

RIVM rapport 610050009/2002

**Normering van detectie van radioactief schroot  
met poortdetectoren**

De mogelijkheden in Nederland

MJM Proppers, RMW Overwater en RO Blauboer

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directoraat Generaal Milieubeheer, Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling, in het kader van project M/610050/01 ‘Beleidsondersteuning niet-ioniserende en ioniserende straling’, mijlpaal ‘diverse ondersteuning’.

## Abstract

Reports of the Inspectorate of the Dutch Ministry of the Environment (VROM) show an increase in recent years in the number of reports by scrap dealers of truckloads of scrap showing an increased radiation level. Reacting to this situation, the Dutch government has taken action by means of an administrative measure to make equipment for detection of scrap metal contaminated with radioactivity compulsory. In the Ministerial regulation associated with the administrative measure further requirements will be stipulated for the sensitivity, reproducibility and reliability of the equipment. In a very short time RIVM has succeeded in carrying out a study on the options for standardising the detection of radioactive scrap with the use of gateway detectors.

Several options for standardising the detection of radioactive scrap using gateway detectors emerged from the study. The detection limit, expressed in terms of the ambient dose equivalent rate, is the quantity upon which a limit may be imposed.

From calculations of the ambient dose equivalent rate, which can be expected for contaminated scrap under various circumstances, it was found that situations could occur in which it is difficult to discriminate between increased and background radiation levels.

The detection limit depends on the integration time during measuring, which, because of the driving speed of the truck, must not be too long. For this reason it is also advisable to limit the speed of the truck in combination with the integration time.

Sounding the alarm should be based on the background level during the period that the detector is shielded by the truck. Setting a value for the alarm level requires more detailed data on the set-up and mathematical algorithms of the detectors. Since these data are not available for all the detectors in use in the Netherlands, it is recommended to have the Nederlands Normalisatie-instituut switch to formally standardising the detection procedure with gateway detectors. Once the standard has been established, it can be stipulated in the government regulations.

# Inhoud

## **Samenvatting 4**

### **1 Inleiding 5**

1.1 Aanleiding en vraagstelling 5

1.2 Afbakening en werkwijze 5

### **2 Poortdetectoren in Nederland 7**

2.1 Inleiding 7

2.2 Diverse typen poortdetectoren 7

2.3 Principe van de meting 7

2.4 Wat is een significante verhoging? 9

2.5 Informatie uit andere rapportages 11

2.6 Conclusies 11

### **3 Berekeningen 12**

3.1 Doel van de berekeningen 12

3.2 Rekenmodel MARMER 12

3.3 Onderscheiden situaties 13

3.4 Gevarieerde parameters 14

3.5 Resultaten 16

3.6 Conclusies 22

### **4 Mogelijke eisen aan een poortdetector 23**

4.1 Detectielimiet en alarmniveau 23

4.2 Conclusies 25

### **5 Handhaafbaarheid 26**

### **6 Conclusies en aanbeveling 27**

### **Referenties 28**

### **Bijlage 1 Verzendlijst 29**

## Samenvatting

Uit rapporten van de Inspectie Milieuhygiëne van het ministerie van VROM blijkt dat de laatste jaren sprake is van een stijging van het aantal meldingen door schrootbedrijven van ladingen schroot met een verhoogd stralingsniveau. Als reactie daarop gaat de Nederlandse overheid via een algemene maatregel van bestuur apparatuur voor detectie van radioactief besmet metaalschroot verplicht stellen. In de ministeriële regeling die bij het besluit zal gaan horen, zullen nadere eisen aan ondermeer de gevoeligheid, reproduceerbaarheid en betrouwbaarheid van de detectieapparatuur worden gesteld. RIVM heeft in zeer korte tijd een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden voor een normering voor detectie van radioactief schroot met poortdetectoren.

Er bestaan mogelijkheden om de detectie van radioactief schroot met poortdetectoren te normeren. De grootheid waaraan dan een grens zou kunnen worden opgelegd, is de detectielimiet uitgedrukt in het omgevingsdosisequivalenttempo.

Uit berekeningen van het omgevingsdosisequivalenttempo dat in diverse situaties van besmet schroot verwacht kan worden, blijkt dat er zich situaties kunnen voordoen waarin het onderscheiden van de verhoging en de achtergrond problematisch is.

De detectielimiet is afhankelijk van de integratietijd tijdens de meting. Deze integratietijd mag echter niet te lang zijn in verband met de rijsnelheid van de vrachtauto. Het is daarom ook wenselijk om eisen te stellen aan de rijsnelheid in combinatie met de integratietijd.

Alarming zou moeten plaatsvinden ten opzichte van de door de vrachtauto en de lading schroot afgeschermd achtergrond. Om te komen tot een waarde voor het alarmniveau moeten detailgegevens over de instelling en het rekenalgoritme van de detectoren bekend worden. Deze gegevens zijn nu niet voor alle typen detectoren, die in Nederland in gebruik zijn, beschikbaar. Daarom wordt geadviseerd om over te gaan tot normering van de detectie met poortdetectoren door het Nederlands Normalisatie-instituut. Na het tot stand komen van de norm kan deze door de overheid in regelgeving worden aangewezen.

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en vraagstelling

Uit rapporten van de Inspectie Milieuhygiëne van VORM blijkt dat de laatste jaren sprake is van een stijging van het aantal meldingen door schrootbedrijven van ladingen schroot met een verhoogd stralingsniveau [1, 2]. In reactie daarop zal de Nederlandse overheid apparatuur voor detectie van radioactief besmet metaalschroot - in vervolg aan te duiden met ‘radioactief schroot’ - voor bepaalde categorieën van bedrijven verplicht gaan stellen. Het ontwerp van het ‘Besluit detectie radioactief schroot’ is inmiddels in de Staatscourant gepubliceerd [3].

De nota van toelichting bij het besluit maakt melding van drie typen besmetting in schroot: een oppervlaktebesmetting, een volumebesmetting en de aanwezigheid van een ingekapselde bron. De drie belangrijkste schrootsoorten die tot meldingen hebben geleid en waartoe het besluit zich beperkt, zijn roestvrij-staalschroot (RVS schroot), aluminiumschroot (Al schroot) en oud-ijzerschroot (ferroschroot). Het besluit is van toepassing op bedrijven die een bepaalde omzet, uitgedrukt in tonnen schroot per jaar, overschrijden.

Uit de onderzoeken die ter voorbereiding van het besluit door ondermeer de Röntgen Technische Dienst (RTD) zijn uitgevoerd [4, 5], heeft de overheid geconcludeerd dat poortdetectie voor het meten van schroot dat per as, dat wil zeggen per container via de weg of per spoor, wordt vervoerd, het meest geschikt is. Volgens de toelichting bij het ontwerpbesluit beschikte eind 2000 reeds ongeveer 75% van de bedrijven die vermoedelijk onder het besluit zullen vallen, over een poortdetector [3].

In de ministeriële regeling die bij het besluit zal gaan horen, zullen nadere eisen aan ondermeer de gevoeligheid, reproduceerbaarheid en betrouwbaarheid van de detectieapparatuur worden gesteld. Tevens zal in de regeling een testprotocol voor poortdetectoren opgenomen worden aangezien algemene eisen lastig te formuleren zijn voor verschillende typen poortdetectoren.

In het RIVM-onderzoek is de volgende vraagstelling gehanteerd:

- a Kan er een normering voor detectie van radioactief schroot met poortdetectoren worden ontwikkeld? Zo ja, aan welke grootheid zou dan een grens moeten worden opgelegd?
- b Welke waarde kan onder zekere omstandigheden aan deze grens worden toegekend?

## 1.2 Afbakening en werkwijze

In het onderzoek is alleen detectie met poortdetectoren aan weerszijden van de mogelijk besmette lading beschouwd. Met dergelijke detectoren is het alleen mogelijk om gammastraling te detecteren. Bronnen die uitsluitend bètastraling uitzenden, zijn met een poortdetector wel indirect te detecteren, namelijk via remstraling die ontstaat bij het afremmen van de bètadeeltjes (zie bijvoorbeeld Figuur 9 in paragraaf 3.5). Daarentegen zijn bronnen die uitsluitend alfastraling uitzenden met een poortdetector niet te detecteren. Handmonitoren en monitoren aan de grijper van een kraan waarmee bijvoorbeeld schepen worden gelost, blijven buiten beschouwing.

Een belangrijke eis van de opdrachtgever was dat het onderzoek binnen enkele maanden gereed zou zijn.

Een belangrijke wens van de opdrachtgever is dat de normering met de apparatuur die momenteel bij de diverse schrootbedrijven in gebruik is, eenvoudig toe te passen is.

Op 30 augustus 2001 nam DGM contact op met het Laboratorium voor Stralingsonderzoek van RIVM met de vraag om ondersteuning bij de planning van een ringonderzoek onder poortdetectoren bij schroothandelaren en bij de statistische analyses van de gegevens na uitvoering (door derden) van het ringonderzoek. Op 3 september 2001 meldde DGM dat er vóór een dergelijk ringonderzoek behoefte was aan een advies over de ‘normering voor poortdetectoren in het algemeen’ en ‘hoe de eventueel op te leggen grens zou kunnen worden gehandhaafd’. Het ringonderzoek zal later worden uitgevoerd, mogelijk in het kader van of als voorbereiding op de evaluatie die over twee jaar zal worden uitgevoerd.

Het voorliggende rapport bevat de diverse aspecten waarop de normering van poortdetectoren zich zou moeten richten. Eerst wordt ingegaan op poortdetectoren in het algemeen en op diverse aspecten van het meten met poortdetectoren in Nederland (hoofdstuk 2). Vervolgens worden resultaten van berekeningen van het omgevingsdosisequivalenttempo in diverse situaties getoond en wordt het signaal dat in dergelijke situaties te verwachten is gesimuleerd (hoofdstuk 3). Tot slot volgen de beschrijving van de mogelijke eisen aan de poortdetectoren en de overwegingen rond de handhaafbaarheid van de eventueel op te leggen grens (hoofdstukken 4 en 5).

## 2 Poortdetectoren in Nederland

### 2.1 Inleiding

Om tegemoet te komen aan de wens van de opdrachtgever met betrekking tot de eenvoudige toepasbaarheid van de normering met de apparatuur die momenteel bij de diverse schrootbedrijven in Nederland in gebruik is, is eerst onderzocht welke apparatuur het betreft. Vervolgens is geanalyseerd hoe de detectie in detail plaatsvindt en welke grootheden daarbij een rol spelen.

### 2.2 Diverse typen poortdetectoren

De Röntgen Technische Dienst (RTD) heeft eind 2000 een inventarisatie gemaakt van de poortdetectoren die op de Nederlandse markt worden aangeboden [4]. De rapportage over deze inventarisatie vermeldt technische specificaties van de poortdetectoren die door de volgende fabrikanten worden geleverd: Bicron, Eberline (ESM), Eurisys, Exploranium en Rados. Fabrikant Rad/Comm wordt, aldus het RTD-rapport, in Nederland niet meer vertegenwoordigd, echter poortdetectoren van Rad/Comm zijn nog wel in gebruik.

