

41436-NUC 98-5472

Inventarisatie en mogelijkheden voor bovengrondse  
opslag voor 300 jaar van radioactief afval bij COVRA

Arnhem, 29 juli 1998

41436-NUC 98-5472

Inventarisatie en mogelijkheden voor bovengrondse  
opslag voor 300 jaar van radioactief afval bij COVRA

Arnhem, 29 juli 1998

Auteur L.C. Scholten  
KEMA Nuclear

In opdracht van Ministerie van Economische Zaken

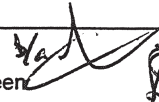

---

auteur : L.C. Scholten 

B 90 blz.

4 bijl.

Scho/SH

beoordeeld : A.J. Geutjes goedgekeurd : J. van der Steen Utrechtseweg 310, 6812 AR Arnhem.  
Telefoon (026) 3 56 91 11. Telefax (026) 3 51 56 06.

Overdracht van de informatie uit dit document aan derden, geheel of gedeeltelijk, zonder schriftelijke toestemming door of namens de opdrachtgever is verboden, behoudens toestemming vooraf op basis van de overeengekomen opdrachtvoorwaarden.

KEMA Nederland B.V. noch haar moeder- of zustermaatschappij zijn aansprakelijk voor enige directe, indirecte, toekomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken, behoudens garantstellingen anderszins in overeengekomen geldende opdrachtvoorwaarden

© KEMA Nederland B.V.

## INHOUD

	blz.
SAMENVATTING	5
1 Inleiding	6
2 Normstelling	8
2.1 Definitie van radioactief afval	8
2.2 Normgeving	8
2.2.1 Nederlandse normen	8
2.2.2 EC-richtlijnen	10
3 Inventarisatie	12
3.1 Algemeen	12
3.2 Activiteitswaarde	13
3.3 Hoeveelheden	14
3.3.1 Huidige hoeveelheden	14
3.3.2 Toekomstig laag- en middelactief afval	14
3.3.3 Ontmantelingsafval	18
3.3.4 Hoogactief- en kernsplijtingsafval	23
4 Omgevingsfactoren	25
4.1 Klimaatveranderingen	25
4.2 Zeespiegelstijging	27
4.2.1 IPCC (1995)	27
4.2.2 Waarschijnlijkheidsverdeling	30
4.2.3 Rijkswaterstaat	32
4.2.4 Discussie zeespiegelstijging	33
4.3 Landdaling	34
4.4 Geologische stabiliteit	35
4.5 Landgebruik	36
4.5.1 Inleiding	36
4.5.2 Toepassing multifunctionaliteit	36
4.5.3 Toetsing van de MID	37
5 Technische levensduur	40
5.1 Gebouwen	40
5.1.1 Inleiding	40
5.1.2 LOG-gebouw	40
5.1.2.1 De schil van het LOG	41
5.1.2.2 Overige gebouwonderdelen van het LOG	42
5.1.3 Levensduur van het LOG	42
5.1.4 Kosten onderhoud	43
5.1.4.1 LOG	43



5.1.4.2	HABOG	44
5.1.5	Resumé	45
5.2	Containers	45
5.2.1	Algemeen	45
5.2.2	Degradatiefactoren cement en beton	46
5.2.2.1	Fysische degradatiefactoren	47
5.2.2.2	Chemische degradatiefactoren	49
5.2.2.3	Evaluatie degradatiefactoren	50
5.2.3	Degradatie omhulling	51
5.2.4	Gevolgen overstroming	52
5.3	Informatiesystemen	52
5.4	Nieuwe technieken	52
6	Maatschappij	54
6.1	Sociale factoren	54
6.1.1	Inleiding	54
6.1.2	Begrip	54
6.1.3	De "technische" risico-opvatting	55
6.1.4	De "burgelijke" risico-opvatting	55
6.1.5	Psychologische aspecten COVRA	56
6.1.6	Toekomst	58
6.2	Politieke stabiliteit	59
6.2.1	Algemeen	59
6.2.2	Stabiliteit in wet- en regelgeving	60
7	Alternatieven	61
7.1	Inleiding	61
7.2	Andere gebouwen	61
7.3	Andere locaties	61
7.4	Andere beheersystemen	61
7.5	Opberging in ondiepe ondergrond	62
7.6	Mogelijkheden tot hergebruik/verwerking	62
8	Conclusies	64
	REFERENTIES	66
Bijlage A	Europese richtlijnen	69
Bijlage B	Tabellen inventarisatie afvalhoeveelheden	76
Bijlage C	Inventarisatie afval in HABOG	80
Bijlage D	Onderhoud gebouwen	85

## SAMENVATTING

In Nederland is gekozen voor een tijdelijke bovengrondse, toegankelijke opslag van radioactief afval. De opslagtermijn is vastgesteld op zeker 100 jaar. Daartoe is een speciale vennootschap, COVRA, opgericht voor de behandeling en opslag van dat afval. Na die periode wordt een wijze van opberging voorzien waarbij zowel de opbergveiligheid als de terugneembaarheid van het afval is gewaarborgd.

Radioactief afval wordt onderverdeeld in laag-, middel-, hoogactief en kernsplijtingsafval. Laag- en middelactief afval is reeds opgeslagen in loodsen, waarin ook het toekomstige afval zal worden opgeslagen. Voor het hoogactief- en kernsplijtingsafval is een speciaal gebouw met koeling van het afval voorzien.

Het laag- en middelactief afval vormt qua volume de bulk van al het afval dat voor opslag wordt aangeboden. De nucliden die hierin de activiteit bepalen zijn niet zeer lang levend. Door het radioactief verval vermindert de activiteit van het afval. Gedacht kan worden dat in een periode van 100 jaar de activiteit met minstens een factor 10 is afgenomen. In een periode van 300 jaar is de activiteit met minstens een factor 1000 afgenomen. Na voldoende verval van de radioactiviteit behoeft het afval niet meer in een eindopberging te worden opgenomen, maar kan als niet meer radioactief, dus "normaal", afval worden gedeponeerd of hergebruikt. In het hoogactief- en kernsplijtingsafval zijn langlevende nucliden dominant, zodat een verlengde opslag voor deze soorten geen voordelen biedt. Aan een langduriger bovengrondse opslag kleven echter ook bezwaren. Ten einde voor- en nadelen tegen elkaar af te kunnen wegen worden deze in dit rapport in kaart gebracht.

De afvalinventaris is geactualiseerd in nauwe samenwerking met COVRA naar de nieuwe Europese richtlijnen voor radioactieve producten. Aan de hand daarvan is geschat welke hoeveelheden afval na verval kunnen worden afgevoerd.

De technische en maatschappelijke mogelijkheden zijn in kaart gebracht, alsmede omgevingsfactoren. De technische mogelijkheden voor een verlengde opslag zijn aanwezig, mits goed onderhoud wordt gepleegd en op veranderingen in de omgeving wordt geanticipeerd. Sociale en politieke factoren zijn beschouwd, doch hier konden geen vaste conclusies aan worden verbonden. De kosten verbonden aan langdurige bovengrondse opslag zijn begroot.

Voor een verantwoorde keuze en kostenafweging tussen bovengrondse en ondergrondse opslag moeten de diverse opties in onderlinge samenhang worden gezien en geëvalueerd waarbij de facetten veiligheid en beheersbaarheid van groot belang zijn. Dit rapport kan dienen als informatiebron voor de optie van langdurige bovengrondse opslag.

## 1 INLEIDING

Radioactieve stoffen vervallen met een specifieke halfwaardetijd, al dan niet via eveneens radioactieve dochterproducten, tot stabiele isotopen. De halfwaardetijden variëren van onderdelen van seconden tot meerdere miljarden jaren. Kortlevende nucliden behoeven nauwelijks opgeslagen te worden, omdat reeds binnen een korte periode de radioactiviteit zover is vervallen dat er geen radiologische risico's voor de omgeving resteren. Voor de zeer lang levende nucliden is wel een blijvende eindopberging noodzakelijk ter isolering van het milieu.

Het grootste deel qua volume van het afval is weinig tot matig radioactief. Bij nadere beschouwing van de nuclideninventaris in dit deel van het afval, blijkt dat voor het gros van de nucliden de halfwaardetijd kort of matig lang is. In het medisch afval zijn veel nucliden kortlevend ( $t_{1/2} < 1$  jaar). In het afval van kernenergiecentrales zijn de nucliden  $^{60}\text{Co}$  ( $t_{1/2} = 5,27$  jaar),  $^{137}\text{Cs}$  ( $t_{1/2} = 30,17$  jaar) en  $^{90}\text{Sr}$  ( $t_{1/2} = 28,5$  jaar) dominant.

In de nota Radioactief Afval van 1984 (VROM,1984) is het overheidsbeleid inzake radioactief afval vastgelegd. Uitgangspunt van het beleid is het waarborgen van de bescherming van mens en milieu tegen de gevaren van radioactieve stoffen. Invulling daaraan wordt gegeven met het criterium "Isoleren, Beheersen en Controleren" (IBC-criterium). Een belangrijk facet daarbij is de terugneembaarheid van het afval.

### Isoleren

Teneinde uitvoering te kunnen geven aan dit beleid is één Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) opgericht. Deze vennootschap dient faciliteiten te ontwikkelen om voor een interimperiode (100 jaar) al het in Nederland aangeboden radioactief afval bovengronds op te slaan op een wijze waarbij dit geheel van het milieu geïsoleerd wordt en kan blijven. De verwachting is dat binnen dat tijdsbestek een passende oplossing t.a.v. de eindopberging ter definitieve isolering in alle rust tot wasdom kan komen en de faciliteiten voor een blijvende eindopberging dan beschikbaar zullen zijn. Daarbij wordt in de eerste plaats gedacht aan opberging in de diepe ondergrond, maar bovengrondse opslag wordt niet uitgesloten geacht.

### Beheersen

Vanuit de optiek van het milieubeleid voldoet een periode met bovengrondse opslag geheel aan het criterium van Beheersen en aan de eis van terugneembaarheid. Het streven is erop gericht dat toekomstige generaties niet worden geconfronteerd met een onomkeerbare oplossing. Bovengrondse opslag is blijvend omkeerbaar en beheersbaar. Daarnaast kunnen zich in de toekomst technologische ontwikkelingen voordoen die het mogelijk maken het afval geheel of gedeeltelijk onschadelijk te maken c.q. te hergebruiken. Tevens lijken de kosten van deze vorm van berging laag in vergelijking tot die van ondergrondse berging.

### Controleren

Bij bovengrondse opslag is aan het criterium van Controleren eenvoudig te voldoen door voldoende ruimten tussen de stapelingen vrij te houden. Hierdoor blijft ieder afzonderlijk collo bereikbaar en zonodig terugneembaar voor nadere inspectie c.q. herverpakking.

Als nu in plaats van de voorziene 100 jaar, het afval voor 300 jaar verantwoord bovengronds kan worden opgeslagen, is zelfs voor het  $^{137}\text{Cs}$  de activiteit met een factor 1000 verminderd. Veel van het laag- en middelactief afval is dan nauwelijks radioactief meer en kan dan worden afgevoerd als normaal huishoudelijk, industrieel of chemisch afval. Internationaal is het algemeen gebruikelijk om op een controleerbare wijze het laag- en middelactief afval ondiep te begraven. Het toezicht en de inkapseling zijn daarbij ook voor een periode van 300 jaar voorzien, waarna de risico's verwaarloosbaar worden geacht (IAEA, 1996).

In het hoogactief afval en in het kernsplijtingsafval domineren langlevende nucliden. Na een opslag van enkele eeuwen is de activiteit daarin nog nauwelijks verminderd. Deze typen afval zullen dus vroeg of laat altijd in een eindopberging moeten worden gedeponneerd. De onderhavige studie geeft daarom enkel een inventarisatie van dit type afval dat in de komende 100 jaar wordt aangeboden en opgeslagen. Wel is zijdelings van belang of dit afval ook tot 300 jaar op de huidige COVRA-locatie blijvend kan zijn opgeslagen.

