

RIVM rapport 711701034/2003

**Beoordeling van de risico's van bodem-  
verontreiniging met asbest**

F.A. Swartjes, P.C. Tromp<sup>#</sup>, J.M. Wezenbeek<sup>\*</sup>

<sup>#</sup>: TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (MEP)

<sup>\*</sup>: Grontmij



Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Ministerie van VROM,  
Directoraat-Generaal Milieubeheer (DGM), Directie Bodem, Water en Landelijk Gebied  
(BWL), in het kader van project “Risico's in relatie tot bodemkwaliteit”.

## Abstract

### Assessing risks of soil contamination with asbestos

A methodology based on a tiered (three-step) approach was developed to enable site-specific assessment of risks of soil contamination with asbestos. Along with the presentation of this methodology, we have endeavoured to underpin the Intervention Value for soil remediation for asbestos, which was recently released by the Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment in its interim policy on asbestos in soil. Because risks to humans after inhalation of asbestos are the most critical, the risk assessment was based on the probability of asbestos fibre emission from soil to air, making a distinction between chrysotile and amphibole asbestos, bound and friable asbestos, and the respirable and non-respirable asbestos fraction in soil. Because the behaviour of asbestos in soil is different from the behaviour of any other soil contaminant, the CSOIL exposure model was not used. Instead, use was made of measuring results, i.e. the concentrations of asbestos in soil and air, for deriving the Intervention Value. Guidance on measurement procedures has been incorporated into tiers 2 and 3 of the methodology for determining site-specific human risks of soil contamination with asbestos.

## Voorwoord

De laatste jaren is de interesse in asbest vanuit het perspectief van bodemverontreiniging sterk toegenomen. Als gevolg hiervan kwamen vele vragen binnen bij het Ministerie van VROM, het RIVM en TNO. Een ander teken voor de grote belangstelling voor bodemverontreiniging met asbest was de massale opkomst bij de bijeenkomst van NARIP (het Nationale RisicoPlatform bodem) over dit thema, in maart 2002.

Voor wat betreft het gedrag in de bodem en effecten in het menselijk lichaam, welke beide de basis vormen voor de risicobeoordeling van contaminanten, neemt asbest een uitzonderingspositie in. Asbest is bijvoorbeeld, in tegenstelling tot alle andere in de Wet bodembescherming genormeerde contaminanten, een mineraal. De beschikbaarheid van asbest in de bodem is niet met de gangbare wetmatigheden te beschrijven en wordt sterker dan voor de andere genormeerde contaminanten het geval is, bepaald door factoren die onafhankelijk zijn van de bodem. Effecten van asbest in het menselijk lichaam, welke voornamelijk optreden na inhalatie van asbestvezels, hangen in sterke mate af van de vorm en afmetingen van deze vezels. Ook dit is voor de andere genormeerde contaminanten veel minder het geval. Wel is veel bekend over de relatie tussen menselijke activiteit en omgevingsfactoren en het vóórkomen van asbestvezels in de lucht. Met name TNO heeft hier de afgelopen tien jaar veel onderzoek naar verricht.

Op grond van de grote belangstelling voor asbest in de bodem, en daarmee de behoefte aan een normatief kader, heeft het Ministerie van VROM het RIVM en TNO verzocht om een procedure te ontwikkelen, om de risico's ten gevolge van *asbest in de bodem* te kunnen beoordelen. Hierbij zal gebruik worden gemaakt van de resultaten uit de sub-werkgroep UI<sup>1</sup>, welke onder secretariaat van Grontmij in de periode 2000-2001 gediscussieerd heeft over de beoordeling van asbest in de bodem. Dit heeft geleid tot een eerste opzet voor de risicobeoordeling van asbest in de bodem. Er werd echter geconcludeerd dat een aantal aspecten nader invulling verdienen. In de onderhavige rapportage wordt aan deze aspecten aandacht geschonken en een concrete procedure voor de beoordeling van asbest in de bodem voorgesteld.

De auteurs zijn dank verschuldigd aan de collegae die een eerder concept van de rapportage intensief hebben gereviewed: Jan Tempelman van TNO-MEP, die als ervaren asbestdeskundige diverse nuttige nuanceringen aan wist te dragen; Johannes Lijzen van het RIVM, voor zijn bruikbare suggesties gericht op de inkadering van de beoordeling van asbest in de gangbare risico-analyse en Ton Breure van het RIVM die de leesbaarheid en toegankelijkheid van de tekst onder de loep nam. Tenslotte wordt de bijdrage van de Klankbordgroep asbest genoemd, welke vruchtbare ondersteuning bood bij de discussies over de beleidsmatige inkadering van de voorgestelde methodiek in de Wet bodembescherming.

---

<sup>1</sup>De Werkgroep UI (Urgentiesystematiek en Interventiewaarden) is een door Ministerie van VROM (DGM) in het leven geroepen werkgroep, in welke deelnemers zijn vertegenwoordigd van de diverse overheden (Ministeries van VROM, LNV en V&W; IPO, VNG, Unie van Waterschappen), alsmede van het RIZA en het RIVM.



# Inhoud

|  |           |
|--|-----------|
| <b>UITGEBREIDE SAMENVATTING .....</b>                          | <b>7</b>  |
| <b>EXTENDED SUMMARY.....</b>                                   | <b>13</b> |
| <b>1. INLEIDING .....</b>                                      | <b>19</b> |
| 1.1 Bodemverontreiniging met asbest .....                      | 19        |
| 1.2 Doel van het onderzoek .....                               | 19        |
| 1.3 Beschermingsdoelen .....                                   | 20        |
| 1.4 Beleid .....   | 20        |
| 1.5 Risicoperceptie .....                                      | 23        |
| 1.6 Leeswijzer.....  | 24        |
| <b>2. VÓÓRKOMEN EN GEDRAG VAN ASBEST IN DE BODEM .....</b>     | <b>25</b> |
| 2.1 Verschijningsvormen in de bodem .....                      | 25        |
| 2.2 Gedrag in de bodem.....                                    | 26        |
| 2.3 Humane blootstelling aan asbest .....                      | 27        |
| 2.3.1 Achtergrondblootstelling.....                            | 27        |
| 2.3.2 Emissie naar de lucht.....                               | 27        |
| 2.3.3 Karakterisering blootstelling .....                      | 29        |
| 2.4 Effecten op de gezondheid.....                             | 31        |
| 2.4.1 Ziektebeeld.....   | 31        |
| 2.4.2 Bepalende factoren.....                                  | 32        |
| 2.4.3 Acceptabele vezelconcentratie .....                      | 32        |
| 2.5 Materiaaleigenschappen.....                                | 33        |
| 2.6 Invloed van de bodemeigenschappen.....                     | 36        |
| 2.7 Invloed van de weersgesteldheid.....                       | 38        |
| 2.8 Invloed van de activiteit op de locatie .....              | 38        |
| 2.9 Plaats van vóórkomen en omvang van de verontreiniging..... | 39        |
| <b>3. BEPALING HUMANE RISICO OP BASIS VAN BEREKENING .....</b> | <b>41</b> |
| 3.1 Wet bodembescherming.....                                  | 41        |
| 3.2 Blootstellingsroutes voor asbest uit de bodem.....         | 43        |
| 3.3 Toelaatbare blootstelling.....                             | 43        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 3.4       | Berekening blootstelling via inhalatie van asbestvezels.....                             | 44        |
| 3.5       | Berekening van de HUM-TOX EBVC voor asbest.....  | 46        |
| 3.6       | Berekening van de locatie-specifieke humane risico's van asbest .....                    | 46        |
| <b>4.</b> | <b>BEPALING HUMANE RISICO'S OP BASIS VAN MEETRESULTATEN UIT DE PRAKTIJK.....</b>         | <b>47</b> |
| <b>5.</b> | <b>DISCUSSIE .....</b>   | <b>51</b> |
| 5.1       | Bepaling humane risico op basis van berekening .....                                     | 51        |
| 5.2       | Bepaling humane risico's op basis van meetresultaten .....                               | 53        |
| <b>6.</b> | <b>BEOORDELING VAN ASBEST IN DE BODEM.....</b>   | <b>55</b> |
| 6.2       | Ernstige bodemverontreiniging .....  | 55        |
| 6.2.1     | Niet-hechtgebonden asbest.....   | 56        |
| 6.2.2     | Hechtgebonden asbest .....   | 57        |
| 6.2.3     | Respirabele vezels .....   | 58        |
| 6.2.4     | Interventiewaarde .....  | 59        |
| 6.2.5     | Oppervlaktecriterium .....   | 59        |
| 6.3       | Saneringsurgentie .....  | 60        |
| 6.3.1     | Raamwerk .....   | 60        |
| 6.3.2     | Stap 1: Eenvoudige toetsing.....   | 62        |
| 6.3.3     | Stap 2: Bepaling respirabele asbestvezels in de bodem.....                               | 64        |
| 6.3.4     | Stap 3: Meting van de asbestvezelconcentratie in de buiten- en binnenlucht.....          | 65        |
| 6.3.4.1   | Stap 3 <sub>buiten</sub> a: Buitenlucht, locatiemeting .....                             | 675       |
| 6.3.4.2   | Stap 3 <sub>buiten</sub> b: Buitenlucht, tijdens laboratorium-simulatie .....            | 67        |
| 6.3.4.3   | Stap 3 <sub>binnen</sub> : Binnenlucht .....   | 70        |
| <b>7.</b> | <b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....</b>   | <b>71</b> |
| 7.1       | Conclusies .....   | 71        |
| 7.2       | Aanbevelingen .....  | 74        |
|           | <b>LITERATUUR.....</b>   | <b>77</b> |
|           | <b>BIJLAGE 1 VERZENDLIJST .....</b>  | <b>80</b> |
|           | <b>BIJLAGE 2 OVERZICHT VAN DE IN DEZE RAPPORTAGE GENOEMDE (CONCEPT) NEN-NORMEN .....</b> | <b>82</b> |
|           | <b>BIJLAGE 3 EFFECTEN OP DE GEZONDHEID .....</b>   | <b>83</b> |
|           | <b>BIJLAGE 4 BESCHOUWDE MEETRESULTATEN .....</b>   | <b>87</b> |

## Uitgebreide samenvatting

### *Belang en doel:*

Asbest wordt vaak in of op de bodem aangetroffen. Daarom is het noodzakelijk om over een toetsingskader te beschikken om de risico's van de aanwezigheid van asbest in de bodem te kunnen bepalen en tot een oordeel over de aanpak van de locatie te komen.

Volgens de Wet bodembescherming (Wbb) dient beoordeling van verontreinigde bodems plaats te vinden op basis van generieke interventiewaarden en, bij overschrijding van deze waarden, met behulp van de op locatie-specifieke risico's gebaseerde SaneringsUrgentieSystematiek (SUS).

Voor asbest is recentelijk een generieke interventiewaarde middels een brief aan de Tweede Kamer als interimbeleid vastgesteld. In het voorliggende rapport wordt een voorstel gegeven voor de invulling van de locatie-specifieke beoordeling van met asbest verontreinigde bodems, ter bepaling van de saneringsurgentie. Tevens wordt de onderbouwing gegeven van de interventiewaarde, zoals geformuleerd in het interimbeleid.

### *Beschermingsdoelen:*

Voor asbest zijn risico's voor het ecosysteem verwaarloosbaar. Verspreidingsrisico's treden alleen op ten gevolge van verwaaiing, niet door transport via grondwater. Met name relevant zijn de humane risico's. In het kader van de Wbb zijn de humane risico's gericht op de "gemiddelde" mens onder standaard omstandigheden (niet gericht op gevoelige groepen, of individuen die werken in of met grond).

Aangezien de humane risico's van asbest worden veroorzaakt door inademing van asbestvezels is met name de vezelemisatie vanuit de bodem naar lucht bepalend voor de humane blootstelling. De concentratie aan asbestvezels in lucht wordt bepaald door de primaire emissie (het vrijmaken van asbestvezels uit asbesthoudende materialen in/op de bodem) en de secundaire emissie (het (wederom) in beweging komen (resuspensie) van reeds eerder vrijgemaakte en gesedimenteerde asbestvezels, geïnitieerd door bepaalde activiteiten of wind). In beide gevallen spelen materiaaleigenschappen, zoals (de mate van) hechtgebondenheid en het type asbest (chrysotiel of amfibool), een belangrijke rol.

### *Karakterisering blootstelling:*

Blootstelling kan op twee manieren plaatsvinden:

- inhalatie asbestvezels in buitenlucht (*directe blootstelling*),
- inhalatie asbestvezels in binnenlucht, na "binnenlopen" van (aan bodemdeeltjes gebonden) asbestvezels (*indirecte blootstelling*).

Het gedrag van asbest in de bodem wijkt af van dat van de andere in de Wet bodembescherming genormeerde contaminanten. Daarom is de standaardprocedure, op basis van berekening met het blootstellingsmodel CSOIL<sup>2</sup>, niet zonder meer van toepassing. De humane blootstelling aan asbest wordt, naast de asbestconcentratie in de bodem, bepaald door een groot aantal factoren, die onder te verdelen zijn in materiaaleigenschappen, bodemeigenschappen, weersinvloeden, activiteit op de locatie en plaats van vóórkomen en omvang van de verontreiniging.

---

<sup>2</sup> Met behulp van het model CSOIL is de blootstelling te berekenen van mensen die op een verontreinigde locatie wonen, werken of recreëren. Het model werd ontwikkeld in de periode 1988 tot 1990, met als doel het humaan-toxicologisch onderbouwde gedeelte van de nieuwe saneringsnormen ("interventiewaarden") te berekenen. CSOIL is ondertussen enige malen aangepast en wordt sinds 1994 eveneens gebruikt, in combinatie met metingen in contactmedia, voor de berekening van locatie-specifieke blootstelling in het kader van de bepaling van de saneringsurgentie.

Voor de bepaling van de humane risico's wordt verschil gemaakt tussen:

- chrysotiel asbest (ofwel witte asbest) en amfibool asbest (alle overige asbestsoorten);
- niet-hechtgebonden asbest (asbest in onder andere isolatietoepassingen en losse asbestvezels) en hechtgebonden asbest (asbest in onder andere asbestcement);
- respirabele vezels (vezels kleiner dan 200 µm) en niet-respirabele vezels in de bodem.

#### *Effecten op de gezondheid:*

De belangrijkste gezondheidseffecten van blootstelling aan asbestvezels door inademing zijn:

- mesotheliom (longvlies- en buikvlieskanker);
- asbestose (stoflongen);
- verhoogde kans op het optreden van bronchiaal carcinomen (longkanker).

De latentieperiode tussen eerste blootstelling aan asbest en het zich openbaren van de ziekte kan zeer lang zijn (tot meerdere decennia). De effecten op de gezondheid hangen af van het type asbest, vorm en afmeting van de asbestvezel, de duur van de blootstelling, de duurzaamheid en splijtbaarheid van de asbestvezels, de concentratie waaraan men wordt blootgesteld en de persoonskenmerken.

#### *Beleid:*

In 1993 werd door het RIVM een zogenaamde *ad hoc interventiewaarde*<sup>3</sup> voor asbest afgeleid van 100 mg/kg<sub>dw</sub> tot 2000 mg/kg<sub>dw</sub><sup>4</sup>, afhankelijk van het type asbest. Hierbij werd geen rekening gehouden met de vorm of lengte van de vezels. Voor de afleiding van deze ad-hoc interventiewaarde wordt geconcludeerd dat de hieraan ten grondslag liggende berekening met het CSOIL-blootstellingsmodel voor asbest van beperkte waarde wordt geacht. In de Arbo-regelgeving is in 1999 (brief aan de Tweede Kamer nummer 25 834, 6 december 1999) de restconcentratienorm voor hechtgebonden asbest, naar aanleiding van de op dat moment beschikbare gegevens bij TNO, rekening houdend met een veiligheidsfactor, verhoogd van 0 naar 10 mg/kg<sub>dw</sub>. Aansluitend hierop is in de *Circulaire streefwaarden en interventiewaarden bodemsanering* (Staatscourant 2000, nr.38) deze restconcentratienorm ook van toepassing verklaard op de toepassing en het hergebruik van grond. In het *Interimbeleid asbest in bodem, grond en puin(granulaat)* (brief aan de Tweede Kamer, 28600XI, nr.81) werd recentelijk een voor de praktijk bruikbaar alternatief voor een interventiewaarde aangedragen van 100 mg/kg<sub>dw</sub> voor de optelsom van de concentratie chrysotiel asbest (ook serpentijn asbest of witte asbest) en tien maal de concentratie amfibool asbest (overige asbestsoorten)<sup>5</sup>. Deze waarde geldt ook als restconcentratie voor hergebruik van grond, baggerspecie en puin(granulaat) en als saneringscriterium voor wegen, paden en erven. Hiermee is met het interimbeleid de gewenste harmonisatie gerealiseerd tussen verschillende wettelijke kaders.

<sup>3</sup> Een ad-hoc interventiewaarde kan worden afgeleid door het RIVM indien er in de praktijk behoefte bestaat aan een interventiewaarde voor een contaminant die niet in de Circulaire streefwaarden en interventiewaarden bodemsanering (Staatscourant 2000, nr. 38) is opgenomen. Een ad-hoc interventiewaarde is slechts van toepassing voor het geval in kwestie.

<sup>4</sup> De asbestconcentratie in de bodem wordt, in analogie met de concentratie aan andere contaminanten, uitgedrukt in gewicht aan asbest per kilogram droge bodem (dry weight; dw): mg/kg<sub>dw</sub>.

<sup>5</sup> Bij de interventiewaarde van 100 mg/kg<sub>dw</sub>, zoals opgenomen in het interim beleid, worden chrysotiel asbest (ook serpentijnasbest of witte asbest) en amfibool asbest (overige asbestsoorten) "gewogen" beschouwd. De reden hiertoe is dat de carcinogene potentie van amfibool asbest ongeveer tien maal hoger is dan die van chrysotiel asbest (zie Hfdst. 2.4, Effecten op de gezondheid). Als gevolg hiervan is de asbestconcentratie in de bodem precies gelijk aan de interventiewaarde in geval van de aanwezigheid van 10 mg/kg<sub>dw</sub> amfibool asbest in de bodem of 100 mg/kg<sub>dw</sub> chrysotiel asbest. Maar ook bijvoorbeeld in geval van 50 mg/kg<sub>dw</sub> chrysotiel asbest in combinatie met 5 mg/kg<sub>dw</sub> amfibool asbest ( $50 + 5 \times 10 = 100$ ), of 10 mg/kg<sub>dw</sub> chrysotiel asbest in combinatie met 9 mg/kg<sub>dw</sub> amfibool asbest ( $10 + 10 \times 9 = 100$ ) is de gewogen concentratie in de bodem gelijk aan de interventiewaarde uit het interimbeleid.



Voor de ontbrekende methode voor het beoordelen van de locatie-specifieke risico's, de basis van de bepaling van de saneringsurgentie, wordt in dit rapport een invulling gegeven.

#### *Toetsingswaarden voor risico's:*

De volgende jaargemiddelde toelaatbare risiconiveaus voor asbestconcentratie in de lucht zijn gedefinieerd:

- Maximaal Toelaatbaar Risico-niveau (MTR): 100.000 vezelequivalenten per m<sup>3</sup> lucht;
- Verwaarloosbaar Risico-niveau (VR): 1.000 vezelequivalenten per m<sup>3</sup> lucht.

Hierbij gelden de volgende equivalentfactoren:

- |   |   |                        |
|---|---|------------------------|
| • 1 chrysotiel vezel met een lengte > 5µm     | : | equivalentiefactor 1   |
| • 1 chrysotiel vezel met een lengte < 5µm     | : | equivalentiefactor 0,1 |
| • 1 amfibool asbestvezel met een lengte > 5µm | : | equivalentiefactor 10  |
| • 1 amfibool asbestvezel met een lengte < 5µm | : | equivalentiefactor 1   |

#### *Bepaling humane blootstelling:*

Een CSOIL-berekening voor de bepaling van de potentiële blootstelling aan asbest wordt voor de afleiding van een interventiewaarde voor asbest van beperkte waarde geacht. Voor de berekening van de locatie-specifieke humane blootstelling zijn er twee problemen:

- Voor het afstemmen van het blootstellingsscenario en de daarbij behorende input parameters op de betreffende locatie zou in ieder geval rekening moeten worden gehouden met de invloed van de activiteit op de locatie en de vochtigheid van de bodem op het beschikbaar komen van asbestdeeltjes in de lucht. Deze parameters zijn echter niet in het CSOIL-blootstellingsmodel opgenomen. Bovendien zijn er geen kwantitatieve relaties tussen deze beide parameters en de respirabele vezelconcentratie in de lucht bekend.
- Er is weliswaar een protocol voor de risicobeoordeling in en rondom gebouwen of constructies beschikbaar (concept O-NEN 2991<sup>6</sup>), maar dit is niet zonder meer geschikt voor toepassing voor de onderhavige doelstelling (tevens beoordeling in de buitenlucht).

#### *Meetresultaten:*

Op basis van diverse experimenten uitgevoerd door TNO en een aanvullende gegevensverzameling uit de literatuur en uit de praktijk kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Alleen bij sterk verontreinigde bodems en partijen met *niet-hechtgebonden* asbest (tenminste 10.000 mg/kg<sub>dw</sub>) worden verhoogde vezelconcentraties in de lucht gemeten tot boven het MTR-niveau. In dergelijke situaties is zelfs een geringe bodemactiviteit in combinatie met droog weer (geen *worst case* condities) voldoende voor vezelconcentraties in de lucht, boven het VR-niveau.
- De MTR-overschrijdende vezelconcentraties in de lucht worden vrijwel alleen gemeten op korte afstand tot de bron en bij veel bodemactiviteit, zoals afgraven, uitstorten en berijden. Bij toenemende afstand neemt de vezelconcentratie in de lucht snel af en blijkt in alle gevallen bij een afstand van ongeveer 100 meter van de bron al tot onder het VR-niveau te zijn gedaald.
- Bij minder sterk verontreinigde bodems, waarbij voornamelijk *hechtgebonden* materialen aanwezig zijn (minder dan 1.000 mg/kg<sub>dw</sub>) en een enkele keer *niet-hechtgebonden* producten (minder dan 100 mg/kg<sub>dw</sub>), werden in geen van de gevallen, ook niet bij activiteiten zoals graven, storten en zeven, asbestvezels in de lucht aangetroffen.

---

<sup>6</sup> Zie voor een overzicht van de in deze rapportage genoemde (concept) NEN-normen Bijlage 2.

### *Bepaling asbestconcentratie in de bodem:*

Bij een verdenking op asbest dient een bodemonderzoek plaats te vinden conform de NEN 5707 “Inspectie, monsterneming en analyse van asbest in de bodem”. Deze norm beschrijft een methode voor de bepaling van het gehalte aan asbest in de bodem en partijen grond. Alle facetten van het onderzoek worden in deze norm behandeld: onderzoeksstrategie, inspectie, monsterneming en analyse. De onderzoeksmethode is opgedeeld in de drie volgende fasen:

1. een vooronderzoek asbest (aansluitend op de NVN 5725);
2. een verkennend onderzoek asbest (aansluitend op de NEN 5740);
3. een nader onderzoek asbest.

### *Interventiewaarde:*

Uit de meetgegevens uit de praktijk mogen slechts globale conclusies worden getrokken. Wel kan hieruit worden geconcludeerd dat voor *niet-hechtgebonden* asbest de interventiewaarde van 100 mg/kg<sub>dw</sub> voor de optelsom van de concentratie chrysotiel asbest (ook serpentijn asbest of witte asbest) en tien maal de concentratie amfibool asbest (overige asbestsoorten), zoals opgenomen in het *Interimbeleid asbest in bodem, grond en puin(granulaat)* (VROM, 2002), een geschikte waarde is voor de “standaard” Nederlandse omstandigheden. Onder “standaard” Nederlandse omstandigheden wordt hierbij een situatie verstaan, waarbij niet systematisch sprake is van activiteiten als graven, storten en zeven van bodemmateriaal en de (toplaag van de) bodem een groot deel van het jaar vochtig is.

Bij hechtgebonden asbest zal vrijwel nooit een ten opzichte van de achtergrondconcentratie verhoogde hoeveelheid asbestvezels in de lucht komen. Aangezien het echter moeilijk is om te bepalen wanneer hechtgebonden asbest ten gevolge van menselijke activiteit en/of verwerking over zal gaan in minder hechtgebonden of niet-hechtgebonden asbest, wordt voorgesteld deze nuancering een rol te geven in de fase van de bepaling van de locatie-specifieke risico's.

Resumerend wordt voorgesteld de waarde gehanteerd in het interimbeleid, 100 mg/kg<sub>dw</sub> voor de optelsom van de concentratie chrysotiel asbest (ook serpentijn asbest of witte asbest) en tien maal de concentratie amfibool asbest (overige asbestsoorten), als definitieve interventiewaarde te hanteren voor zowel hechtgebonden en als niet-hechtgebonden asbest.

Op basis van expert judgement wordt voorgesteld een *oppervlaktecriterium* (geen volumecriterium), waar de met asbest verontreinigde oppervlakte tenminste aan moet voldoen voordat bij overschrijding van de interventiewaarde sprake is van “ernstige bodemverontreiniging”, van 25 m<sup>2</sup> te hanteren.

### *Bepaling locatie-specifieke humane risico's:*

In deze rapportage is een richtlijn voorgesteld voor de bepaling van het locatie-specifieke humane risico van met asbest verontreinigde bodem op basis van in de praktijk waargenomen concentraties aan asbest in de lucht en in de bodem en op basis van meetprotocollen. Ook voor asbest geldt dat er aangenomen wordt dat er sprake is van een locatie-specifiek risico voor de mens, tenzij het tegendeel kan worden aangetoond (“risico, tenzij...”). Het raamwerk bestaat, in analogie met de SaneringsUrgentieSystematiek (SUS), uit drie stappen:

- Stap 1, Eenvoudige toetsing: onderzoek naar de mogelijkheid/ waarschijnlijkheid van blootstelling.
- Stap 2, Bepaling respirabele fractie in de bodem: beoordeling van de mogelijke locatie-specifieke blootstelling van de mens, onafhankelijk van de daadwerkelijke gebruikssituatie en omgevingsfactoren, op basis van een bepaling van de respirabele asbestvezelconcentratie in de bodem, conform NEN 5707.
- Stap 3, Meting van de asbestvezelconcentratie in de buiten- en/of binnenlucht.

Ad stap 1: Het wordt voorgesteld om bij de eenvoudige toetsing (stap 1) voor *hechtgebonden asbest* een risicogrens te hanteren van 1.000 mg/kg<sub>dw</sub> voor de optelsom van de concentratie

chrysotiel asbest en tien maal de concentratie amfibool asbest (overige asbestsoorten). Als voorwaarde wordt gesteld dat de hechtgebonden materialen niet verkeren in een verweerde toestand.

Ad stap 2: Voor toetsing van de respirabele vezels in de bodem (stap 2) wordt voorgeteld een drempelwaarde van  $4,3 * 10^{10}$  vezelequivalenten/kg<sub>dw</sub> te gebruiken. Dit komt qua ordegrrootte overeen met een risicogrens van 10 mg aan respirabele vezels (met een diameter minder dan 3 µm en een lengte kleiner dan 200 µm) per kg bodem (drooggewicht) voor de optelsom van de concentratie chrysotiel asbest en tien maal de concentratie amfibool asbest (overige asbestsoorten).

Ad stap 3:

Buitenlucht. Voor meting van de asbestvezelconcentratie in de buitenlucht worden twee keuzemogelijkheid geboden (er is een overzicht gegeven van voor- en nadelen van de beide methoden, ter ondersteuning van de keuze):

- meting van de asbestvezelconcentratie in de buitenlucht op de locatie, onder “gestandaardiseerde *realistic worst case* omstandigheden” (stap 3<sub>buiten</sub>a)
- meting van de asbestvezelconcentratie in de lucht tijdens een laboratorium-simulatie, onder *worst case* omstandigheden (stap 3<sub>buiten</sub>b) (beschikbaarheidstest).

Binnenlucht. Locatie-specifieke meting van de asbestvezelconcentratie in de binnenlucht (stap 3<sub>binnen</sub>) dient plaats te vinden indien woningen of andere gebouwen grenzen aan de verontreinigde locatie (afstand minder dan 100 m) en het een verontreiniging met niet-hechtgebonden asbest betreft. In dat geval dient de asbestvezelconcentratie in de binnenlucht onder “gestandaardiseerde omstandigheden” te worden gemeten, conform O-NEN 2991.

#### *Aanbevelingen:*

De voorliggende rapportage leidt tot de volgende aanbevelingen voor nader onderzoek in de toekomst:

- Er dient een *database* te worden gecreëerd, waarin de in de praktijk gemeten data die relevant zijn voor de humane risico's (vezelemissie) van asbest zijn opgenomen: asbestconcentraties in de bodem en in de lucht, type asbest, conditie van hechtgebonden asbest, bodemtype en -karakteristieken, meetomstandigheden.
- Er dienen specifiek aanvullende praktijkmetingen uit te worden gevoerd, om de vezelemissie met name in het concentratiebereik 100 en 10.000 mg/kg<sub>dw</sub> nader te onderzoeken.
- Om de invloed van de locatie-specifieke factoren op de risico's voor de mens in beschouwing te kunnen nemen, moet nader onderzoek worden verricht naar de relatie tussen de volgende factoren en de emissie van asbestvezels naar de lucht:
  - bodemtype;
  - bodemkarakteristieken (lutum- en organische stofgehalte);
  - vochtigheid van de bodem;
  - type vegetatie;
  - weerskarakteristieken;
  - mate van activiteit in en op de bodem.

Het streven hierbij zal in eerste instantie gericht zijn op een kwalitatieve omschrijving van de invloed van deze factoren. Of een kwantitatieve beschrijving mogelijk is, is vooralsnog twijfelachtig. Eventueel kan de haalbaarheid van het afleiden van kwalitatieve en kwantitatieve relaties in eerste instantie in een haalbaarheidstudie worden onderzocht.

Bovendien moet nader onderzoek worden verricht naar:

- De invloed van “binnenlopen” van asbestdeeltjes van een verontreinigde locatie naar het binnenmilieu (via schoeisel en in mindere mate kleding) op de blootstelling binnenshuis, en de invloed van de materiaal- en bodemeigenschappen als bodemvochtigheid op dit proces.

- De overgang van hechtgebonden naar niet-hechtgebonden asbest (benodigde processen/activiteiten, benodigde tijdsduur).
- Evaluatie van de kwaliteit en de praktische inpassing van de meetmethoden ter bepaling van de asbestvezelconcentratie in de buitenlucht (op locatie en tijdens laboratorium-simulatie) en in de binnenlucht, welke in stap 3 van de bepaling van de locatie-specifieke humane risico's plaats kunnen vinden.

*Workshop:*

Alvorens tot eventuele implementatie van een methodiek voor bepaling van locatie-specifieke risico's van bodemverontreiniging met asbest wordt overgegaan zal een workshop worden georganiseerd door het Ministerie van VROM, met het doel te informeren over de voorgestelde methodiek en reacties vanuit de praktijk te vernemen. De conclusies uit de workshop zullen bij de eventuele implementatie worden meegenomen.

## Extended summary

### *Significance and purpose:*

Asbestos is often found in the soil or on the soil surface. Therefore, it is essential to have a framework that enables the assessment of risks related to the presence of asbestos in or on the soil and an announcement of the approach of the site. According to the Dutch Soil Protection Act the assessment of contaminated soils happens on the basis of generic Intervention Values and, in case of exceedance of these values, with the Remediation Urgency Methodology (SUS), based on site-specific risks.

For asbestos recently a generic Intervention Value has been declared by a letter to the Dutch Parliament (“Tweede Kamer”), as interim policy. In the present report a proposal for a procedure on the site-specific assessment of soils contaminated with asbestos, for the determination of the remediation urgency, is described. Besides, a scientific foundation of the Intervention Value, as declared in the interim policy, is given.

### *Objects for protection:*

For asbestos risks to the ecosystem are negligible. Risks of dispersal only occur through wind blow, not via the groundwater. The main concern is human risks. According to the Dutch Soil Protection Act human risks are based on the “average” human being in a standard situation, not on sensitive groups or individuals that work in or with soil. Because the risks of asbestos are controlled by the inhalation of asbestos fibres the emission of fibres from soil to air is crucial. The concentration of asbestos in air is determined by primary emission (the release of asbestos fibres from asbestos containing materials in or on the soil) and the secondary emission (the (re)mobilisation (re-suspension) of asbestos fibres that were already released and deposited, initiated by specific activities or wind). In both cases the characteristics of the materials, like (the degree of) friability and the type of asbestos (chrysotile or amphibole) play a role of importance.

### *Characterisation of exposure:*

Two types of exposure occur:

- inhalation of asbestos fibres in outdoor air (*direct exposure*),
- inhalation of asbestos fibres in indoor air, after “tracking in” of asbestos fibres, possibly attached to soil particles (*indirect exposure*).

The behaviour of asbestos in the soil differs from other contaminants incorporated in the Dutch Soil Protection Act. For that reason the standard procedure, based on a calculation using the CSOIL exposure model<sup>7</sup>, is not unquestioningly applicable. Except for the asbestos concentration in soil the human exposure to asbestos is dependent of a large number of factors, which can be subdivided in material and soil characteristics, weather influences, activity on the site, and position and volume of the contamination.

For the determination of human risks a distinction is made between:

- chrysotile asbestos (or white asbestos) and amphibole asbestos (all other types of asbestos);
- friable asbestos (as found in isolating materials and free asbestos fibres) and bound asbestos (asbestos in asbestos concrete, among others);
- respirable fibres (fibres smaller than 200 µm) and non-respirable fibres in soil.

---

<sup>7</sup> With CSOIL the exposure to humans that live, work, or recreate on a contaminated site can be calculated. The model was developed in the period of 1988 to 1990, with the purpose to calculate the human-toxicological part of the new remediation standards (“Intervention Values”). In the meantime the model was revised several times. Since 1994 CSOIL is also used, in combination with measurements in the contact media, for the calculation of the site-specific exposure as basis for the determination of the remediation urgency.

*Effects on human health:*

The major effects on human health after inhalation of asbestos fibres concern:

- mesothelioma (cancer of the pulmonary membrane and peritoneum);
- asbestosis (brown lung disease);
- increased risks for bronchial carcinoma (lung cancer).

The latent period between first exposure to asbestos and the revelation of a disease can be substantial (up to several decades). The effects on public health depends on the type of asbestos, shape and size of the asbestos fibres, period of exposure, the sustainability and cleavability of the asbestos fibres, the concentration to which one is exposed and the individual human characteristics.

*Policy:*

In 1993 RIVM derived a so-called *ad hoc Intervention Value*<sup>8</sup> for asbestos of 100 mg/kg<sub>dw</sub> up to 2000 mg/kg<sub>dw</sub><sup>9</sup>, dependent on the type of asbestos. The shape and size of the asbestos fibres were not taken into account. It is concluded that the meaning of the calculation with the CSOIL exposure model, which was the basis of this *ad hoc Intervention Value*, is limited. In the Occupational Safety and Health legislation from 1999 (letter to the Dutch Parliament ("Tweede Kamer"), number 25 834, 6 December 1999) the residual concentration for bound asbestos was increased from 0 to 10 mg/kg<sub>dw</sub>. This decision was based on the data available from TNO experiments at that time, including a safety factor. Contiguous this residual concentration was also declared applicable to the application and re-use of soil materials, in de *Ministerial Circular on Target and Intervention Values Soil Remediation* (Staatscourant 2000, nr.38). In the Interim Policy on asbestos in soil, soil materials and debris(granular) (letter to the Dutch parliament ("Tweede Kamer", 28600XI, nr.81) an useful alternative was brought up, i.e. an Intervention Value of 100 mg/kg<sub>dw</sub> for the sum of the concentration of chrysotile asbestos (or serpentine asbestos or white asbestos) and ten times the concentration of amphibole asbestos (other asbestos types)<sup>10</sup>. This value is also valid as residual concentration for the re-use of soil material, sludge and debris(granules) and as target for remediation for roads and private property. As a consequence, in the interim policy the desirable harmonisation between the different political frameworks has been achieved. For the missing methodology for the assessment of the site-specific risks to humans, the base for the determination of the remediation urgency, a proposal is given in the present report.