Uit gegevens afkomstig van de Inspectie Milieuhygiëne van VROM [6, 7] is afgeleid welke poortdetectoren tot eind mei 2001 bij bezochte schrootbedrijven zijn aangetroffen: zie Tabel 1. Van 49 bedrijven is bekend dat ze een poortdetector hebben; van 32 bedrijven zijn fabrikant en type bekend.

Tabel 1 Aantal bedrijven per type poortdetector

fabrikant	type	aantal schrootbedrijven met deze detector
Bicron	ASM 6000	9
Bicron	ASM 3000	1
Bicron	onbekend	3
Eberline	FHT 1388	4
Eberline	FHT 1100	1
Exploranium	GR 526	3
Exploranium	GR 510	1
Exploranium	GR 123	1
Rad/Comm	RC/2	7
Ronan	Interceptor 200	1
RADOS	RTM910	1
fabrikant en type onbekend		17
totaal		49

### 2.3 Principe van de meting

Een poortdetector bestaat uit minimaal twee (meestal plastic) scintillatiedetectoren die aan weerszijden van de ingang van het schrootbedrijf op een onderlinge afstand van circa 4,5 m zijn geplaatst (zie Figuur 1). De gammastraling veroorzaakt lichtpulsen in het scintillatiemateriaal die vervolgens worden omgezet in een spanningspuls. De hoogte van de spanningspuls is evenredig met de energie van de gammastraling. Het aantal geregistreerde pulsen per seconde (cps - counts per seconde) is een maat voor het omgevingsdosis-

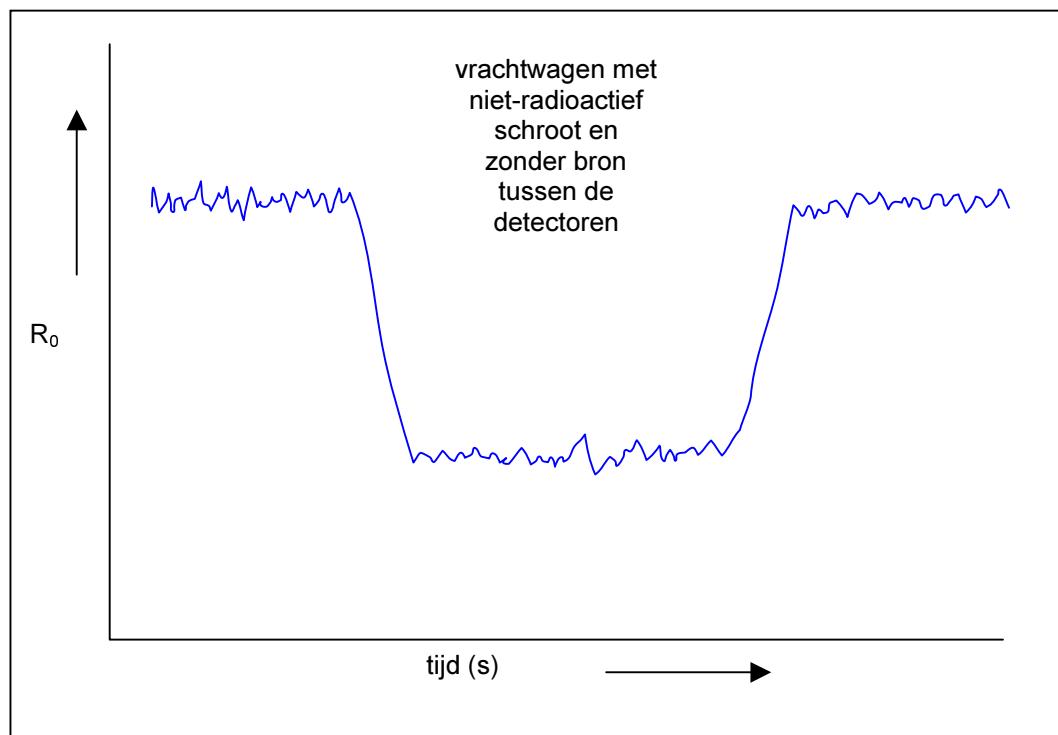
equivalenttempo,  $\dot{H}^*(10)$ , dat de bron van de gammastraling ter plaatse van de detector veroorzaakt.

Wanneer géén bron tussen de detectoren aanwezig is, zal alleen het achtergrond-dosisequivalenttempo (de ‘achtergrond’) afkomstig van kosmische straling en van de natuurlijke radionucliden in bodem en lucht ( $^{40}\text{K}$  en radionucliden behorende tot de  $^{238}\text{U}$ - en  $^{232}\text{Th}$ -reeksen) worden gemeten.

De achtergrond ter plaatse van de detector, die in Nederland tussen 40 en 100  $\text{nSv.h}^{-1}$  bedraagt, zorgt voor een nuleffect-teltempo  $R_0$ . Dit teltempo hangt af van de efficiëntie van de detector en van het wel of niet aanwezig zijn van de vrachtauto. De vrachtwagen zorgt immers voor afscherming van de achtergrond wanneer deze door de poortdetector rijdt (zie Figuur 2). Deze afscherming kan volgens Brenk Systemplanung [8] oplopen tot een verlaging van  $R_0$  met 50%. Deze verlaging is ondermeer afhankelijk van de afmetingen van de auto, de dichtheid en plaatsing van het schroot in de auto en de afstand van de auto tot de detector.



Figuur 1 Poortdetector van het type Bicron ASM 6000 III



*Figuur 2 Verlaging van het nuleffect-teltempo  $R_0$  als een vrachtwagen met niet-radioactief schroot door de poortdetector rijdt*

De kleinere fluctuaties in Figuur 2 zijn het gevolg van het statistische karakter van de meting en zijn niet het gevolg van werkelijke variaties in de achtergrond.

$R_0$  bedraagt zonder vrachtwagen en afhankelijk van het type detector dat is gebruikt, in de orde van 500 tot 2000 cps per scintillatiedetector. Met de statistische fluctuaties in  $R_0$  dient rekening te worden gehouden bij het betitelen van een verhoging ten opzichte van  $R_0$  als 'significante' verhoging veroorzaakt door een radioactieve besmetting.

De alarmniveaus zijn in de meeste gevallen afgeleid van de detectielimiet, maar zijn in sommige gevallen gegeven als vaste procentuele verhoging van het actuele achtergrondteltempo, dat verlaagd wordt als gevolg van afscherming door de auto en het (onbesmette) schroot. Het is niet bekend hoe in de praktijk dit actuele achtergrondteltempo wordt bepaald of mogelijk uit de onafgeschermden achtergrond wordt afgeleid.

Wanneer het ingestelde alarmniveau wordt overschreden, zal een signaleering (rode lamp, zoemer of iets dergelijks) in werking treden en wordt er in sommige gevallen een print van het gemeten teltempo gegenereerd.

## 2.4 Wat is een significante verhoging?

Allereerst enkele rekenvoorbeelden:

- *Rekenvoorbeeld 1*  
 $R_0 = 2000 \text{ cps}$   
 $t = \text{integratietijd van 1 seconde}$

Volgens ISO-11929 [9] is de detectielimiet bij een fout  $\alpha$  van de eerste orde (kans op ten onrechte aanmerken van achtergrond als zijnde een verhoging veroorzaakt door een besmetting) en een fout  $\beta$  van de tweede orde (kans op ten onrechte aanmerken van een verhoging veroorzaakt door een besmetting als zijnde achtergrond) gelijk aan:

$$DL = (k_{1-\alpha} + k_{1-\beta}) \sqrt{\frac{R_0}{t}}$$

Bij  $\alpha = \beta = 5\%$  wordt dit:

$$DL = (1,645 + 1,645) \sqrt{\frac{2000}{1}} = 147 \text{ cps}$$

Met andere woorden, als gedurende 1 seconde of langer het teltempo groter is dan 2147 cps, dan is de verhoging significant. Het rapport van de RTD [4] meldt voor de FHT 1388 van de firma Eberline een teltempo van 120 cps per  $\text{nSv.h}^{-1}$  voor het radionuclide  $^{137}\text{Cs}$  en 60 cps per  $\text{nSv.h}^{-1}$  voor het radionuclide  $^{60}\text{Co}$ . Het gaat hierbij om onverstrooide straling. Bij gebruik van de waarde voor de detectielimiet van 147 cps uit de berekening betekent het dat een verhoging van 1,2  $\text{nSv.h}^{-1}$  ( $^{137}\text{Cs}$ ) cq. 2,4  $\text{nSv.h}^{-1}$  ( $^{60}\text{Co}$ ) significant is.

- *Rekenvoorbeeld 2*

$$R_0 = 1000 \text{ cps}$$

$t$  = integratietijd van 1 seconde

$$\text{Bij } \alpha = \beta = 5\% \text{ wordt dit: } DL = (1,645 + 1,645) \sqrt{\frac{1000}{1}} = 104 \text{ cps}$$

Als ervan wordt uitgegaan dat het volume van de detector de helft is van het volume van de detector in rekenvoorbeeld 1 (de helft van het aantal counts), dan zal de gevoeligheid voor  $^{137}\text{Cs}$  ook zijn afgangen tot 60 cps per  $\text{nSv.h}^{-1}$ . Het resultaat is dat een verhoging van 1,7  $\text{nSv.h}^{-1}$  ( $^{137}\text{Cs}$ ) cq. 3,4  $\text{nSv.h}^{-1}$  ( $^{60}\text{Co}$ ) significant is.

- *Rekenvoorbeeld 3*

$$R_0 = 500 \text{ cps}$$

$t$  = integratietijd van 1 seconde

$$\text{Bij } \alpha = \beta = 5\% \text{ wordt dit: } DL = (1,645 + 1,645) \sqrt{\frac{500}{1}} = 74 \text{ cps}$$

Als ervan wordt uitgegaan dat het volume van de detector een kwart is van het volume van de detector in rekenvoorbeeld 1 (een kwart van het aantal counts), dan zal de gevoeligheid voor  $^{137}\text{Cs}$  ook zijn afgangen tot 30 cps per  $\text{nSv.h}^{-1}$ . Het resultaat is nu dat een verhoging van 2,4  $\text{nSv.h}^{-1}$  ( $^{137}\text{Cs}$ ) cq. 4,8  $\text{nSv.h}^{-1}$  ( $^{60}\text{Co}$ ) als significant wordt aangemerkt.