Het criterium van Isoleren wordt gedomineerd door de bestendigheid van een berging tegen natuurlijke processen aan de oppervlakte. Hierdoor is dit voor de lange termijn isolatie van een bovengrondse berging de grootste risicofactor. Daarentegen is het Beheersen en Controleren beter uitvoerbaar en is een goede terugneembaarheid gewaarborgd. In hoeverre deze facetten een rol spelen en wat de kans op een ernstige versterking van de integriteit van de isolatie is, met de daaruit volgende besmetting van het milieu, is in deze studie onderzocht.

De definitie van de probleemstelling voor de onderhavige studie luidt derhalve:

Is de huidige COVRA-faciliteit, die ontworpen is voor een opslag over een periode tot 100 jaar, ook geschikt of geschikt te maken voor een langduriger opberging van radioactief afval tot 300 jaar? Welke randvoorwaarden moeten worden vervuld? Daarbij dient uiteraard voldaan te worden aan het IBC-criterium, waaronder een terugneembaarheid van het afval, ook over die langere periode.

Een belangrijk onderdeel van de studie naar een langduriger bovengrondse opslag is geweest het opstellen van een inventarisatie van de hoeveelheid afval die niet meer naar een eindopberging hoeft, gebaseerd op de nieuwe Europese richtlijnen voor vrijstellingsgrenzen voor radioactieve stoffen.

## 2 NORMSTELLING

### 2.1 Definitie van radioactief afval

Alle stoffen bevatten in principe natuurlijke radioactieve nucliden, zij het vaak in minieme hoeveelheden. Ook de concentratie van kunstmatige nucliden in stoffen kan zo laag zijn dat daarvan geen enkel gevaar voor de gezondheid van mens en dier te vrezen valt. Door overheden zijn daarom grenzen gesteld aan wat vrijgegeven mag worden en behandeld als normaal huishoudelijk- of bedrijfsafval. Radioactief afval dat door verval onder de vrijgavegrens komt, hoeft niet langer vanwege de radioactiviteit van het milieu geïsoleerd te worden.

Om tot een beoordeling te komen van de hoeveelheid afval die na een vervalperiode van maximaal 300 jaar als niet-actief afval afgevoerd kan worden, is een inventarisatie opgesteld van de hoeveelheid afval die thans reeds bij COVRA is opgeslagen en de hoeveelheden die daar in de toekomst te verwachten zijn. Daarbij is uitgesplitst naar de lengte van de vervalperiode die nodig is om onder de vrijgavegrens te komen.

### 2.2 Normgeving

#### 2.2.1 NEDERLANDSE NORMEN

Wat volgens de huidige Nederlandse normgeving onder radioactief materiaal wordt verstaan, staat omschreven in de Kernenergiewet en de op die wet gebaseerde regelgeving in het Besluit Stralenbescherming Kernenergiewet (BsK, 1986). De normering blijft beperkt tot de Nederlandse wetgeving, omdat COVRA alleen een acceptatieplicht heeft voor Nederlands radioactief afval.

In artikel 1 lid 1 onder d Kernenergiewet worden "radioactieve stoffen" gedefinieerd als *"materie, welke ioniserende stralen uitzendt, alsmede stoffen welke zodanige materie bevatten, één en ander met uitzondering van splijtstoffen en ertsen"*.

In ditzelfde artikellid worden onder e "ioniserende stralen" vervolgens gedefinieerd als *"röntgen- en gammastralen, alsmede corpusculaire stralen, welke in staat zijn ionenvorming te veroorzaken"*.

In de toelichting op het definitie-artikel 1 lid 1 sub d Kernenergiewet staat:

*"Onder d wordt een definitie gegeven van radioactieve stoffen. Deze definitie is zeer ruim, zelfs zozeer dat vrijwel alle materie en voorwerpen op aarde onder deze definitie vallen. Radio-isotopen vormen immers van nature een bestanddeel van de bodem, het water en de lucht en alles wat uit die bodem is voortgekomen of daarop leeft. De grenzen waarboven de Kernenergiewet van toepassing is zijn gegeven in het Besluit stralenbescherming"*

*Kernenergiewet, waarin onder meer het oude Radioactieve-stoffenbesluit Kernenergiewet (Stb. 1969, 404) is opgenomen. Radioactieve stoffen zijn alleen stoffen die ioniserende straling uitzenden."*

Artikel 29 stelt regels over radioactieve stoffen:

*Art.29 lid 1; Het is verboden zonder vergunning bij algemene maatregel van bestuur aan te wijzen radioactieve stoffen of in daarbij aan te wijzen gevallen radioactieve stoffen te bereiden, te vervoeren, voorhanden te hebben, toe te passen, binnen Nederlands grondgebied te brengen of te doen brengen, danwel zich daarvan te ontdoen.*

Het Besluit Stralenbescherming Kernenergiewet (10 09 1986, Stb. 465) moet dus de grenzen aangeven, nodig voor de beantwoording van de vraag voor welke radioactieve stoffen een vergunning nodig is en voor welke niet. Een en ander is geregeld in hoofdstuk II van dit besluit.

In artikel 6 zijn de uitzonderingen opgesomd op de regel dat voor het bereiden, voorhanden hebben of het toepassen van radioactieve stoffen vergunning nodig is.

*Art.6. 1. Het in artikel 29, eerste lid, van de wet vervatte verbod zonder vergunning radioactieve stoffen te bereiden, voorhanden te hebben of toe te passen geldt met betrekking tot alle radioactieve stoffen, met uitzondering van:*

- a. Radioactieve stoffen waarvan de activiteit minder bedraagt dan 100 becquerel (2,7 nanocurie) per gram;*
- b. vaste natuurlijke radioactieve stoffen waarvan de activiteit minder bedraagt dan 500 becquerel (14 nanocurie) per gram;*
- c. rubidium-87, samarium-147, rhenium-187, indium-115, en neodymium-144.*

*2. Het in het eerste lid genoemde verbod geldt niet met betrekking tot radioactieve stoffen die tezamen als één bron van straling kunnen worden beschouwd, indien de activiteit van die radioactieve stoffen minder bedraagt dan:*

- a. bij de zeer hoog radioactieve stoffen 5 kilobecquerel*
- b. bij de hoog radioactieve stoffen 50 kilobecquerel*
- c. bij de matig radioactieve stoffen 0,5 megabecquerel*
- d. bij de laag radioactieve stoffen 5 megabecquerel*

*4. Onze Ministers stellen regelen vast met betrekking tot de indeling van radioactieve nucliden volgens hun radiotoxiciteit als bedoeld in het tweede lid.*

*Voor het zich ontdoen van deze stoffen is e.e.a. geregeld in artikel 7.*

Deze lijst van indeling staat weergegeven in een bijlage van het Besluit.

In artikel 7 worden regels gegeven voor het zich ontdoen van radioactieve stoffen. De relevante regels zijn:

*Art. 7.1 Het in artikel 29, eerste lid, van de wet vervatte verbod zich zonder vergunning van Onze Ministers van radioactieve stoffen te ontdoen geldt met betrekking tot alle radioactieve stoffen, met uitzondering van:*

- a. radioactieve stoffen waarvan de activiteit minder bedraagt dan 100 becquerel (2,7 nanocurie) per gram*
- b. vaste natuurlijke radioactieve stoffen waarvan de activiteit minder bedraagt dan 500 becquerel (14 nanocurie) per gram*
- c. rubidium-87, samarium-147, rhenium-187, indium-115 en neodymium-144.*

*3. Het in het eerste lid bedoelde verbod geldt voorts niet voor:*

- d. het zich ontdoen van radioactieve afvalstoffen door afgifte aan een door Onze Ministers erkende ophaaldienst voor radioactieve afvalstoffen.*

De in de artikelen 6 en 7 genoemde activiteitsgrenzen waar beneden geen vergunning nodig is, zijn in overeenstemming met de Euratom-basisnormen.

Binnenkort zullen de vigerende Nederlandse normen aangepast worden aan recentelijk nieuw geformuleerde richtlijnen van de Europese Commissie. Deze aanpassing zal een wezenlijke invloed hebben op de omvang en hoeveelheden van het radioactief afval.

## 2.2.2 EC-RICHTLIJNEN

Door de Europese Commissie is een nieuwe Richtlijn van de Raad opgesteld die de bestaande Europese richtlijnen op het gebied van stralingsbescherming zal gaan vervangen (EU,1996). Het bereik van deze richtlijn zal zijn tot alle praktijken die een risico van ioniserende straling opleveren, afkomstig van een kunstmatige of natuurlijke bron. In de Richtlijn zijn vrijstellingsgrenzen voor melding van radioactieve stoffen vastgesteld (EU,1996). Deze grenzen zijn niet meer generiek, zoals in de huidige Nederlandse normen, maar nuclide specifiek. De meldingsplichtige grenzen zijn getabelleerd in absolute hoeveelheden (Bequerels) en in concentraties ( $\text{kBq.kg}^{-1}$ ). Melding is vereist als zowel de grenswaarde voor de absolute activiteit als voor de specifieke activiteit wordt overschreden.

Criteria gehanteerd bij het opstellen van deze lijst van vrijstellingen zijn:

- a) de effectieve dosis die opgelopen zou kunnen worden door enig lid van de bevolking ten gevolge van de vrijgestelde praktijk is in de orde van grootte van  $10 \mu\text{Sv}$  per jaar of minder
- b) of de collectieve dosis opgelopen in een jaar als gevolg van de praktijk is niet meer dan 1 mensSv of uit een bepaling voor de optimalisatie van de bescherming is gebleken dat de vrijgestelde praktijk het optimale is.

In de lijst van nucliden is een groot aantal nucliden opgenomen met een korte halveringstijd. Deze nucliden zullen zelden door de instelling waar ze zijn gebruikt worden aangeboden aan

COVRA omdat men ze in eigen opslag laat vervallen tot activiteiten onder de vrijstellingswaarden uit de tabel. Het blijkt in de praktijk dat het criterium voor aanbidding aan COVRA gelegd kan worden op een halveringstijd van 2 weken. Daarnaast geldt het criterium van een halfwaardetijd van 15 jaar uit de nota radioactief afval van VROM tussen kort en lang levend afval.

In bijlage A is een bewerking gegeven van de tabel uit de Europese richtlijn, waarbij de nucliden met een halfwaardetijd van minder dan 2 weken zijn weggelaten en tevens is aangegeven of de halfwaardetijd meer of minder dan 15 jaar is.

Opgemerkt moet worden dat de vrijstellingsgrenzen voor melding uit de tabel niet noodzakelijkerwijs gelijk zijn aan de vrijgavegrenzen. Hierover zegt artikel 5 van de Richtlijn:

*Article 5 Authorization and clearance for disposal, recycling or re-use.*

- 1. The disposal, recycling or re-use of radioactive substances or materials containing radioactive substances arising from any practice subject to the requirement of reporting or authorization is subject to prior authorization.*
- 2. However, the disposal, recycling or re-use of such substances or materials may be released from the requirements of this present Directive subject to complying with clearance levels established by national competent authorities. These clearance levels shall follow the basic criteria used in Annex I (noot: zie bijlage A) and take into account any other technical guidance provided by the Community.*

Het ruimen bij COVRA van afval dat vervallen is tot onder de vrijstellingsgrenzen blijft dus een zaak van toestemming door de overheid. Het ligt echter wel voor de hand dat de vrijgavegrenzen overeenkomstig met de vrijstellingsgrenzen voor melding zullen zijn. In dit rapport wordt daar op voorhand van uitgegaan, omdat nog geen nationale richtlijnen hiervoor zijn vastgesteld.