---

<sup>8</sup> An *ad-hoc Intervention Value* can be derived by the RIVM when in a specific case an Intervention Value is needed for a contaminant that has not been incorporated in the Ministerial Circular on Target Values and Intervention Values for soil remediation (Staatscourant 2000, nr. 38). Such an *ad-hoc Intervention Value* is only valid for this specific case.

<sup>9</sup> The concentration of asbestos in soil is in analogy with the concentration of other contaminants expressed as weight of asbestos per kilogram dry soil (dry weight; dw): mg/kg<sub>dw</sub>.

<sup>10</sup> The Intervention Value of 100 mg/kg<sub>dw</sub>, as defined in the interim policy on asbestos in soil, considers a weighted value for chrysotile asbestos (also serpentine asbestos or white asbestos) and amphibole asbestos (other types of asbestos). The reason for this is that amphibole asbestos has a circa ten times higher carcinogenic potency than chrysotile asbestos (see Chapter 2.4, Effects on human health). As a consequence the asbestos concentration in soil equals the Intervention Value in case of the presence of 10 mg/kg<sub>dw</sub> amphibole asbestos in soil or 100 mg/kg<sub>dw</sub> chrysotile asbestos. But also in case of, for example, 50 mg/kg<sub>dw</sub> chrysotile asbestos in combination with 5 mg/kg<sub>dw</sub> amphibole asbestos ( $50 + 5 \times 10 = 100$ ), or 10 mg/kg<sub>dw</sub> chrysotile asbestos in combination with 9 mg/kg<sub>dw</sub> amphibole asbestos ( $10 + 10 \times 9 = 100$ ) the weighted concentration in soil equals the Intervention Value.

*Limit values for risks:*

The following acceptable limit values for the year-averaged concentration of asbestos in air have been defined:

- Maximal Permissible Risk level (MPR): 100.000 fibre equivalents per m<sup>3</sup> air;
- Negligible Risk level (NR): 1.000 fibre equivalents per m<sup>3</sup> air.

The following equivalent factors were assumed:

- 1 chrysotile fibre with a length > 5µm : equivalent factor 1
- 1 chrysotile fibre with a length < 5µm : equivalent factor 0,1
- 1 amfibole asbestos fibre with a length > 5µm : equivalent factor 10
- 1 amfibole asbestos fibre with a length < 5µm : equivalent factor 1

*Determination of human exposure:*

The value of a CSOIL-calculation to determine the potential exposure to asbestos for the derivation of an Intervention Value for asbestos is assumed to be limited. For the calculation of the site-specific human exposure two problems arise:

- When defining an appropriate exposure scenario for a site, including the relevant input parameters, at least the influence of activity on the site and the humidity of the soil on the emission of asbestos into the air should be included. However, these parameters are not incorporated in the CSOIL exposure model. Besides, no quantitative relations between both parameters and the respirable fibre concentration in the air are known.
- Although a protocol for assessment of the risks in and around buildings and constructions is available (concept O-NEN 2991<sup>11</sup>), this protocol is not directly suitable for the present goal, i.e. also assessment of outdoor air quality.

*Experimental data:*

From several experiments performed by TNO and from an additional survey of data from the literature and from daily practise the following conclusions can be drawn:

- Only for highly contaminated soils and materials with bound asbestos (at least 10.000 mg/kg<sub>dw</sub>) increased fibre concentrations in the air that exceed the MPR-level could be measured. In such situations even the smallest activity in combination with dry air (no *worst case* conditions) is sufficient for exceedance of the NR-level in the air.
- Exceedance of the MPR-level in air is virtually only measured close to the asbestos source under intensive action, like digging, dumping and driving on the site. The fibre concentration sharply decreases with distance and is always lower than the NR-level at a distance more than circa 100 meters from the source.
- By less contaminated soils and mainly bound asbestos (less than 1.000 mg/kg<sub>dw</sub>) and a few cases with friable asbestos materials (less than 100 mg/kg<sub>dw</sub>), no asbestos fibres were measured in the air, even not under action, like digging, dumping and sieving.

*Determination of asbestos concentration in soil:*

In case of a suspicion of asbestos a site investigation has to be performed in conformity with NEN 5707 "Inspection, soil sampling and analyses of asbestos in the soil". In this standard a description is given of a methodology for the determination of asbestos in soil and soil materials. All aspects of investigation are included in this standard, like investigation strategy, inspection, soil sampling and analyses. The investigation is subdivided in the three following stages:

1. a preliminary investigation (in analogy with NVN 5725);
2. an exploring investigation (in analogy with NEN 5740);

---

<sup>11</sup> In appendix 2 a overview of the NEN standards mentioned in this report are given.

### 3. a further research.

#### *Intervention Value:*

From the experimental data only rough conclusions can be drawn. Nevertheless, from these data it can be concluded that for friable asbestos the Intervention Value of 100 mg/kg<sub>dw</sub> for the sum of the concentration of chrysotile asbestos (also serpentine asbestos or white asbestos) and ten times the concentration of amphibole asbestos (other asbestos types), as defined in the *Interim policy on asbestos in soils, soil materials and debris granules (VROM, 2002)*, is a suitable value for the “standard” Dutch situation. A “Standard” Dutch situation implies circumstances under which there are no systematic activities, like digging, depositing or sieving of soil material, and the (upper) soil (layer) is most of the year relatively wet. In case of bound asbestos the concentration in the air will hardly ever exceed the background concentration. Because it is difficult to determine when bound asbestos turns into friable asbestos due to human activity, and/or weathering, it is proposed to include this nuancing in the stage of the determination of the site-specific risks.

As a resume, it is concluded to maintain the Intervention Value from the interim policy, i.e. 100 mg/kg<sub>dw</sub> for the sum of the concentration of chrysotile asbestos (or serpentine asbestos or white asbestos) and ten times the concentration of amphibole asbestos (other asbestos types) for bound and friable asbestos.

Based on expert judgement it is proposed to use a surface criterion (instead of a volume criterion) for “serious soil contamination”, i.e. a minimal surface of the site contaminated with asbestos in which the concentration exceeds the Intervention Value, of 25 m<sup>2</sup>.

#### *Determination of site-specific human risks:*

On the basis of asbestos concentrations in soil and in air as measured in practise, and the use of measurement protocols, a guideline has been proposed for the determination of site-specific human risks in case of sites contaminated with asbestos. In analogy with other contaminants, a site-specific human risk is assumed, unless it can be proved otherwise (“risk, unless...”). The framework includes, in analogy with the RemediationUrgencyMethodology (SUS), three tiers:

- Tier 1, Simple test: investigating the possibilities/ likelihood of exposure.
- Tier 2, Determination of the respirable fraction in soil: investigating the possible site-specific exposure to humans, independent of the actual site use or site-specific elements, based on the determination of the respirable concentration of asbestos fibres in soil, in conformity with NEN 5707.
- Tier 3, Measurement of the concentration of asbestos fibres in outdoor and indoor air.

Ad tier 1: When *bound asbestos* is not present in weathered condition, a risk standard of 1.000 mg/kg<sub>dw</sub> is proposed for the sum of the concentration of chrysotile asbestos (also serpentine asbestos or white asbestos) and ten times the concentration of amphibole asbestos (other asbestos types).

Ad tier 2: For the respirable fibres in soil a limit value of  $4,3 \cdot 10^{10}$  fibre equivalents is proposed. This limit value corresponds with a risk limit of 10 mg respirable fibres (with a diameter less than 3µm and a length smaller than 200 µm) per kg soil (dry weight) for the sum of the concentration of chrysotile asbestos (also serpentine asbestos or white asbestos) and ten times the concentration of amphibole asbestos (other asbestos types).

Ad tier 3:

Outdoor air. For measuring the asbestos fibre concentration in outdoor air, two options are given (to facilitate the choice between these options an overview the advantages and disadvantages of both methods is given):

- measurement of the concentration of asbestos fibres in the outdoor air on the site, under “standardised *realistic worst case* circumstances” (tier 3<sub>outdoorsa</sub>);



- measurement of the concentration of asbestos fibres during a laboratory-simulation, under *worst case* circumstances (tier 3<sub>outdoors</sub>b) (availability test).

Indoor air. Site-specific measurement of the concentration of asbestos fibres in the indoor air (tier 3<sub>indoors</sub>) should be performed when houses or other buildings border on the contaminated site (less than 100 m) and the contamination concerns bound asbestos. In that case the concentration of asbestos fibres in indoor air under “standardised conditions” should be measured in conformity with O-NEN 2991.

#### *Recommendations:*

The following recommendations for further research in the future are given:

- A database in which all relevant data for human exposure that are measured in practise is incorporated, i.e. asbestos concentration in soil and air, type of asbestos, condition of bound asbestos, soil type and soil characteristics, measurement conditions.
- Additional experiments should be performed, to improve the assessment of the emission of asbestos fibres, in the range of 100 en 10.000 mg/kg<sub>dw</sub>.
- With the purpose to incorporate the influence of site-specific factors on human risks, further research into the relation between the following factors and the emission of asbestos fibres to the air should be investigated:
  - soil type;
  - soil characteristics (clay and organic matter content);
  - soil humidity;
  - type of vegetation;
  - weather characteristics;
  - activity on the site.

When possible, it should be aimed at quantitative description of the influences of these factors. At first, a feasibility study for the derivation of quantitative relations could be performed.

Furthermore, further research should focus on the following topics:

- The influence of “tracking in” of asbestos fibres from soil to the indoor environment (attached to shoes and, to a lesser extent, to cloths) on indoor exposure and the influence of the material and soil characteristics as soil humidity on this process.
- The transition of bound asbestos to friable asbestos (relevant processes/ activities, time span).
- Evaluation of the quality and practical inclusion of the measurement procedures for the determination of the outdoor concentration of asbestos fibres (at the site and with the laboratory simulation) and of the indoor concentration of asbestos fibres, which are part of tier 3 of the determination of the site-specific human risks.

#### *Workshop:*

Before the methodology to assess the site-specific risks of asbestos in soil will be implemented a workshop will be organised to present the methodology and to learn from feedback. The conclusions from this workshop will be incorporated before possible implementation.



# 1. Inleiding

## 1.1 Bodemverontreiniging met asbest

Asbesthoudende materialen worden vaak in of op de bodem aangetroffen. Aangezien asbest een carcinogene contaminant betreft, is het in dergelijke gevallen belangrijk om na te gaan of er sprake is van onacceptabele risico's. Bovendien leidt de aanwezigheid van asbest vaak tot sociale onrust. Om deze redenen is het noodzakelijk om over een toetsingskader te beschikken om de risico's van de aanwezigheid van asbest in te kunnen schatten en tot een oordeel over de aanpak van de locatie te komen.

De aanwezigheid van asbest in of op de bodem leidt momenteel tot stagnatie van de saneringsoperatie en tot meerkosten, terwijl in het kader van BEVER (Beleidsvernieuwing Bodem) op een versnelling wordt aangestuurd (*Versteeg et al., 2002*). Volgens de auteurs moet het beleid gericht op asbest in de bodem simpeler, goedkoper en beter aansluiten bij de wijze waarop de overige contaminanten in het kader van de Wet bodembescherming worden beoordeeld.

Volgens de Wet bodembescherming dient in geval van een (mogelijke) bodemverontreiniging de ernst en urgentie te worden bepaald. Er is sprake van een ernstige bodemverontreiniging indien in een bodemvolume van tenminste 25 m<sup>3</sup> de interventiewaarde voor grond wordt overschreden. In dat geval zijn de functionele eigenschappen die de bodem heeft voor mens, plant of dier ernstig verminderd of dreigen te worden verminderd. Indien er sprake is van een geval van ernstige bodemverontreiniging dient het bevoegd gezag vast te stellen of er sprake is van saneringsurgentie. Hierbij zijn de locatie-specifieke risico's<sup>12</sup> voor mens en ecosystemen, alsmede de verspreidingsrisico's bepalend. Deze hangen sterk samen met het bodemgebruik op de betreffende locatie. Bij een eventuele wijziging van het gebruik van de bodem dienen de locatie-specifieke risico's en de urgentie opnieuw te worden beoordeeld. De saneringsurgentie wordt bepaald met behulp van het computerprogramma SUS (SaneringsUrgentieSystematiek). Voor asbest ontbreekt op dit moment echter een methodiek om de urgentie te kunnen bepalen. Recentelijk werd interimbeleid voor asbest in de bodem vastgesteld (VROM, 2002; zie voor details Hfdst. 1.4). Hierin is onder andere een interventiewaarde voor asbest vastgesteld.

## 1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van het in deze rapportage beschreven onderzoek is het beschrijven van een methodiek om de saneringsurgentie te kunnen bepalen voor met asbest verontreinigde bodems. Sinds een aantal jaren is er vanuit meerdere groeperingen behoefte aan een dergelijke methodiek (*Olland, 1998*). In analogie met de bestaande urgentiesystematiek dient deze methodiek gebaseerd te zijn op locatie-specifieke risico's. Tevens wordt in deze

---

<sup>12</sup>In diverse VROM Circulaires en RIVM-rapporten wordt in plaats van "locatie-specifieke risico's" vaak de term "actuele risico's" gebruikt. In feite is dit begrip een foutieve vertaling van het Angelsaksische "*actual risks*". Dit begrip betekent in het Nederlands vertaald namelijk zowel "risico's op dit moment", als "daadwerkelijke risico's", terwijl actuele risico's in het Nederlands alleen in de eerste betekenis ("risico's op dit moment") gebruikt mag worden. Anderzijds is het begrip "actuele risico's" in de dagelijkse praktijk van het bodemkundig onderzoek ingeburgerd in de betekenis van "daadwerkelijke risico's". Aangezien de tijdsfactor bij de beoordeling van asbest in de bodem een rol speelt, wordt in deze rapportage voor alle duidelijkheid consequent de term "locatie-specifieke risico's" gebruikt.

rapportage ingegaan op de onderbouwing van de interventiewaarde voor asbest, het criterium voor bepaling van de ernst van de verontreiniging, zoals recentelijk vastgesteld in het interimbeleid.

Voor asbestverontreiniging in de bodem welke veroorzaakt is vanaf 1 januari 1987 geldt, zoals voor elke andere contaminant, de zorgplicht (artikel 13 Wbb). Voor deze gevallen geldt dat er zo spoedig mogelijk sanering plaats moet vinden, ongeacht de aangetroffen gehalten en risico's, met als doel zo ver als mogelijk de oude toestand te herstellen, op basis van de huidige stand der techniek (ALARA-principe). De bepaling van de ernst van de bodemverontreiniging en de saneringsurgentie spelen hierbij geen rol. Voor asbestwegen wordt tevens een zorgplichtdatum van 1 juli 1993 gehanteerd, aangezien na deze datum het verbod op het bewerken, verwerken en in voorraad houden van asbest in werking is getreden. Het onderzoek is verder niet van toepassing:

- op de beoordeling van de risico's van andersoortig materiaal, zoals stortmateriaal, verhardingsmateriaal of (wegen)bouwmateriaal;
- als asbest uitsluitend op de bodem aanwezig is, bijvoorbeeld als gevolg van brand of explosie;
- voor handelingen met asbesthoudende grond en sediment, waarop de Arbeidsomstandighedenwet van toepassing is.

### 1.3 Beschermingsdoelen

De Wet bodembescherming is gericht op bescherming van de mens, het ecosysteem en het grondwater. Effecten van asbest op planten en het bodemecosysteem kunnen echter worden uitgesloten.

Bij bodemverontreiniging met asbest treedt geen relevante verspreiding naar het grondwater op en er is derhalve eveneens geen sprake van verspreidingsrisico's. Eventueel kan er sprake zijn van verspreiding van asbest via slibtransport of verwaaiing. Deze verspreidingsroutes zijn in de urgentiesystematiek niet nader uitgewerkt en de beslissing over eventuele locatie-specifieke risico's als gevolg van verspreiding via dergelijke routes ligt bij het bevoegd gezag.

Risico's voor de mens, en eventueel hogere dieren, worden voornamelijk veroorzaakt door inademing van asbestvezels. Alhoewel het verband tussen orale inname van asbest en schade aan de gezondheid niet volledig kan worden uitgesloten, is het hieruit resulterende risico verwaarloosbaar ten opzichte van het risico ten gevolge van inhalatieve inname.

Het onderhavige onderzoek richt zich derhalve alleen op humane risico's ten gevolge van inhalatie. In analogie met de Wet bodembescherming gaat het hierbij om de "gemiddelde" mens onder standaard omstandigheden en niet om gevoelige groepen, of individuen die werken in of met grond.

### 1.4 Beleid

#### *Ad hoc interventiewaarde 1993*

In 1993 werd door het RIVM een zogenaamde ad hoc interventiewaarde voor asbest afgeleid (RIVM, 1993). Een dergelijke ad hoc interventiewaarde is bedoeld om voor één specifiek geval van bodemverontreiniging beoordeling mogelijk te maken. Aangezien in de hier opvolgende jaren de behoefte aan een toetsingskader voor asbest in de bodem toenam, kreeg

de ad hoc interventiewaarde onbedoeld een meer generiek toepassingsbereik. Ad hoc interventiewaarden worden vaak afgeleid in een kort tijdsbestek en zijn aan minder strenge kwaliteitseisen onderhevig dan reguliere interventiewaarden.

De waarde voor de ad hoc interventiewaarde werd afgeleid met behulp van het blootstellingsmodel CSOIL (zie kader voor nadere informatie over CSOIL) en de MTR (Maximaal Toelaatbaar Risico) voor asbest.

#### NADERE INFORMATIE CSOIL

Met behulp van het model CSOIL (zie Hfdst. 4.1 voor een schematisch overzicht en een uitvoerige beschrijving) is de blootstelling te berekenen van mensen die op een verontreinigde locatie wonen, werken of recreëren. Het model werd ontwikkeld in de periode 1988 tot 1990, met als doel het humaan-toxicologisch onderbouwde gedeelte van de nieuwe saneringsnormen (interventiewaarden) te berekenen. Het model is ondertussen enige malen aangepast en wordt sinds 1994 eveneens gebruikt, in combinatie met metingen in contactmedia, voor de berekening van locatie-specifieke blootstelling in het kader van de bepaling van de saneringsurgentie.

Hieruit resulteerde een ad hoc interventiewaarde van  $4 \cdot 10^{12}$  vezelequivalenten/kg<sub>dw</sub>. Een vezelequivalent werd gelijk geacht aan 1 chrysotiel vezel met een lengte groter dan 5 µm, of een amfibool asbestvezel met een lengte kleiner dan 5 µm. Verder wordt aangenomen dat amfibool asbestvezels een tien maal hogere carcinogene potentie hebben dan chrysotiel vezels en langere vezels (groter dan 5 µm) een tien maal hogere carcinogene potentie hebben dan kortere vezels (kleiner dan 5 µm). Daarom is een amfibool asbestvezel met een lengte groter dan 5 µm gelijk aan 10 vezelequivalenten en een chrysotiel vezel kleiner dan 5 µm gelijk aan 0,1 vezelequivalenten.

De hoeveelheid vezelequivalenten is naar de praktijk vertaald naar een ad hoc interventiewaarde van 100 mg/kg<sub>dw</sub> tot 2000 mg/kg<sub>dw</sub><sup>13</sup>, afhankelijk van het type asbest en vezeldimensies.

Voor asbest wordt de CSOIL-berekening voor de afleiding van een interventiewaarde op basis van vezelequivalenten per kg<sub>dw</sub>, en de omrekening naar gewicht per kg<sub>dw</sub>, echter van beperkte waarde geacht. Zie Hfdst. 3.5 voor een uitgebreide analyse van een met CSOIL berekende risicowaarde voor asbest. In het *Interimbeleid asbest in bodem, grond en puin(granulaat)* is recentelijk een bruikbaar alternatief voor een interventiewaarde aangedragen (zie verderop in deze paragraaf).

#### Besluit asbestwegen

Volgens het Besluit asbestwegen, onderdeel van de Wet milieugevaarlijke stoffen, geldt saneringsplicht voor wegen, paden en erven, waarin de optelsom van de concentratie chrysotiel asbest (ook serpentijn asbest, of witte asbest) en tien maal de concentratie amfibool

<sup>13</sup> De asbestconcentratie in de bodem wordt derhalve, in analogie met de concentratie aan andere contaminanten, uitgedrukt in gewicht aan asbest per kilogram droge bodem (dry weight; dw): mg/kg<sub>dw</sub>.

asbest (overige asbestsoorten) een waarde van 100 mg/kg<sub>dw</sub> overschrijdt. Het Besluit asbestwegen is nog steeds van kracht.

### *Circulaire streefwaarden en interventiewaarden bodemsanering (2000)*

In de aanloop naar het opstellen van de *Circulaire streefwaarden en interventiewaarden bodemsanering* (VROM, 2000) werd de betekenis van de ad hoc interventiewaarde uit 1993 geëvalueerd in de werkgroep UI<sup>14</sup>. Als gevolg van deze evaluatie werd besloten dat de onderbouwing van de ad hoc interventiewaarde te beperkt was om deze als definitieve interventiewaarde in de Circulaire op te nemen. Wel werd een globale richtlijn in de Circulaire opgenomen hoe met asbest in de bodem moest worden omgegaan. Als belangrijk onderdeel van de Circulaire werd, naar aanleiding van de op dat moment beschikbare gegevens bij TNO, rekening houdend met een veiligheidsfactor, voor hechtgebonden asbest de restconcentratienorm van 10 mg/kg<sub>dw</sub> uit Arbo-regelgeving van toepassing verklaard op de toepassing en het hergebruik van grond.

### *Hergebruik van grond, baggerspecie en puin(granulaat)*

Voor hergebruik van grond, baggerspecie en puin(granulaat) werd tot eind 2002 een restconcentratie gehanteerd van 10 mg/kg<sub>dw</sub> hechtgebonden asbest, zoals vastgesteld in arbo-besluit 4.9-4 (*SZW, 1999*). Voor niet-gebonden asbest werd de bepalingsondergrens van de analysemethode van 2 mg/kg<sub>dw</sub> als restconcentratie gehanteerd. Deze waarden zijn echter per 1 januari 2003 in het interimbeleid herzien (zie verderop in deze paragraaf).

### *Interimbeleid asbest in bodem, grond en puin(granulaat)*

Met het doel de meest dringende knelpunten op te lossen heeft het Ministerie van VROM recentelijk een overgangsbeleid geformuleerd (*VROM, 2002*). Tevens werd in deze brief aangekondigd dat in de tweede helft van 2003 een Integrale beleidslijn “asbest in bodem, grond en puin(granulaat)” zal worden opgesteld. In deze integrale beleidslijn zal een meer definitief beleid worden geformuleerd voor de langere termijn.

Als een belangrijk onderdeel van het interimbeleid werd een interventiewaarde gedefinieerd. Deze waarde is gebaseerd op meetresultaten van de hoeveelheid asbest in de lucht, als functie van de hoeveelheid van hechtgebonden en niet-hechtgebonden asbest in de bodem en de omstandigheden waaronder de metingen plaatsvonden. Hieruit resulteert een waarde van 100 mg/kg<sub>dw</sub> voor de optelsom van de concentratie chrysotiel asbest (ook serpentijn asbest of witte asbest) en tien maal de concentratie amfibool asbest (overige asbestsoorten) als interventiewaarde (*zie rekenvoorbeeld in kader*). Daar hechtgebonden asbest door bewerking, activiteiten op de locatie en/of verwerking over kan gaan in niet-hechtgebonden asbest is de interventiewaarde voor beide typen asbesthoudend materiaal geldig verklaard. De waarde wordt voor niet-hechtgebonden en hechtgebonden asbest als veilige norm geacht voor de Nederlandse omstandigheden voor wat betreft bodemcondities, weersgesteldheid en activiteiten op de locatie. De interventiewaarde geldt vanaf 1 januari 2003.

---

<sup>14</sup> De Werkgroep UI (Urgentiesystematiek en Interventiewaarden) is een door Ministerie van VROM (DGM) in het leven geroepen werkgroep, in welke deelnemers zijn vertegenwoordigd van de diverse overheden (Ministeries van VROM, LNV en V&W; IPO, VNG, Unie van Waterschappen), alsmede van het RIZA en het RIVM.

### REKENVOORBEELD TOEPASSING INTERVENTIEWAARDE

Bij de interventiewaarde van 100 mg/kg<sub>dw</sub>, zoals geformuleerd in het interimbeleid, worden chrysotiel asbest (ook serpentijnasbest of witte asbest) en amfibool asbest (overige asbestsoorten) “gewogen” beschouwd. De reden hiertoe is dat de carcinogene potentie van amfibool asbest ongeveer tien maal hoger is dan die van chrysotiel asbest (zie Hfdst. 2.4, Effecten op de gezondheid). Als gevolg hiervan is de asbestconcentratie in de bodem precies gelijk aan de interventiewaarde in geval van de aanwezigheid van 10 mg/kg<sub>dw</sub> amfibool asbest of 100 mg/kg<sub>dw</sub> chrysotiel asbest. Maar ook bijvoorbeeld in geval van 50 mg/kg<sub>dw</sub> chrysotiel asbest in combinatie met 5 mg/kg<sub>dw</sub> amfibool asbest ( $50 + 5 \times 10 = 100$ ), of 10 mg/kg<sub>dw</sub> chrysotiel asbest in combinatie met 9 mg/kg<sub>dw</sub> amfibool asbest ( $10 + 10 \times 9 = 100$ ) is de gewogen concentratie in de bodem gelijk aan de interventiewaarde.

Dit rapport beschrijft een voorstel voor een methodiek voor de bepaling van locatie-specifieke risico's van asbest. De exacte rol van deze methodiek in het bodembeleid is punt van discussie voor de Integrale beleidslijn “asbest in bodem, puin en puingranulaat”, welke momenteel wordt opgesteld door de Ministeries van VROM en SZW. Daarnaast zal alvorens tot eventuele implementatie van een methodiek voor bepaling van locatie-specifieke risico's wordt overgegaan een workshop worden georganiseerd door het Ministerie van VROM, met het doel te informeren over de voorgestelde methodiek en reacties vanuit de praktijk te vernemen. De conclusies uit de workshop zullen bij de eventuele implementatie worden meegenomen.

## 1.5 Risicoperceptie

Omdat asbest ten gevolge van de grote media-aandacht bij het grootste gedeelte van de bevolking direct geassocieerd wordt met gevaar voor de gezondheid, leidt de aanwezigheid van asbest in de bodem vaak tot sociale onrust. Dit effect wordt versterkt doordat asbestproducten, in tegenstelling tot de meeste andere contaminanten, vaak zichtbaar zijn. De grootste gezondheidsproblemen die gerelateerd kunnen worden aan blootstelling aan asbest resulteren uit situaties waar mensen beroepshalve veelal meerdere jaren tot enkele decennia meerdere dagen per week intensief met asbest hebben gewerkt. In het algemeen kan echter worden gesteld dat de perceptie van mensen die, al dan niet beroepsmatig, te maken hebben met asbest *in de bodem* negatiever is dan uit onderzoek naar de risico's van asbest in de bodem blijkt. Dit wil niet zeggen dat de gevaren voor de gezondheid, ook in geval van asbest in de bodem, niet aanwezig zouden zijn. Echter niet in alle gevallen dat er asbest zichtbaar in of op de bodem aanwezig is, is er per definitie sprake van een ernstig gezondheidsgevaar. Hoe om gegaan dient te worden met de risicoperceptie in geval van asbest in de bodem is aan het beleid, valt buiten de taken van de auteurs en maakt dan ook geen onderdeel van deze rapportage uit. Wel is het om bovengenoemde redenen nog belangrijker dan voor de andere contaminanten het geval is de daadwerkelijk risico's van de aanwezigheid van asbest voor iedere betrokkene inzichtelijk te maken.

## 1.6 Leeswijzer

De achtergronden, doel van deze rapportage, de relevante beschermingsdoelen in geval van asbest in de bodem en het vigerende beleid inzake asbest zijn onderwerp van Hfdst. 1 (*Inleiding*). In Hfdst. 2 (*Vóórkomen en gedrag van asbest in de bodem*) worden de verschijningsvormen en het gedrag van asbest in de bodem belicht. Met het doel inzicht te krijgen in de factoren die van invloed kunnen zijn op de humane risico's wordt in dit hoofdstuk tevens een overzicht gegeven van effecten op de gezondheid en de invloed van diverse factoren op de humane blootstelling aan asbest. In Hfdst. 3 (*Bepaling humane risico op basis van berekening*) staat de berekening van humane blootstelling aan asbest centraal, terwijl in Hfdst. 4 (*Bepaling humane risico op basis van meetresultaten uit de praktijk*) bepaling van de humane risico's op basis van meetresultaten uit de praktijk worden besproken. In Hfdst. 5 (*Discussie*) volgt een kritische analyse over de bruikbaarheid van modellen voor berekening en van meetresultaten uit de praktijk. Op basis hiervan wordt in Hfdst. 6 (*Beoordeling van asbest in de bodem*), een belangrijk hoofdstuk, een richtlijn voorgesteld voor de bepaling van de locatie-specifieke humane risico's (Hfdst. 6.3) en de interventiewaarde, zoals opgenomen in het interimbeleid, geëvalueerd (Hfdst. 6.2). Tenslotte volgen conclusies en aanbevelingen in Hfdst. 7 (*Conclusies en aanbevelingen*).



## 2. Vóórkomen en gedrag van asbest in de bodem

### 2.1 Verschijningsvormen in de bodem

Asbest is een verzamelnaam voor een aantal in de natuur voorkomende mineralen, die zijn opgebouwd uit lange, dunne vezels. Aangezien asbest goed bestand is tegen hoge temperaturen, zuren en logen en het bovendien slijtvast, brandwerend en (geluids- en warmte-)isolierend is, vond asbest gedurende tientallen jaren brede toepassing in zo'n 3000 producten (*Locher, 1995*). Het woord asbest is afgeleid van het Griekse "asbestos" dat onvergankelijk en onverwoestbaar betekent.

Sinds 1993 is het verboden asbest of asbesthoudende producten te verwerken of te houden. Asbest kan bewust in of op de bodem gebracht zijn, met als doel wegen of erven te verharderen. Daarnaast is veel asbesthoudend afval in de bodem terechtgekomen.

Er komen voornamelijk drie soorten asbest in de bodem voor, die veelal op grond van kleur worden ingedeeld (*Locher, 1995*):

- wit (of chrysotiel) asbest;
- blauw (of crocidoliet) asbest;
- bruin (of amosiet) asbest.

Zowel de totale productie van asbest in de wereld als die in Nederland bestond voor het grootste gedeelte (meer dan 90%) uit chrysotiel asbest, voor een beperkt gedeelte (enige procenten) uit crocidoliet en amosiet asbest (*Copius Peereboom en Reijnders, 1989*).

Volgens een alternatieve terminologie, zoals toegepast in het interimbeleid (*VROM, 2002*), wordt een verschil gemaakt tussen

- serpentijn asbest (chrysotiel asbest; ook wel wit asbest); deze asbestsoort heeft een meer gelaagde structuur en
- amfibool asbest (alle overige asbestsoorten, te weten: amosiet, crocidoliet, anthofyiet, tremoliet en actinoliet); deze asbestsoort heeft een geschakelde structuur.

Asbest komt in een tweetal verschijningsvormen in en op de bodem voor:

- in niet-hechtgebonden vorm, als geïsoleerde vezels of vezelbundels, of licht gebonden in bijvoorbeeld spuitasbest, asbestkarton of asbesthoudende brandwerende platen;
- in hechtgebonden vorm, gebonden aan een matrix, doorgaans van cement of kunsthars (bijvoorbeeld als asbestcement).

De mate waarin vezels daadwerkelijk als losse vezels te beschouwen zijn of hechtgebonden zijn, varieert per product en hangt af van de mate van verwerking. Alhoewel de mate van hechtgebondenheid dus in feite een glijdende schaal betreft, is het voor de beoordeling van de risico's in de bodem zinvol een onderverdeling in hechtgebonden en niet-hechtgebonden asbest te hanteren.

Tenslotte is het verschil tussen het wel of niet respirabel zijn van de asbestvezels in de bodem van belang. Alleen de vezels met bepaalde afmeting worden als respirabel beschouwd en alleen deze vezels zijn relevant voor het humane risico, zodra deze vanuit de bodem in de lucht komen.

## 2.2 Gedrag in de bodem

Asbest is in hoge mate bestand tegen chemische en biologische afbraak en verblijft daardoor gedurende vrijwel onbeperkte tijd in de bodem (*Slooff en Blokzijl, 1987*). Humuszuren die in de bodem voorkomen kunnen, in theorie, asbest afbreken. Dit proces speelt zich echter af in een tijdsbestek van duizenden tot miljoenen jaren, waardoor deze afbraak verwaarloosd kan worden. Ook is recent melding gemaakt van afbraak en immobilisatie van asbestvezels door schimmels (*Martino et al., 2003*). Deze schimmels zijn in staat om het ijzer uit de asbestvezels te onttrekken en zodoende de carcinogene potentie van deze vezels aanmerkelijk te verzwakken. De effectiviteit van deze processen voor het vrijmaken van vezels uit matrixgebonden producten lijkt echter gering (*J. Tempelman, persoonlijke mededelingen, 2003*).

De enige vorm van transport die voor asbest in de bodem van belang is, is het zogenaamde fysische transport. Biologisch transport en chemisch transport zijn voor asbestvezels in de bodem te verwaarlozen (*Tromp en Tempelman, 1994*). Er bestaan twee vormen van fysisch transport die sterk aan elkaar gerelateerd zijn:

1. verplaatsing aan bodemdeeltjes, waarbij de bodemsamenstelling (zand, slib en klei) bepalend is en
2. verplaatsing via de poriën, waarbij de bodemstructuur (bulkdichtheid en compactheid, vochtigheid) bepalend is.

De mate van fysisch transport hangt dus sterk af van de bodemsamenstelling en de bodemstructuur. De verschillende grondsoorten kunnen onderverdeeld worden aan de hand van het immobiliserend vermogen (de mate van binding). Van sterk naar zwak immobiliserend vermogen: klei, leem, zanderig klei, zanderig leem, leemachtig zand en zand. De experimenten van het *Institute of Occupational Medicine* (*Addison et al., 1988*) laten een zelfde beeld zien. Hier bleek dat uit zandgrond twee- à driemaal zoveel vezels vrijgemaakt werden dan uit kleigrond of een “gemiddeld” bodemtype.

Aan de hand van de beweging van bodemdeeltjes door uitsluitend fysische processen kan de beweging van asbestvezels in de bodem worden geschat. Bodemdeeltjes met een diameter groter dan 2 µm zijn immobiel in de bodem. Voor kleideeltjes van 0,1 tot 2 µm is de geschatte migratiesnelheid 1 tot 10 cm per 3.000 tot 40.000 jaar (*Water and Engineering, 1977*). Waarschijnlijk zullen de asbestvezels in de bodem een verplaatsingssnelheid in dezelfde ordegrrootte hebben, waardoor de migratie van asbestvezels in de bodem als verwaarloosbaar kan worden beschouwd.

Dieren, zoals konijnen, ratten en vooral mollen zijn in geringe mate in staat om reeds ondergegraven verontreiniging omhoog te werken. De menselijke activiteit is echter van beduidend grotere betekenis voor verplaatsing van asbest in de bodem.

Ook de migratie van asbestvezels naar het grondwater is te verwaarlozen. De enige route waarlangs asbest in contact kan komen met het grondwater is het storten van asbesthoudend afval ter hoogte van het grondwaterniveau. Daarnaast kunnen asbestvezels via scheuren of grote poriën in de bodem naar het grondwater sijpelen. Dit transport is echter van zeer beperkte omvang. Asbestvezels lossen niet op in water.

Asbestvezels verdampen niet. Via de lucht kunnen asbestdeeltjes wel over grote afstanden worden verplaatst (*ATSDR, 2003*).

## 2.3 Humane blootstelling aan asbest

### 2.3.1 Achtergrondblootstelling

Ook zonder de aanwezigheid van een duidelijk waarneembare asbestbron kunnen in de urine, de feces, het slijm of in de longen geringe hoeveelheden asbestvezels vóórkomen (ATSDR, 2003). Dit komt doordat er in de lucht en in water veelal een geringe hoeveelheid asbest voorkomt (NSW Health, 2003).