Een  $R_0$  van 2000 cps is typisch voor scintillatiedetectoren met een volume van circa 25 liter [4]. Dit zou betekenen dat een  $R_0$  van 500 cps karakteristiek is voor een scintillatiedetector met een totaalvolume van circa 6 liter (beide volumes komen in de praktijk voor). Hetgeen overeenkomt met een detectielimiet van circa 5  $\text{nSv.h}^{-1}$  voor  $^{60}\text{Co}$ .

Als gevolg van afscherming van de achtergrond door de auto en het (onbesmette) schroot wordt het achtergrondteltempo lager. Als hiermee geen rekening wordt gehouden en het alarmniveau wordt gebaseerd op de onafgeschermd achtergrond, zal een verhoging pas als significant worden aangemerkt als de verhoging ten minste zo groot is als het verschil tussen onafgeschermd en afgeschermd achtergrond.

## 2.5 Informatie uit andere rapportages

Eén van de conclusies van het rapport van Brenk Systemplanung over het meten van radioactief schroot [8] is, dat de detectielimiet voor het meten van vrachtauto's met schroot in de orde van  $5 \text{ nSv.h}^{-1}$  verhoging ten opzichte van de achtergrond ligt. De daarbij behorende activiteit is sterk afhankelijk van het radionuclide dat de verhoging heeft veroorzaakt en van de afscherming door het schroot en een eventuele bronhouder.

In 1999 is een onderzoek uitgevoerd naar de detectielimiet van een poortdetector voor verarmd uranium door de Röntgen Technische Dienst (RTD) in opdracht van de Arbeidsinspectie, regio Noordwest, te Amsterdam [10]. Een van de conclusies in dit rapport is dat de detectiegrens voor verarmd uranium circa  $5 \text{ nSv.h}^{-1}$  is.

In een pilotstudie naar de bewaking aan de grens in verband met smokkel van nucleair materiaal via onder andere poortdetectoren wordt een alarmdrempel van  $30 \text{ nSv.h}^{-1}$  vermeld (een verhoging van 15% ten opzichte van de achtergrond) [11]. Deze drempel geldt voor hooguit 1 vals alarm per 10.000 metingen ( $k_{1-\alpha} = 3,72$ ) bij een achtergrond van  $200 \text{ nSv.h}^{-1}$ . Dit komt overeen met een detectielimiet van circa  $8 \text{ nSv.h}^{-1}$  bij de in paragraaf 2.4 van dit rapport gedefinieerde detectielimiet voor een achtergrond van  $70 \text{ nSv.h}^{-1}$  en een vals alarm criterium van 5 per 100 metingen ( $k_{1-\alpha} = 1,645$ ).

RTD maakt in het rapport over poortdetectie [4] melding van een in april 2000 verschenen eerste draft-versie van een rapport over management van radioactief schroot [12]. Hierin wordt voorgesteld om een alarmniveau van 3 tot  $10 \text{ nSv.h}^{-1}$  te hanteren bij hooguit 1 tot 10 valse alarmen per 10.000 metingen.

## 2.6 Conclusies

Momenteel zijn er diverse typen poortdetectoren in Nederland in gebruik. Elk type detectorsysteem heeft zijn eigen karakteristieken, met bijbehorende alarmniveaus. Het gemeten teltempo wordt vergeleken met een alarmniveau dat is afgeleid van het achtergrondniveau. De alarmniveaus zijn in de meeste gevallen gebaseerd op de hiervoor genoemde definitie van de detectielimiet, maar zijn in sommige gevallen gegeven als vaste procentuele verhoging van het actuele achtergrondteltempo. Om te beoordelen of een verhoging als gevolg van een besmetting significant is, is het nodig om uit te gaan van het door de lading schroot verlaagde actuele achtergrondniveau.

## 3 Berekeningen

Ter ondersteuning van de overwegingen die tot de norm moeten leiden, zijn er berekeningen uitgevoerd van het dosistempo dat in diverse situaties verwacht kan worden.

### 3.1 Doel van de berekeningen

Het doel van de berekeningen is om inzicht te krijgen in de invloed van diverse parameters op het omgevingsdosisequivalenttempo zonder dat uitgebreide metingen gedaan hoeven te worden. Met de resultaten van de berekeningen kan ook het verloop van het gemeten signaal, het teltempo, in de tijd worden gesimuleerd.

### 3.2 Rekenmodel MARMER

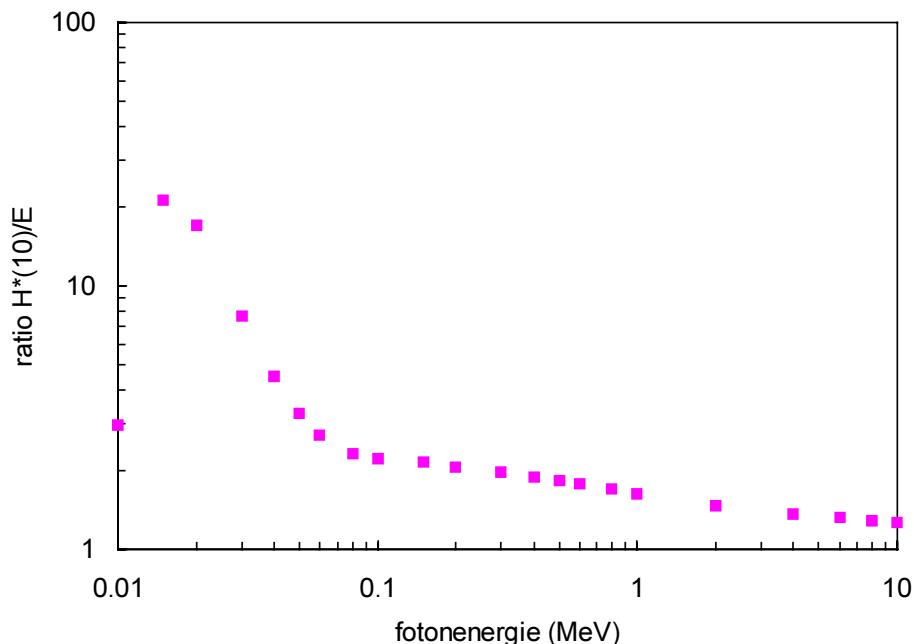
Het rekenmodel MARMER maakt gebruik van een zogenaamd point-kernel afschermingsmodel [13, 14, 15, 16, 17]. Het dosistempo  $D(r_d)$  door externe straling op een specifieke locatie  $d$  op een afstand  $r$  van de bron,  $r_d$ , wordt berekend met

$$D(\vec{r}_d) = \int_{V_s}^{\infty} \int_0^{\infty} B(Z, \sum_i (\mu_i(E) \cdot r_i), E) \cdot R(E) \cdot S_V(\vec{r}_s, E) \cdot \frac{exp(-\sum_i (\mu_i(E) \cdot r_i))}{4\pi (\sum_i r_i)^2} dEd\vec{r}_s$$

Het dosistempo door de niet-verstrooide straling wordt daarbij berekend met een kernel, een functie die het verband met de afstand  $r$  (tussen bron en dosislocatie) en de afschermende werking van de tussenliggende materie beschrijft. De bijdrage van de verstrooide straling wordt hierin verwerkt door een zogenaamde buildup factor  $B$ , die afhankelijk is van het atoomnummer  $Z$  van het afschermende materiaal  $i$ , de weglengte door het materiaal,  $r_i$  (tussen locaties  $\vec{r}_s$  en  $\vec{r}_d$ ), en de energie van de invallende niet-verstrooide straling,  $E$ .

De afscherming, door de tussenliggende materie, en verzwakking, door de ruimtelijke uitbreiding, is in de laatste factor (de breuk) ondergebracht. Overigens is het berekende dosistempo een functie van de sterkte van de bron,  $S_V$  (aantal gamma-emissies per seconde, volume eenheid en energie interval), die op haar beurt (bij inhomogene volume bronnen) weer functie is van locatie  $\vec{r}_s$  en energie  $E$ , en de aangenomen receptor respons,  $R(E)$ . De receptor kan een detector zijn in het geval van een gemodelleerde meting of de mens in het geval van een dosismodellering voor de mens. In de hier beschreven berekeningen is eerst de effectieve dosis voor de volwassen mens volgens ICRP-60 [18] bepaald. Vervolgens is het omgevingsdosisequivalent hieruit afgeleid door voor de achtergrond en voor verstrooide straling gebruik te maken van de benadering dat de verhouding tussen het omgevingsdosisequivalent  $H^*(10)$  en de effectieve dosis  $E$  ongeveer gelijk is aan 5/3: zie Figuur 3. Deze verhouding is afgeleid uit de tabellen A17 (conversie van kerma naar effectieve dosis) en A21 (conversie van kerma naar  $H^*(10)$ ) uit ICRP-74 [19].

Een bron, zoals bijvoorbeeld een stuk radioactief schroot of de bodem, zendt een breed energiespectrum uit. Voor die bron dient, zoals aangegeven, de point-kernel functie te worden geïntegreerd over het gehele volume  $V_s$  van de bron en over alle voor het specifieke radionuclide van belang zijnde gamma-energieën  $E$ .



Figuur 3 De verhouding tussen het omgevingsdosisequivalent en de effectieve dosis voor isotrope bestraling (afgeleid uit ICRP-74)

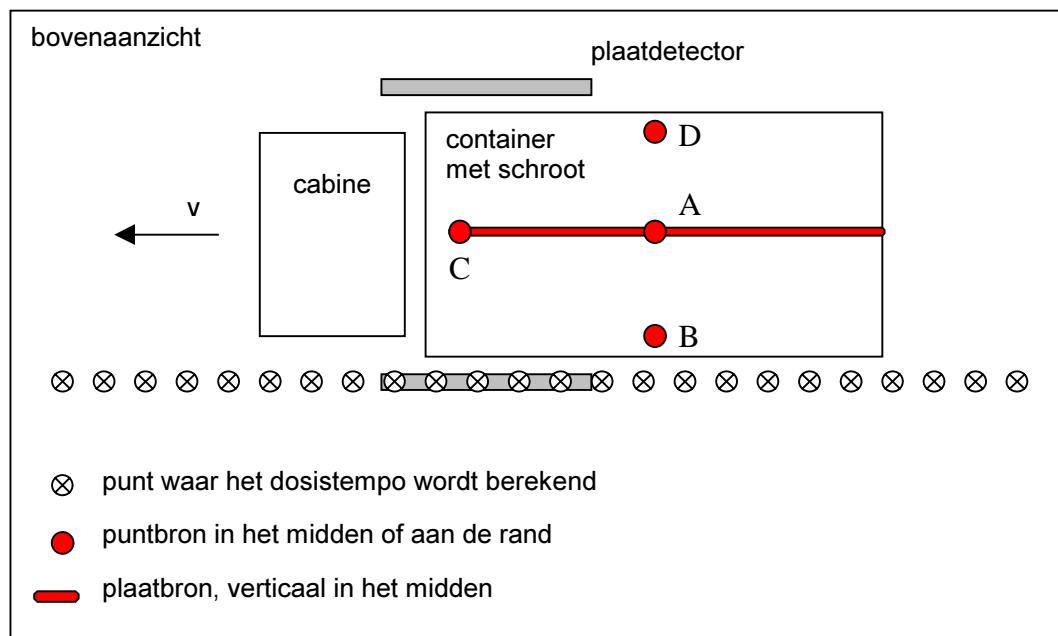
Het model is in eerste instantie ontwikkeld om berekeningen te doen aan afschermingen in bestralingsruimten en transportcontainers voor gebruikte brandstofstaven. Validatie van het model heeft vooral plaatsgevonden met meetdata van bestralingsfaciliteiten.