### 3 INVENTARISATIE

#### 3.1 Algemeen

Tot op heden is het aangeboden afval slechts laag- en middelactief en bestaat uit bedrijfsafval van kerncentrales, onderzoekinstellingen, ziekenhuizen en overigen. Het ontmantelingsafval van de KEMA Suspensie Test Reactor (KSTR) neemt hierbij slechts een bescheiden plaats in. In de toekomst zal het ontmantelingsafval van de beide Nederlandse kernenergiecentrales wel een wezenlijk aandeel in de totale hoeveelheden gaan vormen. Over enige jaren wordt het kernsplijtingsafval en hoogactief afval ontstaan bij de verwerking van afgewerkte splijtstof uit de kernenergiecentrales naar Nederland geretourneerd vanuit de buitenlandse opwerkingsfabrieken. Ook de splijtstofstaven van de Nederlandse onderzoeksreactoren in Petten en Delft moeten worden opgeslagen.

COVRA heeft de colli met laag- en middelactief afval onderverdeeld in vier categorieën:

##### categorie A

Dit is afval waarin zich  $\alpha$ -activiteit bevindt. Dit hoeft niet uitsluitend  $\alpha$ -activiteit te zijn. Ook als slechts kleine hoeveelheden  $\alpha$ -emitters naast andere nucliden voorkomen, worden de betreffende colli ingedeeld in categorie A.

##### categorie B

Bedrijfsafval met  $\beta/\gamma$ -emitters van kerncentrales wordt ingedeeld in categorie B.

##### categorie C

Overig afval met  $\beta/\gamma$ -emitters met daarin een nuclide met een halveringstijd van meer dan 15 jaar wordt ingedeeld in categorie C.

##### categorie D

Overig afval met  $\beta/\gamma$ -emitters waarin uitsluitend nucliden met een halveringstijd van minder dan 15 jaar wordt ingedeeld in categorie D.

Daarnaast worden drie soorten colli onderscheiden:

- standaard 220 liter drums van de afmeting  $\varnothing$  57 x 88 cm.
- standaard 220 liter drums die vanwege stralingsafscherming zijn geplaatst in een betonnen huls met buitenafmeting van  $\varnothing$  1 x 1,25 m.
- gecementeerd afval in monolieten van 1000 liter van  $\varnothing$  1 x 1,25 m.

Van andere vormen zijn slechts enkele stuks aanwezig.

Ontmantelingsafval (in grote hoeveelheden) van de Nederlandse kernenergiecentrales is nog niet aanwezig. Hierdoor is voor dit afval ook nog geen categorie indeling gemaakt. Voor de overzichtelijkheid zal, uitsluitend ten behoeve van dit rapport, hiervoor een categorie O worden gedefinieerd.

In de nabije toekomst zal worden opgeslagen:

- hoogactief- en kernsplijtingsafval en splijststofelementen:  
de levensduur van dit afval is veel meer dan 300 jaar. In de context van dit rapport behoeft dan ook niet bezien te worden of dit afval op termijn geruimd mag worden.

tevens:

- verarmd uranium:  
na verrijking van het natuurlijke U-235 gehalte in uranium ter gebruik als brandstof in licht-waterreactoren, resteert een partij uranium met een lager gehalte aan U-235. Deze partij wordt bij COVRA in een afzonderlijk gebouw opgeslagen tot daar een andere bestemming voor is gevonden.
- calcinaat afkomstig van fosforproductie:  
de levensduur van de radioactiviteit in dit restproduct wordt bepaald door het nuclide Pb-210 met een halfwaardetijd van 22,3 jaar. Het product wordt bij COVRA opgeslagen in containers in een afzonderlijk gebouw. Na hooguit 150 jaar opslag is de activiteit voldoende vervallen (Welbergen, 1997). In dit rapport behoeft derhalve het calcinaat niet nader te worden beschouwd.

### 3.2 Activiteitswaarde

De vraag naar de activiteitswaarde van een collo c.q. het radiologisch risico daarvan moet beschouwd worden naar het aantal malen dat de activiteit groter of kleiner is dan de meldingsplichtige grenzen volgens de Europese richtlijn. Als een vat meerdere nucliden bevat moet een gewogen sommatie gemaakt worden om de betreffende activiteitwaarde te bepalen. Deze sommatie gaat als volgt:

$$\sum_a = \frac{a_1}{A_1} + \frac{a_2}{A_2} + \dots + \frac{a_i}{A_i}$$

$a_i$  = werkelijke activiteit in het vat van nuclide i [Bq]

$A_i$  = waarde voor absolute activiteit uit de EU-richtlijn voor nuclide i

$$\sum_s = \frac{(a_1 / G) \cdot 10^{-3}}{S_1} + \frac{(a_2 / G) \cdot 10^{-3}}{S_2} + \dots + \frac{(a_i / G) \cdot 10^{-3}}{S_i}$$

$a_i$  = werkelijke activiteit in het vat van nuclide i [Bq]

$G$  = gewicht van het vat [kg]

$S_i$  = waarde voor specifieke activiteit uit de EU-richtlijn voor nuclide i

Als voor een collo één van beide waarden,  $\sum_a$  of  $\sum_s$ , kleiner is dan 1, dan geldt daarvoor geen meldingsplicht meer en wordt aangenomen dat het collo mag worden afgevoerd.

De waarden  $\sum_a$  en  $\sum_s$  kunnen nu ook berekend worden voor verval van de activiteit (per

nuclide) in stappen van 15 jaar<sup>1</sup>. Als standaard ontvangstdatum wordt 31 december van het betreffende jaar aangehouden.

### 3.3 Hoeveelheden

Als deelstudie is een tabellarisch overzicht gemaakt van de huidige en verwachte hoeveelheden laag- en middelactief afval. Deze zijn afzonderlijk gegeven in referentie (KEMA, 1997a). Onderstaand zullen de belangrijkste uitkomsten van die deelstudie worden vermeld. In bijlage C worden de verwachte hoeveelheden hoogactief- en kernsplijtingsafval aangegeven.

De huidige COVRA-faciliteiten zijn opgezet voor een interimperiode van 100 jaar. In de onderhavige studie is daarom uitgegaan van het aanbod in de komende eeuw. Na het jaar 2100 zal echter nog steeds radioactief afval worden geproduceerd. Dat afval zal echter in een andere faciliteit c.q. aangepaste faciliteit moeten worden behandeld. Hierop is in deze studie nog niet vooruitgelopen.

#### 3.3.1 HUIDIGE HOEVEELHEDEN

Van het huidige aanwezige afval is per collo bekend welke activiteit en welke nucliden zich daarin bevinden. Deze gegevens zijn gebaseerd op de opgave van de producenten die het afval destijds aan COVRA hebben aangeboden. De gegevens zijn opgeslagen in een databestand.

In bijlage B, tabel B1 derde kolom staat het huidig aanwezig aantal vaten vermeld (peildatum: 31 december 1996). In de volgende kolommen staat in tijdstappen van 15 jaar het aantal colli dat door verval onder een meldingsplichtige grens is gekomen en dus afgevoerd zou mogen worden. In de laatste kolom staat het resterende aantal colli na 300 jaar.

De totale activiteit aanwezig begin 1996 bedroeg 370 TBq. Aan het einde van 1996 bedroeg de totale activiteit, voor verval gecorrigeerd, 458 TBq. De grote toename in dit jaar is een gevolg van de incidentele ontvangst van enkele sterke bronnen (COVRA, 1997).

#### 3.3.2 TOEKOMSTIG LAAG- EN MIDDELACTIEF AFVAL

De hoeveelheden en aard van het toekomstig aanbod aan afval zijn niet eenvoudig te voorspellen. Om toch hierover een uitspraak te doen is er voor gekozen om de historische

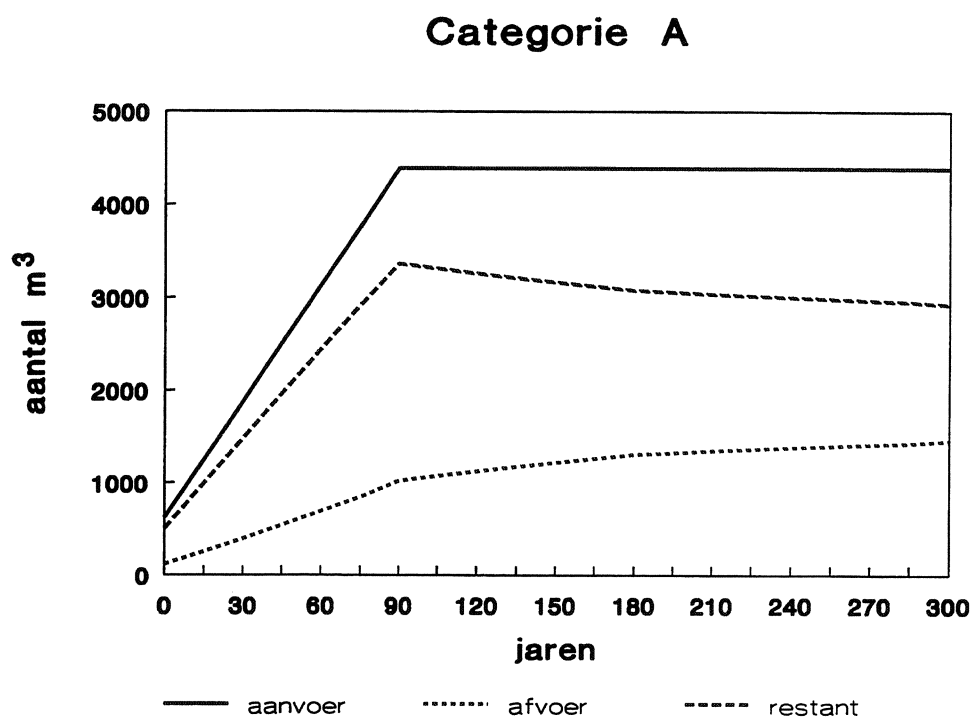
---

<sup>1</sup> de periode van 15 jaar is arbitair gekozen op pragmatische gronden

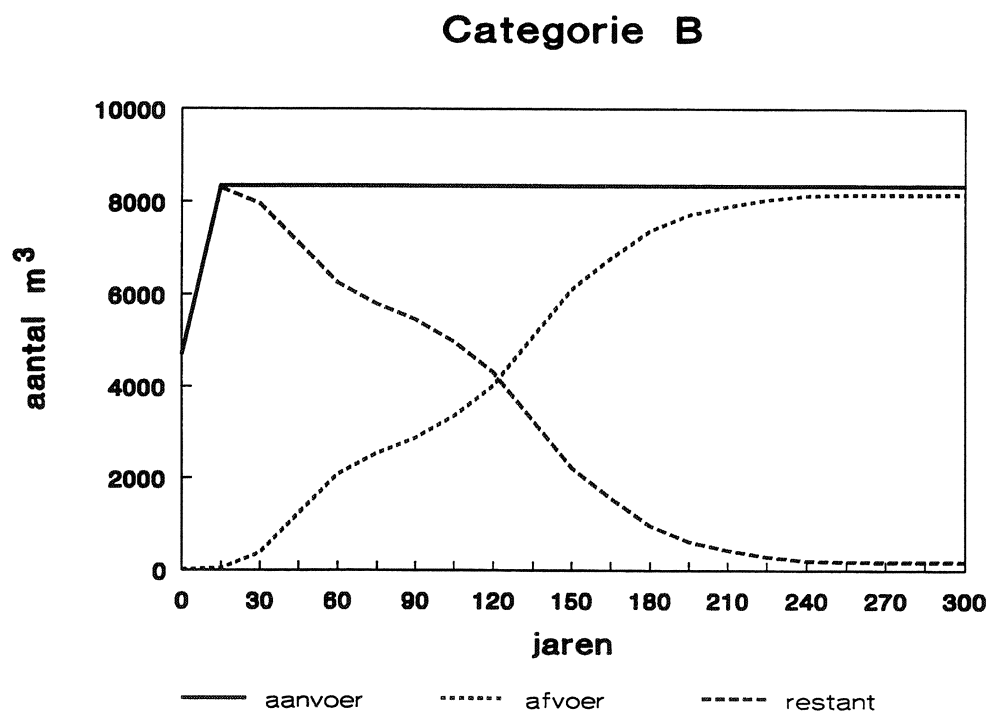
trend van de laatste 10 jaar te extrapoleren. De eerste jaren van het bedrijf van COVRA die wellicht niet geheel representatief zijn, worden derhalve bij deze extrapolatie niet meegenomen.