De gemiddelde gehalten van asbestvezels in de lucht liggen in de range van 10 – 100 vezels/m<sup>3</sup> en zijn in het algemene hoger in stedelijke gebieden en industriegebieden (ATSDR, 2003). *Alewite Study Group (1995)* geeft als achtergrondwaarden 0,03 – 3 vezels/m<sup>3</sup> in de buitenlucht, ver verwijderd van specifieke bronnen, en 3 – 300 vezels/m<sup>3</sup> (met uitschieters tot 3000 vezels/m<sup>3</sup>) in stedelijk gebied. Als gemiddelde voor de Verenigde Staten wordt 70 asbestvezels/m<sup>3</sup> verondersteld.

In drinkwater kunnen asbestvezels aanwezig zijn, afkomstig uit asbesthoudende waterleidingen of, maar niet in Nederland, vanuit natuurlijke bronnen.

### 2.3.2 Emissie naar de lucht

Aangezien gezondheidsschade voornamelijk via inhalatie van asbestvezels wordt veroorzaakt, is de concentratie aan asbestvezels in de lucht de basis voor de humane blootstelling. Het sturende proces, waardoor vezels in de lucht kunnen komen, is de emissie van asbestvezels van de bodem (meestal vanaf het bodemoppervlak) naar de lucht. Bij de emissie van asbestvezels vanuit een verontreinigde bodem naar de lucht kan primaire en secundaire emissie een rol spelen.

#### *Primaire emissie*

Deze vorm van emissie ontstaat door het vrijmaken van asbestvezels uit asbesthoudende materialen in/op de bodem en kan worden gesplitst in twee emissievormen: momentane emissie (door specifieke, kortdurende activiteiten) en continue emissie (onder invloed van weersomstandigheden). Momentane emissie wordt veroorzaakt door “actief” contact met het materiaaloppervlak, zoals breken, schuren, et cetera. De bij momentane emissie optredende asbestconcentratie wordt voornamelijk bepaald door de mate van hechtgebondenheid van het asbest in het materiaal (ouderdom, brosheid en verwerking), de aard van de activiteiten en de vochtigheid van het materiaal.

In een buitensituatie is de bijdrage van de continue emissie laag. Deze vorm van vezelemisatie wordt voornamelijk veroorzaakt door veroudering en verwerking van de matrix, in combinatie met luchtstromingen langs het materiaaloppervlak. Ook hierbij zijn de mate van hechtgebondenheid en de vochtigheid van het materiaal belangrijke factoren. Daarnaast spelen de weersomstandigheden een grote rol, oftewel de windsnelheid, (lucht)vochtigheid en mate van zonneshijn. Continue emissie treedt alleen op als de verontreiniging zich aan het oppervlak (maaiveld) bevindt.

### *Secundaire emissie*

Secundaire emissie wordt ook wel resuspensie genoemd. Deze vorm van emissie wordt veroorzaakt door het (wederom) in beweging komen van (reeds eerder vrijgemaakte en gesedimenteerde) asbestvezels, onder invloed van bepaalde activiteiten of weersomstandigheden. Bij de secundaire vezelemisatie wordt uitgegaan van een combinatie van geadsorbeerde asbestvezels aan (bodem)deeltjes en losse asbestvezels. In het eerste geval fungeert het (bodem)deeltje als “drager” bij de inhalatie (*EPA, 2002*). De beschikbaarheid van asbestvezels in de lucht wordt bepaald door de emissiesnelheid (snelheid van overgang van de bodem naar de lucht) en de mate van atmosferische dispersie (verspreiding naar en verdunning in de atmosfeer, buiten het bereik van de mens). Naast de windsnelheid wordt het resuspensie-proces ook beïnvloed door mechanische en/of menselijke activiteit, bodemvochtigheid en andere bodemeigenschappen en luchtvochtigheid. De resuspensie vindt maximaal plaats vanaf gladde verharde oppervlakken, zoals tegels. Voor onverharde oppervlakken zonder mechanische activiteit is resuspensie klein. Naarmate het oppervlak vochtiger is, is de kans op resuspensie ook kleiner (*Tromp en Tempelman, 1994*). Resuspensie neemt toe met de snelheid van luchtverplaatsing. Daarentegen blijkt over het algemeen dat nabij bronnen de asbestconcentratie bij geringe luchtbeweging hoger is dan wanneer er sprake is van meer wind. Een geringe luchtbeweging is voldoende om vezels van de ondergrond vrij te maken, maar is onvoldoende om voor dispersie in de atmosfeer te zorgen.

Er is geen drempelwaarde bekend voor de windsnelheid waaronder geen resuspensie meer plaatsvindt, of waarboven de dispersie zodanig hoog is dat de vezels buiten het bereik van de mens komen. Wel zijn grenswaarden waargenomen voor de snelheid van auto's, waaronder de bijbehorende luchtstromen geen resuspensie meer veroorzaken. Voor deeltjes met een lengte van 4 µm en 9 µm werd geen resuspensie meer waargenomen voor voertuigen met een snelheid van minder dan 24, respectievelijk 32 kilometer per uur. Over het algemeen werden grotere deeltjes gemakkelijker geresuspendeerd dan kleine deeltjes (*Tromp en Tempelman, 1994*).

Een deeltje komt vanuit de bodem in de luchtstroom terecht als de aërodynamische krachten groter zijn dan de adhesiekrachten die het deeltje op het bodemoppervlak neigt te houden. Het blijkt dat deze krachten voor (bodem)deeltjes en losse asbestvezels verschillend kunnen zijn (*EPA, 2002*):

1. In de literatuur worden drie adhesiekrachten beschreven. Voor bodemdeeltjes overheerst de van der Waals kracht, oftewel moleculaire aantrekkingskracht, en de door het aan deeltjes geadsorbeerd water veroorzaakte oppervlaktespanning. Voor asbestvezels die geneigd zijn om elektrostatische lading te bezitten, kan de elektrostatische kracht sterker zijn dan bovengenoemde krachten.
2. Het evenwicht van krachten op het deeltje is zodanig dat een kritische luchtstroom nodig is om het deeltje van de bodem los te krijgen. De belangrijkste parameter die bepaalt of een deeltje vanaf het bodemoppervlak in de luchtstroom terechtkomt is de aërodynamische diameter van het deeltje. Van de deeltjes die kunnen worden meegevoerd met de wind zijn het de “grotere” deeltjes (met grotere aërodynamische diameter) die relatief makkelijk kunnen worden losgemaakt bij lagere windsnelheden. De aërodynamische diameter voor asbestvezels is veel kleiner dan de lengte van de vezels. Asbestvezels hebben dus meer wind nodig om in de lucht te komen dan (bodem)deeltjes.

Bovengenoemde factoren zijn van belang bij modelberekeningen, waarbij de concentratie aan

asbestvezels in de lucht berekend wordt en de asbestvezels worden beschouwd als (bodem)deeltjes. De berekende emissie van de bodem naar de lucht, en daarmee de fractie aan inadembare asbestvezels, wordt in dat geval wellicht overschat.

De (mate van) hechtgebondenheid van het asbesthoudende materiaal heeft een zeer grote invloed op de emissie van vezels naar de lucht. Bij *niet-hechtgebonden* materialen kan al bij geringe activiteit, zoals lopen of extensieve graafwerkzaamheden, in combinatie met “gunstige” omstandigheden (droog en zonnig weer, zwakke wind), vezels uit het materiaal worden vrijgemaakt (*Tromp, 2002*). Niet-hechtgebonden materialen vormen eerder, onafhankelijk van de activiteit in en op de bodem, een blootstellingsrisico.

Bij *hechtgebonden* (voornamelijk cementgebonden) asbestproducten is er indirect sprake van een blootstellingsrisico. De emissie wordt bepaald door de kracht die nodig is om vezels uit de materiaalmatrix vrij te maken. Deze kracht is maatgevend voor de primaire emissie vanuit het materiaal. Daartoe dient het materiaal eerst gebroken of flink beschadigd te worden door “destructieve” activiteiten zoals storten, breken, zeven, of berijden, voordat er een vezelemisatie kan ontstaan. Voor hechtgebonden asbestmaterialen is de daadwerkelijke vezelemisatie in sterkere mate afhankelijk van de activiteit op de locatie dan voor niet-hechtgebonden materialen.

Voor asbestcement en Colovynyl (kunststofmatrix in de vorm van asbesthoudende vloertegels) blijken de vezels zo gehecht aan de matrix dat zelfs bij het breken van het materiaal nauwelijks vezelemisatie optreedt. Uit een serie testmetingen blijkt dat bij het breken van asbestcement met 10-15% chrysotiel asbest, gemiddeld 140 (100 – 220) vezels per cm breukvlak in de lucht terecht kunnen komen. Daarnaast bleken er nauwelijks tot geen losse vezelbundels vrij te komen; alle vrijgemaakte vezelbundels bleken matrixgebonden te zijn (*Tromp en , 1994*). Dit betekent dat na een kortstondige (momentane) emissie van asbestvezels veroorzaakt door het breekproces er geen verdere emissie optreedt als gevolg van andere “niet-destructieve” vervolgsactiviteiten.

Naast de (mate van) hechtgebondenheid speelt het type asbest een belangrijke rol. Het type asbest is namelijk bepalend voor de splijtbaarheid van asbestvezels. Amfibole asbestsoorten blijken meer splijtbaar te zijn dan chrysotiel asbest (*Slooff en Blokzijl, 1987*). Uit de experimenten van het *Institute of Occupational Medicine* (*Addison et al., 1988*) blijkt tevens dat uit amfibole asbestsoorten, en met name amosiet, veel makkelijker vezels vrij gemaakt worden dan uit chrysotiel asbest. Gemiddeld werden bij experimenten met amfibool asbest twee tot vijf keer zo hoge concentraties in de lucht gemeten als in experimenten met chrysotiel asbest.

### 2.3.3 Karakterisering blootstelling

Afhankelijk van de locatie en de verontreinigingssituatie kunnen mensen op twee manieren worden blootgesteld aan asbest dat zich in of op de bodem bevindt, namelijk:

- inhalatie asbestvezels en asbesthoudende (bodem)deeltjes in de buitenlucht (*directe blootstelling*),
- inhalatie asbestvezels in binnenlucht, na “binnenlopen” van asbestdeeltjes van een verontreinigde locatie naar het binnenmilieu (via schoeisel en in mindere mate kleding) (*indirecte blootstelling*)

Directe blootstelling, in de buitenlucht, leidt in de meeste gevallen niet tot een lokaal langdurig verhoogde concentratie in de lucht en te hoge blootstelling aan asbest. Het verdunningsproces in de buitenlucht (ventilatievoud) is vele malen groter dan in het

binnenmilieu en de asbestconcentratie in de lucht zal, afhankelijk van wind en luchtstromingen, snel teruglopen.

Indirecte blootstelling is relevant wanneer de bodemverontreiniging met asbest zich bevindt in de buurt van een woning of gebouw. Uit TNO-onderzoek blijkt dat de kans op indirecte blootstelling met name bij direct aangrenzende woningen groot is (*Tromp en Tempelman, 1995*). In dat geval worden asbesthoudende restanten en vezels/vezelbundels veelvuldig ingelopen, via kleding mee naar binnen getransporteerd en/of ingewaaid, zodat de blootstelling binnenshuis geleidelijk groter kan worden. Vooral bij natte grond kunnen met het schoeisel asbesthoudende restanten en vezels/vezelbundels naar binnen worden gelopen, terwijl het inwaaien vooral geschied bij droge grond. Het lopen en stofzuigen in de woning zorgt voor een verdere verspreiding en “verkruimeling” van de asbestrestanten. Aangezien binnenshuis veel minder ventilatie is dan buiten, zullen de vrijgemaakte asbestvezels ook gedurende een lange tijd in de woning aanwezig zijn en deelnemen aan een continu proces van suspensie en resuspensie. Resuspensie binnenshuis is veel hoger dan buiten, aangezien het oppervlak droog is. Uit metingen van TNO blijkt dat dit probleem vooral optreedt bij woningen voorzien van hoogpolig tapijt, aangezien houten vloeren, vloertegels en vloerzeil veelal nat worden schoongemaakt waardoor de verontreinigingsbron wordt weggenomen (*Tromp en Tempelman, 1995*).

De humane blootstelling aan asbest wordt, naast de asbestconcentratie in de bodem, bepaald door een groot aantal factoren. Deze factoren kunnen worden onderverdeeld in een vijftal groepen:

1. Materiaaleigenschappen:
  - de (mate van) hechtgebondenheid van het materiaal;
  - het type asbest;
  - de vorm van de asbestvezels;
  - de fractie aan respirabele vezels.
2. Bodem-/ vloereigenschappen:
  - type bodem;
  - (micro)relief;
  - vochtigheidsgraad;
  - begroeiing;
  - aard van vloer(bedekking).
3. Weersinvloeden:
  - luchtvochtigheid;
  - neerslag;
  - zon;
  - vorst;
  - wind.
4. Activiteit op de locatie:
  - type activiteit;
  - duur van de activiteit.
5. Plaats van vóórkomen en omvang van de verontreiniging:
  - concentratie van de asbestverontreiniging;
  - volume of oppervlak van de met asbest verontreinigde bodem;
  - diepte ten opzichte van het maaiveld (op de bodem, in de toplaag van de bodem, of dieper in de bodem);
  - afstand tot de asbestbron.

Berekening van blootstelling aan asbest, welke uitvoerig beschreven wordt in Hfdst. 3, is met relatief veel onzekerheden omgeven.

## 2.4 Effecten op de gezondheid

### 2.4.1 Ziektebeeld

De mens kan via de lucht aan asbest vanuit de bodem worden blootgesteld, waarbij een gezondheidsrisico optreedt. De WHO (*World Health Organisation*), de DHHS (*Department of Health and Human Services*) en de US-EPA (*United States - Environmental Protection Agency*) hebben asbest als een humaan carcinogeen gemarkeerd (*ATSDR, 2003*). De belangrijkste gezondheidseffecten van blootstelling aan asbestvezels door inademing zijn:

- mesothelioom (longvlies- en buikvlieskanker);
- asbestose (stoflongen);
- verhoogde kans op het optreden van bronchiaal carcinomen (longkanker).

De drie ziekten zijn in meer detail besproken in Bijlage 3 (“Details ziektebeeld”). Resumerend kan worden gesteld dat mesothelioom en asbestose voornamelijk door blootstelling aan asbest worden veroorzaakt. Beide ziekten komen zelden voor en zijn in bijna alle gevallen gerelateerd aan meerjarige, beroepsmatige blootstelling. Longkanker kan ook andere oorzaken hebben, voornamelijk roken. De latentieperiode tussen de eerste blootstelling aan asbest en het zich openbaren van bovengenoemde ziekten kan zeer lang zijn, met name in het geval van mesothelioom: 10-40 jaar (*ATSDR, 2003*).

Er is geen wetenschappelijk verband aangetoond tussen het inademen van asbestvezels en andere dan de bovengenoemde vormen van kanker, met uitzondering van wellicht strottehoofdkanker. Ook een verband tussen het inslikken van asbestvezels en het optreden van kanker (bijvoorbeeld van het maagdarmkanaal) is niet aangetoond (*Slooff en Blokzijl, 1987*). Een oorzakelijk verband tussen inhalatie van asbest en maagdarmkanker kan echter niet geheel worden uitgesloten, maar het risico voor maagdarmkanker wordt als veel lager beschouwd dan voor longkanker.

Kinderen vormen een risicogroep ten aanzien van blootstelling aan asbestvezels. Niet omdat zij gevoeliger zijn voor asbestvezels, maar omdat zij vanwege de nog resterende lange levensverwachting deze vezels lang in hun lichaam zullen meedragen. Bovendien spelen zij vaak op, in, of dicht bij de grond, waardoor zij een grotere kans hebben op het inhaleren van vezels. Ze kunnen de vezels ook meedragen in hun kleren (*IMH, 1994*).

Ook het al of niet roken is van belang voor het krijgen van longkanker door asbest. De kans op het krijgen van longkanker door blootstelling aan alleen asbestvezels is kleiner dan door alleen roken. De combinatie van inademing van asbestvezels en roken geeft een grotere kans op longkanker dan roken alleen (*IMH, 1994*). Het onderstaande overzicht geeft de relatieve kans op longkanker weer voor zowel rokers als niet-rokers (*IMH, 1994*). Deze relatieve kansen zijn gebaseerd op blootstelling in vroegere arbeidssituaties. Het is onduidelijk of deze relatieve kans ook geldt bij veel lagere concentraties, zoals die zich vaak voordoen in het buitenmilieu.

Relatieve kans op longkanker:

- niet roken, geen asbestexpositie: 1
- niet roken, wel asbestexpositie: 5
- wel roken, geen asbestexpositie: 10
- wel roken, wel asbestexpositie: 50-90

Een ander verhoogd risico vormt blootstelling tijdens zware inspanning, omdat de ingeademde hoeveelheid vezels daarbij groter is dan zonder inspanning. Het gemiddelde ademvolume is voor volwassenen gemiddeld 12 m<sup>3</sup>/dag (24 uur). Voor kinderen is het gemiddelde ademvolume 10 m<sup>3</sup>/dag. Bij zware inspanning, bijvoorbeeld hardlopen, kan het ademvolume van volwassenen oplopen tot 24 m<sup>3</sup>/dag (*IMH, 1994*). Bovendien bestaat door sportactiviteit op een locatie een verhoogd risico voor asbestvezel-emmissie van de bodem naar de lucht.

### 2.4.2 Bepalende factoren

Gezondheidsschaden door asbest worden veroorzaakt door inademing van asbestvezels. De daarop volgende effecten op de gezondheid worden bepaald door de volgende factoren:

- het type asbest;
- de vezeldimensies;
- de duur van de blootstelling;
- de duurzaamheid en splijtbaarheid van de asbestvezels;
- de concentratie waaraan men wordt blootgesteld;
- de persoonskenmerken.

De eerste drie factoren zijn niet alleen van invloed op de gezondheidseffecten (de carcinogene potentie van de asbestvezels), maar bepalen tevens de inhalatieve blootstelling aan asbest.

In Bijlage 3 ("Details bepalende factoren") zijn de factoren die de gezondheidsschaden bepalen in meer detail beschreven.

### 2.4.3 Acceptabele vezelconcentratie

De geschatte vezelconcentraties bij verschillende risiconiveaus voor mesotheliom en longkanker voor de algemene bevolking bij levenslange blootstelling aan asbest in de lucht zijn weergegeven in Tab. 2.1 (*Slooff en Blokzijl, 1987*). Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen amfibool asbestvezels en chrysotiel vezels en tussen meting met een lichtmicroscop (fase contrast microscoop, FCM) en met een elektronenmicroscop (scanning elektronen microscoop, SEM) (*Slooff en Blokzijl, 1987*).



*Tabel 2.1. De geschatte vezelconcentraties voor mesotheliom en longkanker, bij risiconiveaus  $10^{-4}$  en  $10^{-6}$  voor de algemene bevolking bij levenslange blootstelling aan asbest in de lucht (gemeten met lichtmicroscop, FCM), respectievelijk elektronenmicroscop, SEM).*

| Effect   | Risiconiveau | Vezels/m <sup>3</sup> gemeten met FCM | Vezels/m <sup>3</sup> langer dan 5 µm gemeten met SEM |
|--|--------------|---------------------------------------|---|
| Mesotheliom<br>(voor zowel rokers als niet rokers) | $10^{-6}$    | 5 – 50 <sup>1</sup>                   | 10 – 100 <sup>1</sup>                                 |
|  | $10^{-4}$    | 50 – 5.000 <sup>2</sup>               | 100 – 10.000 <sup>2</sup>                             |
|  |              | 500 – 5.000 <sup>1</sup>              | 1.000 – 10.000 <sup>1</sup>                           |
|  |              | 5.000 – 500.000 <sup>2</sup>          | 10.000 – 100.000 <sup>2</sup>                         |
| Longkanker<br>(voor een populatie met 30% rokers)  | $10^{-6}$    | 50 – 500                              | 100 – 1.000   |
|  | $10^{-4}$    | 5.000 – 50.000                        | 10.000 – 1.000.000                                    |

- 1) voor amfibool asbest  
2) voor chrysotiel asbest

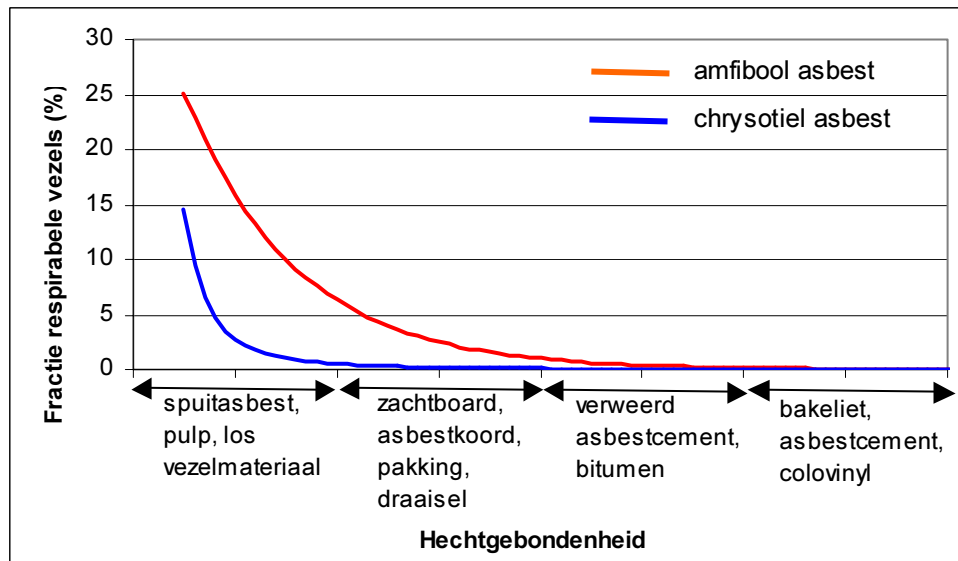
Het blijkt dat het risico bij expositie aan amfibool asbest (o.a. amosiet en crocidoliet) vooral mesotheliom betreft, terwijl chrysotiel asbest met name het risico op longkanker vergroot (*Slooff en Blokzijl, 1987*). Een risico van  $10^{-6}$  bij levenslange blootstelling komt ruwweg overeen met een risico van  $10^{-8}$  per jaar, hetgeen binnen het normstellingsbeleid als het Verwaarloosbaar Risiconiveau (VR) wordt beschouwd. Een risico van  $10^{-4}$  bij levenslange blootstelling, overeenkomend met een risico van ongeveer  $10^{-6}$  per jaar, wordt binnen dit kader beschouwd als een Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR). In deze rapportage worden de volgende acceptabele vezelconcentraties gehanteerd:

- VR = 1.000 vezelequivalenten/m<sup>3</sup>.
- MTR = 100.000 vezelequivalenten/m<sup>3</sup>.

Ter vergelijking: de *Occupational Safety and Health Administration* in de Verenigde Staten heeft als grens 100.000 fibers langer dan 5 µm/m<sup>3</sup> gesteld, waaraan een werknemer gedurende een 40-urige werkweek, verdeeld over vijf dagen van 8 uur, mag worden blootgesteld (*ATSDR, 2003*).

## 2.5 Materiaaleigenschappen

In Fig. 2.1 is de fractie aan respirabele vezels in de bodem uitgezet (dit is de fractie met een vezellengte minder dan 200 µm), als functie van de hechtgebondenheid van aangetroffen materialen in de bodem, voor amfibool asbest en chrysotiel asbest. Beide curven zijn gebaseerd op bodemanalyses die TNO de afgelopen tien jaar heeft uitgevoerd. Uit deze bodemanalyses blijkt dat voor niet-hechtgebonden materialen met amfibool asbest de fractie aan respirabele vezels kan oplopen tot 5 à 10% van de totale asbestconcentratie. De fractie aan respirabele vezels voor niet-hechtgebonden materialen met chrysotiel asbest zijn beduidend lager. Voor hechtgebonden materialen zoals asbestcement is de fractie aan respirabele vezels, zelfs voor verweerde materialen, nihil en in de regel minder dan 0,1%.

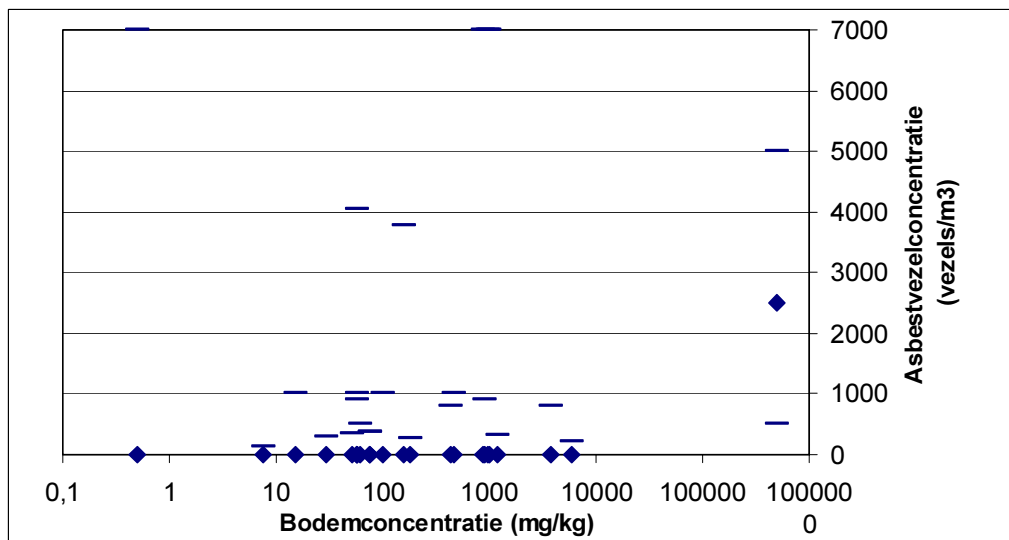


Figuur 2.1: Fractie respirabele asbestvezels voor amfibool en chrysotiel asbest, als functie van de hechtgebondenheid.

[Schattingen zijn gebaseerd op de door TNO in de afgelopen tien jaar uitgevoerde bodemanalyses]

Door verwerking neemt de mate van hechtgebondenheid af. Verwerking van asbestcement-producten wordt veroorzaakt door veroudering, in combinatie met uitloging van de cementmatrix. Dit proces treedt vooral op in een sterk basisch of zuur milieu, zoals bijvoorbeeld geldt voor asbestcement-daken van varkensstallen en kippenschuren. In de bodem is de pH relatief neutraal en zal dit uitlogingsproces minder snel verlopen. Uit verschillende asbest-bodemonderzoeken die door TNO zijn uitgevoerd, blijkt dat het merendeel van de asbestcement-producten na tientallen jaren slechts een geringe mate van verwerking vertonen.

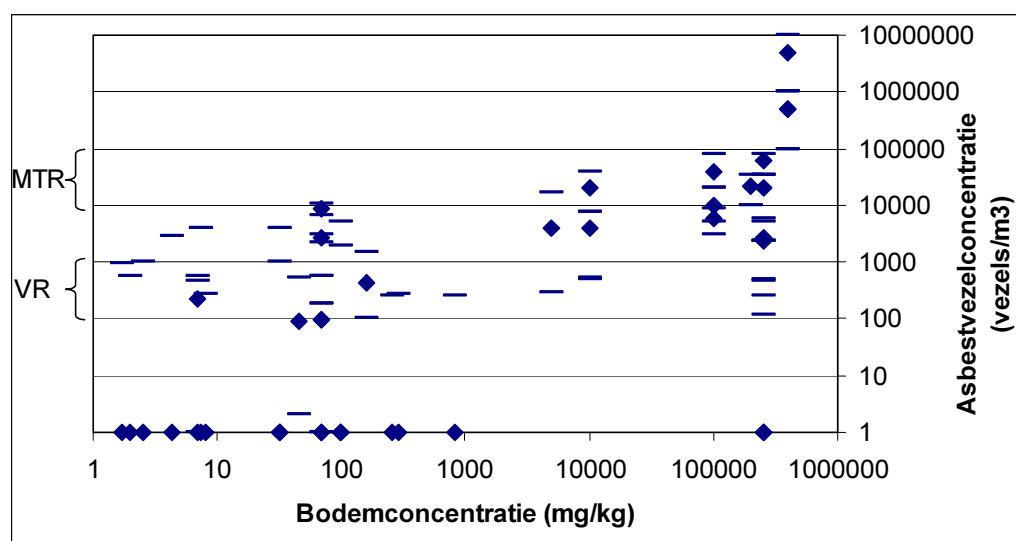
In Fig. 2.2 zijn de resultaten uit praktijkmetingen aan *hechtgebonden* asbest weergegeven (de vierhoeken zijn gemiddelden van meerdere metingen tijdens één experiment; de balkjes geven het 95%-betrouwbaarheidsinterval aan of is de bepalingsondergrens in het geval dat geen asbest is aangetroffen). Uit deze inventarisatie van praktijkmetingen blijkt dat in slechts één enkel geval uit 350 metingen een verhoogde asbestvezelconcentratie in de lucht (vezellengte > 5µm) te zijn gemeten voor een verontreiniging met alleen hechtgebonden asbest. In deze praktijkmeting wordt het VR-niveau voor asbestvezels in de lucht (1.000 vezelequivalenten/m<sup>3</sup>) overschreden. Het betrof hier enkele simulatiemetingen tijdens het berijden van een asbestweg die voor meer dan 10% uit brokken asbestcement bestond. Bij alle overige praktijkmetingen werd geen asbest in de lucht aangetroffen boven de bepalingsondergrens. In deze gevallen is de bepalingsondergrens als balkje in de figuur weergegeven. Bij deze metingen dient wel als kanttekening te worden geplaatst dat de meetomstandigheden vaak niet goed waren gedefinieerd en de bodem vaak vochtig was (gemaakt), waarmee relatief 'gunstige' omstandigheden (onderdrukking van de vezelemissie) heerste.



*Figuur 2.2: Asbestvezelconcentratie (in vezels met lengte  $> 5\mu\text{m}$ , per  $\text{m}^3$  lucht), als functie van het gehalte aan hechtgebonden asbest, in mg asbest per kg bodem en/of puinmateriaal.*

*[Gebaseerd op 350 praktijkmetingen bij diverse activiteiten en onder verschillende meetomstandigheden. De balkjes geven het 95%-betrouwbaarheidsinterval aan van de gemeten concentratieniveaus of is de bepalingsondergrens in geval geen asbest is aangetroffen (zie de punten op de "0"-lijn). De punten op de "0"-lijn zijn het resultaat van meerdere metingen]*

Bij praktijksituaties met *niet-hechtgebonden* asbest bleek dat de luchtconcentratie bij bijna de helft van de 200 metingen het VR-niveau ( $1.000$  vezelequivalenten/ $\text{m}^3$ ) en in een aantal gevallen het MTR-niveau ( $100.000$  vezelequivalenten/ $\text{m}^3$ ) overschreed (Fig. 2.3). Het gaat hierbij vooral om erg hoge asbestgehalten ( $>10\%$  asbest) met voornamelijk niet-hechtgebonden tot vrijwel ongebonden asbest, zoals pulp, draaisel, spuitasbest en ongebonden vezelmateriaal. Het afval was in zeer geconcentreerde vorm in de bodem aanwezig en de concentraties kunnen plaatselijk oplopen tot tientallen massaprocenten.



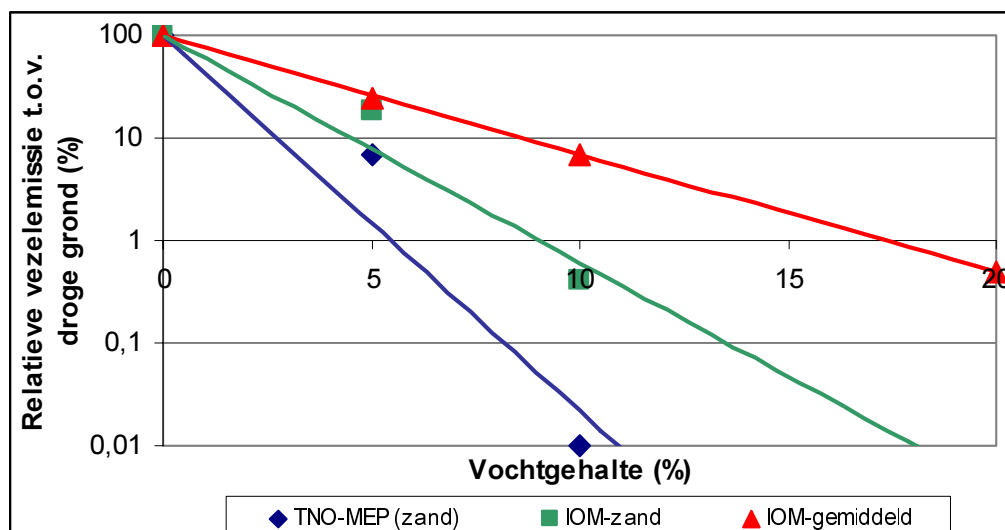
**Figuur 2.3:** *Asbestvezelconcentratie (in vezels met lengte > 5µm, per m<sup>3</sup> lucht), als functie van het gehalte aan niet-hechtgebonden asbest, in mg asbest per kg bodem en/of puinmateriaal (log-schaal).*

*[Gebaseerd op 200 praktijkmetingen bij diverse activiteiten en onder verschillende meetomstandigheden. De asbestvezelconcentraties zijn gemiddelden gebaseerd op meerdere meetwaarden. De balkjes geven het 95%-betrouwbaarheidsinterval aan van de concentratieniveaus of is de bepalingsondergrens in geval geen asbest is aangetroffen (zie de punten op de "log = 1"-lijn). Het VR- en MTR-niveau zijn gebaseerd op 1.000, respectievelijk 100.000 vezelequivalenten per m<sup>3</sup>. Uitgedrukt in vezels/m<sup>3</sup> komt dit overeen met 100 (amfibole) - 1.000 (chrysotiel) vezels/m<sup>3</sup>, respectievelijk 10.000 (amfibole) - 100.000 (chrysotiel) vezels/m<sup>3</sup>]*

## 2.6 Invloed van de bodemeigenschappen

In Hfdst. 2.2 is al genoemd dat de mate van fysisch transport sterk afhangt van de bodemsamenstelling en de bodemstructuur. De vochtigheidsgraad van de bodem heeft echter de grootste invloed op het vrijkomen van asbestvezels uit de bodem (*Tromp, 2002*). Uit de experimenten van TNO blijkt dat ten gevolge van een geringe bodemvochtigheid van 5-10 % de emissie van asbestvezels in de lucht wordt gereduceerd van het MTR-niveau tot onder het VR-niveau (een factor 100). Bij de experimenten van het *Institute of Occupational Medicine* (*Addison et al., 1988*) is dit effect iets minder sterk, maar ook hier werd bij een geringe bodemvochtigheid van 5-10% de emissie met minimaal een factor 10 teruggebracht.

Uit beide onderzoeken blijkt het verband tussen vochtigheid en vezelemisatie exponentieel te zijn en blijkt tevens dat de vochtigheidsgraad de meeste invloed heeft in geval van zandgrond (Fig. 2.4). De oorzaak hiervan is mogelijk dat zandgrond een zeer laag humus- en lutumgehalte heeft, waardoor vezels in een droge situatie totaal niet geadsorbeerd worden. Een gering percentage aan water draagt dan sterk bij aan de verhoging van de adhesiekracht en vermindering van de vezelemisatie.



Figuur 2.4: De relatieve vezelemisatie (ten opzichte van droge grond) (%), als functie van het vochtgehalte in de bodem (%), op basis van experimenten van TNO (Tromp, 2002) en het Institute of Occupational Medicine (Addison et al., 1988).

[IOM-gemiddeld betreft een mix van diverse bodemtypen]

De vochtigheid van een bodem varieert sterk in de tijd en met de diepte en is afhankelijk van de hydraulische eigenschappen van de bodem, het moment waarop een bepaalde hoeveelheid neerslag gevallen is, temperatuur en zonneschijn en het organische stofgehalte van de bodem. Tevens is de aanwezigheid van vegetatie van grote invloed op de vochtigheid van de bodem. Onder Nederlandse omstandigheden wordt het vochtregime van de bodem bijna altijd begrensd door het permanente verwelkingspunt ( $pF = 4,2$ ) en de veldcapaciteit ( $pF = 2$ ). Dit betekent dat het vochtgehalte voor zandgronden globaal schommelt tussen 2% en 40% en voor kleigronden tussen 20% en 60% (Koorevaar et al., 1983). Met name de ondergrens is sterk afhankelijk van het precieze bodemtype. Op zich is het vochtprofiel van een bodem van beperkt belang voor de emissie van asbest naar de atmosfeer, aangezien deze emissie vanaf de bovenste centimeter, of centimeters, van de bodem plaatsvindt. En juist deze bovenste laag zal het snelst uitdrogen ten gevolge van evaporatie. Een voor Nederland typische lemige zandgrond, waarop winterrogge werd geteeld, toont in het voorjaar ten opzichte van de diepere bodemlagen een relatief hoog vochtgehalte in de bovenste centimeters (Scheffer en Schachtschabel, 1989). In de zomer droogt het gehele bodemprofiel, inclusief de toplaag, echter snel uit. De periode waarin de toplaag van de bodem onder een “kritisch vochtgehalte” komt is moeilijk te kwantificeren. Bovendien is er een verband tussen de periode waarin het vochtgehalte van de bodem kritisch is en andere risicofactoren, zoals windsnelheid en menselijke activiteit in en op de bodem.

