar				-	-	4 (0,1 - 21)
	zwart gecoat kwalitatieve coating				-	-	14 (0,1-158)
	ongecoat, ca. 18 jaar		meting afname dikte AC platen	-	0,009	~2	-
	gecoat, ca. 20 jaar				0,0025	~0,5	-
	ongecoat, > 20 jaar				0,024	~4	-
Brown & Angelopoulos (1991)	AC golfplaten	Australië	simulatie met ventilator (1 - 5 m/s)	FCM	-	-	< 1
	ernstig verweerde AC daken 40 - 48 jaar		simulatie met zachte borstel		-	-	29 - 270
	matig verweerde AC gevels 40 - 48 jaar				-	-	8 - 46
	licht verweerde AC daken 8 - 15 jaar				-	-	< 1 - 6
Brown (1998)	golfplaten ca. 25 jaar daklei ca. 79 jaar	Australië	meting afname dikte AC platen	-	0,011-0,018 0,005	~2 - 3,5 ~1	- -
Cattaneo et al. (2009)	golfplaten dak	Italië	opvangen regenwater tellen vezels D>2µm, omrekening naar massa	FCM	-	0,7 ± 0,8 (AM±SD)	-
Zhang et al. (2016)	golfplaten 15 - 65 jaar	Zuid-Korea	op basis van 193 gebouwen met AC platen	-	0,034±0,002 (0,01 - 0,08)	5,7	-

Door Cattaneo (2009) is een sedimentatiemethode ontwikkeld en gevalideerd waarmee de uitspoeling van asbestvezelbundels vanuit het asbestcement dakoppervlak kan worden gemeten. De methode bestaat uit sedimentatiebakjes die onderaan de dakrand hangen, waarop objectglasjes worden gemonteerd met een kleverige substantie (85% stearyl alcohol, 15% octyldodecaan). Na een sampling tijd van ca. 25-30 dagen worden de gesedimenteerde vezelbundels (met diameter $> 2\mu\text{m}$) op het objectglasje geteld en omgerekend naar een massaconcentratie in $\text{gr}/\text{m}^2/\text{jaar}$. Het is onduidelijk hoeveel asbestcement daken er in deze studie zijn bemeten, maar de gemiddelde vezelbundel emissie was $0,7 \pm 0,8$ (SD) $\text{gr}/\text{m}^2/\text{jaar}$. In vergelijking met de overige emissiefactoren in Tabel 3 is deze emissiefactor aan de lage kant. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat met deze methode vezelbundels met een diameter $< 2\mu\text{m}$ niet worden meegenomen. In dezelfde studie is ook gekeken naar het effect van wind op de emissie; hierbij werd geconstateerd dat windvlagen met snelheden van boven de 10 m/s zorgen voor een verhoogde emissie van asbestvezelbundels.

In 2014 en 2016 is in Zuid Korea een uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar de verwerking van asbestcement golfplaten (Zhang et al., 2014; Zhang et al., 2016). Hierbij zijn van 193 gebouwen met hetzelfde type asbestcement golfplaten met variërende leeftijd tussen de 15 en 65 jaar de dikte van het plaatmateriaal gemeten. Op basis van een regressie-analyse (SPSS 2.0) is de verweringsnelheid, in mm, berekend op $-0,015 + 0,034 \times n$ (n = leeftijd asbestcement) (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**), wat neerkomt op een emissie, in $\text{gram}/\text{m}^2/\text{jaar}$, van $-2,5 + 5,67 \times n$.



Figuur 4: De afname in dikte van asbestcement dakplaten met de leeftijd van de asbestdaken (Zhang et al., 2016).

De berekende emissiefactor van $5,7 \text{ gr}/\text{m}^2/\text{jaar}$ ligt hoger dan de overige emissiefactoren in Tabel 3. Dit kan het gevolg zijn vele factoren, waaronder het gebruik van een ander type cement, andere coating, andere weersomstandigheden, meer luchtverontreiniging (o.a. zure regen), etc.. Daarnaast wordt in de regressie-analyse uitgegaan van een lineair verband. Gezien de meetpunten zoals weergegeven in Figuur 4 zou met een logaritmisch verband wellicht een betere presentatie worden gegeven van het verweringsproces, waarbij voor oudere asbestcement platen de verweringsnelheid iets lager zou liggen dan voor nieuwere asbestcement platen. Dit zou in lijn zijn met de bevindingen van VITO (Peters et al., 2013) (zie ook paragraaf 3.5).

3.2.2 Uitspoeling via regenwater

Er zijn een aantal onderzoeken uitgevoerd naar uitspoeling van asbest via regenwater, waarbij o.a. slibmonsters vanuit dakgoten zijn bemonsterd en regenwater vanaf AC daken is opgevangen en onderzocht (Meyer, 1986; Tromp, 2007; Kim et al., 2010; Peters et al., 2013; Jang et al., 2013; Peters et al., 2015; Jeong et al., 2015; Ervik et al., 2021). De meeste van de onderzoeken zijn vrij recent en staan niet beschreven in het literatuuroverzicht uit 2007 (Tromp, 2007). Echter, in géén van de studies is een vertaalslag gemaakt naar de verweringsnelheid via uitspoeling, in hoeveelheid asbest per m² dakoppervlak per jaar. In Tabel 4 is een overzicht gegeven van de studies waarin de concentratie aan asbest(vezels) in slib en regenwater is bepaald.

Tabel 4: Overzicht van studies naar de concentratie aan asbest(vezels) in slib en water als gevolg van uitspoeling van asbestcement daken via regenwater

Studie	Locaties	Toepassing	Verwerking	Beschrijving slib/water meting	Beschrijving slib/water analyse	Concentratie in slib en water
Meyer (1986)	West Duitsland	gebouwen met ongecoate AC dakplaten meer dan 30 jaar oud	niet bekend	kunstmatige beregening AC dakbeplating en opvangen regenwater	SEM-EDX	2 x 10 ⁶ vezels/L (vezels >5µm)
Tromp (2007)	8 locaties in Nederland (diverse projecten in de periode 1994 - 2002)	AC golfplaten en daklei op woningen, fabrieken, koeltoren en veilinghal	matig - ernstig verweerd	45 slibmonsters uit dakgoten en 6 monsters regenwater	verassen 430°C, gew% schatting, hersuspensie, deelmonster Nuclepore, analyse met SEM-EDX	<u>slib</u> : 4x 0,1 - 2%, 22x 1 - 5%, 13x 5 - 10%, 1x 8 x 10 ⁷ v/gram; <u>water</u> : 0,3 x 10 ⁶ vezels/L
Kim et al. (2010)	6 locaties in Zuid Korea	6 huizen met AC dakbedekking, per bouwjaar (jaren '60, '70 en '80) 2 huizen	niet bekend	opvangen regenwater (3,5L) via dakgoot in drie perioden	filtratie MCE filter, verassen, HCL digestie hersuspensie, deelmonster MCE, analyse FCM en SEM-EDX (voor bevestiging)	'60 (n=6): GM 31.200, range 10.400-55.600 v/L; '70 (n=6): GM 16.900, range 5.200-38.100 v/L; '80 (n=6): GM 7.150, range 2.730-24.800 v/L
Peters et al., (2013)	4 locaties in Vlaanderen	AC golfplaat en daklei	verweerd-ernstig verweerd	opvang vanuit goot, slib in sedimentatie container, water via overloop in grote container, na iedere regenbui sampling 2L water, na 3 maanden slib sampling	<u>water</u> : 5mL Nuclepore of 50L Buchnerfilter, verassing, hersuspensie, deelmonster Nuclepore, analyse SEM-EDX	<u>slib dakgoot</u> : 3000 (gem), 295 (mediaan), 3,6 – 17.000 (min-max) mg/kg <u>slibfractie water</u> : 74 en 12 mg/kg (golfplaat), 52 en 630 mg/kg (daklei); <u>waterfractie</u> : < 20.800 v/L (n=4)
Jang et al. (2013)	20 locaties in Zuid Korea	20 boerderijen met asbestleien daken,	niet bekend	per boerderij op regenachtige dag 4x een	filtratie MCE filter, verassen, HCL digestie	<u>totaal (n=75)</u> : GM 1753, GSD 858,

Studie	Locaties	Toepassing	Verwerking	Beschrijving slib/water meting	Beschrijving slib/water analyse	Concentratie in slib en water
		constructiejaar 1972-1992		watermonster van het dak (75 samples)	hersuspensie, deelmonster MCE, analyse FCM	AM 1562, range 500-4615 v/L/m ² <1979 (n=23): GM 2089, GSD 971, AM 1881, range 723-4615 v/L/m ² 1980-1985 (n=31): 1630, GSD 823, AM 1454, range 615-3879 v/L/m ² >1986 (n=21): GM 1566, GSD 695, AM 1416, range 500-3333 v/L/m ²
Peters et al. (2015)	2 locaties in Vlaanderen	AC golfplaat en daklei	niet bekend	2 locaties, per locatie 2 schepmonsters (500mL) uit waterput: 1x bovenlaag en 1x na oproeren sediment	bovenlaag: 25mL en 300mL (na indampen) op Nuclepore filter; na oproeren: 10mL (na verassen) op Nuclepore filter en 20mL (na indampen) op tape, analyse SEM-EDX	bovenlaag: 4x < 20.000 v/L en 1x < 1700 v/L; na oproeren: 21.000, 1.500.000, 730.000 en <58.000 v/L slibfractie: 2x +/- (chrysotiel), 2x +/- (chrysotiel) en + (crocidoliet)
Jeong et al. (2015)	2 locaties in Zuid Korea	AC golfplaten (10-15% chrysotiel): een fabriek (1987) en woning (<1983)	matig (fabriek) en ernstig (woonhuis) verweerd	in drie perioden (bij 8, 100 en 16,5 mm neerslag per dag) via trechter opvangen in emmer, na mengen 1L	filtratie MCE filter, verassen, HCL digestie, hersuspensie, deelmonster MCE, analyse FCM	periode 1 (8mm), 2 (100mm) en 3 (16,5mm): fabriek: 10580, 3530, 5290 v/L; woonhuis: 8820, 1760, 5290 v/L
Ervik et al. (2021)	7 locaties in Noorwegen	>50 jaar oude AC golfplaat met chrysotiel	ernstig verweerd	simulatie regen door gieten 0,5L water aan de nok en opvangen onder dakrand	ca. 1 mL op Isopore (0.8µm) filter, platina coating, analyse met SEM-EDX	veel asbest en vezels aangetroffen, geen concentratie berekend

In de studie van Meyer (1986) is de hoogste concentratie aan asbestvezels in regenwater gemeten (2×10^6 vezels/L). In de recentere onderzoeken ligt de asbestvezelconcentratie in regenwater lager en varieert van ca. 2.000 tot $1,5 \times 10^6$ vezels/L. Bij de beoordeling van de resultaten moet wel rekening worden gehouden met de toegepaste analysetechnieken; de resolutie van fase-contrast microscopie (FCM) ligt lager dan voor scanning electronen microscopie (SEM-EDX), waardoor bij analyse met FCM dunne vezels niet zichtbaar zullen zijn en de asbestvezelconcentratie wordt onderschat. Vooral de Koreaans studies hebben gebruik gemaakt van deze FCM techniek (Kim et al., 2010; Jang et al., 2013; Jeong et al., 2015). TNO en VITO hebben gebruik gemaakt van SEM-EDX waarbij hogere concentraties zijn gemeten (Tromp, 2007; Peters et al., 2015).

In dakgoten onder asbestcement dakplaten wordt vrijwel altijd een hoog gehalte aan asbest in het slib aangetroffen. Het betreft een combinatie van schilfers asbestcement en conglomeraten (samengeklitte vezelbundels en matrixdeeltjes), vezelbundels en vezels. Op basis van de resultaten van het onderzoek van TNO bleek dat het percentage aan asbest in het slib afkomstig van dakgoten afhankelijk was van de verweringsgraad van de asbestcement dakplaten; dit percentage varieerde van 0,1 tot 10 gewichtsprocent met een gemiddeld asbestpercentage van ca. 3% (Tromp, 2007).

Door VITO is in 2013 ook onderzoek uitgevoerd naar de asbestconcentratie in het slib in dakgoten (Peters et al., 2013). Hierbij zijn concentraties tussen de 4 en 17.000 mg/kg aangetroffen, met een gemiddelde van 3000 mg/kg (0,3%). De grote variatie werd deels veroorzaakt door het verschil in verweringsgraad van de asbestcementdaken (zie Tabel 13, paragraaf 3.5), maar werd ook beïnvloed door de staat van de dakgoten, weers- en seizoensinvloeden, en schoonmaakregime.

3.3 Blootstelling- en omgevingsmetingen

Er zijn veel onderzoeken uitgevoerd naar asbestconcentraties in de binnenlucht van gebouwen met asbestcement daken (o.a. woningen, boerderijen, loodsen) en in de buitenlucht in de directe omgeving van deze gebouwen. In Tabel 5 is een overzicht gegeven van de gemeten asbestconcentraties in binnen- en buitenlucht als onderdeel van in totaal 26 studies uitgevoerd in de periode tussen 1979 en 2021. Naast de resultaten is contextuele informatie zoals locatie, toepassing en verweringsgraad van de asbestcement daken beschreven, en zijn in het kort de monsterneming- en analysemethoden toegelicht.

Tabel 5: Overzicht van studies naar de concentratie aan asbestvezels in de binnen- en buitenlucht van en nabij gebouwen met asbestcement dak- en gevelbekleding.

Studie	Locaties	Toepassing	Verwerking	Beschrijving luchtmeting	Beschrijving analyse	Concentratie binnen (v/m ³)	Concentratie buiten (v/m ³)
Spurny (1979)	West Duitsland	AC golfplaten 70 jaar oud	niet bekend	buitenlucht, op 0,5 mtr en 100 mtr afstand van AC dak	indirecte methode, SEM-EDX	-	300 (0,5mtr) en 35 (100mtr)
Meyer (1986)	West Duitsland	ongecoate AC golfplaten, meer dan 30 jaar oud	niet bekend	buitenlucht, op minder dan 5 mtr van AC daken en simulatie met behulp van een ventilator (luchtstroom langs oppervlak 1 - 5 m/s)	onbekend	-	<u>buitenlucht:</u> 60 <u>simulatie ongeoate platen:</u> 100 - 1000 <u>simulatie na lange vorstperiode:</u> 1600 – 3400 <u>simulatie gecoate platen:</u> 400
Spurny (1988)	West Duitsland	verweerde AC golfplaten	niet bekend	buitenlucht bij gebouwen tussen 1983-1985	SEM-EDX	-	AM 750 , range 200 - 1200; 63% < 500, 37% >500, 12% >1000
Tromp et al. (1996)	1 locatie in Nederland	AC golfplaten (10-15% chrysotiel, 2-5% crocidoliet), ca. 25 jaar oud	licht verweerd	2 experimenten binnen in schuur (15 m ²) met geforceerde ventilatie richting onderkant dak	SEM-EDX	< 500 en <240	-

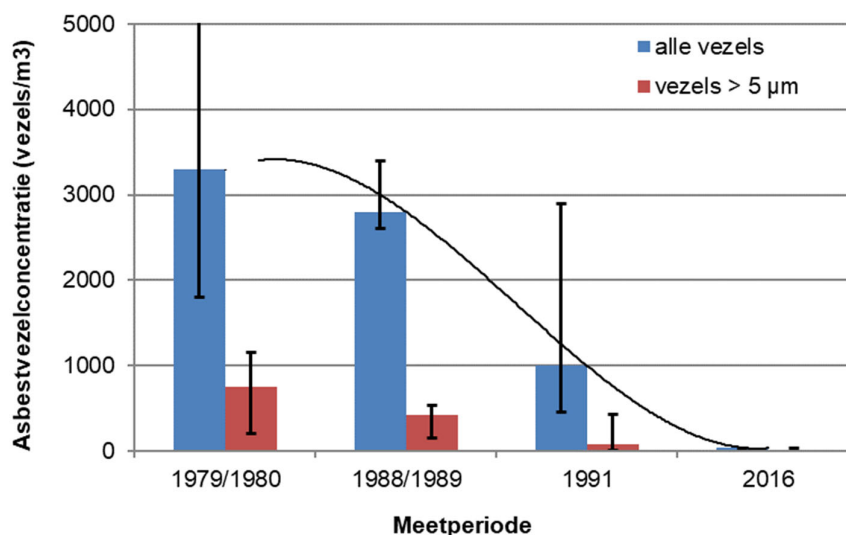
Studie	Locaties	Toepassing	Verwerking	Beschrijving luchtmeting	Beschrijving analyse	Concentratie binnen (v/m ³)	Concentratie buiten (v/m ³)
Brown (1998)	West Duitsland	AC dakplaten	niet bekend	buitenlucht, uitgevoerd door Teichert in 1983 (1 gebouw) en 1986 (51 metingen, 4 gebouwen) op 10 cm boven AC daken, direct naast AC daken en in de omgeving van AC daken	SEM-EDX	-	<u>één oud verweerd dak (1983):</u> 300 - 400 (10cm boven AC dak) en <150 (100-500mtr benedenwinds) <u>4 AC daken > 15 jaar (1986):</u> AM 100, range < 150 - 400 (10cm boven AC dak), range < 150 - 100 (naast AC dak) en < 150 (omgeving AC dak)
Arzoni & Tempelman (2000)	4 locaties in Overijssel	AC golfplaten op (kap) schuren met deels ook asbestpulp op vloeren	matig verweerd	metingen in kapschuren, op het erf ernaast en in de woning (inlooproute), 4 uur bij 8 L/min	SEM-EDX	<u>(kap)schuren:</u> < 250 (n=4) <u>woningen:</u> 3x < 250, 1x 80	< 250 (n=4)
Heierli & Weber (2005)	3 locaties in Zwitserland	woonhuis (1970) en chalet (1967) met asbestleien dak, groot gebouw (1981) met AC golfplaat	ernstig verweerd	herhaalde metingen, periode mei-september 2004: 10cm boven dak, benedenwinds en onder dak, 8 uur bij 8 L/min	SEM-EDX (VDI 3492)	< 100 (per gebouw 4-5 metingen)	< 100 (per gebouw 4-5 metingen)
Tromp (1994, 2007)	10 locaties in woonwijk in Nijmegen	AC dak/gevellei op woningen zonder dakgoot met inloop via afwateringzone	sterk verweerd	22 metingen in woningen voor en na sanering en 5 metingen buiten in de woonwijk; 4 - 8 uur bij 8L/min	SEM-EDX	<u>voor sanering:</u> AM 3500, GM 780, range 80 - 27000 (n=10) <u>na sanering:</u> < 300 (n=12)	<u>voor sanering:</u> <300 (n=2), 100 (n=1) <u>na sanering:</u> < 300 (n=2)
Tromp (2007)	12 locaties in woonwijk in Huizen	AC dak/gevellei op woningen met dakgoot, inlooproute	matig verweerd	12 metingen in woningen 2 metingen buiten in de woonwijk; 4 - 8 uur bij 8L/min	SEM-EDX	< 300 (n = 11), 100 (n=1)	< 300 (n=2)
Tromp (2007)	4 locaties in woonwijk in Lelystad	AC golfplaten dak- en gevelbekleding op woningen met dakgoot, inloop & inwaai route	sterk verweerd	4 metingen in woningen en 6 metingen buiten in woonwijk; 4 - 8 uur bij 8L/min	SEM-EDX	AM 350, GM 200, range <300 - 990 (n=4), hoogste concentratie in benedenwoning via inloop	< 300 (n=6)
Tromp (1998, 2002, 2007)	3 locaties in Nederland en 1 locatie op Aruba (4 studies)	AC golfplaten daken: steenfabriek, koeltoren, veilinghal en kazerne	matig - sterk verweerd	17 metingen binnen in gebouwen met AC en 23 metingen buiten in de buurt; 4 - 8 uur bij 8L/min	SEM-EDX	< 300 (n=17)	< 300 (n=23)

Studie	Locaties	Toepassing	Verwerking	Beschrijving luchtmeting	Beschrijving analyse	Concentratie binnen (v/m ³)	Concentratie buiten (v/m ³)
ASCC (2008)	diverse locaties in Australië en West Duitsland	AC dakplaten van verschillende ouderdom	niet bekend	buitenlucht, nabij AC daken	onbekend	-	<u>Felbermayer & Ussar (1980):</u> AM 100, range <LOD - 400 (AC 30 jaar) <u>Bornemann & Hildebrandt(1986):</u> 100 – 400 (AC 50 jaar) <u>Brown (2000):</u> AM 200 <u>Clark:</u> < 200 (AC ≤ 25 jaar)
Gualtieri et al. (2009)	9 locaties in Italië, waarvan 4 locaties met AC daken	AC daken: 2 fabrieken (50.000 / 300.000 m ²), 1 bowling hal (600 m ²) en 1 warehouse (800m ²)	niet bekend	buitenlucht, naast dakrand op 50 mtr afstand, 1m ³ /min gedurende 1 week (3 MCE filters van 48 uur)	indirecte methode, SEM-EDX / TEM-EDX	-	<u>keramische fabrieken:</u> 12,5 en 6,6 <u>bowling hal:</u> <LOD <u>warehouse:</u> <LOD, 4,4 en 4,6
Campopiano et al. (2009)	20 locaties in Italië	AC dakplaten: 5 boerderijen, 2 werkplaatsen, 7 industriële gebouwen, 4 loodsen, 2 openbare gebouwen	matig - ernstig verweerd	2-4 buitenmetingen op 3-4 mtr afstand van gebouwen, bij droog weer met weinig wind; max 5 uur met 10 L/min	SEM-EDX	-	<u>boerderij, loods, werkplaats:</u> 400 (0,1 - 1000) <u>leegstaande industriële loodsen:</u> 600 (200-1400) <u>openbare gebouwen:</u> <400 (52% <LOD, 48% > 1000)
Krakowiak et al. (2009)	62 locaties in Polen	62 woningen en openbare gebouwen met AC dak- en gevelbekleding	niet bekend	100 metingen buiten op droge dagen in voorjaar en najaar, metingen op 3 posities: directe omgeving van AC dak/gevelplaten, afstand van 100-500 mtr en achtergrond; 4-5 uur bij 8-9 L/min	FCM	-	<u>naast gebouwen (n=41):</u> AM 1800, range <1000-9000 (27 locaties, 41 metingen) <u>100-500mtr van gebouwen:</u> AM <1000, range <1000-1000 (24 locaties, 42 metingen) <u>achtergrond:</u> AM <1000, range <1000-1000 (11 locaties, 17 metingen)
Pastuszka (2009)	25 locaties in Polen	25 gebouwen met AC daken en 20 referentie gebouwen zonder AC	niet bekend	45 metingen binnen in gebouwen met en zonder AC op grote afstand van drukke wegen gedurende 24	Laser Fiber Monitor FM-7400 en steekproef FCM ter controle	<u>gebouwen met AC:</u> AM 850, range 300-1800 (n=25) <u>gebouwen geen AC:</u> AM 280, range <70-700 (n=20)	<u>gebouw 1:</u> 600 (LFM), 690 (FCM) <u>gebouw 2:</u> 800 (LFM), 920 (FCM)

Studie	Locaties	Toepassing	Verwerking	Beschrijving luchtmeting	Beschrijving analyse	Concentratie binnen (v/m ³)	Concentratie buiten (v/m ³)
				uur en 2 metingen buiten naast gebouwen met AC		FCM controle: AM 2000, range 960-3200 (n=3)	
Jang et al. (2013)	20 locaties in Zuid Korea	20 boerderijen met asbestleien daken, constructiejaar 1972-1992, oppervlakte dak 11-449 m ² , lengte dak 1,65-5,70 m	niet bekend	3 metingen buiten per boerderij (60 metingen), bij droog weer, 1mtr benedenwinds van het dak, 6 uur bij 2 L/min	FCM	-	GM 110, GSD 45, AM 1780, range ND-8470 (geen relatie met ouderdom, windsnelheid, neerslag, wel relatie met dakoppervlak)
Jeong et al. (2013)	10 locaties Zuid Korea	AC golfplaten (10-15% chr): 6x bouwjaar 1968-1985, 4x bouwjaar <1970 en 2x gebouw zonder AC	niet bekend	metingen binnen en buiten op 12 locaties, 2-4 uur bij 10L/min	FCM	bouwjaar 1968-1985: AM 2200, range 1600-3100 (n=6) bouwjaar <1970: AM 4600, range 3200-6700 (n=4) referentie: AM 1500, range 1400-1600 (n=2)	bouwjaar 1968-1985 (n=6): AM 1600, range 800-2700 bouwjaar <1970 (n=4): AM 1300, range 1100-1600 referentie (n=2): AM 1200, range 800-1600
Peters et al. (2013)	26 locaties in Vlaanderen	8x AC golfplaat met dakgoot, 4x AC golfplaat zonder goot, 9x gecoat daklei met goot, 1x gecoat daklei zonder goot, 4x gecoat gevellei	8x zeer hoog, 11x hoog, 7x laag	metingen buiten in 3-voud op 2 locaties op het dak (benedenwindse zijde), ca 8 uur met 8 L/min, droog weer en zwakke wind.	SEM-EDX	-	< 150 (2 locaties in triplo)
Peters et al. (2015)	13 locaties in Vlaanderen	9x AC golfplaat, 3x daklei en 1x asbesthoudend onderdak	niet bekend	2-4 metingen binnen per locatie in afgesloten ruimte met geringe activiteit (1x waaier), 2 - 24 uur met 8 L/min (4x inwaai via dakvenster, 4x inloop via afdruiptzone, 4x interne verwerking)	SEM-EDX	inwaai: <40 - <90 (n=3), <300 en 100 (n=1) inloop: <90 (n=4); interne verwerking: < 90 - <300 (n=3), 100 en <300 (n=1)	-
Peters et al. (2016b)	8 locaties in Vlaanderen	8x AC golfplaat, 5x metalen en 3x houten draagstructuur; 1x ventilatie/verwarming	verweerd	meting binnen op 3 locaties, op 1 locatie sanerings-activiteiten en op 2 locaties geringe activiteit	SEM-EDX	sanerings-activiteit: 340 en <150 geringe activiteit: < 300	-

Studie	Locaties	Toepassing	Verwerking	Beschrijving luchtmeting	Beschrijving analyse	Concentratie binnen (v/m ³)	Concentratie buiten (v/m ³)
Jeong et al. (2015)	2 locaties in Zuid Korea	2x AC golfplaten (10-15% chrysotiel): een fabriek (1987) en een woonhuis (<1983)	matig (fabriek) en ernstig (woonhuis) verweerd	per locatie 3 metingen buiten benedenwinds op 1mtr afstand van dak: 1x droog weer (2wk), 1x na regen en 1x 48 uur na regen, 4 uur bij 10 L/min	FCM en SEM-EDX (ISO14966)	-	fabriek (FCM/SEM): 1600/600 (droog), <LOD (regen), 1800/<LOD (48h na regen); woonhuis (FCM/SEM): 200/300 (droog), <LOD (regen), 1200/<LOD (48h na regen)
Ervik et al. (2021)	1 locatie in Noorwegen	AC golfplaat met chrysotiel, meer dan 50 jaar oud	ernstig verweerd	1 meting buiten naast de dakrand (m.b.v. steiger), ca. 7 uur bij 2 L/min	SEM-EDX	-	< 1200

Bij de interpretatie van de luchtmetingen moet rekening worden gehouden met de meetperiode in relatie tot de heersende achtergrondconcentratie aan asbestvezels in de lucht. In Europa zijn in de jaren '80 en '90 diverse asbestverboden van kracht geworden. Dit betekent dat voor deze tijd er nog allerlei activiteiten plaatsvonden met asbest waarbij asbestvezels in de lucht vrijkwamen, wat ervoor heeft gezorgd dat achtergrondconcentraties in die tijd relatief hoog waren. Vooral het verbod op het gebruik van asbesthoudende remvoeringen en het sluiten van de asbest-verwerkende industrie heeft in Nederland geleid tot een aanzienlijke reductie van de asbestvezelconcentratie in de buitenlucht tot het huidige niveau van ca. 35 (<30 – 81) vezels/m³ voor het totaal aan vezels en ca. 6 (<30 – 30) vezels/m³ voor vezels langer dan 5 µm (zie Figuur 5) (Tromp, 2016).



Figuur 5: De asbestvezelconcentratie in de buitenlucht, gemeten in Nederland in verschillende meetperiodes (Tromp, 2016)

Bovenstaande betekent dat bij de meetresultaten van Spurny (1979, 1988), Teichert (1983, 1986, zie Brown, 1998), Meyer (1986) en de meetresultaten zoals vermeld in het rapport van de Australian Safety and Compensation Council (ASSC, 2008) de gemeten asbestvezelconcentraties deels het

gevolg kunnen zijn geweest van een verhoogde achtergrondconcentratie. Voor de metingen in Polen (Krakowiak et al., 2009; Pastuszka, 2009), Italië (Gualtieri et al., 2009; Campopiano et al., 2009) en Zuid Korea (Jang et al., 2013; Jeong et al., 2013; Jeong et al., 2015) is dit voornamelijk onduidelijk. Naast de meetperiode is ook de meettechniek een belangrijke factor bij de interpretatie van de gepubliceerde meetgegevens. In een aantal studies zijn de metingen uitgevoerd met FCM (Jang et al., 2013; Jeong et al., 2013; Krakowiak et al., 2009; Pastuszka, 2009). Met deze lichtmicroscopische techniek wordt geen onderscheid gemaakt in asbestvezels en overige vezels, wat betekent dat de asbestvezelconcentratie wordt overschat. Dit is duidelijk zichtbaar in de studie van Jeong et al. (2015), waarin zowel met FCM als met SEM-EDX is gemeten. Met FCM en SEM-EDX worden gemiddelde (asbest)vezelconcentraties gemeten van respectievelijk 1200 vezels/m³ en 200 vezels/m³.

Gezien bovengenoemde kanttekeningen kan voor een reële inschatting van de asbestvezelconcentraties in de binnenlucht en buitenlucht in en rondom gebouwen met asbestcement daken in principe alleen gebruik worden gemaakt van de studies van VITO (Peters et al., 2013; Peters et al., 2015; Peters et al., 2016b), TNO (Tromp, 1996, Arzoni & Tempelman, 2000; Tromp, 2007) en BUWAL (Heierli & Weber, 2005). In al deze studies wordt slechts één keer een lage concentratie aan asbestvezels in de buitenlucht aangetroffen (100 vezels/m³) in de nabijheid van asbestcement dakplaten. In verreweg de meeste gevallen wordt geen asbest in de lucht aangetroffen, waardoor de gemiddelde asbestvezelconcentratie ruim onder de 100 vezels/m³ blijft.

In de bovengenoemde studies is ook de inwendige blootstelling in woningen en schuren/loodsen met asbestcement gevels en daken in kaart gebracht. In de meeste gevallen werd ook daar geen asbest in de lucht aangetroffen met sporadisch een lage asbestvezelconcentratie (80 - 100 vezels/m³). Ook bij onderzoek naar interne verwerking van asbestcementplaten zijn bij geforceerde ventilatie tegen het onderdak van asbestcement golfplaten in een schuur géén asbestvezels in de lucht aangetroffen (Tromp, 1996). In twee gevallen heeft TNO wel een verhoogde concentratie in de binnenlucht aangetroffen. In beide gevallen betrof het een woonwijk met veel asbestcement gevels en daken in sterk verweerde toestand; beide woonwijken zijn inmiddels volledig gesaneerd. In Nijmegen ging het om een 'inloop' situatie, waarbij de woningen waren voorzien van asbestleien gevel- en dakbekleding, zonder dakgoten met afwatering direct op de stoep voor de deur van de woning. Hierbij zijn asbestvezelconcentraties gemeten tussen de 80 en 3.800 vezels/m³, met één keer een uitschieter van 27.000 vezels/m³. In het laatste geval betrof het een situatie met hoogpolig tapijt waar tijdens de meting werd stof gezogen. In Lelystad betrof het een 'inwaai' situatie, waarbij de woningen volledig waren bekleed met asbestcement golfplaten met alleen uitsparingen voor ramen. Van de vier metingen is twee keer een verhoogde concentratie gemeten van 230 en 990 vezels/m³.

VITO heeft bij de inwendige metingen onderscheid gemaakt in verschillende scenario's: inwaai, inloop en interne verwerking (Peters et al., 2015). Bij de 'inwaai' situatie is bij drie locaties géén asbest gemeten en bij één locatie in één van de twee metingen een spoor asbest (100 vezels/m³). In de 'inloop' situatie is op de vier bemeeten locaties géén asbest in de binnenlucht aangetroffen. Bij de 'interne verwerking' betrof het ruimten (twee zolders, loods en tuinhuisje) zonder onderdak waarbij de asbestcement niet was afgeschermd. Op één van de zolders is in één van de twee metingen een licht verhoogde concentratie gemeten van 100 vezels/m³. Op deze locatie is in één van de drie stofmonsters ook relatief veel asbest aangetroffen (+). In een eerder onderzoek van VITO naar het binnenmilieu in loodsen (Peters et al., 2016b) is ondanks de aanwezige asbest in de stofmonsters (+/- tot ++) op één uitzondering na géén asbest in de lucht aangetroffen. De keer dat er wel asbest in de lucht werd aangetroffen in een loods (340 vezels/m³) had dit te maken met saneringsactiviteiten in het pand.

3.4 Depositie op de bodem

Er zijn in Nederland (provincies Overijssel, Gelderland en Drenthe) en in Vlaanderen meerdere onderzoeken uitgevoerd naar de asbestconcentratie in de afwateringszone onder asbestcement daken. Deze onderzoeken zijn vrijwel allemaal uitgevoerd conform de NEN 5707 of de daaraan afgeleide norm CMA/1/A.7 in Vlaanderen (Oosterwegel, 2014; Peters et al., 2015; Peter et al., 2021; Öksüztepe, 2015; Wetterauw, 2017; Abesim, 2019). Het betreft zowel totaal asbestgehalten, in mg/kg grond, als respirabele vezels, in vezels/kg. Ook is de verspreidingszone en diepte van de verontreiniging onder asbestcement daken daarbij in kaart gebracht. Door TNO (Tromp, 2002) en VITO (Peters et al., 2021) is ook op beperkte schaal aanvullend onderzoek uitgevoerd naar de blootstelling aan asbestvezels van met asbest verontreinigde bodem in de afwateringszone. Afgezien van de bovengenoemde onderzoeken in Nederland en België is nog één studie bekend in Zuid-Afrika, waarin de vezelconcentratie in de afwateringszone in kaart is gebracht (Philips et al., 2009). Een overzicht van deze studies is weergegeven in Tabel 6.

In een aantal studies (Oosterwegel, 2014; Öksüztepe, 2015; Wetterauw, 2017; Abesim, 2019) is naast de toplaag ook de diepere bodemlaag onderzocht. Hieruit blijkt dat het asbest niet alleen in de toplaag aanwezig is, maar ook in de diepere bodemlagen kan voorkomen, tot wel 20-30 cm onder maaiveld. De meeste asbest (60-90%) bevindt zich echter wel in de bovenste 5 cm van de bodem. Verder blijkt dat onder de dakrand de concentraties asbest het hoogst zijn, en bij toenemende afstand tot het dak de concentraties snel afnemen (Oosterwegel, 2014; Wetterauw, 2017). Direct onder het dak bevindt zich ca. 40-80% van het asbest, op een halve meter afstand ca. 25-40%, en op één meter afstand nog maximaal 20%; verder dan 1 meter van het dak is nagenoeg geen asbest in/op de bodem meer te vinden. In één studie is zowel de aan de noord- als aan de zuidzijde van een dak bemonsterd (Wetterauw, 2017). De asbestconcentraties aan de noordzijde liggen iets hoger (factor 1,2) dan aan de zuidzijde, dit verschil is echter niet significant.