Sinds de ontwikkeling van MARMER zijn er wijzigingen in de definitie van de te hanteren dosis doorgevoerd. Daarom heeft RIVM een kalibratie van de resultaten van het model uitgevoerd [20]. De door MARMER gehanteerde dosis is namelijk gebaseerd op berekeningen met het DOSE programma uit de beginjaren tachtig [21], terwijl de hier gepresenteerde data via de effectieve dosis volgens ICRP-60 [18] zijn berekend.

### 3.3 Onderscheiden situaties

De situatie die is gemodelleerd, is in Figuur 4 weergegeven. Een auto met schrootcontainer rijdt met snelheid  $v$  van 1 tot 2 m.s<sup>-1</sup> (4 tot 7 km.h<sup>-1</sup>) tussen twee plaatdetectoren. Het gaat om het dosistempo ter plaatse van deze plaatdetectoren.

Ter simulatie van de werkelijkheid wordt echter niet het dosistempo berekend op de locatie van de detector met langsrijdende auto, maar juist het dosistempo op verschillende locaties ten opzichte van de vrachtwagen (zie puntenrij in Figuur 4). Voor een aantal locaties, beginnend op 10 m vóór de vrachtwagen tot 2,5 m er achter, wordt iedere 0,5 m het dosistempo berekend voor een hoogte van 2,25 m. Op deze hoogte bevindt zich ongeveer het midden van de gemodelleerde container.



Figuur 4 Situatieschets van een auto met schrootcontainer in een poortdetector

In de berekeningen is verder nog van de volgende aannamen en keuzen uitgegaan.

- 1 Tijdens de meting met een poortdetector schermen de auto, de container en het schroot de achtergrond deels af. Alleen de terrestrische straling wordt afgeschermd. De afscherming van kosmische straling wordt verwaarloosd, vooral vanwege de veel ‘hardere’ straling die nauwelijks wordt afgeschermd. Van de bodem aan de ‘achterzijde’ van de detector wordt aangenomen dat deze geen bijdrage levert aan het dosistempo, omdat de detector aan de achterzijde is voorzien van afscherming (lood). Overigens zou dit alleen een constante additionele dosisbijdrage leveren.
- 2 Het dosistempo wordt berekend op een reeks posities langs de auto. In een later stadium zijn de resultaten omgewerkt naar een meer realistische situatie waarbij de afmetingen (in de rijrichting) van de plaatdetector in rekening zijn gebracht.
- 3 De afmetingen van de container zijn constant gehouden: 6 meter lang, 2,5 m breed en 2,5 meter hoog. De afstand tussen de bodem en de onderkant van de container is op 1 m vastgesteld. De afstand tussen de plaatdetector en de zijwand van de container bedraagt 1 m.
- 4 Het geheel van vrachtwagencabine en container bevindt zich op een chassis van 10 cm dik ‘ijzer’.
- 5 De ijzeren wanden van de cabine en de container zijn 1 cm dik gekozen.

### 3.4 Gevarieerde parameters

Om een indruk te krijgen van de invloed van diverse parameters die het dosistempo bepalen, is een aantal situaties doorgerekend, namelijk:

- 1 De situatie zonder vrachtwagen en dus alleen achtergrond, waarbij de dikte van de bodemlaag is gevarieerd om vast te stellen hoe dik deze in de verder berekeningen moet zijn.
- 2 Een lege en een met schroot gevulde vrachtwagen zonder bron en het effect op de gemeten/berekende achtergrond.
- 3 Een lege vrachtwagen waarin wel een bron aanwezig is.
- 4 Een volle vrachtwagen waarin een bron aanwezig is.

Voor de positie van de bron in de container zijn de volgende mogelijkheden in beschouwing genomen (zie Figuur 4 voor het bovenaanzicht van de posities; in verticale richting is de positie constant op 2,25 m boven de grond gehouden).

- A In het midden van de container.
- B Tegen de binnenzijde van de wand van de container, aan de kant waar het dosistempo wordt berekend.
- C Tegen de binnenzijde van de wand die het dichtst bij de cabine is gelegen en wel in het midden van die wand.
- D Tegen de binnenzijde van de wand van de container, nabij de detector aan de tegenoverliggende zijde. Omdat in de praktijk meestal aan beide zijden een detector staat, is deze situatie strikt genomen gelijk aan situatie onder B. Echter, berekeningen voor deze positie geven een indruk van de mogelijke bijdrage aan het te meten signaal.

Als bronvorm zijn een puntbron (in alle posities A t/m D), een vierkante plaatbron die horizontaal of verticaal is georiënteerd (posities A t/m C) en een volumebron (homogene besmetting van de totale inhoud van de container) toegepast.

Als bron is gekozen voor de volgende radionucliden:

- i  $^{137}\text{Cs}$ , inclusief het vervalproduct  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  (met branching ratio 0,946)
- ii  $^{192}\text{Ir}$
- iii  $^{60}\text{Co}$
- iv  $^{90}\text{Sr}$ , inclusief het vervalproduct  $^{90}\text{Y}$ ; hoewel beide radionucliden zuivere bètastralers zijn, wordt bij het afremmen van de bètadeeltjes remstraling geproduceerd die door de poortdetectoren kan worden gedetecteerd
- v  $^{226}\text{Ra}$ , incl. kortlevende vervalproducten, als voorbeeld van schroot besmet met NORM (*natural occurring radioactive materials*) en
- vi mengsel van vervalproducten van  $^{238}\text{U}$  en  $^{232}\text{Th}$  en  $^{40}\text{K}$ , representatief voor grond met dezelfde activiteitsconcentraties als de gemodelleerde bodem; dit mengsel is in de berekeningen meegenomen om een indruk te krijgen van het gemeten signaal als het schroot of de auto ‘besmet’ zou zijn met radionucliden in normaal voorkomende activiteitsconcentraties

De kunstmatige radioactiviteit is in de vorm van punbronnen gesimuleerd en NORM is voor plaatvormige bronnen en voor een homogene besmetting gebruikt. Het mengsel van radionucliden is gebruikt voor het simuleren van een lading grond.

De te verwachten dichthesen variëren volgens rapportages van de RTD [4, 5] van circa  $480 \text{ kg.m}^{-3}$  voor ‘heavy melt’ en  $540\text{-}640 \text{ kg.m}^{-3}$  voor ‘punchings’ tot  $800\text{-}1100 \text{ kg.m}^{-3}$  voor ‘frag’ (versnipperd schroot). Er is in de berekeningen gekozen voor één waarde voor de dichtheid van het schroot, namelijk  $1000 \text{ kg.m}^{-3}$ . Deze waarde kan als conservatief worden beschouwd omdat de afscherming dan maximaal is. Voor grond is een dichtheid van  $1750 \text{ kg.m}^{-3}$  aangenomen.

Voor het bepalen van de mogelijkheden van een detector is tevens het te meten signaal gesimuleerd. Hiervoor zijn aannamen gemaakt voor het teltempo van de detector en de snelheid van een meting, dat wil zeggen de tijd waar binnen een vrachtwagen door de poortdetector rijdt. Deze gegevens zijn gebaseerd op reële waarden voor een dergelijke meting (zie hoofdstuk 2).

### 3.5 Resultaten

Als eerste moet worden opgemerkt dat de hier weergegeven resultaten niet rechtstreeks kunnen worden vergeleken met de werkelijke situatie op een schrootverwerkend bedrijf. De waarden voor het omgevingsdosisequivalenttempo in de figuren in deze paragraaf zijn bedoeld als indicatie. Enkele redenen hiervoor zijn:

- 1 de specifieke situatie op locatie is direct van invloed op het te meten signaal; voorbeelden: bevindt men zich aan een kanaal, dan kan het achtergrondniveau, van de bodem afkomstig, beperkt zijn; gebouwen beïnvloeden het dosistempo; type bestrating en/of grond zijn van belang;
- 2 afhankelijk van het type detector, de oriëntatie daarvan of bijvoorbeeld de wijze van inbouwen in een raamwerk wordt de efficiëntie, waarmee de kosmische stralingscomponent wordt gemeten, beïnvloed;
- 3 het al dan niet aanwezig zijn van een afscherming aan de achterkant van een detector bepaalt in sterke mate de hoeveelheid terrestrische straling die wordt gemeten;
- 4 in het algemeen zal de efficiëntie van verschillende detectoren voor verschillende gamma-energieën uiteenlopen.

Het tweede en derde punt leveren vooral een andere achtergrond op. Het eerste punt is echter van belang als een vrachtwagen al dan niet geladen met schroot voorbij rijdt. Bij een hogere achtergrond kan hier door de vrachtwagen namelijk ook een grotere afscherming plaatsvinden. Zou de poort in een geheel ‘stralingsvrije’ omgeving staan, dan zou de vrachtwagen nauwelijks iets afschermen en zou iedere verhoging van het dosistempo duiden op radioactiviteit in die vrachtwagen. Bij een zware kleibodem en/of betonnen of stenen gebouwen direct *in het zicht* van de detector zal een vrachtwagen een significante afscherming kunnen veroorzaken. Er zal dan een aanzienlijke reductie in het dosistempo optreden (zie Figuur 2), ten opzichte waarvan dan een eventuele verhoging door een bron gemeten moet worden.

Het vierde punt levert onderlinge verschillen tussen detectoren op.

De hier gepresenteerde resultaten geven wel een beeld van diverse processen die optreden. Ook is het effect van een aantal van de eerder beschreven parameters beter inzichtelijk te maken. Tevens is op deze wijze een idee te krijgen van de minimale radioactiviteit die onder specifieke omstandigheden nog detecteerbaar kan zijn.