De op deze basis te verwachten hoeveelheden worden weergegeven in bijlage B, tabel B2. Voor deze berekening is uitgegaan van de historische trend onder de aanname van een identieke verdeling van de radioactieve producten in de colli. COVRA is oorspronkelijk opgericht voor het opslaan van radioactief afval voor uiterlijk de komende 100 jaar. Daarom is de extrapolatie voor het toekomstig afval beperkt tot 90 jaar vanaf heden (1997).

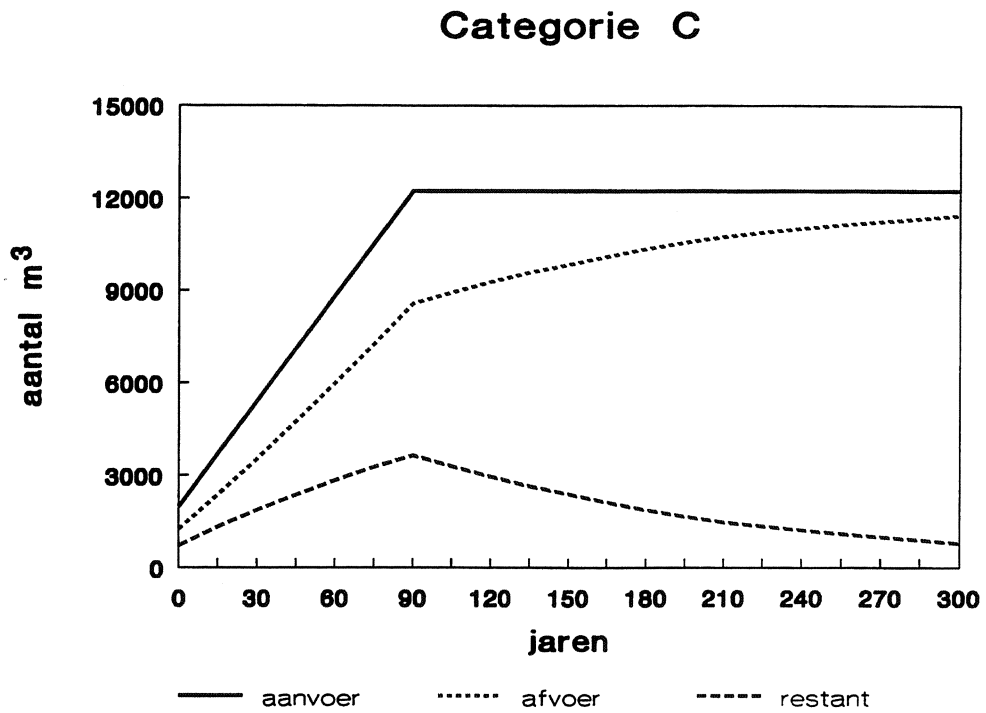
Ook voor de nieuwe hoeveelheden afval kan worden aangegeven in welk jaar deze geruimd mogen worden. In de figuren 3.1 - 3.4 is voor de vier categorieën de aan- en afvoer van afval aangegeven in kubieke meter. Te zien valt dat alleen voor categorie A afval een aanzienlijk deel nog resteert na 300 jaar. Op zich is dit niet verwonderlijk daar de meeste  $\alpha$ -actieve nucliden een (zeer) lange halveringstijd hebben. Het afval in categorie D kan uiteraard snel afgevoerd worden, daar per definitie de halveringstijd voor deze nucliden kleiner is dan 15 jaar. Ook het laag - en middelactief afval van de kernenergiecentrales (categorie B) kan redelijk vlot worden afgevoerd omdat het overheersende nuclide daarin Co-60 is met een halveringstijd van 5,27 jaar.



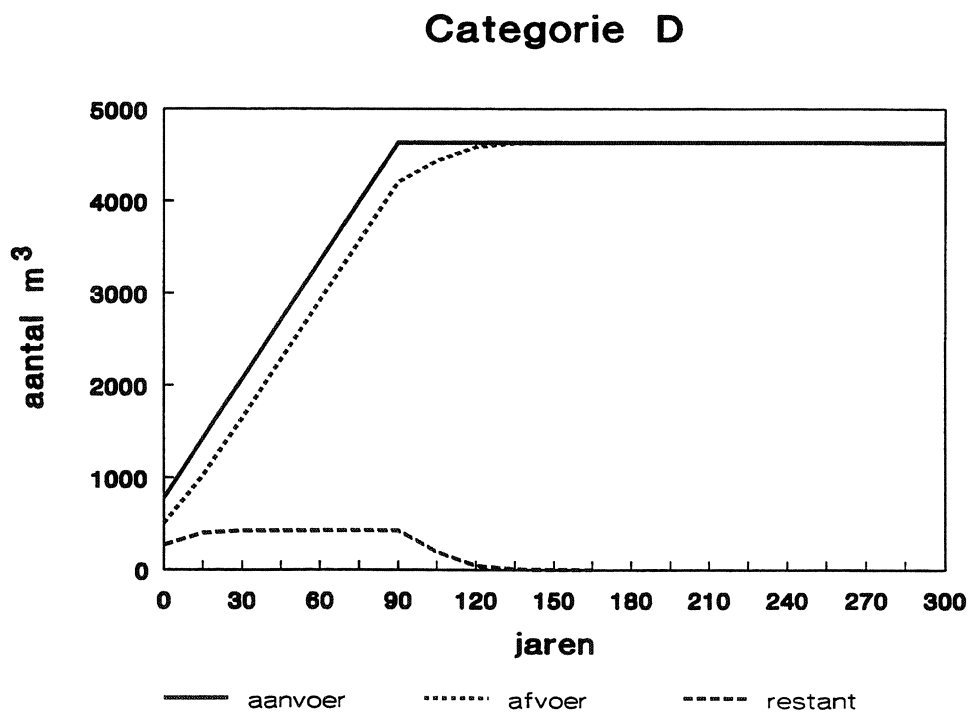
Figuur 3.1 Cumulatieve volumina aan- en afvoer categorie A afval



Figuur 3.2 Cumulatieve volumina aan- en afvoer categorie B afval



Figuur 3.3 Cumulatieve volumina aan- en afvoer categorie C afval



Figuur 3.4 Cumulatieve volumina aan- en afvoer categorie D afval

### 3.3.3 ONTMANTELINGSAFVAL

De kerncentrale Dodewaard is in maart 1997 stilgelegd, de kerncentrale Borssele wordt naar verwachting in 2004 stilgelegd. Verondersteld wordt dat het eerste ontmantelingsafval na een wachttijd van 40 jaar wordt aangeboden en dan over een periode van 10 jaar. Aangenomen is tevens dat de wachtp periode ingaat 6 jaar na de stillegging van de centrale. De periode van 10 jaar is enigzins arbitrair gekozen en is afhankelijk van de duur van de ontmanteling. De invloed op de uiteindelijke omvang van de totale hoeveelheid afval is echter gering, omdat het verval van de radioactiviteit aanvangt op het moment van de stillegging van de kerncentrales.

De berekende hoeveelheid ontmantelingsafval voor Dodewaard en Borssele wordt gegeven in de referenties (GKN, 1997) en (NIS, 1994). De hoeveelheden worden daarin gegeven in "Duitse" typen afvalvaten. Tabel 3.1 geeft deze berekende hoeveelheden van categorie O afval.

Tabel 3.1 Ontmantelingsafval in "Duitse" typen afvalvaten

Type vat	Aantal vaten	Massa Mg	Opslagvolume m <sup>3</sup>
<b>Borssele</b>			
Steelcontainer Typ II 4/- mm	457	2185,3	2097,6
Cast iron cont. Typ I 150/- mm	14	42,2	54,9
Concrete cont. Typ II 200/- mm	27	82,5	120,6
Cast iron cask Typ II 160/20 mm	8	2,5	9,6
Cast iron cask Typ II 220/44 mm	34	9,8	44,5
Cast iron cask Typ II 160/- mm	58	45,1	74,3
Steel container Typ IV 4/- mm	42	80,5	297,3
<b>Dodewaard</b>			
Steelcontainer Typ II 4/- mm	487,5	2005,4	2252,4
Steel cont. Typ II 180/30 mm	3,6	8,8	16,7
Steel cont. Typ II 180/100 mm	3,4	7,1	15,8
Cast iron cask Typ II 160/- mm	65,1	53,1	85,9
Steel container Typ IV 4/- mm	10,4	20,7	76,6

Bovenstaande typen afvalvaten worden (nog) niet geaccepteerd door COVRA mede doordat in sommige typen lood als afscherming wordt gebruikt (bijv. 180 mm staal/30 mm lood). Om te komen tot een vergelijkbare hoeveelheid vaten in de typen wel geaccepteerd door COVRA is een omrekening uitgevoerd:

- met het volume van de typen die geen extra afscherming behoeven (4 mm stalen vaten) is het aantal 220 l vaten bepaald.
- met het volume van de typen die extra afscherming behoeven (bijv. 180 mm staal en 30 mm lood) is het aantal 1000 l vaten bepaald (= 220 l vat met extra betonnen afschermhuls van 1000 l).

De hoeveelheden die op deze wijzen zijn berekend zijn dan zoals weergegeven in tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hoeveelheid ontmantelingsafval Borssele en Dodewaard (Categorie O)

Type vaten	Aantal Dodewaard	Aantal Borssele	Totaal
220 l vaten	11 645	11 975	23 620
Met huls 1000 l	119	304	423

De hoeveelheden die in de loop van de tijd worden aangeboden aan COVRA staan aangegeven in bijlage B, tabel B3.

Om na te gaan of in de loop der jaren (eeuwen) het ontmantelingsafval als niet meer radioactief afgevoerd zou mogen worden, is het noodzakelijk om na te gaan welk nucliden-spectrum na de wachtperiode van 40 jaar verwacht zou mogen worden. Immers het stralingsniveau van een "vers" spectrum wordt vrijwel geheel (>95%) bepaald door de aanwezigheid daarin van Co-60. De halveringstijd van Co-60 bedraagt 5,27 jaar, zodat de activiteit van Co-60 na 40 jaar gedaald is met een factor 200. Het relatieve stralingsniveau van Co-60 is dan gedaald tot circa 40%. Het overige deel van het stralingsniveau is dan afkomstig van lang(er) levende nucliden, terwijl ook het relatieve aandeel van  $\alpha$ -actieve nucliden is toegenomen.

Over de bepaling van aanwezige nucliden in ontmantelingsafval is nauwelijks bruikbare informatie in de literatuur bekend. Wel zijn computerprogramma's in ontwikkeling die over enige tijd (binnen een jaar) voorspellingen over de samenstelling kunnen doen (Lemmens,1997). Ook over het nuclidenspectrum in het ontmantelingsafval van specifiek de centrales Dodewaard en Borssele is ten tijde van deze rapportage (eind 1997) nog onvoldoende bekend om analyses naar het verval op te stellen (Scholten,1997). Daarom is getracht een analyse naar het verval op te stellen op basis van globale gegevens.



In een uitgebreide studie van EPRI (EPRI,1985) zijn nuclidenspectra opgesteld voor meerdere soorten afval die tijdens het bedrijven van een nucleaire reactor ontstaan. Door de NRC worden deze spectra geaccepteerd voor de afvoer en behandeling van afval in de VS. De spectra zijn gebaseerd op de gemakkelijk meetbare nucliden Co-60 en Cs-137. Met behulp van afgeleide correlatiefactoren worden dan de activiteiten van de overigen nucliden vastgesteld. Voor onze berekeningen naar ontmantelingsafval wordt de EPRI-tabel voor Dry Active Waste gehanteerd, omdat die waarschijnlijk het meest overeenkomstig met ontmantelingsafval zal zijn. Deze EPRI-correlatiefactoren zijn weergegeven in tabel 3.3, alsmede de afgeleide correlatiefactoren na een wachttijd van 40 jaar.