Tabel 6: Overzicht van studies naar de concentratie aan asbest in de afwateringzone onder asbestdaken als gevolg van uitspoeling via regenwater

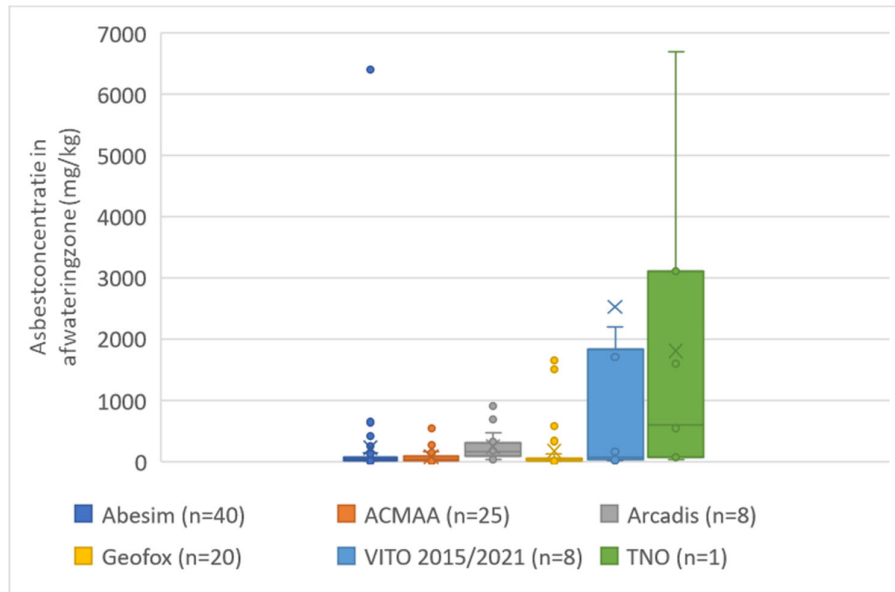
Studie	Locaties	Beschrijving monsterneming	Concentratie (mg/kg)	Respirabele vezels (mg/kg)	Opmerkingen
Tromp (2002)	1 oude steenfabriek in Schijf met kapotte en ernstig verweerde AC golfplaat met chrysotiel & crocidoliet	toplaag 0-5cm in de afwateringzone; 7 monsters	<u>totaal:</u> AM 2000, GM 980, range 78-6700 <u>niet- hechtgebonden:</u> AM 1800, GM 540, range 65-6700	-	ook vijf 4-uurs luchtmetingen uitgevoerd bij geringe activiteiten in afwateringzones van het dak (heen en weer lopen): < 290 v/m ³
Philips et al. (2009)	61 locaties in Soweto (Zuid-Afrika) met ernstig verweerde AC golfplaat van 50 jaar oud, waarvan 46 chrysotiel & crocidoliet, 8 chrysotiel en 7 chrysotiel & amosiet	toplaag 0-3cm in de afwateringzone; 1 monster per locatie, in totaal 61 monsters	<u>niet- hechtgebonden:</u> range 100-1000	AM 220.000 v/kg, range 74.000-2.100.000 v/kg (inclusief niet respirabele vezels)	in eerder onderzoek zijn bij luchtmetingen geen vezels aangetroffen (< LOD)

Studie	Locaties	Beschrijving monsterneming	Concentratie (mg/kg)	Respirabele vezels (mg/kg)	Opmerkingen
Oosterwegel (2014)	10 locaties in Overijssel en 10 locaties in Gelderland met matig-ernstig verweerde AC golfplaat, waarvan 14 met chrysotiel en 6 met chrysotiel & crocidoliet	3 trajecten: 0-2cm, 2-5cm en 5-10cm op drie afstanden: 0, 50 en 100cm van dakrand; 2-6 monsters per locatie, in totaal 78 monsters	<u>totaal:</u> AM 180, GM 29, range 0-6700 <u>niet- hechtgebonden:</u> AM 160, GM 13, range 0-1650	AM 7,7, GM 3,2, range 0-70	verdeling asbest over 3 afstanden van dakrand: 65-80% (0cm), 25-35% (50cm) en 1-3% (100cm), verdeling asbest in 0-2, 2-5 en 5-10cm is 45-55%, 40-45% en ca. 10%; kleefmonsters dak vrijwel allemaal ++
Peters et al. (2015)	6 locaties in Vlaanderen met ernstig verweerde AC golfplaat (10-15% chrysotiel)	toplaag 0-2cm in de afwateringzone; 1 monster per locatie, in totaal 6 monsters	<u>niet- hechtgebonden:</u> AM 410, GM 69, range 17-2200	-	-
Öksüztepe (2015)	25 locaties in Overijssel met matig tot ernstig verweerde AC golfplaat, waarvan 18 met chrysotiel en 7 met chrysotiel & crocidoliet	3 trajecten in de afwateringzone: 0-10cm, 10-20cm en 20-30cm; 1-2 monsters per locatie, in totaal 36 monsters	<u>totaal:</u> AM 240, GM 48, range 0-2170 <u>niet- hechtgebonden:</u> AM 74, GM 24, range 0-540	-	verdeling asbest in 0-10, 10-20 en 20-30cm is 55-60%, 25-30% en 15-20%
Wetterauw (2017)	8 locaties in Drenthe met verweerde AC golfplaat, waarvan 6x chrysotiel en 2x chrysotiel en crocidoliet	3 trajecten: 0-2cm, 2-5cm en 5-10cm op drie afstanden: 0, 50 en 100cm van dakrand; 12-18 monsters per locatie verdeeld over noord- en zuidzijde dak, in totaal 118 monsters	<u>totaal:</u> AM 300, GM 230, range 0-940 <u>niet- hechtgebonden:</u> AM 240, GM 150, range 0-900	AM 19, GM 9,0, range 0-160	verdeling asbest over 3 afstanden van dakrand: 40-50% (0cm), 30-40% (50cm) en 15-20% (100cm), verdeling asbest in 0-2, 2-5 en 5-10cm is 30-35%, 40-45% en ca. 20-25%; verdeling asbest noord- en zuidzijde is ca 55% en ca. 45%; kleefmonsters dak vrijwel allemaal ++
Abesim (2019)	40 locaties in Vlaanderen, waarvan 34 AC golfplaat, 2 asbest daklei en 2 asbest gevellei	toplaag 0-10 cm in de afwateringzone, verdeeld over trajecten 0-2, 0-5 en 0-10 cm; 2-3 monsters per	<u>totaal:</u> AM 290, GM 61, range 0-6400 <u>niet- hechtgebonden:</u> AM 220, GM 25, range 0-6400	-	concentraties in traject 0-2 cm niet per definitie hoger dan de andere trajecten

Studie	Locaties	Beschrijving monsterneming	Concentratie (mg/kg)	Respirabele vezels (mg/kg)	Opmerkingen
		locatie, in totaal 113 monsters			
Peters et al. (2021)	2 locaties in Vlaanderen met verweerde AC golfplaat (10-15% chrysotiel)	toplaag 0-10cm in de afwateringzone; 2 monsters per locatie, in totaal 4 monsters	<u>totaal:</u> AM 5700, GM 570, range 0-21.000 <u>niet- hechtgebonden:</u> AM 5700, GM 570, range 42-21.000	31 (bij hoogste totaal concentratie bepaald)	ook luchtmetingen uitgevoerd bij gesimuleerde activiteiten in de afwateringzone: lopen, spitten/harken, grasmaaien, opwaaien. Locatie A (42-72 mg/kg): geen asbest < 500 v/m ³ ; locatie B (1700-21000 mg/kg): 3x < 500, 1x 180 en 1x 190 v/m ³

AM = rekenkundig gemiddelde, GM = geometrisch gemiddelde, range = minimum-maximum

Bij een vergelijking van de resultaten van de diverse bodemonderzoeken valt op dat de door Abesim (2019), Geofox-Lexmond (Oosterwegel, 2014), ACMAA (Öksüztepe, 2015) en Arcadis (Wetterauw, 2017) gevonden asbestconcentraties in de afwateringzone redelijk vergelijkbaar zijn (zie Figuur 6), met rekenkundig gemiddelde concentraties (AM) tussen de 180 en 300 mg/kg voor totaal asbest en tussen de 74 en 240 mg/kg voor niet-hechtgebonden asbest. De asbestconcentraties gevonden door VITO (Peters et al., 2021) en TNO (Tromp, 2002) liggen wel een stuk hoger. Dit komt voor een groot deel doordat in deze onderzoeken een aantal zeer ernstig verweerde asbestdaken zijn meegenomen, wat heeft geresulteerd in enkele hoge uitschieters. Door de eerder lognormale dan normale verdeling van de asbestconcentraties zoals gevonden in deze onderzoeken lijkt een vergelijking op basis van het geometrisch gemiddelde (GM) meer relevant. In dat geval zijn ook de resultaten van VITO (GM: 160 mg/kg) redelijk vergelijkbaar. Door Geofox-Lexmond (Oosterwegel, 2014), Arcadis (Wetterauw, 2017) en VITO (Peters et al., 2021) is ook de respirabele vezelconcentratie (vezels met een lengte < 100 µm) in bodem bepaald. De gemiddelde concentraties aan respirabele vezels in deze studies (8, 19 en 31 mg/kg) zijn redelijk vergelijkbaar.



Figuur 6: Overzicht van de gemeten asbestconcentraties in de bodem in de afwateringzone onder asbestcementdaken, waarbij de verschillende studies apart zijn weergegeven met behulp van box-whisker plots. In de legenda staan de onderzoeksbureaus vermeld, inclusief het aantal locaties met asbestcement daken dat in de betreffende studies is onderzocht.

Van de uitgevoerde bodemonderzoeken zijn alle meetresultaten gegroepeerd naar type asbestcement (AC met alleen chrysotiel (CHR) en AC met zowel chrysotiel (CHR) als crocidoliet (CRO)) en verweringsgraad van het asbestcement dak (licht/matig verweerd en ernstig verweerd). In Tabel 7 en Tabel 8 zijn de resultaten hiervan samengevat voor respectievelijk niet-hechtgebonden asbest en respirabel asbest. Wegens het ontbreken van voldoende meetdata kon voor respirabel asbest geen onderscheid worden gemaakt in verweringsgraad. De resultaten zijn weergegeven aan de hand van diverse statistische parameters: rekenkundig gemiddelde inclusief standaarddeviatie, geometrisch gemiddelde, mediaan (middelste waarde van de distributie), 75-, 90- en 95-percentielen van de distributie en de maximaal gemeten waarde. Voor respirabel asbest is ook het percentage respirabele vezels ten opzichte van de totale asbestconcentratie weergegeven.

Uit de gepresenteerde data in Tabel 7 en 8 blijkt dat er geen significant verschil aanwezig is in de asbestconcentraties gevonden onder asbestdaken met alleen chrysotiel en asbestdaken met zowel chrysotiel als crocidoliet. Hierbij moet worden opgemerkt dat het in beide gevallen gaat om niet-gewogen concentraties. Voor niet-hechtgebonden asbest is wel een significant verschil te zien in de asbestconcentraties in de bodem onder licht/matig verweerde en ernstig verweerde daken. Over het algemeen liggen de asbestconcentraties in de bodem onder ernstig verweerde daken een factor 20 hoger dan onder licht-matig verweerde daken.

Tabel 7: Overzicht van berekende statistische parameters van de verzamelde meetdata van concentraties aan niet-hechtgebonden asbest (mg/kg) uit diverse bodemonderzoeken in Nederland en Vlaanderen (Tromp, 2002, Oosterwegel, 2014; Peters et al., 2015; Öksüztepe, 2015, Wetterauw, 2017; Abesim, 2019; Peters et al., 2021).

Concentratie niet-hecht gebonden asbest (mg/kg)	Totaal	AC CHR	AC CHR/CRO	Licht-matig verweerd	Sterk verweerd
<i>Aantal metingen</i>	150	67	38	59	31
Rekenkundig gemiddelde	400	490	370	87	1220
Standaard deviatie	1890	2580	1120	286	3890
Geometrisch gemiddelde	37	30	63	16	98
Mediaan	37	26	63	14	73
75 percentiel	130	90	260	53	540
90 percentiel	570	730	680	110	2.100
95 percentiel	1.620	1.680	1.860	361	12.400
Maximaal	21.000	21.000	6.700	1.650	21.000

Tabel 8: Overzicht van berekende statistische parameters van de verzamelde meetdata van concentraties aan respirabele asbestvezels (mg/kg) uit diverse bodemonderzoeken in Nederland en Vlaanderen (Oosterwegel, 2014; Wetterauw, 2017; Peters et al., 2021).

	Concentratie respirabel asbest (mg/kg)			% respirabel asbest t.o.v. de totale asbestconcentratie		
	Totaal	AC CHR	AC CHR/CRO	Totaal	AC CHR	AC CHR/CRO
<i>Aantal metingen</i>	56	37	19	60	36	19
Rekenkundig gemiddelde	18	16	20	25%	30%	18%
Standaard deviatie	28	28	28	30%	30%	29%
Geometrisch gemiddelde	4,0	4,0	4,2	1,3%	2,6%	0,8%
Mediaan	9,0	9,8	8,2	9%	23%	6%
75 percentiel	23	21	26	50%	50%	24%
90 percentiel	41	37	70	77%	83%	78%
95 percentiel	75	62	106	88%	95%	88%
Maximaal	160	160	106			

Over de blootstellingsrisico's van met asbest verontreinigde afwateringzones is niet veel bekend. In één studie van TNO (Tromp, 2002) zijn luchtmetingen uitgevoerd op en in de buurt van verontreinigde afwateringzones (concentratie range: 20 – 6700 mg/kg) van een oude steenfabriek met een sterk verweerd asbestcement dak. Hierbij is geringe activiteit gesimuleerd door heen en weer te lopen tijdens de bemonstering. Tijdens de vier uur durende metingen is geen asbest in de lucht aangetroffen (<290 vezels/m³). In de studie van VITO (Peters et al., 2021) is op twee locaties meer activiteit gesimuleerd door middel van lopen, spitten/harken, grasmaaien en opwaaien. Op de locatie met een geringe asbestconcentratie in de bodem (42-72 mg/kg) is geen asbest in de lucht aangetroffen (<500 vezels/m³), maar op de ernstig verontreinigde locatie (1.700-21.000 mg/kg) is in twee van de vijf metingen een geringe asbestconcentratie in de lucht aangetroffen (180 en 190 vezels/m³).

3.5 Beoordeling verwerking

Er zijn diverse beoordelingsmethoden ontwikkeld om de conditie en verwerking van asbestcement daken in kaart te brengen (o.a. Peters et al., 2013; Tromp, 2007; Tromp, 2017; Tempelman, 2011; Campopiano et al., 2009; Kfoury et al., 2019). Meestal gaat het om een visuele beoordeling op basis van bepaalde indicatoren of een combinatie van visuele inspectie aangevuld met kleefmonsters van

het AC oppervlak. In 2006 is door TNO in opdracht van de toenmalige VROM Inspectie (huidige Inspectie ILT) een eenvoudige scoringslijst opgezet voor een beoordeling van asbestcementdaken door niet-asbestdeskundigen (Tromp, 2007b). Hierbij zijn een aantal simpele en heldere vuistregels ontwikkeld die een goede indicatie geven van de verweringsgraad van asbestcement plaatmateriaal (zie **Tabel 9**).

Van de genoemde indicatoren is de leeftijd van het asbestcement dak de meest objectieve maat om de conditie van het plaatmateriaal te beoordelen. In het onderzoek van Zhang et al. (2016) wordt aangenomen dat de aantasting en verwerking van asbestcement daken lineair verloopt en dat de verweringsnelheid over de jaren constant is. Een coating vertraagt het verweringsproces; op basis van onderzoek van Spurny (1989a, 1989b) blijkt dat gecoate platen in het begin een lagere vezelemissie hebben, maar in de loop van de tijd (ca. 3-5 jaar) verweert deze coating en neemt de vezelemissie weer toe. Het gebruik van het gebouw is vooral belangrijk in de functie van een stal of als mestopslag. Hierbij komen ammoniakdampen vrij die reageren met cement in de dakplaten.

De conditie van het plaatmateriaal, zoals gaten, afgebroke randen, scheurvorming, roestende bevestigingsbouten, is een goede maat om de veroudering van de interne matrix structuur van dakplaten te beoordelen. Door verwerking zal ook het asbestcementoppervlak steeds verder corroderen en zal het cement steeds verder uitloggen. Dit kenmerkt zich door uiterlijke kenmerken zoals een verruwing van het oppervlak en het feit dat de asbestvezels niet meer goed zijn ingesloten in de cementmatrix waardoor ze deels vrij komen te liggen aan het oppervlak. Ook delaminatie (loskomen van flinters en schilfers) van het plaatmateriaal is een effect van voortschrijdende aantasting. Door verweringsverschijnselen zullen na verloop van tijd korstmossen op het oppervlak groeien. Deze mossen produceren zuren waardoor het verweringsproces wordt versneld. De aantasting van het oppervlak is vaak lastig te beoordelen, daarom wordt ook de inspectie van dakgoten of afwateringzone meegenomen in de beoordeling, hoe meer asbesthoudende restanten zichtbaar hoe meer het cementoppervlak is aangetast.

Een aantal mogelijke indicatoren, zoals oriëntatie en hellingshoek van het dak, is toentertijd niet meegenomen, omdat er geen inzicht was in het effect van deze indicatoren op het verweringsproces. Om dezelfde reden zijn ook aanvullende materiaaltesten, zoals het loskrabben van schilfers, het meten van de ruwheid van de platen en een plakbandtest niet meegenomen. Voor al deze testen ontbraken toen voldoende validatiegegevens.

Tabel 9: TNO-methode voor de beoordeling van de verweringsgraad van asbestcement daken (Tromp, 2007b).

Indicator	Criteria
Leeftijd materiaal	> 40 jaar (10) / 30-40 jaar (5) / 20-30 jaar (0)
Type plaat	ongecoat (5) / gecoat (0)
Gebruik	Stal of mestopslag (10) / opslag, stalling, schuur, garage (0)
Conditie materiaal	volledig intact (0) / enkele beschadigingen - gaten, afgebroke randen (2) / veel beschadigingen - gaten, afgebroke randen (5)
Conditie oppervlak	geen vezelstructuren zichtbaar (0) / enkele vezelstructuren zichtbaar (2) / veel vezelstructuren zichtbaar (5) / mosgroei (2)
Inspectie dakgoten of onderliggende bodem	geen asbestverdachte restanten - flinters, vezels (0) / wel asbestverdachte restanten - flinters, vezels (5)
Beoordeling verwerking	
> 20: saneren	
10-20: beoordeling gebruiksrisico / herbeoordeling o.b.v. kleeftest / uitloogtest	
< 10: periodieke herbeoordeling	

De bovenstaande methodiek is in 2010 en 2016 doorontwikkeld tot de uiteindelijke beoordelingsmethode zoals die is samengevat in Tabel 15 (paragraaf 4.2). Hierbij zijn extra

indicatoren: ventilatie en dakhelling toegevoegd. De hellingshoek bepaalt in hoeverre weersinvloeden effect hebben op de verwerking van het dakoppervlak. Hoe lager de hellingshoek hoe groter de kracht op het oppervlak door neerslag en hoe groter de doordringdiepte van vocht in de cementbeplating. Daarnaast zullen de daken langer vochtig blijven, vooral als platen al ruw zijn door verweringsprocessen en/of mosgroei aanwezig is. Ventilatie binnen een gebouw zorgt ervoor dat er geen condensvorming ontstaat aan het binnenoppervlak van het plaatmateriaal en dat eventueel vrijgekomen schadelijke dampen zoals ammoniak snel worden afgevoerd. Ventilatie is vooral relevant voor stallen met dieren en mestopslag.

De oriëntatie van het dak heeft een beperkte invloed op de veroudering en verwerking van gevelbeplating. Voor dakbeplating waar de hellingshoek van het dak dermate laag is (in de regel <math><30^\circ</math>) blijkt dat er weinig verschil is tussen een loef-, luw-, zon- en regenzijde. Dit blijkt ook uit een bodemonderzoek van Arcadis (Wetterauw, 2017) waar zowel de afwateringszone aan de noordzijde en zuidzijde zijn bemonsterd (zie tevens Tabel 6, paragraaf 3.4). De concentraties aan asbest in de afwateringszone lagen aan de noordzijde gemiddeld ca. 20% hoger dan aan de zuidzijde, maar het verschil was statistisch niet significant.

Campopiano et al. (2009) hebben in 2008 diverse evaluatiemethoden van verwerking van asbestcement daken met elkaar vergeleken aan de hand van 40 daken in Italië; het betrof twee visuele beoordelingsmethoden (algoritme A en B), een plakband-/kleeffest conform de Italiaanse Standaard UNI 10608 (1997) en een visuele inspectie van het asbestcementoppervlak met een stereomicroscop. In Tabel 10 staan de indicatoren en gebruikte criteria vermeld van beide visuele beoordelingsmethoden. De plakbandtest bestaat uit het strippen van een droog cementoppervlak met plakband cq. tape (minimaal 48 uur geen regen). De massa aan restanten op het plakband, in microgrammen per cm^2 oppervlak, is een maat voor de verweringsgraad van het asbestcement plaatmateriaal. Kfoury et al. (2019) hebben in 2018 dezelfde evaluatiemethoden gebruikt om de conditie van 46 asbestcement daken in Libanon in kaart te brengen.

Tabel 10: Twee methoden (algoritmen A en B) voor de beoordeling van de verweringsgraad van asbestcement daken (Campopiano et al., 2009).

Indicator	Criteria
Beoordelingssystematiek A:	
Binding vezels in cementmatrix (inspectie met blote oog)	goed / vezels deels los van de matrix / vezels makkelijk met pincet te verwijderen
Aanwezigheid scheuren	geen, enkele, veel
Brosheid asbestcement	de hoeken/randen: breken moeilijk met scherp geluid / breken makkelijk met dof geluid
Vrijkomen deeltjes	bij het wrijven met een latex handschoen komen geen / wel deeltjes vrij
Leeftijd dak	<math><10</math> jaar / 11 - 30 jaar / > 30 jaar
Type(n) asbest	alleen chrysotiel / ook amfibool
Beoordelingssystematiek B:	
Brosheid asbestcement	hoeken/randen moeilijk met tang te breken met scherp geluid / met tang te breken/buigen met enige delaminatie / met de hand te breken/buigen en veel delaminatie
Binding vezels in cementmatrix (inspectie met vergrootglas)	goede binding in de matrix / vezels deels los van de matrix / vezels makkelijk met pincet te verwijderen
Aanwezigheid scheuren/delaminatie	geen / enkele / veel
Niet-hechtgebonden materiaal in dakgoot	geen / weinig / substantieel
Vorming 'stalactieten' aan dakranden	geen / weinig / substantieel
Beoordeling verwerking :	
zeer slecht (saneren) / slecht (inkapselen met coating) / redelijk (geen actie)	

Uit de resultaten van de onderzoeken van Campopiano et al. (2009) en Kfoury et al. (2019) blijkt dat de twee visuele beoordelingsmethoden redelijk vergelijkbaar zijn. Algoritme A vertoont een sterkere correlatie met de kleeftest en algoritme B juist met de microscopische inspectie, echter de correlaties blijven over het algemeen laag ($R^2 \leq 0,3$). Verder blijkt dat géén van de methoden op zichzelf een goede voorspelling geeft van de veroudering en verwerking van een asbestcement dak. Wel blijkt dat met de combinatie van visuele inspectie en een plakbandtest een betrouwbare beoordeling mogelijk is. Echter, géén van de methoden is volledig objectief en is afhankelijk van de expertise en bekwaamheid van de inspecteur cq analist. Dit laatste verklaart mogelijk ook de verschillen in resultaten van Campopiano et al. (2009) en Kfoury et al. (2019). Campopiano et al. (2009) hebben vergelijkbare resultaten voor de visuele beoordelingsmethoden en de kleeftest methode, terwijl in de studie van Kfoury et al. (2019) de resultaten op basis van de kleeftest methode substantieel hoger uitvallen.

In het onderzoek van VITO naar de vrijstelling en verspreiding van vezels vanuit verweerde asbesthoudende dak- en gevelbekleding is een beoordelingssystematiek gebuikt op basis van visuele inspectie en relevante gegevens met betrekking tot de locatie en de toepassing (zie Tabel 11) in combinatie met een kleeftest van het asbestcement oppervlak (Peters et al., 2013). In het rapport staat vermeld dat de toekenning van de verweringsgraad subjectief gebeurde door de onderzoeker op basis van de beoordeelde criteria. Ook wordt gemeld dat soms de verweringsverschijnselen niet homogeen zijn, wat een representatieve inschatting bemoeilijkt.

Tabel 11: VITO-methode voor de beoordeling van de verweringsgraad van asbestcement daken (Peters et al., 2013).

Indicator	Criteria
<i>Visuele inspectie (zonder vergrootglas):</i>	
Status cementmatrix	zeer goed / goed / slecht / zeer slecht
Aanwezigheid barsten	nee / ja
Aanwezigheid losse asbestbundels	nee / ja
Aanwezigheid coating	nee / ja - volledig / ja - deels verweerd
<i>Gegevens locatie en toepassing:</i>	
Oriëntatie dak/gevel	windrichting
Schaduw door bomen	nee / ja
Hellingshoek	0 - 90°
Ouderdom materiaal	jaren
Ouderdom coating	jaren
(Hogedruk) reiniging toegepast	nee / ja
Toepassing stallen	nee / ja
Beoordeling verwerking:	
zeer hoog / hoog / laag	

De kleefmonsters werden in drievoud met dubbelzijdig koolstoftape op willekeurige plekken van het asbestcement dak genomen, waarbij drie maal over de tape wordt gewreven, voordat de tape wordt losgetrokken. De analyse van de hoeveelheid asbestvezels en bundels is grotendeels gebaseerd op de NEN 2991+C1. Hierbij wordt bij een vergroting van 600x ten minste 14 mm² van het kleefmonster afgezocht met SEM-EDX. De resultaten zijn weergegeven als concentraties (vezels/cm²) en in klassen ++ (>1000 v/cm²), + (100-1000 v/cm²), +/- (10-100 v/cm²) en – (10 v/cm²). De gemiddelde standaardafwijking in de vezelconcentratie van de 26 triplo kleefmonsters is 70%. Echter, bij een vergelijking van de klasse-indeling van drie individuele kleefmonsters blijkt dat voor de locaties met AC golfplaat, de locaties met asbestlei en alle locaties samen, respectievelijk 91%, 75% en 81% van de triplo-metingen in dezelfde klasse vallen.

In de onderzoeken van Arcadis (Wetterauw, 2017) en Geofox-Lexmond (Oosterwegel, 2014) zijn op een vergelijkbare manier kleefmonsters genomen. In Tabel 12 zijn de resultaten van VITO (26 locaties), Geofox-Lexmond (8 locaties) en Arcadis (8 locaties) samengevat.

Bij vergelijking van de resultaten van de visuele inspectie met individuele kleefmonsters blijkt dat ca. 40% van de kleefmonsters in dezelfde klasse terecht komt als de visuele inspectie en ca. 60% van de kleefmonsters hoger uitkomt. De ernstig verweerde en nauwelijks/licht verweerde daken worden op basis van de visuele inspectie en kleefmonstertest veelal in dezelfde categorie geplaatst; voor de matig-redelijk (hoog) verweerde asbestdaken is het resultaat van de kleefmonstertest vaak (ca. 80%) één klasse hoger dan op basis van de visuele inspectie is beoordeeld. Samenvattend wordt een asbestdak met de kleefmonstertest iets slechter beoordeeld dan met de visuele inspectie.

Tabel 12: Resultaten van de individuele kleefmonsters van asbestdaken ten opzichte van de verweringsgraad op basis van visuele beoordeling, uitgevoerd door VITO (26 locaties), Arcadis (8 locaties) en Geofox-Lexmond (8 locaties).

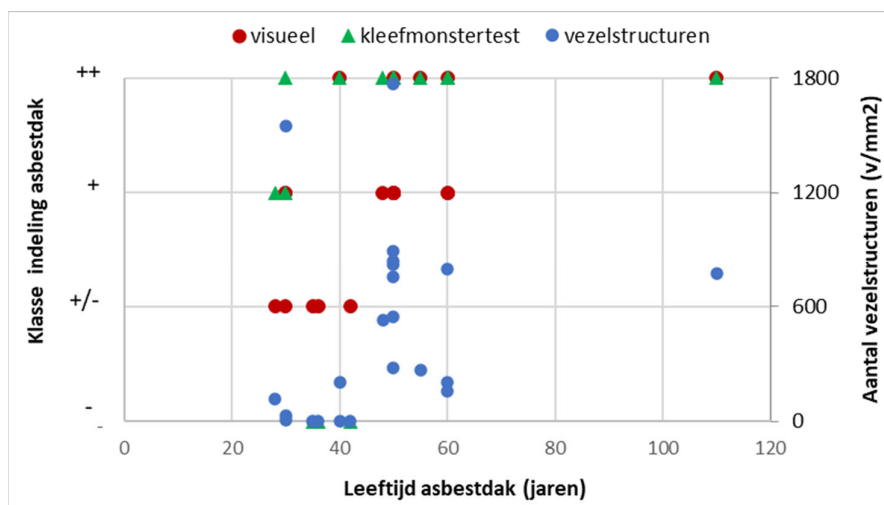
Klasse kleeftest asbestdak (vezels/cm ²)	visuele beoordeling asbestcement daken en gevels											
	zeer hoog (++)				hoog (+)				laag (+/-)			
	golf plaat	dak lei	gevel lei	totaal	golf plaat	dak lei	gevel lei	totaal	golf plaat	dak lei	gevel lei	totaal
<i>metingen</i>	18	6	-	24	25	9	9	43	3	15	3	21
0 (-)	0%	0%	-	0%	0%	11%	0%	2%	0%	80%	100%	71%
1-100 (+/-)	0%	0%	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7%	0%	5%
101-500 (+)	11%	17%	-	13%	12%	22%	33%	19%	100%	13%	0%	24%
>500 (++)	89%	83%	-	88%	88%	67%	67%	79%	0%	0%	0%	0%

De resultaten van het onderzoek van VITO (Peters et al., 2013) zijn gebruikt voor het ontwikkelen van een kleefmonstertest voor de evaluatie van de hechtgebondenheid van asbesthoudende materialen (Peters et al., 2016a). Hierin wordt geen onderscheid meer gemaakt in de klassen 'zeer hoog' en 'hoog'; bij minder dan 100 asbeststructuren per cm² (klassen +/- en -) wordt de verweringsgraad als laag beoordeeld en bij meer dan 100 asbeststructuren per cm² (klassen + en ++) wordt de verweringsgraad als hoog beoordeeld. Bij een vergelijking van de resultaten zoals weergegeven in Tabel 12 met slechts twee klassen (hoog en laag) in plaats van drie klassen blijkt dat ca. 90% van de onderzochte asbestdaken met een visuele inspectie en kleefmonstertest in dezelfde klasse terecht komt (resultaten niet apart weergegeven).

In het onderzoek van VITO (Peters et al., 2016) is tevens is de invloed van het vochtgehalte van het asbestcement materiaal op het resultaat van de kleeftest onderzocht. Bij de kleeftest op vier veldvochtige, droge en waterverzadigde materialen waren de resultaten als volgt: veldvochtig: ++(n=3) / +(n=1), droog: ++(n=2) / +(n=1) / +/- (n=1), waterverzadigd ++ (n=1) / +(n=1) / +/- (n=2). Hieruit blijkt dat het vochtgehalte een gering effect heeft op de kleefmonstertest, bij extreme vochtgehalten zal de kleeftest minder representatief zijn. Het verschil tussen veldvochtige en droge monsters is minimaal en heeft waarschijnlijk ook te maken met de totale reproduceerbaarheid van de methode (afhankelijk van de specifieke plek van monsternamen).

Bij een vergelijking van de resultaten van de visuele inspectie en de kleefmonstertest (vezelstructuren/cm² en klasse-indeling) met de leeftijd van het asbestcement dak blijken deze in alle gevallen matig gecorreleerd te zijn (zie Figuur 7). In algemene zin kan wel worden gesteld dat met de kleefmonstertest een hogere score wordt behaald dan met de visuele inspectie en dat de verwerking toeneemt met de leeftijd van het dak. Echter, in tegenstelling tot het onderzoek van Zhang et al. (2016) blijkt dat de verwerking van asbestcement daken niet geheel lineair verloopt. Het onderzoek van Zhang et al. (2016) en VITO (Peters et al., 2013) zijn wel gebaseerd op verschillende principes. Zhang et al. (2016) hebben de afname van de dikte van het plaatmateriaal onderzocht, terwijl VITO vooral de aantasting aan het oppervlak heeft onderzocht. Wel dient opgemerkt te worden dat de door Zhang et al. (2016) berekende lineaire correlatie mede wordt veroorzaakt

doordat de correlatielijijn 'geforceerd' wordt door het 0-punt (zie Figuur 4, paragraaf 3.2). Als de correlatie alleen op de meetpunten gebaseerd wordt is een meer logaritmisch verband te zien.



Figuur 7: Resultaten van de individuele kleefmonsters van asbestdaken ten opzichte van de verweringsgraad op basis van visuele beoordeling, uitgevoerd door VITO (26 locaties), Arcadis (8 locaties) en Geofox-Lexmond (8 locaties).

Bij vergelijking van de asbestconcentratie in slib uit dakgoten en de klasse-indeling op basis van visuele beoordeling en kleeftesten (Peters et al., 2015) blijkt dat de resultaten van de kleeftesten iets beter overeenkomen met de asbestconcentraties in slib uit dakgoten (zie Tabel 13). Als voor zowel de visuele inspectie als de kleefmonsters voor iedere klasse de gemiddelde asbestconcentratie in slib wordt berekend (onderaan Tabel 13) is te zien dat met beide beoordelingstechnieken de licht/matig verweerde daken (klasse: laag) goed kunnen worden onderscheiden van de ernstig verweerde daken (klasse: hoog en zeer hoog).

Tabel 13: Vergelijk van categorie indeling op basis van visuele beoordeling en kleeftesten en de resultaten van de slibmonsters uit dakgoten, afkomstig van het onderzoek in 2015 uitgevoerd door VITO (Peters et al., 2015).

Type asbestdak	Beoordeling asbestdak		Asbestconcentratie in slib	
	Visuele inspectie	kleeftest	dakgoot (mg/kg)	3mnd (mg/kg)
Asbestcement golfplaat	zeer hoog	++	13000	74
	Hoog	++	3,6	12
	Hoog	++	17000	
	zeer hoog	++	120	
	Laag	+	430	
Asbest daklei	Hoog	++	780	
	Hoog	++	43	52
	Hoog	++	3900	630
	Laag	-	14	
	Laag	-	42	
	zeer hoog	+ / ++	310	
Hoog	+ / ++	280		
	Klasse-indeling:		Visueel:	Kleeftest:
	zeer hoog	++	4500	5000
	Hoog	+	3700	340
	Laag	+ / -	160	28

4 Uitvoering en methoden

4.1 Selectie meetlocaties

Voorafgaand aan het uitvoeren van de metingen zijn representatieve locaties geselecteerd, op basis van de overeengekomen criteria in de meetstrategie (paragraaf 2.2.3). Doelstelling is een representatieve steekproef van de locaties met asbestcement golfplaten daken en asbestleien daken die in Nederland voorkomen. Voor de verweringsgraad van het asbestcement is gestreefd naar een realistisch “worst-case” scenario, wat betekent dat bij de selectie een groter aandeel aan verweerde en sterk verweerde daken is meegenomen. Naast verwerking is voor de asbestdaken onderscheid gemaakt in leeftijd en typen asbest (met of zonder crocidoliet). Voor de keuze van de schuren/loodsen en stallen zijn alleen locaties geselecteerd met het woonhuis dicht op de schuren/loodsen en stallen waarvan een groot deel zonder dakgoten of kapotte dakgoten. Hierdoor kan de verspreiding van asbest via ‘inloop’ als blootstellingsroute worden meegenomen.

Er zijn in totaal zeven meetlocaties geselecteerd zoals weergegeven in Figuur 8 en Tabel 14. Er kon geen locatie worden gevonden met sterk verweerde asbestleien daken. In afwijking op de meetstrategie (paragraaf 2.2.3) is daarom een extra locatie in Lelystad geselecteerd (Lelystad-2). Daarnaast bleek de leeftijd van het dak niet altijd een goede indicator voor de verweringsgraad. Dit blijkt uit de locaties Barneveld en Milheeze, waarbij de jongere asbestcement daken in Barneveld meer verweerd zijn dan de oudere daken in Milheeze. Op de locaties ‘Loenen’ en ‘Hoevelaken-1’ heeft zowel in de zomerperiode als in de herfst/winterperiode veldonderzoek plaatsgevonden. Locaties ‘Barneveld’, ‘Milheeze’ en ‘Lelystad-1’ zijn onderzocht in de zomerperiode en locaties ‘Hoevelaken-2’ en ‘Lelystad-2’ in de herfst/winterperiode. De geselecteerde locaties bevinden zich in de provincies Flevoland, Gelderland en Noord-Brabant. In totaal zijn drie locaties deels voorzien van asbestcement daken met chrysotiel en crocidoliet (Hoevelaken-1, Hoevelaken-2 en Loenen). De meeste asbestcement dak- en gevelplaten zijn uit 1970-1985 en hebben een leeftijd tussen de 36 en 51 jaar. Alleen de locatie Hoevelaken-1 heeft oudere dakplaten (54 en 64 jaar). Op twee locaties (Hoevelaken-1 en Loenen) is geen dakgoot aanwezig. In Bijlage I: Beschrijving meetlocaties zijn de meetlocaties in detail beschreven.