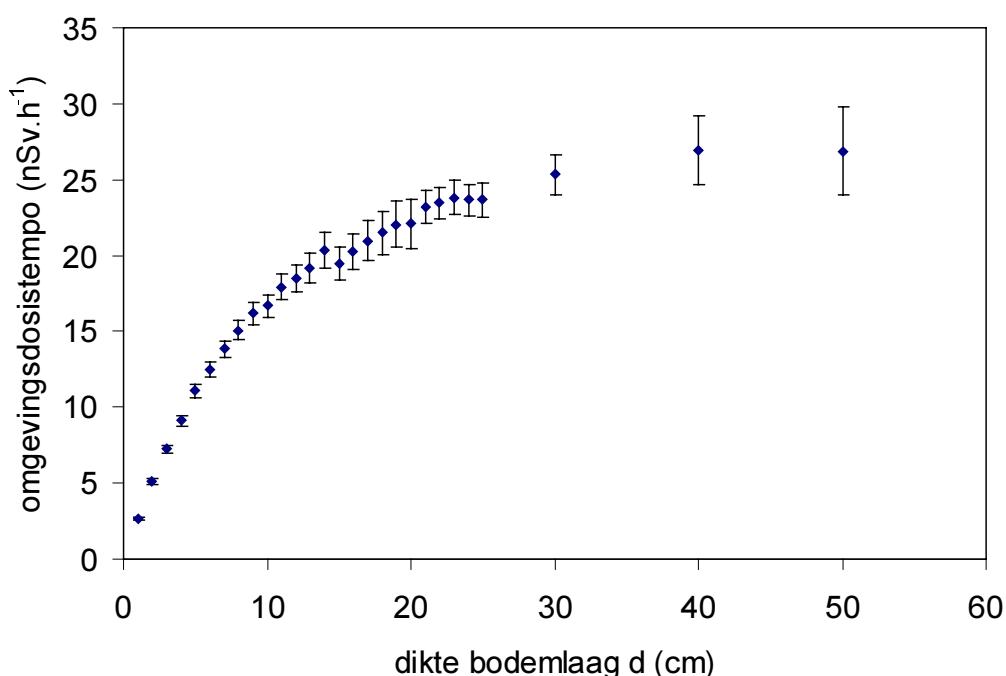
#### Bodem

Allereerst zijn berekeningen uitgevoerd aan het te verwachten dosistempo door de radioactiviteit in de bodem. Daartoe is een homogene bodem gemodelleerd met een variabele dikte en homogeen ‘besmet’ met radioactiviteit (Tabel 2).

De gesimuleerde activiteit bevindt zich in het bereik voor bodem mogelijk iets aan de hoge kant (klei), maar er moet niet vergeten worden dat de omgeving veelal ook een grote hoeveelheid bouwmaterialen bevat. Deze laatste bezitten vaak een hogere concentratie aan de genoemde radionucliden en hebben in het algemeen ook een andere geometrie.

Tabel 2 Samenstelling van de gemodelleerde bodem

radionuclide	activiteitsconcentratie (Bq.kg <sup>-1</sup> )
<u><sup>238</sup>U-reeks:</u>	
<sup>214</sup> Pb	42,3
<sup>214</sup> Bi	42,3
<u><sup>232</sup>Th-reeks:</u>	
<sup>228</sup> Ac	32
<sup>212</sup> Pb	32
<sup>212</sup> Bi	32
<sup>208</sup> Tl	11,4
<sup>40</sup> K	550

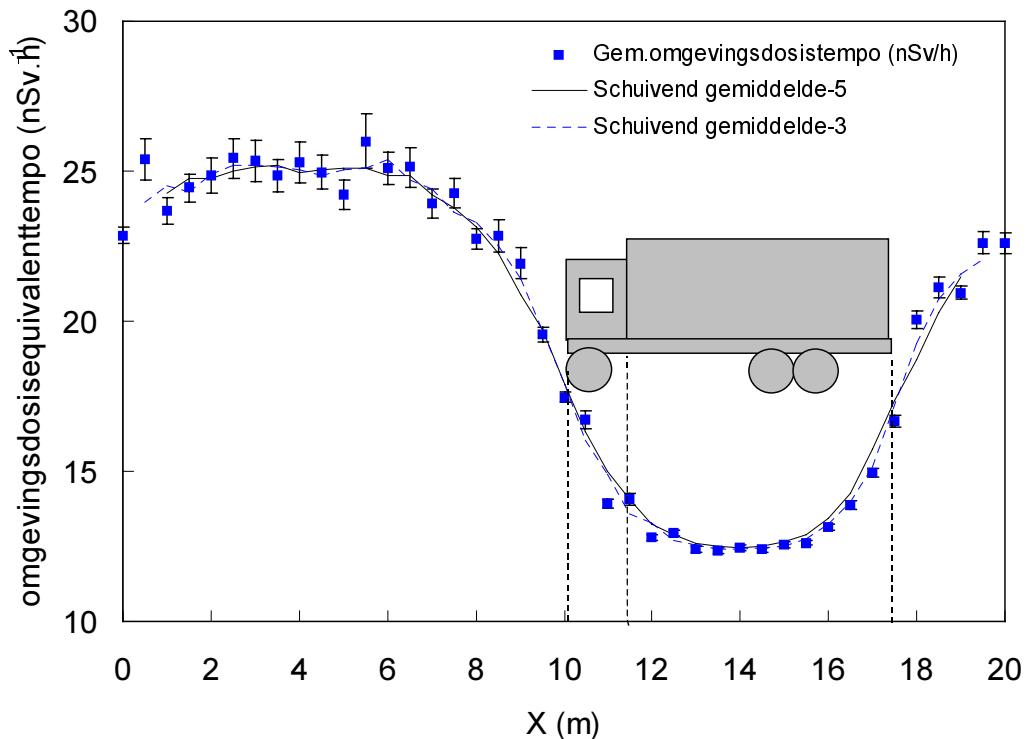


Figuur 5 Omgevingsdosisequivalenttempo door natuurlijke activiteit in de bodem

Uit Figuur 5 blijkt dat een bodemlaag van circa 50 cm dikte voldoende is voor het meenemen van de bodem in de berekeningen. Radioactiviteit die dieper aanwezig is in de bodem draagt nauwelijks nog bij aan het dosistempo. Tevens kan worden vastgesteld dat de eerste 10 cm ruim 50% van het dosistempo bepaalt. In deze laag zal zich veelal de bestrating bevinden.

#### Afscherming van de achtergrond

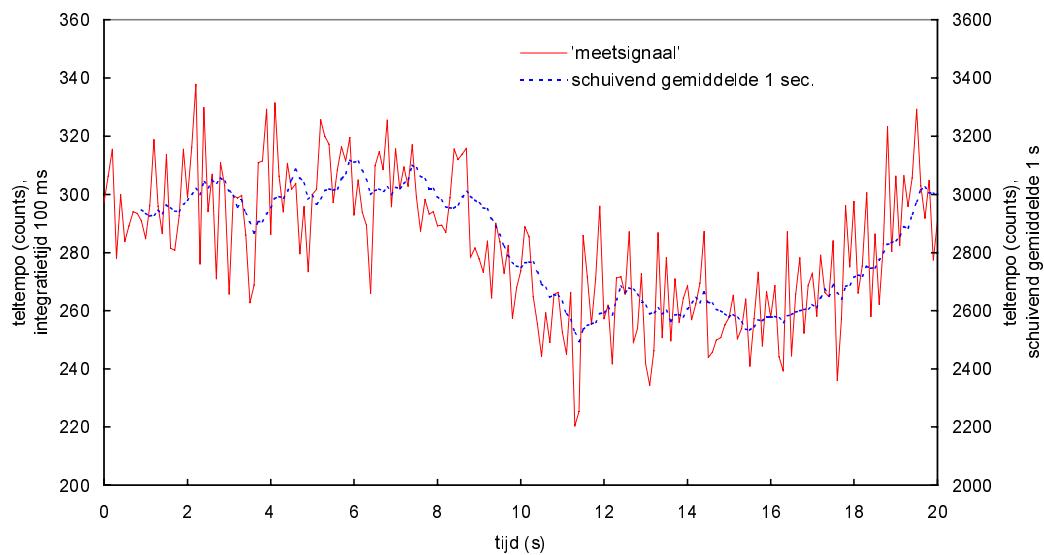
Wanneer een vrachtwagen met metaalschroot voor de detector langs rijdt, zal door de massa van de vrachtwagen en het schroot een afscherming van de terrestrische straling plaatsvinden (zie Figuur 6).



Figuur 6 Omgevingsdosisequivalenttempo door natuurlijke activiteit in de bodem voor zover deze zich aan de zichtzijde van de detector bevindt. Tevens zijn gemiddelden van het dosistempo op basis van 3 of 5 opeenvolgende punten gegeven.

In het getoonde geval is een reductie van de terrestrische stralingscomponent met circa 50% berekend. Ook voor het gemiddelde van drie of vijf opeenvolgende berekende punten (als simulatie van een 1 à 2 m lange plaatdetector) is een dergelijke reductie zichtbaar. Deze reductie is overigens niet veel groter dan bij een vrachtwagen met lege container.

De vaststelling van een eventueel in de container aanwezige bron wordt bemoeilijkt door deze tegelijkertijd optredende reductie van de achtergrond. Daarnaast zal door het statistische karakter van de meting (zie ook hoofdstuk 2) het momentane teltempo, bij passage van de vrachtwagen met container door de poortdetector, een spreiding vertonen. Uitgaande van een achtergronddosistempo van circa 54 nSv.h<sup>-1</sup> (15 nSv.h<sup>-1</sup> terrestrische straling plus 39 nSv.h<sup>-1</sup> kosmische straling) en een teltempo van de detector van 3000 cps is een teltempo door de achtergrond te verwachten zoals weergegeven in Figuur 7.

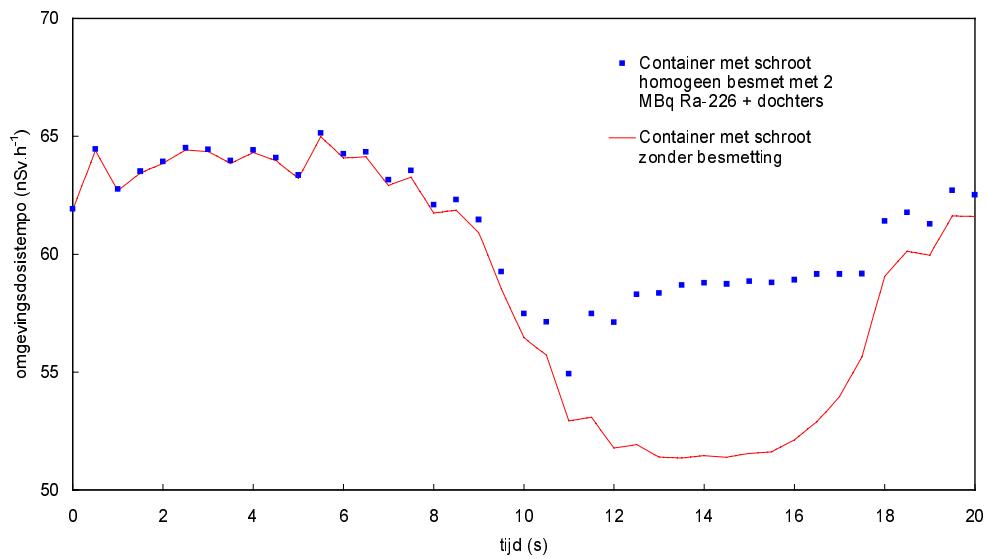


*Figuur 7 Gesimuleerd verloop van het teltempo door kosmische straling en natuurlijke activiteit in de bodem en het effect van afscherming door een vrachtwagen met schroot bij een passeersnelheid van  $1 \text{ m.s}^{-1}$  ( $= 3,6 \text{ km.h}^{-1}$ )*

Omdat de conversie van omgevingsdosisequivalenttempo naar teltempo afhankelijk is van bijvoorbeeld de afscherming van de detector, de efficiëntie voor verschillende gamma-energieën en de afscherming van de te meten bron (verstrooiing), is deze niet direct eenduidig. Ondanks deze zeker niet onbelangrijke kant van de detectie wordt in het vervolg alleen het berekende omgevingsdosisequivalenttempo getoond.