Tabel 3.3 Verwachte correlatiefactoren voor ontmantelingsafval ten tijde stoppen reactor (EPRI,1985) en na een wachttijd van 40 jaar

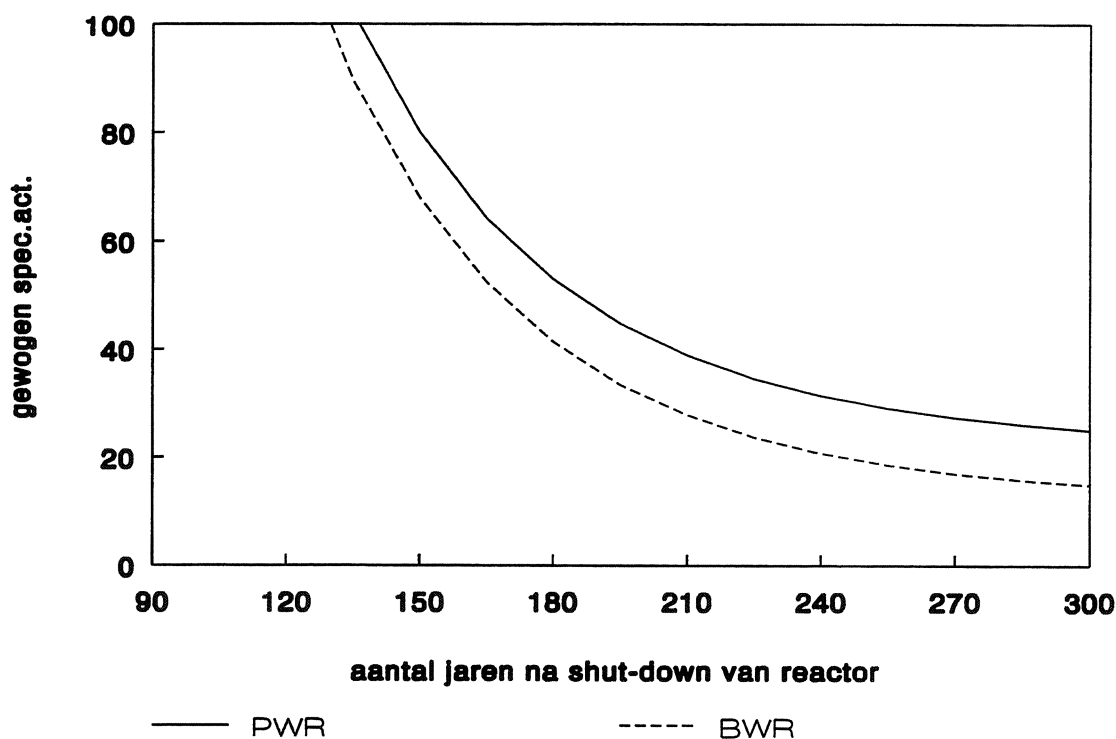
Nucliden	PWR		BWR	
	correlatiefactoren		correlatiefactoren	
	t=0	t=40 jaar	t=0	t=40 jaar
C-14 / Co-60	5E-2	9.6	2E-3	0.4
Ni-63 / Co-60	0.3	44	2E-2	3
Sr-90 / Cs-137	2E-3	2E-3	6E-2	6E-2
Tc-99 / Cs-137	4E-4	1E-3	3E-3	8E-3
I-129 / Cs-137	8E-6	2E-5	5E-3	1E-2
Pu-239 / Cs-137	1E-4	2.5E-3	3E-3	1.3E-3
Pu-239 / Ce-144	2E-3	--	2E-3	--
Pu-239 / Co-60	1E-4	2E-2	5E-5	1E-2
Pu-238 / Pu-239	1.2	0.9	1.4	1.0
Pu-241 / Pu-239	140	20	120	18
Am-241 / Pu-239	0.5	0.5	0.7	0.7
Cm-242 / Pu-239	4	0	8	0
Cm-244 / Pu-239	0.7	0.15	0.9	0.2

Het ligt in de reden om te verwachten dat de centrales bij het ontmantelen zoveel mogelijk activiteit per vat zullen willen opsluiten, teneinde het aantal vaten te beperken. De maximale activiteit per vat wordt bepaald door het stralingsniveau op enig punt op het oppervlak van het vat. Door de huidige voorschriften voor transport mag dit stralingsniveau de waarde van 2 mSv/h niet overschrijden. Met het programma MICROSHIELD (Grove,1988) is berekend

welke activiteiten per nuclide dan in een vat aanwezig kunnen zijn. Door het verval van het Co-60 gedurende de wachttijd van 40 jaar mogen de activiteiten van de langer levende nucliden, met name ook de  $\alpha$ -actieve nucliden, relatief veel hoger zijn dan wanneer de vaten direct na stoppen van de reactor zouden zijn gevuld.

Als uitgangspunt voor de berekeningen is gehanteerd dat een 100 liter vat voor 1/3 met stalen onderdelen wordt gevuld. De verhouding Cs-137:Co-60 is genomen als 1:10. Vervolgens worden deze vaten tot 50% geperst, zodat twee van deze perslingen in een 220 liter vat geplaatst worden en daarna afgevuld met cement. De gewogen specifieke activiteit van dat gevulde 220 liter vat is vervolgens berekend met de formule uit paragraaf 3.2 als functie van de tijd. Voor vrijgave van een vat als niet radioactief dient de waarde van de gewogen specifieke activiteit kleiner te zijn dan 1. In figuur 3.5 is de gewogen specifieke activiteit uitgezet als functie van de tijdsduur van opslag.

### Gewogen specifieke activiteit van vat met ontmantelingsafval

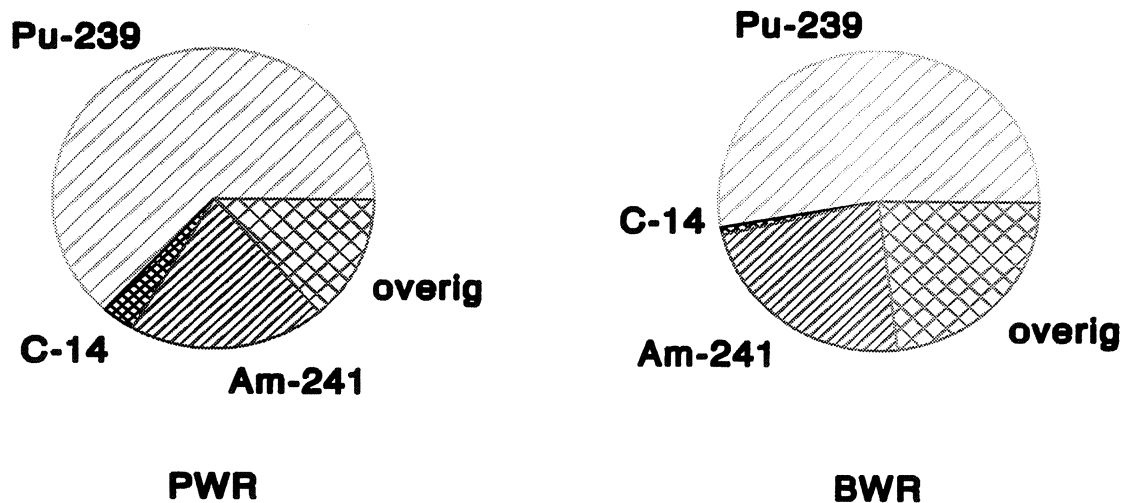


Figuur 3.5 Gewogen specifieke activiteit van een opgeslagen vat met ontmantelingsafval na een wachttijd van 40 jaar als functie van de tijd voor zowel PWR als voor BWR.

Uit de figuur is duidelijk dat ook na een opslagtijd van 300 jaar de waarde van 1 niet onderschreden zal worden en ook op veel langere termijn niet bereikt wordt. Bij 300 jaar

bedraagt voor een PWR de waarde van de gewogen specifieke activiteit 25 en voor een BWR bedraagt deze 15. Een nauwkeuriger analyse naar de nucliden die voor dit trage verval verantwoordelijk zijn leert dat dit vooral Pu-239 ( $t_{1/2}=2,41 \cdot 10^4$  jaar) is met als goede tweede Am-241 ( $t_{1/2}=432,6$  jaar). De relatieve verdelingen van de gewogen specifieke activiteiten staan weergegeven in figuur 3.6. De fractie overig wordt voornamelijk gevormd door Cs-137 en Pu-238 die met enkele eeuwen extra ook voldoende vervallen zouden zijn, maar desondanks blijft de gewogen specifieke activiteit  $> 1$ .

### Verdeling nucliden na 300 jaar in ontmantelingsafval



Figuur 3.6 Relatief aandeel van de gewogen specifieke activiteiten voor verschillende nucliden in ontmantelingsafval na 40 jaar wachttijd en na een opslagperiode van 300 jaar vanaf stoppen reactor.

Conclusie:

Uit deze globale schatting van het verval van ontmantelingsafval blijkt dat door de wachtperiode van 40 jaar het relatieve belang van langlevende nucliden zodanig is toegenomen dat verwijdering uit een opslag van radioactief afval, ook na eeuwen, niet toegestaan zal worden volgens de huidige inzichten en regelgeving. De spectra van het ontmantelingsafval van de centrales Dodewaard en Borssele kan echter essentieel afwijken van hetgeen in deze voorbeeld berekening is aangenomen. Voor afzonderlijke onderdelen kunnen de correlatiefactoren anders zijn dan volgens tabel 3.3. Het is derhalve aan te bevelen

te zijner tijd de spectra in het ontmantelingsafval specifiek voor beide centrales vast te stellen. Ook is van belang om bij het ontmantelen een scheiding aan te brengen tussen afval met kort- en langlevende activiteit. Dan kan opnieuw bezien worden of toch afvoer, geheel of gedeeltelijk, uit de opslag als niet radioactief afval verantwoord kan zijn na een zekere opslagperiode.

### 3.3.4 HOOGACTIEF- EN KERNSPLIJTINGSAFVAL

Op termijn wordt afval ontstaan bij de verwerking van gebruikte splijststofstaven uit de Nederlandse kernenergiecentrales terugverwacht uit de buitenlandse opwerkingsfabrieken. Daarnaast moeten uitgewerkte splijststofstaven uit de Nederlandse onderzoeksreactoren worden opgeslagen. Voor dit sterk stralende en deels warmte producerend afval is een apart gebouw voorzien, het HABOG. Bedacht moet worden dat de meeste nucliden in dit afval langlevend zijn zodat ook na 300 jaar de activiteit nog nauwelijks is verminderd. Een overzicht van de verwachte aflevering is gegeven in tabel 3.4. In bijlage C is een nadere specificatie naar de nuclideninventaris en de activiteiten gegeven. De verwachte hoeveelheden zijn overeenkomstig MER (1995) gegeven in tabel 3.5.