Figuur 8: De zeven geselecteerde meetlocaties voor het onderzoek naar de verspreidingsroutes en blootstellingsroutes van asbest(vezels) vanuit asbesthoudende daken.

Tabel 14: Overzicht geselecteerde meetlocaties

Materiaal	Verwerking	Leeftijd (jaar)	Type(n) asbest*	Beschrijving object	Locatie periode 1	Locatie periode 2
Golfplaat	Sterk verweerd	45-60	CHR + CRO	Voormalige kippenschuur uit 1957, nu opslag, 163 m ² , hellingshoek ~10°, geen dakgoot, agrarisch gebied	Hoewelaken (1)	Hoewelaken (1)
			CHR	Voormalige veeschuur uit 1967, nu opslag; 405 m ² , hellingshoek ~20°, dakgoot op diverse plekken kapot. Voormalige kippenschuur uit 1972, 115 m ² , hellingshoek ~25°, geen dakgoot, agrarisch gebied		
		CHR + CRO	Drie schuren uit ca. 1970: voormalige varkensschuur, nu loods, 140 m ² , hellingshoek ~45°, geen dakgoot; kapschuur en schuur voor opslag, beide 100 m ² , hellingshoek ~20°, geen dakgoten. Agrarisch gebied (op rand bebouwde kom)	Loenen	Loenen	
		30-45	CHR	Drie geschakelde kalverstallen uit 1980-1985, 1200 m ² , binnenzijde hardschuim platen, hellingshoek ~30°, dakgoot op enkele plekken kapot, agrarisch gebied (1 km van bebouwde omgeving)	Barneveld	
	Matig verweerd	45-60	CHR	Twee aparte stallen met AC daken uit 1976: 1 varkensstal, 1200 m ² en 1 koeienstal met opslag, 1200 m ² , hellingshoek ~20°, stalen dakspanten, dakgoot intact, agrarisch gebied	Milheeze	
			CHR + CRO	Voormalige varkensschuur uit 1975, nu loods, 1200 m ² , binnenzijde hardschuim platen, stalen dakspanten, hellingshoek ~30°, dakgoot intact, agrarisch gebied		Hoewelaken (2)
		30-45	CHR	Kalverenschuur uit 1985, 1500 m ² , hellingshoek ~30°, binnenzijde hardschuim platen, stalen dakspanten, dakgoot intact, agrarisch gebied		
	Daklei		30-45	CHR	Woningen uit 1980-1982 met asbestleien gevel/dakpanelen, hellingshoek ~80°, grotendeels dakgoot aanwezig, in woonwijk ca. 50% asbestleien daken, rest is reeds gesaneerd, bebouwde omgeving	Lelystad (1)
						Lelystad (2)

* CHR = chrysotiel, CRO = crocidoliet

4.2 Beoordeling dak

De AC daken zijn in detail beoordeeld op basis van een visuele inspectie in combinatie met kleefmonsters van het dakoppervlak. Voor de visuele inspectie is gebruik gemaakt van de beoordelingssystematiek AC daken, zoals weergegeven in Tabel 15 (Tromp, 2017).

Tabel 15: Beoordelingssystematiek AC daken

Indicator	Beoordeling	Punten
Type plaat	oorspronkelijk ongecoat	5
	oorspronkelijk gecoat	0
Oorspronkelijk en huidig gebruik	schuur voor dieren (varkens, kippen ect.)	8
	Mestopslag	8
	goederenopslag, garage, woning of stalling	0
Ventilatie	goed geventileerd en geen condensvorming, vochtsporen en/of zwartkleuring aan binnenzijde	0
	niet of slecht geventileerd en/of condensvorming, vochtsporen en/of zwartkleuring aan binnenzijde	2
Dakhelling	dakhelling > 30°	0
	dakhelling 15-30°	2
	dakhelling < 15°	5
Conditie materiaal en montage	dak goed gemonteerd dak en in goede staat: - weinig beschadigingen (alleen enkele afgebroken stukjes) - vrijwel alle bouten intact en volgringen niet versleten - geen verzakkingen in het dakoppervlak en gordingen in goed staat	0
	dak goed gemonteerd en in redelijke staat: - meerdere beschadigingen (afgebroken stukken, beginnende scheuren) - bevestigingsbouten deels verdwenen, los of weggeroest - lichte verzakking(en) in de dakopbouw en gordingen licht aangetast	3
	dak in slechte staat: - slecht gemonteerd dak en/of slecht uitgevoerde reparaties - veel beschadigingen (breuk, scheuren, gaten, afgebrokele randen) - veel bouten los of weggeroest waardoor dakplaten losliggen - verzakking(en) in de dakopbouw en gording aangetast/verzakt - de interne cementstructuur is aangetast door het water	7
	dak zeer ernstig beschadigd, waardoor functionaliteit van het dak voor groot deel is verdwenen	10
Conditie oppervlak	nauwelijks/licht aangetast oppervlak: - relatief egaal/glad oppervlak vrijwel zonder ruwe plekken en putten - de vezels zitten nog goed ingesloten in de matrix - geen delaminatie (loszittende schilfers/laagjes) zichtbaar aan het oppervlak en aan de randen - nauwelijks vezelrestanten en flinters in dakgoten en/of op de bodem	0
	matig/redelijk aangetast oppervlak: - enigszins of plaatselijke verruwing van het oppervlak met putten ³ - de vezels zijn deels los aan het oppervlak zichtbaar en in niet meer goed ingesloten in de matrix ² - delaminatie (loszittende schilfers/laagjes) zichtbaar aan het oppervlak en aan de randen - vezelrestanten en flinters in dakgoten en/of op de bodem	3
	behoorlijk/ernstig aangetast oppervlak: - verruwing van vrijwel het gehele oppervlak met veel putten - de vezels zijn voor een groot deel niet meer ingesloten in de matrix - voortschrijdende delaminatie waarbij flinters en schilfers loskomen uit het oppervlak en aan de randen - veel vezelrestanten en flinters in dakgoten en/of op de bodem	7
Mosgroei	geen of nauwelijks mosgroei aanwezig	0
	lichte/redelijke mosgroei aanwezig	2
	veel/zware mosgroei aanwezig (op grote delen volledig dekkend 'vlakvol)	5
TOTAALSCORE = LEEFTIJD DAK + PUNTEN		

De punten zijn extra jaren die bij de leeftijd van het AC dak moeten worden opgeteld, dit bepaald de "fysieke" ouderdom van het dak en kan gebruikt worden voor o.a. het stellen van saneringsprioriteiten. Bij een "fysieke" ouderdom van meer dan ca. 60 jaar wordt de algehele conditie van het dak als slecht beoordeeld.

4.3 Monsterneming

4.3.1 Luchtmetingen

Zowel in de zomer als in de herfst/winterperiode zijn luchtmetingen uitgevoerd in woningen, in schuren/loodsen en in de buitenlucht dichtbij asbestcement daken:

- In de zomerperiode (1^e meetperiode) is de buitenlucht bemonsterd met behulp van parallelle continue metingen met een meetduur van ca. 4 weken. Daartoe is lucht aangezogen over 0,4 µm Nuclepore nikkelgecoate 47 mm filters met een debiet van ca. 3 L/min en over 0,8 µm Nuclepore goudgecoate 25 mm filters met een debiet van ca. 1 L/min. Een representatieve opstelling is weergegeven in Figuur 9 (links). De opstellingen zijn geplaatst dichtbij en/of vlak boven het asbesthoudende dak. De meetopstellingen in de buitenlucht zijn op strategische plaatsen gepositioneerd waarbij de hoogste vezelconcentraties werd verwacht, rekening houdend met de positie van het asbesthoudende dak, de dominante windrichting en specifieke kennis over de verspreiding van stoffen vanaf een dakoppervlak. Concreet betekent dit dat de meetopstellingen zoveel mogelijk aan de noordoost zijde van het dak en in de lijwervel van het gebouw zijn geplaatst. Een lijwervel ontstaat aan de lijzijde van een gebouw als gevolg van invloed van het gebouw op de vrije stroming van wind. Er ontstaat daarbij een gebied achter het gebouw waar de windsnelheid is verminderd, waardoor het verdunningseffect beperkt is. De lijwervel is afhankelijk van de hoogte en breedte van het gebouw en is maximaal 7 x de dakhoogte (zie paragraaf 6.1) (Duyzer et al., 2004).
- In de woningen is lucht bemonsterd via enkelvoudige continue metingen, gedurende ca. 1 - 2 weken. Daartoe is lucht aangezogen met een debiet van ca. 1 L/min over een goudgecoat Nuclepore filter met 0,8 µm poriediameter. Hiervoor zijn kleine PAS-pompjes gebruikt die in een geluidsarme box zijn geplaatst om bewoners zo weinig mogelijk overlast te bezorgen (Figuur 9 (midden)). De opstellingen zijn zoveel mogelijk geplaatst in de ruimte waar de bewoners zich het meest bevinden (woonkamer, keuken) op een hoogte van ca 1,5 meter (ademhoogte).
- In schuren/loodsen en stallen is lucht bemonsterd via enkelvoudige continue metingen, gedurende ca. 4 weken, in schuren, stallen en loodsen. Lucht is aangezogen met een debiet van ca. 1 L/min over 0,8 µm Nuclepore goudgecoate filters. De opstelling met de pompen is geplaatst in het midden van de schuur, stal of loods, op 1,5 m hoogte en minimaal 2 meter afstand van grote objecten. Op meetlocatie Hoevelaken-1 is in de tweede periode een 'worst-case' situatie gesimuleerd door gedurende de gehele meetperiode in de schuur ook twee ventilatoren te plaatsen, waardoor (historisch) stof in de lucht wordt gebracht. De opstelling in de schuur op meetlocatie Hoevelaken-1 is weergegeven in Figuur 9 (rechts).
- In de herfst/winterperiode (2^e meetperiode) zijn in de buitenlucht windrichting-aangestuurde metingen uitgevoerd. Deze metingen bestonden uit twee parallelle metingen beneden- en bovenwinds van het asbestcement dak, waarbij lucht is aangezogen met een debiet van 4 en 8 L/min over 25 mm goudgecoate Nuclepore filters met 0,8 µm poriediameter. De pompen zijn hierbij aangestuurd op basis van windsnelheids- en windrichtinggegevens vanuit het ingerichte meteostation op het bovenwindse meetpunt. Alleen als de wind over het asbestcement dak richting het benedenwindse meetpunt waaide is lucht bemonsterd. De windrichting-aangestuurde metingen (360° metingen) hebben 4 - 6 weken geduurd met een effectieve

meetduur van minimaal 1 week. In Figuur 10 is de opstelling op de locatie Loenen weergegeven. De benedenwindse (Figuur 10; rechts) en bovenwindse opstellingen (Figuur 10; links) zijn geplaatst aan weerszijden van het dak op ca. 10 meter afstand en 1,5-2 meter hoogte. Naast de bovenwindse opstelling is de meetmast voor de meteodata geplaatst. Het meteostation is op een hoogte van 8 – 10 meter geplaatst. Tegelijkertijd met de windrichting-aangestuurde filtermetingen zijn gedurende een periode van 2 – 4 weken 'real time' stofmetingen uitgevoerd met stofmonitoren van het type GRIMM - Environmental Dust Monitor (Model 180). De stofmonitoren zijn naast de benedenwindse en bovenwindse filtermetingen geplaatst (Figuur 10). Met de GRIMM EDM-180 wordt continue stof gemeten in verschillende grootteklassen (0,25 – 32 μm).



Figuur 9: Representatieve opstelling continue luchtmetingen (links) buiten meetlocatie Barneveld, (midden) binnenhuis locatie Lelystad-1 en (rechts) binnen in schuur locatie Hoevelaken-1.



Figuur 10: Representatieve opstelling windrichting-aangestuurde luchtmetingen (links) benedenwinds met een Dust Monitor in de metalen box en (recht) bovenwindse opstelling op meetlocatie Loenen.

4.3.2 Regenwater en slib

Gedurende een periode van 2-3 maanden is regenwater en slib bemonsterd met behulp van een door TNO ontwikkeld regenwater opvangsysteem. In Figuur 11 is het systeem zoals geplaatst in Hoevelaken-2 weergegeven. Het regenwater is onder aan de dakrand opgevangen met behulp van een goot met een lengte van 1 meter, waaraan een flexibele slang is bevestigd die uitmond in een regenton. Aan de bovenzijde van de regenton zijn twee gestapelde zeven met maaswijdte van 4 mm en 0,2 mm geplaatst voor het afvangen van eventuele bladeren en de slibfractie. In de regenton, net onder de zeven, is een overloop geplaatst om het teveel aan water af te voeren. Na de meetperiode is het slib uit de twee zeven kwantitatief overgebracht in een monsterpot. Het regenwater dat in de regentonnen is opgevangen is na homogeniseren bemonsterd in 10L jerrycans.



Figuur 11: Regenwateropvangsysteem op meetlocatie Hoevelaken-2

4.3.3 Kleefmonsters en gesedimenteerd stof

Kleefmonsters zijn op twee representatieve plekken van het dak genomen met dubbelklevend koolstoftape conform het protocol dat is opgesteld door VITO (Peters et al., 2016a).

Gesedimenteerd stof is bemonsterd in woningen en enkele schuren/loodsen conform de methodiek in NEN 2991. Hierbij is stof bemonsterd vanaf plekken waar makkelijk stof sedimenteerd en die vrijwel nooit worden schoongemaakt. In woningen is op kasten bemonsterd en in schuren/loodsen op draagbalken. Per ruimte zijn 2 stofmonsters verzameld.

4.3.4 Meetperioden

De monsterneming is uitgevoerd gedurende de zomerperiode (16 juli 2021 t/m 13 oktober 2021) en de winterperiode (2 november 2021 t/m 3 maart 2022). Op vijf locaties is in de zomerperiode bemonsterd en op vier locaties in de winterperiode. In Tabel 16 zijn per locatie de gegevens weergegeven van de geanalyseerde monsters. In Tabel 17 zijn de meteogegevens weergegeven tijdens de meetcampagnes in de buitenlucht. In Bijlage I: Beschrijving meetlocaties zijn per meetlocatie de daggemiddelde meteogegevens (neerslag, windrichting en windsnelheid) weergegeven. Het opvangen volume regenwater is bepaald op basis van de neerslaggegevens van de dichtstbijzijnde neerslagstations. Voor locaties Barneveld en Lelystad zijn de

neerslagstations gebruikt in dezelfde plaatsen. Voor de locaties in Hoevelaken is de gemiddelde neerslag berekend op basis van de stations Nijkerk, Soest en Barneveld. Voor de locatie Loenen is de gemiddelde neerslag berekend op basis van stations Eerbeek en Beekbergen en de locatie Milheeze is gebaseerd op de stations Deurne, Helmond en Gemert.

Tabel 16: Monsterneming gegevens van de geanalyseerde monsters bemonsterd op de meetlocaties.

Locatie	Periode	Type meting	Beschrijving locatie	Start meting		Eind meting		Duur	Volume	
				datum	tijd	datum	tijd	Uur (dag)	m ³ (L)	
Barneveld	Zomer	Lucht	Buiten – dakrand noordzijde	04-08-2021	14:17	27-08-2021	14:40	552	23,7	
			Woning - 5mtr van stal met AC dak – in de woonkamer	17-08-2021	16:15	27-08-2021	14:30	238	13,5	
			Stal met AC dak	Door teveel stof in de stal was geen meting mogelijk						
		Slib + water	Onder dakrand van stal met AC dak aan noordoostzijde	04-08-2021	-	13-10-2021	-	70 d	710 L	
Hoevelaken (1)	Zomer	Lucht	Buiten – op binnenplaats tussen diverse schuren met AC daken op 3 – 8mtr	03-08-2021	16:07	31-08-2021	08:19	664	32,1	
			Woning – in woonkamer (op 10 – 20mtr van meerdere schuren met AC daken)	03-08-2021	16:04	17-08-2021	12:15	332	22,4	
			Schuur met AC dak – midden in schuur aan oostzijde	03-08-2021	16:07	31-08-2021	08:15	664	26,2	
			Slib + water	Onder dakrand van schuur met AC dak aan zuidzijde	03-08-2021	-	13-10-2021	-	71 d	1460 L
	Winter	Lucht	Bovenwinds – op binnenplaats aan zuidwestzijde	16-11-2021	10:36	30-11-2021	15:15	136	41,2	
			Benedenwinds – op ca. 10mtr van 2 schuren met AC daken aan noordoostzijde	16-11-2021	10:36	30-11-2021	15:15	135	38,4	
			Schuur met AC dak – midden in schuur aan oostzijde – met geforceerde ventilatie	2-11-2021	14:41	30-11-2021	15:04	672	25,0	
		Lucht (monitor)	Op dezelfde boven- en benedenwindse posities	16-11-2021	-	26-12-2021	-	75 d	-	
		Slib + water	Onder dakrand van schuur met AC dak aan zuidzijde	13-10-2021	-	27-12-2021	-	75 d	1000 L	
	Hoevelaken (2)	Winter	Lucht	Bovenwinds – aan zuidwestzijde stal met AC dak	02-12-2021	14:20	20-12-2021	14:30	168	46,9
Benedenwinds – 10mtr van stal met AC dak aan noordzijde				02-12-2021	14:37	20-12-2021	14:30	168	48,6	
Stal met AC dak				Teveel stof in de stal - geen toestemming gekregen om meting uit te voeren						
			Woning - 25mtr van stal met AC dak - in kantoor	02-12-2021	11:44	20-12-2021	13:15	435	32,5	
Lucht (monitor)			Op dezelfde boven- en benedenwindse posities	27-12-2021	-	17-01-2022	-	21 d	-	
Slib + water			Onder dakrand van stal met AC dak aan noordwest zijde	02-12-2021	-	17-01-2022	-	46 d	1320 L	
Lelystad (1)	Zomer	Lucht	Buiten – in achtertuin op 10mtr van woning met asbestlei gevel/dak aan westzijde	03-08-2021	13:24	31-08-2021	09:55	669	35,7	
			Woning met asbestlei gevel/dak – in woonkamer	17-08-2021	11:00	31-08-2021	09:50	335	21,5	
		Slib + water	Onder dakrand van woning met asbestlei gevel/dak aan westzijde	03-08-2021	-	13-10-2021	-	71 d	430 L	
Lelystad (2)	Winter	Lucht	Bovenwinds – in voortuin woning met asbestlei gevel/dak aan westzijde	02-02-2022	12:00	17-02-2022	08:30	129	41,0	

Locatie	Periode	Type meting	Beschrijving locatie	Start meting		Eind meting		Duur Uur (dag)	Volume m ³ (L)
				datum	tijd	datum	tijd		
			Benedenwinds – in achtertuin 30mtr van woning met asbestlei gevel/dak aan noordoostzijde	02-02-2022	12:00	17-02-2022	08:30	129	40,3
			Woning met asbestlei gevel/dak – in woonkamer	19-01-2022	14:30	02-02-2022	09:39	331	23,3
		Lucht (monitor)	Op dezelfde boven- en benedenwindse posities	19-01-2022	-	11-02-2022	-	23 d	-
		Slib + water	Onder dakrand van woning met asbestlei gevel/dak aan westzijde	19-01-2022	-	03-03-2022	-	43 d	460 L
Loenen	Zomer	Lucht	Buiten – 8mtr van schuur met AC dak - noordoostzijde	03-08-2021	10:13	31-08-2021	11:45	674	39,6
			Woning – in gang (5mtr van schuur met AC dak)	03-08-2021	10:40	17-08-2021	09:22	335	19,1
			Schuur – op zolder bij hooiopslag	03-08-2021	09:54	31-08-2021	11:45	674	41,1
		Slib + water	Onder dakrand van schuur met AC dak aan oostzijde	16-07-2021	-	13-10-2021	-	89 d	1290 L
	Winter	Lucht	Bovenwinds – aan zuidzijde van schuur met AC dak	16-11-2021	09:05	30-11-2021	09:04	154	44,0
			Benedenwinds - 8mtr van schuur met AC dak - noordoostzijde	16-11-2021	09:12	30-11-2021	09:12	158	48,1
			Woning – in woonkamer (5mtr van schuur met AC dak)	02-11-2021	10:00	16-11-2021	08:41	335	23,8
			Schuur – op zolder bij hooiopslag	02-11-2021	10:00	30-11-2021	08:07	670	31,7
		Lucht (monitor)	Op dezelfde boven- en benedenwindse posities	2-11-2021	-	16-11-2021	-	14 d	-
		Slib + water	Onder dakrand van schuur met AC dak aan oostzijde	02-11-2021	-	28-12-2021	-	56 d	710 L
Milheeze	Zomer	Lucht	Buiten – tussen 2 stallen met AC dak op 2 en 5mtr aan west en oostzijde	04-08-2021	09:03	31-08-2021	13:30	653	37,1
			Woning - in woonkamer (10mtr van stallen met AC dak)	04-10-2021	12:15	12-10-2021	11:10	191	13,2
			Stal – voorkant bij opslag spullen	04-08-2021	09:22	31-08-2021	13:38	652	38,2
		Slib + water	Onder dakrand van stal met AC dak aan zuidoostzijde	04-08-2021	-	13-10-2021	-	70 d	1110

Tabel 17: Meteogegevens tijdens de luchtmetingen in de buitenlucht (met minima en maxima tussen haakjes)

Meetlocatie	Periode	Temperatuur (°C)	Wind snelheid (m/s)	RH (%)	Neerslag		Zonduur (h)
					Duur (h)	Som (mm)	
Barneveld	Zomer	16,8 (2 - 27)	3,2 (0 - 8)	82 (47 - 99)	33	95	140
Hoevelaken (1)	Zomer	17,0 (2 - 27)	3,0 (0 - 7)	81 (50 - 100)	31	85	154
	Winter	6,5 (-6 - 19)	2,7 (0 - 8)	90 (58 - 99)	58	38	33
Hoevelaken (2)	Winter	5,6 (-6 - 14)	3,1 (0 - 8)	91 (59 - 99)	36	43	25
Lelystad (1)	Zomer	17,1 (3 - 26)	4,0 (0 - 10)	82 (47 - 99)	31	70	158
Lelystad (2)	Winter	7,0 (-3 - 13)	7,1 (1 - 17)	82 (51 - 98)	47	64	59
Loenen	Zomer	16,7 (2 - 27)	3,3 (0 - 8)	83 (47 - 99)	39	72	156
	Winter	5,2 (-6 - 13)	2,9 (0 - 8)	94 (59 - 99)	58	39	27
Milheeze	Zomer	16,8 (2 - 27)	3,3 (0 - 8)	83 (47 - 99)	39	52	155

4.4 Analyse

4.4.1 Luchtmetingen

De Nuclepore filters zijn voorafgaand aan de analyse voorbehandeld met een plasmaverasser voor de verwijdering van organisch materiaal. Hierbij is het oppervlak van de filters tweemaal 5 minuten bij 40 W geëit met een mengsel van zuurstof en argon. Voor het minimaliseren van opladingseffecten tijdens de analyse met SEM-EDX is daarna een dun laagje koolstof opgedampt.

De Nuclepore filters zijn onderzocht met scanning elektronen microscopie en energie dispersieve röntgen microanalyse (SEM/EDX) conform NEN-ISO 14966. Hierbij wordt bij een vergrotingsfactor van 2000x en een versnelspanning 15kV een fractie van het totale filteroppervlak geanalyseerd. Met deze methode kunnen vezels met een diameter vanaf ca. 0,2 µm worden gedetecteerd. Door TNO is een hoge resolutie field emission gun scanning elektronenmicroscop (FEG-SEM) gebruikt waarbij vezels met een diameter vanaf ca. 0,1 µm al zichtbaar zijn. Alle buitenluchtfilters in de zomerperiode zijn nogmaals onderzocht conform de door TNO ontwikkelde methode voor de bepaling van achtergrondconcentraties in de buitenlucht (Tromp, 2016). Hierbij wordt bij een hogere vergroting van 7000x en een versnelspanning van 7kV een deel van het filteroppervlak geanalyseerd. Deze microscopinstellingen maken het mogelijk om hele dunne (elementaire) korte vezels met een lengte vanaf ca. 0,5 µm en een diameter vanaf ca. 0,04 µm te detecteren.

De SEM/EDX analyses zijn uitgevoerd met behulp van een Tescan MAIA III LMH FEG-SEM, uitgerust met een Bruker Quantax 30 mm² silicon drift detector voor EDX analyse. Met SEM/EDX kan er tegelijkertijd een morfologische studie op microniveau van vaste materialen als een elementanalyse gedaan worden. De opgenomen EDX spectra zijn geanalyseerd met Bruker Esprit software.

De analyse met SEM/EDX bestaat uit het systematisch afzoeken van een representatief aantal beeldvelden. Binnen elk beeldveld worden de volgende parameters bepaald:

- aantal vezels,
- de lengte en de diameter per vezel, en
- de vezelsoort (op basis van chemische samenstelling en morfologie).

Er worden twee vezeldefinities onderscheiden:

- een deeltje met een diameter groter dan 5 µm en een diameter van minder dan 3 µm en een lengte-diameterverhouding van 3:1 (conform NEN-ISO 14966),
- bij vezels korter dan 5 µm, een deeltje met parallelle zijden met een lengte-diameterverhouding van ≥ 5:1 (deze verhouding voorkomt dat (splijt-)fragmenten van niet-vezelige mineralen als vezels worden getypeerd).

De asbestvezelconcentratie wordt uitgedrukt in het aantal vezels per kubieke meter lucht (m³) en wordt bepaald door de volgende factoren:

- Aantal getelde vezels [n]
- Het afgezocht filteroppervlak (aantal beeldvelden x beeldveldoppervlak) [mm²]
- Het totale filteroppervlak [mm²]
- Het doorgezogen volume lucht tijdens de monsterneming [m³]

Door middel van formule (1) wordt de asbestvezelconcentratie berekend:

$$(1) \quad \text{Concentratie} = \frac{\text{Vezels [n]}}{\text{Volume [m}^3\text{]}} \times \frac{\text{Totaal filteroppervlak [mm}^2\text{]}}{\text{afgezocht filteroppervlak [mm}^2\text{]}}$$

Bij de analyse wordt een deel van het filter bekeken, hierbij bestaat de kans dat in het niet onderzochte deel vezels voorkomen. Bij de berekening van de concentratie uit de telling dient daarom rekening gehouden te worden met een onzekerheidsmarge die is uitgedrukt als het 95%-betrouwbaarheidsinterval. Dit betekent dat de kans 95% is dat de werkelijke vezelconcentratie binnen dit interval zal liggen. Wanneer geen vezels worden aangetroffen wordt de bepalingsondergrens bepaald die is gebaseerd op een bovengrens van 3 vezels (conform de Poisson statistiek). De bepalingsgrens wordt gedefinieerd als de numerieke vezelconcentratie waaronder, met een betrouwbaarheid van 95%, de werkelijke vezelconcentratie ligt wanneer er geen vezels worden gedetecteerd tijdens de analyse. De bepalingsgrens is afhankelijk van het doorgezogen luchtvolume tijdens de meting en het deel van het filteroppervlak dat is afgezocht.

Door middel van formule (2) wordt de asbestvezelconcentratie berekend:

$$(2) \quad \text{Bepalingsondergrens} = \frac{3}{\text{Volume [m}^3\text{]}} \times \frac{\text{Totaal filteroppervlak [mm}^2\text{]}}{\text{afgezocht filteroppervlak [mm}^2\text{]}}$$

4.4.2 Regenwater en slib

De monsters regenwater zijn met behulp van drukfiltratie opgewerkt op een goud gecoate Nuclepore filter met een 0,4 µm poriëndiameter. De watermonsters zijn voorafgaand gehomogeniseerd; afhankelijk van de troebelings van het regenwater kon 5 – 200 mL worden gefiltreerd. Tijdens de monstervoorbereiding zijn ook blanco watermonsters (milli-Q water) opgewerkt. De filtratie opstelling is regelmatig grondig gespoeld met milli-Q water om eventuele resten van het monsterwater te verwijderen. De Nuclepore filters zijn voorafgaand aan de analyse voorbehandeld met een plasmaverasser voor de verwijdering van organisch materiaal. De analyse is uitgevoerd met SEM/EDX conform ISO 14966 (zie paragraaf 4.4.1).

Het slib is gedurende een nacht gedroogd bij 105 °C en gewogen. Vervolgens is het materiaal verast bij 430 °C, waarvan de asrest wederom is gewogen. De veraste monsters slib zijn geanalyseerd met lichtmicroscopie conform NEN 5896. Hierbij zijn de asrestanten met de stereo lichtmicroscopie bij een vergroting van 5 – 60x onderzocht op asbeststructuren. Op basis van een visuele beoordeling is vervolgens het massapercentage aan asbest geschat. Voor de identificatie van asbest in de asrestanten is gebruik gemaakt van SEM-EDX (zie paragraaf 4.4.1).

4.4.3 Kleefmonsters en gesedimenteerd stof

De kleefmonsters van het dakoppervlak en de monsters gesedimenteerd stof zijn geanalyseerd met SEM-EDX conform NEN-ISO 16000-27 en NEN 2991. Bij twee verschillende vergrotingen van 300x en 1000x wordt het oppervlak van het koolstoftape systematisch afgezocht naar asbestvezelstructuren met SEM-EDX (zie paragraaf 4.4.1). Op basis van de aangetroffen vezelstructuren wordt de verontreinigingsgraad in verschillende klassen aangeduid: - (< 1 asbeststructuren/cm²), +/- (1-100 asbeststructuren/cm²), + (101-500 asbeststructuren/cm²) en ++ (> 500 asbeststructuren/cm²).

4.4.4 Nauwkeurigheid van de meetmethoden

De nauwkeurigheid van de meetresultaten wordt bepaald door systematische fouten en toevallige fouten. Systematische fouten kunnen ontstaan tijdens:

- **Monsterneming:** bij luchtmetingen is de belangrijkste foutenbron het bepalen van het volume doorgezogen lucht; op basis van validatie onderzoek ten behoeve van NEN-ISO 14966 is deze kleiner dan 15%. De belangrijkste foutenbron bij de monsterneming van regenwater en slib is de bepaling van de hoeveelheid neerslag om de totale asbestemissie (per m² per jaar) te kunnen uitrekenen. Hierbij is uitgegaan van meteogegevens afkomstig van nabij gelegen weerstations, die kunnen afwijken van de specifieke locatie van het onderzoeksobject. Door vergelijking van meteogegevens van meerdere weerstations rondom de onderzoeksobjecten wordt de fout geschat op ca. 15% (5 – 20%).
- **Monsterpreparatie:** verliezen door monstervoorbewerkingstappen zoals drogen, plasma(verassen), filtreren, deelmonsternamen, etc.. De systematische fout als gevolg van monsterpreparatietechnieken is relatief klein, deze wordt geschat op kleiner dan 5%.
- **Analyse:** de resolutie van de microscoop en analyseprocedure hebben een belangrijke invloed op de zichtbaarheid van dunne vezels. Ten behoeve van de bepaling van de achtergrondconcentratie zijn dunne vezels belangrijk. Met de FEG-SEM-EDX in combinatie met de NEN-ISO 14966 methode wordt een resolutie van 0,1 µm bereikt; in combinatie met de door TNO ontwikkelde methode voor de bepaling van achtergrondconcentraties is een resolutie van 0,04 µm haalbaar. Uit eerdere onderzoeken uitgevoerd met transmissie elektronenmicroscopie (TEM) blijkt dat 50% van de asbestvezels in de Nederlandse buitenlucht een diameter heeft groter dan ca. 0,1 µm en dat 95% een diameter heeft groter dan ca. 0,04 µm (Tromp, 2016). Uit het huidige onderzoek blijkt dat 95% van de vrijkomende vezels vanuit asbestdaken een vezeldiameter heeft groter dan 0,1 µm (paragraaf 6.3). De NEN-ISO 14966 methode is daarom wel geschikt om de verspreiding van asbestvezels vanuit asbestdaken in kaart te brengen maar is niet geschikt om de achtergrondconcentratie te bepalen.

Andere belangrijke foutenbronnen bij de analyse met SEM-EDX zijn de vezelidentificatie en vezeltelling; op basis van validatie onderzoek ten behoeve van NEN-ISO 14966 is deze kleiner dan 35% respectievelijk 15% bij inter- en intra laboratorium vergelijking. De bepaling van het massapercentage aan asbest in slib wordt uitgevoerd op basis van een visuele schatting. De fout als gevolg van deze visuele schatting is bepaald op basis van de 2^e lijns controle binnen TNO (heranalyse door meerdere analisten) en is ca. 30%. Bij de presentatie van de analyseresultaten is rekening gehouden met deze systematische fout in de vorm van een betrouwbaarheidsinterval.

Toevallige fouten ontstaan door de combinatie van steekproefgrootte (percentage van het deelmonster dat wordt afgezocht op asbestvezels) en Poisson variabiliteit; deze laatste fout neemt toe wanneer minder vezels worden geteld. De toevallige fout in het meetresultaat wordt uitgedrukt in een 95%-betrouwbaarheidsinterval uitgaande van de Poisson verdeling (zie NEN-ISO 14966). Op basis van deze verdeling is de toevallige fout bij de analyse van het regenwater ca. 15 – 30% en bij de analyse van de luchtfilters (voor de bepaling van de achtergrondconcentratie) ca. 100 – 300%. De toevallige fout als gevolg van de Poisson variabiliteit wordt standaard meegenomen bij de presentatie van de analyseresultaten; dit is het 95%-betrouwbaarheidsinterval.

5 Resultaten

5.1 Beoordeling verwerking asbestdaken

In Tabel 18 staan de resultaten samengevat van de beoordeling van de algehele conditie van het dak op basis van het TNO beoordelingssysteem, de aantasting van het oppervlak op basis van visuele inspectie met het ongewapende oog en de resultaten van de kleefestmethode van VITO. Op alle locaties was het asbestcement oppervlak in meer of mindere mate aangetast, wat zich uit in verruwing van het oppervlak met putten en zichtbare vezelbundels aan het oppervlak die niet meer goed zijn ingesloten in de matrix. Delaminatie verschijnselen (loszittende schilfers/laagjes) aan de dakranden waren op alle locaties nauwelijks aanwezig. Uit de resultaten kan worden opgemaakt dat de verwerking van de daken op de locaties Barneveld, Hoevelaken-1 en Loenen substantieel is (behoorlijk – ernstig verweerd). Op de locaties Hoevelaken-2, Lelystad en Milheeze is de verwerking minder (licht – matig verweerd).

Tabel 18: Overzicht van de beoordelingsresultaten met betrekking tot de algehele conditie en verweringsgraad van de gevel en/of het dak

Locatie	Type object	Beoordelingssysteem conditie dak				Inspectie aantasting oppervlak	Kleefest klasse indeling
		Leeftijd (jaren)	Inspectie (score)	Fictieve leeftijd	Klasse indeling		
Barneveld	kalverstallen	36 - 41	21	57 - 62	Slecht	Sterk	++
Hoevelaken (1)	voormalig kippenhok (1)	64	22 *	86	Zeer slecht	Sterk	++
	voormalige veestal (2)	54	19 *	73	Slecht	Sterk	++
	voormalige varkensstal (3)	49	19 *	68	Slecht	Sterk	+
Hoevelaken (2)	voormalige varkensstal (1)	46	11 *	57	Matig	Matig	++
	Kalverenstal (2)	36	15 *	51	Matig	Matig	++
Lelystad (1)	woning	39-41	5	44 - 46	Redelijk	Matig	+
Lelystad (2)	woning	39-41	5	44 - 46	Redelijk	Matig	++
Loenen	voormalige varkensstal (1)	~50	17 *	~67	Slecht	Sterk	++
	(kap)schuren (2 + 3)	~50	15	~65	Slecht	Sterk	++
Milheeze	varkens- en koeienstal (1 + 2)	45	13	58	Matig	Matig	+ / +

* bij de beoordeling is aangenomen dat de eerste helft van de tijd het object is gebruikt als stal en de tweede helft als schuur/loods.