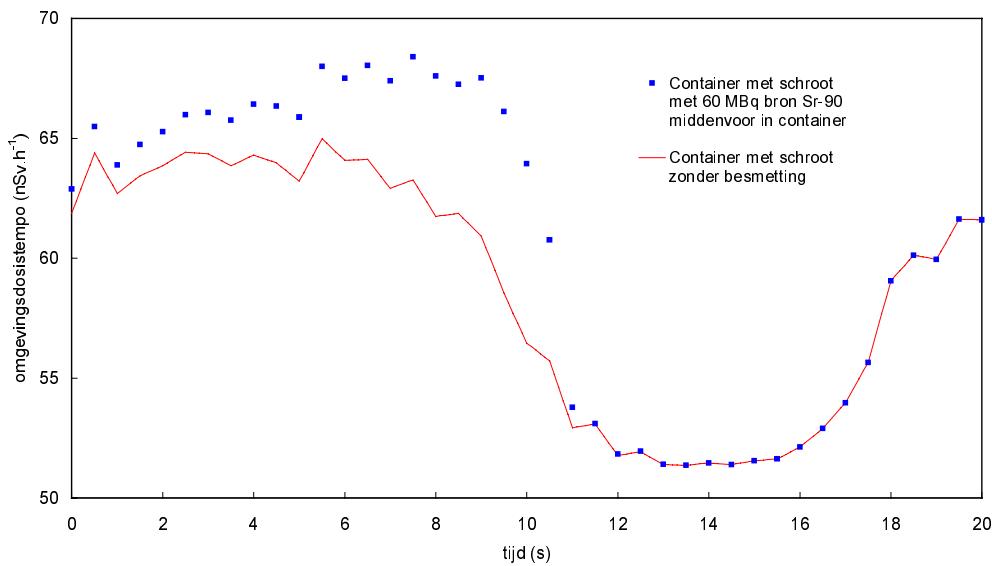
#### Bronnen

Een van de mogelijkheden die zich bij een schroothandel kunnen voordoen, is dat een vrachtwagen een container met schroot vervoert die, bij benadering, homogeen besmet is met natuurlijke radioactiviteit. Hierbij kan gedacht worden aan buizen uit de procesindustrie, zoals de olie- en gaswinning. Berekeningen zijn uitgevoerd met een homogene besmetting met de radionucliden  $^{214}\text{Pb}$  en  $^{214}\text{Bi}$ , de belangrijkste radionucliden uit de  $^{238}\text{U}$ -reeks die gammastraling uitzenden. Deze activiteit zal deels worden afgeschermd door het schroot dat in de container aanwezig is. In Figuur 8 is het berekende omgevingsdosisequivalenttempo voor een dergelijk schroottransport weergegeven bij passage door de poortdetector.



Figuur 8 Omgevingsdosisequivalenttempo bij passage van een schroottransport met een homogene besmetting

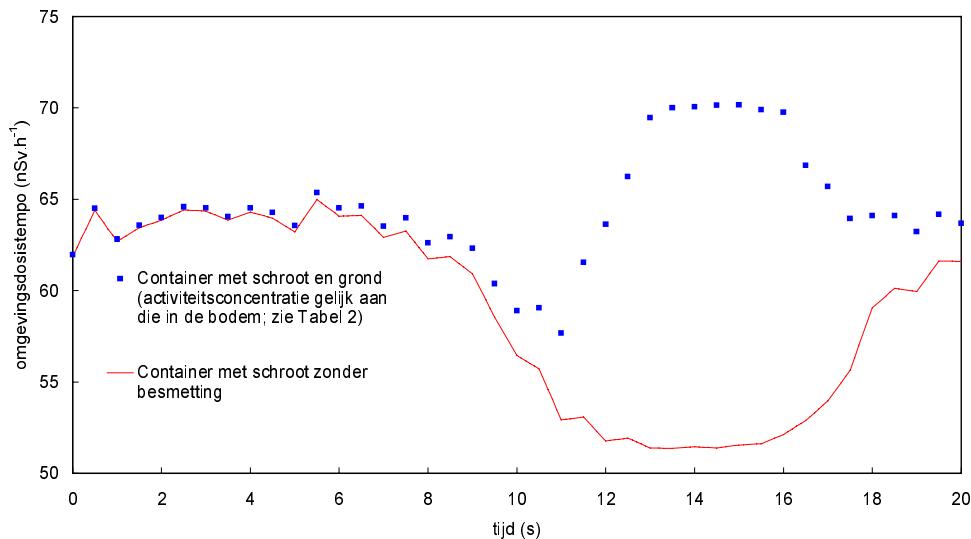
Ondanks de hier zichtbare verhoging van het dosistempo (maximaal circa 5 nSv.h<sup>-1</sup>) zal een detector problemen hebben deze verhoging te detecteren. Er vindt immers een reductie plaats ten gevolge van de afschermende werking van vrachtauto en schroot. Informatie over het gewicht van de geladen vrachtauto vergeleken met het gewicht van de lege vrachtauto kan mogelijk helpen om te voorkomen dat een homogene besmetting als geen besmetting wordt aangemerkt. Een ander voorbeeld van een situatie waarin een besmette lading gemist kan worden, doet zich voor als een <sup>90</sup>Sr-bron middenvoor in de schrootcontainer is gelocaliseerd (zie Figuur 9).



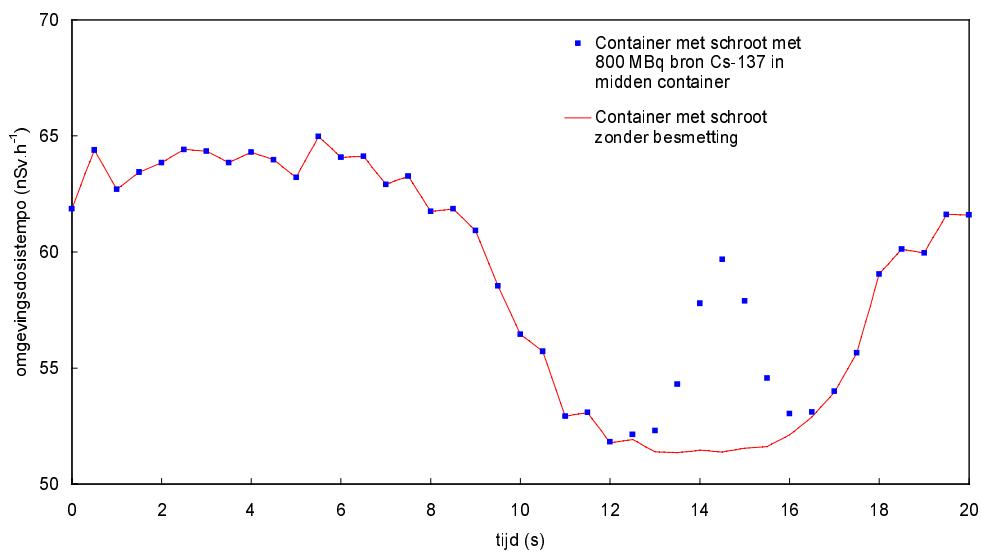
Figuur 9 Omgevingsdosisequivalenttempo bij passage van een schroottransport met een gelocaliseerde <sup>90</sup>Sr-bron

Als de detector de eerste verhoging niet detecteert vóórdat de vrachtwagen met container passeert, dan zal de container als niet besmet worden aangemerkt.

In tegenstelling tot deze twee bronnen zal detectie van een partij niet besmette grond geen probleem opleveren (zie Figuur 10), evenals een voldoende grote  $^{137}\text{Cs}$ -bron die zich midden in het schroot transport bevindt (zie Figuur 11).



Figuur 10 Omgevingsdosisequivalenttempo bij passage van een auto met een container niet-besmette grond



Figuur 11 Omgevingsdosisequivalenttempo bij passage van een schroottransport met een gelocaliseerde  $^{137}\text{Cs}$ -bron

Bij een situatie zoals weergegeven in Figuur 11 moet echter in de software van de poortdetector wèl een correctie plaatsvinden voor de inzakkende achtergrond tijdens passage van de vrachtauto. Als de apparatuur niet in staat is om de achtergrond te volgen, dan zal ook deze situatie niet tot een alarm leiden.

Stel de apparatuur is wél in staat om de achtergrond te volgen: in Tabel 3 is van de diverse onderzochte bronnen de minimale activiteit gegeven die tot een alarm zou kunnen leiden. Hierbij zijn de diverse configuraties, zoals weergegeven in Figuur 3, gehanteerd. Er is aangenomen dat de verhoging van het omgevingsdosisequivalenttempo tenminste  $5 \text{ nSv.h}^{-1}$  moet bedragen.

*Tabel 3 Activiteit van een aanwezige bron die tot een verhoging van het omgevingsdosisequivalenttempo van tenminste  $5 \text{ nSv.h}^{-1}$  zou leiden (voor de doorgerekende, exemplarische situatie)*

type bron	positie A (midden container)	positie B (aan de wand aan de detectorzijde)	positie C (middenvoor in container)	positie D (aan tegenoverliggende wand)	homogeen
$^{137}\text{Cs}$	480 MBq	80 kBq	2,2 MBq	7 TBq	nb
$^{192}\text{Ir}$	1,8 GBq	170 kBq	nb	14 TBq	nb
$^{60}\text{Co}$	11 MBq	22 kBq	nb	7 GBq	nb
$^{90}\text{Sr}$	5 GBq	1,0 MBq	40 MBq	5 TBq	nb
$^{226}\text{Ra}$ + vervalproducten	10 MBq (plaat van voor tot achter)	100 kBq (plaat van voor tot achter)	3,4 MBq (verticale $1\times 1 \text{ m}^2$ plaat)	nb	1,4 MBq
	15 MBq (verticale $1\times 1 \text{ m}^2$ plaat)		24 MBq (horizontale $1\times 1 \text{ m}^2$ plaat)		
	42 MBq (horizontale $1\times 1 \text{ m}^2$ plaat)				
mengsel van vervalproducten van $^{238}\text{U}$ en $^{232}\text{Th}$ plus $^{40}\text{K}$ (grond)	nb	nb	nb	nb	grond levert een verhoging van $18 \text{ nSv.h}^{-1}$

nb: niet berekend

### 3.6 Conclusies

Afhankelijk van het door een poortdetector te meten dosistempo zullen bronnen met zeer uiteenlopende activiteit detecteerbaar zijn. Dit is afhankelijk van de door radionucliden uitgezonden gamma-energieën, de detectorgevoeligheid en de mate van afscherming.