De structuur van de toplaag en de karakteristieken van de vegetatie van de toplaag zijn tevens van invloed op de resuspensie van asbestvezels vanuit de bodem. In Hfdst. 2.3.2 is gesteld dat de resuspensie maximaal plaatsvindt voor gladde, verharde oppervlakken. Voor onverharde oppervlakken zonder mechanische activiteit is resuspensie klein. Vegetatie, zoals gras, struiken en bladeren, beïnvloeden de luchtstroming langs het oppervlak.

## 2.7 Invloed van de weersgesteldheid

Neerslag en zon hebben een grote invloed op de vezelemissie. Dit effect is voor een groot deel indirect aangezien ze de bodemvochtigheid beïnvloeden. De bodemvochtigheid heeft een sterke invloed op de vezelemissie. In Hfdst. 2.6 is de invloed van de bodemvochtigheid op de vezelemissie reeds besproken.

Naast het indirecte effect beïnvloeden neerslag en zon tevens de luchtvochtigheid. Neerslag en luchtvochtigheid zorgen ervoor dat eenmaal geëmitteerde vezels weer snel worden afgevangen en suspenderen naar de bodem. Over de exacte invloed van de luchtvochtigheid is weinig bekend. In een Amerikaans onderzoek kon geen direct verband worden aangetoond, echter in combinatie met andere invloedsfactoren, zoals activiteit en luchtstromingen, was wel een gering effect waarneembaar (*Guillemain et al., 1989*).

Wind heeft tevens een invloed op de vezelemissie. In Hfdst. 2.3.2 is reeds vermeld dat de vezelemissie door resuspensie toeneemt met de windsnelheid. Daarentegen blijkt dat over het algemeen concentraties nabij asbestbronnen bij geringe luchtbeweging hoger zijn dan wanneer er sprake is van wind. Een geringe luchtbeweging is voldoende om vezels van de ondergrond vrij te maken, maar is onvoldoende om voor dispersie in de atmosfeer te zorgen, waardoor de asbestvezels zouden verdwijnen buiten het bereik van de mens. Dispersie in de atmosfeer is een belangrijke factor. Door TNO zijn in enkele (half open) schuren met asbesthoudend verhardingsmateriaal in bepaalde situaties wel asbestvezelconcentraties in de lucht gemeten, terwijl in vergelijkbare situaties in de open buitenlucht geen asbestvezels in de lucht zijn aangetroffen.

Vorst kan tevens de vezelemissie beïnvloeden. Het water in veldvochtige grond bevriest waardoor de asbestvezels in de grond geïmmobiliseerd kunnen worden.

## 2.8 Invloed van de activiteit op de locatie

Uit de simulatieproeven van TNO blijkt dat de activiteit in en op de bodem een duidelijke invloed heeft op de vezelemissie. In de simulatieproeven betrof het voornamelijk resuspensie-experimenten met behulp van een ventilator van reeds vrijgemaakte vezels. Er bleek een exponentieel verband te bestaan tussen de mate van activiteit en de vezelemissie.

Bij weinig ventilatie (vergelijkbaar met windkracht 1-4 Beaufort) bleken maar weinig vezels te worden vrijgemaakt: de vezelconcentratie in de lucht bleef hierbij onder het VR-niveau (1.000 vezelequivalenten per m<sup>3</sup>), bij een asbestgehalte in de bodem van 70 mg/kg<sub>dw</sub> aan los vezelmateriaal. Bij meer ventilatie (vergelijkbaar met een windkracht 8-10 Beaufort) bleek een duidelijke verhoging van de vezelemissie op te treden, met concentraties van 10.000 tot 100.000 vezelequivalenten per m<sup>3</sup> lucht (overschrijding van het VR-niveau, maar geen overschrijding van het MTR-niveau. Het is echter moeilijk om een kwantitatief verband af te leiden tussen activiteit in en op de bodem en de asbest-vezelconcentratie in de lucht (*Tromp, 2002*).

In praktijksituaties blijkt de vezelemissie door met name resuspensie als gevolg van geringe “niet-destructieve” activiteiten, zoals lopen, fietsen maar ook veldwerkactiviteiten, eveneens beperkt. In geen van de metingen die zijn uitgevoerd bij dergelijke activiteiten is een vezelemissie naar de lucht aangetoond (*Tromp, 2002*). Hierbij zijn onder andere metingen

uitgevoerd op pulperen met losgebonden asbest in concentraties in de bodem boven de 10.000 mg/kg<sub>dw</sub>.

Bij hechtgebonden asbest zal het aandeel aan respirabele vezels nihil zijn, zodat resuspensie vrijwel niet optreedt (zie Hfdst. 2.5). Echter, naast de resuspensie van asbestvezels onder invloed van bepaalde “niet-destructieve” activiteiten en/of luchtstromen kunnen ook asbestvezels vrijgemaakt worden uit de matrix van asbesthoudende materialen zelf. Het gaat hierbij met name om intensieve activiteiten als puinbreken, ontgraven, storten en droog reinigen (zeven), waarbij de materialen kunnen breken of “verkrumelen”, met vezelemisatie als gevolg.

De vezelemisatie als gevolg van resuspensie van reeds vrijgemaakte vezels of vezelemisatie, veroorzaakt door veroudering en verwerking van de matrix, is een continue of langdurig emissiemechanisme. Gezien de lage vezelemisatie zal de uiteindelijke blootstelling als gevolg van de continue emissie laag zijn en zal alleen bij extreem hoge asbestgehalten (zoals asbestwegen en -erven) tot een verhoogd blootstellingsrisico kunnen leiden.

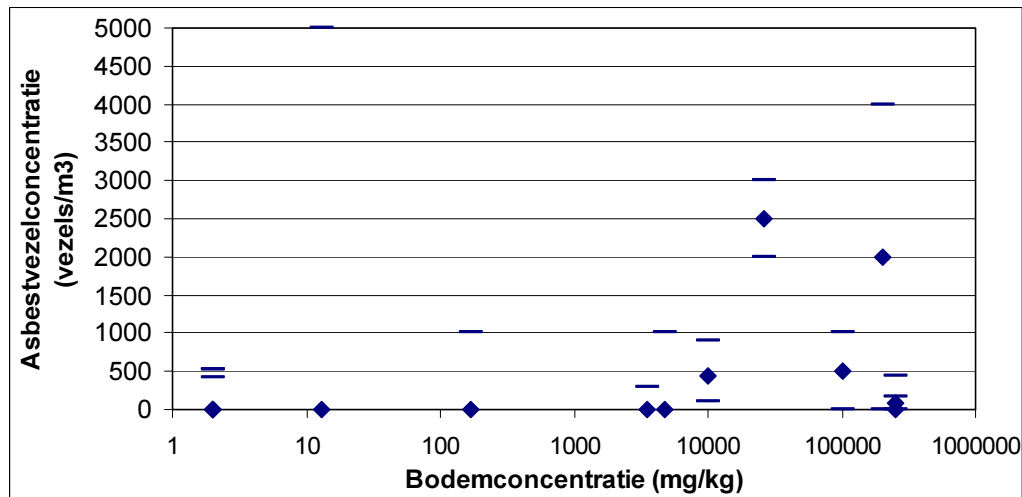
Intensieve activiteiten als puinbreken, ontgraven, storten en droog reinigen (zeven) zijn veelal van korte duur, zodat men te maken heeft met een kortdurende piekbelasting aan asbestvezels (momentane emissie). Bij het incidenteel vóórkomen van dergelijke activiteiten leidt dit bijna nooit tot een onacceptabel risico, omdat de bijdrage hiervan aan het totaal gedurende het leven ingeademde vezels gering is.

## 2.9 Plaats van vóórkomen en omvang van de verontreiniging

In de systematiek van de Wet bodembescherming wordt een bodemvolume van 25 m<sup>3</sup> gehanteerd, waarboven in geval van overschrijding van de interventiewaarde sprake is van een ernstig risico. In geval van een bodemverontreiniging met asbest vormt met name de asbest in en op de toplaag van de bodem het grootste risico, zodat een volumecriterium niet zonder meer relevant is. Voor de bepaling van de ernst zou een oppervlaktecriterium overwogen kunnen worden. Asbestverontreiniging die zich niet in of op de toplaag bevindt, zal geen direct risico voor de mens opleveren. Het leeflaagprincipe, zoals verwoord in BEVER, is bij uitstek geschikt om het humane risico voor verontreinigingen met asbest te reduceren. Indien een leeflaag van minimaal 50 cm wordt aangelegd zijn, zelfs bij kleine graafwerkzaamheden in de bovenlaag, geen asbestvezels in de lucht gemeten. Ook asbestverontreiniging die is afgedekt met tegels, beton of asfalt zal slechts na menselijk ingrijpen een risico kunnen vormen. In het Besluit Asbestwegen dient een dergelijke duurzame afdeklaag ongeveer 10 cm dik te zijn. Een duurzame afdeklaag van zand, granaat of grind dient minimaal 20 cm dik te zijn. Echter, asbest vormt veel meer dan andere contaminanten een direct risico wanneer deze alsnog door menselijk handelen (bijvoorbeeld bij graafwerkzaamheden, of ten gevolge van het lichten van tegels) aan de oppervlakte komt. Dit betekent dat er in geval van de aanwezigheid van asbest dieper in de bodem *indirect* sprake is van een risico voor de mens.

Ook de afstand tot de verontreinigingsbron of de bodemactiviteit is bepalend voor de blootstellings-concentratie. Door dispersie in de atmosfeer onder invloed van wind neemt de asbestvezelconcentratie in de lucht sterk af met toenemende afstand. Uit verschillende praktijkmetingen (circa 110 metingen) blijkt dat de asbestconcentratie in de lucht tot een afstand van circa 50 meter het VR-niveau in de lucht (1.000 vezelequivalenten per m<sup>3</sup>) slechts een enkele keer overschrijdt (Fig. 2.5). Deze situaties treden vooral op bij droog weer

en matige wind. Verder blijkt dat bij een afstand van 100 meter of meer soms een verhoging van het achtergrondniveau wordt gemeten, maar dat het VR-niveau nooit wordt overschreden (Tromp, 2002). Door het beperkte aantal omgevingsmetingen en het vaak niet nauwkeurig bepalen van de afstand tot de bron is het niet mogelijk om meer gedetailleerde uitspraken te doen.



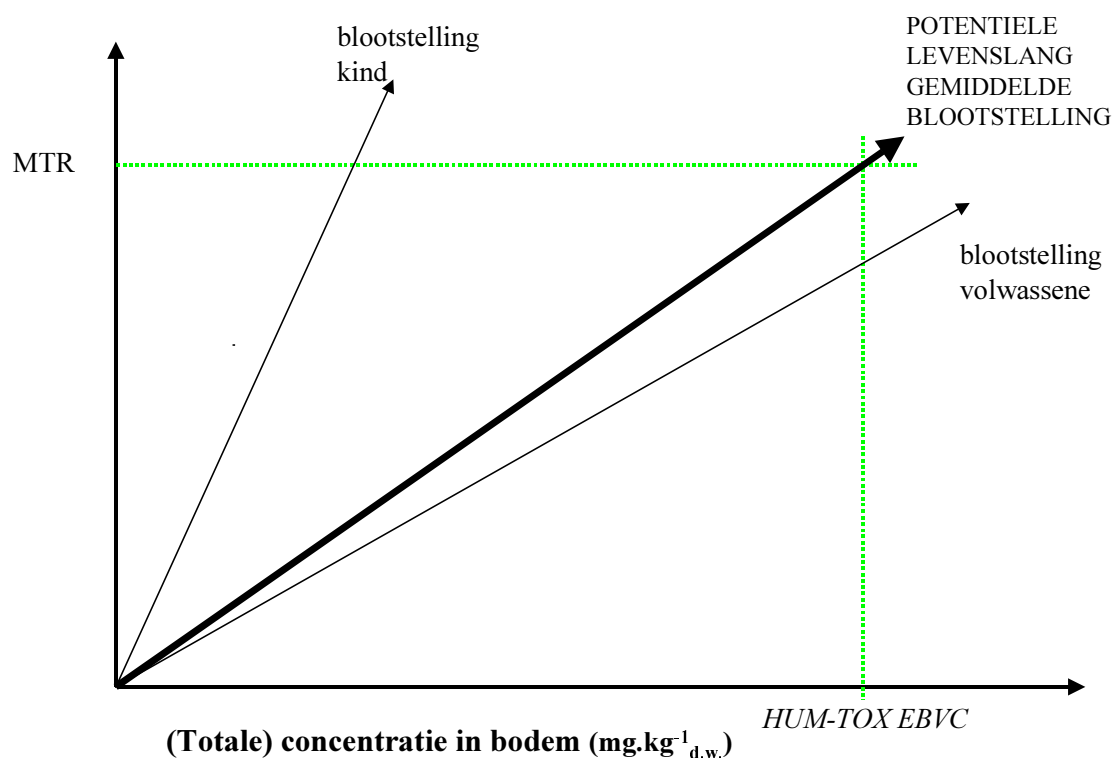
**Figuur 2.5:** *Asbestvezelconcentratie (in vezels met lengte  $> 5\mu\text{m}$ , per  $\text{m}^3$  lucht) gemeten in de omgeving van activiteiten met asbesthoudend materiaal, als functie van het gehalte aan asbest, in mg asbest per kg bodem en/of puinmateriaal.*  
*[Gebaseerd op 110 metingen bij diverse activiteiten met zowel hechtgebonden als niet-hechtgebonden asbest en onder verschillende meetomstandigheden, bij een afstand tot de bron variërend van 5 meter tot 100 meter. De asbestvezelconcentraties zijn gemiddelden gebaseerd op meerdere meetwaarden. De balkjes geven het 95%-betrouwbaarheidsinterval aan van de concentratieniveaus of is de bepalingsondergrens in geval geen asbest is aangetroffen (zie de punten op de 0-lijn)]*



### 3. Bepaling humane risico op basis van berekening

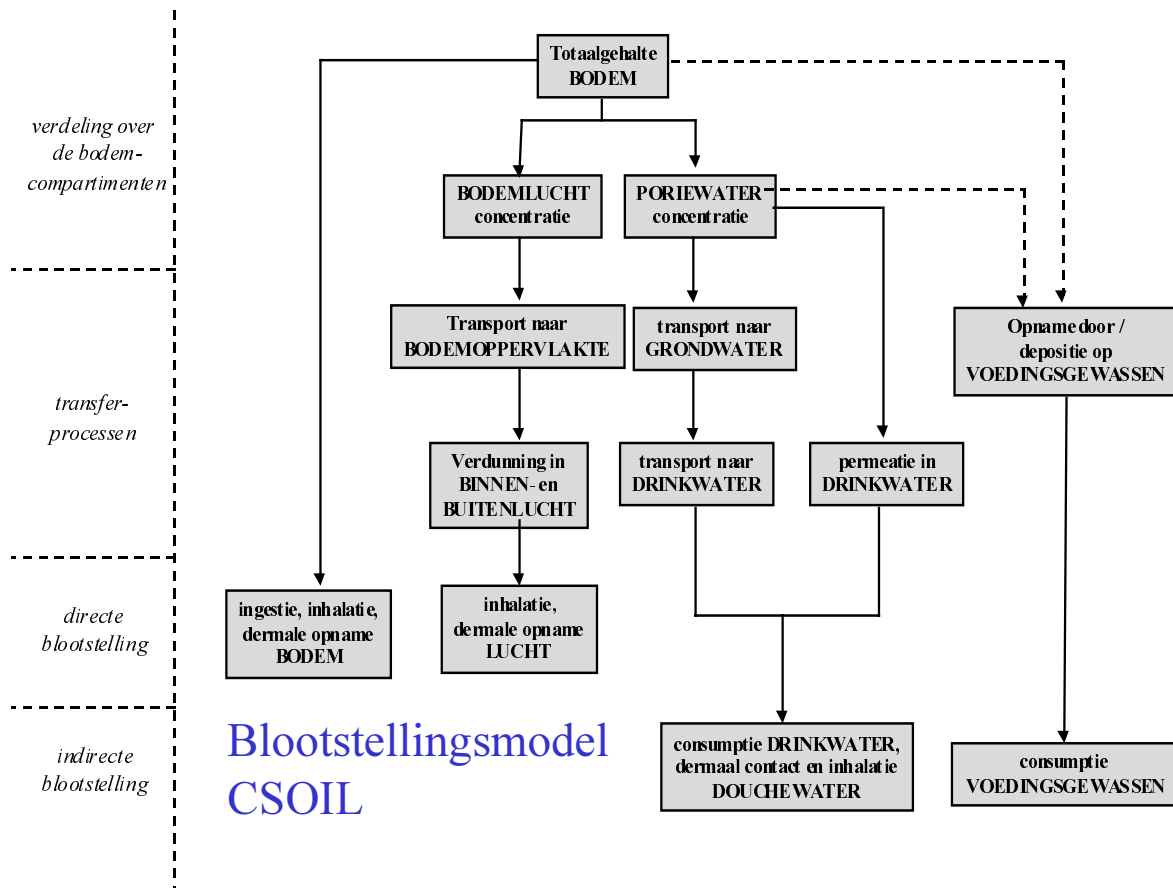
#### 3.1 Wet bodembescherming

De HUM-TOX EBVC (Humaan-toxicologische Ernstige BodemVerontreinigings-Concentratie, dit is het humane gedeelte van de interventiewaarde) voor de contaminanten waarvoor op dit moment een interventiewaarde bestaat, zijn afgeleid op basis van de potentiële, levenslang gemiddelde blootstelling en het MTR (Maximaal Toelaatbare Risico) voor blootstelling, zie Fig. 3.1.



*Figuur 3.1: De afleiding van de HUM-TOX EBVC (Humaan-toxicologische Ernstige BodemVerontreinigingsConcentratie) als functie van potentiële blootstelling en het MTR (Maximaal Toelaatbaar Risico) voor blootstelling.*

De potentiële blootstelling is gedefinieerd als de blootstelling die zich onder gestandaardiseerde omstandigheden in de woonsituatie voor zou doen. Deze blootstelling kan worden beschouwd als de representatieve blootstelling voor de mens die zijn of haar gehele leven op de verontreinigde locatie, in de woonsituatie, doorbrengt. Berekening van de potentiële blootstelling voor de afleiding van de interventiewaarden vindt plaats met het blootstellingsmodel CSOIL (Van den Berg, 1991/1994/1995, zie Fig. 3.2). In 2001 is dit model herzien (Otte *et al.*, 2001; Rikken *et al.*, 2001; Lijzen *et al.*, 2001).



Figuur 3.2: Schematisch overzicht over het blootstellingsmodel CSOIL

In dit model zijn drie gedeelten te herkennen:

- verdeling van de contaminant over de mobiele bodemcompartimenten (poriewater en bodemlucht);
- transfer van de contaminant van de mobiele bodemcompartimenten in de zogenaamde contactmedia (binnen- en buitenlucht, drink- en douchewater en voedingsgewassen);
- directe en indirecte blootstelling.

Voor de ruim 100 contaminanten waarvoor interventiewaarden bestaan, wordt de potentiële blootstelling voornamelijk bepaald door de ingestie van grond, de opname van voedingsgewassen uit eigen tuin en de inhalatie van binnenlucht, inclusief de daar in aanwezige contaminanten in dampvorm. Blootstellingroutes die voor deze contaminanten van minder belang zijn, betreffen dermale blootstelling aan grond, binnenlucht en douchewater; inhalatie van bodemdeeltjes en buitenlucht; en consumptie van leidingwater.

Ter bepaling van de saneringsurgentie wordt het locatie-specifieke risico bepaald met behulp van het programma SUS (SaneringsUrgentieSystematiek). In dit programma is het CSOIL blootstellingsmodel opgenomen voor de berekening van de humane blootstelling. Bij de bepaling van de saneringsurgentie zijn twee belangrijke verschillen met de berekening van de potentiële blootstelling:

- het blootstellingsscenario en de daarbij behorende input parameters moeten worden afgestemd op de betreffende locatie;

- het wordt aangeraden gebruik te maken van metingen in de contactmedia, met name van de concentratie in voedingsgewassen en in binnenlucht.

### 3.2 Blootstellingsroutes voor asbest uit de bodem

Het blootstellingspatroon aan asbest is anders dan dat van de andere contaminanten. Voor asbest speelt in feite maar één blootstellingroute een rol, namelijk die van inhalatie van (bodem)deeltjes. Deze blootstellingsroute is van belang in het binnen- en buitenmilieu, zie Hfdst. 2.3.3. Voor alle andere contaminanten waarvoor interventiewaarden bestaan is de bijdrage van deze route nooit meer dan 1% (*Van den Berg, 1991/1994/1995*: eerste tranche interventiewaarden; *Van den Berg et al., 1994*: tweede tranche interventiewaarden; *Kreule et al., 1995*: derde tranche interventiewaarden; *Kreule en Swartjes, 1998*: vierde tranche interventiewaarden). Aangezien asbest niet in planten wordt opgenomen, speelt de blootstelling via consumptie van voedingsgewassen geen rol. Daarentegen kunnen met name kinderen asbest binnen krijgen via grondingestie. Ook kan orale blootstelling plaatsvinden vinden, indien gewassen worden geconsumeerd waarop asbest deeltjes via depositie terecht zijn gekomen. Alhoewel het verband tussen orale inname aan asbest en het optreden van maagdarmkanker niet geheel kan worden uitgesloten, worden de risico's via orale inname verwaarloosbaar geacht ten opzichte van die ten gevolge van inhalatieve inname. Asbest is niet vluchtig. Daarom is inhalatie van binnenlucht, inclusief de daar in aanwezige contaminanten in dampvorm, eveneens niet van belang. Alhoewel er in beperkte mate asbestvezels in drinkwater voorkomen, zal asbest in de bodem niet door de waterleidingen permeëren. Daarom zal er geen blootstelling aan asbest vanuit de bodem plaatsvinden via drinkwaterconsumptie. Tenslotte kan dermale opname van asbest eveneens worden uitgesloten.

Het afwijkende gedrag van asbest voor wat betreft mobiliteit en blootstelling kan als tegenargument worden gebruikt voor de conclusie uit *Versteeg et al. (2002)*, dat er geen duidelijke motivering bestaat waarom asbest in de bodem anders zou moeten worden behandeld dan de overige contaminanten.

### 3.3 Toelaatbare blootstelling

In Hfdst. 2.4.1 werd uitgelegd dat asbest bij langdurige inhalatieve inname mesothelioom (een dodelijke vorm van long-, buik- en borstvlieskanker), asbestose (verbindweefseling van de longen) en bronchiaal carcinomen (longkanker) kan veroorzaken.

De carcinogene potentie van asbest is afhankelijk van de vorm en afmeting van de vezels. Met name carcinogeen zijn de vezels met een lengte tussen de 5 en 40 µm en een diameter tussen de 0,1 en 1 µm. Ook de duurzaamheid is van belang: chrysotiel vezels zijn veel minder duurzaam dan amfibool asbestvezels, waardoor chrysotiel vezels eerder uit de longen verdwijnen. Om deze redenen is de toelaatbare blootstelling afhankelijk van type asbest en afmeting van de vezels en wordt daarom in vezelequivalenten uitgedrukt.

De Gezondheidsraad acht de carcinogene potentie van vezels met een lengte kleiner dan 5 µm in hogere concentraties niet geheel verwaarloosbaar. Op grond hiervan wordt in de beleidsnotitie "Asbest in het milieu" voor een gedifferentieerde normstelling gekozen:

|   |   |                        |
|---|---|------------------------|
| 1 chrysotiel vezel met een lengte > 5µm     | : | equivalentiefactor 1   |
| 1 chrysotiel vezel met een lengte < 5µm     | : | equivalentiefactor 0,1 |
| 1 amfibool asbestvezel met een lengte > 5µm | : | equivalentiefactor 10  |
| 1 amfibool asbestvezel met een lengte < 5µm | : | equivalentiefactor 1   |

Aansluitend bij de risico-evaluatie van de Gezondheidsraad, heeft het Ministerie van VROM kwaliteitsdoelstellingen voor asbest geformuleerd. Het milieubeleid is gericht op vermindering van risico's van blootstelling aan asbest via de lucht tot in elk geval het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau en, zo mogelijk tot het Verwaarloosbaar Risiconiveau. Hierbij is in analogie met andere contaminanten het Verwaarloosbaar Risico (VR) op 1% van het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau gesteld (*VROM, 1989*). Op basis van de hierboven genoemde equivalentiefactoren is men gekomen tot de volgende waarden:

- Het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau (MTR) bedraagt 100.000 vezelequivalenten per m<sup>3</sup> lucht (jaargemiddelde).
- Het Verwaarloosbaar Risiconiveau (VR) bedraagt 1.000 vezelequivalenten per m<sup>3</sup> lucht (jaargemiddelde).

Op grond van de relatief grote onzekerheden bij de bepaling van het aantal asbestvezels in de lucht als gevolg van de aanwezigheid van asbest in de bodem en de bijzondere maatschappelijke perceptie bij de aanwezigheid van asbest (sterke associatie met gezondheidsrisico's) is beleidsmatig gekozen voor hanteren van het VR-niveau. Dit niveau sluit aan bij het beschermingsniveau zoals gehanteerd door de Arbeidsinspectie.

### 3.4 Berekening blootstelling via inhalatie van asbestvezels

De berekening van de blootstelling via inhalatie van asbestvezels kan worden gebaseerd op de berekening via "inhalatie van (bodem)deeltjes", een van de blootstellingsroutes in het CSOIL model.

Recent werd het project "Evaluatie interventiewaarden" afgerond (*Lijzen et al., 2001*). Hierbij werden echter alleen de meest relevante blootstellingsroutes in CSOIL geëvalueerd. Aangezien de blootstellingsroute "inhalatie van (bodem)deeltjes" voor de andere contaminanten waarvoor interventiewaarden bestaan geen relevante bijdrage aan de totale blootstelling heeft, werd dit formulairium niet geëvalueerd. Het formulairium is als volgt (*Van den Berg, 1991/1994/1995*):

$$IP = ITPS * Cs * fr * fa / W$$

waarbij

|      |   |   |
|------|---|---|
| IP   | = | blootstelling aan geïnhaleerde (bodem) deeltjes<br>[mg <sub>CONTAMINANT</sub> .kg <sub>LICHAAMSGEWICHT</sub> <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> ] |
| ITSP | = | geïnhaleerde hoeveelheid (bodem)deeltjes [kg <sub>(BODEM)DEELTJES</sub> .d <sup>-1</sup> ]  |
| Cs   | = | totale concentratie in de bodem [mg <sub>CONTAMINANT</sub> .kg <sub>BODEM</sub> <sup>-1</sup> ]   |
| fr   | = | retentiefactor in de longen [-]   |
| fa   | = | relatieve absorptiefactor [-]   |
| W    | = | lichaamsgewicht [kg <sub>LICHAAMSGEWICHT</sub> ]  |

Er wordt aangenomen dat 75% van de deeltjes (tijdelijk) in de longen wordt vastgehouden ( $fr = 0,75$ ). Bij gebrek aan gedetailleerd inzicht in het precieze lot van de in deze deeltjes aanwezige contaminanten is aangenomen dat deze geheel worden opgenomen via de longen ( $fa = 1,0$ ). Voor het lichaamsgewicht is uitgegaan van 70 kg voor volwassenen (in de periode 6 tot 70 jaar) en van 15 kg voor kinderen (in de periode 0 tot 6 jaar).

De meest gevoelige factor in dit formularium is de geïnhaleerde hoeveelheid (bodem)deeltjes, welke als volgt wordt berekend:

$$ITPS = TPS * frs * AV * t * ft$$

Waarbij

|     |   |  |
|-----|---|--|
| TPS | = | hoeveelheid gesuspendeerde deeltje in de lucht [ $\text{mg}_{(\text{BODEM})\text{DEELTJES.m}_{\text{LUCHT}}^3$ ] |
| frs | = | fractie (bodem)deeltje (in dit geval: asbestvezels) van de totale hoeveelheid deeltjes in de lucht [-]           |
| AV  | = | ademvolume [ $\text{m}_{\text{LUCHT}}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ]   |
| t   | = | tijdsduur van blootstelling [d]  |
| tf  | = | tijdsfractie voor blootstelling [-]  |

De hoeveelheid gesuspendeerde deeltje in de buitenlucht ( $TPS_{\text{outdoors}} = 70 \mu\text{g}_{(\text{BODEM})\text{DEELTJES.m}_{\text{LUCHT}}^3$ ) en de fractie bodemdeeltje in de totale hoeveelheid deeltjes in de buitenlucht ( $frs_{\text{outdoors}} = 0,5$ ) zijn ontleend aan *Hawley (1985)*. Volgens dezelfde auteur is de hoeveelheid gesuspendeerde deeltjes in de binnenlucht 75% van die in de buitenlucht, i.e.  $TPS_{\text{inside}} = 52,5 \mu\text{g}_{(\text{BODEM})\text{DEELTJES.m}_{\text{LUCHT}}^3$ . De fractie bodemdeeltjes in de totale hoeveelheid deeltjes in de binnenlucht,  $frs_{\text{inside}}$ , stelt de auteur op 0,8.

De hoeveelheid gesuspendeerde deeltje in de buitenlucht is ontleend aan metingen nabij een niet meer in gebruik zijnde vuilstort in the VS. De waarde van  $TPS_{\text{outdoors}}$ ,  $70 \mu\text{g}_{(\text{BODEM})\text{DEELTJES.m}_{\text{LUCHT}}^3$ , is de gemiddelde concentratie van de hoeveelheid gesuspendeerde deeltjes in de lucht in de periode 1980 tot 1981. De waarde van 0,5 voor  $frs_{\text{outdoors}}$ , 0,8 voor  $frs_{\text{inside}}$  en 0,75 voor de omrekening van de hoeveelheid gesuspendeerde deeltjes in de buitenlucht naar die in de binnenlucht leidt *Hawley (1985)* af van een aantal, overwegend Amerikaanse onderzoeken. Hierbij zijn geen gegevens opgenomen over grootte van de (bodem)deeltjes, bodemtype, vochtigheid van de bodem, weergesteldheid of woningkarakteristieken. In Hfdst. 2.3.2 werd uitgelegd dat bij gelijke windgesteldheid de emissie van asbestvezels op grond van de geringe aërodynamische diameter veel minder zal zijn dan die van bodemdeeltjes. Derhalve resulteren de waarden van *Hawley (1985)* waarschijnlijk in een overschatting van de fractie asbestvezels in de totale hoeveelheid deeltjes in de lucht.

Voor de verblijftijden zijn praktische waarden gehanteerd (*Van den Berg, 1991/1994/1995*). Er is aangenomen dat een volwassene elke week een dag (8 uur) en een kind elke derde dag (gedurende 8 uur) buitenshuis, op de verontreinigde locatie besteed. Bovendien is verondersteld dat een volwassene jaargemiddeld 17 uur per dag binnenshuis doorbrengt. Voor een kind is er van uit gegaan dat het zich de gehele dag, binnen- of buitenshuis, op de locatie bevindt. Er is geen rekening gehouden met een passieve ademhaling gedurende de nacht.

### 3.5 Berekening van de HUM-TOX EBVC voor asbest

In analogie met de andere contaminanten waarvoor een interventiewaarde is berekend, wordt de in dit hoofdstuk berekende HUM-TOX EBVC voor asbest gebaseerd op het MTR.

Aangezien het MTR uitgedrukt is als concentratie in de lucht, is voor de afleiding van de HUM-TOX EBVC niet de blootstelling berekend, maar is de berekende concentratie in de lucht vergeleken met de toelaatbare concentratie in de lucht. Dit betekent dat de ademhaling en lichaamsgewicht geen rol spelen in de berekening.

De berekende concentratie asbestvezels in de lucht volgt uit de vermenigvuldiging van TPS en frs:

$$\begin{aligned} \text{TPS} * \text{frs} &= \text{jaargemiddelde concentratie asbestdeeltjes buitenshuis} + \\ &\quad \text{jaargemiddelde concentratie asbestdeeltjes binnenshuis} \\ &= (1/7 * 8/24) * (0,5 * 70) + (17/24) * (0,8 * 0,75 * 70) \mu\text{g}/\text{m}^3 \\ &= 31 \mu\text{g}/\text{m}^3. \end{aligned}$$

Deze  $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mogen 100.000 asbest-vezelequivalenten bevatten, om een risico te hebben dat precies gelijk is aan het MTR. Rekening houdend met een retentiefactor (fr) van 0,75 is het aantal corresponderende asbestvezels in de bodem als volgt:

$$100.000 / 31 \cdot 10^{-9} / 0,75 = 4,3 \cdot 10^{12} \text{ vezelequivalenten} / \text{kg}_{\text{bodem}}.$$

Traditioneel is een interventiewaarde, en dus ook een HUM-TOX EBVC, echter uitgedrukt op gewichtsbasis (mg contaminant) per kg bodem. Uitgaande van een 2.000 tot 40.000 vezels per ng asbest (*Slooff en Blokzijl, 1987*) volgt een HUM-TOX EBVC in de range van 100 tot  $2.000 \text{ mg}_{\text{asbest}}/\text{kg}_{\text{bodem}}$ .

Deze HUM-TOX EBVC werd in 1993 afgeleid als ad hoc interventiewaarde. Zoals vermeld in Hfdst. 3.1 wordt de CSOIL-berekening voor de afleiding van een interventiewaarde voor asbest echter van beperkte waarde geacht. Bovendien is voor de bepaling van het humane risico de omrekening van asbestvezels naar gewicht aan asbest niet zinvol.

### 3.6 Berekening van de locatie-specifieke humane risico's van asbest

In Hfdst. 3.1 werd aangegeven dat er bij de berekening van de locatie-specifieke blootstelling twee belangrijke verschillen zijn met de berekening van de potentiële blootstelling. Voor asbest is echter niet zonder meer aan beide verschillen tegemoet te komen:

- Voor het afstemmen van het blootstellingsscenario en de daarbij behorende input parameters op de betreffende locatie zou in ieder geval rekening moeten worden gehouden met de activiteiten op de locatie en de invloed van de vochtigheid van de bodem op het beschikbaar komen van asbestvezels in de lucht. Deze parameters zijn echter niet in het CSOIL model opgenomen. Bovendien zijn er geen kwantitatieve relaties tussen deze beide parameters en de vezelconcentratie in de lucht bekend.
- Er is weliswaar een protocol voor de meting van de asbestconcentratie in de binnenlucht beschikbaar (NEN 2991), maar dit is niet zonder meer geschikt voor toepassing voor de onderhavige doelstelling (tevens meting in de buitenlucht).

Daarom wordt in Hfdst. 6.3 een aangepaste procedure voorgesteld.

## 4. Bepaling humane risico's op basis van meetresultaten uit de praktijk

Sinds het eind van de jaren tachtig werden bij TNO diverse experimenten uitgevoerd, met het doel de relatie tussen de concentratie aan asbest in de bodem en concentratie aan asbestvezels in de lucht, als functie van diverse bodem- en omgevingsfactoren, te onderzoeken (*Den Boeft, 1987; Tempelman, 1998; Arzoni en Tempelman, 2000; Tromp, 2002*). In het kader van een SKB-project (*Versteeg et al., 2002*) werd een enquête opgesteld en verstuurd, met het doel aanvullende gegevens te verzamelen. Tevens werden in het SKB-project de gegevens uit TNO-onderzoek en voortkomend uit de enquête, tezamen met dergelijke informatie uit de literatuur, geëvalueerd (*Tromp, 2002*).