5.2 Luchtmetingen

In Tabel 19 zijn de concentraties asbestvezels en andere anorganische vezels (o.a. natuurlijke vezelvormige silicaten, synthetische vezels zoals steenwol-, glaswol- en keramische- vezels) weergegeven zoals zijn aangetroffen in de luchtmonsters. In de tabel wordt de concentratie inclusief het 95% betrouwbaarheidsinterval (Poisson) weergegeven van vezels met een lengte langer en korter dan 5 µm. De buitenluchtfilters in de zomer op locaties Barneveld, Loenen, Hoevelaken-1,

Lelystad-1 en Milheeze zijn volgens 2 aparte analysemethoden geanalyseerd: de standaard NEN-ISO 14966 methode en de door TNO ontwikkelde methode voor achtergrondconcentraties in de buitenlucht (Tromp, 2016).

Tabel 19: Concentratieniveaus van asbestvezels en overige anorganische vezels met lengte > 5 µm en < 5 µm.

Locatie	Periode	Locatie meting	Asbestvezels <5 µm (vezels/m ³) ^{a,b}		Asbestvezels >5 µm (vezels/m ³) ^{a,b}		Anorganische vezels (vezels/m ³)	
			nominaal	95%-BI	nominaal	95%-BI	nominaal	95%-BI
Barneveld	Zomer	Buitenlucht	-	< 30	-	< 30	110	55-200
		Buitenlucht ^d	23 (chr)	1 - 130	-	< 69	x	x
		Woning	-	< 31	-	< 31	10	11-120
Hoevelaken (1)	Zomer	Buitenlucht	-	< 13	-	< 13	39	18-74
		Buitenlucht ^d	14 (cro)	1 - 79	14 (chr)	1 - 79	x	x
		Woning	-	< 19	-	< 19	6,2	0,2-35
		Schuur	-	< 16	-	< 16	490	390-600
	Winter	Bovenwinds	-	< 10	-	< 10	24	9,5-49
		Benedenwinds	-	< 11	-	< 11	54	30-90
		Schuur ^{c)}	-	< 42	-	< 42	210	120-350
Hoevelaken (2)	Winter	Bovenwinds	-	< 9	-	< 9	-	< 9
		Benedenwinds	-	< 9	-	< 9	-	< 9
		Kantoor	-	< 32	-	< 32	-	< 32
Lelystad (1)	Zomer	Buitenlucht	-	< 12	-	< 12	260	200-330
		Buitenlucht ^d	12 (chr)	1 - 66	-	< 35	x	x
		Woning	-	< 19	-	< 19	58	27-110
Lelystad (2)	Winter	Bovenwinds	-	< 10	-	< 10	24	9,6-49
		Benedenwinds	-	< 10	-	< 10	21	7,6-45
		Woning	-	< 18	-	< 18	6	0,1-33
Loenen	Zomer	Buitenlucht	-	< 11	-	< 11	140	100-200
		Buitenlucht ^d	-	< 32	-	< 32	x	x
		Woning	-	< 22	-	< 22	22	4,5-64
		Schuur	-	< 10	-	< 10	92	61-130
	Winter	Bovenwinds	-	< 10	-	< 10	92	62-130
		Benedenwinds	-	< 9	-	< 9	-	< 9
		Woning	-	< 18	-	< 18	-	< 18
Schuur	-	< 13	-	< 13	44	21-81		
Milheeze	Zomer	Buitenlucht	-	< 11	-	< 11	-	< 11
		Buitenlucht ^d	-	< 34	-	< 34	x	x
		Woning	-	< 32	-	< 32	-	<
		Schuur	-	< 11	-	< 11	-	< 11

a) De nominale (gemiddelde) concentratie is de meest waarschijnlijke concentratie op basis van het aantal getelde vezels.

b) Het 95%-betrouwbaarheidsinterval (95%-BI) geeft de meetonzekerheid aan op basis van de Poissonverdeling (NEN-ISO 14966). Bij het niet aantreffen van vezels wordt de bepalingsondergrens (<) weergegeven op basis van het eenzijdige betrouwbaarheidsinterval.

c) De meting is uitgevoerd bij actieve ventilatie in de ruimte door twee ventilatoren.

d) Deze extra analyse is uitgevoerd conform de door TNO ontwikkelde methode voor achtergrondconcentraties in de buitenlucht (Tromp, 2016); hierbij zijn de overige anorganische vezels niet meegeteld (x).

Bij toepassing van de standaard NEN-ISO 14966 analysemethode zijn op de filters geen asbestvezels aangetoond. Wel zijn op een groot deel van de filters andere anorganische vezels aangetroffen. Bij toepassing van de door TNO ontwikkelde methode voor achtergrondconcentraties in de buitenlucht (Tromp, 2016) zijn op 3 van de 5 filters wel asbestvezels aangetoond. Met

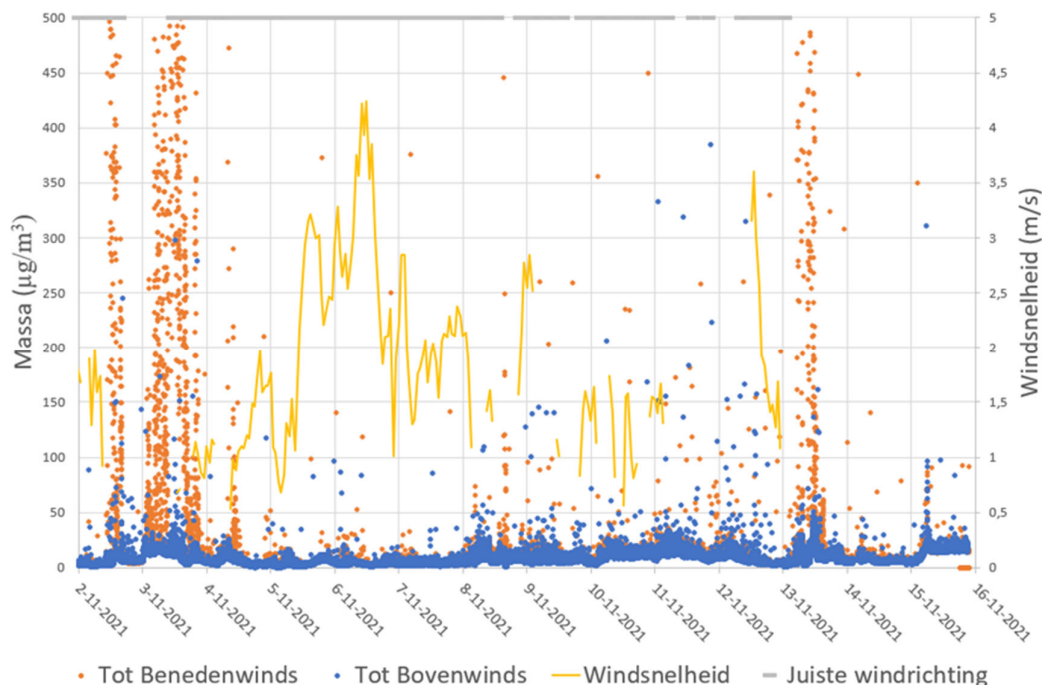
uitzondering van Hoevelaken-1 is op alle locaties de concentratie anorganische vezels in de buitenlucht hoger dan de concentratie anorganische vezels in de binnenlucht. Met uitzondering van Loenen zijn de concentraties aan anorganische vezels op de benedenwindse en bovenwindse meetposities vrijwel identiek. Op locatie Hoevelaken-1 is in de winterperiode een actieve meting in de schuur uitgevoerd, waarbij twee ventilatoren zijn gebruikt om gesedimenteerd (historisch) stof in de lucht te brengen. Ten opzichte van de meting in de zomerperiode is de concentratie aan anorganische vezels niet toegenomen, maar juist afgenomen. Dit kan te maken hebben met bepaalde activiteiten in de zomerperiode, maar ook meer heersende weersomstandigheden (o.a. vochtigheid).

5.3 Continue fijnstof metingen

Voorafgaand aan de fijnstof metingen op de locaties Hoevelaken-1, Hoevelaken-2, Lelystad-2 en Loenen hebben de twee fijnstof monitoren (Grimm EDM-180) gedurende 2 weken op de TNO locatie in Utrecht gestaan voor onderlinge kalibratie. Met behulp van dit vergelijkbaarheidsonderzoek zijn correctiefactoren bepaald zodat de gemeten concentraties met de twee monitoren vergelijkbaar zijn. Na de kalibratie zijn de fijnstof monitoren naast de beneden- en bovenwindse filtermetingen geplaatst aan weerszijde van het asbestcement dak. In combinatie met gegevens over windrichting en windsnelheid kan hiermee de bijdrage van het asbestcement dak op de fijnstof concentratie in de lucht (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) worden bepaald. De bijdrage wordt bepaald door eerst een selectie te maken van metingen waarbij de wind met voldoende snelheid ($> 0,5 \text{ m/sec}$) over het dak waait, vanuit de bovenwindse opstelling in de richting van de benedenwindse opstelling. Deze zogenoemde windhoek is ook gebruikt voor de aansturing van de windrichting-aangestuurde filtermetingen. Van alle metingen bij bovengenoemde windhoek, worden de fijnstof concentraties van de bovenwindse metingen afgetrokken van de simultaan gemeten fijnstof concentraties van de benedenwindse metingen. Het resultaat zijn minuutgemiddelde netto fijnstof concentraties die het gevolg zijn van de deeltjesemissie afkomstig van de schuur met asbestcement dak.

In Figuur 12 is een voorbeeld gegeven van de windrichting-aangestuurde metingen in Loenen, over de meetperiode 2 – 16 november 2021. Hierbij zijn de beneden- en bovenwindse metingen als datapunten in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ weergegeven en is met de grijze balk zichtbaar gemaakt wanneer de wind over het asbestdak heeft gewaaid in de richting van het benedenwindse stations. Tevens is de windsnelheid in m/sec aangegeven om te kunnen beoordelen of de deeltjes emissie correleert met de windsnelheid. In Bijlage I: Beschrijving meetlocaties zijn dezelfde figuren voor de locaties Hoevelaken-1, Hoevelaken-2 en Lelystad weergegeven.

Op meerdere locaties zijn meerdere uitschieters (extreem hoge concentraties) te zien. Gezien het feit dat deze emissies geen relatie hebben met de windsnelheid is het twijfelachtig dat deze uitschieters afkomstig zijn van deeltjesemissie van het asbestcement dak. Namelijk, ook andere activiteiten rondom de schuren kunnen hiervan de oorzaak zijn. Daarom is de netto fijnstof concentratie over de gehele meetperiode berekend op basis van zowel het rekenkundig als geometrisch gemiddelde van de netto minuutgemiddelde fijnstof concentraties (Tabel 20). De geometrisch gemiddelde concentratie wordt veel minder beïnvloed door deze hoge piek concentraties en geeft een representatiever beeld van de gemiddelde netto fijnstof bijdrage van het asbestcement dak. De verschilwaarden zijn voorzien van een standaarddeviatie. Deze standaarddeviatie is bepaald op basis van meetdata van de vier locaties waarbij de windrichting haaks op het dak stond. Hierbij hebben beide fijnstof monitoren geen invloed van het asbestcement dak en zouden in het ideale geval precies dezelfde concentratie moeten aangegeven. Op basis van deze meetdata is een variatie in de meetdata van de twee fijnstof monitoren geconstateerd van ca. 20%. Op basis hiervan blijkt dat alleen voor Loenen en Hoevelaken-1 de bijdrage van het asbestcement dak op de fijnstof concentratie significant is.



Figuur 12: Fijnstof concentraties, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, op de benedenwindse (oranje punten) en bovenwindse (blauwe punten) meetstations van de locatie Loenen, in relatie tot de windrichting (grijze balk bij wind over het asbestcement dak) en windsnelheid (gele lijn).

Tabel 20: Gemiddelde boven- en benedenwindse fijnstof concentraties en de verschilconcentraties als rekenkundig gemiddelde (AM) en geometrisch gemiddelde (GM) waarden inclusief standaarddeviatie (SD) over de gehele meetperiode.

Locatie	Meetperiode	Concentratie fijnstof ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
		Bovenwinds		Benedenwinds		Verschil	
		AM	GM	AM	GM	AM \pm SD	GM \pm SD
Loenen	2-11-2021 - 16-11-2021	6,6	5,0	20,6	6,2	14,0 \pm 1,3	1,2 \pm 1,0
Hoevelaken-1	16-11-2021 - 26-11-2021	8,6	5,5	12,4	7,2	3,8 \pm 1,7	1,7 \pm 1,1
Hoevelaken-2	27-12-2021 - 17-1-2022	5,5	4,8	6,7	5,4	1,3 \pm 1,1	0,7 \pm 1,0
Lelystad-2	19-1-2022 - 11-2-2022	16,0	5,1	9,1	4,9	-7,0 \pm 3,2	-0,2 \pm 1,0

5.4 Regenwater en slib

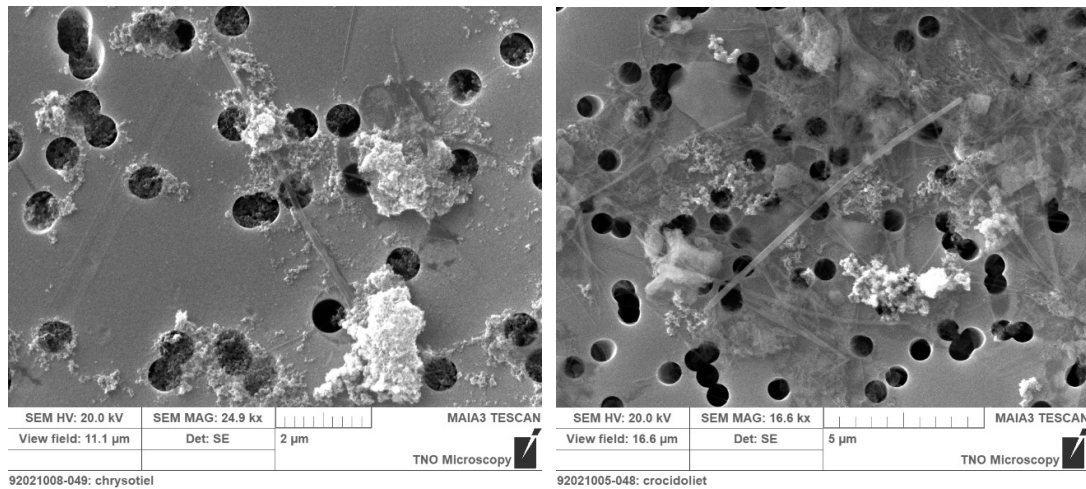
In Tabel 21 zijn de asbestvezelconcentraties weergegeven voor de negen monsters regenwater, bemonsterd gedurende de zomer- (5x) en winterperiode (4x). De asbestconcentratie is weergegeven in vezels $> 5 \mu\text{m}$ per liter met een 95% betrouwbaarheidsinterval op basis van de Poisson-statistiek. Indien in het monster geen asbestvezels zijn aangetroffen, wordt alleen de bepalingsgrens vermeld. In alle regenwatermonsters zijn asbestvezels gedetecteerd van het type chrysotiel. In het water bemonsterd op meetlocatie Loenen zijn ook amfibole asbestvezels van het type crocidoliet aangetroffen. Representatieve SEM opnamen van de aangetroffen vezels zijn weergegeven in Figuur 13.

In Tabel 22 zijn de resultaten weergegeven van de opgevangen slibfractie. De totale massa aan asbest in het slib is berekend op basis van het geschatte percentage aan asbest in de asrest. De

percentages zijn geschat door meerdere analisten, waarna het gemiddelde geschatte percentage is bepaald. De laagste en hoogste geschatte percentages zijn gebruikt als onder- en bovengrenzen.

Op basis van de analyseresultaten van de monsters regenwater en slib (Tabel 21 en 22) in combinatie met gegevens van het dakoppervlak dat is gebruikt voor het opvangen van regenwater en slib en lokale neerslaggegevens afkomstig van de nabijgelegen KNMI neerslagstations zijn emissiefactoren voor uitspoeling afgeleid voor asbestvezels (vezels/m²/maand) en totaal asbest (gr/m²/maand) (Tabel 23). Deze waarden zijn berekend voor de periode van monsterneming in de zomer en/of de winter. Het dakoppervlak (Opp) is bepaald op basis van de bemonsterde breedte ($B_{Dak} = 1$ m) en de lengte (nok tot de dakrand) van het dak. De lengte is berekend op basis van de hellingshoek ($\angle\alpha_{Dak}$). Daartoe is gebruik gemaakt van vergelijking (2).

$$(2) \quad Opp = \frac{L_{Dak} \times B_{Dak}}{\cos(\angle\alpha_{Dak})}$$



Figuur 13: Representatieve secundaire elektronen (SE) beelden van asbest vezels gedetecteerd in de watermonsters; (links) chrysotiel en (rechts) crocidoliet

Tabel 21: Totaal vezelconcentratieniveaus aan chrysotiel, crocidoliet (amfibool) en totaal asbest, inclusief 95% betrouwbaarheidsinterval (Poissonverdeling)

Locatie	Periode	Chrysotiel [10 ⁵ vezels/L]		Amfibool asbest [10 ⁵ vezels/L]		Totaal asbest ^{a)} [10 ⁵ vezels/L]	
		Nominaal ^{b)}	95% BI ^{c)}	Nominaal	95% BI	Nominaal	95% BI
Barneveld	Zomer	45	36-56	-	<1,7	45	36-56
Hoevelaken-1	Zomer	13	9,2-17	-	<0,8	13	9,2-17
	Winter	1,3	1-1,8	-	<0,1	1,3	1-1,8
Hoevelaken-2	Winter	16	13-21	-	<0,8	16	13-21
Lelystad-1	Zomer	3	0,6-8,9	-	<3	3,0	0,6-8,9
Lelystad-2	Winter	3,2	2,4-4,2	-	<2	3,2	2,4-4,2
Loenen	Zomer	24	19-30	5,1 ^{d)}	3-8	29	24-35
	Winter	6,3	4,7-8,3	4,3 ^{d)}	3-6	11	8,5-13
Milheeze	Zomer	0,8	0,5-1,2	-	<0,1	0,8	0,5-1,2

a) Totaal asbest is de concentratie chrysotiel en de concentratie amfibool asbest

b) De nominale (gemiddelde) concentratie is de meest waarschijnlijke concentratie op basis van het aantal getelde asbestvezels.

c) Het 95%-betrouwbaarheidsinterval (95% BI) geeft de meetonzekerheid aan op basis van de Poissonverdeling (NEN-ISO 14966), weergegeven als de beneden- en de bovengrens. Bij het niet aantreffen van vezels wordt de bepalingsondergrens (<) weergegeven op basis van het eenzijdige betrouwbaarheidsinterval.

d) Op de meetlocatie in Loenen is crocidoliet gedetecteerd.

Tabel 22: Asbestconcentratie in de bemonsterde slibfractie in gram totaal asbest en in percentage ten opzichte van het drooggewicht, inclusief betrouwbaarheidsinterval

Locatie	Periode	Massa slib (gr)	Asrest (%)	Geschat % asbest	Asbest in slib	
					massa (gr)	% in slib
Barneveld	Zomer	32	16	21,5 (12,5 – 30)	3,4 (2,0 – 4,8)	11 (6 – 15)
Hoevelaken-1	Zomer	61	14	50 (40 – 60)	7,2 (5,8 – 8,6)	12 (9 – 14)
	Winter	4,8	2,1	50 (40 – 60)	1,1 (0,9 – 1,3)	23 (18 – 27)
Hoevelaken-2	Winter	3,9	0,7	7,5 (2 – 12,5)	0,05 (0,01 – 0,09)	1,3 (0,4 – 2,3)
Lelystad-1	Zomer	2,5	1,1	37,5 (25 – 50)	0,4 (0,30 – 0,60)	17 (11 – 23)
Lelystad-2	Winter	1,9	0,5	37,5 (25 – 50)	0,20 (0,13 – 0,26)	10 (7 – 14)
Loenen	Zomer	22	4,3	57,5 (40 – 75)	2,5 (1,7 – 3,2)	11 (8 – 15)
	Winter	0,6	0,2	60 (50 – 70)	0,12 (0,10 – 0,14)	20 (17 – 23)
Milheeze	Zomer	23	12	2,5 (1 – 3,5)	0,27 (0,12 – 0,42)	1,2 (0,5 – 1,8)

Tabel 23: Emissiefactoren voor de uitspoeling van asbest via het dakoppervlak afgeleid voor asbestvezels (vezels/m²/maand) en totaal asbest (gr/m²/maand) in de periode van monsterneming (zomer en winter), inclusief betrouwbaarheidsinterval

Locatie	Periode	Dak oppervlak (m ²)	Neerslag (mm)	Opgevangen regenwater (L)	Uitspoeling asbest via dakoppervlak	
					gram/m ² /maand	vezels/m ² /maand x 10 ⁸
Barneveld	Zomer	3,8	188	706	0,39 (0,23 – 0,55)	3,6 (2,9 – 4,5)
Hoevelaken-1	Zomer	8,0	183	1461	0,39 (0,31 – 0,46)	1,0 (0,7 – 1,3)
	Winter	8,0	125	1000	0,05 (0,04 – 0,07)	0,07 (0,05 – 0,09)
Hoevelaken-2	Winter	11,2	118	1322	0,006 (0,002–0,01)	1,3 (1,0 – 1,6)
Lelystad-1	Zomer	2,9	150	431	0,06 (0,04 – 0,08)	0,2 (0,04 – 0,6)
Lelystad-2	Winter	2,9	157	455	0,05 (0,03 – 0,07)	0,4 (0,3 – 0,5)
Loenen	Zomer	6,4	204	1295	0,13 (0,09 – 0,17)	2,0 (1,7 – 2,4)
	Winter	6,4	110	707	0,01 (0,009 – 0,02)	0,7 (0,5 – 0,8)
Milheeze	Zomer	8,9	125	1109	0,01 (0,005 – 0,02)	0,04 (0,03 – 0,07)

Uit de resultaten blijkt dat de uitspoeling van asbest in de zomer sneller verloopt dan in de winter. Directe doorrekening naar emissiefactoren per jaar is daarom lastig. De locaties Hoevelaken-1, Lelystad en Loenen zijn zowel in de zomer als in de winter bemonsterd; voor deze locaties wordt aangenomen dat de uitspoeling over een jaar het gemiddelde is van de zomer- en wintergegevens. Voor de locaties Hoevelaken-2, Barneveld en Milheeze wordt voor de berekening gebruik gemaakt van de verhouding van de uitspoeling van asbest in de winter en zomer van de locaties met asbestcement golfplaten: Hoevelaken-1 (14%) en Loenen (8%). Op basis van bovenstaande aannamen zijn in Tabel 24 de jaarlijkse emissiefactoren, in gr/m²/jaar en vezels/m²/jaar gegeven. Ter vergelijking is hierin ook de leeftijd van het dak en de verweringsgraad op basis van visuele inspectie en kleefmonsters gegeven.

Tabel 24: Jaarlijks emissiefactoren voor de uitspoeling van asbest via het dakoppervlak in gram/m²/jaar en vezels/m²/jaar (inclusief betrouwbaarheidsinterval) en vergelijking met de verweringsgraad op basis van visuele inspectie en kleefmonsters.

Locatie	Leeftijd dak (jaren)	Verwerkingsgraad		Uitspoeling asbest via dakoppervlak	
		Visuele inspectie	Kleef monsters	gram/m ² /jaar	vezels/m ² /jaar x 10 ⁹
Barneveld	36 - 41	Sterk	++	2,6 (1,5 – 3,8)	2,4 (1,9 – 3,1)
Loenen	~50	Sterk	++	0,9 (0,6 – 1,1)	1,6 (1,3 – 1,9)
Hoevelaken-1	54	Sterk	++	2,7 (2,1 – 3,2)	0,7 (0,5 – 0,9)
Hoevelaken-2	36	Matig	++	0,3 (0,1 – 0,5)	7,5 (4,9 – 13)
Milheeze	45	Matig	+	0,2 (0,1 – 0,3)	0,06 (0,04 – 0,09)
Lelystad	39 – 41	Matig	+ / ++	0,7 (0,5 – 0,9)	0,3 (0,2 – 0,6)

5.5 Gesedimenteerd stof

In Tabel 25 zijn de resultaten van de monsters gesedimenteerd stof weergegeven. Alleen in de schuur van Hoevelaken-1 en Loenen is een spoor (+/-) chrysotiel aangetroffen. In de stal van Hoevelaken-2 en Barneveld en is geen meting verricht omdat hiervoor geen toestemming was. In de woning van Hoevelaken-1 is geen meting uitgevoerd in verband met de renovatie van het huis.

Tabel 25: Overzicht van de resultaten van de monsters gesedimenteerd stof

Locatie	Object	Beschrijving monsternemingsplek	Resultaat	
			Asbest *	overige
Barneveld	woning	kast en TV in woning	-	-
Hoevelaken-1	schuur	horizontale draagbalken in schuur	+/- CHR	+ steenwol
Hoevelaken-2	woning	twee kasten in kantoor	-	-
Lelystad-1	woning	kast in woonkamer en keuken	-	-
Lelystad-2	woning	kast en TV in woonkamer	-	-
Loenen	woning	horizontale draagbalken in schuur	+/- CHR	+/- steenwol
	schuur	boekenkast en TV in woonkamer	-	-
Milheeze	woning	kast in woonkamer en keuken	-	+/- steenwol
	schuur	vloer en stalen rails schuifdeur	-	+/- steenwol

* CHR = chrysotiel

6 Evaluatie onderzoeksresultaten

6.1 De emissie van asbest(vezels) vanuit verwerende asbestdaken

Op vijf locaties in de zomer en vier locaties in de winter is het uitgespoelde asbestslib inclusief de asbestvezels gedurende 2 maanden opgevangen met door TNO ontwikkelde regenwaterbakken. Op basis van deze metingen is een gemiddelde maandelijkse emissies in de zomer en winter berekend van respectievelijk 0,2 (0,01 – 0,4) en 0,03 (0,01 – 0,05) gram per m² dakoppervlak. Op basis van metingen op de locaties Loenen en Hoevelaken-1, waar zowel in de zomer als in de winter uitgespoeld asbestslib is opgevangen, blijkt dat in de zomer de uitspoeling van asbestslib gemiddeld een factor 10 sneller verloopt dan in de winter. Op basis van bovengenoemde emissiegegevens zijn voor elke locatie jaarlijkse emissiefactoren afgeleid (zie Tabel 24). De locatie specifieke emissiefactoren zijn op basis van de verweringsgraad van het asbestcement dak gegroepeerd waarna rekenkundige en geometrische gemiddelde waarden voor matig en sterk verwerende daken zijn berekend (zie Tabel 26).

Tabel 26: Jaarlijks emissiefactoren voor de uitspoeling van asbest via het dakoppervlak in gram/m²/jaar en losse vezels/m²/jaar, inclusief standaarddeviatie (SD), bij sterk en matig verwerende daken

Leeftijd asbestdak	Verwerking asbestcement dak		Uitspoeling asbest via dakoppervlak			
	Visuele inspectie	Kleefmonsters	gram/m ² /jaar		vezels/m ² /jaar x 10 ⁹	
			AM ± SD	GM	AM ± SD	GM
48 (39 – 54)	sterk	++	2,0 ± 1,0	1,8	1,6 ± 0,9	1,4
40 (36 – 45)	matig	+ / ++	0,4 ± 0,3	0,4	2,6 ± 4,2	0,5
36 - 54	sterk + matig		1,2 ± 1,1	0,8	2,1 ± 2,8	0,8

De gemiddelde jaarlijkse emissie van asbest via uitspoeling met regenwater is 1,2 ± 1,1 (SD) gram per m² dakoppervlak per jaar, met een laagst gemeten waarde van 0,2 (Milheeze) en een hoogste gemeten waarde van 2,7 (Hoevelaken-1) gr/m²/jaar. Voor matig en sterk verwerende asbestdaken ligt de jaarlijkse emissie op respectievelijk 0,4 ± 0,3 (SD) en 2,0 ± 1,0 (SD) gr/m²/jaar. De gemiddelde jaarlijkse emissie van losse asbestvezels via uitspoeling met regenwater is 2,1 ± 2,8 (SD) x 10⁹ vezels per m² dakoppervlak per jaar, met een laagst gemeten waarde van 0,06 x 10⁹ (Milheeze) en een hoogste gemeten waarde van 7,5 x 10⁹ (Hoevelaken-2) vezels/m²/jaar. Op basis van de vezeldimensies (lengte en diameter) en de dichtheid van asbest is de massa aan respirabele asbestvezels berekend op 17 (0,5 – 57) mg/m²/jaar, dit is ca. 1% op de totale hoeveelheid aan uitgespoeld asbest.

Omdat tijdens de blootstellingsmetingen en windrichting-aangestuurde metingen in de nabijheid van de asbestcementdaken geen asbestvezels in de lucht zijn aangetroffen (concentratie < 10 vezels/m³) kan de emissie via luchterosie niet exact worden bepaald. Op basis van fijnstof metingen aan weerszijden van het asbestcement dak kan de bijdrage van het asbestcement dak op de fijnstof concentratie op het benedenwindse meetpunt wel bepaald worden (zie Tabel 20). De maximale bijdrage van matig en sterk verwerende asbestcement daken is berekend op respectievelijk ≤ 0,7 µg/m³ en 1,2 – 1,7 µg/m³, op basis van het geometrisch gemiddelde. Hierbij is aangenomen dat de bijdrage alleen het gevolg is van vrijkomende deeltjes van de verwerende daken en dat overige activiteiten en/of processen rondom de gebouwen geen rol spelen; de bijdragen moeten daarom worden beschouwd als maximum waarden.

Ondanks dat de emissiefactor via luchterosie niet exact berekend kan worden, kan wel een schatting van de maximale vezelconcentratie worden afgegeven van de emissie, in vezels/m²/jaar, op basis van de bepalingsgrens (ca. < 10 vezel/m³) van de buitenluchtmetingen. Ook is een schatting van de

emissie, in $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jaar}$ mogelijk op basis van de fijnstof metingen, waarbij een aanname wordt gemaakt van het percentage asbest in het fijnstof. Op basis van het onderzoek van VITO (Tabel 13, Peters et al., 2015) naar de asbestconcentratie van slib in dakgoten is het percentage asbest geschat op ca. 0,3%. Bij de schattingen is gebruik gemaakt van het lijwervel model (Duyzer et al., 2004).

Een lijwervel ontstaat aan de lizijde van een gebouw als gevolg van invloed van het gebouw op de vrije stroming van wind. Er ontstaat daarbij een gebied achter het gebouw waar de windsnelheid is vermindert. De asbestvezels afkomstig van het asbestcement dak van het gebouw komen (onder bepaalde condities) in deze wervel terecht en worden daar maar beperkt verdund. De concentratie in de wervel is daardoor relatief hoog vergeleken met de concentratie zoals die zou worden gevonden wanneer normale verspreiding door de wind optreedt, zonder het gebouw (schuur/loods, stal, huis). De wervel strekt zich uit over een bepaalde afstand achter het gebouw die maximaal 7x de dakhoogte is. Met formule (3) wordt het lijwervelmodel kwantitatief beschreven (Duyzer et al., 2004):

$$(3) \quad C = \frac{Q}{K \times A \times U_h}$$

Hierin is 'C' de concentratie in de lijwervel in vezels/ m^3 of $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 'Q' de emissiefactor in vezels/sec of $\mu\text{g}/\text{sec}$, 'A' het oppervlak van het gebouw op de windrichting geprojecteerd (hoogte x breedte) in m^2 , 'U_h' de windsnelheid op dakhoogte in m/sec en 'K' een dimensieloze vormfactor. De K waarde is afhankelijk van de afmeting van het gebouw en de oriëntatie op de windrichting. Voor een lang breed gebouw met loodrechte aanstroming is 'K' ongeveer één. Bij kleinere gebouwen en/of zonder loodrechte aanstroming wordt 'K' kleiner. Er is in deze berekeningen uitgegaan van een K factor van 0,2, in overeenstemming met Van Melle (1984).

Op basis van formule (3) is voor alle locaties de totale emissiefactor per gebouw berekend waarna deze is gecorrigeerd voor het dakoppervlak om de emissiefactor, in vezels/ m^2/jaar en $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jaar}$ in te kunnen schatten. Voor de bemeeten locaties in de winter is de asbestemissie via luchterosie geschat op 0,012 (0 – 0,025) $\text{gr}/\text{m}^2/\text{jaar}$. Dit betekent dat, op basis van de fijnstof metingen en het geschatte percentage asbest in fijnstof, het maximale aandeel van luchterosie op de totale asbestemissie ca. 5% is. Op basis van de gemeten vezelconcentratie (bepalingsgrens ca. 10 v/ m^3) gedurende de zomer- en winterperiode is de maximale asbestvezelemissie via luchterosie geschat op 0,08 (0,01 – 0,21) $\times 10^9$ vezels/ m^2/jaar . Dit betekent dat het maximale aandeel van luchterosie op de totale emissie aan losse asbestvezels ca. 10% is. Echter, wanneer rekening wordt gehouden met de totale hoeveelheid aan uitgespoeld asbest (conglomeraten van samengeklitte vezelbundels en matrixdeeltjes, vezelbundels en losse vezels) is het maximale aandeel van luchterosie op de totale asbestemissie ca. 0,1%.

De meetresultaten van dit onderzoek bevestigen het beeld dat is ontstaan op basis van de resultaten van ander onderzoek (Fischer & Meyer, 1983; Bornemann & Hildebrand, 1986; Spurny, 1989; Brown, 1998). Zoals in paragraaf 3.2.1 staat beschreven liggen de emissiefactoren van andere onderzoeken die enigszins representatief zijn voor de Nederlandse situatie tussen de 0,5 en 4 $\text{gram}/\text{m}^2/\text{jaar}$. De door TNO bepaalde emissiefactoren geven een verdere detaillering van de in 2007 gepubliceerde globale indicatie van "gemiddeld 1 - 3 $\text{gram asbest}/\text{m}^2/\text{jaar}$ " (Tromp, 2007), rekening houdend met de verweringsgraad en seizoensinvloeden. De emissie van asbest door uitspoeling is verreweg de meest dominante route.

Er lijkt een relatie te bestaan tussen de ouderdom van het dak en de emissie van asbest(vezels). Gezien de steeds hogere leeftijd van de asbestdaken zal de emissie van asbest(vezels) vanuit verwerende asbestdaken de komende jaren gaan toenemen: dit blijkt zowel uit gegevens van dit onderzoek en ander onderzoek (zie Hoofdstuk 3). Echter, door de grote variatie in verwerende daken ontbreekt een éénduidige correlatie en is een accurate prognose van het verloop van de verwerking en de toename in de emissie van asbestvezels vooralsnog niet mogelijk. Op basis van de

in dit onderzoek bepaalde emissiefactoren voor uitspoeling en luchterosie en het huidige geschatte totale oppervlak aan asbestdaken in Nederland van ca. 74 mln m²⁵ kan wel een indicatie worden gegeven van de hoeveelheid vrijkomende asbest(vezels) vanuit asbestdaken op dit moment. Als wordt aangenomen dat het aantal sterk en matig verweerde asbestdaken in Nederland ongeveer gelijk is kan een jaarlijkse emissie via uitspoeling van 1,2 (0,2 – 2,7) gram/m²/jaar worden aangehouden en een jaarlijkse emissie via luchterosie van maximaal 0,08 (0,01 – 0,21) x 10⁹ vezels/m²/jaar. Dit betekent een totale hoeveelheid van ongeveer 90 (15 – 200) ton asbest dat per jaar via uitspoeling vrijkomt. Voor luchterosie gaat het om maximaal 6 (0,7 – 16) x 10¹⁵ vezels per jaar die in de lucht terecht komen; omgerekend naar massa betekent dit maximaal 50 kg per jaar. De hoeveelheid uitgespoeld asbest zal, afhankelijk van de regenwaterafvoer, deels via het rioolwater worden afgevoerd naar rioolwaterzuiveringsinstallaties, deels worden afgevoerd naar het oppervlaktewater in de directe omgeving en deels op de bodem onder asbestdaken terecht komen.