Een belangrijk probleem bij de vaststelling of er sprake is van radioactief schroot, wordt gevormd door de geometrie. Tijdens passage van het transport treedt er, door afscherming van de achtergrondstraling, een reductie van het te meten dosistempo op. Als een radioactieve bron zich vóór of juist achter in de lading bevindt, is het mogelijk dat er een ‘dosisopvulling’ plaats vindt van dit door afscherming juist gereduceerde dosistempo:

- bronnen aan de detectorzijde zijn naar verwachting het best meetbaar; indien bronnen verder weg zitten in het schroot (= door meer schroot zijn omgeven) zal de voor detectie benodigde activiteit meer dan evenredig met de afstand oplopen,
- bronnen aan de voor- of achterzijde van het transport kunnen een verhoogd dosistempo voorwaarts (voor de vrachtwagen) of achterwaarts (achter de vrachtwagen) veroorzaken, een transport met grond met dezelfde activiteit als die in de omgeving zal naar alle waarschijnlijkheid tot een alarm leiden.

## 4 Mogelijke eisen aan een poortdetector

### 4.1 Detectielimiet en alarmniveau

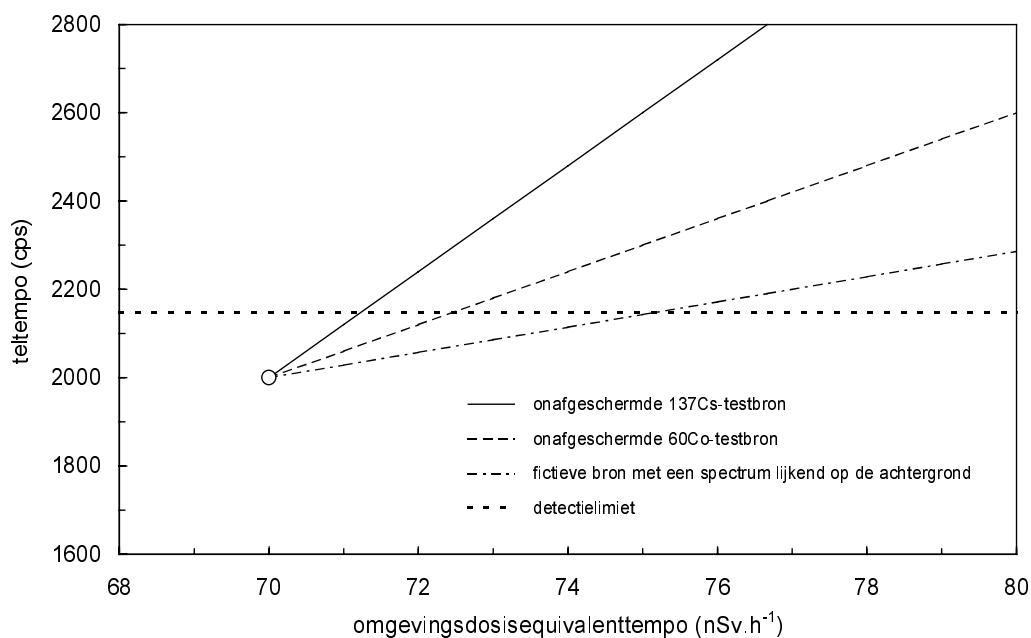
Instellen van het alarmniveau op een waarde lager dan de detectielimiet leidt tot te veel valse alarmen. Instellen van het alarmniveau op een waarde veel hoger dan de detectielimiet leidt tot het niet signaleren van een mogelijk besmette lading. Het is daarom aan te bevelen het alarmniveau zo dicht mogelijk bij de detectielimiet in te stellen.

Het slechts eisen dat alarmering moet plaatsvinden zodra de detectielimiet van het betreffende detectorsysteem wordt overschreden, laat nog steeds de mogelijkheid open dat een minder goed systeem gebruikt mag blijven worden. Daarom zal tevens een maximum aan de hoogte van de detectielimiet moeten worden gesteld. Om een vergelijking tussen verschillende detectoren mogelijk te maken, is het daarbij aan te bevelen om de detectielimiet uit te drukken in termen van het omgevingsdosisequivalenttempo. Op basis van de detectielimieten genoemd in de paragrafen 2.4 en 2.5 kan de volgende detectielimiet-eis in  $nSv.h^{-1}$  als criterium voor toetsing van de kwaliteit van een poortdetector worden gehanteerd.

*Een onafgeschermde radioactieve bron op een dusdanige afstand van de detector geplaatst zodat een toegevoegd omgevingsdosisequivalenttempo van  $X nSv.h^{-1}$  ter plaatse van de detector ontstaat, dient bij een integratietijd van  $t$  s in 95% van de gevallen tot een waarde boven de detectielimiet te leiden.*

Bovengenoemd criterium dient ervoor om de gevoeligheid van de detector te kunnen toetsen wanneer er géén vrachtwagen in de poort aanwezig is. Vervolgens dient de vraag te worden beantwoord hoe groot X en t moeten zijn.

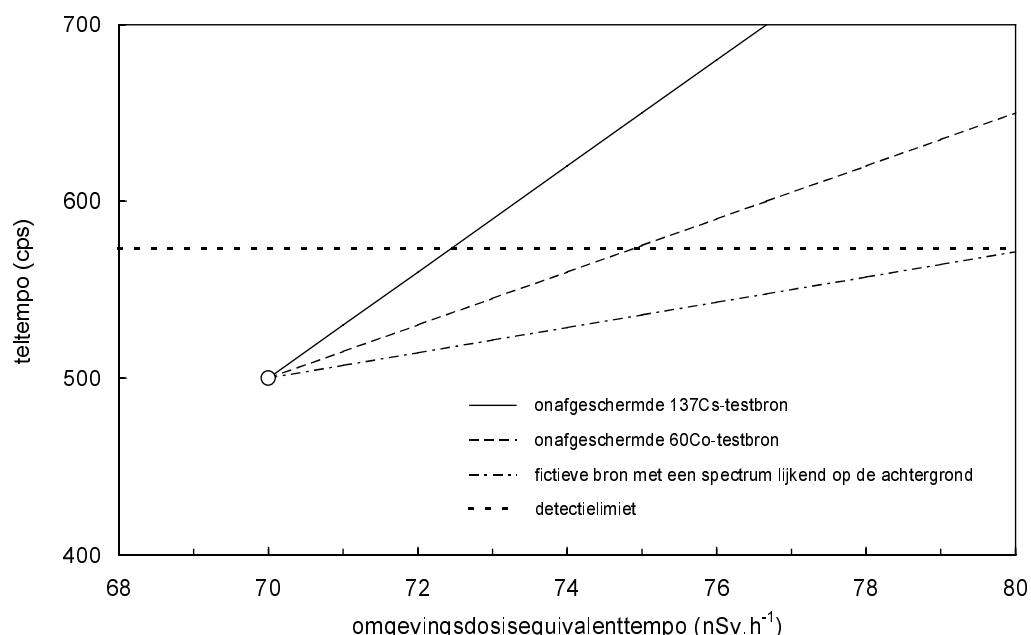
In het specifieke geval van een Eberline FHT 1388 hoort bij een achtergrond van  $70 nSv.h^{-1}$  een teltempo van 2000 cps. Stel dat het alarmniveau wordt ingesteld op de detectielimiet zoals genoemd in paragraaf 2.4. Uit rekenvoorbeeld 1 blijkt in dat geval dat een verhoging van  $1,2 nSv.h^{-1}$  veroorzaakt door  $^{137}Cs$  en een verhoging van  $2,4 nSv.h^{-1}$  door  $^{60}Co$ , tot een waarde boven de 2147 cps (achtergrond plus detectielimiet) zal leiden. Voor straling met een spectrum gelijk aan het spectrum van de achtergrondstraling geeft een bron van  $5,1 nSv.h^{-1}$  een waarde boven de achtergrond plus detectielimiet (zie Figuur 12). Figuur 12 geeft het verband tussen het teltempo en het omgevingsdosisequivalenttempo dat met een testbron of een fictieve bron met een spectrum lijkend op dat van de achtergrond (met een detectorrespons gelijk aan die voor achtergrond) kunstmatig wordt verhoogd.



*Figuur 12 Overschrijding van de detectielimiet bij stijging van het omgevingsdosisequivalenttempo als gevolg van straling afkomstig van verschillende bronnen (reken voorbeeld 1)*

Uit reken voorbeeld 3 blijkt dat een verhoging van 2,4 nSv.h<sup>-1</sup> veroorzaakt door <sup>137</sup>Cs en een verhoging van 4,8 nSv.h<sup>-1</sup> door <sup>60</sup>Co, bij een achtergrond van 70 nSv.h<sup>-1</sup> en een daarbij behorend teltempo van 500 cps, tot een waarde boven de 574 cps (achtergrond plus detectielimiet) zal leiden. Voor een natuurlijke bron leidt 10,3 nSv.h<sup>-1</sup> tot een waarde boven de achtergrond plus detectielimiet (zie Figuur 13).

Op grond hiervan zou X = 10 nSv.h<sup>-1</sup> als toetsingswaarde kunnen worden gekozen.



*Figuur 13 Overschrijding van de detectielimiet bij stijging van het omgevingsdosisequivalenttempo als gevolg van straling afkomstig van verschillende bronnen (reken voorbeeld 3)*

Uit de resultaten in hoofdstuk 3 blijkt dat een werkelijke verhoging van 5-10 nSv.h<sup>-1</sup> ten opzichte van de achtergrond die als gevolg van afscherming wordt verlaagd, nog steeds beneden de detectielimiet afgeleid van de onafgeschermdie achtergrond kan liggen. Er dient daarom voor het inzakken van de achtergrond gecorrigeerd te worden. Aangezien niet van alle fabrikanten bekend is of zij een correctie hiervoor toepassen of hoe deze in detail werkt, zal als extra eis kunnen worden gesteld dat ook bij de aanwezigheid van een vrachtwagen met schroot de detector een alarm dient te geven bij een verhoging van 10 nSv.h<sup>-1</sup> ten opzichte van de verlaagde achtergrond. De details van de correctie zijn vaak alleen in bezit van de fabrikant. Zelfs de leverancier die meestal ook de detector installeert en afstelt, kan vaak geen details daarover geven.