Voortbouwend op deze dataverzameling is in het huidige onderzoek middels een tweede enquête getracht om aanvullende, in Nederland beschikbare gegevens met betrekking tot bodemgehalten versus asbestvezelconcentraties in de lucht te verzamelen. Uiteindelijk zijn negen nieuwe onderzoeksrapporten met ongeveer 100 meetgegevens verzameld. Inclusief de SKB-studie zijn in totaal 30 onderzoeksrapporten met circa 1.000 meetresultaten in de inventarisatie meegenomen. In Bijlage 4 is een *database* opgenomen met een overzicht over alle verzamelde meetresultaten.

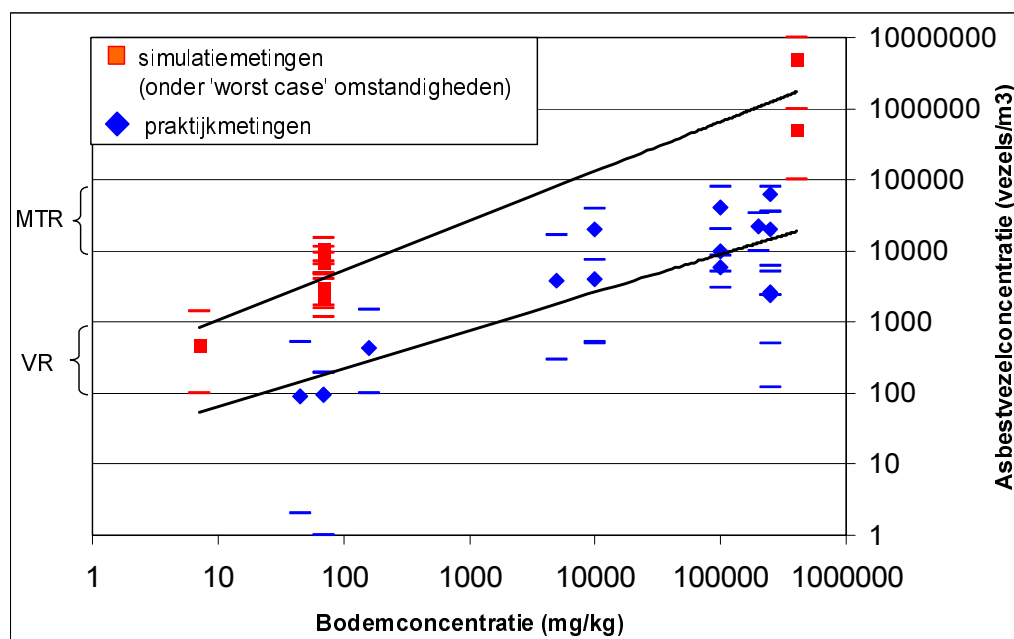
De nieuw verkregen meetgegevens vertonen hetzelfde beeld als die uit het SKB-project:

- Alleen bij sterk verontreinigde bodems en partijen met *niet-hechtgebonden* asbest (met gemiddelde asbestconcentratie in de bodem hoger dan 10.000 mg/kg<sub>dw</sub>) worden verhoogde vezelconcentraties in de lucht gemeten, tot boven het MTR-niveau (Fig. 2.1). Het gaat hierbij voornamelijk om afval afkomstig van de asbestverwerkende industrie of asbesthoudend afval, vrijgekomen bij sloop.
- In dergelijke situaties, is zelfs een geringe bodemactiviteit in combinatie met droog weer (onder realistische condities en geen *worst case* condities) voldoende voor het vóórkomen van asbestvezels in de lucht, boven het VR-niveau.
- De MTR-overschrijdende vezelconcentraties in de lucht worden vrijwel alleen gemeten op korte afstand tot de bron en bij veel bodemactiviteit, zoals afgraven, uitstorten en berijden (Fig. 2.5). Bij toenemende afstand neemt de vezelconcentratie in de lucht snel af en blijkt in alle gevallen bij een afstand van circa 100 meter al tot onder het VR-niveau te zijn gedaald.
- Bij minder sterk verontreinigde bodems, waarbij voornamelijk *hechtgebonden* materialen aanwezig zijn (minder dan 1.000 mg/kg<sub>dw</sub>) en een enkele keer niet-hechtgebonden producten (minder dan 100 mg/kg<sub>dw</sub>), werden in geen van de gevallen, ook niet bij activiteiten zoals graven, storten en zeven, asbestvezels in de lucht aangetroffen (Fig. 2.2).
- Uit deze gegevens mogen slechts globale conclusies worden getrokken, aangezien vaak de meetomstandigheden en de bodemgehalten niet precies bekend zijn. Daarnaast bleken veel van de analyses te zijn uitgevoerd met fase-contrastmicroscopie met een bepalingsondergrens van 10.000 vezels/m<sup>3</sup>. Ook zijn de locaties en partijen tijdens de bodemactiviteiten vaak vochtig gehouden om vezelemissie tegen te gaan.

Voor de vaststelling van goed onderbouwde risicogrenzen voor alle vormen van asbest in iedere situatie zijn de meetresultaten uit de praktijkmetingen een te smalle basis. Wel zijn er globale conclusies te trekken. In Fig. 4.1 zijn de 85 metingen waarin asbest is aangetroffen in één grafiek verwerkt, de meerderheid van de metingen, waarbij geen asbest in de lucht werd

aangetroffen, zijn hierin niet opgenomen. De metingen zijn zowel gebaseerd op simulatiemetingen als op metingen uit de praktijk, allen met verontreiniging met *niet-hechtgebonden* asbest. Alle simulatiemetingen en de meeste praktijkmetingen zijn uitgevoerd onder *worst case* omstandigheden: droge bodem (of droog bodemmateriaal), droge (weers)omstandigheden, veel activiteit en losgebonden asbest. Uit de figuur is het volgende te concluderen:

- Onder de 10 mg/kg<sub>dw</sub> is (op één *worst case* simulatiemeting met een concentratie rondom het VR-niveau na) géén asbest in de lucht gemeten.
- In het bereik tussen de 10 en 100 mg/kg<sub>dw</sub> wordt voor de asbestconcentratie in de lucht voor de praktijkmetingen geen en voor de *worst case* simulatiemetingen nauwelijks een (tijdelijke) overschrijding van het VR-niveau geconstateerd.
- In het bereik tussen de 100 en 10.000 mg/kg<sub>dw</sub> is voor de asbestconcentratie in de lucht een (tijdelijke) overschrijding het VR-niveau, en in zelfs van het MTR-niveau, mogelijk. Op dit moment zijn echter nog onvoldoende meetgegevens beschikbaar om verdergaande conclusies te kunnen trekken.
- Boven de 10.000 mg/kg<sub>dw</sub> is voor de asbestconcentratie in de lucht een (tijdelijke) overschrijding het VR-niveau waarschijnlijk en is de kans aanzienlijk dat de asbestconcentratie in de lucht ook het MTR-niveau overschrijdt.



**Figuur 4.1:** Asbestvezelconcentratie (in vezels met lengte  $> 5\mu\text{m}$ , per  $\text{m}^3$  lucht) voor alle metingen waarbij asbest in de lucht werd gemeten, als functie van het gehalte aan niet-hechtgebonden asbest, in mg asbest per kg bodem- en of puinmateriaal.

[Gebaseerd op 85 metingen bij diverse activiteiten met niet-hechtgebonden asbest en onder verschillende meetomstandigheden met een positief meetresultaat (zogenaamde worst case metingen). De metingen zijn opgesplitst in simulatiemetingen (in rood weergegeven) en praktijkmetingen (in blauw weergegeven). De asbestvezelconcentraties zijn gemiddelde waarden gebaseerd op meerdere meetwaarden. De balkjes geven het 95%-betrouwbaarheidsinterval aan van de concentratieniveaus. Het VR- en MTR-niveau zijn gebaseerd op 1.000, respectievelijk 100.000 vezelequivalenten per  $\text{m}^3$ . Uitgedrukt in vezels/ $\text{m}^3$  komt dit overeen met 100 (amfibole) - 1.000 (chrysotiel) vezels/ $\text{m}^3$ , respectievelijk 10.000 (amfibole) - 100.000 (chrysotiel) vezels/ $\text{m}^3$ ]



Op basis van de trends uit de meetresultaten kan een kwalitatieve inschatting worden gemaakt van de te verwachten asbestvezelconcentratie in de lucht, bij verschillende klassen voor wat betreft de asbestconcentratie in de bodem, met en zonder activiteit in en op de bodem (Tab. 4.1).

*Tabel 4.1. Kwalitatieve inschatting van asbestvezelconcentratie in de lucht, als functie van asbestconcentratie in de bodem, met en zonder activiteit in en op de bodem. [Gebaseerd op simulatiemetingen en meetgegevens uit de praktijk (waarden tussen haakjes zijn globaal, want zijn nog onvoldoende betrouwbaar, d.w.z. onvoldoende of geen meetgegevens beschikbaar)]*

| Asbestconcentratie<br>(mg/kg <sub>dw</sub> ) | Geen<br>Activiteit <sup>1)</sup> | Activiteit <sup>2)</sup> | Geen<br>Activiteit <sup>1)</sup> | Activiteit <sup>2)</sup> |
|--|----------------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|
|  | <b>Hechtgebonden</b>             |                          | <b>Niet-hechtgebonden</b>        |                          |
| < 5  | -                                | -                        | -                                | -                        |
| 5 – 100                                      | -                                | -                        | (-)                              | (+/-, +)                 |
| 100 – 1.000                                  | -                                | (+/-)                    | (+/-)                            | (+,++)                   |
| > 1.000                                      | (+/-)                            | (+,++)                   | (+,++)                           | ++                       |

1) geen activiteit: bij open opslag/toepassingen zonder bewerkingen aan het materiaal.

2) activiteit: bij bewerkingen aan het materiaal, zoals breken, berijden, storten, graven en zeven, inclusief monsterneming bij veldonderzoek en sanerings- en reinigingswerkzaamheden;

- geen emissie van vezels, asbestvezelconcentratie in de lucht op het achtergrondniveau;

+/- asbestvezelconcentratie in de lucht onder het VR-niveau;

+ asbestvezelconcentratie in de lucht tussen het VR- en MTR-niveau;

++ asbestvezelconcentratie in de lucht boven het MTR-niveau;



## 5. Discussie

In het algemeen is de betrouwbaarheid van de met CSOIL berekende blootstelling beperkt (*Vissenberg en Swartjes, 1996*). De betrouwbaarheid van de berekening van de blootstelling aan geïnhaleerde asbestvezels met het blootstellingsmodel CSOIL is zeer zeker beperkt. Derhalve moet ter discussie worden gesteld of de standaardprocedure, zoals toegepast voor de andere contaminanten waarvoor interventiewaarden zijn afgeleid, kan worden gehanteerd. Als alternatief bestaat de mogelijkheid gebruik te maken van meetresultaten uit de praktijk. Dit zou een aanpassing zijn van de op dit moment gestandaardiseerde methode. In dit hoofdstuk wordt een analyse gegeven van de mogelijkheid om het humane risico van bodemverontreiniging met asbest te bepalen op basis van enerzijds berekening en anderzijds meetresultaten, voor zowel het afleiden van een interventiewaarde (potentiële risico's) als voor het bepalen van de locatie-specifieke humane risico's.

### 5.1 Bepaling humane risico op basis van berekening

Berekening van de concentratie aan asbestvezels in de lucht met behulp van het blootstellingsmodel CSOIL kent de volgende problemen:

- In het eerste gedeelte van CSOIL wordt de verdeling van de contaminant over de mobiele bodemcompartimenten berekend. Hierbij is voor asbest alleen de verdeling over de vaste fase en (bodem)lucht van belang. In tegenstelling tot de andere contaminanten waarvoor een interventiewaarde bestaat, bindt het mineraal asbest zich niet via de “klassieke” adsorptieprocessen aan de bodemdeeltjes, gaat nauwelijks chemische reactie aan met contaminanten in de bodem en wordt niet of nauwelijks (biologisch) afgebroken. In feite zijn asbestvezels in de bodem in potentie in een mobiele fase aanwezig, die door activiteit in en op de bodem en/of opwaaiing in de lucht kunnen komen. Om deze redenen is het eerste gedeelte van het CSOIL model, waarin de verdeling van de contaminant over de mobiele bodemcompartimenten wordt berekend, niet van toepassing op de berekening van de blootstelling aan asbest. Dit geldt voor zowel *de berekening van een interventiewaarde*, als voor *gebruik van CSOIL voor de berekening van de locatie-specifieke humane blootstelling*.
- De berekening van de verdeling van asbestvezels uit *hechtgebonden* asbest over de mobiele (lucht) en minder mobiele fasen van de bodem is nog moeilijker, aangezien de vezels eerst los van de matrix moeten komen (primaire emissie), voordat ze überhaupt in de mobiele fase (de lucht) kunnen komen (secundaire emissie). Moeilijk te kwantificeren processen als de overgang van hechtgebonden asbest naar losse asbestvezels spelen ook een rol bij een aantal immobiele andere contaminanten. In het geval dat er bijvoorbeeld puin in een bodem aanwezig is, moet deze vaak ook eerst door fysisch-chemische processen of menselijke activiteit worden “bewerkt”, voordat de daarin aanwezige metalen beschikbaar zijn om bijvoorbeeld, in metallische of gecomplexeerde vorm, te worden opgenomen door voedingsgewassen. Een soortgelijke theorie geldt voor het beschikbaar komen van PAKs uit pek-deeltjes. In geen van deze gevallen is het desintegratieproces van de matrices waarin de contaminanten zich bevinden in het CSOIL model gekwantificeerd. Aangezien voor deze contaminanten wel interventiewaarden geformaliseerd zijn, mag deze beperking alleen voor asbest geen reden zijn om te besluiten geen op een CSOIL-berekening gebaseerde interventiewaarde op te nemen.
- Voor de enige blootstellingsroute die is beschouwd voor de afleiding van de HUM-TOX EBVC en de ad hoc interventiewaarde, inhalatie van in de lucht aanwezige asbestvezels,

is uitgegaan van een constante hoeveelheid asbestvezels in de lucht. Deze is afgeleid van de totale hoeveelheid deeltjes gemeten in de lucht en de aanname dat hiervan de helft van de bodem afkomstig is. Meer dan de andere berekende parameters in het CSOIL model wordt de waarde van de hoeveelheid asbestvezels in de lucht echter sterk bepaald door locale omstandigheden en zal deze hoeveelheid in de praktijk sterk fluctueren in tijd en ruimte. Deze locale omstandigheden zijn moeilijk te kwantificeren en niet in het CSOIL model opgenomen. De asbestvezelconcentratie in de buitenlucht, bijvoorbeeld, hangt in sterke mate af van het uitgangsmateriaal (type en vorm asbestvezel en materiaal waarin deze is verwerkt), de activiteit op de locatie, de vochtigheid van de bodem en de weersgesteldheid (*Tromp, 2002*). De hoeveelheid asbestvezels in de binnenlucht zal met name worden bepaald door het “binnenlopen” van asbestdeeltjes van een verontreinigde locatie naar het binnenmilieu (via schoeisel en in mindere mate kleding), de omstandigheden binnenshuis en, in mindere mate, door de hoeveelheid asbestvezels in de buitenlucht. Om deze redenen is het moeilijk om locatie-specifiek de hoeveelheid (asbest)deeltjes in de buiten- en binnenlucht te berekenen.

Grote variatie van de hoeveelheid asbestvezels in de lucht in tijd en ruimte, al dan niet ten gevolge van activiteit op de locatie en van de bodem- en weersomstandigheden, hoeft voor de berekening van de interventiewaarde niet per definitie een probleem te zijn, indien de verdeling van de hoeveelheid asbestvezels in de lucht, of tenminste het gemiddelde (of mediaan) van de waarde, bekend is. Onder het niveau van de HUM-TOX EBVC, immers, dient de gemiddelde mens beschermd te zijn. En voor de berekening van de gemiddelde blootstelling is het gemiddelde (of de mediaan) van de concentratie van de asbestvezelconcentratie in de lucht een verdedigbaar uitgangspunt. De vraag is echter in hoeverre de gemiddelde hoeveelheid asbestvezels in de lucht inderdaad gelijk is aan de hoeveelheid gesuspendeerde deeltjes in de lucht, zoals in het CSOIL model standaard wordt gehanteerd (zie Hfdst. 3.4). In Hfdst. 2.3.2 werd geconcludeerd dat op grond van de relatief geringe aërodynamische diameter de hoeveelheid asbestvezels in de lucht wel eens geringer zou kunnen zijn dan de hoeveelheid stof-/ bodemdeeltjes in de lucht.

- Buiten het aantal asbestvezels in de lucht is ook de vorm en afmeting van de asbestvezels van belang: de meest schadelijke fractie betreft de chrysotiel- en amfibool vezels met een lengte groter dan 5 µm en een diameter kleiner dan 3 µm (met name vezels met een diameter van 0,1 – 0,2 µm zijn gevaarlijk, zie Bijl. 3). In feite is dit fenomeen vergelijkbaar met de relatie tussen beschikbaarheid van andere contaminanten en de vorm waarin deze contaminant aanwezig is: ook voor bijvoorbeeld PAKs en zeker voor metalen is het humane risico sterk afhankelijk van de speciatie waarin deze in de bodem voorkomen. Voor deze contaminanten wordt de beschikbaarheid op beperkte wijze verdisconteerd door middel van de bodemtypecorrectie. Deze bodemtypecorrectie corrigeert de te gebruiken interventiewaarde voor wat betreft de beschikbaarheid op basis van het organische stofgehalte (organische contaminanten) en tevens op basis van het lutumgehalte (metalen). Voor asbest is een dergelijke correctie voor wat betreft de vezeldimensies niet mogelijk, zeker niet op basis van de bodemeigenschappen, aangezien de vezelvorm en -afmeting voornamelijk door het uitgangsmateriaal, activiteit op de locatie en erosie en verwerking van het uitgangsmateriaal (onder invloed van vocht en weersinvloeden) worden bepaald. De invloed van de vezeldimensie op het humane risico, welke niet in het CSOIL model wordt verdisconteerd, betekent een beperking van de betekenis van het berekende locatie-specifieke humane risico en van de HUM-TOX EBVC (de interventiewaarde).

Wel is het lutum- en humusgehalte van belang voor de mate van emissie van asbestvezels naar de lucht. Waarschijnlijk is de invloed van deze parameters echter veel geringer dan deze is voor de fysisch-chemische adsorptie van de overige contaminanten. Bovendien is de kwantitatieve relatie tussen lutum- en humusgehalte en asbestemissie niet bekend.

- In de berekening wordt met een constante hoeveelheid deeltjes in de lucht gerekend, terwijl bij asbest veelal een kortdurende verhoging in de lucht is, bijvoorbeeld na activiteiten als breken of berijden. Dit betekent een beperking van de betekenis van *het berekende locatie-specifieke humane risico en van de HUM-TOX EBVC (de interventiewaarde)*.

Het wordt aanbevolen om in de toekomst de relatie tussen de volgende factoren en de emissie van asbestvezels naar de lucht in de toekomst nader te onderzoeken:

- bodemtype;
- bodemkarakteristieken (lutum- en organische stofgehalte);
- type vegetatie;
- weerskarakteristieken;
- mate van activiteit in en op de bodem.

Het streven hierbij zal in eerste instantie gericht zijn op een kwalitatieve omschrijving van de invloed van deze factoren op de emissie. Of een kwantitatieve beschrijving mogelijk is, is vooralsnog twijfelachtig. Eventueel kan de haalbaarheid van het afleiden van kwalitatieve en kwantitatieve relaties in eerste instantie in een haalbaarheidsstudie worden onderzocht.

## 5.2 Bepaling humane risico's op basis van meetresultaten

Een HUM-TOX EBVC wordt traditioneel afgeleid door berekening van de blootstelling met het CSOIL model en kan niet expliciet uit meetresultaten uit de praktijk worden bepaald. Wel kan de relatie tussen de concentratie aan asbest in de bodem en die in de lucht op basis van deze meetresultaten worden geëvalueerd. Hieruit kan niet expliciet een risicogrens worden afgeleid voor de concentratie aan asbest in de bodem, waaronder geen onacceptabele hoeveelheid in de lucht voor zal komen. Wel kan op deze wijze een soort NOEC (*No Observed Effect Concentration*) worden afgeleid, dat wil zeggen de hoogst gemeten bodemconcentratie waarbij een specifiek risico-niveau in de lucht niet overschreden wordt, die als ondergrens voor een HUM-TOX EBVC kan dienen. NOECs liggen ten grondslag aan de afleiding van de ECOTOX EBVC (de ecotoxicologische Ernstige BodemVerontreinigingsConcentratie, oftewel de ecologische bouwsteen voor de interventiewaarde). In die zin is dit uitgangspunt niet geheel nieuw bij de beoordeling van bodemverontreiniging. Voor de afleiding van de ECOTOX EBVC wordt echter statistische interpretatie van de NOECs voor verschillende organismen toegepast (*Aldenberg et al., 2002*). Een dergelijke elegante procedure is voor de empirisch bepaalde concentraties voor asbest in de bodem en de lucht niet mogelijk.

De interventiewaarde, zoals opgenomen in het *Interimbeleid asbest in bodem, grond en puin(granulaat)*, is te beschouwen als een NOEC en kan derhalve worden beschouwd als een ondergrens voor een HUM-TOX EBVC. De waarde voldoet aan de HUM-TOX EBVC in die zin dat indien deze concentratie niet overschreden wordt het risico acceptabel is. Een verschil met de betekenis van de HUM-TOX EBVC is echter dat op het niveau van de HUM-TOX EBVC de blootstelling niet per definitie gelijk aan, maar tenminste lager dan het betreffende risico-niveau. Derhalve wordt aanbevolen in de toekomst aanvullende praktijkmetingen uit te voeren.

In de huidige methodiek voor beoordeling van bodemverontreiniging speelt meting een rol bij de bepaling van de op locatie-specifieke risico's gebaseerde SaneringsUrgentieSystematiek (SUS). In SUS wordt aangeraden gebruik te maken van metingen in de contactmedia, met name in binnenlucht en voedingsgewassen. Daarnaast is tevens een optie voor berekening van de concentratie in de contactmedia gegeven. Een locatie-specifieke beoordeling van het

humane risico alleen baseren op een berekening is alleen acceptabel indien hieruit een zeer duidelijk oordeel voortkomt (absoluut wel, of absoluut geen risico). In geval dat deze uitspraak minder duidelijk is, zijn aanvullende metingen, indien mogelijk, van groot belang. Momenteel is er geen gestandaardiseerde methode beschikbaar om de concentratie in binnenlucht of in voedingsgewassen door meting te bepalen.

Ook voor wat betreft de locatie-specifieke risico's van asbest kan niet dezelfde lijn worden gevolgd als voor de andere contaminanten, aangezien er geen betrouwbare rekenmethode beschikbaar is om locatie-specifiek de concentratie aan asbestvezels in de lucht te kunnen berekenen. Derhalve resteert alleen de optie voor meting. Hiertoe wordt in deze rapportage een methode voorgesteld (zie Hfdst. 6.3).

## 6. Beoordeling van asbest in de bodem

In dit hoofdstuk wordt een voorstel gedaan voor een procedure om een bodemverontreiniging met asbest te kunnen beoordelen.

### 6.1 Bepaling asbestconcentratie in de bodem

Bij een verdenking op asbest dient een bodemonderzoek plaats te vinden conform de NEN 5707 “Bodem - Inspectie, monsterneming en analyse van asbest in de bodem en partijen grond”<sup>15</sup>. De norm beschrijft een methode voor de bepaling van het gehalte aan asbest in de bodem en partijen grond. Alle facetten van het onderzoek worden in deze norm behandeld: onderzoeksstrategie, inspectie, monsterneming en analyse. De onderzoeksmethode is opgedeeld in drie fasen, die als volgt zijn gedefinieerd:

1. een vooronderzoek asbest (aansluitend op de NVN 5725: vooronderzoek);
2. een verkennend onderzoek asbest (aansluitend op de NEN 5740: verkennend onderzoek);
3. een nader onderzoek asbest.

Voor de beoordeling van asbest in de bodem is het van belang om op basis van de NEN 5707 een overzicht te krijgen van de onderstaande gegevens:

- De lokale situatie: de aanwezigheid van nabij gelegen woningen, de toegankelijkheid van de locatie of het gebied voor derden.
- Het vroegere en huidige bodemgebruik/ bestemming van de locatie of het gebied. Tevens is hierbij het bodemgebruik van de directe omgeving van belang.
- De mogelijke oorzaken van de verontreiniging: de verontreinigingsbron en de wijze waarop de verontreiniging in de bodem terecht is gekomen.
- De plaatsen/ gebieden waar de bodem is begroeid, bebouwd of afgedekt, inclusief type vegetatie (gras, struiken, bomen) en type afdekking (zand, grind, tegels, beton, asfalt).
- De ruimtelijke verdeling (verspreidingspatroon): de omvang en plaats(en) van vóórkomen van de verontreiniging; de diepte (bodemplaat) waarin de asbestverontreiniging voorkomt.
- De aard van de verontreiniging: de typen asbesthoudend materiaal, de soorten asbest (chrysotiel, amosiet, crocidoliet en eventuele andere soorten), het gehalte aan asbest in de aangetroffen asbesthoudende materialen; de mate van hechtgebondenheid en verweringsgraad van de aangetroffen materialen.
- De verontreinigingsgraad: het gehalte aan (visueel detecteerbaar) asbest op en nabij het maaiveld per (deel)locatie, de concentratie per zeeffractie, de concentratie chrysotiel asbest en amfibool asbest, de concentratie hechtgebonden asbest en niet-hechtgebonden asbest, de concentratie respirabele asbestvezels (vezels met een lengte kleiner dan 200 µm) en de totale concentratie asbest.

### 6.2 Ernstige bodemverontreiniging

Aangezien voor asbest geen ecologische risico's bestaan is het niet zinvol een ECOTOX EBVC (de ecotoxicologische Ernstige BodemVerontreinigingsConcentratie) af te leiden. Bij niet overschrijden van een HUM-TOX EBVC (de humaan-toxicologische Ernstige BodemVerontreinigingsConcentratie) wordt automatisch voldaan aan de eis dat de functionele eigenschappen die de bodem heeft voor plant of dier niet ernstig worden verminderd.

---

<sup>15</sup> Zie voor een overzicht van de in deze rapportage genoemde (concept) NEN-normen Bijlage 2.

Zoals beargumenteerd in Hfdst. 5.1 is de standaard procedure voor de afleiding van de HUM-TOX EBVC, op basis van een berekening met het blootstellingsmodel CSOIL niet zonder meer op asbest van toepassing. Op basis van de beschikbare meetgegevens uit de praktijk kan ook niet expliciet een humane risicogrens worden afgeleid. Op basis van de meetresultaten van de concentratie asbest in de bodem en in de lucht kan wel een ondergrens (een soort NOEC, oftewel een *No Observed Effect Concentration*) voor een dergelijke risicogrens in bodem worden bepaald, waarbij onder gespecificeerde condities een bepaald risiconiveau in de lucht niet overschreden zal worden.

### 6.2.1 Niet-hechtgebonden asbest

Voor *niet-hechtgebonden* asbest is de interventiewaarde van 100 mg/kg<sub>dw</sub> voor de optelsom van de concentratie chrysotiel asbest (ook serpentijn asbest of witte asbest) en tien maal de concentratie amfibool asbest (overige asbestsoorten), zoals opgenomen in het interimbeleid (VROM, 2002), een geschikte waarde voor de “standaard” Nederlandse omstandigheden en het VR-niveau als toelaatbaar risiconiveau. Onder “standaard” Nederlandse omstandigheden wordt hierbij een situatie verstaan, waarbij niet systematisch sprake is van activiteiten als graven, storten en zeven van bodemmateriaal en de (toplaag van de) bodem het grootste gedeelte van het jaar vochtig is. De praktijkmetingen wijzen uit dat het onder deze omstandigheden hoogst onwaarschijnlijk is dat het VR-niveau in de lucht ooit overschreden zal worden. Zelfs in die gevallen waarin wel sprake is van dergelijke activiteiten en de bodem droog zal zijn, is het onwaarschijnlijk dat het MTR-niveau in de lucht overschreden zal worden. En als deze activiteiten plaatsvinden, zal dat in de regel kortdurend zijn en zal alleen in de directe omgeving sprake zijn van een tijdelijke verhoging van de asbestvezelconcentratie in de lucht. Bovendien zal een droge bodem onder de Nederlandse omstandigheden niet lang droog blijven.

Het zou ter discussie gesteld kunnen worden of de risico's bij een asbestconcentratie in de bodem tussen 100 en 10.000 mg/kg<sub>dw</sub> eveneens acceptabel zouden zijn onder de “standaard” Nederlandse omstandigheden. Op VR-niveau is er op dit moment onvoldoende bewijs dat bij een concentratie aan niet-hechtgebonden asbest in de bodem van boven de 100 mg/kg<sub>dw</sub> (optelsom van de concentratie chrysotiel asbest en tien maal de concentratie amfibool asbest) dit niveau niet regelmatig overschreden wordt. In het buitenmilieu zal bij een concentratie tussen 100 en 10.000 mg/kg<sub>dw</sub> (optelsom van de concentratie chrysotiel asbest en tien maal de concentratie amfibool asbest) het VR-niveau in de lucht hoogstwaarschijnlijk niet gauw worden overschreden. Het aantal meetresultaten en kwaliteit van de experimenten waarop deze conclusie gebaseerd is, is echter te gering om op dit moment een aan het VR-niveau gerelateerde concentratie in de bodem tussen 100 en 10.000 mg/kg<sub>dw</sub> af te kunnen leiden. Bovendien is het onzeker of bij dergelijke hoge concentraties er niet een onacceptabel risico in het binnenmilieu ontstaat ten gevolge van binnenlopen van asbestdeeltjes van een verontreinigde locatie naar het binnenmilieu (via schoeisel en in mindere mate kleding) op de blootstelling binnenshuis en daaropvolgende verhoogde concentraties in de binnenlucht.

De berekende HUM-TOX EBVC, die weliswaar niet zeer betrouwbaar wordt geacht (Hfdst. 5.1) is 100 – 2.000 mg/kg<sub>dw</sub>. Deze waarde is gebaseerd op het MTR-niveau en niet zoals de interventiewaarde, zoals geformuleerd in het interimbeleid, op het VR-niveau. Op het VR-niveau zou deze HUM-TOX EBVC een factor 100 lager uitkomen, dat wil zeggen op 1 – 20 mg/kg<sub>dw</sub> en dus ongeveer een factor 10 strenger dan de waarde afgeleid van meetgegevens uit de praktijk. Dit zou mede te maken kunnen hebben met de overschatting aan asbestvezels in de lucht in de CSOIL-berekening, door deze te baseren op het aantal gewone deeltjes in de lucht.



## 6.2.2 Hechtgebonden asbest

Voor hechtgebonden asbest is het moeilijk om te bepalen wanneer hechtgebonden asbest ten gevolge van menselijke activiteit en/of verwerking over zal gaan in minder hechtgebonden of niet-hechtgebonden asbest. Aangezien voor deze bepaling aanvullende informatie nodig is, wordt voorgesteld deze nuancering een rol te geven in de fase van de bepaling van de locatie-specifieke risico's. Hierbij wordt in feite aangesloten bij de beoordeling van andere contaminanten, waarbij in het kader van de bepaling van de locatie-specifieke risico's geconcludeerd kan worden dat de beschikbaarheid van een contaminant, en daarmee het risico, beperkt is. Een voorbeeld hiervan is een situatie waarin metalen slecht beschikbaar zijn, omdat ze gebonden zijn aan puindeeltjes, of beperkt beschikbare PAKs in pek-deeltjes. Zowel voor asbest als voor andere contaminanten speelt de tijdsfactor een rol: kunnen de contaminanten beschikbaar komen in de tijdsduur waarvoor de beoordeling geldigheid moet hebben?

Indien in de fase van de bepaling van locatie-specifieke humane risico's, op basis van bovenstaande nuancering, geconcludeerd kan worden dat er sprake is van (duurzaam) hechtgebonden asbest wordt voorgesteld om een risicogrens van 1.000 mg/kg<sub>dw</sub> te hanteren voor de optelsom van de concentratie chrysotiel asbest en tien maal de concentratie amfibool asbest (overige asbestsoorten). De onderstaande onderbouwing ligt daaraan ten grondslag:

- Voor hechtgebonden asbest zal vrijwel nooit een ten opzichte van de achtergrondconcentratie verhoogde hoeveelheid asbestvezels in de lucht komen. Voor hechtgebonden asbest is voornamelijk een indirect risico aanwezig, aangezien pas bij het daadwerkelijk breken, beschadigen of verwerken een vezelemissie kan optreden. Aangezien bij zogenaamde "standaard" Nederlandse omstandigheden niet systematisch sprake is van activiteiten als graven, storten en zeven zal het locatie-specifieke risico op dit concentratieniveau verwaarloosbaar zijn.
- Uit praktijkmetingen blijkt dat voor hechtgebonden asbest zelfs bij het graven, storten en zeven onder velddroge omstandigheden de asbestvezelconcentratie in de lucht vrijwel altijd onder het VR-niveau blijft. Alleen onder extreme omstandigheden als puinbreken kan bij zeer hoge concentraties (groter dan 10.000 mg/kg<sub>dw</sub> asbest) een verhoogde asbestvezelconcentratie in de lucht worden vastgesteld.
- De fractie aan respirabele vezels (lengte minder dan 200 µm) in de bodem is bij een verontreiniging met alleen hechtgebonden asbest zeer gering (< 0,1%) (gebaseerd op diverse analyses uitgevoerd door TNO-MEP), zodat resuspensie geen significant verhoogde vezelemissie tot gevolg heeft.
- De indirecte blootstelling als gevolg van het "binnenlopen" en inwaaien van restanten asbesthoudend materiaal is voor hechtgebonden asbest minimaal. De verontreiniging komt voornamelijk voor als visueel zichtbare stukken, met een diameter > 2 cm, met zeer weinig fijne deeltjes die onder het schoeisel terecht kunnen komen, aan kleding hecht, of kunnen inwaaien.
- De onderbouwing van de experimenten is onvoldoende om te kunnen garanderen dat bij een concentratie hoger dan 100 mg/kg<sub>dw</sub> hechtgebonden asbest niet langdurig een concentratie in de lucht boven het VR-niveau op zal treden. Daarom wordt voor de toekomst aanbevolen aanvullende praktijkmetingen uit te voeren, om met name de vezelemissie in het concentratiebereik 100 en 10.000 mg/kg<sub>dw</sub> nader te onderzoeken.

### 6.2.3 Respirabele vezels

Voor het bepalen van de locatie-specifieke humane risico's, onafhankelijk van het bodemgebruik, is het aandeel aan respirabele asbestvezels in de bodem (met een diameter kleiner dan 3  $\mu\text{m}$  en een lengte kleiner dan 200  $\mu\text{m}$ ) van belang. Deze vezels zijn direct inadembaar en kunnen reeds onder "standaard" Nederlandse omstandigheden vrijkomen (situatie waarbij niet systematisch sprake is van activiteiten als graven, storten en zeven van bodemmateriaal en de (toplaag van de) bodem het grootste gedeelte van het jaar vochtig is). Voor de concentratie aan respirabele vezels in de bodem wordt een drempelwaarde van  $4,3 \cdot 10^{10}$  vezelequivalenten/kg<sub>dw</sub> voorgesteld. Dit komt qua ordegrrootte overeen met een risicogrens van 10 mg/kg<sub>dw</sub> aan respirabele vezels voor de optelsom van de concentratie chrysotiel asbest en tien maal de concentratie amfibool asbest (overige asbestsoorten). De onderstaande onderbouwing ligt daaraan ten grondslag:

Bij de totstandkoming van een drempelwaarde voor respirabel asbest in de bodem wordt uitgegaan van dezelfde berekening als de HUM-TOX EBVC (Hfdst. 3.5). Deze waarde wordt voor afleiding van de HUM-TOX EBVC weliswaar als niet betrouwbaar geacht (Hfdst. 5.1), maar kan ons inziens wel worden gebruikt voor afleiding van de drempelwaarde voor respirabel asbest. Enerzijds speelt bij respirabel asbest de beschikbaarheid (het uitgangsmateriaal) geen rol meer, namelijk respirabel asbest is 100% beschikbaar. Anderzijds is de asbestvezelconcentratie in de lucht ook minder afhankelijk van locatie-specifieke activiteiten, aangezien respirabele asbestvezels al door geringe activiteiten en luchtstromingen aan de lucht vrij kunnen komen. Met andere woorden de in het CSOIL model gemaakte aannamen zijn meer in overeenstemming met de afleiding van een drempelwaarde voor respirabel asbest als voor de afleiding van een HUM-TOX EBVC. De met CSOIL berekende HUM-TOX EBVC is gerelateerd aan het MTR-niveau van 100.000 vezelequivalenten per m<sup>3</sup> lucht (jaargemiddelde). In de bodem komt dit neer op een gehalte van  $4,3 \cdot 10^{12}$  vezelequivalenten per kg grond. Omrekening naar een massaconcentratie geeft een HUM-TOX EBVC van 100 – 2.000 mg/kg<sub>dw</sub>. De drempelwaarde voor respirabele asbestvezels in de bodem dient gerelateerd te zijn aan het VR-niveau van 1.000 vezelequivalenten per m<sup>3</sup> lucht (jaargemiddelde), aangezien alle respirabele asbestvezels in de bodem in principe beschikbaar zijn. In de bodem komt dit neer op een gehalte van  $4,3 \cdot 10^{10}$  vezelequivalenten per kg grond. Omrekening naar een massaconcentratie geeft een drempelwaarde van 1 – 20 mg/kg<sub>dw</sub>.