6.2 Verspreiding, blootstellingsroutes en blootstellingsrisico's

In dit hoofdstuk worden op basis van de resultaten van de uitgevoerde meetcampagnes (Hoofdstuk 5) en de informatie zoals gevonden in het literatuuronderzoek (Hoofdstuk 3) de verspreiding en blootstellingsroutes zoals weergegeven in Figuur 1 (zie paragraaf 1.2) beschreven en voorzien van kwantitatieve gegevens. Op basis van die gegevens wordt het blootstellingsrisico voor bewoners, omwonenden en passanten van woningen en schuren/loodsen en stallen met asbestcement daken ingeschat. Blootstellingsroute 5: verspreiding door illegale/ondeskundige sloop, is niet in het onderzoek meegenomen en wordt daarom buiten beschouwing gelaten.

6.2.1 Route 1: Verspreiding van asbestvezels in de buitenlucht

Deze route beschrijft het vrijkomen van asbestvezels vanuit asbestdaken door luchterosie. Tijdens de uitgevoerde meetcampagnes in de zomer- en winterperiode konden met de standaard meettechnieken (conform NEN-ISO 14966) in de buitenlucht in de nabijheid van asbestcementdaken geen asbestvezels worden aangetoond (concentratie < bepalingsgrens van 10 vezels/m³). De concentraties aan asbestvezels, bepaald met een specifieke methode voor de bepaling van het achtergrondniveau (Tromp, 2016), liggen in dezelfde concentratie range als de in Nederland gemeten achtergrondconcentraties in 2016, met een gemiddelde asbestvezelconcentratie van 13 vezels/m³ en een spreiding van <30 – 28 vezels/m³ voor alle asbestvezels en 3 vezels/m³ en een spreiding van <30 – 14 vezels/m³ voor vezels met een lengte langer dan 5 µm.

Zowel de blootstellingsmetingen in de zomer als de windrichting-aangestuurde metingen in de winter zijn over een lange periode van ca. 1 maand uitgevoerd, waarbij de meetapparatuur in de lijwervel van het asbestcement dak is geplaatst (zie Tabel 16 en Bijlage I voor de exacte posities van de meetapparatuur). Op één uitzondering na (Lelystad-2) varieerde de afstand tot het dak van 0 (rand van het dak) tot 10 meter. Vanwege praktische redenen is de meetopstelling op locatie Lelystad-2 op 30 meter afstand geplaatst, echter door de hoogte van het gebouw (ca. 8 meter) bevond de opstelling zich nog steeds in de lijwervel (zie paragraaf 6.1), wat betekent dat ook daar, net zoals bij de andere objecten, het verdunningseffect minimaal is gehouden (Duyzer et al., 2004). Ook is de meetapparatuur zoveel mogelijk benedenwinds van het asbestcement dak opgesteld, rekening houdend met de meest dominante windrichting (zuidwesten wind). Op deze manier is de kans het grootst dat asbestvezels die zijn vrijgekomen vanuit het asbestcement dak gemeten worden.

⁵ Kamerbrief voortgang asbestdaken, kenmerk IENW/BSK-2021/324316, 21 december 2021

De meetresultaten van dit onderzoek bevestigen het beeld dat is ontstaan op basis van de resultaten van ander onderzoek (o.a. Peters et al. 2013; Tromp, 2007; Heierli & Weber, 2005). Zoals in paragraaf 3.3 staat beschreven zijn ook in andere onderzoeken waarbij de juiste meet- en analysetechnieken zijn gebruikt en die representatief worden geacht voor de huidige situatie in Nederland, zonder andere asbestbronnen, in de buitenlucht vrijwel nooit asbestvezels aangetroffen (concentratie < bepalingsgrens van 100 vezels/m³), en indien er asbestvezels werden aangetroffen was de gemeten concentratie nog steeds laag (~100 vezels/m³).

Op basis van bovenstaande wordt geconcludeerd dat onder normale gebruiksomstandigheden (zonder beroering van het dak) de verspreiding van asbestvezels van asbestdaken naar de lucht beperkt is; dit geldt ook voor (sterk) verweerde daken. Dit wil zeggen dat het risico op blootstelling aan asbestvezels via deze route voor bewoners, omwonenden en/of passanten van gebouwen met asbestdaken klein is.

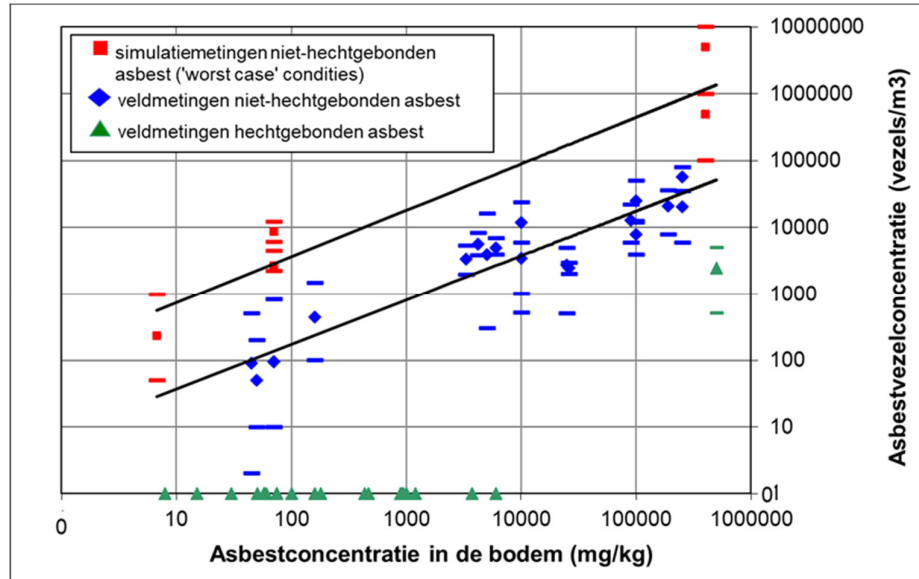
6.2.2 Route 2+7: Depositie op de bodem en verdere verspreiding asbestvezels

Deze route beschrijft de depositie van asbest(vezels) op de bodem en verdere verspreiding van asbestvezels door resuspensie. Alleen wanneer een dakgoot ontbreekt of niet meer goed functioneert zal door uitspoeling van asbest vanaf het asbestdak door regenwater asbesthoudende restanten en -vezels op de onderliggende bodem terecht komen. Voor een kwantitatief inzicht in deze depositie route is gebruikt gemaakt van reeds uitgevoerd onderzoek (Tromp, 2002; Oosterwegel, 2014; Peters et al., 2015; Peter et al., 2021; Öksüztepe, 2015, Wetterauw, 2017; Abesim, 2019). Zoals in paragraaf 3.4 staat beschreven geven al deze onderzoeken een vergelijkbaar beeld van de concentraties aan asbest in de afwateringzone. Onder licht – matig verweerde asbestdaken is de gemiddelde concentratie aan niet-hechtgebonden asbest 90 ± 290 mg/kg (AM \pm SD) en 16 mg/kg (GM)⁶. Onder sterk verweerde asbestdaken ligt de concentratie een stuk hoger met 1200 ± 3900 mg/kg (AM \pm SD) en 98 mg/kg (GM). De gemiddelde respirabele vezelconcentratie is hierbij 18 ± 28 mg/kg (AM \pm SD) en 4,0 mg/kg (GM).

Uit de resultaten blijkt dat de concentraties in de afwateringzone sterk kunnen variëren met hoge uitschieters voor niet-hechtgebonden asbest en respirabele asbestvezels tot boven de 10.000 mg/kg en 100 mg/kg. De verontreiniging bevindt zich in de directe afwateringzone (0 – 100 cm van de dakrand) en de contactzone (bovenste 20-30cm) met de meeste asbest in de toplaag (60-90%). In twee studies zijn blootstellingsmetingen uitgevoerd, waarbij activiteit met deze verontreinigde bodem is gesimuleerd door lopen, spitten/harken, grasmaaien en opwaaien (Tromp, 2002; Peters et al., 2021). Bij de meeste metingen zijn géén asbestvezels in de lucht aangetroffen, met uitzondering van één ernstig verontreinigde locatie waar een enkele keer een lage asbestvezelconcentratie in de buitenlucht is gemeten (~185 vezels/m³).

Om inzicht te krijgen in de potentiële blootstellingsrisico's bij zwaardere activiteiten zoals graven en storten kan gebruik worden gemaakt van het in Figuur 14 gepresenteerd blootstellingsmodel dat is ontwikkeld door TNO (Swartjes en Tromp, 2008). De afgeleide vezelconcentratie in de lucht bij zwaarder grondverzet in de afwateringszone onder licht – matig verweerde asbestdaken ligt rond de 100 vezels/m³. Voor de sterk verweerde asbestdaken ligt de afgeleide asbestvezelconcentratie rond de 1000 vezels/m³.

⁶ AM = rekenkundig gemiddelde, GM = geometrisch gemiddelde en SD = standaard deviatie



Figuur 14: Gemiddelde asbestvezelconcentraties in de lucht (vezels/m³), inclusief 95% betrouwbaarheidsintervallen (balkjes) gemeten bij diverse activiteiten met licht tot zwaar asbestverontreinigde grond (mg/kg), onderverdeeld naar activiteiten met hechtgebonden asbest (groen), niet-hechtgebonden asbest (blauw) en simulatiemetingen in het laboratorium met losse asbestvezels in droge zandgrond met extreme activiteit (rood)

6.2.3 Route 3: Inwaai/inloop van asbestvezels naar de woning

Deze route beschrijft het via de wind of schoeisel verspreiden van asbest naar de woning vanuit de verontreinigde afwateringzone of direct via het asbestcement dak (wind). Tijdens de 2 weken durende meetcampagnes zijn in de woningen in de buurt van de asbestcement daken geen asbestvezels aangetroffen (concentratie < bepalingsgrens van 30 vezels/m³). Dit geldt zowel voor de woningen in de buurt van schuren/loodsen en stallen met een asbestcement golfplaten dak als voor de woningen waarvan het dak en een deel van de gevel zelf bestond uit asbestcement leien. Deze laatste woningen bevonden zich tevens in een buurt waar een groot deel van de andere woningen ook waren voorzien van asbestcement dak- en gevelleien. De metingen zijn veelal in de woonkamer of keuken geplaatst, waarbij veronderstelt kan worden dat er voldoende activiteit heeft plaatsgevonden. In de stofmonsters die binnen in de woningen zijn verzameld is ook geen asbest aangetroffen.

De meetresultaten van dit onderzoek bevestigen het beeld dat is ontstaan op basis van de resultaten van eerder onderzoek (o.a. Peters et al., 2015; Peters et al., 2016b; Tromp, 2007; Heierli & Weber, 2005). Zoals in paragraaf 3.3 staat beschreven zijn ook in andere onderzoeken die representatief worden geacht voor de huidige situatie in Nederland, in woningen vrijwel nooit asbestvezels aangetroffen, en indien er asbestvezels werden aangetroffen was de gemeten concentratie nog steeds laag (≤ 100 vezels/m³). In de twee gevallen dat er wel een verhoogde concentratie in de binnenlucht werd aangetroffen betrof het woonwijken met veel asbestcement gevels en daken in sterk verweerde toestand, namelijk een 'inloop' situatie waarbij de woningen waren voorzien van asbestleien gevel- en dakbekleding, zonder dakgoten met afwatering direct op de stoep voor de deur van de woning, en een 'inwaai' situatie, waarbij de woningen volledig waren bekleed met asbestcement golfplaten met alleen uitsparingen voor ramen.

De woningen met asbestcement gevel- en dakleien in dit onderzoek waren voorzien van dakgoten, waardoor de kans dat uitgespoelde asbestvezels in de looproute rond de woning terecht komen, en zo via bijvoorbeeld schoeisel de woning in worden genomen beperkt is. En hoewel de woningen zelf waren voorzien van asbestcement gevel- en dakleien en ook in een buurt stonden met (groten)deels vergelijkbare woningen is 'inwaai' ook niet relevant gebleken. Wel dient te worden opgemerkt dat de asbestleien in dit onderzoek matig verweerd waren en niet ernstig verweerd zoals de situatie met de asbestcement golfplaten.

De helft van de onderzochte locaties met schuren/loodsen en stallen met een asbestcement golfplaten dak waren voorzien van een intacte dakgoot. In deze gevallen is de kans op uitspoeling van de vrijgekomen asbest(vezels) naar de bodem onder deze daken beperkt, en dus ook de kans op verspreiding hiervan naar bijvoorbeeld de woning of de binnenzijde van de schuur/loods of stal door loopbewegingen beperkt. De andere helft van de onderzochte locaties waren niet voorzien van een dakgoot of hadden een kapotte dakgoot. Echter, er was in géén van de gevallen sprake van een directe inloop via de afwateringzone naar de nabij gelegen woning. Dit betekent dat in deze situaties de bewoners zich niet veelvuldig langs de afwateringzone hoeven te begeven, waardoor de verspreiding van asbest(vezels) naar de woning beperkt is. Bij woningen, schuren en stallen met asbestcement daken met een directe inloop via een (verharde) afwateringzone naar de (nabij gelegen) woning is inwaai/inloop van asbest(vezels) wel een belangrijke (potentiële) verspreidingsroute en is het risico op inademing van asbestvezels door het opnieuw in de lucht komen (resuspensie) van gesedimenteerde asbestvezels aanzienlijk groter.

6.2.4 Route 4: Verspreiding door interne verwerking in schuren en stallen

Deze route beschrijft het vrijkomen van asbestvezels door interne verwerking van het asbestcement onderdak. Tijdens de uitgevoerde meetcampagnes zijn in de schuren/loodsen en stallen geen asbestvezels in de lucht aangetroffen (concentratie < bepalingsgrens van 30 vezels/m³). De metingen zijn gedurende een lange periode van ca. 1 maand uitgevoerd waarbij de apparatuur zoveel mogelijk in de open ruimte in de schuur/loods en stal is geplaatst. In de stofmonsters die binnen in de schuren en loodsen zijn verzameld is in twee gevallen (op draagbalken) een spoor chrysotiel aangetroffen. In de meeste schuren en loodsen heeft naar verwachting weinig activiteit plaatsgevonden. Op één locatie is daarom extra activiteit gesimuleerd door het plaatsen van twee ventilatoren in de schuur. Ondanks dat op deze locatie een spoor chrysotiel in het gesedimenteerde stof is aangetroffen, zijn ook hier géén asbestvezels in de lucht aangetroffen.

De meetresultaten van dit onderzoek bevestigen het beeld dat is ontstaan op basis van de resultaten van eerder onderzoek (o.a. Peters et al., 2015; Peters et al., 2016b; Tromp, 2007). Zoals in paragraaf 3.3 staat beschreven zijn ook in andere onderzoeken die representatief worden geacht voor de huidige situatie in Nederland, in schuren/loodsen en stallen vrijwel nooit asbestvezels aangetroffen (concentratie < bepalingsgrens van 100 vezels/m³) en indien er asbestvezels werden aangetroffen was de gemeten concentratie nog steeds laag (~100 vezels/m³). Op basis van bovenstaande wordt geconcludeerd dat er onder normale gebruiksomstandigheden (zonder beroering van het onderdak) de verspreiding van asbestvezels door interne verwerking van het onderdak beperkt is.

6.2.5 Route 6: Uitspoeling via regenwater in dakgoten

Deze route beschrijft de het vrijkomen van asbest(vezels) vanuit dakgoten en verdere verspreiding bij het reinigen van dakgoten. Bij goed functionerende dakgoten zal het grootste deel van het slib via het rioolwater worden afgevoerd naar rioolwaterzuiveringsinstallatie. Het vrijkomende zuiveringsslib wordt in Nederland standaard afgevoerd naar verbrandingsinstallaties, cementovens

of elektriciteitscentrales⁷ waar het wordt verbrand bij een temperatuur van ca. 600 – 900 °C. Deze temperaturen zijn in theorie hoog genoeg om het asbest te denatureren. De omzettingstemperatuur van chrysotiel en crocidoliet is ca. 700 °C en voor amosiet ligt deze op ca. 800 °C. Bij de omzetting wordt de kristallijne asbeststructuur van de vezels omgezet in een amorfe silicaatstructuur, waarna onschadelijke silicaatmineralen worden gevormd (Justen et al., 2000; Mattenklott, 2004). In hoeverre de omzetting, onder de praktijkomstandigheden die zich voordoen bij de verbrandingsinstallaties, volledig is, is onbekend.

Tijdens 2 maanden durende meetcampagnes in de zomer en winterperiode variëren de gemeten asbestvezelconcentraties in het opgevangen regenwater tussen de 0,1 en 4,5 x 10⁶ vezels/L, met een gemiddelde van 1,4 x 10⁶ vezels/L. Bij omrekening naar vezels per kilogram slib betekent dit 2,5 (0,3 – 13) x 10¹¹ vezels/kg; omgerekend naar massa is dit ca 1200 mg/kg. Het totale asbestpercentage in het opgevangen slib varieert van 1,2 tot 23%, met een gemiddelde van 12% (120.000 mg/kg). Dit betekent dat ca. 1 (0,1 – 5) % aanwezig is als losse asbestvezels; het overige deel is matrix gebonden asbesthoudend materiaal. Dit komt overeen met het gemiddelde percentage losse asbestvezels op de bodem onder asbestdaken. De meetresultaten van dit onderzoek bevestigen het beeld dat is ontstaan op basis van de resultaten van eerder onderzoek (o.a. Peters et al., 2013; Peters et al., 2015; Tromp, 2007). Zoals in paragraaf 3.2.2 staat beschreven zijn in andere onderzoeken, waarbij de juiste meet- en analysetechniek is gebruikt, asbestvezelconcentraties in regenwater gemeten van 2 x 10⁴ tot 2 x 10⁶ vezels/L. Het percentage asbest in de opgevangen slibfractie ligt wel hoger dan de gemeten waarden in historisch slib vanuit dakgoten, respectievelijk 3000 (4 – 17.000) mg/kg (Peters et al., 2013) en 0,1 – 10% (Tromp, 2007). Het verschil in meettechnieken is hier waarschijnlijk de oorzaak van, namelijk het slib is niet opgevangen in een bezinkingsbak maar is afgescheiden door middel van een zeef. Dit heeft waarschijnlijk geresulteerd in het deels wegspoelen van de fijne slibfractie, waardoor de asbestconcentratie in het slib toeneemt. De totale emissie van asbest door uitspoeling blijft hiermee overigens wel gelijk.

Aangezien tijdens de metingen in de buitenlucht (route 1) geen asbestvezels zijn aangetroffen (concentratie < 10 vezels/m³) mag worden verondersteld dat resuspensie van asbestvezels uit slib in dakgoten nauwelijks optreedt. Wanneer het slib in dakgoten niet wordt beroerd is het risico op blootstelling aan asbestvezels via slib in dakgoten voor bewoners, omwonenden en/of passanten van gebouwen met asbestdaken klein. Om inzicht te krijgen in de potentiële blootstellingsrisico's tijdens het schoonmaken van dakgoten kan weer gebruik worden gemaakt van het in Figuur 14 gepresenteerd blootstellingsmodel. Op basis van dit blootstellingsmodel ligt de afgeleide asbestvezelconcentratie bij de genoemde activiteiten tussen de 100 en 5000 vezels/m³. Dit betekent dat tijdens het schoonmaken van dakgoten er een evident blootstellingsrisico kan optreden. Het actuele blootstellingsrisico hangt af van veel factoren, zoals o.a. type, frequentie en duur van de activiteit, afstand tot de bron en vochtigheid van het slib.

6.3 Vergelijking met advieswaarden en achtergrondconcentraties

In 2016 is door TNO onderzoek uitgevoerd naar de achtergrondconcentratie in Nederland, waarbij een gemiddelde asbestvezelconcentratie van 35 vezels/m³ met een spreiding van <30 – 81 vezels/m³ werd vastgesteld (Tromp, 2016). Slechts een klein deel van deze vezels is langer dan 5 µm (ca. 16%). De gemiddelde concentratie aan asbestvezels met een lengte langer dan 5 µm is 6 vezels/m³ met een spreiding van <30 – 30 vezels/m³. Van de aangetroffen asbestvezels was 74% chrysotiel en 26% amfibool. De metingen zijn uitgevoerd in de periode mei t/m september 2016 op zeven meetlocaties in Nederland: Amsterdam, Rotterdam, Groningen, Bilthoven, Goor, Wekerom en Biest-houtakker. Alle metingen zijn uitgevoerd in een periode met zeer weinig tot geen neerslag

⁷ <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0154-afzet-van-zuiveringsslib-naar-bestemming>

bij matige wind (windkracht 3 – 4) en relatief veel zon. Onder deze worst-case condities is het aantreffen van asbestvezels in de buitenlucht het grootst. De analyses zijn uitgevoerd met SEM-EDX conform een speciaal door TNO ontwikkelde methode (zie paragraaf 4.4.1 en Tromp, 2016). Hierbij wordt bij een hogere vergroting (7000x) het filteroppervlak geïnspecteerd zodat ook de korte vezels en hele dunne (elementaire) vezels met een diameter kleiner dan 0,05 μm kunnen worden gedetecteerd.

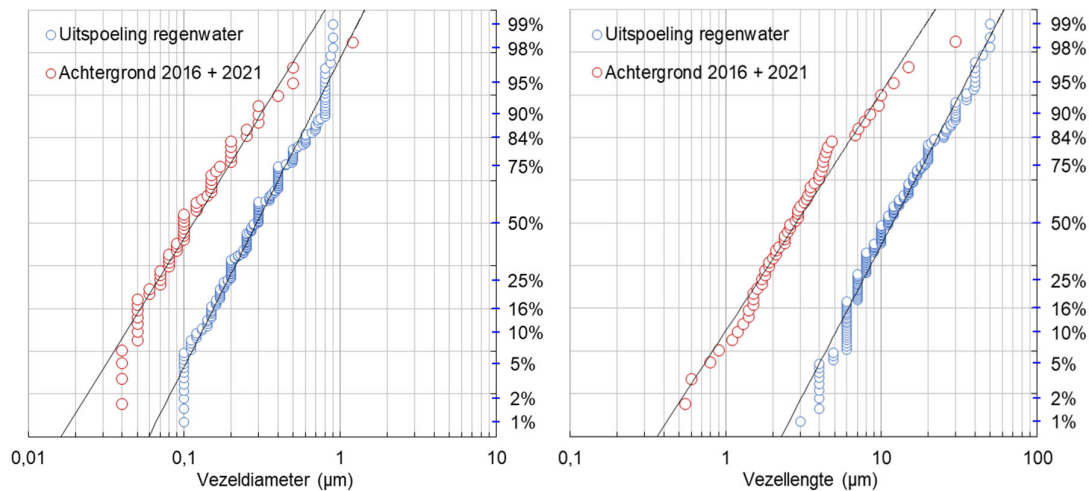
In het huidige onderzoek zijn de meeste filters onderzocht conform de NEN-ISO 14966, waarbij het filter is geïnspecteerd bij een vergroting van 2000x. Met deze internationaal geaccepteerde standaard normmethode kunnen vezels vanaf ca. 0,15 – 0,2 μm worden gedetecteerd. Omdat TNO gebruik heeft gemaakt van de hoge resolutie SEM-EDX, zijn zelfs vezels vanaf ca. 0,1 μm zichtbaar. Ondanks deze verbeterde resolutie zijn geen asbestvezels in de buitenlucht rondom asbestdaken aangetroffen, dit geldt voor zowel vezels langer en korter dan 5 μm . De asbestvezelconcentratie, op basis van de bepalingsondergrens, is lager dan 10 vezels/ m^3 .

In aanvulling op de NEN-ISO 14966 methodiek zijn de buitenlucht filters in de zomerperiode op locaties Barneveld, Hoevelaken-1, Lelystad-1, Loenen en Milheeze, nogmaals geanalyseerd met de door TNO ontwikkelde methode voor de bepaling van achtergrondconcentraties (Tromp, 2016). Hierbij is een gemiddelde asbestvezelconcentratie van 13 vezels/ m^3 met een spreiding van <30 – 28 vezels/ m^3 vastgesteld. De gemiddelde concentratie voor asbestvezels met een lengte langer dan 5 μm is 3 vezels/ m^3 met een spreiding van <30 – 14 vezels/ m^3 . Net zoals bij de metingen in 2016 blijkt ook hier dat slechts een klein deel van de vezels langer is dan 5 μm (22%) en dat het merendeel van de vezels van het type chrysotiel is (80%). De gemeten asbestvezelconcentraties langer dan 5 μm liggen op en onder de door de Gezondheidsraad afgeleide jaargemiddelde verwaarloosbare risiconiveau concentraties voor chrysotiel (28 vezels/ m^3), amfibool asbest (3 vezels/ m^3) en gemengde asbestvezels (13 vezels/ m^3) (zie paragraaf 1.4).

De gemeten achtergrondconcentraties in het huidige onderzoek zijn over het algemeen iets lager dan in het onderzoek uit 2016. Zeer waarschijnlijk zijn de slechtere weersomstandigheden in 2021 hiervoor verantwoordelijk. Tijdens de metingen in 2016 was het overwegend droog weer, met gemiddeld 0,1 uur en totaal 0,1mm neerslag. Ook de gemiddelde temperatuur en het aantal uren zon waren relatief hoog (gemiddelde 20,1 $^{\circ}\text{C}$ met ca. 45% van de dag zon). Tijdens de huidige metingen was er meer neerslag (gemiddeld 35 uur met 75mm neerslag) en de temperatuur was beduidend lager (16,9 $^{\circ}\text{C}$) met veel minder uren zon (24%). Desondanks zijn de asbestvezelconcentraties in het huidige onderzoek ten opzichte van de gemeten concentraties in 2016 niet significant verschillend; de gemeten concentraties bevinden zich nog steeds in dezelfde concentratie range als de gemeten concentraties in 2016. Dit blijkt ook uit een vergelijking van de overige minerale vezelconcentraties. In het huidige onderzoek is de gemiddelde concentratie aan overige minerale vezels > 5 μm in de buitenlucht 62 ± 73 (AM \pm SD) en 34 (GM) vezels/ m^3 en in het onderzoek uit 2016 waren de concentraties 44 ± 22 (AM \pm SD) en 40 (GM) vezels/ m^3 . De analyses van overige minerale vezels zijn in het huidige onderzoek uitgevoerd conform de ISO 14966 terwijl de analyses in 2016 zijn uitgevoerd conform de methode voor achtergrondconcentraties. Echter, doordat de minerale vezels veelal dikker (> 0,2 μm) zijn is een onderlinge vergelijking wel mogelijk; dit wordt tevens bevestigd door de bovengenoemde resultaten.

Doordat de gemeten asbestvezelconcentraties in de lucht niet zijn verhoogd ten opzichte van het in 2016 gemeten achtergrondniveau in Nederland is de bijdrage van verwerende asbestdaken via luchterosie op de achtergrondconcentratie niet exact vast te stellen. Om te beoordelen of de met het regenwater uitgespoelde asbestvezels een directe of indirecte bijdrage kunnen leveren aan de achtergrond concentratieniveaus in Nederland zijn de vezeldiameters en -lengten van de uitgespoelde asbestvezels vergeleken met de vezeldiameters en -lengten van de asbestvezels die

zijn aangetroffen in de buitenlucht tijdens het onderzoek in 2016 en het huidige onderzoek in 2021. Ter illustratie zijn in Figuur 15 de lognormale waarschijnlijkheidsverdelingen van de lengten en diameters van de achtergrondvezels en de met regenwater uitgespoelde vezels weergegeven. Hieruit blijkt dat de met regenwater uitgespoelde vezels veel dikker zijn (mediaan 0,3 μm) dan de achtergrondconcentratie vezels (mediaan 0,1 μm). Verder blijkt dat van de achtergrond vezels 75% korter is dan 5 μm , terwijl dit percentage van de uitgespoelde vezels minder dan 10% is. Ondanks deze verschillen kan wel worden afgeleid dat ca. 50% van de vezeldimensies van de uitgespoelde vezels overeenkomt met de vezeldimensies in de achtergrond. Dit betekent dat door resuspensie de uitgespoelde vezels weer in de lucht kunnen komen; dit geldt voor zowel chrysotielvezels als voor crocidolietvezels.



Figuur 15: Lognormale waarschijnlijkheidsverdeling van de asbestvezeldiameters (links) en vezellengten (rechts) aangetroffen tijdens de achtergrondconcentratiemetingen in 2016 en 2021 (huidige onderzoek) en van de uitgespoelde vezels in het regenwater in het huidige onderzoek.

6.4 Representativiteit van het onderzoek

In het onderzoek is uitgegaan van een beperkte steekproef van asbestcementdaken zoals deze in Nederland voorkomen: voornamelijk schuren/loodsen en stallen met asbestcement golfplaten en woningen met asbestleien daken en gevels. Bij de selectie is wel uitgegaan van een “realistisch worst case”, dat wil zeggen dat géén licht verweerde daken zijn betrokken in het onderzoek; alle daken waren in meer of mindere mate verweerd, waarbij vezelstructuren zichtbaar waren aan het oppervlak. Ook zijn meerdere asbestdaken geselecteerd zonder dakgoten, waarbij asbesthoudende restanten rechtstreeks uitspoelen op de onderliggende bodem. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat dit géén locaties waren waarbij de inlooprouten naar de woning via deze afwateringzone liep. Voor deze specifieke “inloop” situatie wordt het uitgebreide onderzoek van TNO in een woningcomplex in Nijmegen (Tromp, 1994) als maatgevend beschouwd (zie Hoofdstuk 3). Voor de “inloop & inwaai” situaties met dakgoten worden de onderzoeken in Lelystad en Huizen (Tromp, 2007) als representatief beschouwd voor sterk verweerde asbestdaken en -gevels in woningcomplexen.

6.4.1 Vergelijking met VITO onderzoeken

De situatie in Nederland is vergelijkbaar met die van Vlaanderen (België). Ook daar is op grote schaal asbestcement plaatmateriaal gebruikt van het type Eternit voor de bekleding van daken en gevels van schuren/loodsen, stallen en woningen. Eternit plaatmateriaal is afkomstig van het bedrijf

Eternit. Voor Nederland en Vlaanderen vond de productie van asbestcement dakbedekking vooral plaats in Goor en de productie van gevelbekleding in Kapelle-op-den-Bos. De veroudering en degradatie van het Eternit plaatmateriaal, zal mede gezien de vergelijkbare klimatologische omstandigheden, in Nederland en Vlaanderen vergelijkbaar zijn. Aangezien er door VITO recentelijk meerdere onderzoeken zijn uitgevoerd naar de verwerking van asbestcement daken (Peters et al., 2013, 2015, 2016a, 2016b) is een vergelijking uitgevoerd zodat de resultaten in perspectief kunnen worden geplaatst (Tabel 27). Hierdoor ontstaat een beter beeld van de representativiteit van de door TNO geselecteerde locaties en de verweringsgraad van asbestcement daken.

Tabel 27: Vergelijking van de door TNO geselecteerde verweerde asbestcement daken en de asbestcement daken die in de onderzoeken van VITO (Peters et al., 2013, 2015, 2016a, 2016b) zijn meegenomen.

Onderzochte objecten			Verweringsgraad AC daken		
VITO	categorie	n	zeer hoog	hoog	laag
	leeftijd		56 (40 - 110) *	49 (30 - 60)	35 (28 - 42)
	kleeftest		++ (100%)	++(71%) +(24%) +/-(-6%)	+(13%) +/-(-25%) -(62%)
	% totaal AC	45	15%	67%	18%
	% golfplaat	29	24%	72%	4%
	% asbestlei	16	0%	56%	44%
TNO	categorie	n	sterk	matig	
	leeftijd		51 (39 - 64)	41 (36 - 45)	
	kleeftest		++ (84%) + (16%)	++ (50%) + (50%)	
	% totaal AC	11	55%	45%	
	% golfplaat	9	67%	33%	
	% asbestlei	2	0%	100%	

* er is één asbestcement dak van 110 jaar onderzocht; zonder dit dak is de gemiddelde leeftijd 48 jaar

Door VITO zijn in totaal 45 objecten onderzocht waarbij de verwerking van de asbestcement daken – en/of gevels, op basis van visuele inspectie en kleeftesten zijn ingedeeld in drie categorieën: zeer hoog, hoog en laag. De meeste onderzochte daken waren “hoog” verweerd met een klein deel “zeer hoog” verweerd (voornamelijk AC golfplaten) en een klein deel “laag” verweerd (voornamelijk asbestleien). In het onderzoek van TNO zijn in totaal 11 objecten beoordeeld op 7 locaties, waarbij de verweringsgraad is ingedeeld in twee categorieën: sterk verweerd en matig verweerd. In totaal zijn iets meer sterk verweerde daken onderzocht dan matig verweerde daken. Ook hier was de verweringsgraad van de golfplaten iets sterker dan die van asbestleien daken en -gevels. Ondanks een iets andere indeling van de asbestcement daken en gevels is de selectie van objecten door TNO goed vergelijkbaar met die van VITO. Wel zijn door VITO laag verweerde asbestdaken en gevels meegenomen, die door TNO niet in het onderzoek zijn betrokken. Dit bevestigt de “realistische worst case” selectie van TNO, die ook tot uitdrukking komt in de gemiddelde leeftijd van de onderzochte asbestdaken en de resultaten van de kleeftesten.

De onderzoeksresultaten van TNO en VITO samen geven een goed beeld van de bandbreedte (variatie) in de verwerking van asbestcement daken en gevels voor de situatie in Nederland en Vlaanderen. In Tabel 28 staat een overzicht van de gemeten asbest(vezel)concentraties in lucht en stof. In vergelijkbare situaties komen de resultaten van TNO en VITO goed overeen; in de overige situaties zijn de resultaten complementair en geven samen een representatief beeld van de (potentiële) blootstellingsrisico's.

Tabel 28: Overzicht van de lucht- en stofmetingen in en nabij gebouwen met AC daken, uitgevoerd door VITO (Peters et al., 2013, 2015, 2016a, 2016b) en TNO (Arzoni & Tempelman, 2000; Tromp et al., 1994, 1996, 2002, 2007, 2022).

	Onderzoeken VITO	Onderzoeken TNO
Buitenlucht	Metingen op 2 hoog verweerde AC daken: geen asbestvezels aangetroffen	18 locaties met matig-sterk verweerde AC daken: 1x lage concentratie (100 v/m ³)
Binnenlucht woningen met AC daken en/of gevels	7 woningen met hoog verweerd AC: 1x lage concentratie (100 v/m ³) bij inwaai via dakvenster in gesloten zolderkamer	21 woningen met dakgoten, waarvan de route voornamelijk via inloop: 3x lage concentratie (100, 220 en 990 v/m ³). De 2 hoogste concentraties bij woningen met sterk verweerd AC golfplaat (Lelystad)
Binnenlucht woningen met AC daken met inloop via afwateringzone	Géén directe inloop situaties bemeten	10 woningen met asbestleien daken en gevels zonder dakgoot en inloop via afwateringzone (Nijmegen): verhoogde concentraties (AM 3500, GM 780, range 80 – 27000 v/m ³)
Binnenlucht woningen nabij schuren/stallen met AC daken	-	9 woningen, afwatering schuren/stallen met en zonder dakgoot, niet in directe inlooproute naar woningen: 1x lage concentratie (80 v/m ³)
Binnenlucht in schuren en loodsen	5 loodsen/schuren met hoog verweerd AC: 1x lage concentratie (100 v/m ³) bij interne verwerking op zolder gebruikt voor opslag, daar ook asbest in het stof aangetroffen (+), 1x lage concentratie (340 v/m ³) in loods tijdens saneringswerkzaamheden	10 schuren/loodsen met en zonder dakgoten, waarvan 2x met geforceerde luchtventilatie in de binnenruimte: geen asbestvezels aangetroffen
Gesedimenteerd stof	11 woningen met hoog verweerde AC daken: 94% -, 3% +/-, 3% +	8 woningen en schuren met matig-sterk verweerd asbestcement: 74% -, 26% +/-
Stof van dakspanten	8 loodsen met hoog verweerde AC daken: 56% -, 17% +/-, 17% +, 10% ++	-

6.4.2 Seizoen- en weersinvloeden

Het merendeel van de eerdere onderzoeken (zie Hoofdstuk 3) is uitgevoerd in een droge periode; het gaat hierbij veelal om kortdurende metingen van maximaal 1 dag. Over het algemeen wordt verondersteld dat tijdens droog en zonnig weer de emissie van asbestvezels via luchterosie of resuspensie het hoogst is. Ook zullen éénmaal vrijgekomen vezels zich langer in de lucht begeven en minder snel sedimenteren (door o.a. neerslag en hoge luchtvochtigheid). In dit onderzoek hebben we deze veronderstelling niet kunnen bevestiging, aangezien in géén van de luchtmetingen in de zomer- en winterperiode asbestvezels in de lucht zijn aangetroffen (concentratie < 10 vezels/m³). In de winterperiode zijn ook fijnstofmetingen uitgevoerd die gekoppeld zijn aan windrichting en windsnelheid. Ondanks dat eerder onderzoek (o.a. Cattaneo, 2009) suggereert dat hoge windsnelheden zorgen voor de emissie van asbestvezels vanuit het asbestcement oppervlak, blijkt dit niet uit de fijnstof metingen (Figuur 12 en Bijlage I). Mogelijk heeft dit te maken met de natte omstandigheden in de winter en zouden fijnstofmetingen in de zomerperiode hier meer inzicht in hebben kunnen geven.