Tabel 3.4 Afleverschema van afval naar het HABOG (COVRA, 1997)

Jaar *)	verglaasd afval (canisters)		elementen (manden met 33 stuks)			HAVA vanaf COGEMA			HAVA BNFL	ECN	
	COG EMA	BNFL	HFR	IRI	LFR	H&E drums	CBFC drums	Bitum. drums	drums	HAVA drums	Fuel mand
1	28		10	2						100	3
2	28		4			27	12	24		100	
3			4			27		24		100	
4			3			27		12		100	
5		21	3			15			32	100	
6			2	1					32		
7	28		2			15	12				
8			2			15					
9			2								
10	28		2			12					
11	28	21	2		1	15	12		32	100	
12	28		2			30	5		32		
13	9		1			19					
14			1								
15			2	2						100	
Totaal	205	42	42	5	1	202	41	60	128	700	3

\*) gerekend vanaf voltooiing HABOG

Tabel 3.5 Totale hoeveelheden hoogactief- en kernsplijtingsafval in volume en activiteit na circa 100 jaar (COVRA, 1995)

Afvalcategorie	Volume (m <sup>3</sup> )	Activiteit (EBq)
<b>Warmteproducerend en hiermee gelijkgesteld afval</b>		
- splijtstofelementen, regelementen, splijtstof(resten)	40	980
- kernsplijtingsafval (KSA)	70	9.620
<b>Niet-warmteproducerend afval (HAVA)</b>		
- ontmantelingsafval	2000	20
- opwerkingsafval	810	300
- overig hoogactief afval	120	16

## 4 OMGEVINGSFACTOREN

### 4.1 Klimaatveranderingen

Het klimaat is geen vaststaand gegeven. In de loop der tijden hebben warme en koude periodes elkaar afgewisseld. Dit gebeurde dan in tijdschalen van miljoenen jaren. In de laatste decennia is echter duidelijk geworden dat als gevolg van menselijk handelen ons op korte termijn een klimaatverandering te wachten staat. Deze wordt veroorzaakt door de lozingen van broeikasgassen en aërosolen in de atmosfeer. Het gevolg is een algehele opwarming van de aarde. Door die opwarming zet het water in de oceanen uit en smelten ijsmassa's op de polen en op het land.

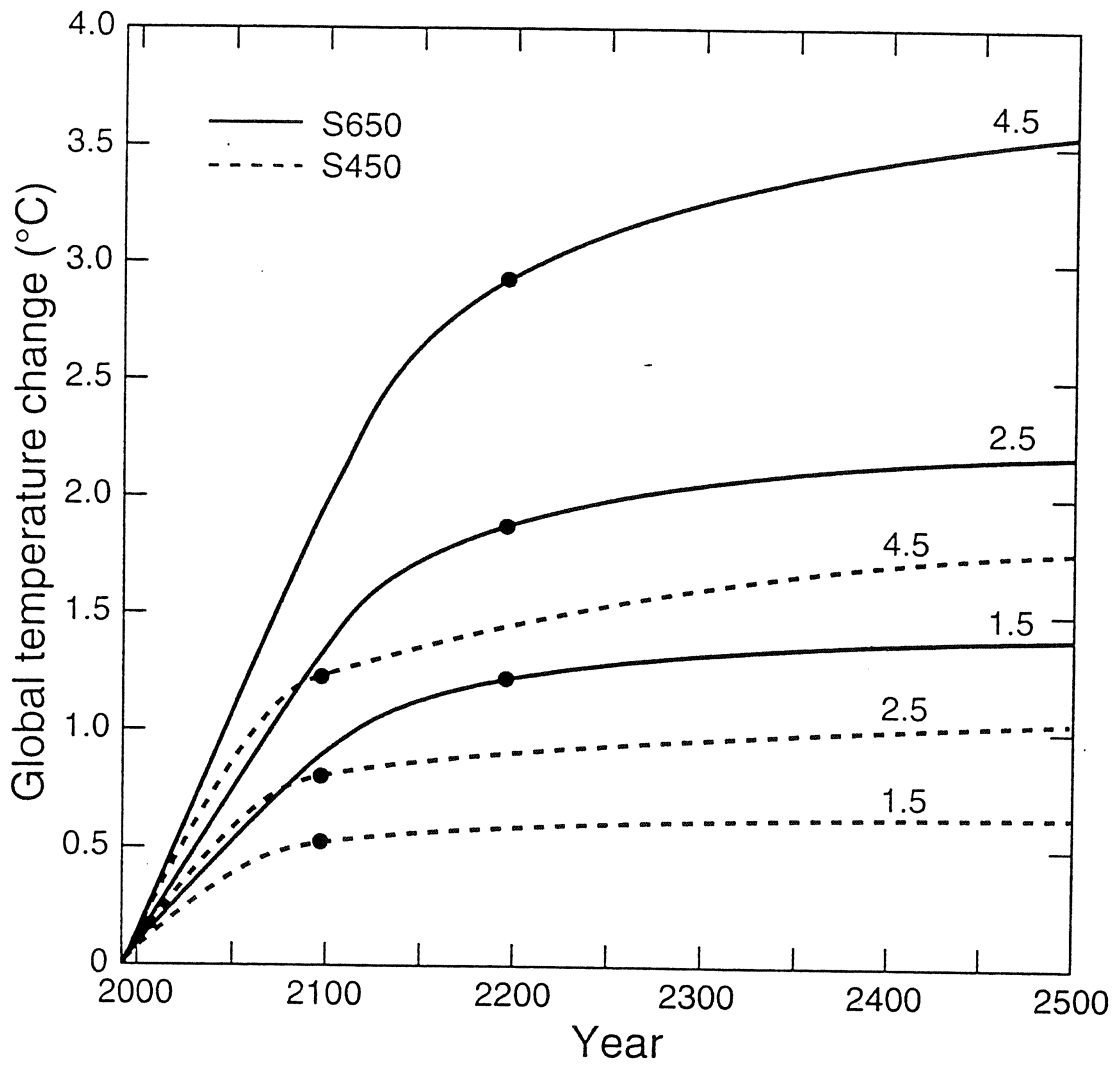
De verwachting is dat de eerste effecten reeds in de komende generatie merkbaar zullen worden. Door de traagheid van het systeem zal de doorwerking nog zeker een eeuw duren, ook als nu verdere lozing van broeikasgassen drastisch wordt gereduceerd (IPCC,1995). Omdat in de onderliggende studie gekeken wordt naar een levensduur van COVRA voor een periode van 300 jaar is het dus zaak om de gevolgen van een klimaatverandering in beschouwing te nemen.

Voor de locatie Sloe, waar COVRA is gevestigd, is het belangrijkste effect van klimaatverandering de zeespiegelstijging die ontstaat door de algehele opwarming. Tezamen met een autonome landdaling neemt de kans op overstroming toe. Een tweede effect is dat de intensiteit en frequentie van stormen kan gaan toenemen. Ook kunnen de stromingen langs de kust wijzigen.

Het meest gezaghebbende overzicht van de huidige kennis en inzichten op het gebied van mondiale klimaatverandering is samengesteld door het Intergovernmental Panel on Climate Change van de WMO en UNEP (IPCC,1995). De toekomstverkenningen van het panel gaan tot het jaar 2100. De schatting van mondiale opwarming is, afhankelijk van het gekozen scenario tussen de 0,8 en 4,5 K, met als beste schatting 2,4 K. Extrapolaties naar langere perioden zijn schaars gezien de vele onzekere factoren. In IPCC (1995) wordt wel een grafiek gegeven waaruit de traagheid van het klimaatsysteem blijkt, zie figuur 4.1.

Op het gebied van het optreden van stormen op gematigde breedten doet het IPCC geen harde uitspraken gezien de vele bestaande onzekerheden. Wijzigingen van de stromingen in de Westerschelde zouden de kustlijn kunnen gaan ondergraven; hierover zijn evenmin uitspraken te doen.

Het is onwaarschijnlijk dat een gemiddelde temperatuurstijging van enkele graden invloed kan hebben op de stabiliteit van het afval.



Figuur 4.1 Mondiale gemiddelde oppervlakte temperatuur respons op een gestabiliseerde CO<sub>2</sub>-concentratie (IPCC, 1995).

De getrokken lijnen zijn voor een stabilisatie op 650 ppmv CO<sub>2</sub> en de stippellijnen voor een stabilisatie op 450 ppmv CO<sub>2</sub>. Het tijdstip waarop de stabilisatie wordt bereikt is aangegeven met een punt. Lijnen zijn gegeven voor een temperatuurgevoeligheid van 1.5, 2.5 en 4.5 K bij een verdubbeling van de CO<sub>2</sub>-concentratie.

## 4.2 Zeespiegelstijging

De mate van toekomstige zeespiegelstijging is nog zeer onzeker. De waarden vermeld in de literatuur door diverse auteurs vertonen een grote spreiding. Men spreekt dan ook liever niet van voorspellingen, maar van projecties. De projecties zijn sterk afhankelijk van de veronderstelde maatschappelijke ontwikkelingen en van de gebruikte klimaatmodellen. Achtereenvolgens zal behandeld worden een projectie door het IPCC (1995), de schatting van Titus en Narayanan (1996) gebaseerd op een waarschijnlijkheidsverdeling op de opgaven van een ruim aantal onderzoekers, en de verwachtingen van Rijkswaterstaat voor het Sloegebied.

### 4.2.1 IPCC (1995)

De projecties van het IPCC zijn gebaseerd op rekenkundige modellen. Door de beperktheden van de modellen en de onzekerheden in de invoerparameters is de nauwkeurigheid niet hoog. Daarbij komt de onmogelijkheid van experimentele verificatie. Een verificatie is alleen mogelijk door geconstateerde historische trends te verklaren met de modellen. Een overzicht van de verklaringen over de laatste 100 jaar staat overgenomen in tabel 4.1. De aangegeven bandbreedte in de waarneming van de historische trend komt door onvolkomenheden in de metingen, veroorzaakt door lokale effecten op het gemiddelde zeeniveau.

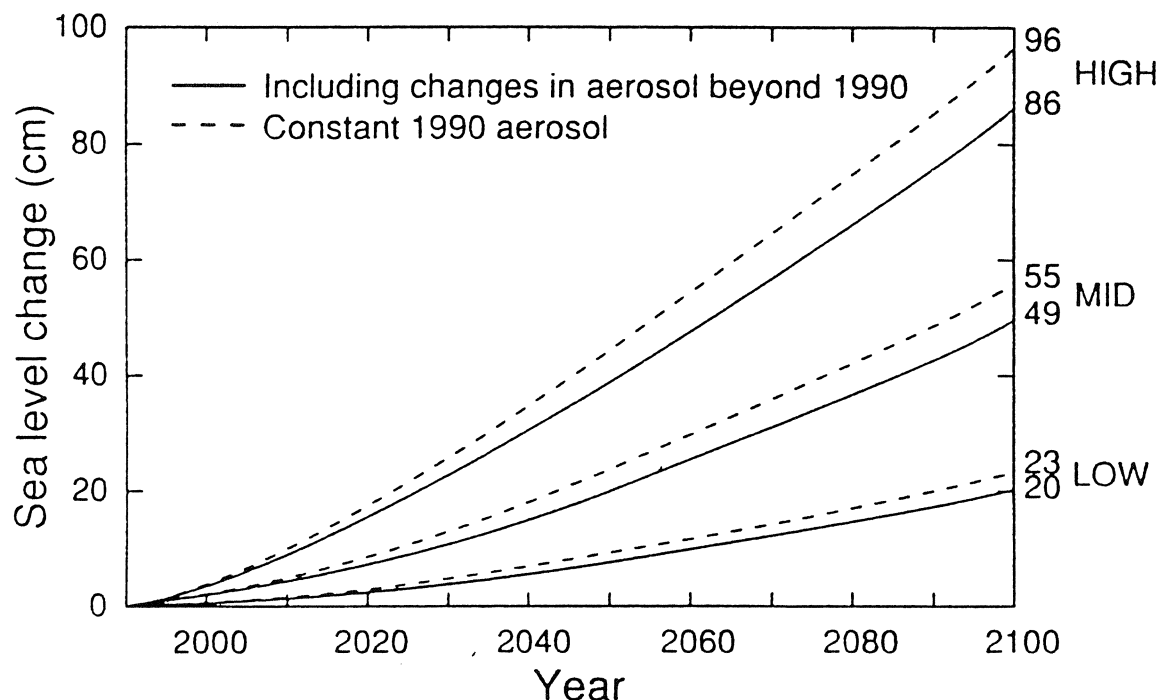
Tabel 4.1 Geschatte bijdragen aan de zeespiegelstijging over de laatste 100 jaar (cm) (IPCC, 1995)

<b>Bijdragen componenten</b>	<b>Laag</b>	<b>Middel</b>	<b>Hoog</b>
Thermische expansie oceanen	2	4	7
Gletschers/kleine ijskappen	2	3,5	5
Groenlandse ijskap	-4	0	4
Antarctische ijskap	-14	0	14
Oppervlaktewater en grondwater	-5	0,5	7
<b>TOTAAL</b>	<b>-19</b>	<b>8</b>	<b>37</b>
<b>WAARNEMING in trend</b>	<b>10</b>	<b>18</b>	<b>25</b>

Het IPCC analyseert een serie scenario's. Als meest aannemelijke wordt aangegeven het "business as usual" scenario (IS92a scenario). De klimaatgevolgen voor dit scenario geven middenwaarden in vergelijking met die van andere scenario's. Het wordt daarom veelal als referentiescenario genomen.