Bij de omrekening van vezelconcentratie naar massaconcentratie is gebruik gemaakt van een omrekeningsfactor van 2.000 – 40.000 vezels per ng asbest (*Slooff en Blokzijl, 1987*). Wanneer dezelfde omrekening wordt gemaakt op basis van de door TNO-MEP geanalyseerde bodemonsters in de afgelopen tien jaar blijkt dat de omrekening van een vezelconcentratie van  $4,3 \cdot 10^{10}$  veq/kg<sub>dw</sub> naar een massaconcentratie altijd hogere concentraties oplevert dan 10 mg/kg<sub>dw</sub>. In de *worst case* simulatieproeven in het kader van het SKB-project (*Tromp, 2002*) is als uitgangsmateriaal zeer losgebonden asbest gebruikt met een respirabele fractie van circa 5%. Bij vertaling van de respirabele asbestvezelconcentratie in de bodem naar het VR-niveau in de lucht, komt dit overeen met circa 2,5 mg/kg<sub>dw</sub>. Wanneer hetzelfde materiaal zou worden gebruikt bij proeven onder praktijkomstandigheden zou pas bij een 10 maal hogere concentratie in de bodem het VR-niveau in de lucht worden overschreden: 25 mg/kg<sub>dw</sub>. Dit blijkt onder andere uit Figuur 4.1 waar de resultaten van laboratoriumsimulaties minstens een factor 10 maal hoger uitvallen dan de resultaten onder praktijkomstandigheden.

## 6.2.4 Interventiewaarde

Resumerend wordt voorgesteld de interventiewaarde gehanteerd in het interimbeleid, 100 mg/kg<sub>dw</sub> voor de optelsom van de concentratie chrysotiel asbest (ook serpentijn asbest of witte asbest) en tien maal de concentratie amfibool asbest (overige asbestsoorten), als definitieve interventiewaarde te hanteren voor zowel hechtgebonden als niet-hechtgebonden asbest.

Het wordt aanbevolen om in de toekomst nader onderzoek te richten op:

- Het creëren van een *database*, waarin de in de praktijk gemeten data die relevant zijn voor de humane risico's (vezelemmissie) van asbest zijn opgenomen (asbestconcentraties in de bodem en in de lucht, type asbest, conditie van hechtgebonden asbest, bodemtype en -karakteristieken), meetomstandigheden).
- Het uitvoeren van specifieke aanvullende praktijkmetingen, om de humane risico's (vezelemmissie) in het concentratiebereik 100 en 10.000 mg/kg<sub>dw</sub>.
- De duurzaamheid van hechtgebonden asbest.

## 6.2.5 Oppervlaktecriterium

Voor de beoordeling van de ernst van de bodemverontreiniging wordt, behalve een toetsing van de totaalconcentratie, een volumecriterium toegepast: er is sprake van een ernstige bodemverontreiniging indien *in een bodemvolume van tenminste 25 m<sup>3</sup>* de interventiewaarde wordt overschreden. Voor asbest is het risico voor vezels die zich in de bovenste centimeters bevinden echter bepalend. Dit geldt weliswaar in meer of mindere mate eveneens voor de andere genormeerde contaminanten, met name in geval van een dominante bijdrage van de blootstellingsroute grondingestie, maar voor asbest is dit effect veel groter. Asbest dat dieper dan de bovenste centimeters zit, kan niet ten gevolge van transport in de bodem (vervluchting), of opname in plantenwortels naar de bodemoppervlakte worden getransporteerd. De enige mogelijkheid waarbij asbestvezels uit diepere lagen in het bereik van de mens kunnen komen is ten gevolge van menselijke, en in mindere mate dierlijke, activiteit. Aangezien met name de hoeveelheid asbest in de bovenste centimeters van belang is voor het humane risico zou in plaats van een volumecriterium een oppervlaktecriterium overwogen kunnen worden.

Om aan te sluiten bij het protocol voor Nader Onderzoek, waarbij monsternamen in sommige gevallen in een grid van 7 x 7 plaatsvindt, zou een oppervlaktecriterium van 50 m<sup>2</sup> het meest voor de hand liggen. Het volumecriterium is immers gebaseerd op een oppervlak van ongeveer 50 m<sup>2</sup> (49 m<sup>2</sup> om precies te zijn), dit is het oppervlak ingesloten door de vier hoekpunten van een 7 x 7 grid, en een diepte van 0,5 m. Echter kan niet worden uitgesloten dat in geval van niet-hechtgebonden asbest in zeer hoge concentraties over een oppervlakte van minder dan 50 m<sup>2</sup> boven de voorgestelde interventiewaarde een onacceptabel risico voor de mens bestaat. Er is geen criterium, op basis waarvan een zinvol oppervlaktecriterium kan worden berekend. Op basis van expert judgement wordt voorgesteld een waarde van 25 m<sup>2</sup> te hanteren.

## 6.3 Saneringsurgentie

De saneringsurgentie in geval van bodemverontreiniging met asbest wordt bepaald op basis van de locatie-specifieke risico's voor de mens. Voor de bepaling van dit locatie-specifieke risico wordt een berekening met het CSOIL model niet geschikt geacht (zie Hfdst. 5.1).

Derhalve is een richtlijn afgeleid voor de bepaling van het locatie-specifieke risico van met asbest verontreinigde bodem van in de praktijk waargenomen concentraties aan asbest in de lucht en in de bodem en op basis van meetprotocollen.

Zoals vermeld in de inleiding van deze rapportage is dit onderzoek en dus ook deze methodiek, niet van toepassing:

- op de beoordeling van de risico's van andersoortig materiaal, zoals stortmateriaal, verhardingsmateriaal of (wegen)bouwmateriaal;
- als asbest uitsluitend op de bodem aanwezig is, bijvoorbeeld als gevolg van brand of explosie
- voor handelingen met asbesthoudende grond en sediment, waarop de Arbeidsomstandighedenwet van toepassing is.

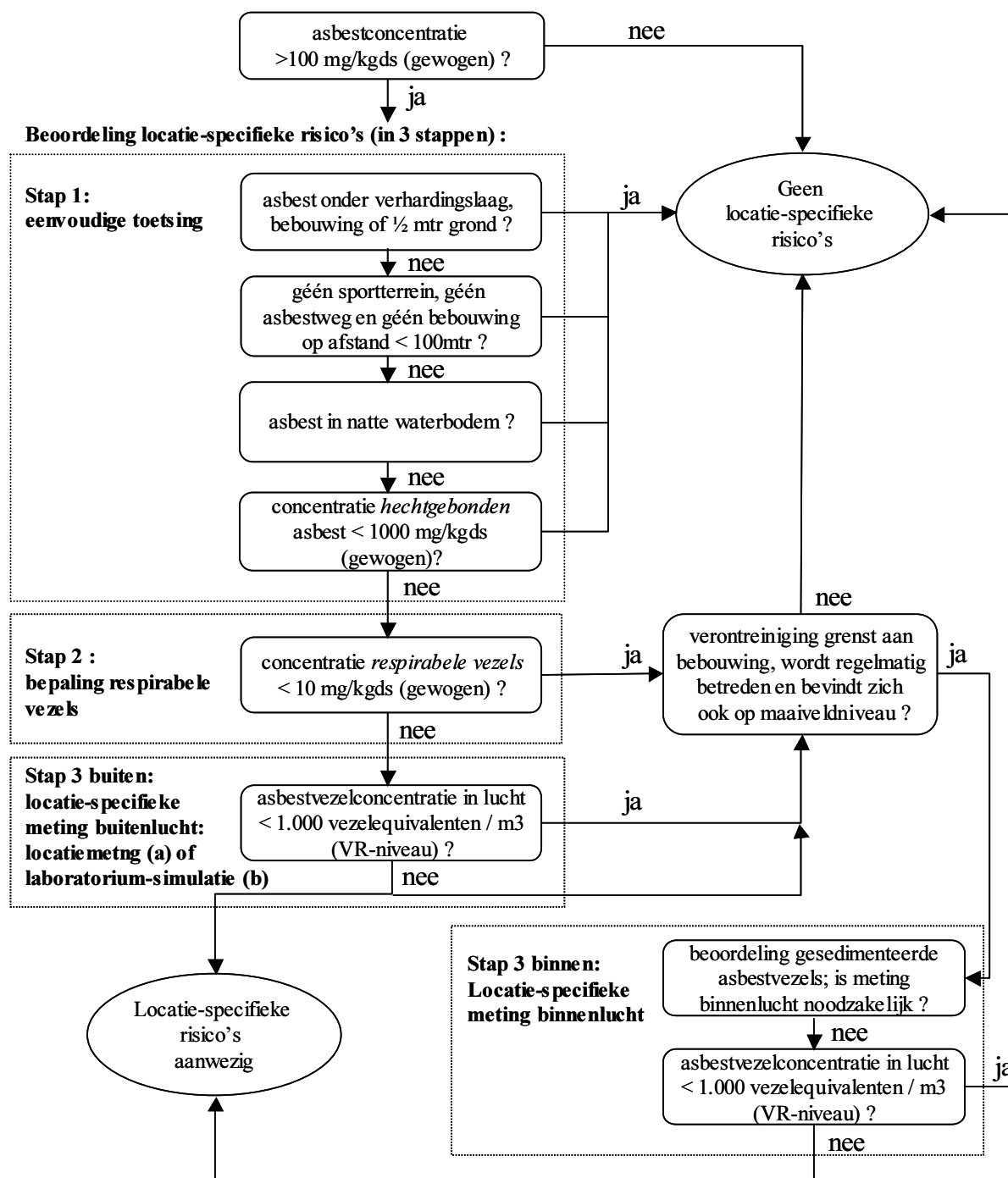
Met betrekking tot dit laatste element, "niet van toepassing op handelingen met asbesthoudende grond en sediment", is het zinvol in deze context te benadrukken dat in het kader van de Wbb de humane risico's gericht zijn op de "gemiddelde" mens onder standaard omstandigheden (niet gericht op gevoelige groepen, of individuen die werken in of met grond).

### 6.3.1 Raamwerk

Het hier voorgestelde raamwerk voor de beoordeling van het locatie-specifieke humane risico van een bodemverontreiniging met asbest is analoog aan de huidige urgentiesystematiek (*Koolenbrander, 1995*). Dat wil zeggen dat de methodiek gefaseerd is opgebouwd, in een drietal stappen (Fig. 6.1).

Ook voor asbest geldt dat er aangenomen wordt dat er sprake is van een locatie-specifiek risico voor de mens, tenzij het tegendeel kan worden aangetoond ("risico, tenzij..."). Hiertoe worden de achtereenvolgende stappen van de procedure doorlopen. In iedere hogere stap neemt de mate van complexiteit en de benodigde inspanning toe. Indien in een specifieke stap niet kan worden aangetoond dat er *geen* sprake is van een locatie-specifiek humaan risico, dient de volgende stap te worden uitgevoerd. Indien in één van de eerste twee stappen niet kan worden weerlegd dat er sprake van een locatie-specifiek risico voor de mens wordt de procedure beëindigd in stap drie. Bij de uitvoering van stap 3 wordt een keuzemogelijkheid geboden tussen een locatie-specifieke buitenluchtmeting en een laboratorium-simulatie meting. Indien secundaire besmetting naar binnenruimten niet kan worden uitgesloten dient tijdens stap 3 tevens te worden gemeten in de binnenlucht. In de volgende paragrafen worden de volgende stappen van de procedure in detail beschreven:

- Stap 1, Eenvoudige toetsing.
- Stap 2, Bepaling respirabele asbestvezels in de bodem.
- Stap 3, Meting van de asbestvezelconcentratie in de buiten- en/of binnenlucht.



Figuur 6.1: Schematische voorstelling stappenplan “beoordeling van het locatie-specifieke humane risico” van bodemverontreiniging met asbest

### 6.3.2 Stap 1: Eenvoudige toetsing

Conform de SaneringsUrgentieSystematiek wordt eerst een eenvoudige toetsing van de locatie-specifieke humane risico's uitgevoerd. Hierbij wordt nagegaan of blootstelling onmogelijk, dan wel zeer onwaarschijnlijk is. Indien dit het geval kan de procedure worden gestaakt en worden geconcludeerd dat er geen sprake is van locatie-specifieke risico's voor de mens ten gevolge van de aanwezigheid van asbest in de bodem. Iedere deellocatie (zoals beschreven in de NEN5707) dient apart te worden beoordeeld. Daarnaast dient voor toetsing aan de risicogrenzen voor hechtgebonden asbest en voor respirabele asbestvezels de meest verontreinigde ruimtelijke eenheid of het meest verontreinigde monsternemingspunt te worden genomen. Voor toetsing dient de concentratie per bodemlaag en de concentratie op en nabij het maaiveld apart meegenomen te worden.

Indien één (of meer) van de volgende situaties optreedt, wordt blootstelling aan asbest onmogelijk of zeer onwaarschijnlijk geacht:

1. De asbestverontreiniging bevindt zich dieper dan 0,5 meter beneden maaiveld en het is niet aannemelijk dat er regelmatig (machinale) grondwerkzaamheden plaats gaan vinden. Indien de asbestverontreiniging zich dieper dan 0,5 meter beneden maaiveld bevindt, kan geen emissie van asbestvezels naar de lucht plaatsvinden, ook niet bij geringe activiteiten als lopen of extensieve graafwerkzaamheden. Wel kan asbest aan de oppervlakte komen, en kunnen daarmee asbestvezels in de lucht komen, indien intensieve, veelal machinale, graafwerkzaamheden worden toegepast. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn op industrieterreinen, waarbij regelmatig grondwerkzaamheden worden uitgevoerd. Indien groter grondverzet plaatsvindt, bijvoorbeeld ten gevolge van huizenbouw, wordt aangenomen dat in dergelijke gevallen sprake is van functieverandering en de saneringsurgentie opnieuw bepaald zal worden.

2. De verontreiniging bevindt zich onder een verhardingslaag van asfalt, beton, tegels, of klinkers met een dikte van minimaal 5-10 cm en het is niet aannemelijk dat er regelmatig (machinale) grondwerkzaamheden plaats gaan vinden, of andere activiteiten waarbij de verhardingslaag gelicht wordt.  
Zie 1.

3. De verontreiniging bevindt zich onder bebouwing en niet in de kruipruimte of bevindt zich wel in de kruipruimte, maar deze is niet toegankelijk.  
Onder deze omstandigheden kan de mens niet in contact komen met asbestvezels.

4. Het terrein betreft geen sportterrein en geen met asbest verharde weg en er is geen bebouwing in een straal van 100 meter.  
Uit de meetresultaten uit de praktijkmetingen blijkt dat zelfs onder extreme omstandigheden (hoge concentraties aan niet-hechtgebonden asbest, veel activiteit en een droge zandgrond) de vezelconcentratie in de lucht op 100 meter afstand vrijwel niet verhoogd is ten opzichte van de achtergrondconcentratie. Zodoende wordt het risico van inademing van asbestvezels in de buitenlucht gering geacht, tenzij er frequent sprake is van sporten (veel activiteit op de bodem die tot asbestemissie kan leiden, gecombineerd met een hoger ademvolume) of van een weg, waar ten gevolge van berijden asbestemissie plaats kan vinden.

Bovendien wordt aangenomen dat ten gevolge van het afleggen van een afstand van tenminste 100 meter geen sprake zal zijn van "binnenlopen" van asbestdeeltjes in een

woning of gebouw, zodat bij afwezigheid van bebouwing in een straal van 100 m ook de risico's voor de mens ten gevolge van inademing binnenshuis nihil zullen zijn.

5. De verontreiniging bevindt zich in een natte (water)bodem.

Indien asbest zich in een natte waterbodem bevindt, kunnen er geen asbestvezels in de lucht terechtkomen en zal derhalve geen inhalatoire blootstelling optreden. Risico's zijn niet uit te sluiten indien sediment op de kant wordt gebracht. Op dat moment is er sprake van landbodem en wordt aangenomen dat in dergelijke gevallen sprake is van functieverandering en de saneringsurgentie opnieuw bepaald zal worden.

Een vergelijkbare beredenering geldt voor natte bodems. Het is echter moeilijk vast te stellen of de (bovenste centimeters van de) bodem continue, gedurende het gehele jaar, nat is. Daarom is deze situatie alleen van toepassing op drassige natuurgebieden, waarvan bekend is dat de (boven-)grond het gehele jaar nabij verzadiging is.

6. De hechtgebonden materialen verkeren niet in verweerde toestand en de optelsom van de concentratie aan *hechtgebonden* chrysotiel asbest (ook serpentijn asbest, of witte asbest) en tien maal de concentratie aan *hechtgebonden* amfibool asbest (overige asbestsoorten) is lager dan 1.000 mg/kg<sub>dw</sub>

De mate van hechtgebondenheid heeft een belangrijke invloed op de vezelemissie en daarmee de op de blootstelling. Uit de meetresultaten uit de praktijkmetingen blijkt dat bij gehalten lager dan 1.000 mg/kg<sub>dw</sub> hechtgebonden asbest, zelfs onder extreme omstandigheden (hoge concentraties aan hechtgebonden asbest, veel activiteit en een droge bodem) de vezelconcentratie in de lucht vrijwel niet verhoogd is ten opzichte van de achtergrondconcentratie.

De mate van verwerking speelt een grote rol bij de bepaling van de hechtgebondenheid. De hechtgebondenheid van de materialen dient te worden bepaald conform de NEN 5707. Aangezien bij toetsing aan de interventiewaarde de hechtgebondenheid geen rol speelt, bestaat het risico dat de bepaling van hechtgebondenheid niet goed is uitgevoerd. In deze éénvoudig toetsing dienen alle typen aangetroffen materialen nogmaals beoordeeld te worden op hechtgebondenheid, waarbij tevens de mate van verwerking dient aan te worden gegeven. De mate van verwerking is subjectief, waardoor interpretatieverschillen kunnen ontstaan. Als handvat kan het volgende criterium worden gehanteerd: wanneer het asbesthoudend materiaal met de hand doormidden kan worden gebroken, is de (cement)matrix van het materiaal dusdanig verweerd dat niet meer kan worden gesproken van (duurzaam) hechtgebonden materiaal. In dit geval dient het materiaal te worden beoordeeld als niet-hechtgebonden. Deze test dient uiteraard te worden uitgevoerd volgens de voorwaarden uit de Arbo-regelgeving. In geval van twijfel dient over te worden gegaan naar uitvoering van de volgende stap (stap 2).

Bij de eenvoudige toetsing wordt vooralsnog geen nadere invulling gegeven aan de volgende locatie-specifieke factoren, waaraan in de toekomst nader onderzoek zou moeten worden besteed:

- Het bodemtype: hiervan is de invloed op de emissie onvoldoende duidelijk.
- De bodemkarakteristieken (lutum- en organische stofgehalte): idem.
- Het type vegetatie: alhoewel emissie van asbestvezels naar de lucht in geval van dichte vegetatie zeer onwaarschijnlijk is, is dit criterium moeilijk te protocoliseren; bovendien kent de vegetatie een sterke seizoensinvloed en is dus geen robuuste parameter.

- Weerskarakteristieken: alhoewel met name de windsnelheid van grote invloed is op de vezelemissie is de invloed hiervan moeilijk te kwantificeren of te protocolliseren. Bovendien zijn de weerskarakteristieken moeilijk te voorspellen.
- De mate van activiteit in en op de bodem (behalve (machinale) grondwerkzaamheden en verhoogde activiteit op sportvelden), zoals bewerken van de bovengrond en berijden van de locatie. Er wordt namelijk van uit gegaan dat dergelijke activiteiten altijd en overal veilig moeten kunnen plaatsvinden.
- De bodemvochtigheid: wanneer de bovenlaag van een landbodem ten alle tijden een vochtigheidsgehalte van tenminste 10 % heeft, kan deze in principe op dezelfde wijze worden beoordeeld als een natte waterbodem. De bodemvochtigheid is echter een in de tijd sterk variërende parameter en in de praktijk zal juist de toplaag op maaiveldniveau snel drogen, zodat het vochtigheidsgehalte snel afneemt. Daarnaast kunnen via het schoeisel met name bij natte bodem makkelijk restanten asbesthoudende materiaal en vezels/vezelbundels naar binnen worden gelopen en voor een indirect blootstellingsrisico zorgen.

Om de invloed van deze factoren op de risico's voor de mens mede in beschouwing te kunnen nemen, moet in de toekomst nader onderzoek worden verricht naar de relatie tussen deze factoren en de emissie van asbestvezels naar de lucht. Het streven hierbij zal in eerste instantie gericht zijn op een kwalitatieve omschrijving van de invloed van deze factoren, of een kwantitatieve beschrijving mogelijk is, is vooralsnog twijfelachtig.

### 6.3.3 Stap 2: Bepaling respirabele asbestvezels in de bodem

Met de bepaling van de concentratie aan respirabele asbestvezels in de bodem wordt een beoordeling gegeven van de locatie-specifieke risico's voor de mens op basis van de beschikbaarheid van deze vezels. Doelstelling is om de te verwachten emissie van asbestvezels vanuit de bodem naar de lucht te kunnen inschatten, onafhankelijk van de daadwerkelijke gebruikssituatie en omgevingsfactoren. Onder respirabele asbestvezels worden die vezels verstaan die beschikbaar zijn voor inademing en in de longen terecht kunnen komen. Aangenomen wordt dat dit de vezelfractie is met een diameter kleiner dan 3 µm en een lengte kleiner dan 200 µm. De bepaling van de concentratie aan respirabele asbestvezels wordt uitgevoerd conform de NEN 5707.

Bepaling van de concentratie aan respirabele asbestvezels conform NEN 5707 verloopt volgens het volgende recept:

- Construeer een representatief bodemonmonster van de meest verontreinigde ruimtelijke eenheid binnen iedere deellocatie, conform NEN 5707. Neem hiertoe 20 grepen van minstens ½ kg, willekeurig verdeeld over de betreffende ruimtelijke eenheid en de te beschouwen bodemlaag, en voeg de grepen samen tot één verzamelmonster van minstens 10 kg.
- Bepaal de massa van het veldvochtige verzamelmonster conform paragraaf 10.1 van de NEN 5707.
- Droog het verzamelmonster en bepaal de massa van het gedroogde monster conform paragraaf 10.1 van de NEN 5707.
- Zeef het totale monster droog over een zeef van 4 mm conform paragraaf 10.1 van de NEN 5707.
- Meng het gezeefde monster kleiner dan 4 mm en neem 20 grepen van minstens 5 gram willekeurig verdeeld over het monster en voeg de grepen samen tot één deelmonster van minstens 100 gram.



- Analyseer de fractie aan respirabele asbestvezels, conform Hfdst. 10.4 van de NEN 5707.
- Bereken de fractie aan respirabele asbestvezels, conform Hfdst. 10.5 van de NEN 5707.
- Toets of het weerlegd kan worden dat er sprake is van locatie-specifieke humane risico's: er is *geen* sprake van locatie-specifieke humane risico's als de concentratie aan "beschikbare" respirabele asbestvezels (diameter minder dan 3 µm en lengte minder dan 200 µm) lager is dan de risicogrens van 10 mg/kg<sub>dw</sub> voor de optelsom van de concentratie chrysotiel asbest (ook serpentijn asbest of witte asbest) en tien maal de concentratie amfibool asbest (overige asbestsoorten).

Het wordt opgemerkt dat de hier beschreven monstervoorbehandelings-procedure afwijkend is ten opzichte van de NEN 5707. In de NEN 5707 wordt voorafgaand aan het zeven een deelmonster genomen en in deze richtlijn na het zeven over 4 mm. Het doel van de in stap 2 uitgevoerde toetsing is de concentratie aan respirabele asbestvezels te bepalen op basis van een *worst case* scenario in een gebruikssituatie met bodemactiviteit. Daarom wordt getracht om via het zeefproces zoveel mogelijk vezels vrij te maken. De methodiek is tevens geschikt om de hechtgebondenheid van asbestcement te beoordelen. Bij de analyse van respirabele asbestvezels conform Hfdst. 10.4 van de NEN 5707 dient gedurende ongeveer 30 minuten ultrasoon te worden getrild.

### 6.3.4 Stap 3: Meting van de asbestvezelconcentratie in de buiten- en binnenlucht

In deze paragraaf worden twee methoden beschreven ter bepaling van de concentratie aan asbestvezels in de buitenlucht, namelijk een methode die op de locatie wordt uitgevoerd (paragraaf 6.3.4.1) en een laboratorium-simulatie (paragraaf 6.3.4.2). Een gebruiker van deze richtlijn moet zelf beoordelen welke methode praktisch het best toepasbaar is op de betreffende locatie. Ter ondersteuning van de keuze wordt in Tab. 6.2 een overzicht gegeven van de voor- en nadelen van de beide methodes. De onderbouwing en de praktische inpassing van de meting van de asbestvezelconcentratie in de buitenlucht, op locatie en tijdens laboratorium-simulatie, dienen in de toekomst te worden geëvalueerd.

In de volgende situaties dient tevens het humane risico te worden bepaald in binnenruimten (woningen of andere gebouwen):

- de binnenruimten grenzen aan de verontreinigde locatie (minder dan 100 m);
- de verontreinigde locatie is vrij toegankelijk en wordt regelmatig (tenminste eens per dag) gebruikt (belopen);
- de verontreiniging bevindt zich (tevens) op het maaiveld (beschikbaar voor "binnenlopen" en inwaaien).

Ook de onderbouwing en de praktische inpassing van deze methodiek dienen in de toekomst te worden geëvalueerd.

#### 6.3.4.1 Stap 3<sub>buiten</sub>a: Buitenlucht, locatiemeting

Beoordeling vindt plaats door middel van het uitvoeren van meting van de asbestvezelconcentratie in de buitenlucht op de locatie, onder "gestandaardiseerde omstandigheden". Aangezien ook in dit geval met overtuiging moet worden aangetoond dat het humane risico acceptabel is, zullen deze "gestandaardiseerde omstandigheden" onder relatief conservatieve condities moeten plaatsvinden. Deze condities moeten echter wel in de (toekomstige) gebruikssituatie op de locatie op kunnen treden. Derhalve moet de meting

onder *realistic worst case* condities plaatsvinden. Wanneer het niet mogelijk of niet gewenst is om tijdens “gestandaardiseerde omstandigheden” die zich in de (toekomstige) gebruikssituatie op de locatie voor kunnen doen te meten (bijvoorbeeld indien het om een toekomstige, nog te creëren situatie gaat), dan moet indien mogelijk een gebruikssituatie worden gesimuleerd. Bij het simuleren van activiteit dient men zich te houden aan de regelgeving conform de arbeidsomstandighedenwet.

In de volgende alinea's wordt een voorstel gepresenteerd voor de eisen waaraan de metingen van de asbestconcentratie in de lucht moeten voldoen.

#### Positionering en aantal metingen

- De locaties waar meting plaatsvindt, dienen zodanig te worden geselecteerd dat een maximale vezelconcentratie in de lucht kan worden verwacht. Dit houdt in dat meetposities worden geselecteerd, waar tijdens het bodemonderzoek conform de NEN 5707 de hoogste asbestconcentraties in de bodem zijn gemeten.
- Er dient benedenwinds zo dicht mogelijk van de bron te worden gemeten (maximale afstand van de bron 5 meter benedenwinds), zonder dat dit een belemmering vormt voor het huidige gebruik of eventuele (gesimuleerde) activiteiten als lopen, graven et cetera.
- Aangezien kinderen een belangrijke risicogroep zijn, zou overwogen kunnen worden een meethoogte van 1 m, of op kruiphoogte voor te schrijven. Om praktische redenen is echter gekozen voor aansluiting bij de NEN5707, waarbij de aanzuigopening zich op een hoogte van 1,5 m bevindt (ademhoogte volwassene). Voor het minimum aantal monsters gelden de in Tab. 6.1 opgegeven waarden, als functie van het oppervlak, die zijn ontleend aan het ISO voorschrift ISO/TC/SC 6/WG4-N7. Dit oppervlak heeft betrekking op de meest verontreinigde ruimtelijke eenheid binnen de deellocatie of deelpartij. Wanneer een gebruikssituatie wordt gesimuleerd heeft het oppervlak betrekking op het deel van de deellocatie dat betrokken wordt bij de simulatie van activiteit.

*Tabel 6.1. Minimum aantal te nemen monsters voor het bepalen van de asbestconcentratie in de buitenlucht (ISO voorschrift ISO/TC/SC 6/WG4-N7)*

| <b>Oppervlakte van de te beoordelen (deel)locatie (m<sup>2</sup>)*</b> | <b>Minimum aantal te nemen monsters</b> |
|--|---|
| Tot 100  | 2                                       |
| 101-300  | 3                                       |
| 301-600  | 5                                       |
| 601-1.000  | 6                                       |

\* De oppervlakte heeft betrekking op de meest verontreinigde ruimtelijke eenheid binnen de deellocatie of deelpartij. Wanneer een gebruikssituatie wordt gesimuleerd heeft het oppervlak betrekking op het deel van de locatie dat betrokken wordt bij de simulatie van activiteit.

#### Weersomstandigheden

- De temperatuur moet hoger zijn dan 0 °C en de te beoordelen bodem dient niet bevroren te zijn.

- Het moet droog weer, waarbij gedurende een periode van tenminste 3 dagen voorafgaand aan de meting geen sprake is geweest van neerslag.
- De wind moet zwak tot matig zijn, met een maximale windkracht van 4 Beaufort.
- De relatieve luchtvochtigheid mag niet hoger zijn dan 60%.

#### Periode / tijdsduur van meting

- Er moet tenminste 6 uur en bij voorkeur 8 uur worden gemeten, waarbij tenminste 2,5 m<sup>3</sup> lucht wordt aangezogen om de vereiste meetgevoeligheid te behalen. De 8-uurs gemiddelde concentratie verdient de voorkeur, maar is in de praktijk vaak niet altijd haalbaar. Voor een 8-urige werkdag wordt aangenomen dat de 6-uurs gemiddelde concentratie gelijk is aan die voor het 8-uurs gemiddelde.

Opgemerkt dient te worden dat de het VR-niveau (evenals het MTR-niveau) als jaargemiddelde acceptabele blootstelling gedefinieerd is. Bij de voorgestelde toetsing wordt echter een 8-uurs gemiddelde concentratie gehanteerd. Voor een uitgebreide motivatie en toelichting wordt verwezen naar TNO-rapport R2003/108 “Voorstel voor een gezamenlijk stelsel van toetsingswaarden voor het beoordelen van asbestconcentraties in lucht (discussiestuk)” (J. Tempelman, 2003).

#### Registratie

Alle parameters die van invloed kunnen zijn op de asbestconcentratie en de representativiteit van het onderzoek kunnen beïnvloeden worden vastgelegd en in de rapportage worden opgenomen.

#### Toetsing asbestvezelconcentratie

De asbestconcentratie in de lucht wordt bepaald met behulp van elektronenmicroscopie. Geschikte methoden zijn: ISO 14966 (scanning elektronenmicroscopie). Deze normen zijn in uitvoering vrijwel gelijk. Desgewenst kan ook gebruik worden gemaakt van de op transmissie-elektronenmicroscopie gebaseerde methoden NEN-ISO 10312 of NEN-ISO 13794, mits de vereiste meetgevoeligheid van 1.000 vezels/m<sup>3</sup> lucht wordt gerealiseerd. Meetmethoden die gebaseerd zijn op fase-contrast lichtmicroscopie zijn aselectief en onvoldoende gevoelig en derhalve in dit verband niet geschikt.

Voor de beoordeelde (eventueel gesimuleerde) gebruikssituatie of activiteit is er *geen* sprake van locatie-specifieke humane risico's als alle gemeten asbestvezelconcentraties in de lucht significant lager zijn dan het toelaatbaar risiconiveau, te weten het VR-niveau.

#### **6.3.4.2 Stap 3<sub>buitenb</sub>: Buitenlucht, tijdens laboratorium-simulatie**

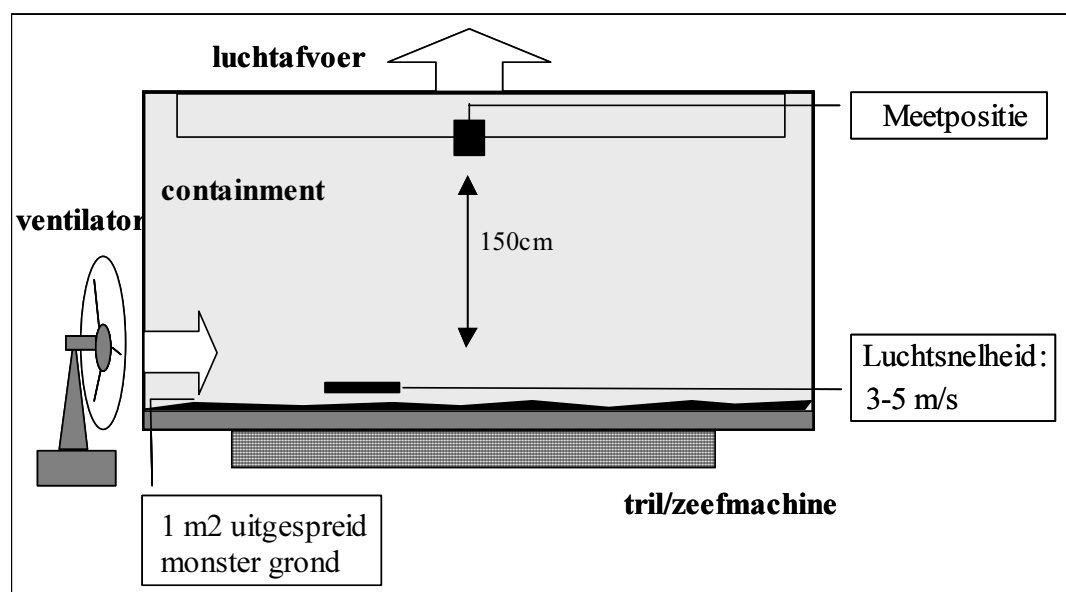
##### Monsterneming en -voorbehandeling

- Construeer een representatief bodemonster van de meest verontreinigde ruimtelijke eenheid binnen iedere deellocatie, conform NEN 5707. Neem hiertoe 50 grepen van minstens ½ kg, willekeurig verdeeld over de betreffende ruimtelijke eenheid en de te beschouwen bodemlaag en voeg de grepen samen tot één verzamelmonster van minstens 25 kg.
- Bepaal de massa van het veldvochtige verzamelmonster conform paragraaf 10.1 van de NEN 5707. Droog het verzamelmonster en bepaal de massa van het gedroogde monster conform paragraaf 10.1 van de NEN 5707.

### Simulatiemeting

De meetopstelling is weergegeven in Fig. 6.2. De volgende stappen moeten worden gevolgd:

- plaats het monster in een afzuigkast of *containment*, voorzien van een absoluutfilter en een afzuigsnelheid van tenminste 0,5 meter/seconde, die voldoet aan, of krachtens, de in het Asbestverwijderingsbesluit en de Arbeidsomstandighedenwet gestelde eisen. Het oppervlak van de afzuigkast dient minstens 1 m<sup>2</sup> te bedragen, met het afzuigpunt op een hoogte van 1,5 (1-2) meter;
- Spreid het gedroogde monster uit in een laag van 1-2 cm over een oppervlak van 1 m<sup>2</sup>.
- Plaats een regelbare ventilator in de afzuigkast en richt de ventilator zodanig dat deze het hele oppervlak bestrijkt. Stel de ventilator zodanig in dat over het gehele oppervlak de luchtsnelheid tussen de 3 en 5 meter/seconde bedraagt.