In de winterperiode zijn windrichting-aangestuurde metingen uitgevoerd waarbij alleen benedenwinds van het asbestcement dak is gemeten. Hierbij worden de hoogste asbestvezelconcentraties in de lucht verwacht. In de zomerperiode is continu gemeten, maar is bij plaatsing van de meetapparatuur wel rekening gehouden met de dominante windrichting. Toch zal een deel van de tijd lucht worden aangezogen die niet uit de richting van het asbestcement dak

komt. Uit de meteo gegevens blijkt dat het grootste deel van de wind (60 – 100%) wel uit de richting van het dak komt. Op de locatie in Loenen is 100% van de tijd de wind richting de meetapparatuur over het asbestcement dak gekomen; voor de andere locaties (Barneveld, Hoevelaken-1, Lelystad-1 en Milheeze) was dit meer dan de helft (ca. 50 - 70%) van de tijd. Dit betekent dat de metingen in de zomer een voldoende betrouwbaar beeld geven van de asbestvezelemissie van het asbestcement dak.

Op basis van de uitspoeling resultaten blijkt wel een groot verschil tussen de zomer- en winterperiode. In de zomerperiode wordt ca. 10 keer zoveel asbest met het regenwater mee gespoeld dan in de winterperiode. Dit verschil is groter dan verwacht en kan niet éénduidig worden verklaard. Dit kan te maken hebben met de hoeveelheid en intensiteit van de neerslag of met temperatuurswisselingen. In de winter valt normaal gesproken meer neerslag; als de verweringsnelheid in vergelijking met de zomer gelijk blijft zal er een verdunning van de vezelconcentratie in het regenwater optreden. Daarnaast kunnen korte hevige buien met veel intensiteit (die vooral in de zomer optreden) voor meer uitspoeling zorgen dan lange perioden motregen met weinig intensiteit.

Tijdens de winterperiode zal door (nacht)vorst het water in de cementmatrix bevriezen en uitzetten waardoor de matrix gaat delamineren en asbesthoudende restanten vrijkomen. Deze aantasting zal verergeren naarmate er meer vorst-dooi momenten zijn. In de zomer is deze vorst-dooi aantasting afwezig maar kunnen er wel grote temperatuurverschillen ontstaan in de asbestcement matrix, vooral als overdag de volle zon op het asbestcement dak schijnt. Door het dagelijks uitzetten en weer inkrimpen van de asbestcementplaten kunnen beschadigingen in de matrix ontstaan, zoals putten en scheurtjes, waarbij asbesthoudende restanten vrijkomen. Ook kunnen platen over elkaar schuren met dito effect. Uit onderzoek van VITO (Peters et al., 2016b) blijkt dit effect vooral op te treden bij stalen dakspanten. Op twee van de locaties (Milheeze en Hoevelaken-2) zijn de dakspanten van staal, echter is de uitspoeling van asbesthoudende restanten niet hoger ten opzichte van de overige asbestcementdaken.

6.5 Beoordelingssystematiek verwerking asbestdaken

Uit de evaluatie van de diverse beoordelingssystemen van asbestcement daken en gevels (paragraaf 3.5) blijkt dat een eenvoudige beoordeling op basis van visuele inspectie de beste methode is om de mate van verwerking op objectieve wijze te kunnen schatten. Het gebruik van meer kwantitatieve methoden biedt nauwelijks extra informatie ten opzichte van een visuele beoordeling in het veld. De meeste beoordelingssystemen maken gebruik van een score-tabel waarbij verschillende indicatoren worden gewogen en een bepaalde puntenscore krijgen toegekend. De optelsom van de puntenscores is een kwalitatieve maat om de conditie en verwerking van asbestcement daken en gevels met elkaar te vergelijken en kan als mogelijke opmaak voor prioritering bij toekomstige sanering worden gebruikt.

Één van de op visuele inspectie gebaseerde methoden is het in 2016 door TNO ontwikkelde beoordelingssysteem (Tromp, 2016). De methode is gebaseerd op een eenvoudige visuele inspectie in het veld op basis van een reeks indicatoren in combinatie met relevante gegevens van het gebouw, het dak en/of de gevels (Tabel 15). De objectiviteit van de indicatoren kan worden vergroot door middel van duidelijke beschrijvingen en foto's die als vergelijkingsmateriaal gebruikt kunnen worden. Bij twijfel kan de visuele inspectie worden aangevuld met kleefmonsters. Uit onderzoek (Peters et al, 2016a) blijkt dat kleefmonsters goed onderscheid kunnen maken in licht verweerde (hechtgebonden) daken en matig-sterk verweerde (niet-hechtgebonden) daken; verdere gradatie in verwerking kan op basis van kleefmonsters niet worden afgeleid.

In de door TNO ontwikkelde methode wordt de puntenscore gecombineerd met de leeftijd van de dak/gevel beplating. Op basis van eerder onderzoek (Peters et al., 2013; Zhang et al., 2016) blijkt de leeftijd de belangrijkste indicator van de conditie van het asbestcement plaatmateriaal. De optelsom van de leeftijd en de puntenscore is de zogenaamde fictieve leeftijd van een asbestcement dak of gevel. Net zoals bij andere beoordelingssystemen kent de fictieve leeftijd geen wetenschappelijk onderbouwde basis, en moet dan ook worden gezien als leidraad. Op basis van de in dit onderzoek beoordeelde daken en gevels geeft de onderstaande koppeling tussen verweringsgraad en puntenscore de beste correlatie:

- matig verweerd: fictieve leeftijd jonger dan 60 jaar,
- sterk verweerd: fictieve leeftijd tussen de 60 en 80-90 jaar,
- ernstig verweerd: fictieve leeftijd ouder dan 80-90 jaar.

De bovengenoemde categorie indeling zegt iets over de algehele conditie van het gebouw en het materiaal en de verwerking/aantasting van het oppervlak. Echter, de beoordelingssystematiek zegt niets over het actuele en potentiële blootstellingsrisico. Daarom is het belangrijk om ook de verspreidingsroutes, inclusief looproutes naar de woning, en het daarmee gepaard gaande blootstellingsrisico mee te laten wegen bij de beoordeling van de saneringsurgentie.

7 Conclusie en aanbevelingen

Om inzicht te krijgen in de blootstellingsrisico's voor bewoners en omwonenden is in opdracht van de provincie Overijssel in overleg met het Ministerie van I&W door TNO onderzoek uitgevoerd naar de verspreidings- en blootstellingsroutes van asbest(vezels) die vrijkomen vanuit verwerende asbesthoudende daken van woningen, schuren en stallen. Ten behoeve van het onderzoek zijn representatieve "worst case" meetlocaties geselecteerd waarbij rekening is gehouden met de leeftijd en verweringsgraad van het dak en de aan-/afwezigheid van dakgoten. Doordat klimatologische omstandigheden en typen asbestcement in Nederland vergelijkbaar zijn met die van Vlaanderen (België), is als onderdeel van de literatuurstudie speciaal aandacht gegeven aan de onderzoeken uitgevoerd door het Vlaamse onderzoeksinstituut VITO. De onderzoeksresultaten van TNO en VITO samen geven een representatief beeld van de verwerking van asbestcement daken en gevels en de verspreidings- en blootstellingsroutes van asbestvezels.

Op basis van de resultaten van het onderzoek, inclusief de uitgevoerde literatuurstudie, worden de volgende conclusies getrokken over de emissie van asbest(vezels) vanuit verwerende asbestdaken, de mate van verspreiding en het risico op blootstelling voor bewoners en omwonenden:

Het verloop van de verwerking en de hoeveelheid vrijkomend asbest

- In Nederland is in 1993 het asbestverbod in werking getreden zodat vrijwel alle asbestcement dak- en gevelplaten in Nederland ouder zijn dan ca. 30 jaar. Deze toepassingen zijn allemaal matig tot sterk verweerd. Het onderzoek van het slib en regenwater toont aan dat er sprake is van een voortdurende uitspoeling van asbest(vezels) vanuit de asbestdaken. Tijdens de meetcampagnes in de zomer- en winterperiode zijn in het opgevangen slib concentraties tussen de 1,2 en 23% gemeten met een gemiddelde van 12% (120.000 mg/kg). Ongeveer 1 (0,1 – 5) % hiervan is aanwezig als losse asbestvezels; het overige deel is matrix gebonden asbesthoudend materiaal. In het regenwater variëren de asbestvezelconcentraties tussen de 0,1 en 4,5 x 10⁶ vezels/L, met een gemiddelde van 1,4 x 10⁶ vezels/L. Deze waarden liggen aan de bovenkant van de range van reeds gepubliceerde concentraties in slib en regenwater.

De gemiddelde jaarlijkse emissie van asbest via uitspoeling met regenwater is berekend op 1,2 (0,2 – 2,7) gram per m² dakoppervlak per jaar, waarbij onderscheid wordt gemaakt in matig verweerde asbestdaken (0,4 (0,2 – 0,7) gr/m²/jaar) en sterk verweerde asbestdaken (2,0 (0,9 – 2,7) gr/m²/jaar). Deze emissiefactoren liggen in dezelfde range als reeds gepubliceerde emissiefactoren uit andere onderzoeken; deze liggen tussen de 0,5 en 4 gram/m²/jaar. Verder blijkt dat de uitspoeling van asbest(vezels) via regenwater in de zomerperiode een factor 10 hoger ligt dan in de winterperiode. De reden voor dit verschil is in dit onderzoek niet nader onderzocht maar heeft mogelijk te maken met verschillen in temperatuur en hoeveelheid en intensiteit van de neerslag. Samenvattend, geven de door TNO bepaalde emissiefactoren een verdere detaillering van de in 2007 gepubliceerde globale indicatie van "gemiddeld 1 - 3 gram asbest/m²/jaar" (Tromp, 2007), rekening houdend met de verweringsgraad en seizoensinvloeden.

- Om de totale hoeveelheid aan vrijkomende asbestvezels via luchtersie kwantitatief te kunnen bepalen zijn aanvullende windrichting-aangestuurde metingen (360° metingen) beneden- en bovenwinds van asbestcement daken uitgevoerd. Op basis van de bepalingsgrens (10 vezels/m³) en de gemeten fijnstof concentraties is met behulp van het lijwervel model (Duyzer et al., 2004) de maximale asbestvezelemissie via luchtersie geschat op ca. 0,08 (0,01 – 0,21) x 10⁹ vezels/m²/jaar. Dit betekent dat het maximale aandeel van de emissie via lucht 0,1% is van de totale asbestemissie. Daarmee is de emissie van asbest door uitspoeling verreweg de meest

dominante route. Gezien de steeds hogere leeftijd van de asbestdaken zal de emissie van asbest(vezels) vanuit verwerende asbestdaken de komende jaren toenemen. Echter, door de grote variatie in mate van verwerking van asbestdaken is er geen sprake van een éénduidige correlatie tussen de leeftijd van het asbestcement dak en de emissie van asbest(vezels) om het verloop van de verwerking de komende jaren kwantitatief te kunnen voorspellen.

- Wanneer wordt uitgegaan van een totaal oppervlak aan asbestdaken in Nederland van ca. 74 mln m² zal ongeveer 90 (15 – 200) ton asbest per jaar via uitspoeling vrijkomen. Voor luchterosie gaat het om maximaal 6 (0,7 – 16) x 10¹⁵ vezels per jaar die in de lucht terecht komen; omgerekend naar massa betekent dit maximaal 50 kg asbestvezels per jaar. De hoeveelheid uitgespoeld asbest zal, afhankelijk van de regenwaterafvoer, deels via het rioolwater worden afgevoerd naar rioolwaterzuiveringsinstallaties, deels worden afgevoerd naar het oppervlaktewater in de directe omgeving en deels op de bodem onder asbestdaken terecht komen.

Verspreiding en het risico voor bewoners en omwonenden

- Wanneer een dakgoot ontbreekt of niet meer goed functioneert zullen door uitspoeling via regenwater asbesthoudende restanten en -vezels op de onderliggende bodem terechtkomen. In gepubliceerde literatuur zijn in de afwateringzone onder matig en sterk verweerde daken gemiddelde asbestconcentraties van respectievelijk 90 ± 290 (SD) mg/kg en 1200 ± 3900 (SD) mg/kg gemeten. Het asbest bestaat deels uit matrix gebonden asbest en deels uit losse respirabele vezels; de gemiddeld gemeten vezelconcentratie betrof 18 ± 28 (SD) mg/kg. De verontreiniging bevindt zich voornamelijk in de toplaag (bovenste 5 cm) en in de directe afwateringzone (0 – 100 cm van de dakrand). Uit eerder gepubliceerde meetgegevens blijkt dat tijdens lichte activiteiten in de afwateringzone van sterk verweerde asbestdaken, zoals lopen, handmatig spitten/harken en grasmaaien, er nauwelijks asbestvezels in de lucht worden aangetroffen (maximaal ~185 vezels/m³).

Op basis van het blootstellingsmodel voor asbest in de bodem (Swartjes en Tromp, 2008) blijkt echter wel dat bij deze sterk verweerde asbestdaken er sprake kan zijn van een evident blootstellingsrisico tijdens het uitvoeren van zwaardere activiteiten in de afwateringzone (o.a. machinaal grondverzet). Ditzelfde risico geldt ook voor de situatie waarin verontreinigd slib uit dakgoten wordt bewerkt, bijvoorbeeld tijdens reiniging van verstopte dakgoten. Het blootstellingsrisico hangt af van veel factoren, zoals o.a. type, frequentie en duur van de activiteit, afstand tot de bron en vochtigheidsgraad van het slib.

- Bij het ontbreken van een dakgoot is een zeker risico op 'inloop' van asbest(vezels) naar de woning aanwezig. In eerder gepubliceerd onderzoek (Tromp, 2007) zijn in situaties zonder dakgoot waar uitgespoelde asbesthoudende restanten zich bevinden in de directe inlooproute naar woningen toe verhoogde asbestconcentraties rond de door de Gezondheidsraad afgeleide jaargemiddelde maximaal toelaatbare risiconiveaus gemeten. Het ging hierbij om woningcomplexen waarvan de woningen waren bekleed met asbestcement golfplaat en dak- en gevellei. Voor dergelijke situaties en bij schuren en stallen met asbestcement golfplaten daken met een directe inloop via een (verharde) afwateringzone naar de nabij gelegen woning is er een verhoogd risico op blootstelling aan asbestvezels.

Bij aanwezigheid van een dakgoot of in situaties waar de afwateringzone zich niet bevindt op de directe inlooproute naar woningen is de kans op verontreiniging van de woning door inloop en inwaai van asbest(vezels) beperkt. Bij de metingen in woningen met asbestleien gevels en daken en in woningen in de nabijheid (5 – 25 meter) van schuren en stallen met asbestcement golfplaten daken ligt de asbestvezelconcentratie beneden de bepalingsgrens van 30 vezels/m³. Dit geldt ook voor het gesedimenteerde stof, waarin géén asbest is aangetroffen. Ook in andere gepubliceerde onderzoeken zijn in dergelijke situaties nauwelijks verhoogde asbestvezelconcentraties in de lucht aangetroffen (≤ 100 vezels/m³). Hiermee, liggen de gemeten asbestvezelconcentraties rond de door de Gezondheidsraad afgeleide jaargemiddelde verwaarloosbare risiconiveaus.

- Uit eigen onderzoek en gepubliceerde literatuur blijkt dat de verspreiding van asbestvezels naar de buitenlucht vanuit asbestdaken, ook bij sterke verwerking, beperkt is. De huidige gemeten concentraties aan asbestvezels in de buitenlucht in de nabijheid (0 – 30 meter) van asbestdaken⁸ liggen in dezelfde concentratie range als de in Nederland gemeten achtergrondconcentraties in 2016, met een gemiddelde asbestvezelconcentratie van 13 vezels/m³ en een spreiding van <30 – 28 vezels/m³ voor alle asbestvezels en 3 vezels/m³ en een spreiding van <30 – 14 vezels/m³ voor vezels met een lengte langer dan 5 μm . Net zoals bij de metingen in 2016 blijkt ook hier dat slechts een klein deel van de vezels langer is dan 5 μm (22%) en dat het merendeel van de vezels van het type chrysotiel is (80%). De gemeten asbestvezelconcentraties liggen onder de door de Gezondheidsraad afgeleide jaargemiddelde verwaarloosbare risiconiveaus.
- Onder normale gebruiksomstandigheden (wanneer het onderdak niet wordt beroerd) is de verspreiding van asbestvezels door interne verwerking van het onderdak beperkt. Ondanks dat in enkele schuren in het stof lage concentraties asbest zijn aangetroffen, ligt de gemeten asbestvezelconcentratie in de lucht overal beneden de bepalingsgrens van 30 vezels/m³. Ook in gepubliceerde literatuur wordt in een enkel geval een licht verhoogde concentratie gemeten (< 100 vezels/m³). Hiermee, liggen de gemeten asbestvezelconcentraties rond de door de Gezondheidsraad afgeleide jaargemiddelde verwaarloosbare risiconiveaus.

Met het uitgevoerde onderzoek, inclusief de windrichting-aangestuurde luchtmetingen, is een zo goed mogelijk beeld verkregen van de emissie van asbest(vezels) vanuit verwerende asbestdaken, inclusief de verspreiding en blootstellingsroutes van vrijkomende asbest(vezels) en de blootstellingsrisico's voor bewoners en omwonenden. Op een aantal punten is met het onderzoek nog geen volledig beeld verkregen: er ontbreekt nog een kwantitatief inzicht in het verloop van de verwerking de komende jaren en de verdere verspreiding van asbest dat wordt afgevoerd naar rioolwaterzuiveringsinstallaties en het oppervlaktewater, inclusief blootstellingsrisico's, is nog onvoldoende onderzocht.

Voor een prognose van het verloop van de verwerking in de komende ca. 10 - 20 jaar en de daarmee gepaard gaande toename in de emissie van asbestvezels wordt aanbevolen om aanvullende (uitspoelings)metingen uit te voeren bij een groter aantal asbestdaken met variatie in leeftijd en verweringsgraad. Om te onderzoeken in hoeverre asbest in zuiveringsslib onschadelijk wordt gemaakt in verbrandingsinstallaties en of er hierbij emissies naar lucht kunnen optreden wordt geadviseerd om aanvullende metingen uit te voeren bij enkele verbrandingsinstallaties. Om inzicht te krijgen in de verspreiding naar het oppervlaktewater wordt aanbevolen om in het landelijk gebied aanvullende asbestmetingen in het oppervlaktewater en sediment uit te voeren.

⁸ De meet opstellingen zijn in de lijwervel geplaatst, deze ontstaat aan de lijzijde van een gebouw als gevolg van invloed van het gebouw op de vrije stroming van wind. Er ontstaat een gebied achter het gebouw waar de windsnelheid is verminderd, met een beperkte verdunning als gevolg.

8 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever:

Provincie Overijssel
Postbus 10078
8000 GB Zwolle

Namen van de projectmedewerkers:

L.L. Thijssen, J.P. Lollinga, M.M. Moerman, J.C. Esveld,
M.V. Diks, R. de Jong, H. de Weerd, B.M. ten Brug,
S. Spaan, P.C. Tromp, M.G. Gerritsen-Ebben

Kwaliteitsborging:

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

Tijdsbestek waarin het onderzoek heeft plaatsgevonden:

Februari 2021 – Mei 2022

Tweede lezer:



Dr. J.M. Schinkel
Business Development Manager

Ondertekening:



Drs. P.C. Tromp
Senior Scientist

Autorisatie vrijgave:



Drs. M.A.J. Rennen
Research Manager

9 Referenties

Abesim. Asbestafbouwplan - Voorbereidend traject karakterisatie van bodem in functie van reinigbaarheid en storten, rapport E18/4217, 2019.

Arzoni RJ, Tempelman J, Bemonstering en bepaling concentratie aan asbest in stof en in de lucht regio Goor en omstreken, fase 1, 2000

Australian Safety and Compensation Council (ASCC). A literature review of Australian and overseas studies on the release of airborne asbestos fibres from building materials as a result of weathering and/or corrosion. Commonwealth of Australia. 2008 (ISBN 978 0 642 328328).

Brown SK, Angelopoulos M. Evaluation of erosion release and suppression of asbestos fibers from asbestos building products. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1991; 52 (9): 363-371.

Brown SK. Physical properties of asbestos-cement roof sheeting after longterm exposure. *J. Occup. Health Safety-AustNZ* 1998; 14 (2): 129-134.

Circulaire bodemsanering, Staatscourant 2013, 16675, 27 juni 2013.

Campopiano A, Ramires D, Zakrzewska AM, Ferri R, D'annibale A, Pizzutelli G. Risk assessment of the decay of asbestos cement roofs. *Ann Occup Hyg.* 2009; 53 (6): 627-638.

Cattaneo A, Cavallo DM, Chiappino G. Improvement of a sedimentation method for measuring dispersion of fibres from asbestos cement roofs. *Med Lav.* 2009, 100 (3):187-96. (alleen abstract)

Chiappino G, Giannelle V, Todaro O. Sedimentation method for measuring dispersion of fibers from asbestos cement roofs. *Med Lav* 1999; 90 (3): 519-526. (alleen abstract)

Duyzer J, Westrate H, Hollander K, Verhagen H, De blootstelling van omwonenden van kassen aan gewasbeschermingsmiddelen via de lucht, TNO R 2004/517, december 2004.

Ervik T, Hammer SE, Graff P. Mobilization of asbestos fibers by weathering of a corrugated asbestos cement roof. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2021, 18 (3): 110–117

Fischer M, Meyer E. The assessment of the health risk from asbestos fibres by the Federal Health Office of the FRG. *VDI-Berichte nr. 475: 325-330.* 1983. (alleen abstract)

Gualtieri AF, Mangano D, Gualtieri ML, Ricchi A, Foresti E, Lesci G, Roveri N, Mariotti M, Pecchini G. Ambient monitoring of asbestos in selected Italian living areas. *Journal of Environmental Management* 90 (2009) 3540–3552.

Gezondheidsraad. Asbest: Risico's van milieu- en beroepsmatige blootstelling. Gezondheidsraad, Den Haag, 2010.

Hegger C, Akkersdijk IG, van Ass M, van den Bogaard CJM, Nijhuis NJ, Rozema B, van Brederode NE. GGD-richtlijn medische milieukunde: asbest in de bodem en gezondheid. RIVM rapport 609330003/2007, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven, 2007.

Heierli CH, Weber R. Messungen von Asbestfasern bei Asbestzementdächern. *Umwelt-Materialien Nr. 203, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 24 S,* 2005.

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

Jang BK, Ryu, JY, Tak HW, Song SJ, Lee JW, Lee GH, Choi JH. Asbestos Concentrations in Ambient Air and Drained Rainwater from Slate Roofing by Construction Year and Roof Area. J. Kor. Soc. Occup. Environ. Hyg. 2013; 23 (3), 196-204.

Jeong J-W, Sunja Cho S, Park G-T, Lee S-J. Health risk assessment and evaluation of asbestos release from asbestos-cement slate roofing buildings in Busan. J. Environ. Sci. Int. 2013; 22 (12); 1579-1587.

Jeong JW, Yoo EC, Lee SJ, Park GT. Comparison on the Releasing Characteristics of Asbestos Fiber from Plant Slate Roof and House Slate Roof. J. Environ. Sci. Int. 2015, 24 (7): 927-937.

Justen HP, Strübel G. Verwertungskonzepte für Thermische Reaktionsprodukte Asbesthaltiger Massen, Oberhess. Naturwissensch. Z., 60, 1998/2000.

Kfoury A, Mitri G, Arab D, El Zakhem H, Aouad G. Risk assessment of asbestos-cement roof sheets in Chekka, North Lebanon. Environ. Monit. Assess. 2019; 191 (6): 391.

Kim H, Park GJ, Han JG, Han YS, Hwang BG, Lee JH. Releasing of asbestos fibers from the weathered asbestos cement slate roofing. J. Korean Soc. Occup. Environ. Hyg. 2010; 20(2): 88-93.

Krakowiak E, Górny RL, Cembrzyńska J, Szałkol G, Boissier-Draghi M, Anczyk E. Environmental exposure to airborne asbestos fibres in a highly urbanized city. Ann. Agric. Environ. Med. 2009; 16: 121-128.

La Faille R. Fase 2: Blootstellingsonderzoek Asbestdaken. Kenmerk 31152691, Arcadis, 27 oktober 2020.

Mattenklot M, Analyse thermisch behandelten Asbestzements, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 64, nr. 11/12, 2004.

Meyer E. Untersuchungen zur Bedeutung der Verwitterung von Asbestzementfläche für die Asbestfaserkonzentration in der Umwelt. Staub Reinhaltung der Luft 1986; 46 (11): 482-484.

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

Nederlands Normalisatie Instituut (NEN). NEN 5707+C2:2017 (nl): Bodem - Inspectie en mosterneming van asbest in bodem en partijen grond. 1 december 2017.

Öksüztepe F. Gevaar in de Bodem, AACMA, Afstudeeronderzoek Saxion, juni 2015.

Oosterwegel JLV. Bijzonder inventariserend onderzoek. Erosie van asbestdaken. Geofox-Lexmond BV, Eelerwoude BV, versie 1.2, 29 september 2014.

Pastuszka JS. Emission of airborne fibers from mechanically impacted asbestos-cement sheets and concentration of fibrous aerosol in the home environment in Upper Silesia, Poland. J. Hazard. Mat. 2009; 162: 1171–1177.

Peters J, Brabers R, Berghmans P. Onderzoek naar de vrijstelling en de verspreiding van vezels vanuit verweerde asbesthoudende dakbedekking en gevelbekleding. VITO, 20 november 2013.

Peters J, Brabers R, Aerts W, Van Laer J, Berghmans P. Onderzoek naar de verspreiding van vezels vanuit verweerde asbesthoudende dakbedekking. VITO, 1 juni 2015.

Peters J, Berghmans P, Brabers R. Kleefmonstertest voor de evaluatie van de hechtgebondenheid van asbesthoudende materialen. VITO, 1 juni 2016a.

Peters J, Berghmans P, Aerts W, Baeyens B, Daems J, Van Laer J. Onderzoek naar de vrijstelling van asbest uit golfplaten naar het binnenmilieu in loodsen. VITO, 1 juni 2016b.

Peters J, Berghmans P, Daems J, Touchant K. Risico inschatting asbestvezelvrijstelling uit afdruipzones. VITO, 2020/HEALTH/R/2372, maart 2021.

Phillips JI, Norman G, Renton K. Asbestos in soil around dwellings in Soweto. Occupational Health Southern Africa 2009; March/April: 24-27.

Spurny KR, Marfels H, Boose C, Weiss G, Opiela H, Wulbeck FJ. Measurement of the fibrous dusts in West Germany. Fiber concentration in the vicinity of objects and buildings with asbestos-containing building materials. Zentralbl. Bakteriologie. Mikrobiologie Hyg. B. 1988; 187 (2): 136-141.

Spurny KR. On the emission of fibrous particles from corroded asbestos-cement products. Seemayer NH et al. (editors). Environmental Hygiene. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1988.

Spurny KR. On the release of asbestos fibres from weathered and corroded asbestos cement products. Environ. Res. 1989; 48: 100-116.

Spurny KR. Asbestos fibre release by corroded and weathered asbestos-cement products. IARC Sci Publ. 1989; 90: 367-371. (alleen abstract)

Spurny K, Marfels H, Boose C, Weiss G, Opiela H, Wulbeck FJ. Fiber emissions from weathered asbestos cement products. 1. Fiber release in ambient air. Zentralbl. Hyg. Umweltmed. 1989, 188 (1-2): 127-143. (alleen abstract).

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

Swartjes FA, Tromp PC, Wezenbeek JM. Beoordeling van de risico's van bodemverontreiniging met asbest. RIVM-rapport 711701034/2003, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven, 2003.

Szeszenia-Dabrowska N, Sobala W, Świątkowska B, Stroszejn-Mrowca G, Wilczynska U. Environmental asbestos pollution – Situation in Poland. Int. J. Occup. Med. Environ. Health 2012; 25 (1) :3-13.

Tempelman J. Veroudering van asbestcement producten, oriënterend onderzoek naar de invloed van veroudering en verwerking op de hechtheid van asbestcementproducten. TNO-rapport F 2077, juni 1984.

Tempelman J, Tromp, PC, Swartjes FA, Knol AB. Praktische consequenties van het advies van de Gezondheidsraad inzake asbest 2010. TNO-rapport TNO-034-UT-2010-01344 / RIVM rapport 607647001, augustus 2010.

Tempelman J, Tromp PC. Beoordeling van schade aan asbestcementdaken in de agrarische sector. TNO-rapport TNO-060-UT-2011-01523, augustus 2011.

Tromp PC, Tempelman J; Onderzoek naar de aanwezigheid van asbest in en rondom woningen van het complex Sperwerstraat/Zwaluwstraat/Marialaan te Nijmegen; TNO-rapport MW-R 94/245, oktober 1994.

Tromp PC, Tempelman J, Scholten NPM, Asbest in gebouwen – Onderzoek ter onderbouwing van een bepalingsmethode conform het Bouwbesluit om het risico op asbestblootstelling in gebouwen te beoordelen; fase 2, TNO 96-BKR-R0636, juni 1996.

Tromp PC, Risico-evaluatie van asbesthoudende dakbedekking van twee hallen van de bloemenveiling Aalsmeer, TNO-rapport TR 98/115, maart 1998.

Tromp PC, Risicobeoordeling asbestverontreiniging voormalige steenfabriek te Schijf, TNO-rapport R 2002/728, december 2002.

Tromp PC. Oriënterend onderzoek naar de verspreiding van asbestvezels in het milieu vanuit verweerde asbestcement daken. TNO rapport TR07/420, 2007.

Tromp PC. Verspreiding van asbest vanuit verweerde asbestcementdaken. TNO-rapport TR2007/421, 2007.

Tromp PC. Asbest en andere minerale vezels in de Nederlandse buitenlucht. Meetperiode mei – september 2016. TNO-rapport TNO 2016 R11562. TNO, Utrecht, 2016.

Tromp PC. Beoordelingssystematiek voor het bepalen van de levensduur van asbestcement daken. TNO-rapport TNO 2017 R10008, TNO, Utrecht, 2017.

Van Melle A, Verspreiding van gasvormige emissies nabij gebouwen, TNO-rapport 84-012291, 1984.

VROM. Milieuhygienisch Saneringscriterium Bodem – Protocol Asbest. Ministerie van VROM, VROM 4178, oktober 2004.

Wetterauw M. Verwering van asbestdaken, waar blijft het asbest? Arcadis, 2018.

Wetterauw M, Kaligis TA. Onderzoek bodemverontreiniging en verwering van asbest bij asbestdaken in provincie Drenthe (Definitief). Regionale Uitvoeringsdienst Drenthe, Arcadis, 2017.

Western Australian Advisory Committee on Hazardous Substances. Asbestos Cement Products, WAACHS, Perth, 1990.

Zhang YL, Kim YC, Hong WH. Analysis on changes in thickness of asbestos cement slates through years since first installations and development on model to natural emission of asbestos fiber. Journal of the architectural institute of Korea planning & design 2014; 30 (5): 229-236, 2014. (alleen abstract).

Zhang YL, Kim YC, Hong WH. Visualizing distribution of naturally discharged asbestos fibers in Korea through analysis of thickness changes in asbestos cement slates. *Journal of Cleaner Production* 2016; 112: 607-619.

Bijlage I: Beschrijving meetlocaties

A) Meetlocatie Barneveld

De meetlocatie in Barneveld betreft drie geschakelde kalverstallen uit 1980-1985 met asbestcement golfplaten daken (Figuur B1). De daken hebben een totaal oppervlak van ~1200 m² en zijn aan de binnenkant bekleed met hardschuim platen. Het betreft oorspronkelijk ongecoate platen met 10-15% chrysotiel die sterk zijn verweerd. Op de daken en op de dakgoten zijn meerdere beschadigingen (afgebroken stukken) aangetroffen. Op de daken was nauwelijks tot lichte mosgroei aanwezig. De daken hebben een hellingshoek van ~30°. De stallen staan in agrarisch gebied op ~1 km van bebouwde omgeving. Op de meetlocatie Barneveld is gemeten in de zomerperiode (4 augustus – 10 oktober 2021). In Figuur B2 zijn de meetopstellingen van de buitenluchtmeting en uitspoelingsmeting weergegeven.

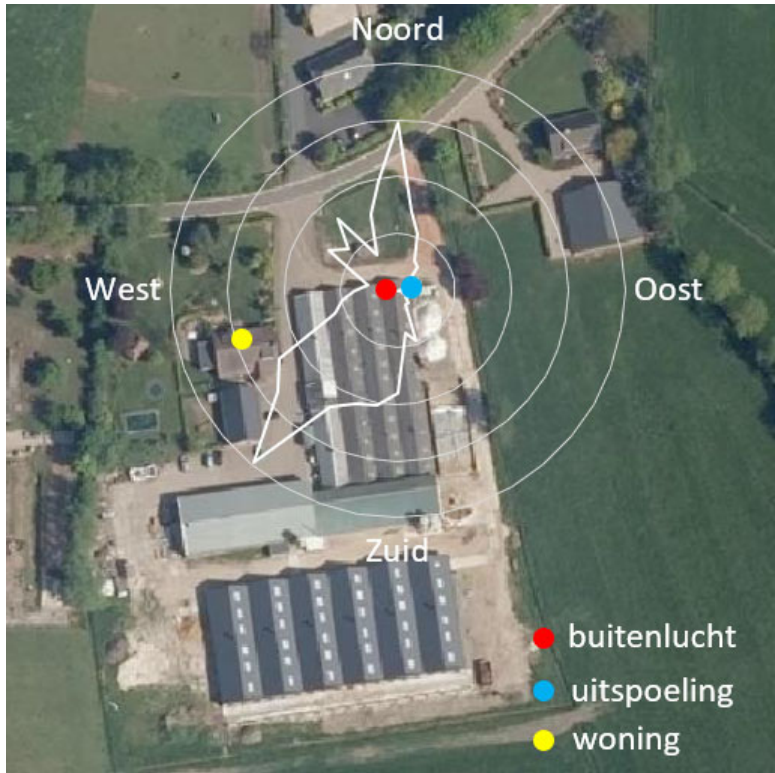


Figuur B1. Overzichtfoto's meetlocatie Barneveld

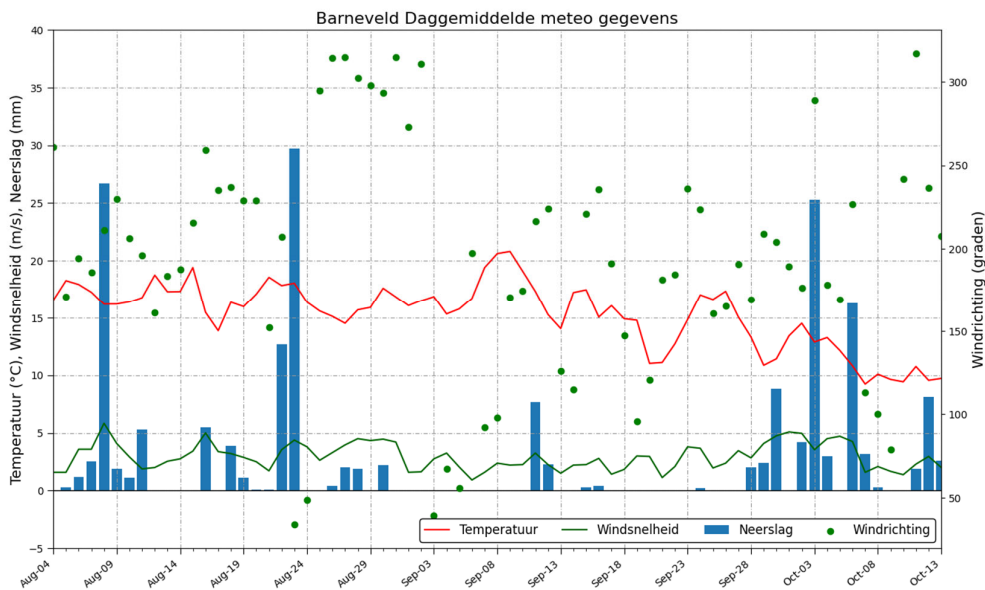


Figuur B2. Luchtmeting (links) en uitspoelingsmeting (rechts) op meetlocatie Barneveld

In Figuur B3 is een kaart weergegeven met geschakelde kalverstallen, de naastgelegen woning (op ca. 10 m afstand van de stallen) waar de binnenluchtmeting heeft plaatsgevonden en de posities van de metingen. Ook is een windroos geprojecteerd met de heersende windrichtingen tijdens de buitenluchtmeting. In Figuur B4 is het daggemiddelde van de temperatuur, neerslag, windrichting en windsnelheid tijdens de metingen op locatie Barneveld weergegeven; daarvoor zijn de meteogegevens van het KNMI weerstation Barneveld gebruikt.