De projectie van IPCC voor de komende zeespiegelstijging bij het referentie scenario voor de maatschappelijke ontwikkelingen (IS92a) is weergegeven in figuur 4.2.

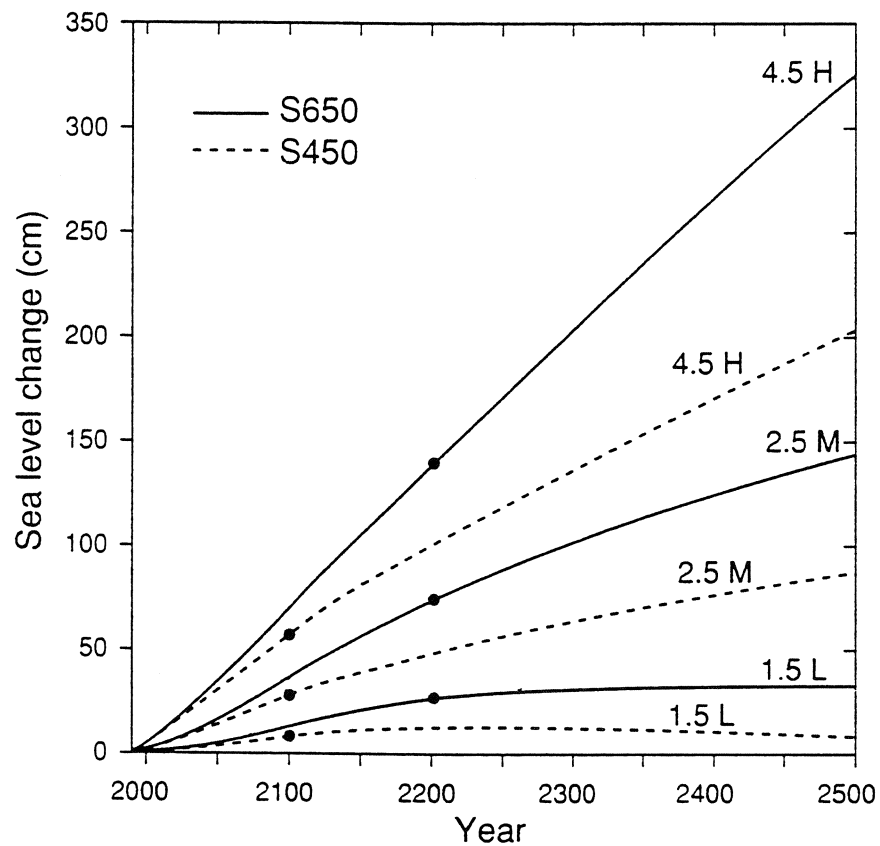


Figuur 4.2 Hoog, middel en lage projecties van de zeespiegelstijging over de periode 1990 tot 2100 voor scenario IS92a, voor veranderend aerosol gehalte (volle lijnen) en voor constant aerosol gehalte (stippellijnen) (IPCC, 1995)

Voor het jaar 2100 varieert de projectie tussen een stijging van 20 en 96 cm, met een gemiddelde waarde van 49 cm.

Voor een langere periode geeft het IPCC alleen projecties voor de zeespiegelstijging bij stabilisatie van het CO<sub>2</sub>-gehalte in de atmosfeer. Een dergelijke stabilisatie wordt niet bereikt bij het "business as usual" scenario. Voor een stabilisatie is een drastische reductie van de antropogene CO<sub>2</sub> emissie noodzakelijk. De projecties tot het jaar 2500 bij een stabilisatie staan gegeven in figuur 4.3.

Een hoge waarde voor de stabilisatie van de CO<sub>2</sub>-concentratie in 2200 is maatschappelijk eerder te verwachten dan een lagere waarde. De projectie voor de zeespiegelstijging bij stabilisatie op de nog gematigde waarde van 650 ppmv varieert in het jaar 2300 van 30 tot 200 cm stijging met een middenwaarde van 100 cm. Wordt de stabilisatie van de CO<sub>2</sub>-concentratie niet verwezenlijkt, dan ligt een veel grotere stijging van de zeespiegel in het verschiet.



Figuur 4.3 Lange termijn (1990 tot 2500) projecties van mondiale zeespiegelstijging (IPCC, 1995).

De getrokken lijnen zijn voor een stabilisatie op 650 ppmv CO<sub>2</sub> en de stippellijnen voor een stabilisatie op 450 ppmv CO<sub>2</sub>. Het tijdstip waarop de stabilisatie wordt bereikt is aangegeven met een punt. Lijnen zijn gegeven voor hoge en lage projecties bij een temperatuurgevoeligheid van 1.5, 2.5 en 4.5 K bij een verdubbeling van de CO<sub>2</sub>-concentratie.

#### 4.2.2 WAARSCHIJNLIJKHEIDSVERDELING

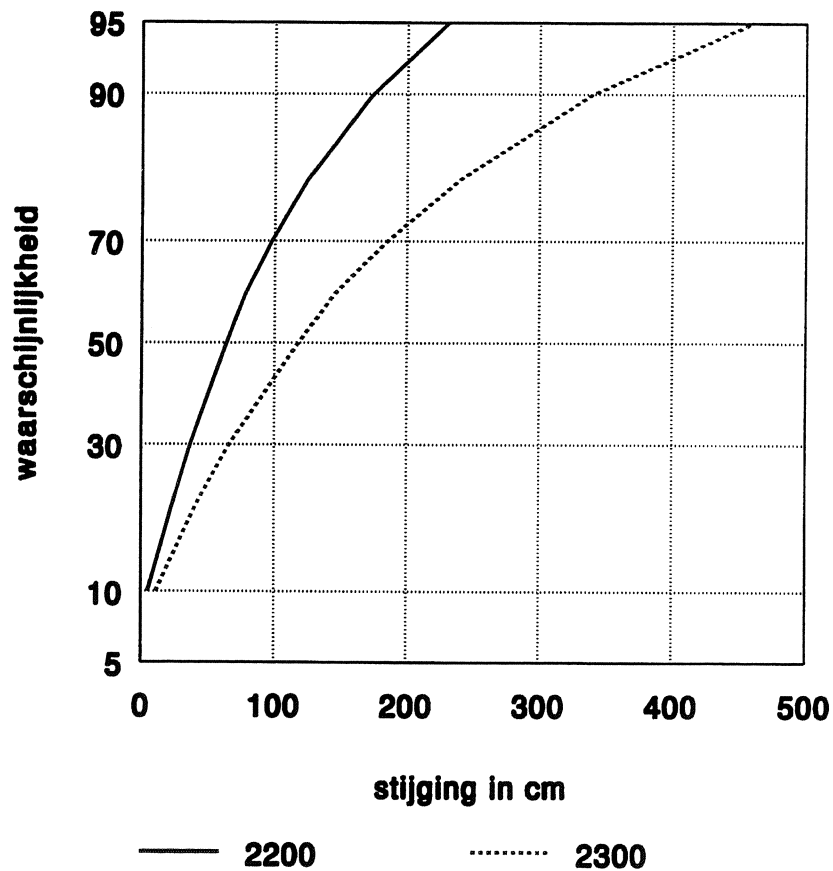
Door Titus en Narayanan (1996) is een Monte-Carlo analyse uitgevoerd van de subjectieve probabilistische verdeling van 35 modelcoëfficiënten zoals opgesteld door een twintigtal experts. Hiermede bereikten zij een waarschijnlijkheidsverdeling van de vele projecties voor de zeespiegelstijging. De analyse is opgezet om verantwoord te kunnen anticiperen op een stijging en daarvoor doeltreffende maatregelen te nemen. Hun uitkomsten zijn samengevat in de volgende tabel 4.2, waarin de waarschijnlijkheidsverdeling op een genormaliseerde extra stijging staat vermeld tengevolge van de opwarming van de aarde. Deze stijging komt dus bovenop de autonome stijging (of daling) die lokaal optreedt door bodemdaling.

Tabel 4.2 Projectie extra zeespiegelstijging op een specifieke locatie in cm (Titus en Narayanan, 1996)

Cumulatieve waarschijnlijkheid	Projectie van zeespiegelstijging in het jaar:					
	2025	2050	2075	2100	2150	2200
10	-1	-1	0	1	3	5
20	1	3	6	10	16	23
30	3	6	10	16	26	37
40	4	8	14	20	35	51
50	5	10	17	25	43	64
60	6	13	21	30	53	78
70	8	15	24	36	65	98
80	9	18	29	44	80	125
90	12	23	37	55	106	174
95	14	27	43	66	134	231
97.5	17	31	50	78	167	296
99	19	35	57	92	210	402
gemiddeld	5	11	18	27	51	81
$\sigma$	6	10	15	23	47	81

De projecties zijn slechts uitgevoerd tot het jaar 2200. Op het gevaar af van versimpeling kunnen de trends in deze tabel geëxtrapoleerd worden naar het jaar 2300. De extrapolatie

is gedaan door per waarschijnlijkheid de stijging voor de zes aangegeven jaartallen in een grafiek uit te zetten en dan de vloeiende lijn door deze zes punten door te trekken naar het jaar 2300. De dan verkregen verdeling staat weergegeven in figuur 4.4. Ten opzichte van het jaar 2200 zoals uit de tabel, treedt volgens extrapolatie ongeveer een verdubbeling van de zeespiegelstijging op in het jaar 2300.



Figuur 4.4 Cumulatieve waarschijnlijkheid dat de extra zeespiegelstijging (cm) de aangegeven waarde niet overschrijdt in het jaar 2200 en een "best-estimate" extrapolatie naar het jaar 2300.

#### 4.2.3 RIJKSWATERSTAAT

Ten behoeve van de kustverdediging worden door Rijkswaterstaat drie scenario's gehanteerd:

- het 'Beleidsscenario', met de op dit moment gehanteerde waarden
- het 'Anticiperend scenario', met de beste schattingen van dit moment
- het 'Ongunstig scenario', met ongunstige schattingen

Inclusief een bodemdaling van 6 cm per 100 jaar zijn de voor deze scenario's berekende waterhoogten na 100 jaar ten opzichte van heden:

Tabel 4.3 Veranderingen voor over 100 jaar t.b.v. kustverdediging

	<b>A</b> Beleids- scenario	<b>B</b> Anticiperend scenario	<b>C</b> Ongunstig scenario
Zeespiegelstijging	+ 20 cm	+ 60 cm	+ 85 cm
Windkracht	0	0	+ 10 %
Windrichting	0	0	+ 10 gr
gem. hoogwater	+ 20 cm	+ 65 cm	+ 90 cm
gem. laagwater	+ 20 cm	+ 55 cm	+ 80 cm

Bij het ontwerp van het Hoogradioactief Afval Behandelings- en Opslag Gebouw (HABOG) is uitgegaan van het anticiperend scenario. Het ligt in de reden dit scenario ook toe te passen voor de opslag van het laag- en middelactief afval. Voor de locatie Sloe is berekend voor het jaar 2100 met de frequentie van  $10^{-4} \cdot a^{-1}$  (Nota's, 1994):

- basispeil Vlissingen                      NAP + 5,45 m
- verhoging locatie Sloe t.o.v. Vlissingen      NAP + 0,10 m
- zeespiegelrijzing 1990-2100              NAP + 0,66 m
- seiches                                      NAP + 0,30 m
- lokale opwaaiing                              NAP + 0,75 m

ontwerpwaterstand                              NAP + 7,26 m

Voor de frequentie van  $10^{-6} \cdot a^{-1}$  moet worden gerekend met een extra verhoging van het NAP met + 1,20 m. Rekening houdend met golfhoogten boven het geïnundeerde terrein leidt dit tot de volgende tabel 4.4.