*Figuur 6.2: Meetopstelling simulatiemeting in afzuigkast of containment*

Zoals aan het begin van Hfdst. 6.3.4 vermeld zijn voor beide methoden de voor- en nadelen geresumeerd in Tab. 6.2.

**Tabel 6.2:** Voor- en nadelen verbonden aan de Locatie-meting, respectievelijk de Laboratorium-simulatie, ter bepaling van de asbestvezelconcentratie in de buitenlucht.

| Locatiemeting  | Laboratorium-simulatie   |
|--|--|
| <b>Voordelen</b>   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Meting onder realistische gebruiks- en weersomstandigheden.</li> <li>Meetmethode is relatief eenvoudig en kan door een brede doelgroep worden toegepast.</li> <li>Meetmethode is klaar (op standaardisatie na) en direct toepasbaar.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Methode is relatief goedkoop: éénmalige investering meetopstelling, vervolg metingen in vergelijking met praktijkmeting zeer goedkoop</li> <li>Meting is representatief; verzamelmonster is afkomstig van alle <i>worst case</i> plekken van de locatie</li> <li>Methode is makkelijk te standaardiseren en resultaten zijn onderling vergelijkbaar</li> <li>De meetmethode is <i>worst case</i> zodat zelden een onderschatting van het humane risico kan ontstaan</li> <li>Meetmethode is onafhankelijk van het weer en kan altijd en direct worden toegepast</li> <li>Meetopstelling bevindt zich in een klein <i>containment</i> en kan veilig en gecontroleerd worden uitgevoerd (geen extra Arbo-maatregelen noodzakelijk)</li> <li>Aanpassing van simulatie-omstandigheden is relatief eenvoudig, waardoor zelfs een test op hechtgebondenheid kan worden uitgevoerd (schuren en breken van asbestcement-materiaal)</li> </ul> |
| <b>Nadelen</b>   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Meetresultaat is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden, <i>worst case</i> is niet altijd mogelijk (herfst- en winterperiode), waardoor onderschatting van het humane risico mogelijk is</li> <li>Door afhankelijkheid van het weer zijn scherpe criteria gesteld aan de weerscondities; hierdoor is een meting 'niet altijd' / 'vaak niet' mogelijk en moet (soms) worden gewacht op goede condities</li> <li>Simulatie gebruiksomstandigheden is (nog) niet gestandaardiseerd en zal praktisch moeilijk zijn te realiseren (type kraan/ shovel/ bladblazer/ ploeg, soort activiteit, duur activiteit, uitvoering activiteit)</li> <li>Meetresultaten zijn onderling moeilijk vergelijkbaar, resultaat hangt af van plaats verontreiniging, heterogeniteit, vochtigheidsgraad, simulatie activiteit, weersomstandigheden</li> <li>Bij metingen rekening houden met Arbeidsomstandighedenwet en Arbobesluit (bewerken van asbesthoudend materiaal is verboden), d.w.z. beschermende kleding, maskers met P3-filter, douchecabine, etc.</li> <li>Door inhuur van shovel/ kraan en door het treffen van de noodzakelijke Arbo-voorzieningen is meting duur</li> <li>Tijdens meting in principe blootstellingsrisico voor omwonenden; extra omgevingsmetingen noodzakelijk ter beoordeling van het achtergrondconcentratieniveau</li> <li>Meting is minder representatief bij grote heterogene locaties aangezien slechts op een beperkt aantal plekken van de locatie een meting kan worden uitgevoerd</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>De meetmethode is een <i>worst case</i> simulatiemethode en vertaling naar realistische praktijkomstandigheden is moeilijk</li> <li>De testcondities zijn nog niet volledig gevalideerd; extra validatieonderzoek van de simulatie-omstandigheden is noodzakelijk</li> <li>Methode is complex en het protocol dient nog in detail te worden uitgewerkt, voordat de methode door iedereen kan worden gebruikt</li> <li>Op dit moment is methode alleen toepasbaar door TNO</li> <li>Meetmethode is goedkoop maar vergt in eerste instantie een relatief grote investering, hangt van het aantal toekomstige beoordelingssituaties af of deze investering weer terugverdiend kan worden.</li> </ul>   |

#### 6.3.4.3 Stap 3<sub>binnen</sub>: *Binnenlucht*

Voer een risicobeoordeling uit door de bepaling van de hoeveelheid gesedimenteerde asbestvezels conform ontwerpnormvoorschrift NEN 2991 “Risicobeoordeling in- en rondom gebouwen of constructies waarin asbesthoudende materialen zijn verwerkt”.

Bepaal het puntentotaal op basis van de criteria in het normvoorschrift.

- bij een score beneden de 15 punten is *geen* sprake van locatie-specifieke humane risico's;
- bij een score boven de 20 punten is er sprake van locatie-specifieke humane risico's.

Bij een score tussen 15 en 20 punten dienen asbestvezelconcentratiemetingen te worden uitgevoerd in de binnenlucht conform ontwerpnormvoorschrift NEN 2991

“Risicobeoordeling in en rondom gebouwen of constructies waarin asbesthoudende materialen zijn verwerkt”. In dat geval is er voor de beoordeelde binnenruimte(n) *geen* sprake van locatie-specifieke humane risico's als alle gemeten asbestvezelconcentraties in de lucht lager zijn dan het acceptabele risiconiveau, te weten het VR-niveau.

De kwaliteit en de praktische inpassing van de meetmethoden ter bepaling van de asbestvezelconcentratie in de buitenlucht (op locatie en tijdens laboratorium-simulatie) en in de binnenlucht, welke in stap 3 van de bepaling van de locatie-specifieke humane risico's plaats kunnen vinden, dienen in de toekomst te worden geëvalueerd.

## 7. Conclusies en aanbevelingen

### 7.1 Conclusies

Uit de voorliggende rapportage zijn de volgende conclusies te trekken:

- Voor asbest zijn risico's voor het ecosysteem verwaarloosbaar. Verspreidingsrisico's treden alleen op ten gevolge van verwaaiing, niet door transport via grondwater. Met name relevant zijn de humane risico's. Aangezien de risico's van asbest worden veroorzaakt door inademing van asbestvezels is alleen de vezelemissie vanuit de bodem naar lucht bepalend voor de humane blootstelling. De concentratie aan asbestvezels in lucht wordt bepaald door de primaire emissie (het vrijmaken van asbestvezels uit asbesthoudende materialen in/op de bodem) en de secundaire emissie (het (wederom) in beweging komen (resuspensie) van reeds eerder vrijgemaakte en gesedimenteerde asbestvezels, onder invloed van bepaalde activiteiten of weersomstandigheden). In beide gevallen spelen materiaaleigenschappen zoals (de mate van) hechtgebondenheid en het type asbest (chrysotiel of amfibool) een belangrijke rol.
- Blootstelling aan asbest kan direct (inhalatie van asbestvezels en/of bodemdeeltjes in de buitenlucht) of indirect (inhalatie van asbestvezels in de binnenlucht) optreden. Indirecte blootstelling is belangrijk als de verontreiniging grenst aan een woning of ander gebouw. In dergelijke situaties kan door "binnenlopen" van asbestdeeltjes van een verontreinigde locatie naar het binnenmilieu (via schoeisel en in mindere mate kleding) en inwaaien een risico binnenshuis ontstaan.
- Het gedrag van asbest in de bodem wijkt af van dat van de andere in de Wet bodembescherming genormeerde contaminanten. Daarom is de standaard procedure, op basis van berekening met het blootstellingsmodel CSOIL, niet zonder meer van toepassing. De humane blootstelling aan asbest wordt, naast de asbestconcentratie in de bodem, bepaald door een groot aantal factoren, die onder te verdelen zijn in materiaaleigenschappen, bodemeigenschappen, weersinvloeden, activiteit op de locatie en plaats van vóórkomen en omvang van de verontreiniging.
- Voor de bepaling van de locatie-specifieke humane blootstelling zijn er twee problemen:
  - Voor het afstemmen van het blootstellingsscenario en de daarbij behorende input parameters op de betreffende locatie zou in ieder geval rekening moeten worden gehouden met de invloed van de activiteiten op de locatie en de vochtigheid van de bodem op het beschikbaar komen van asbestdeeltjes in de lucht. Deze parameters zijn echter niet in het CSOIL model opgenomen. Bovendien zijn er geen kwantitatieve relaties tussen deze beide parameters en de respirabele vezelconcentratie in de lucht bekend.
  - Er is weliswaar een protocol voor de meting van de asbestconcentratie in de binnenlucht in ontwikkeling (Ontw. NEN 2991), maar dit zal niet zonder meer geschikt zijn voor toepassing voor de onderhavige doelstelling (tevens meting in de buitenlucht).

Om bovenstaande redenen wordt voorgesteld het CSOIL model niet toe te passen voor de vaststelling van humane risico's ten gevolge van de aanwezigheid van asbest in de bodem.

- Als alternatief wordt gebruik gemaakt van meetresultaten uit diverse experimenten, uitgevoerd door TNO, een aanvullende gegevensverzameling uit de literatuur en uit de praktijk. Uit deze experimentele gegevens kunnen de volgende conclusies worden getrokken:
  - Alleen bij sterk verontreinigde bodems en partijen met niet-hechtgebonden asbest (tenminste 10.000 mg/kg<sub>dw</sub>) worden verhoogde vezelconcentraties in de lucht gemeten, tot boven het MTR-niveau (100.000 vezelequivalenten per m<sup>3</sup> lucht). In dergelijke situaties, is zelfs een geringe bodemactiviteit in combinatie met droog weer (geen *worst case* condities) voldoende voor vezelconcentraties in de lucht, boven het VR-niveau (1.000 vezelequivalenten per m<sup>3</sup> lucht).
  - MTR-overschrijdende vezelconcentraties in de lucht worden vrijwel alleen gemeten op korte afstand tot de bron en bij veel bodemactiviteit, zoals afgraven, uitstorten en berijden. Bij toenemende afstand neemt de vezelconcentratie in de lucht snel af en blijkt in alle gevallen bij een afstand van circa 100 meter onder het VR-niveau te liggen.
  - Bij minder sterk verontreinigde bodems, waarbij voornamelijk *hechtgebonden* materialen aanwezig zijn (minder dan 1.000 mg/kg<sub>dw</sub>) en een enkele keer niet-hechtgebonden producten (minder dan 100 mg/kg<sub>dw</sub>), werden in geen van de gevallen, ook niet bij activiteiten zoals graven, storten en zeven, asbestvezels in de lucht aangetroffen.

Op basis van deze meetgegevens uit de praktijk is een voorstel voor een interventiewaarde afgeleid.

- Voor de bepaling van de humane risico's wordt verschil gemaakt tussen:
  - chrysotiel asbest (oftewel witte asbest) en amfibool asbest (alle overige asbestsoorten);
  - niet-hechtgebonden asbest (asbest in o.a. isolatietoepassingen en losse asbestvezels) en hechtgebonden asbest (asbest in o.a. asbestcement);
  - wel of niet respirabele vezels in de bodem (vezels kleiner dan 200 µm).

Aangezien bij hechtgebonden materialen de fractie aan respirabele asbestvezels in de bodem, zelfs bij verweerde materialen, nihil is (in de regel minder dan 0,1%), zal ten gevolge van niet-destructieve activiteiten vrijwel nooit een vezelemissie in de lucht ontstaan. Bij niet-hechtgebonden materialen kunnen al bij geringe activiteiten vezels uit de materialen worden vrijgemaakt. Daarnaast is de fractie aan respirabele asbestvezels in de bodem veel hoger, zodat zelfs zonder activiteit een vezelemissie kan ontstaan.

### Interventiewaarde

- Uit de meetgegevens uit de praktijk mogen slechts globale conclusies worden getrokken. Wel kan hieruit worden geconcludeerd dat voor niet-hechtgebonden asbest de interventiewaarde van 100 mg/kg<sub>dw</sub> voor de optelsom van de concentratie chrysotiel asbest en tien maal de concentratie amfibool asbest (overige asbestsoorten), zoals opgenomen in het *Interimbeleid asbest in bodem, grond en puin(granulaat)* (VROM, 2002), een geschikte waarde voor de “standaard” Nederlandse omstandigheden en indien het VR-niveau wordt gehanteerd. Onder “standaard” Nederlandse omstandigheden wordt hierbij een situatie verstaan, waarbij niet systematisch sprake is van activiteiten als graven, storten en zeven van bodemmateriaal en de (toplaag van de) bodem een groot gedeelte van het jaar vochtig is. Voor hechtgebonden asbest zal vrijwel nooit een ten opzichte van de achtergrondconcentratie verhoogde hoeveelheid asbestvezels in de lucht komen. Aangezien het echter moeilijk is om te bepalen wanneer hechtgebonden asbest ten



gevolge van menselijke activiteit of verwerking over zal gaan in minder hechtgebonden of niet-hechtgebonden asbest is, wordt voorgesteld deze bepaling een rol te geven in de fase van de bepaling van de locatie-specifieke risico's.

Resumerend wordt voorgesteld de waarde gehanteerd in het interimbeleid, 100 mg/kg<sub>dw</sub> voor de optelsom van de concentratie chrysotiel asbest (ook serpentijn asbest of witte asbest) en tien maal de concentratie amfibool asbest (overige asbestsoorten), als interventiewaarde te hanteren voor zowel hechtgebonden en als niet-hechtgebonden asbest.

Op basis van *expert judgement* wordt voorgesteld een waarde van 25 m<sup>2</sup> te hanteren. Om een verschil aan te geven tussen een gedumpte partij asbesthoudend materiaal en een bodemverontreiniging wordt op basis van "praktisch inzicht" een *oppervlaktecriterium* (geen volumecriterium) van 25 m<sup>2</sup> voorgesteld.

### Bepaling locatie-specifieke humane risico's

- Er is een richtlijn opgesteld voor de bepaling van het humane locatie-specifieke risico van met asbest verontreinigde bodem, op basis van in de praktijk waargenomen concentraties aan asbest in de lucht en in de bodem en op basis van meetprotocollen. Ook voor asbest geldt dat er aangenomen wordt dat er sprake is van een locatie-specifiek risico voor de mens, tenzij het tegendeel kan worden aangetoond ("risico, tenzij..."). Het raamwerk bestaat, in analogie met de SaneringsUrgentieSystematiek, uit drie stappen:

- Stap 1, Eenvoudige toetsing: onderzoek naar de mogelijkheid/ waarschijnlijkheid van blootstelling.
- Stap 2, Bepaling van de respirabele vezels in de bodem: beoordeling van de locatie-specifieke risico's voor de mens, onafhankelijk van de daadwerkelijke gebruikssituatie en omgevingsfactoren, op basis van een bepaling van de respirabele asbestvezelconcentratie in de bodem (conform NEN 5707).
- Stap 3, Meting van de asbestvezelconcentratie in de lucht.

Buitenlucht. Voor locatie-specifieke meting van de asbestvezelconcentratie in de buitenlucht wordt een keuzemogelijkheid geboden:

- door middel van het uitvoeren van meting van asbestvezelconcentratie in de buitenlucht op de locatie, onder "gestandaardiseerde *worst case* omstandigheden" (stap 3<sub>buiten a</sub>);
- door middel van het uitvoeren van meting van de asbestvezelconcentratie tijdens een laboratorium-simulatie (stap 3<sub>buiten b</sub>), op basis van een *worst case* simulatie van de gebruikssituatie en omgevingsfactoren (beschikbaarheidstest).

Binnenlucht. Indien woningen of andere gebouwen grenzen aan de verontreinigde locatie (afstand minder dan 100 m) en het een verontreiniging betreft met niet-hechtgebonden asbest dient tevens locatie-specifieke meting van de asbestvezelconcentratie in de binnenlucht onder "gestandaardiseerde omstandigheden" plaats vinden, conform O-NEN 2991 (stap 3<sub>binnen</sub>).

Ad stap 1: Bij bepaling van locatie-specifieke humane risico's wordt voorgesteld om bij de eenvoudige toetsing (stap 1) voor *hechtgebonden asbest* een risicogrens van 1.000 mg/kg<sub>dw</sub> te hanteren voor de optelsom van de concentratie chrysotiel asbest en tien maal de concentratie amfibool asbest (overige asbestsoorten). Als voorwaarde wordt gesteld dat de hechtgebonden materialen niet verkeren in een verweerde toestand.

Ad stap 2: Voor het bepalen van de locatie-specifieke humane risico's, onafhankelijk van het bodemgebruik, is het aandeel aan respirabele asbestvezels (met een diameter kleiner dan 3 µm en een lengte kleiner dan 200 µm) van belang. Bij toetsing in stap 2 (bepaling respirabele vezels) wordt een drempelwaarde van

$4,3 * 10^{10}$  vezelequivalenten/kg<sub>dw</sub> voorgesteld. Omgerekend naar een massaconcentratie komt dit qua ordegrrootte overeen met een drempelwaarde van 10 mg aan respirabele vezels per kg grond (drooggewicht) voor de optelsom van de concentratie chrysotiel asbest en tien maal de concentratie amfibool asbest (overige asbestsoorten).

Ad stap 3: Aangezien met enige overtuiging moet worden aangetoond dat het humane risico acceptabel is, zullen de “gestandaardiseerde omstandigheden” onder relatief conservatieve condities moeten representeren. Deze condities moeten echter wel aansluiten op de toekomstige gebruikssituatie. Derhalve worden in stap 3 omstandigheden beschreven, met het doel om op basis van een *realistic worst case* scenario de asbestvezelconcentratie te kunnen inschatten in een toekomstige gebruikssituatie. In stap 3<sub>buiten</sub> worden *worst case* omstandigheden gecreëerd, die in principe lastig zijn in te passen in een toekomstige gebruikssituatie. De methode moet worden gezien als een beschikbaarheidstest waarbij de asbestvezelconcentratie in een toekomstige gebruikssituatie altijd lager zal uitvallen. Aan beide methoden zijn voor- en nadelen verbonden, welke in Tab. 6.2 geresumeerd zijn.

## 7.2 Aanbevelingen

Op basis van de voorliggende rapportage zijn de volgende aanbevelingen te doen:

- Er dienen aanvullende praktijkmetingen uit te worden gevoerd, om met name de vezelemisatie in het concentratiebereik 100 en 10.000 mg/kg<sub>dw</sub> nader te onderzoeken.
- Om de invloed van locatie-specifieke factoren op de risico's voor de mens ten gevolge van asbest in de bodem in beschouwing te kunnen nemen, moet nader onderzoek worden verricht naar de relatie tussen de volgende factoren en de emissie van asbestvezels naar de lucht:
  - bodemtype;
  - bodemvochtigheid;
  - bodemkarakteristieken (lutum- en organische stofgehalte);
  - type vegetatie;
  - weerskarakteristieken;
  - mate van activiteit in en op de bodem.

Het streven hierbij zal in eerste instantie gericht zijn op een kwalitatieve omschrijving van de invloed van deze factoren op de emissie. Of een kwantitatieve beschrijving mogelijk is, is vooralsnog twijfelachtig. Eventueel kan de haalbaarheid van het afleiden van kwalitatieve en kwantitatieve relaties in eerste instantie in een haalbaarheidsstudie worden onderzocht.

- De invloed van “binnenlopen” van asbestdeeltjes van een verontreinigde locatie naar het binnenmilieu (via schoeisel en in mindere mate kleding) op de blootstelling binnenshuis en de invloed van de materiaal- en bodemeigenschappen als bodemvochtigheid op dit proces, dient nader te worden onderzocht.
- De overgang van hechtgebonden naar niet-hechtgebonden asbest (benodigde processen/activiteiten, benodigde tijdsduur) dient nader te worden onderzocht.

- De onderbouwing en de praktische inpassing van de meting van de asbestvezelconcentratie in de buitenlucht (op locatie en tijdens laboratorium-simulatie) en in de binnenlucht, welke in stap 3 van de bepaling van de locatie-specifieke humane risico's plaats kunnen vinden, dienen te worden geëvalueerd.
- De conclusies uit de workshop over de bepaling van het locatie-specifieke humane risico van asbest in de bodem, welke door het Ministerie van VROM zal worden georganiseerd, moten bij de eventuele implementatie worden meegenomen.



## Literatuur

- Addison et al.. 1988.  
The release of dispersed asbestos fibres from soils, Institute of Occupational Medicine, report no. TM/88/14, september 1988, Edinburgh
- Aldenberg, Tom, Joanna S. Jaworska, Theo P. Traas. 2002.  
Normal Species Sensitivity Distributions and probabilistic Ecological Risk Assessment. In: Posthuma, Leo, Glenn W. Suter, Theo P. Traas (Editors): Species Sensitivity Distributions in Ecotoxicology. Lewis Publishers.
- Alewif Study Group, 1995.  
Excerpts from: Toxicological profile for Asbestos. U.S. Department of Health and Human Services, 1995.
- Arzoni, R.J., Tempelman, J.. 2000.  
Bemonstering en bepaling concentraties asbest in stof en in de lucht regio Goor en omstreken, fase 1, TNO-rapport TR00/557, 3 oktober 2000.
- ATSDR, 2003.  
Website van de Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), [www.atsdr.cdc.gov](http://www.atsdr.cdc.gov), 2003.
- Berg, R. van den. 1991/1994/1995.  
Blootstelling van de mens aan bodemverontreiniging. Een kwalitatieve en kwantitatieve analyse leidend tot voorstellen voor humaan toxicologische C-toetsingswaarden (herziene versies). RIVM-rapport 725201006. RIVM, Bilthoven.
- Berg, R. van den, Bockting, G.J.M., Crommentuyn, G.H., Janssen, P.J.C.M.. 1994.  
Proposals for intervention values for soil clean-up: Second series of compounds. In English: RIVM-rapport 715810004. RIVM, Bilthoven.
- Brand, F.P., K. Locher, C.J.M. van den Bogaard. 1994.  
Informatiebundel asbest in het milieu; Den Haag; Consultium b.v.; 1994.
- Boeft, J. den. 1987.  
Rapport R87/152, Asbestconcentratie-onderzoek nabij een met asbestcementafval verharde weg in Diepenheim, juni 1987, TNO-MT.
- Copius Peereboom, L. Reijnders. 1989.  
Hoe gevaarlijk zijn milieugevaarlijke stoffen? Tweede druk, Boom, 1989.
- EPA. 2002  
Draft report on development of a media specific soil standard for asbestos, GTAC Requisition 20-051, 12 juni 2002.
- Guillemin, M.P. et al., 1989.  
Asbestos in buildings; Aerosol Science and Technology, vol.11, 221-243, 1989.
- Hawley, J.K. 1985.  
Assessment of health risk from exposure to contaminated soil. Risk Analysis 5: 289-302.
- IMH. 1994.  
Ministerie van VROM, Inspectie Milieuhygiëne, Asbest en Gezondheid, Informatie voor Gezondheidsdiensten, Den Haag, Distributienummer VROM 11899/159.
- Koolenbrander, J.G.M. 1995.  
Urgentie van bodemsanering. De handleiding. Sdu Uitgeverij, 1995.
- Koorevaar, P., G. Menelik, C. Dirksen. 1983.  
Elements of Soil Physics. Developments in Soil Science 13. Elsevier, Amsterdam. 1983.

- Kreule, P., Berg, R. van den, Waitz, M.F.W., Swartjes, F.A.. 1995.  
Calculation of human-toxicological serious soil contamination concentrations and proposals for intervention values for clean-up of soil and groundwater: Third series of compounds. RIVM-rapport 15810010. RIVM, Bilthoven.
- Kreule, P., F.A. Swartjes. 1998.  
Proposals for Intervention Values for soil and groundwater, including the calculation of human-toxicological serious soil contamination concentrations: Fourth series of compounds. RIVM-rapport 711701005. RIVM, Bilthoven.
- Locher, Kaj. 1995.  
195 meest gestelde vragen over asbest.
- Lijzen, J.P.A., A.J. Baars, P.F. Otte, M.G.J. Rikken, F.A. Swartjes, E.M.J. Verbruggen, A.P. Van Wezel. 2001.  
Technical evaluation of the Intervention Values for Soil/sediment and groundwater. RIVM-rapport 711701023. RIVM, Bilthoven, februari 2001.
- Martino, E. et al., 2003.  
Soil fungal hyphae bind and attack asbestos fibers. *Angewandte Chemie International Edition*, 42, 219-222, 2003.
- NSW Health, 2003.  
Website van New South Wales Health (NSW Health), [www.health.nsw.gov.au](http://www.health.nsw.gov.au), 2003.
- Olland, Nicole. 1998.  
Evaluatie beleidsmatige en technische wenselijkheid van een interventiewaarde voor asbest in de bodem. Stageverslag Ministerie van VROM, DGM, Landbouwniversiteit Wageningen.
- Otte, P.F., J.P.A. Lijzen, J.G. Otte, F.A. Swartjes, C.W. Versluijs. 2001.  
Evaluation and revision of the CSOIL parameter set. RIVM report 711701021, maart 2001. RIVM, Bilthoven.
- Pott, F.. 1978.  
Some aspects on the dosimetry of the carcinogenic potency of asbestos and other fibrous dusts, *Staub-Reinhalt. Luft*, 12, 486-490, 1978,
- Rikken, M.G.J., J.P.A. Lijzen, A.A. Cornelese. 2001.  
Evaluation of model concepts on human exposure. Proposals for updating the most relevant exposure routes of CSOIL. RIVM report 711701022, RIVM, Bilthoven.
- RIVM. 1993.  
Interventiewaarde asbest. Brief van de voormalige afdeling Inspectieonderzoek en Milieuongevallendienst (IEM) van het RIVM aan de Regionaal Inspecteur van de RIMH-Zeeland, briefnr. 337/93 IEM JK/JK, oktober 1993. RIVM, Bilthoven.
- Scheffer, F., P. Schachtschabel. 1989.  
Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1989.
- Slooff W. en P.J. Blokzijl. 1987.  
Basisdocument asbest. RIVM-rapport 758473006. November 1987, RIVM, Bilthoven.
- SZW, 1999.  
Brief van De Staatssecretaris van Sociale zaken en Werkgelegenheid aan de Voorzitter van de Tweede kamer der Staten-Generaal, kenmerk, TK 1999-2000, 25 834, nr. 17; 6 december 1999.
- Tempelman. J. 1998.  
Asbest in puin en puingranulaat. TNO-rapport R98/281. TNO, Apeldoorn.
- Tempelman. J. 2003.  
Voorstel voor een gezamenlijk stelsel van toetsingswaarden voor het beoordelen van asbestconcentraties in lucht (discussiestuk). TNO-rapport R2003/108. TNO, Apeldoorn.

- Tromp, P.C.. 2002.  
Oriënterende studie naar blootstellingsrisico's van asbest in de bodem. TNO-rapport R2002-78. TNO, Apeldoorn.
- Tromp, P.C., J. Tempelman. 1994.  
Asbest in de bodem. Literatuurstudie en inventarisatie. TNO-rapport TNO-MW-R94/182a. TNO, Delft.
- Tromp, P.C., J. Tempelman. 1995  
Asbest in gebouwen – onderzoek ter onderbouwing van een bepalingsmethode conform het Bouwbesluit om het risico op asbestblootstelling in gebouwen te beoordelen. TNO-rapport TNO-MW-R95/006. TNO, Delft.
- Versteeg, E., M. in 't Veld, G.A.J.M. Nijhof, J.L.V. Oosterwegel, J. Schuddeboom, P.C. tromp, H.J. Miedema. 2002.  
Asbest in bodem. SKB-project SV-515. SKB, Gouda, mei 2002.
- Vissenberg, H.A., and F.A. Swartjes. 1996.  
Evaluatie van de met CSOIL berekende blootstelling, middels een op Monte Carlo technieken gebaseerde gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse. Hoofdrapport en bijlagen. RIVM-rapport 715810018. RIVM, Bilthoven.
- VROM. 1989.  
Omgaan met risico's. Bijlage bij het Nationaal Milieubeleidsplan "kiezen of Verliezen". Tweede Kamer der Staten generaal, 1988-1989, sessie 21137, nr. 1-2.
- VROM. 2000.  
Circulaire streefwaarden en interventiewaarde bodemsanering. DBO/1999226863. Ministerie van Volkshuisvesting en Milieubeheer. 4 februari 2000.
- VROM. 2002.  
Interimbeleid asbest in bodem, grond en puin(granulaat). Brief van De Staatssecretaris van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan de Voorzitter van de Tweede kamer der Staten-Generaal, kenmerk, BWL/2002104318.
- Water and Engineering. 1977  
Movement of selected metals, asbestos and cyanide in soil, Application to waste disposal problems, Arizona University, Tucson, Department of Soils, Water and Engineering, 1977.

## Bijlage 1      Verzendlijst

- 1 DGM/BWL-directeur, Drs. H.G. von Meijenfeldt
- 2 Directeur-Generaal Milieubeheer, VROM, Ir. J van der Vlist
- 3 Hoofdinspecteur VROM-inspectie, Mr. G.J.R. Wolters
- 4 Dr. G.H. Crommentuijn (DGM/BWL)
- 5 Dr.ir. A.E. Boekhold (DGM/BWL)
- 6 Ir. D. Van den Burg (DGM/BWL)
- 7 Ir. J.F.M. van Vliet (DGM/BWL)
- 8 Mr. A.B. Holtkamp (DGM/LMV)
- 9 Drs. K. Locher (DGM/SAS)
- 10 Ir. J. van der Kolk (DGM/SAS)
- 11 Mr. J.K.B.H. Kwisthout (DGM/SAS)
- 12 Dr. J.A. van Zorge (DGM/SAS)
- 13 Drs. E.M. Maas (DGM/ SAS)
- 14-25 Leden werkgroep UI (via Dr. T. Crommentuijn (DGM/BWL))
- 26 Dr. C.J.M. van de Boogaard (VROM-Inspectie)
- 27 VNG/WEB, via dhr. J. Verburg (VNG, Den Haag)
- 28 IPO/ABO, via dhr. F. Kok (Prov. Zuid-Holland, Den Haag)
- 29 ONRI-werkgroep bodem, via Drs. M.F.X. Veul (Witteveen en Bos, Deventer)
- 30 Ing. P. Bareman (VROM-Inspectie-Oost)
- 31 Mr. R.A.M. Kavsek (VROM-Inspectie)
- 32 Dr. J. Vegter (TCB, Den Haag)
- 33 Drs. M. ten Hove (TCB, Den Haag)
- 34 Ir. C. Cornelis (VITO, Mol, Belgium)
- 35 Dr. G. van Gestel (OVAM, )
- 36 Drs. G. Goselink (NEN, Delft)
- 37 Drs. H. Geron (Min. van SZW, Den Haag)
- 38 Drs. A. de Groof (SIKB)
- 39 Ing. P.J. Smit (Van Hall Instituut Business Centre, Groningen)
- 40 Ir. A.B. Roeloffzen (Gemeentewerken Rotterdam, Rotterdam)
- 41 Ir. J.V.J.M. Kuyper (Prov. Noord-Holland, Haarlem)
- 42 Drs. G. Roolant (Gemeente Nijmegen, Nijmegen)
- 43 Drs. J.L.V. Oosterwegel (Geofox, Oldenzaal)
- 44 Ir. B. Satijn (SKB, Delft)
- 45 Drs. R. van Doorn (GGD Rotterdam, Rotterdam)
- 46 C. van Merendonk (Prov. Noord-Brabant, Den Bosch)
- 47 Mr.drs. E.C. Alders (FME CWM, Zoetermeer)
- 48 Depot Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie
- 49 Directie van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
- 50 Dr.ir. Woitier (dir. Sector Milieu en Externe Veiligheid)
- 51 Prof.ir. N.D. van Egmond (dir. Milieu)
- 52 Ir. F. Langeweg (dir. Sector MilieuPlanBureau)
- 53 Ir. J. Tempelman (TNO/ MEP, Apeldoorn)
- 54 Drs. J.H. Canton (hLER)
- 55 Ir. R. van den Berg (hLDL)
- 56 Dr. W.H. Könemann (hSEC)
- 57 Ir. J.J.G. Kliest (hIMD)
- 58 Ir. J.P.A. Lijzen (LER)
- 59 Ing. P.F. Otte (LER)
- 60 Dr. A.M. Breure (LER)
- 61 Drs. T.G. Vermeire (SEC)
- 62 Drs. T.P. Traas (SEC)



---

|        |                             |
|--------|-----------------------------|
| 63     | Dr. M. Mennen (IMD)         |
| 64     | Ir. A. Dusseldorp (IMD)     |
| 65     | Dr. M. Pieters (SIR)        |
| 66     | Dr. A.J. Baars (SIR)        |
| 67-69  | Authors                     |
| 70     | SBC/Communicatie            |
| 71     | Bureau Rapportenregistratie |
| 72     | Bibliotheek RIVM            |
| 73     | Bibliotheek SEC             |
| 74-78  | Bureau Rapportenbeheer      |
| 79-120 | Reserve-exemplaren          |

## **Bijlage 2      Overzicht van de in deze rapportage genoemde (concept) NEN-normen**

- NEN 5707:    Bodem - Inspectie, monsterneming en analyse van asbest in de bodem en partijen grond, ICS: 13.080.01, mei 2003.
- NVN 5725:    Bodem – Leidraad bij het uitvoeren van vooronderzoek bij verkennend, oriënterend en nader onderzoek
- NEN 5740:    Bodem – Onderzoeksstrategie bij verkennend onderzoek – Onderzoek naar de milieuhygiënische kwaliteit van bodem en grond, 1999
- NEN 5896:    Kwalitatieve analyse van asbest in materialen met polarisatiemicroscopie, ICS: 13.030.30, mei 2003
- O-NEN 2991 (in voorbereiding)  
Risicobeoordeling in en rondom gebouwen of constructies waarin asbesthoudende materialen zijn verwerkt

## Bijlage 3      Effecten op de gezondheid

### Details ziektebeeld

#### *Mesothelioom.*

Asbest is de voornaamste oorzaak van het optreden van mesothelioom. Bij mesothelioom is in 85% van de gevallen een verband met asbest aannemelijk gemaakt. Het rookgedrag beïnvloedt de kans op het optreden van mesothelioom niet. Epidemiologisch onderzoek en verschillende cohort- en autopsiestudies suggereren dat de amfibolen, en met name crocidoliet, een hogere carcinogene potentie lijken te bezitten dan chrysotiel asbest. Er bestaat voor mesothelioom geen no effect level. Mesothelioom kan reeds ontstaan na een eenmalige hoge blootstelling aan asbest of na regelmatige blootstelling aan relatief lage concentraties. De kans op mesothelioom is evenredig met de dosis en exponentieel gerelateerd aan de tijd die verstreken is sinds de eerste blootstelling. Dit betekent dat er bij blootstelling op jonge leeftijd een hoger risico bestaat op het krijgen van mesothelioom dan op latere leeftijd. Daarom is blootstelling voor jongeren relatief gevaarlijk ten opzichte van blootstelling van oudere mensen (Slooff en Blokzijl, 1987). Deze vorm van kanker is relatief zeldzaam en zal met name aangetroffen worden bij mensen die beroepsmatig lange tijd aan asbest zijn blootgesteld.

#### *Asbestose.*

Asbestose is een chronische longziekte die wordt gekarakteriseerd door fibrose (bindweefselvorming) van het longweefsel. Door deze bindweefselvorming ontstaat een ernstig verlies van elasticiteit en gaat het zuurstofopnemend vermogen van de longen achteruit. Asbestose wordt per definitie door asbest veroorzaakt en treedt alleen op bij blootstelling aan erg hoge concentraties, bijvoorbeeld in beroepssituaties. De carcinogene effecten treden zowel op bij hoge als bij lage concentraties. Inhalatie van grote hoeveelheden asbest gedurende korte tijd op verschillende tijdstippen veroorzaakt een ernstiger mate van fibrose dan een meer continue blootstelling aan uiteindelijk dezelfde dosis asbest. Asbestose vormt bij blootstelling aan lage concentraties geen groot probleem. De kans op het ontstaan van asbestose neemt evenredig toe met de concentratie en de duur van blootstelling. De kans om asbestose te ontwikkelen is zeer laag en zal eveneens met name aangetroffen worden bij mensen die beroepsmatig lange tijd aan asbest zijn blootgesteld.