Figuur B3. Kaart van de meetlocatie Barneveld (googlemaps) met windroos en meetposities



Figuur B4. Schematische weergave van de daggemiddelde meteo (temperatuur, windsnelheid, windrichting en neerslag) tijdens de metingen op locatie Barneveld.

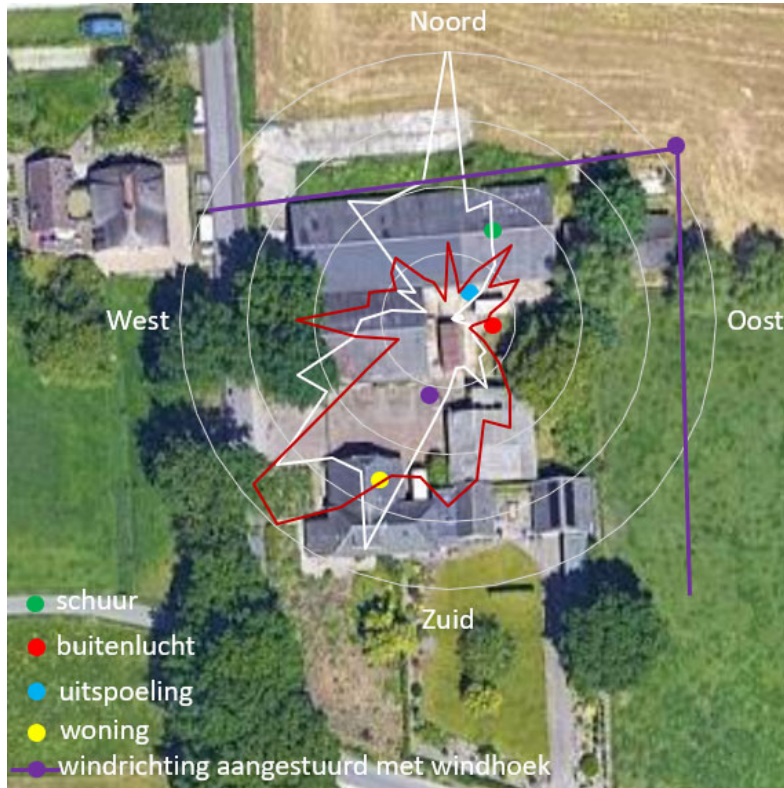
B) Meetlocatie Hoevelaken-1

Op de meetlocatie Hoevelaken-1, dat zich bevindt in een agrarisch gebied, zijn een drietal gebouwen aanwezig met asbestcement golfplaten daken (Figuur B5). Het betreft een voormalige schuur uit 1957 met dakoppervlak van 163 m² en hellingshoek van ~10°. De schuur heeft geen dakgoten en wordt gebruikt voor opslag. Het asbestcement bestaat uit 10-15% chrysotiel en 2-5% crocidoliet. De twee andere gebouwen met AC daken bestaan uit asbestcement met 10-15% chrysotiel. Het betreft een voormalige veeschuur uit 1967 met een dakoppervlak van 405 m² en hellingshoek van ~20° waarvan de dakgoot op diverse plaatsen kapot is. Daarnaast is er een voormalige kippenhok uit 1972 met een dakoppervlak van 115 m² en hellingshoek van ~25° zonder dakgoot. Alle daken zijn sterk verweerd met enige mosgroei.

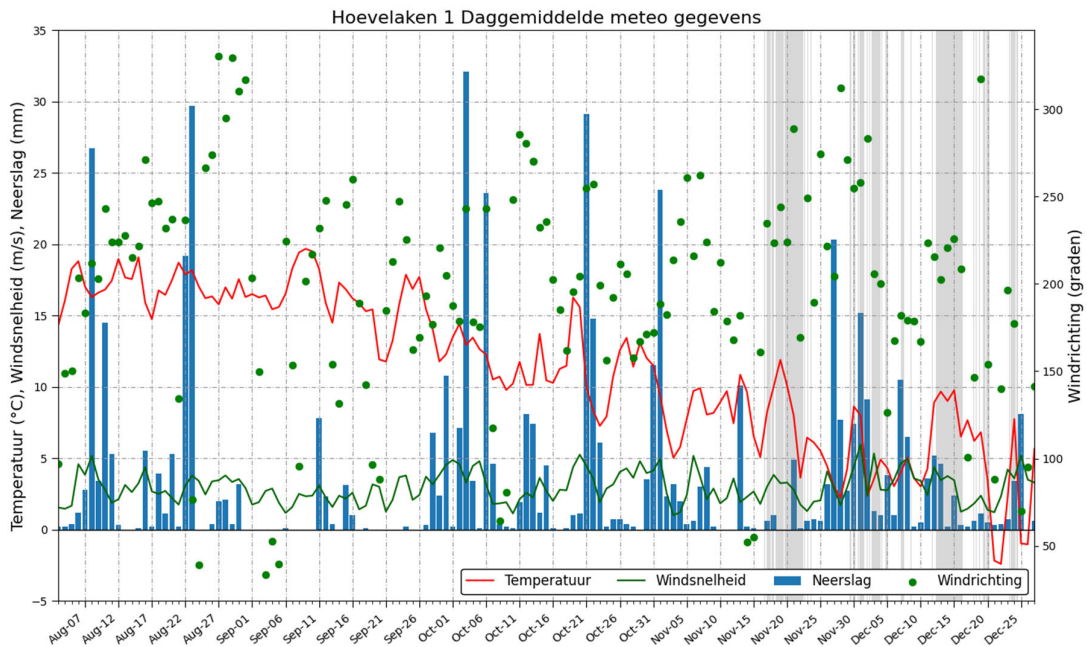


Figuur B5. Overzichtfoto's van de meetlocatie Hoevelaken-1 met de voormalige veeschuur inclusief de installatie van de uitspoelingsopstelling (linksboven), het interne dakoppervlak van de veeschuur met houten dakspanten (rechtsboven), de luchtmeting met actieve ventilatie in de veeschuur (linksonder) en de windrichting-aangestuurde meetopstellingen boven- en benedenwinds van de veeschuur en kippenschuur (midden- en rechtsonder).

Op de meetlocatie Hoevelaken-1 is gemeten in de zomerperiode (3 augustus – 13 oktober 2021) en in de winterperiode (16 november – 27 december 2021). In Figuur B5 zijn de meetopstellingen van de actieve binnenluchtmeting in de voormalige veeschuur en windrichting-aangestuurde metingen boven- en benedenwinds van de veeschuur en kippenschuur weergegeven. In Figuur B6 is een kaart weergegeven met de drie schuren, de naastgelegen woning (op ca. 10-20 m afstand van de schuren) waar in de zomerperiode de binnenluchtmeting heeft plaatsgevonden en de posities van de metingen. Ook zijn voor de zomer- en winterperiode windrozen geprojecteerd (respectievelijk witte en rode lijn) met de heersende windrichtingen tijdens de buitenluchtmeting.

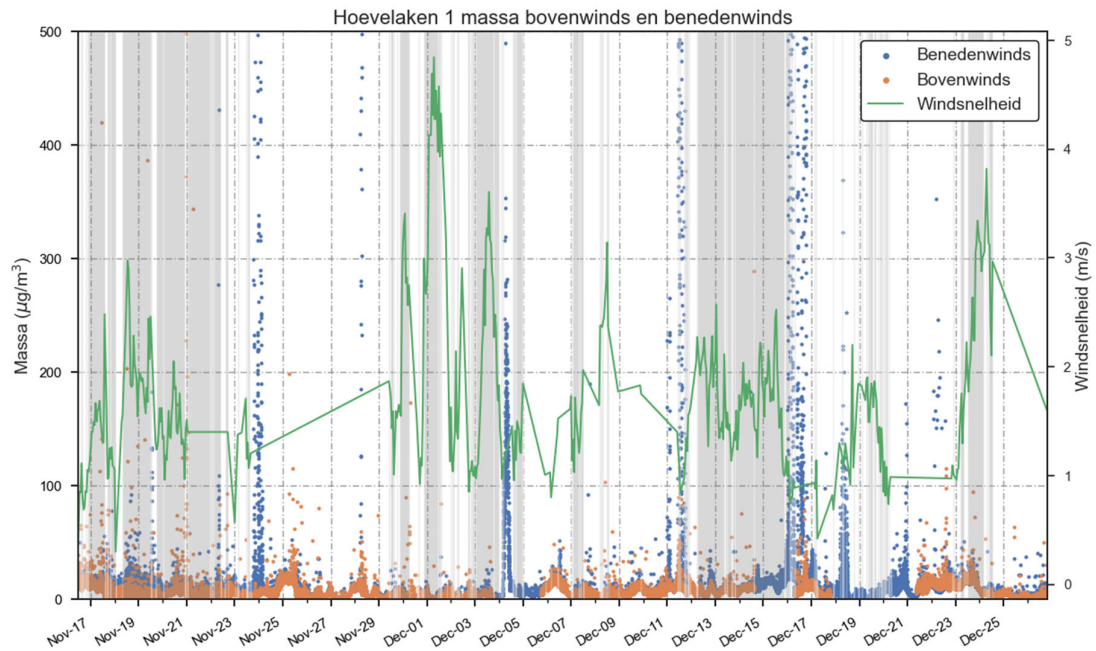


Figuur B6. Kaart van de meetlocatie Hoewelaken-1 (googlemaps) met windrozen voor de zomerperiode (witte lijn) en winterperiode (rode lijn), meetposities en windhoek voor de windrichting aangestuurde meting



Figuur B7. Schematische weergave van de daggemiddelde meteo (temperatuur, windsnelheid, windrichting en neerslag) tijdens de metingen op locatie Hoewelaken-1. De grijze vlakken geven aan wanneer de windrichting-aangestuurde metingen hebben gelopen (bij wind over asbestcementdaken).

In Figuur B7 is het daggemiddelde van de temperatuur, neerslag, windrichting en windsnelheid tijdens de metingen op locatie Hoevelaken-1 weergegeven; daarvoor is het gemiddelde genomen van de meteogegevens van de KNMI weerstations Nijkerk, Soest en Barneveld. De grijze vlakken geven aan wanneer de windrichting-aangestuurde metingen hebben gelopen (bij wind over asbestcementdaken). Met behulp van Fijnstof monitoren zijn in de winterperiode op meetlocatie Hoevelaken-1 fijnstofconcentraties (PM_{10}) gemeten. Figuur B8 geeft de data van de deeltjesconcentratie benedenwinds ($\mu\text{g}/\text{m}^3$, oranje punten) en de deeltjesconcentratie bovenwinds ($\mu\text{g}/\text{m}^3$, blauwe punten). In het grijs is weergegeven in welke delen van de meetperiode de wind over het asbestdak waaide.



Figuur B8. Schematische weergave van de deeltjesconcentratie benedenwinds (oranje punten) en bovenwinds (blauwe punten) met de windsnelheid (groene lijn) op meetlocatie Hoevelaken-1. In het grijs is weergegeven in welke delen van de meetperiode de wind over het asbestdak waaide.

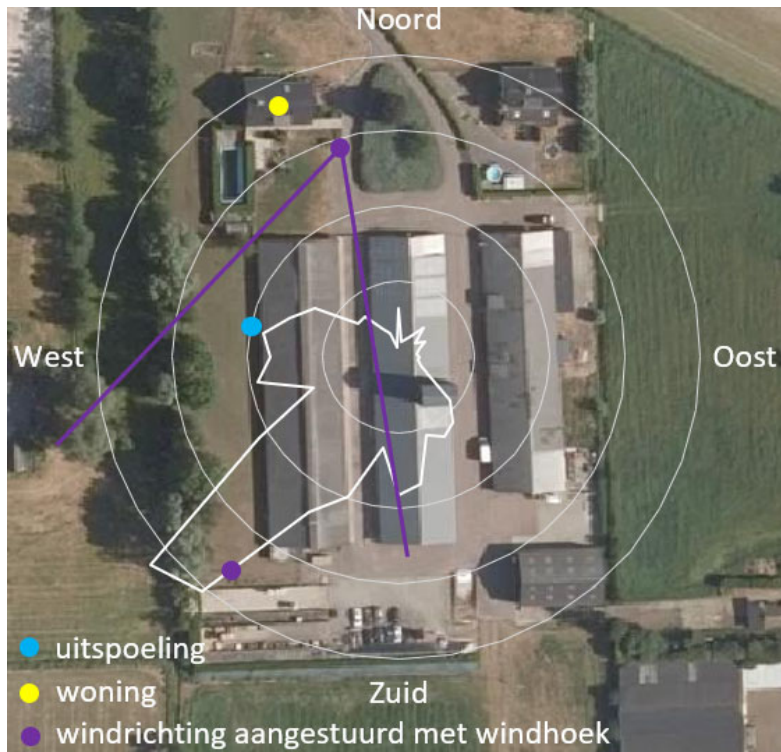
C) Meetlocatie Hoevelaken-2

Op de meetlocatie Hoevelaken-2, dat zich bevindt in een agrarisch gebied, zijn twee gebouwen met asbestcement golfplaten daken aanwezig (Figuur B9). Één gebouw betreft een voormalige varkensschuur uit 1975 met een totaal dakoppervlak van 1200 m². De schuur wordt nu gebruikt als loods en heeft geen dakgoten. Het asbestcement bestaat uit 10-15% chrysotiel en 2-5% crocidoliet. Daarnaast staat een kalverenschuur uit 1985 met een dakoppervlak van ~1500 m². Van deze schuur bestaat het asbestcement uit 10-15% chrysotiel. In beide gevallen gaat het om oorspronkelijk ongecoate daken die sterk verweerd zijn met nauwelijks mosgroei. Beide daken hebben een hellingshoek van ~30°, zijn aan de binnenkant bekleed met hardschuim platen en zijn voorzien van intacte dakgoten.

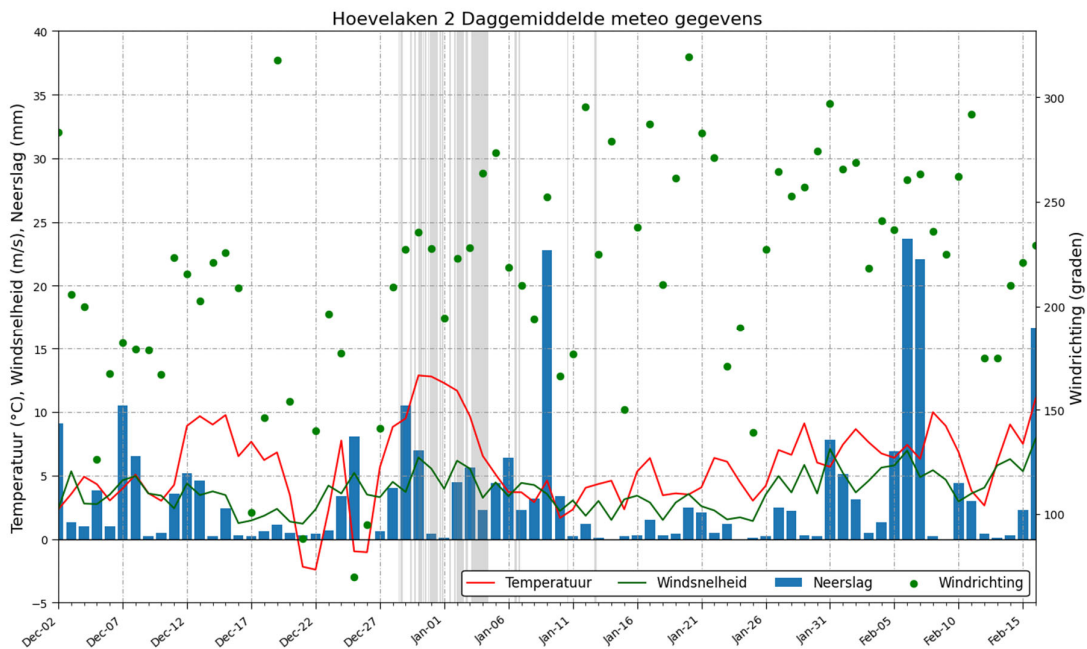


Figuur B9. Overzichtfoto's van de meetlocatie Hoevelaken-2 met het asbestcement dak van de kalverenschuur (boven), het interne dakoppervlak van de schuur met stalen en houten dakspanten (linksonder), de uitspoeling meetopstelling naast de kalverenschuur (midden onder) en de windrichting-aangestuurde meetopstelling benedenwinds van de twee schuren (rechtsonder).

Op de meetlocatie Hoevelaken-2 is gemeten in de winterperiode (2 december 2021 – 17 januari 2022). In Figuur B9 zijn de meetopstellingen van uitspoelingsmeting naast de kalverenschuur en de windrichting-aangestuurde meting benedenwinds van de twee schuren weergegeven. In Figuur B10 is een kaart weergegeven met de twee schuren, de naastgelegen woning (op ca. 25 m afstand van de schuren) waar in de zomerperiode de binnenluchtmeting heeft plaatsgevonden en de overige posities van de metingen. Ook is voor de winterperiode een windroos geprojecteerd met de heersende windrichtingen tijdens de buitenluchtmeting.

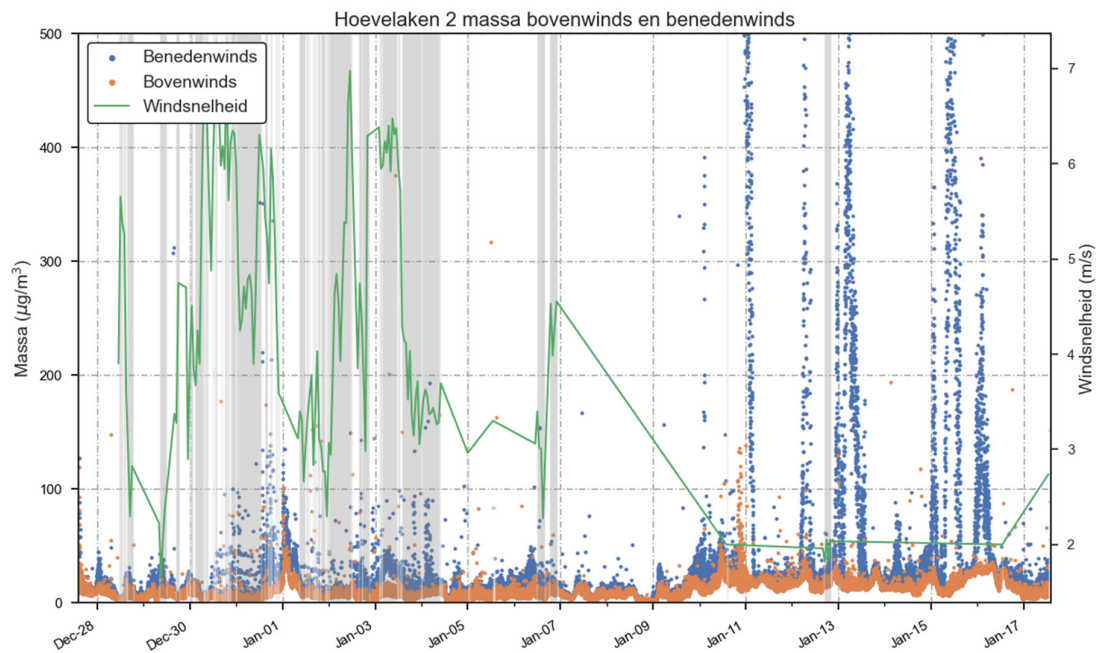


Figuur B10. Kaart van de meetlocatie Hoevelaken-2 (googlemaps) met windroos, meetposities en windhoek voor de windrichting aangestuurde meting



Figuur B11. Schematische weergave van de daggemiddelde meteo (temperatuur, windsnelheid, windrichting en neerslag) tijdens de metingen op locatie Hoevelaken-2. De grijze vlakken geven aan wanneer de windrichting-aangestuurde metingen hebben gelopen (bij wind over asbestcementdaken).

In Figuur B11 is het daggemiddelde van de temperatuur, neerslag, windrichting en windsnelheid tijdens de metingen op locatie Hoewelaken-2 weergegeven; daarvoor is het gemiddelde genomen van de meteorologische gegevens van de KNMI weerstations Nijkerk, Soest en Barneveld. De grijze vlakken geven aan wanneer de windrichting-aangestuurde metingen hebben gelopen (bij wind over asbestcementdaken). Met behulp van Fijnstof monitoren zijn in de winterperiode op meetlocatie Hoewelaken-2 fijnstofconcentraties (PM_{10}) gemeten. Figuur B12 geeft de data van de deeltjesconcentratie benedenwinds ($\mu\text{g}/\text{m}^3$, oranje punten) en de deeltjesconcentratie bovenwinds ($\mu\text{g}/\text{m}^3$, blauwe punten). In het grijs is weergegeven in welke delen van de meetperiode de wind over het asbestdak waaide.



Figuur B12. Schematische weergave van de deeltjesconcentratie benedenwinds (oranje punten) en bovenwinds (blauwe punten) met de windsnelheid (groene lijn) op meetlocatie Hoewelaken-2. In het grijs is weergegeven in welke delen van de meetperiode de wind over het asbestdak waaide.

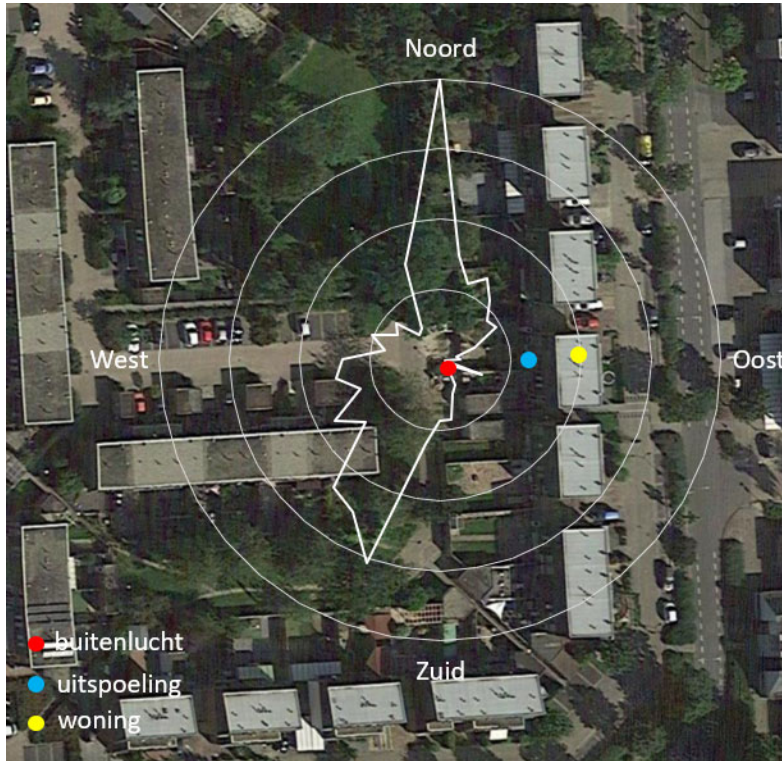
D) Meetlocatie Lelystad-1

De meetlocatie Lelystad-1 betreft een woning in de bebouwde omgeving (Figuur B13). De woning is gebouwd tussen 1980-1982 en bevat asbestleien gevel- en dakpanelen met 10-15% chrysotiel. De asbestleien zijn matig verweerd met nauwelijks tot geen mosgroei. De woning is voorzien van dakgoot en de hellingshoek van het dak waar het regenwater is bemonsterd is $\sim 80^\circ$. Het totale oppervlak aan asbestleien op de betreffende meetlocatie is ongeveer 120 m², echter de halve woonwijk is bekleed met dezelfde dakleien (inmiddels is ca. 50% gesaneerd en vervangen door asbestvrije leien).

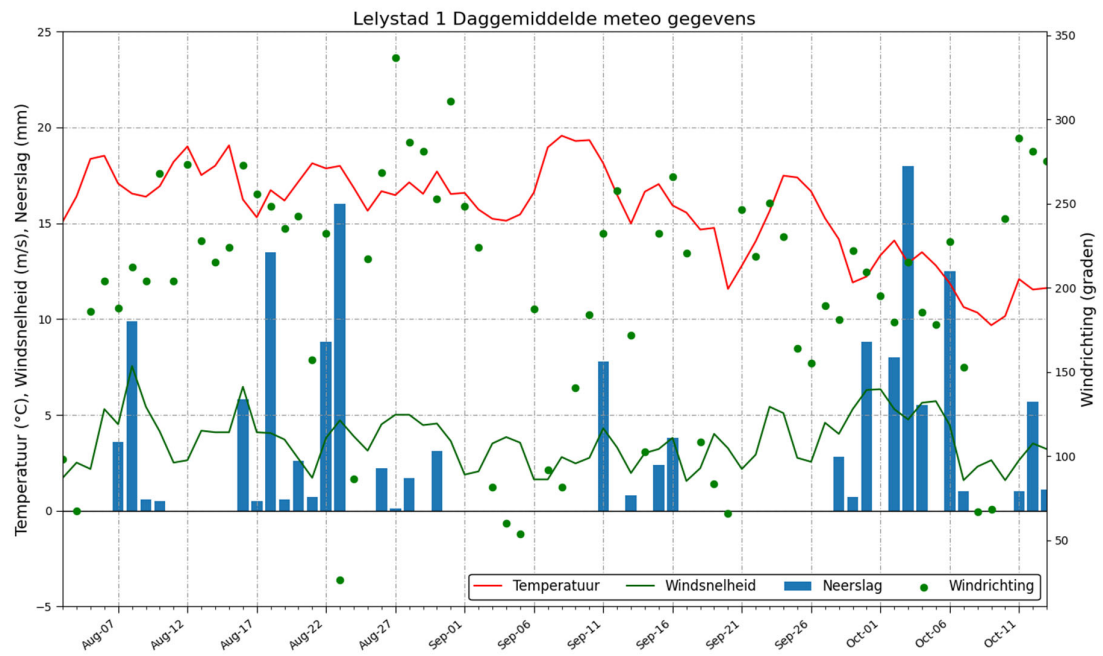


Figuur B13. Overzichtfoto's van de meetlocatie Lelystad-1 met de asbestleien gevel en dakbekleding (boven), de buitenluchtmeting in de achtertuin (linksonder) en de binnenmeting in de woning (rechtsonder)

Op de meetlocatie Lelystad-1 is gemeten in de zomerperiode (3 augustus – 13 oktober 2021). In Figuur B13 zijn de meetopstellingen van de buitenluchtmeting in de achtertuin en de binnenluchtmeting in de woning weergegeven. In Figuur B14 is een kaart weergegeven met betreffende woning en de meetposities. Ook is een windroos geprojecteerd met de heersende windrichtingen tijdens de buitenluchtmeting. In Figuur B15 is het daggemiddelde van de temperatuur, neerslag, windrichting en windsnelheid tijdens de metingen op locatie Lelystad-1 weergegeven; daarvoor zijn de meteogegevens van het KNMI weerstation Lelystad gebruikt.



Figuur B14. Kaart van de meetlocatie Lelystad-1 (googlemaps) met windroos en meetposities



Figuur B15. Schematische weergave van de daggemiddelde meteo (temperatuur, windsnelheid, windrichting en neerslag) tijdens de metingen op locatie Lelystad-1.

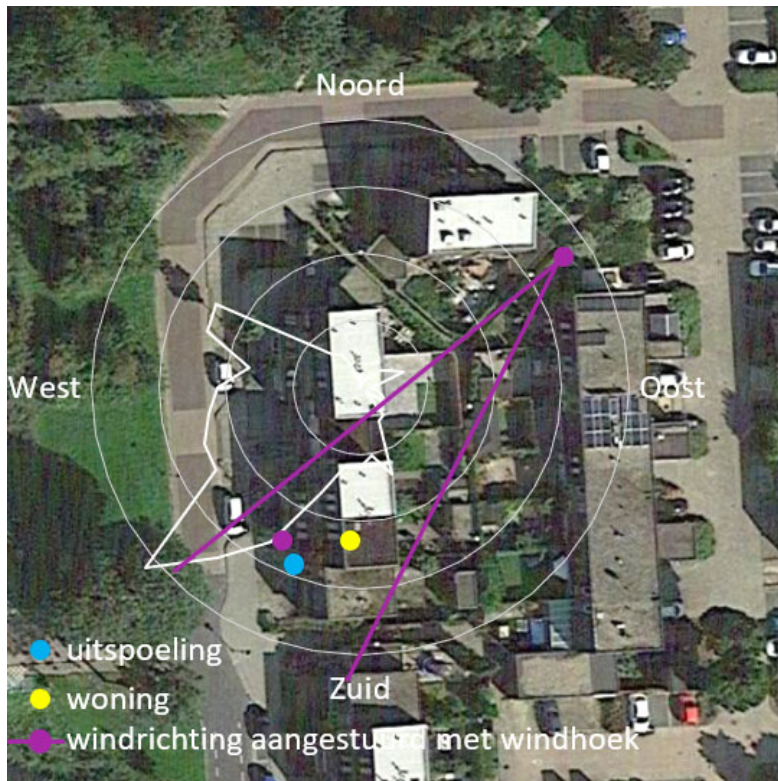
E) Meetlocatie Lelystad-2

De meetlocatie Lelystad-2 is vergelijkbaar met meetlocatie Lelystad-1. Het betreft een woning in de bebouwde omgeving (Figuur B16). De woning is gebouwd tussen 1980-1982 en bevat asbestleien gevel- en dakpanelen met 10-15% chrysotiel. De asbestleien zijn matig verweerd met lichte mosgroei aan de onderkant van de gevel. De woning is voorzien van dakgoot en de hellingshoek van het dak waar het regenwater is bemonsterd is $\sim 80^\circ$. Het totale oppervlak aan asbestleien op de betreffende meetlocatie is ongeveer 120 m², echter de halve woonwijk is bekleed met dezelfde dakleien (inmiddels is ca. 50% gesaneerd en vervangen door asbestvrije leien).

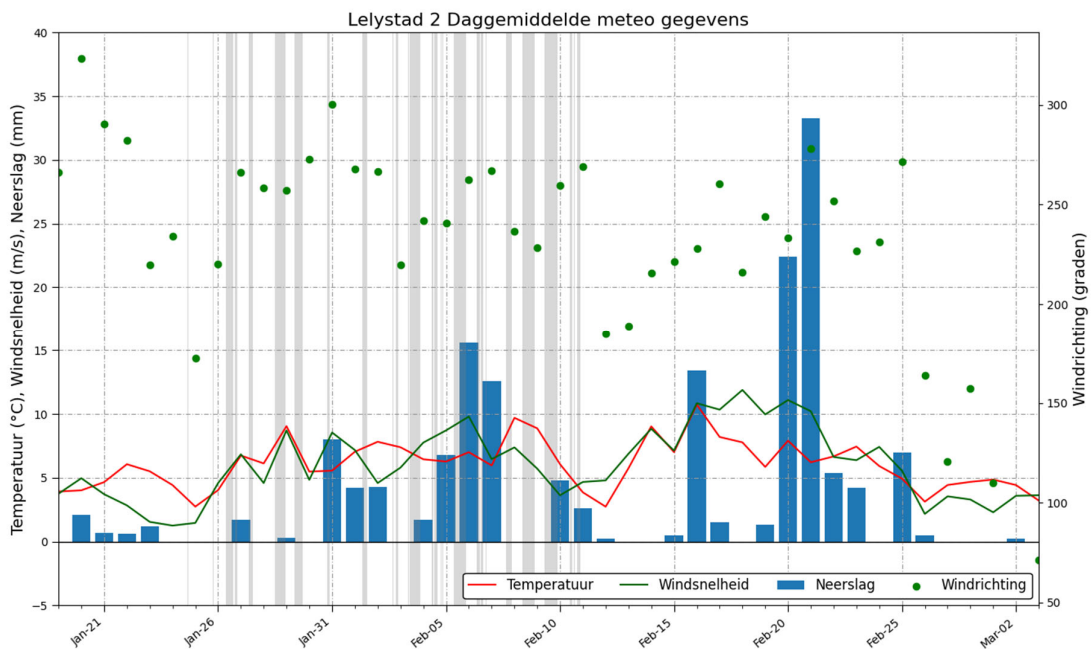


Figuur B16. Overzichtfoto's van de meetlocatie Lelystad-2 met de asbestleien gevel en dakbekleding (boven), de windrichting-aangestuurde meetopstellingen boven- en benedenwinds van de woning (onder) en de uitspoelingsopstelling (linksonder).

Op de meetlocatie Lelystad-2 is gemeten in de winterperiode (19 januari – 3 maart 2022). In Figuur B16 zijn de meetopstellingen van de windrichting-aangestuurde metingen en de uitspoelingsmeting weergegeven. In Figuur B17 is een kaart weergegeven met betreffende woning en de meetposities. Ook is een windroos geprojecteerd met de heersende windrichtingen tijdens de buitenluchtmeting. In Figuur B18 is het daggemiddelde van de temperatuur, neerslag, windrichting en windsnelheid tijdens de metingen op locatie Lelystad-2 weergegeven; daarvoor zijn de meteogegevens van het KNMI weerstation Lelystad gebruikt. De grijze vlakken geven aan wanneer de windrichting-aangestuurde metingen hebben gelopen (bij wind over de asbestleien gevel- en dakbeplating).

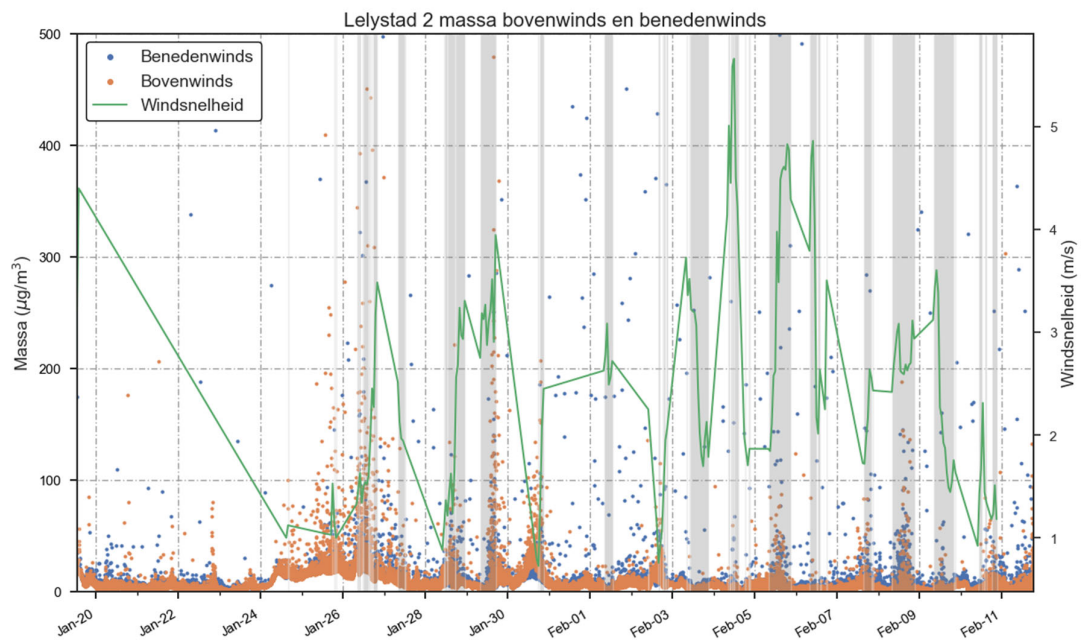


Figuur B17. Kaart van de meetlocatie Lelystad-2 (googlemaps) met windroos, meetposities en windhoek voor de windrichting aangestuurde meting



Figuur B18. Schematische weergave van de daggemiddelde meteo (temperatuur, windsnelheid, windrichting en neerslag) tijdens de metingen op locatie Lelystad-2. De grijze vlakken geven aan wanneer de windrichting-aangestuurde metingen hebben gelopen (bij wind over asbestcementdaken).