Daarnaast is de detectielimiet afhankelijk van de integratietijd (zie paragraaf 2.4). Deze integratietijd mag echter niet te lang zijn in verband met de rijsnelheid van de vrachtauto. Het is daarom ook wenselijk om eisen te stellen aan de rijsnelheid in combinatie met de integratietijd.

## 4.2 Conclusies

Samenvattend kunnen de volgende mogelijke eisen worden geformuleerd.

*Om het systeem zoveel mogelijk te kunnen laten detecteren, dient het alarmniveau zo dicht mogelijk op de detectielimiet zoals gedefinieerd in ISO-11929 te worden ingesteld en zo mogelijk te worden afgeleid van de achtergrond die zou worden gemeten in de situatie met de vrachtauto volgeladen met schroot zonder besmetting.*

*Een stilstaande radioactieve bron die een spectrum heeft dat zoveel mogelijk lijkt op het spectrum van de achtergrond en die ter plaatse van de detector het omgevingsdosisequivalenttempo met 10 nSv.h<sup>-1</sup> doet stijgen, dient bij een integratietijd van 1 s in 95% van de gevallen tot een waarde boven de detectielimiet te leiden. Als alternatief zou een onafgeschermdie <sup>60</sup>Co-bron kunnen worden toegepast die het omgevingsdosisequivalenttempo met 5 nSv.h<sup>-1</sup> doet stijgen.*

Verder zal ook uit kwaliteitsoogpunt aan de volgende aanvullende eisen moeten worden voldaan.

- De eigenaar van de poortdetector dient elk kwartaal een testmeting met een bron uit te voeren of te laten uitvoeren. Deze test dient ter controle van de juiste werking van de detectoren.
- Minimaal eens per jaar moet door de leverancier of een derde partij een kalibratie van de instellingen van de detector worden uitgevoerd.

De eisen met betrekking tot het corrigeren voor het verlagen van de achtergrond als gevolg van afscherming en de eisen met betrekking tot de rijsnelheid in relatie tot de integratietijd dienen nog nader te worden onderzocht.

## 5 Handhaafbaarheid

De nota van toelichting vermeldt dat het besluit twee jaar nadat het besluit van kracht is geworden, zal worden geëvalueerd [3]. Daarbij zal onder andere nagegaan worden hoe het in de praktijk werkt en of er onbedoelde neveneffecten zijn. Het nader uitwerken van de evaluatie van het gehele besluit valt buiten de reikwijdte van het voorliggende rapport, met uitzondering van de evaluatie van het toepassen van de hier voorgestelde eisen aan de poortdetectoren.

In het voorliggende rapport wordt voorgesteld om de detectielimiet in termen van het omgevingsdosisequivalenttempo te begrenzen.

De handhaving voor dit onderdeel bestaat uit het tijdens een bedrijfsbezoek inzien van de technische specificaties die de leverancier bij de detector heeft meegeleverd en het inzien van de resultaten van de kalibratie. Verder kan gedacht worden aan een steekproefsgewijze contra-expertise op de detectielimiet-bepaling door een erkend onafhankelijk bedrijf.

In de huidige praktijk van een bezoek van de VROM-Inspectie aan een schrootbedrijf wordt door een test- of ijkbron in de buurt van de detector te houden, gecontroleerd of de detector een alarm geeft. Deze handeling moet worden gestandaardiseerd, bijvoorbeeld door een testobject op een afgesproken afstand van de detector te plaatsen of langs te rijden.

RTD heeft reeds uitgebreid onderzoek gedaan naar een testobject [5]. Wel zal er nog een testprocedure moeten worden opgesteld en dient verder te worden uitgewerkt hoe het testobject zal worden beheerd en beschikbaar gesteld.

Er moeten afspraken worden gemaakt over hoe vaak een ringonderzoek zou moeten worden uitgevoerd. In ieder geval zou het voor de eerste maal uitvoeren van een dergelijk ringonderzoek vóór afronden van de evaluatie gereed moeten zijn.

## 6 Conclusies en aanbeveling

Er bestaan mogelijkheden om de detectie van radioactief schroot met poortdetectoren te normeren. De grootheid waaraan dan een grens zou kunnen worden opgelegd, is de detectielimiet uitgedrukt in het omgevingsdosisequivalenttempo.

Uit berekeningen van het omgevingsdosisequivalenttempo dat in diverse situaties van besmet schroot verwacht kan worden, blijkt dat er zich situaties kunnen voordoen waarin het onderscheiden van de verhoging en de achtergrond problematisch is.

De detectielimiet is afhankelijk van de integratietijd tijdens de meting. Deze integratietijd mag echter niet te lang zijn in verband met de ruisnelheid van de vrachtauto. Het is daarom ook wenselijk om eisen te stellen aan de ruisnelheid in combinatie met de integratietijd.

Alarming zou moeten plaatsvinden ten opzichte van de door de vrachtauto en de lading schroot afgeschermde achtergrond. Om te komen tot een waarde voor het alarmniveau moeten detailgegevens over de instelling en het rekenalgoritme van de detectoren bekend worden. Deze gegevens zijn nu niet voor alle typen detectoren, die in Nederland in gebruik zijn, beschikbaar. Daarom wordt geadviseerd om over te gaan tot normering van de detectie met poortdetectoren door het Nederlands Normalisatie-instituut. Aanbevolen wordt om de normcommissie samen te stellen uit vertegenwoordigers van fabrikanten van poortdetectoren, vertegenwoordigers van de overheid en de industrie en enkele stralingsdeskundigen van één of meer onderzoeksinstellingen voor technisch-wetenschappelijke ondersteuning. Na het tot stand komen van de norm kan deze door de overheid in regelgeving worden aangewezen.

## Referenties

- 1 Inspectie Milieuhygiëne. Incidenten met radioactieve (afval)stoffen in 1996, 1997 en 1998, Doelgroep- en risicoanalyse van schrootverwerkende bedrijven Inspectiereeks, oktober 2000.
- 2 Inspectie Milieuhygiëne. Incidenten met radioactieve stoffen in 1999 en 2000, Inspectiereeks, februari 2001.
- 3 Ontwerp-besluit houdende regels voor de detectie van radioactief schroot (Besluit detectie radioactief schroot), Staatscourant nr. 187, p 24 t/m 26, 27 september 2001.
- 4 Röntgen Technische Dienst. Poortdetectie, Fase 1: inventariserend onderzoek. RTD-rapport 8317-7376-2000-1, Rotterdam, 15 december 2000.
- 5 Röntgen Technische Dienst. Poortdetectie, Fase 2: praktijkttest (simulatie). RTD-rapport 8317-7376-2001-1, Rotterdam, 18 juni 2001.
- 6 Inspectie Milieuhygiëne. Handhaving Kernenergiewet bij schrootverwerkende bedrijven in 1999. VROM-publicatie. 17056/185, november 2000.
- 7 Inspectie Milieuhygiëne/ZW. Persoonlijke communicatie, oktober 2001.
- 8 Thierfeldt S et al. Spezifische Strahlenschutzzanalysen in Verbindung mit kontaminierten Schrotten für Zwecke der Aufsicht – Endbericht zum Vorhaben St.Sch. 4091. Brenk Systemplanung, Aachen, Deutschland, Mai 1997.
- 9 International Standard ISO-11929. Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements. Juli 2000.
- 10 Röntgen Technische Dienst in opdracht van Arbeidsinspectie regio Noordwest te Amsterdam. Onderzoek naar de detectielimiet van een poortdetector voor verarmd uranium bij HKS Scrap Metals BV te 's Gravendeel. RTD-rapport 8150-6602/1/1999.
- 11 Beck P. Final Report ITRAP – The Illicit Trafficking Radiation Assessment Program, Pilotstudie zur praktischen Erprobung von Grenzmonitorsystemen gegen Nuklearkriminalität. Austrian Research Centers Seibersdorf. OEFZS-G-0005, Oktober 2000.
- 12 Reijden, GA van der et al. Management of possible radiation protection aspects during the recycling of metallurgical scrap. United Nations, Geneva, first draft, april 2000.
- 13 Kloosterman JL - MARMER, a flexible point-kernel shielding code. Proc. of Seventh International Conference on Radiation Shielding. Bournemouth, U.K., September 12-16, 1988.
- 14 Kloosterman JL - Gamma Benchmark Calculations on the TN12 Spent Fuel Shipping Cask. Interfacultair Reactor Instituut, Report IRI-131-89-11. Delft, nov. 1989.
- 15 Kloosterman JL - MARMER, a flexible point-kernel shielding code. User manual, version 2.0, Interfacultair Reactor Instituut, Report IRI-131-89-03/2. Delft, 1990.
- 16 Kloosterman JL, Hoogenboom JE - Gamma Benchmark Calculations on the TN12 Spent Fuel Shipping Cask by the Point-Kernel Shielding Code MARMER. Proc. of European Nuclear Conference '90. Lyon, France, September 23-28, 1990.
- 17 Kloosterman JL, Hoogenboom JE - MARMER, a flexible point-kernel shielding code. RAMTRANS, Vol.1, pp. 117-125, 1990.
- 18 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. International Commission on Radiological Protection (ICRP), ICRP Publication 60; Annals of the ICRP 21 no 1-3. Pergamon Press, Oxford, 1991.
- 19 Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. International Commission on Radiological Protection (ICRP), ICRP Publication 74, Pergamon Press, Oxford, 1997.
- 20 Blaauboer RO en Pruppers MJM. Externe straling van bouwmateriaal: Resultaten van MARMER-berekeningen aan een referentiewoning. RIVM rapportnr. 610050006. RIVM, Bilthoven, 2000.
- 21 Knight JR, Westfall RM – DOSE: AMPX Module for producing neutron and gamma-ray dose factors NUREG/CR-0200, Volume 2, Section F12, ORNL/NUREG/CSD-2/V2/R2. Oak Ridge National Laboratory, 1984.

## Bijlage 1 Verzendlijst

- |       |   |
|-------|---|
| 1-30  | Directeur van de Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling |
| 31    | Plaatsvervangend Directeur-Generaal Milieubeheer            |
| 32    | VROM-Inspectie Regio Zuid-West                              |
| 33    | Metaal Recycling Federatie                                  |
| 34    | Depot Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie   |
| 35    | Directie RIVM   |
| 36    | Directeur Milieurisico's en Externe Veiligheid              |
| 37    | Hoofd van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek          |
| 38    | Hoofd van de afdeling Monitoring en Meetmethoden            |
| 39    | Hoofd van de afdeling Modellen en Processen                 |
| 40-42 | Auteurs   |
| 43    | Hoofd Voorlichting & Public Relations                       |
| 44    | Bureau Rapportenregistratie                                 |
| 45    | Bibliotheek RIVM  |
| 46    | Bibliotheek LSO   |
| 47-61 | Bureau Rapportenbeheer                                      |
| 62-80 | Reserve-exemplaren LSO                                      |