#### *Longkanker.*

Voor alle asbestsoorten, inclusief chrysotiel, is onder bepaalde omstandigheden een verband met het optreden van longkanker aangetoond. Er is geen bewijs voor verschillen in respons tussen het type asbest en het optreden van longkanker. Anderzijds kan longkanker maar zelden met zekerheid aan blootstelling via inademing van asbestvezels worden toegeschreven. Longkanker is namelijk een betrekkelijk veel voorkomende kankersoort en kan allerlei oorzaken hebben (voor 80-90% door roken). Het risico om longkanker te krijgen door de blootstelling aan asbest is bij rokers circa 10 keer zo groot (Brand et al., 1994; Slooff en Blokzijl, 1987). Voor niet-rokers stijgt de kans op longkanker exponentieel met de leeftijd. Gegevens van vijf cohort-studies bevestigen dit beeld en gaven geen aanleiding de algemeen geaccepteerde veronderstelling te herzien dat de sterfte aan longkanker ten gevolge van blootstelling aan asbest bij benadering recht evenredig is met de cumulatieve dosis (Slooff en Blokzijl, 1987). Er bestaat voor longkanker geen no effect level.

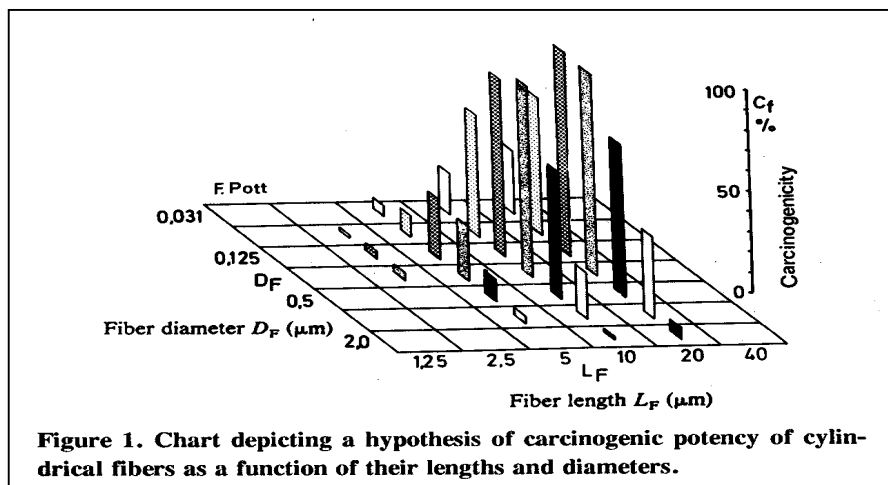
## Details bepalende factoren

### *Het type asbest.*

De vorm van de asbestvezels en de duurzaamheid en splijtbaarheid van de asbestvezels zijn onder andere afhankelijk van het type asbest (chrysotiel, amosiet, crocidoliet), zie onderstaande alinea's.

### *De vezeldimensies.*

De interne blootstelling, hiermee wordt bedoeld de daadwerkelijke blootstelling van de doelorganen, die plaatsvindt nadat inhalatie heeft plaatsgevonden, en de carcinogene potentie van asbestvezels is afhankelijk van de afmetingen (vorm, lengte en diameter) van de vezels, zie Fig. 1 (theorie van Pott; Pott, 1978).



*Figuur 1: Carcinogene potentie als functie van de vezellengte en –diameter (theorie van Pott)*

De carcinogene potentie neemt toe naarmate de vezels dunner en langer zijn (Slooff en Blokzijl, 1987). De hogere carcinogeniteit van langere vezels, zou het gevolg kunnen zijn van de slechtere opname hiervan door macrofagen. Met name carcinogeen zijn de vezels met een lengte tussen de 5 en 40  $\mu\text{m}$  (optimum 20  $\mu\text{m}$ ) en een diameter tussen de 0,1 en 1  $\mu\text{m}$  (optimum 0,25  $\mu\text{m}$ ). Door de opname van macrofagen zijn de risico's van vezels met een lengte korter dan 5  $\mu\text{m}$  ongeveer een factor 10 lager.

De bovengrens voor respirabiliteit van vezels, die relevant is voor de interne blootstelling, is een vezeldiameter van ongeveer 3  $\mu\text{m}$  en een vezellengte van 200  $\mu\text{m}$ . Vezels met een diameter van meer dan circa 0,6  $\mu\text{m}$  komen vooral in de luchtpijp en de bronchiën terecht. Vanuit deze gedeelten van het ademhalingsstelsel worden de vezels relatief snel (uren) verwijderd via het trilhaalepitheel, en naar het maagdarmkanaal getransporteerd. Vezels met een lengte groter dan 100  $\mu\text{m}$  hebben vrijwel altijd een vezeldiameter groter dan 0,6  $\mu\text{m}$ , zodat deze lange vezels relatief snel worden verwijderd.

Vezels met een diameter onder de circa 0,03  $\mu\text{m}$  worden voornamelijk in de neus/keelholte weggevangen. Een groot deel van de vezels met een diameter tussen de 0,03 en 0,6  $\mu\text{m}$  dringt door tot in de diepere (alveolaire) gedeelten van de long, waar zich geen trilhaarepitheel bevindt. Verwijdering uit deze gedeelten van de long, in zover dit überhaupt gebeurt, kan maanden tot jaren duren (*Slooff en Blokzijl, 1987*). De meeste vezels met een lengte tot 5  $\mu\text{m}$ , die in het diepere (alveolaire) gedeelte van de longen terechtkomen, worden snel gebonden door macrofagen. Slechts een klein gedeelte van de macrofagen die vezels bevatten zal naar de met trilhaarepitheel beklede luchtwegen worden getransporteerd. De meeste macrofagen en vrije vezels migreren langzaam naar de buitenkant van de longen (periferie) en naar de pleura (borstvlies), waar de asbestvezels tenslotte worden vastgehouden.

#### *Duur van de blootstelling.*

Hoe langer men wordt blootgesteld aan een bepaalde hoeveelheid asbestvezels via de lucht, hoe groter de kans op het krijgen van kanker. Echter, wanneer men incidenteel te maken heeft met een kortdurende piekbelasting aan asbestvezels leidt dit bijna nooit tot een relevante verhoging van het bestaande risico, omdat de bijdrage aan het totaal aantal gedurende het leven ingeademde vezels zeer gering is (IMH, 1994).

#### *De duurzaamheid en splijtbaarheid van de asbestvezels.*

De duurzaamheid en splijtbaarheid van asbestvezels in een organisme spelen een belangrijke rol. Hoe duurzamer en hoe beter splijtbaar de vezels zijn en des te langer de verblijftijd in het lichaam, hoe groter de carcinogene potentie. Met name crocidoliet en amosiet zijn zeer duurzaam in het lichaam en zijn in de longen gemakkelijk overlangs splijtbaar. Chrysotiel is veel minder duurzaam dan de amfibole asbestsoorten. Bij chrysotiel vezels wordt magnesium onder invloed van zuur uitgeloozd waardoor ze dunner worden en de asbeststructuur verloren gaat. De vezels verdwijnen geleidelijk uit de longen en verliezen dan ook hun kankerverwekkende eigenschappen. Als gevolg van de gekrulde vorm dringen chrysotiel vezels ook minder diep door in de bovenste luchtwegen dan amfibool vezels met dezelfde diameter.





| Locatie                          | Oppervlak | Locatie eigenschappen |              | Datum        | Asbesthoudende materialen |              |              | Asbestconcentratie (mg/kg,d.s) |       |                  |        |            | Bodenkarakteristieken |           |          |                   |
|----------------------------------|-----------|-----------------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------------------------|-------|------------------|--------|------------|-----------------------|-----------|----------|-------------------|
|                                  |           | Volume                | type lokatie |              | type1                     | type2        | type3        | toetaal                        | hecht | hiet-hecht       | Vezeis | chrysotiel | crocidoliet           | amosiet   | type     | vochtgehalte      |
| Naam                             | 5         | labsimulatie          |              | 1999         | isolatie                  | vezelbundels |              | 1,7 (0,6-4,6)                  |       | 1,7              |        |            |                       |           | zand     | 0% (gedroogd)     |
| Monster zand, Apeldoorn          |           | partij                |              | sephov-01    | AC                        | zachtboard   | isolatie     | 400                            | 300   | 100              | 0,3-5  |            |                       |           | zand     | 5-10%             |
| Reinigingsdepot, Amsterdam 1     |           | partij                |              | sephov-01    | AC                        | zachtboard   | isolatie     | 400                            | 300   | 100              | 0,3-5  |            |                       |           | zand     | 5-10%             |
| Reinigingsdepot, Amsterdam 2     |           | partij                |              | sephov-01    | AC                        | zachtboard   | isolatie     | 400                            | 300   | 100              | 0,3-5  |            |                       |           | zand     | 5-10%             |
| Reinigingsdepot, Waalwijk 1      |           | partij                |              | mei/jul-01   | AC                        | zachtboard   |              | 160                            | 160   |                  |        | 160        |                       | 4,3       | zand     | veldvochtig       |
| Reinigingsdepot, Waalwijk 2      |           | partij                |              | mei/jul-01   | AC                        | zachtboard   |              | 4,3                            |       | 4,3              |        |            |                       | 7,3       | zand     | veldvochtig       |
| Reinigingsdepot, Waalwijk 3      |           | partij                |              | mei/jul-02   | isolatie                  |              |              | 7,3                            |       | 7,3              |        |            |                       |           | zand     | veldvochtig       |
| Woonwijk, Lelystad               | 240000    | bovenlaag             |              | mtf/jul-01   | AC                        | verveerd AC  |              | 20 (0-120)                     | 0-113 | 0-5              |        | 0-120      | 0-2                   |           | zand     | veldvochtig       |
| Woonwijk, Lissebroek             |           | bovenlaag             |              | 5-jun-97     | AC                        | zachtboard   | pakkingen    | 10-500                         |       | 10-500           |        |            |                       |           | zand     | veldvochtig       |
| Depot, Zwijndrecht               |           | depot                 |              | jul-01       | AC                        | isolatie     |              | 8-420                          | 8-420 | 2,4-3,7          |        | 8-420      |                       |           |          | droog/veldvochtig |
| Asbestdunp, New Jersey, NVR1     | 10.000    | bovenlaag             |              | nov-91       | isolatie                  | pulp         | spuitasbest  | 100-400.000                    |       | 100-400.000      |        | ja         | ja                    | ja        | zand/kei | veldvochtig       |
| Asbestdunp, New Jersey, NVR2     | 10.000    | bovenlaag             |              | nov-91       | isolatie                  | pulp         | spuitasbest  | 100-400.000                    |       | 100-400.000      |        | ja         | ja                    | ja        | zand/kei | veldvochtig       |
| Asbestdunp, New Jersey, WBR1     | 8.000     | bovenlaag             |              | okt/nov-91   | AC                        | pulp         | vezelbundels | 100-200.000                    |       | 100-200.000      |        | ja         | ja                    | ja        | zand/kei | veldvochtig       |
| Asbestdunp, New Jersey, WBR2     | 8.000     | bovenlaag             |              | okt/nov-91   | AC                        | pulp         | vezelbundels | 100-200.000                    |       | 100-200.000      |        | ja         | ja                    | ja        | zand/kei | veldvochtig       |
| Ringdijk, South Bay 1            |           | bovenlaag             |              | 1991         | asbest                    |              |              | 400.000                        |       | 400.000          | ja     | 400.000    |                       |           | los zand | droog             |
| Ringdijk, South Bay 2            |           | bovenlaag             |              | 1991         | asbest                    | vezelbundels |              | 400.000                        |       | 400.000          | ja     | 400.000    |                       |           | los zand | droog             |
| Ringdijk, South Bay 3            |           | bovenlaag             |              | 1991         | asbest                    | vezelbundels |              | 400.000                        |       | 400.000          | ja     | 400.000    |                       |           | los zand | droog             |
| Afvalstortplaats, Duitsland      |           | bovenlaag             |              | 1992         | draaisel                  | pulp         |              | 5.000 (100-100.000)            |       | 100-100.000      |        | 80-80.000  | 10-10.000             | 10-10.000 |          | veldvochtig       |
| Stortplaats huisafval, Duitsland |           | onbekend              |              | 1988         | AC                        | spuitasbest  | isolatie     | ca. 10.000                     |       |                  |        |            |                       |           |          |                   |
| Stortplaats BSA, Duitsland       |           | onbekend              |              | 1988         | AC                        | spuitasbest  | isolatie     | ca. 10.000                     |       |                  |        |            |                       |           |          |                   |
| Omgeving stortplaats, Did        |           | onbekend              |              | 1988         | AC                        | spuitasbest  | isolatie     | ca. 10.000                     |       |                  |        |            |                       |           |          |                   |
| Stort asbestafval, Duitsland 1   |           | onbekend              |              | 1987         | AC                        | spuitasbest  | isolatie     | ca. 100.000                    |       |                  |        |            |                       |           |          |                   |
| Stort asbestafval, Duitsland 2   |           | onbekend              |              | 1987         | AC                        | spuitasbest  | isolatie     | ca. 100.000                    |       |                  |        |            |                       |           |          |                   |
| Asbestweg, Diepenheim 1          | 1000      | verhardingslaag       |              | apr/mei 1985 | draaisel                  |              |              | 10.000-1.000.000               |       | 10.000-1.000.000 |        | ja         | ja                    |           | asbest   | veldvochtig       |
| Asbestweg, Diepenheim 2          | 1000      | verhardingslaag       |              | apr/mei 1985 | draaisel                  |              |              | 10.000-1.000.000               |       | 10.000-1.000.000 |        | ja         | ja                    |           | asbest   | veldvochtig       |
| Asbestweg, Diepenheim 3          | 1000      | verhardingslaag       |              | mei/sep 1996 | draaisel                  |              |              | 10.000-1.000.000               |       | 10.000-1.000.000 |        | ja         | ja                    |           | asbest   | droog             |
| Asbestweg, Diepenheim 4          | 1000      | verhardingslaag       |              | mei/sep 1996 | draaisel                  |              |              | 10.000-1.000.000               |       | 10.000-1.000.000 |        | ja         | ja                    |           | asbest   | droog             |
| Asbestweg, Diepenheim 5          | 1000      | verhardingslaag       |              | 1985         | draaisel                  |              |              | 10.000-1.000.000               |       | 10.000-1.000.000 |        | ja         | ja                    |           | asbest   | droog             |
| Asbestweg, Diepenheim 6          | 800       | verhardingslaag       |              | 1985         | AC                        |              |              | 10.000-1.000.000               |       | 10.000-1.000.000 |        | ja         | ja                    |           | asbest   | droog             |
| Asbestweg, Diepenheim 7          | 200       | verhardingslaag       |              | 1985         | draaisel                  |              |              | 10.000-1.000.000               |       | 10.000-1.000.000 |        | ja         | ja                    |           | asbest   | droog             |
| Asbeststerven, Goor 1            |           | verhardingslaag       |              | 2000         | pulp                      | draaisel     | AC           | 10.000-1.000.000               |       | 10.000-1.000.000 |        | ja         | ja                    |           | asbest   | veldvochtig       |
| Asbeststerven, Goor 2            |           | vloer van schuur      |              | 2000         | pulp                      | draaisel     |              | 10.000-1.000.000               |       | 10.000-1.000.000 |        | ja         | ja                    |           | asbest   | droog/veldvochtig |
| Ruinbreker, Almelo               |           | depot                 |              | 1998         | AC                        |              |              | 5-10                           | 5-10  |                  |        | 5-10       | <1                    |           | puin     | droog/veldvochtig |
| TNO-simulatie 1                  | 1         | labsimulatie          |              | 2001         | verkuimeld zachtboard     | vezelbundels |              | 2                              |       | 2                | 0,06   |            | 0,5                   | 1,5       | zand     | 0%                |
| TNO-simulatie 2                  | 1         | labsimulatie          |              | 2001         | verkuimeld zachtboard     | vezelbundels |              | 7                              |       | 7                | 0,2    |            | 2                     | 5         | zand     | 0%                |
| TNO-simulatie 3                  | 1         | labsimulatie          |              | 2001         | verkuimeld zachtboard     | vezelbundels |              | 7                              |       | 7                | 0,2    |            | 2                     | 5         | zand     | 0%                |
| TNO-simulatie 4                  | 1         | labsimulatie          |              | 2001         | verkuimeld zachtboard     | vezelbundels |              | 70                             |       | 70               | 2,1    |            | 20                    | 50        | zand     | 0%                |
| TNO-simulatie 5                  | 1         | labsimulatie          |              | 2001         | verkuimeld zachtboard     | vezelbundels |              | 70                             |       | 70               | 2,1    |            | 20                    | 50        | zand     | 0%                |
| TNO-simulatie 6                  | 1         | labsimulatie          |              | 2001         | verkuimeld zachtboard     | vezelbundels |              | 70                             |       | 70               | 2,1    |            | 20                    | 50        | zand     | 0%                |
| TNO-simulatie 7                  | 1         | labsimulatie          |              | 2001         | verkuimeld zachtboard     | vezelbundels |              | 70                             |       | 70               | 2,1    |            | 20                    | 50        | zand     | 5%                |
| TNO-simulatie 8                  | 1         | labsimulatie          |              | 2001         | verkuimeld zachtboard     | vezelbundels |              | 70                             |       | 70               | 2,1    |            | 20                    | 50        | zand     | 10%               |
| TNO-simulatie 9                  | 1         | labsimulatie          |              | 2001         | verkuimeld zachtboard     | vezelbundels |              | 70                             |       | 70               | 2,1    |            | 20                    | 50        | zand     | 5%                |



| Locatie                          |            | Weerscondities |            | Activiteiten          |  | Meetcondities |             | Aantal metingen | Analyse methode | Asbestvezelconcentratie | Vezeltypen |        |                |                   |                    |
|----------------------------------|------------|----------------|------------|-----------------------|--|---------------|-------------|-----------------|-----------------|-------------------------|------------|--------|----------------|-------------------|--------------------|
| Naam                             | temp. (°C) | weer           | wind       | opmerkingen           | activiteit1                                  | activiteit2   | Activiteit3 | type meting     | afstand(mtr)    | tijd (uur)              | vezels/m3  | veg/m3 | type 1         | type 2            | type 3             |
| Fabriekshal Schijf               | 10-15      | droog          | matig      | 2 dagen ervoor droog  | minimaal, lopen, 1 persoon                   |               |             | stationair      | 0-5             | 4                       | 3          | SEM    | <260           |                   |                    |
|                                  | 10-15      | droog          | matig      | 2 dagen ervoor droog  | minimaal, lopen, 1 persoon                   |               |             | stationair      | 5-20            | 4                       | 2          | SEM    | <290           |                   |                    |
| Gronddepot Osdorp 1              | 20         | droog          |            |                       | simulatie activiteit mbv ventilator (3-4m/s) |               |             | stationair      | 0               | 4                       | 1          | SEM    | <330           |                   |                    |
| Gronddepot Osdorp 2              | 20         | droog          |            |                       | simulatie activiteit mbv ventilator (3-4m/s) |               |             | stationair      | 0               | 4                       | 1          | SEM    | 90 (2-510)     | 1000 (120-3700)   | amosiet            |
| Gronddepot Osdorp 3              | 20         | droog          |            |                       | simulatie activiteit mbv ventilator (3-4m/s) |               |             | stationair      | 0               | 4                       | 1          | SEM    | <270           |                   |                    |
| Woonwijk Goor 1                  | 0-5        | droog          | matig      | 2 dagen ervoor droog  | minimaal, lopen, 1 persoon                   |               |             | stationair      | 0               | 4                       | 1          | SEM    | <280           |                   |                    |
| Woonwijk Goor 2                  | 0-5        | droog          | matig      | 2 dagen ervoor droog  | minimaal, lopen, 1 persoon                   |               |             | stationair      | 0               | 4                       | 1          | SEM    | <250           |                   |                    |
| Woonwijk Goor 3                  | 20         | droog          |            |                       | simulatie activiteit mbv ventilator (2-3m/s) |               |             | stationair      | 0               | 4                       | 1          | SEM    | <270           |                   |                    |
| Speelsterrein IJmuiden           |            | droog/zonnig   | matig      |                       | graven                                       | monstername   |             | stationair      | 10-50           | 2                       | 4          | LM     | <10.000        |                   |                    |
| Terrein Klarendal                |            | droog/zonnig   | matig      |                       | storten                                      | mech.bewerken | Monstername | stationair      | 0               | 2                       | 4          | LM     | <1000          |                   |                    |
| Terrein Klarendal                |            | droog/zonnig   | matig      |                       | storten                                      | mech.bewerken | Monstername | stationair      | 0-10            | 2                       | 3          | SEM    | <900           |                   |                    |
| Terrein Klarendal                |            | droog/zonnig   | matig      |                       | storten                                      | mech.bewerken | Monstername | stationair      | 10-80           | 2                       | 3          | LM     | <7000          |                   |                    |
| Parkeerterrein Beuningen         |            | droog          | matig      | 2 dagen ervoor droog  | minimaal, lopen, 1 persoon                   |               |             | stationair      | 0               | 4                       | 3          | SEM    | <270           |                   |                    |
| Depots Arnhem 1                  |            |                |            |                       | verplaatsen                                  | monstername   |             | stationair      | op lokale       | 2                       | 6          | LM     | <10.000        |                   |                    |
| Depots Arnhem 2                  |            |                |            |                       | verplaatsen                                  |               |             | stationair      | op lokale       | 2                       | 18         | LM/SEM | <1000          |                   |                    |
| Hedemanterrrein Almelo 1         | 5-10       | droog          |            | hoge luchtvochtigheid | graven                                       |               |             | stationair      | 5-50            | 1                       | 10         | LM/SEM | <520           |                   |                    |
| Hedemanterrrein Almelo 2         | 5-10       | droog          |            | hoge luchtvochtigheid | graven                                       |               |             | stationair      | 5-50            | 1                       | 10         | LM/SEM | <410           |                   |                    |
| Hedemanterrrein Almelo 3         | 5-10       | droog          |            | hoge luchtvochtigheid | graven                                       |               |             | stationair      | 5-50            | 1                       | 9          | LM/SEM | <530           |                   |                    |
| Partij puin Voordrempt 1         |            | droog/zonnig   | matig      |                       | storten                                      | breken        |             | stationair      | 5               | 3                       | 2          | SEM    | <380           |                   |                    |
| Partij puin Voordrempt 2         |            | droog/zonnig   | matig      |                       | storten                                      | breken        |             | PAS(shovel)     |                 | 3                       | 1          | SEM    | <380           |                   |                    |
| Partij puin Emmeloord            |            | droog          | zwak       |                       | storten                                      | uitspreiden   | Lossen      | stationair      | 2-5             | 4                       | 4          | SEM    | <300           |                   |                    |
| Industrieterrein Amsterdam 1     |            | droog          |            |                       | graven                                       | saneren       | Storten     | stationair      | 5-50            | 2                       | 15         | SEM    | <1000          |                   |                    |
| Industrieterrein Amsterdam 2     |            | droog/zonnig   | zwak       |                       | graven                                       | saneren       | Storten     | stationair      | 5-50            | 2                       | 5          | SEM    | 2000-3000      | 1740-3470         | amosiet chrysotiel |
| Industrieterrein Amsterdam 3     |            | droog          |            |                       | graven                                       | saneren       | Storten     | stationair      | 5-50            | 2                       | 13         | SEM    | <1000          |                   |                    |
| Baggerspecie                     |            | droog          | zwak-matig |                       | graven                                       | storten       | Verplaatsen | stationair      | 5               | 2                       | >1         | LM     | <1000          |                   |                    |
| Partijen grond Wieringermeer 1   |            | droog-regen    | zwak-matig |                       | storten                                      |               |             | stationair      | 10              |                         | 27         | SEM    | <2000          |                   |                    |
| Partijen grond Wieringermeer 2   |            | droog-regen    | zwak-matig |                       | storten                                      |               |             | PAS             | 0               |                         | 27         | SEM    | <2000          |                   |                    |
| Partijen grond Rotterdam         |            |                |            |                       | storten                                      |               |             | stationair      |                 |                         | 300        | LM/SEM | <10.000 (<200) |                   |                    |
| Asbestweg Gemert                 |            | regen          |            |                       | verplaatsen                                  |               |             | PAS(shovel)     | 0               | 2                       | 1          | LM     | <7000          |                   |                    |
| Puinpad De Mortel                |            | droog          |            |                       | verplaatsen                                  |               |             | PAS(shovel)     | 0               | 2                       | 1          | SEM    | <800           |                   |                    |
| Terrein Hendrik Ido-Ambacht      |            | droog          |            |                       | verplaatsen                                  |               |             | PAS(shovel)     | 0               | 2                       | 1          | SEM    | <900           |                   |                    |
| Terrein Rotterdam                |            | droog          |            |                       | verplaatsen                                  |               |             | PAS(shovel)     | 0               | 2                       | 1          | SEM    | <800           |                   |                    |
| Terrein Den Haag                 |            | droog          |            |                       | verplaatsen                                  |               |             | PAS(shovel)     | 0               | 2                       | 1          | LM     | <7000          |                   |                    |
| Terrein Maastricht               |            | droog          |            |                       | verplaatsen                                  | mech.bewerken |             | PAS(shovel)     | 0               | 2                       | 1          | LM     | <7000          |                   |                    |
| Depot Steenberg                  |            |                |            |                       | monstername                                  |               |             | PAS(shovel)     | 0               | 2                       | 1          | LM     | <7000          |                   |                    |
| Depot grond, Brabant 1           |            | droog          | zwak       |                       | machinaal zeven                              |               |             | stationair      | 0-5             | 2                       | 3          | SEM    | <1000          |                   |                    |
| Depot grond, Brabant 2           |            | droog          | zwak       |                       | machinaal zeven                              |               |             | stationair      | 0-5             | 2                       | 3          | SEM    | <1000          |                   |                    |
| Depot zand, Lelystad 1           |            | droog          | zwak       |                       | machinaal zeven (sterrenzeef)                |               |             | stationair      | 0-5             | 2                       | 4          | LM/SEM | <500           |                   |                    |
| Depot klei, Lelystad 2           |            | droog-regen    | zwak       |                       | machinaal zeven (sterrenzeef)                |               |             | stationair      | 0-5             | 2                       | 4          | LM/SEM | <350           |                   |                    |
| Depot puinh. grond, Utrecht      |            | droog          | zwak       |                       | machinaal zeven (sterrenzeef)                |               |             | stationair      | 0-5             | 4-8                     | 3          | SEM    | <140           |                   |                    |
| Woonwagenterrein, IJoods, Zoelen | 10         | droog, binnen  | n.v.t.     | Luchtvochtigheid 48%  | Aanhangen en lopen                           |               |             | stationair      | 0               | 1,5                     | 2          | SEM    | 440 (100-1500) | 4400 (1000-15000) | amosiet            |

| Locatie                      | Weerscondities |           | Locatie                               | Activiteiten  |                 | Meetcondities   |                | Aantal metingen | Analyse methode | Asbestvezelconcentratie |                                 | Vezeltypen          |                        |
|------------------------------|----------------|-----------|---------------------------------------|---|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------|------------------------|
|                              | temp. (°C)     | weer      |                                       | activiteit1   | activiteit2     | Activiteit3     | type meting    | afstand(mtr)    | tijd (uur)      | vezels/m3               | veq/m3                          | type 1              | type 2 type 3          |
| Naam                         | 20             | droog     | Monster zand, Apeldoorn               | zeven   |                 |                 | stationair     | 0               | 2               | SEM                     | <920                            |                     |                        |
| Reinigingsdepot, Amsterdam 1 |                |           |                                       | zeven   | Transport       |                 | stationair     | 0               |                 | LM/SEM                  | <2000                           |                     |                        |
| Reinigingsdepot, Amsterdam 2 |                |           | vochtige condities<br>natte condities | natte reiniging                                       |                 |                 | stationair     | 0               | 4               | LM                      | <10.000                         |                     |                        |
| Reinigingsdepot, Waalwijk 1  |                |           |                                       | zeven   | natte reiniging |                 | stationair/PAS | 0               |                 | LM                      | <10.000                         |                     |                        |
| Reinigingsdepot, Waalwijk 2  |                |           |                                       | zeven   | natte reiniging |                 | stationair/PAS | 0               |                 | LM                      | <10.000                         |                     |                        |
| Reinigingsdepot, Waalwijk 3  |                |           |                                       | zeven   | natte reiniging |                 | stationair/PAS | 0               | 6               | LM                      | <10.000                         |                     |                        |
| Woonwijk, Lelystad           | vnl. droog     | zwakmatig | wisselende condities                  | graven  | boren           | Inspectie/lopen | stationair     | 0-5             | 40              | LM                      | <1000                           |                     |                        |
| Woonwijk, Lissebroek         | droog/zonnig   | matig     | 3 dagen ervoor droog                  | geen activiteit                                       |                 |                 | stationair     | 0-5             | 3               | SEM                     | <260                            |                     |                        |
| Depot, Zwijndrecht           |                |           |                                       | graven  | monsterneming   | Inspectie/lopen | stationair     | 0-5             | 6               | LM/SEM                  | <1000                           |                     |                        |
| Asbestdump, New Jersey, NVR1 | droog          |           |                                       | graven  | boren           |                 | stationair     | 5-50            | 27              | LM                      | <500-4000                       | amosiet             | crocidoliet chrysotiel |
| Asbestdump, New Jersey, NVR2 | droog          |           |                                       | graven  | boren           |                 | PAS            | 0               | 27              | LM                      | 10.000-34.000                   | amosiet             | crocidoliet chrysotiel |
| Asbestdump, New Jersey, WBR1 | droog          |           |                                       | graven  | boren           |                 | stationair     | 5-50            | 14              | LM                      | <300-1000                       | amosiet             | crocidoliet chrysotiel |
| Asbestdump, New Jersey, WBR2 | droog          |           |                                       | graven  | boren           |                 | PAS            | 0               | 15              | LM                      | 3.000-8.500                     | amosiet             | crocidoliet chrysotiel |
| Ringdijk, South Bay 1        | droog/zonnig   |           |                                       | simulatie: ventilator, schrapen, scheppen,            |                 |                 | stationair     | 0               | >1              | LM                      | max. 10.000.000                 | chrysotiel          |                        |
| Ringdijk, South Bay 2        | droog/zonnig   |           |                                       | simulatie: scheppen                                   |                 |                 | PAS            | 0               | >1              | LM                      | max. 1.000.000                  | chrysotiel          |                        |
| Ringdijk, South Bay 3        | droog/zonnig   |           |                                       | simulatie: speelactiviteiten                          |                 |                 | PAS            | 0               | >1              | LM                      | max. 1.000.000                  | chrysotiel          |                        |
| Afvalstortplaats, Duitsland  | droog          |           |                                       | simulatie: graven, ploegen, storten                   |                 |                 | stationair     | 0               | 10              | SEM                     | 3.900 (<300-14300 (<300-77.800) | amosiet             | crocidoliet chrysotiel |
| Stortplaats huisafval, Dld   |                |           |                                       | stortactiviteiten                                     |                 |                 | stationair     | 0               | >1              | SEM                     | <500-39700                      | amosiet             | crocidoliet chrysotiel |
| Stortplaats BSA, Duitsland   |                |           |                                       | stortactiviteiten                                     |                 |                 | stationair     | 0               | >1              | SEM                     | 530-7590                        | amosiet             | crocidoliet chrysotiel |
| Omgeving stortplaatsen, Dld  |                |           |                                       | stortactiviteiten                                     |                 | omgeving        | stationair     |                 | >1              | SEM                     | 100-900                         | amosiet             | crocidoliet chrysotiel |
| stort asbestafval, Dld 1     |                |           |                                       | storten asbesthoudend                                 |                 |                 | stationair     | 110             | >1              | SEM                     | 10000                           | amosiet             | crocidoliet chrysotiel |
| stort asbestafval, Dld 2     |                |           |                                       | storten asbesthoudend                                 |                 |                 | stationair     | 60              | >1              | SEM                     | 40000                           | amosiet             | crocidoliet chrysotiel |
| Asbestweg, Diepenheim 1      | vochtig        |           |                                       | rijden  |                 |                 | stationair     | 0-5             | 1               | TEM                     | <450                            |                     |                        |
| Asbestweg, Diepenheim 2      | vochtig        |           |                                       | rijden  |                 |                 | stationair     | 100             | 1               | TEM                     | <450                            |                     |                        |
| Asbestweg, Diepenheim 3      | droog/zonnig   |           |                                       | rijden  |                 |                 | stationair     | 0-5             | 1               | TEM                     | 120-2400                        | 120-18.000          | chrysotiel crocidoliet |
| Asbestweg, Diepenheim 4      | droog/zonnig   |           |                                       | rijden  |                 |                 | stationair     | 100             | 1               | TEM                     | <50-160                         | <50-700             | chrysotiel crocidoliet |
| Asbestweg, Diepenheim 5      | droog/zonnig   |           |                                       | simulatie: rijden                                     |                 |                 | PAS(auto)      | 0               | 0.5-2           | SEM                     | 35.000-80.000                   | 170.000-350.000     | chrysotiel crocidoliet |
| Asbestweg, Diepenheim 6      | droog/zonnig   |           |                                       | simulatie: rijden                                     |                 |                 | PAS(auto)      | 0               | 0.5-2           | SEM                     | <500-5000                       | <500-5000           | chrysotiel             |
| Asbestweg, Diepenheim 7      | droog/zonnig   |           |                                       | simulatie: rijden                                     |                 |                 | PAS(auto)      | 0               | 0.5-2           | SEM                     | 6.000-35.000                    | 24.000-125.000      | chrysotiel crocidoliet |
| Asbesterven, Goor 1          | droog/zonnig   | zwak      |                                       | weinig-geen activiteit                                |                 |                 | stationair     | 0               | 4               | SEM                     | <250                            |                     |                        |
| Asbesterven, Goor 2          | droog          |           |                                       | 1 keer berijden met tractor                           |                 |                 | stationair     | 0               | 2               | SEM                     | 2.400                           | 13.000              | chrysotiel crocidoliet |
| Puinbreker, Almelo           | droog          | zwak      |                                       | simulatie: breken m.b.v. puinbreker                   |                 |                 | stationair     | 0               | 2               | SEM                     | <1.000                          |                     |                        |
| TNO-simulatie 1              | 20             | droog     |                                       | simulatie: activiteit m.b.v. ventilator (3-4 m/s)     |                 |                 | stationair     | 0               | 2               | SEM                     | <570                            |                     |                        |
| TNO-simulatie 2              | 20             | droog     |                                       | weinig-geen activiteit                                |                 |                 | stationair     | 0               | 2               | SEM                     | <570                            |                     |                        |
| TNO-simulatie 3              | 20             | droog     |                                       | simulatie: activiteit m.b.v. ventilator (3-4 m/s)     |                 |                 | stationair     | 0               | 2               | SEM                     | 230 (<570-470)                  | 2320 (<570-4740)    | amosiet                |
| TNO-simulatie 4              | 20             | droog     |                                       | weinig-geen activiteit                                |                 |                 | stationair     | 0               | 2               | SEM                     | <570                            |                     |                        |
| TNO-simulatie 5              | 20             | droog     |                                       | simulatie: activiteit m.b.v. ventilator (2,5-3,5 m/s) |                 |                 | stationair     | 0               | 2               | SEM                     | 2720 (2280-3040)                | 24300 (17600-28500) | amosiet chrysotiel     |
| TNO-simulatie 6              | 20             | droog     |                                       | simulatie: activiteit m.b.v. ventilator (3-4 m/s)     |                 |                 | stationair     | 0               | 2               | SEM                     | 8720 (6830-10600)               | 78200 (61500-96000) | amosiet chrysotiel     |
| TNO-simulatie 7              | 20             | droog     |                                       | simulatie: activiteit m.b.v. ventilator (2,5-3,5 m/s) |                 |                 | stationair     | 0               | 2               | SEM                     | 95 (<570-190)                   | 950 (<570-1900)     | amosiet                |
| TNO-simulatie 8              | 20             | droog     |                                       | simulatie: activiteit m.b.v. ventilator (2,5-3,5 m/s) |                 |                 | stationair     | 0               | 2               | SEM                     | <570                            |                     |                        |
| TNO-simulatie 9              | 20             | droog     |                                       | simulatie: activiteit m.b.v. ventilator (3-4 m/s)     |                 |                 | stationair     | 0               | 2               | SEM                     | 95 (<570-190)                   | 950 (<570-1900)     | amosiet                |