Met behulp van Fijnstof monitoren zijn in de winterperiode op meetlocatie Lelystad-2 fijnstofconcentraties (PM_{10}) gemeten. Figuur B19 geeft de data van de deeltjesconcentratie benedenwinds ($\mu\text{g}/\text{m}^3$, oranje punten) en de deeltjesconcentratie bovenwinds ($\mu\text{g}/\text{m}^3$, blauwe punten). In het grijs is weergegeven in welke delen van de meetperiode de wind over het asbestdak waaide.



Figuur B19. Schematische weergave van de deeltjesconcentratie benedenwinds (oranje punten) en bovenwinds (blauwe punten) met de windsnelheid (groene lijn) op meetlocatie Lelystad-2. In het grijs is weergegeven in welke delen van de meetperiode de wind over het asbestdak waaide.

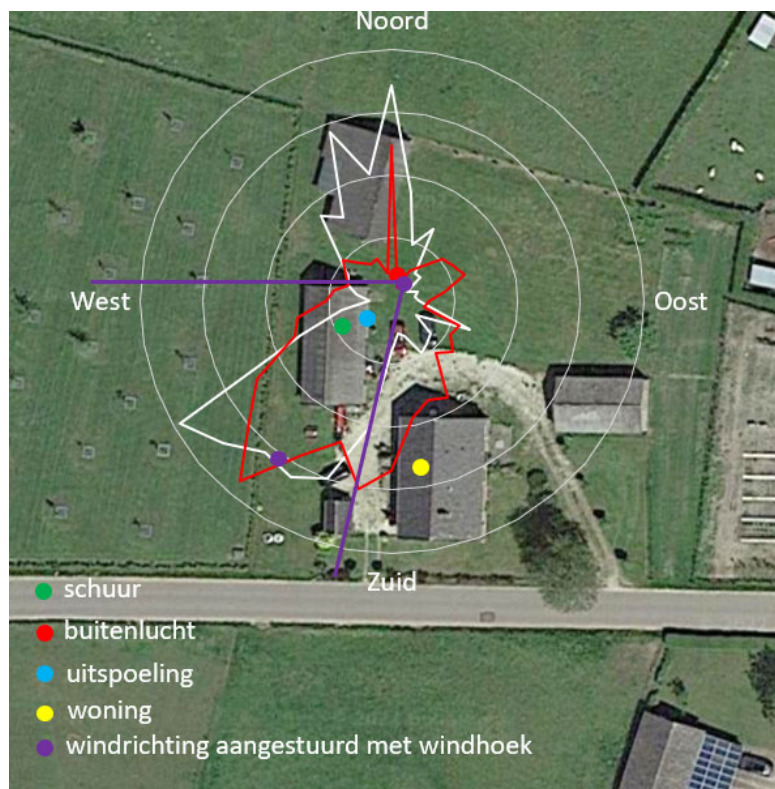
F) Meetlocatie Loenen

Op de meetlocatie Loenen, dat zich bevindt in een agrarisch gebied, zijn een drietal schuren aanwezig met asbestcement golfplaten daken (Figuur B20). Het betreft een voormalige varkensschuur uit ca. 1970 met dakoppervlak van 140 m² en hellingshoek van ~45°. De schuur heeft geen dakgoten en wordt gebruikt voor loods. Het asbestcement bestaat uit 10-15% chrysotiel en 2-5% crocidoliet. De twee andere schuren zijn een kapschuur en een schuur voor opslag, beide met een dakoppervlak van 100 m² en hellingshoek van ~20°. Ook deze schuren zijn niet voorzien van dakgoten. Alle daken zijn sterk verweerd met lichte mosgroei.



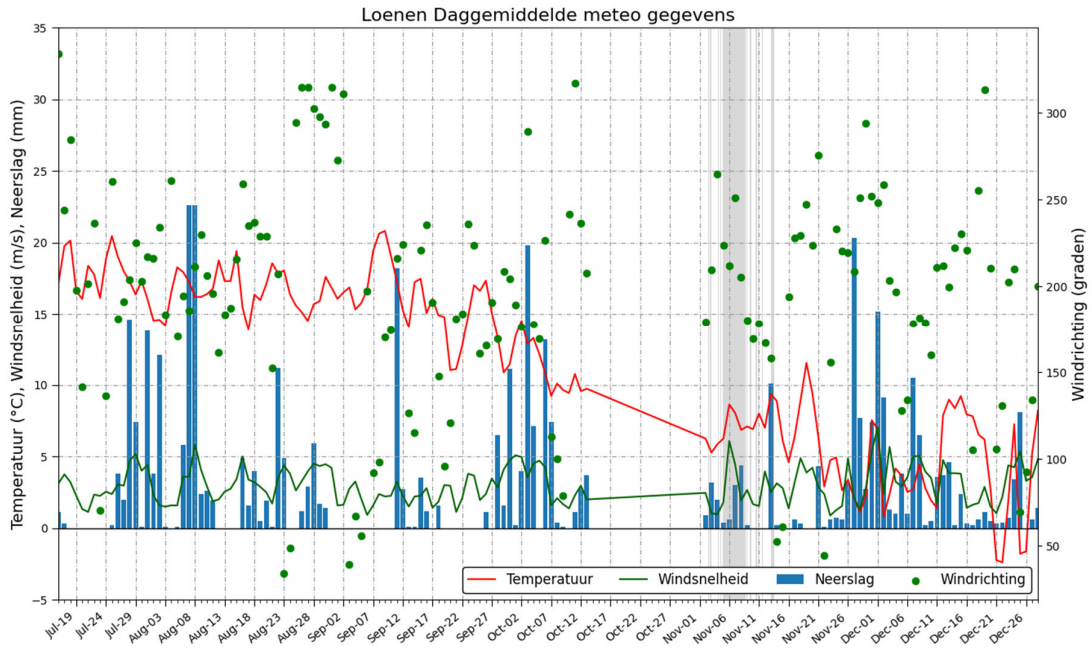
Figuur B20. Overzichtfoto's van de meetlocatie Loenen met de voormalige varkensschuur en de kapschuur (boven), het dakoppervlak binnen en buiten van de voormalige varkensschuur (midden), de windrichting-aangestuurde meetopstellingen boven- en benedenwinds van de voormalige varkensschuur (links/midden onder) en de opstelling voor de uitspoelingsmeting (rechtsonder).

Op de meetlocatie Loenen is gemeten in de zomerperiode (3 augustus – 13 oktober 2021) en in de winterperiode (16 november – 28 december 2021). In Figuur B20 zijn de meetopstellingen van de windrichting-aangestuurde metingen boven- en benedenwinds van de voormalige varkensschuur en de opstelling voor de uitspoelingsmeting weergegeven. In Figuur B21 is een kaart weergegeven met de schuren, de naastgelegen woning (op ca. 5-10 m afstand van de schuren) waar in de zomer- en winterperiode de binnenluchtmetingen hebben plaatsgevonden en de posities van overige metingen. Ook zijn voor de zomer- en winterperiode windrozen (respectievelijk witte en rode lijn) geprojecteerd met de heersende windrichtingen tijdens de buitenluchtmetingen.

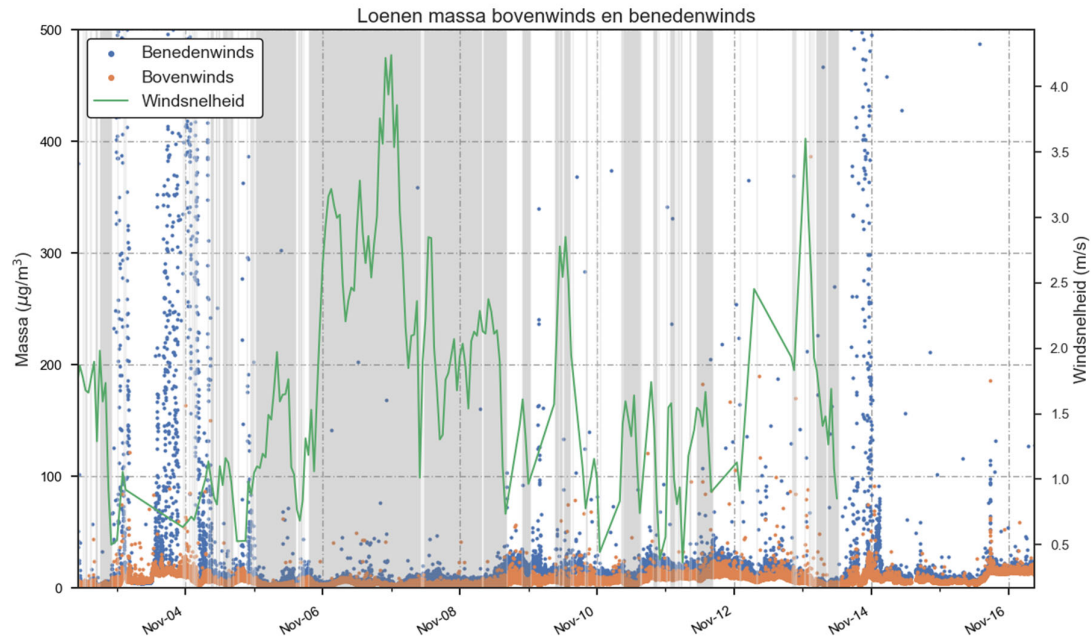


Figuur B21. Kaart van de meetlocatie Loenen (googlemaps) met windrozen voor de zomerperiode (witte lijn) en winterperiode (rode lijn), meetposities en windhoek voor de windrichting aangestuurde meting

In Figuur B22 is het daggemiddelde van de temperatuur, neerslag, windrichting en windsnelheid tijdens de metingen op locatie Loenen weergegeven; daarvoor is het gemiddelde genomen van de meteogegevens van de KNMI weerstations Eerbeek en Beekbergen. De grijze vlakken geven aan wanneer de windrichting-aangestuurde metingen hebben gelopen (bij wind over asbestcementdaken). Met behulp van Fijnstof monitoren zijn in de winterperiode op meetlocatie Loenen fijnstofconcentraties (PM_{10}) gemeten. Figuur B23 geeft de data van de deeltjesconcentratie benedenwinds ($\mu\text{g}/\text{m}^3$, oranje punten) en de deeltjesconcentratie bovenwinds ($\mu\text{g}/\text{m}^3$, blauwe punten). In het grijs is weergegeven in welke delen van de meetperiode de wind over het asbestdak waaide.



Figuur B22. Schematische weergave van de daggemiddelde meteo (temperatuur, windsnelheid, windrichting en neerslag) tijdens de metingen op locatie Loenen. De grijze vlakken geven aan wanneer de windrichting-aangestuurde metingen hebben gelopen (bij wind over asbestcementdaken).



Figuur B23. Schematische weergave van de deeltjesconcentratie benedenwinds (oranje punten) en bovenwinds (blauwe punten) met de windsnelheid (groene lijn) op meetlocatie Loenen. In het grijs is weergegeven in welke delen van de meetperiode de wind over het asbestdak waaide.

G) Meetlocatie Milheeze

De meetlocatie in Milheeze, gelegen in agrarisch gebied, betreft twee naast elkaar gelegen stallen met asbestcement golfplaten daken uit 1976 (Figuur B24). De stal aan de Oostkant is in gebruik als varkensstal en de stal aan de Westkant heeft een gedeelde functie als koeienstal en opslag. Beide daken hebben een oppervlak van $\sim 1200 \text{ m}^2$, hebben een hellingshoek van $\sim 20^\circ$ en zijn voorzien van goed functionerende dakgoten. De asbestcement golfplaten, bestaande uit 10-15% chrysotiel, zijn matig verweerd met weinig tot geen mosgroei. Op de meetlocatie Milheeze is gemeten in de zomerperiode (4 augustus – 13 oktober 2021). In Figuur B25 zijn de meetopstellingen van de buitenluchtmeting en uitspoelingsmeting weergegeven.

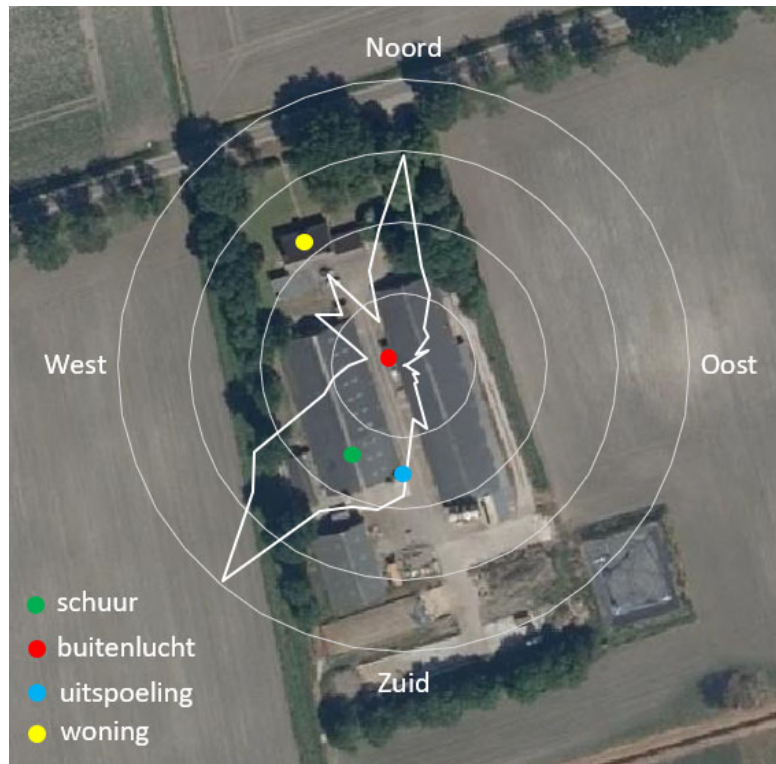


Figuur B24. Overzichtfoto's meetlocatie Milheeze

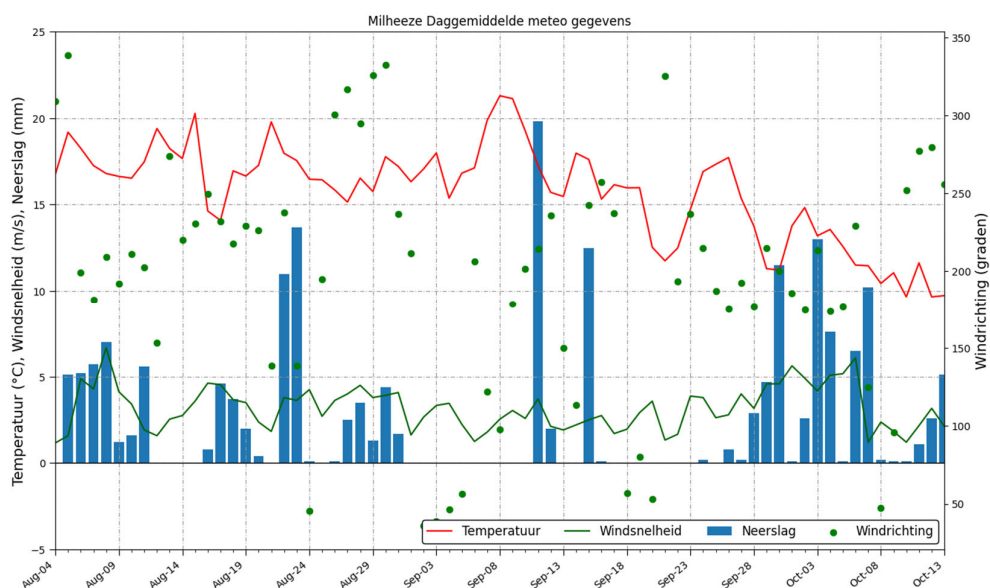


Figuur B25. Luchtmeting (links) en uitspoelingsmeting (rechts) op meetlocatie Barneveld

In Figuur B26 is een kaart weergegeven met de twee stallen, de naastgelegen woning (op ca. 10 m afstand van de stallen) waar de binnenluchtmeting heeft plaatsgevonden en de posities van de metingen. Ook is een windroos geprojecteerd met de heersende windrichtingen tijdens de buitenluchtmeting. In Figuur B27 is het daggemiddelde van de temperatuur, neerslag, windrichting en windsnelheid tijdens de metingen op locatie Milheeze weergegeven; daarvoor is het gemiddelde genomen van de KNMI weerstations Deurne, Helmond en Gemert.



Figuur B26. Kaart van de meetlocatie Milheeze (googlemaps) met windroos en meetposities



Figuur B27. Schematische weergave van de daggemiddelde meteo (temperatuur, windsnelheid, windrichting en neerslag) tijdens de metingen op locatie Milheeze.

Bijlage II: Lijst met wetenschappelijke artikelen en onderzoeksrapporten zoals meegenomen in het literatuuronderzoek

Abesim, 2019. Asbestafbouwplan. Voorbereidend traject karakterisatie van bodem in functie van reinigbaarheid en storten. Rapport E18/4217.

Arzoni RJ, Tempelman J, Bemonstering en bepaling concentratie aan asbest in stof en in de lucht regio Goor en omstreken, fase 1, 2000

Australian Safety and Compensation Council. A literature review of Australian and overseas studies on the release of airborne asbestos fibres from building materials as a result of weathering and/or corrosion. Commonwealth of Australia. 2008 (ISBN 978 0 642 328328).

Bassani C, Cavalli RM, Cavalcante F, Pignatti S. Deterioration status of asbestos-cement roofing sheets assessed by analyzing hyperspectral data. *Remote Sensing of Environment* 2007; 109 (3):361-378.

Bonifazi G, Capobianco G, Serranti S. Asbestos containing materials detection and classification by the use of hyperspectral imaging. *J. Hazard. Mat.* 2018; 344: 981-993.

Borghgraef T, Dubois M, Rousseau S. Maatschappelijke kosten-batenanalyse voor asbestafbouwbeleid in Vlaanderen. E&Y, 20 juli 2018.

Brown SK. Asbestos exposure during renovation and demolition of asbestos-cement clad buildings. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1987; 48 (5), 478-486.

Brown SK, Angelopoulos M. Evaluation of erosion release and suppression of asbestos fibers from asbestos building products. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1991; 52 (9): 363-371.

Brown SK. Physical properties of asbestos-cement roof sheeting after longterm exposure. *J. Occup. Health Safety-AustNZ* 1998; 14 (2): 129-134.

Bujak-Pietrek S, Szadkowska-Stańczyk I. Exposure to respirable asbestos fibers at various stage of asbestos removal work. *Med. Pr.* 2012; 63 (2): 191-198. Alleen abstract. Pools

Burdett G. Investigation of the chrysotile fibres in an asbestos cement sample. HSL/2007/11, Health and Safety Laboratory (HSL), Buxton, United Kingdom, 2007.

Campopiano A, Ramires D, Zakrzewska AM, Ferri R, D'annibale A, Pizzutelli G. Risk assessment of the decay of asbestos cement roofs. *Ann. Occup. Hyg.* 2009; 53 (6): 627-638.

Cattaneo A, Cavallo DM, Chiappino G. Improvement of a sedimentation method for measuring dispersion of fibres from asbestos cement roofs. *Med Lav.* 2009, 100 (3):187-96. Alleen abstract.

Chen J, Blume HP, Beyer L. Weathering of rocks induced by lichen colonization – a review. *Catena* 2000; 39: 121-146.

Chiappino G, Venerandi I. The erosion of asbestos cement roofs: an important source of environmental pollution. *Med Lav.* 1991; 82 (2):99-121. Alleen abstract. Italiaans

Chiappino G, Giannelle V, Todaro O. Sedimentation method for measuring dispersion of fibers from asbestos cement roofs. *Med Lav.* 1999; 90 (3): 519-526. Alleen abstract. Italiaans

Cilia C, Panigada C, Rossini M, Candiani G, Pepe M, Colombo R. Mapping of asbestos cement Roofs and their weathering status using hyperspectral aerial images. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2015; 4: 928-941.

De Mulder S, VandeBuerie J, Poelman A. Code van goede praktijk – 'Veilig werken met asbestdaken en -gevels'. OVAM, april 2019.

Dias CMR, Cincotto MA, Savastano H, John VM. Long-term aging of fiber-cement corrugated sheets – The effect of carbonation, leaching and acid rain. *Cement & Concrete Composites* 2008; 30: 255-265.

Dobbertin S, Eckel D, Fischer M, Friedrichs KH, Lehnert G, Muhle H, Pott F, Schiele R, Schlipkötter HW, Woitowitz HJ. Belastung der Bevölkerung durch Asbest. Empfehlung des Wissenschaftlichen Beirates des Bundesärztekammer. *Deutsches Ärzteblatt* 1991; 88 (27): 70-77. Duits

Dyczek J. Surface of Asbestos-cement (AC) roof sheets and assessment of the risk of asbestos release. *Global asbestos congress 2004 Tokyo, Workshop WS-B-07.*

ECORYS. MKBA asbesthoudende (golfplaten) daken en gevelpanelen. Kosten en baten van saneringsalternatieven. 12 juni 2012.

ECORYS. Actualisatie MKBA asbestdaken. NL221-30019. 28 januari 2015.

Ervik T, Hammer SE, Graff P. Mobilization of asbestos fibers by weathering of a corrugated asbestos cement roof. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2021, 18 (3): 110-117.

Favero-Longo SE, Castelli D, Fubinic B, Piervittori R. Lichens on asbestos-cement roofs: Bioweathering and biocovering effects. *J. Hazard. Mat.* 2009; 162: 1300-1308.

Fischer M, Meyer E. The assessment of the health risk from asbestos fibres by the Federal Health Office of the FRG. *VDI-Berichte nr. 475: 325-330.* 1983.

Frassy F, Candiani G, Rusmini M, Maianti P, Marchesi A, Nodari F, Dalla Via G, Albonico C, Gianinetto M. Mapping asbestos-cement roofing with hyperspectral remote sensing over a large mountain region of the Italian western alps. *Sensors* 2014; 14: 15900-15913.

Gray C, Carey RN, Reid A. Current and future risks of asbestos exposure in the Australian community. *Int. J. Occup. Environ. Health* 2016; 22 (4): 292-299.

Gualtieri AF, Mangano D, Gualtieri ML, Ricchi A, Foresti E, Lesci G, Roveri N, Mariotti M, Pecchini G. Ambient monitoring of asbestos in selected Italian living areas. *J. Environ. Management* 2009; 90: 3540–3552.

Gezondheidsraad. Asbest: Risico's van milieu- en beroepsmatige blootstelling. Gezondheidsraad, Den Haag, 2010.

Hegger C, Akkersdijk IG, van Ass M, van den Bogaard CJM, Nijhuis NJ, Rozema B, van Brederode NE. GGD-richtlijn medische milieukunde: asbest in de bodem en gezondheid. RIVM rapport 609330003/2007, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven, 2007.

Heide H, Rottenbacher K. Untersuchungen über die Asbestemission aus Asbestzementprodukten infolge Säurekorrosion durch SO₂- und CO₂-haltige Stadt- und Industrieluft. Umweltforschungsplan des Bundesministers des Innern, Umweltchemikalien / Schadstoffwirkungen, Forschungsbericht 106 08 004, juli 1982. Duits

Heierli CH, Weber R. Messungen von Asbestfasern bei Asbestzementdächern. Umwelt-Materialien Nr. 203, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 24 S, 2005. Duits

Helsen JA, van de Velde P, Kuczumow A, Deruyttere A. Surface characteristics of asbestos fibers released from asbestos-cement products. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1989; 50 (12): 655-63.

Igbiosa IH, Aighewi IT. Quality assessment and public health status of harvested rainwater in a peri-urban community in Edo State of Nigeria. Environ. Monit. Assess. 2017; 189: 405.

Jang BK, Ryu, JY, Tak HW, Song SJ, Lee JW, Lee GH, Choi JH. Asbestos Concentrations in Ambient Air and Drained Rainwater from Slate Roofing by Construction Year and Roof Area. J. Kor. Soc. Occup. Environ. Hyg. 2013; 23 (3): 196-204. Koreaans

Jeong J-W, Sunja Cho S, Park G-T, Lee S-J. Health risk assessment and evaluation of asbestos release from asbestos-cement slate roofing buildings in Busan. J. Environ. Sci. Int. 2013; 22 (12): 1579-1587. Koreaans

Jeong JW, Yoo EC, Lee SJ, Park GT. Comparison on the Releasing Characteristics of Asbestos Fiber from Plant Slate Roof and House Slate Roof. J. Environ. Sci. Int. 2015; 24 (7): 927-937. Koreaans

Jung HS, Jang J, Park EK, Cho Y, Lee JC, Kin H. Changes in concentrations and characteristics of asbestos fibers dispersed from corrugated asbestos cement sheets due to stabilizer treatment. J. Environ. Management 285, 2021, 112110.

Kakooei H, Meshkani M, Azam K. Ambient monitoring of airborne asbestos in non-occupational environments in Tehran, Iran. Atmospheric Environ. 2013; 81: 671-675.

Kang D, Hwang Y, Choi Y, Kim S-Y, Kim Y-K. Monitoring and simulating environmental asbestos dispersion from a textile factory. Int. J. Environ. Res. Public Health 2018; 15: 1398.

Kfoury A, Mitri G, Arab D, El Zakhem H, Aouad G. Risk assessment of asbestos-cement roof sheets in Chekka, North Lebanon. Environ. Monit. Assess. 2019; 191 (6): 391.

Kim H, Park GJ, Han JG, Han YS, Hwang BG, Lee JH. Releasing of asbestos fibers from the weathered asbestos cement slate roofing. J. Korean Soc. Occup. Environ. Hyg. 2010; 20(2): 88-93. Koreaans

Kim YC, Hong WH, Zhang JL. Development of a model to calculate asbestos fiber from damaged asbestos slates depending on the degree of damage. J. Cleaner Prod. 2015; 86: 88-97.

Korda RJ, Clements MS, Armstrong BK, Law HD, Guiver T, Anderson PR, Trevenar SM, Kirk MD. Risk of cancer associated with residential exposure to asbestos insulation: a whole-population cohort study. *Lancet Public Health* 2017; 2: e522-528.

Krakowiak E, Górny RL, Cembrzyńska J, Szałkol G, Boissier-Draghi M, Anczyk E. Environmental exposure to airborne asbestos fibres in a highly urbanized city. *Ann. Agric. Environ. Med.* 2009; 16: 121-128.

La Faille R. Fase 2: Blootstellingsonderzoek Asbestdaken. Kenmerk 31152691, Arcadis, 27 oktober 2020.

Mowat F, Weidling R, Sheehan P. Simulation tests to assess occupational exposure to airborne asbestos from asphalt-based roofing products. *Ann. Occup. Hyg.* 2007; 51 (5): 451-462.

Meyer E. Untersuchungen zur Bedeutung der Verwitterung von Asbestzementfläche für die Asbestfaserkonzentration in der Umwelt. *Staub Reinhaltung der Luft* 1986; 46 (11): 482-484. Duits Oberta AF, Poye L, Compton SP. Releasability of asbestos fibers from weathered roof cement. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2018, 15 (6): 466-473.

Obminski A. Asbestos in building and its destruction Author links open overlay panel. *Construction and Building Materials* 2020; 249: 118685.

Öksüztepe F. Gevaar in de Bodem, AACMA, Afstudeeronderzoek Saxion, juni 2015.

Ooko JO, Onyattab JO, Yusuf AO, Guto PM. Use of accelerated tests to estimate corrosion rates of roofing sheets. *Int. J. Sci.: Basic and Appl. Res. (IJSBAR)* 2018; 37 (3): 1-8.

Oosterwegel JLV. Bijzonder inventariserend onderzoek. Erosie van asbestdaken. Geofox-Lexmond BV, Eelerwoude BV, versie 1.2, 29 september 2014.

Pascucci S, Bassania C, Fusillia L, Palombob A. Evaluation of a hyperspectral scanner allowing for deterioration status assessment of asbestos-cement roofing sheets. 2007, *Proc. of SPIE* 2007; 6749: 67490V.

Pastuszka JS. Emission of airborne fibers from mechanically impacted asbestos-cement sheets and concentration of fibrous aerosol in the home environment in Upper Silesia, Poland. *J. Hazard. Mat.* 2009; 162: 1171-1177.

Peters J, Brabers R, Berghmans P. Onderzoek naar de vrijstelling en de verspreiding van vezels vanuit verweerde asbesthoudende dakbedekking en gevelbekleding. VITO, 20 november 2013.

Peters J, Brabers R, Aerts W, Van Laer J, Berghmans P. Onderzoek naar de verspreiding van vezels vanuit verweerde asbesthoudende dakbedekking. VITO, 1 juni 2015.

Peters J, Berghmans P, Brabers R. Kleefmonstertest voor de evaluatie van de hechtgebondenheid van asbesthoudende materialen. VITO, 1 juni 2016a.

Peters J, Berghmans P, Aerts W, Baeyens B, Daems J, Van Laer J. Onderzoek naar de vrijstelling van asbest uit golfplaten naar het binnenmilieu in loodsen. VITO, 1 juni 2016b.

Peters J, Berghmans P, Daems J, Touchant K. Risico inschatting asbestvezelvrijstelling uit afdruiptzones. VITO, 2020/HEALTH/R/2372, maart 2021.

Phillips JI, Norman G, Renton K. Asbestos in soil around dwellings in Soweto. *Occup. Health Southern Africa* 2009; March/April: 24-27.

Rödelsperger K, Teichert U, Brückel, B. Environmental risks caused by asbestos fibres and other inorganic fibres. *Staub Reinhaltung der Luft* 2004; 64: 415-426. Alleen abstract.

Sheehan P, Mowat F, Weidling R, Floyd M. Simulation tests to assess occupational exposure to airborne asbestos from artificially weathered asphalt-based roofing products. *Ann. Occup. Hyg.* 2010; 54 (8): 880-892.

Spurny KR, Marfels H, Boose C, Weiss G, Opiela H, Wulbeck FJ. Measurement of the fibrous dusts in West Germany. Fiber concentration in the vicinity of objects and buildings with asbestos-containing building materials. *Zentralbl. Bakteriologie. Mikrobiologie. Hyg. B.* 1988; 187 (2): 136-141. Alleen abstract. Duits.

Spurny KR. On the emission of fibrous particles from corroded asbestos-cement products. Seemayer NH et al. (editors). *Environmental Hygiene*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1988.

Spurny KR. On the measurement of fiber emissions from weathered and corroded asbestos-cement-products. *Zentralbl. Bakteriologie. Mikrobiologie. Hyg. B.* 1989; 188: 127-143.

Spurny KR. On the release of asbestos fibres from weathered and corroded asbestos cement products. *Environ. Res.* 1989; 48: 100-116. Alleen abstract

Spurny KR. Asbestos fibre release by corroded and weathered asbestos-cement products. *IARC Sci Publ.* 1989; 90: 367-371. Alleen abstract.

Spurny K, Marfels H, Boose C, Weiss G, Opiela H, Wulbeck FJ. Fiber emissions from weathered asbestos cement products. 1. Fiber release in ambient air. *Zentralbl. Hyg. Umweltmed.* 1989, 188 (1-2): 127-143. Alleen abstract. Duits,

Spurny K, Marfels H, Boose C, Weiss G, Opiela H, Wulbeck FJ. Fiber emissions from weathered asbestos cement products. 2. Physical-chemical properties of liberated asbestos fibers. *Zentralbl. Hyg. Umweltmed.* 1989, 188 (3-4): 262-270. Alleen abstract. Duits.

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

Swartjes FA, Tromp PC, Wezenbeek JM. Beoordeling van de risico's van bodemverontreiniging met asbest. RIVM-rapport 711701034/2003, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven, 2003.

Szeszenia-Dabrowska N, Sobala W, Świątkowska B, Stroszejn-Mrowca G, Wilczynska U. Environmental asbestos pollution – Situation in Poland. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2012; 25 (1) :3-13.

Tadas P, Dainius M, Edvinas K, Linas K, Maksim K, Axel Z. Comparative characterization of particle emissions from asbestos and non-asbestos cement roof slates. *Building and Environment* 2011; 46: 2295-2302.

Tempelman J. Veroudering van asbestcement producten, oriënterend onderzoek naar de invloed van veroudering en verwerking op de hechtheid van asbestcementproducten. TNO-rapport F 2077, juni 1984.

Tempelman J, Tromp, PC, Swartjes FA, Knol AB. Praktische consequenties van het advies van de Gezondheidsraad inzake asbest 2010. TNO-rapport TNO-034-UT-2010-01344 / RIVM rapport 607647001, augustus 2010.

Tempelman J, Tromp PC. Beoordeling van schade aan asbestcementdaken in de agrarische sector. TNO-rapport TNO-060-UT-2011-01523, augustus 2011.

Tromp PC, Tempelman J; Onderzoek naar de aanwezigheid van asbest in en rondom woningen van het complex Sperwerstraat/Zwaluwstraat/Marialaan te Nijmegen; TNO-rapport MW-R 94/245, oktober 1994.

Tromp PC, Tempelman J, Scholten NPM, Asbest in gebouwen – Onderzoek ter onderbouwing van een bepalingsmethode conform het Bouwbesluit om het risico op asbestblootstelling in gebouwen te beoordelen; fase 2, TNO 96-BKR-R0636, juni 1996.

Tromp PC, Risico-evaluatie van asbesthoudende dakbedekking van twee hallen van de bloemenveiling Aalsmeer, TNO-rapport TR 98/115, maart 1998.

Tromp PC. Oriënterend onderzoek naar de verspreiding van asbestvezels in het milieu vanuit verweerde asbestcement daken. TNO rapport TR07/420, 2007.

Tromp PC, Risicobeoordeling asbestverontreiniging voormalige steenfabriek te Schijf, TNO-rapport R 2002/728, december 2002.

Tromp PC. Verspreiding van asbest vanuit verweerde asbestcementdaken. TNO-rapport TR2007/421, 2007.

Tromp PC. Asbest en andere minerale vezels in de Nederlandse buitenlucht. Meetperiode mei – september 2016. TNO-rapport TNO 2016 R11562. TNO, Utrecht, 2016.

Tromp PC. Beoordelingssystematiek voor het bepalen van de levensduur van asbestcement daken. TNO-rapport TNO 2017 R10008, TNO, Utrecht, 2017.

Vlaams Ministerie van Omgeving, Natuur en Landbouw. Actieplan asbestafbouw naar een asbestveilig Vlaanderen 2040. VR 2018 2007 DOC.0960/1TER, 2018.

VROM. Milieuhygiënisch Saneringscriterium Bodem – Protocol Asbest. Ministerie van VROM, VROM 4178, oktober 2004.

Wetterauw M. Verwerking van asbestdaken, waar blijft het asbest? Arcadis, 2018.

Wetterauw M, Kaligis TA. Onderzoek bodemverontreiniging en verwerking van asbest bij asbestdaken in provincie Drenthe (Definitief). Regionale Uitvoeringsdienst Drenthe, Arcadis, 2017.

Western Australian Advisory Committee on Hazardous Substances. Asbestos Cement Products, WAACHS, Perth, 1990.

Zhang YL, Kim YC, Hong WH. Analysis on changes in thickness of asbestos cement slates through years since first installations and development on model to natural emission of asbestos fiber. Journal of the architectural institute of Korea planning & design 2014; 30 (5): 229-236, 2014. Alleen abstract. Koreaans.

Zhang YL, Kim YC, Hong WH. Visualizing distribution of naturally discharged asbestos fibers in Korea through analysis of thickness changes in asbestos cement slates. J. Cleaner Prod. 2016; 112: 607-619.