Tabel 4.4 Waterhoogten op COVRA-terrein in 2100 (Nota's, 1994)

Frequentie [a <sup>-1</sup> ]	Ontwerp waterstand [m NAP]	Significante golfhoogte [m]	Inundatie diepte [m]
5,0*10 <sup>-3</sup>	5,50	--	0
2,5*10 <sup>-4</sup>	6,85	0,80	1,35
1,0*10 <sup>-4</sup>	7,26	0,85	1,76
1,0*10 <sup>-6</sup>	8,46	1,50	2,96

Het maaiveld van het terrein ligt op 5,60 m +NAP. De kans op overstroming van het terrein is dus gering. Het HABOG zal waterdicht zijn tot een hoogte van 10 m +NAP, zodat instroming van zeewater in het gebouw niet optreedt.

#### 4.2.4 DISCUSSIE ZEESPIEGELSTIJGING

Voor de projectie van de zeespiegelstijging in de komende eeuw is het IPCC- rapport (1995) het meest gezaghebbend. De projectie van Rijkswaterstaat ( Nota's,1994) voor de specifieke locatie van het Sloegebied is op dat rapport gebaseerd. Daarnaast is door Titus en Narayanan (1996) een waarschijnlijkheidsverdeling gegeven. De studie van het IPCC (en Rijkswaterstaat) gaat niet verder met de projectie van de zeespiegelstijging dan tot het jaar 2100. Slechts voor het geval dat een stabilisatie van de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer wordt bereikt, wordt een extrapolatie gegeven tot 2500. De analyse van Titus en Narayanan geeft een projectie tot 2200, slechts met een eigen extrapolatie van hun trends is een duiding voor 2300 te geven.

Alle studies zijn gebaseerd op een toenemende mondiale temperatuurstijging veroorzaakt door verhoging van de concentratie broeikasgassen in de atmosfeer door menselijk toedoen. De studies gaan ook uit van stabiliteit van de West-Antarctische ijskap. Men neemt aan dat die ijskap niet zal afkalven door de verwachte temperatuurstijging. Mocht echter die kap niet stabiel blijven, dan is een extra zeespiegelstijging van 6 meter te voorzien. De kans daarop in de komende eeuwen wordt echter klein geacht.

Geregeld worden twijfels geuit of de waargenomen mondiale temperatuurstijging in de afgelopen decennia wel veroorzaakt wordt door broeikasgassen. Recentelijk werd geopperd dat de temperatuurstijging meer bepaald wordt door veranderingen van de zon (Svensmark, 1997) en dus minder door menselijke invloeden. Hoewel over deze hypothese nog geen uitsluitsel bestaat, geeft deze discussie wel aan, samen met onder andere de onzekerheid

over de West-Antarctische ijskap, dat niet over verwachtingen, maar slechts over projecties van zeespiegelstijging gesproken mag worden.

Uit de vermelde studies is het volgende overzicht samen te stellen. Hierbij is rekening gehouden met een landdaling van 6 cm per 100 jaar.

		2100	2300
IPCC	een projectie	55 cm	118 cm (bij CO <sub>2</sub> -stabilisatie)
T&N	90 percentiel	61 cm	360 cm
	50 percentiel	31 cm	130 cm
RijksW.	projectie	60 cm	-

De projectie van IPCC voor 2300 is in feite een 50 percentiel waarde. Gezien de onzekerheden in de projecties komen de waarden redelijk overeen.

De conclusie kan zijn dat tot 2100 de overstromingskans voor het COVRA-terrein beperkt is. De projecties voor het jaar 2300 laten zien dat zonder extra zeeweringen het terrein wellicht niet te handhaven is. In een brainstorm-sessie van Rijkswaterstaat is aangetoond dat ook bij een extreme zeespiegelstijging (arbitrair gesteld op 5 m) technische mogelijkheden voorhanden zijn om Zeeland afdoende te beveiligen (Rijkswaterstaat, 1986)

Het tempo van zeespiegelstijging is zodanig dat decennia beschikbaar zijn voor evaluatie. Verplaatsing van COVRA naar hoger gelegen gebieden kan daarentegen technisch in enkele jaren worden uitgevoerd.

#### 4.3 Landdaling

Door het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO is een schatting gemaakt van de bodemdaling die voor het COVRA-terrein voor de komende 300 jaar verwacht mag worden (NITG, 1997). Bij deze schatting is rekening gehouden met (1) regionale bekkentektoniek inclusief isostatie, (2) natuurlijke klink van Tertiaire/Kwartaire sedimenten, (3) klink van de opgebrachte grond, (4) zetting als gevolg van bovenbelasting. De schatting is uitgevoerd volgens drie onafhankelijke methoden. De resultaten van dit onderzoek zijn samengevat in tabel 4.5.

Tabel 4.5 Schatting bodemdaling COVRA-terrein tot 2300

	(1) sedimentatie- geschiedenis + zetting agv belasting	(2) Lorenz et. al. + zetting agv belasting	(3) Peilmerken RWS + zetting agv belasting
<b>Randvoorwaarden</b>	Relatieve zeespiegelstijging agv bodemdaling	Meting peilmerken Pleistoceen met inachtneming regionaal-geologische fenomenen	Metingen peilmerken (1926-1993)
<b>Schatting bodembeweging zonder zetting</b>	40 mm bodemdaling	30 tot 150 mm bodemdaling	30 mm bodemdaling tot 30 mm bodemstijging
<b>Bodemdaling door terreinbelasting</b>	13 tot 25 mm	13 tot 25 mm	13 tot 25 mm
<b>Totale bodembeweging komende 300 jaar</b>	53 tot 65 mm bodemdaling	43 tot 175 mm bodemdaling	55 mm bodemdaling tot 17 mm bodemopheffing

Bij de methode volgens (3) zijn de metingen uitgevoerd ten opzichte van een niet-stabiel referentievlak en daardoor minder betrouwbaar. De andere methoden zijn redelijk met elkaar in overeenstemming.

De absolute bodemdaling voor de komende 300 jaar zal derhalve tussen de 40 mm en 170 mm bedragen. Deze waarden zijn klein in vergelijking met de verwachte zeespiegelstijging zoals die in de voorgaande paragraaf is geschat. In feite is de verwachte bodemdaling al minder dan de onzekerheid in de zeespiegelstijging. Volstaan kan derhalve worden met de schatting van NITG (1997). Een landdaling zal niet wezenlijk bijdragen aan een verhoging van de overstromingskans van het COVRA-terrein voor de komende 300 jaar.

#### 4.4 Geologische stabiliteit

Oorzaken van drastische of voor de gebouwen desastreuze wijziging in de ondergrond moeten worden gezocht in gebeurtenissen van seismische aard. Er is onderzoek verricht naar de seismische activiteit in de omgeving van de vestigingsplaats en de invloeden van mogelijk omringende zones. De bovengrond bestaat momenteel uit weinig stevige recente afzettingen (cat. soft soil). De Pleistocene lagen kunnen als stevig worden gekenmerkt (cat. stiff soil). Uit de resultaten, versnellingspectra, valt te concluderen dat de vestigingsplaats is gelegen in een gebied met een lage seismische activiteit. Dit houdt o.a. in dat bevingen welke ingrijpende wijzigingen in de ondergrond kunnen veroorzaken als verwaarloosbaar kunnen



worden beschouwd.

Voor wat betreft het effect op gebouwen is volgens NVR 3.10 voor het HABOG als ontwerpeis gesteld, het bestand zijn tegen versnellingen die een kans van optreden hebben van  $10^{-6}$  per jaar. Als maximale horizontale versnelling geldt hierbij  $1 \text{ m.s}^{-2}$  met een gelijktijdig daarbij optredende verticale versnelling van  $0,67 \text{ m.s}^{-2}$ . Dit zijn in de praktijk geringe waarden. De overige gebouwen zijn, mede gelet op de geringe gevaarzetting in dergelijke situaties, ontworpen volgens de vigerende NEN-normen.

## 4.5 Landgebruik

### 4.5.1 INLEIDING

Bij een verlengde opslag is het zeer waarschijnlijk dat het gebruik van de omgeving een andere bestemming zal krijgen dan de thans in de omgeving gevestigde industrieën. Die bedrijven hebben een veel kortere levensduur dan voor COVRA voorzien wordt. Een verlengde opslag mag geen belemmering zijn voor toekomstig gebruik van de aanpalende gronden.

Uitgangspunt bij de behandeling van dit onderwerp is het principe van multifunctionaliteit. Dit principe is namelijk een basis uitgangspunt binnen het milieubeheer. Het gaat ervan uit dat te allen tijde een stuk grond, terrein of watergebied te gebruiken moet zijn voor alle doeleinden. In de praktijk betekent dit dat elk gebied te allen tijde voor elke functie of voor een combinatie van functies beschikbaar moet blijven. Bij de vergunningsverlening in het kader van de kernenergiewet wordt dit middels een risicoberekening kwantitatief getoetst. De overheid wil namelijk door middel van de risicobenadering met een uniform en objectief criterium prioriteiten stellen binnen het milieubeleid.

De risicobenadering is in de Nota "Omgaan met risico's van straling" (NORS, 1990) uitgewerkt in 2 soorten van risico's, het Individuele Risico (IR) en Groepsrisico (GR). Het risicobeleid ten aanzien van straling wordt door VROM niet meer als zodanig gehanteerd. Hiervoor is in de plaats gekomen een Maximale Individuele Dosis (MID) die hooguit  $1 \text{ mSv.a}^{-1}$  mag bedragen. Hier beneden geldt het ALARA-beginsel welke verplicht is tot het Secundair Niveau (SN) van  $0,4 \text{ } \mu\text{Sv.a}^{-1}$ . Onder het SN blijft ALARA na te streven.

### 4.5.2 TOEPASSING MULTIFUNCTIONALITEIT

De meest beperkende toepassing is in het algemeen de woonfunctie, aangezien een referentiepersoon gedurende vrijwel de gehele dag in of om het huis verblijft. Het toetsingscriterium op de maximale individuele dosis is daarom in eerste instantie de mogelijkheid van een woonfunctie.

Om te kunnen bepalen of aan dit beginsel wordt voldaan worden risicoberekeningen uitgevoerd. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen het Multifunctioneel Individueel Risico (MIR) en een Actueel Individueel Risico (AIR).

Het multifunctioneel individueel risico (MIR) is het risico dat een individu, op welk punt buiten een terreingrens of bron dan ook, redelijkerwijs kan oplopen. Dit risico is dus locatie gebonden. Er hoeft zich op het desbetreffende punt niemand te bevinden, maar er zou zich iemand kunnen bevinden (multifunctionaliteit). Bij reguliere toepassingen wordt onder individu verstaan een persoon behorende bij de referentiegroep<sup>2</sup>. Het MIR is dan feitelijk het gemiddelde van het risico van de leden van de referentiegroep.

De actuele individuele dosis (AID) wordt afgeleid uit het geschatte risico dat daadwerkelijk wordt ontvangen op een bepaald punt. Dit is voornamelijk afhankelijk van de te verwachten verblijftijden. Om deze verblijftijden te verdisconteren zijn Actuele Blootstellingen Correctiefactoren (ABC-factoren) vastgelegd. Het AID is dus gelijk aan de MID indien geen ABC-factoren van toepassing zijn.

Voor de bepaling van het MIR wordt uitgegaan van de woonfunctie, aangezien dit als meest beperkend wordt beschouwd. Dit risico wordt bepaald via berekende of gemeten dosistempi. Eerst wordt de maximale individuele risico (IR) bepaald (dat wil zeggen 24 uur verblijftijd bij het hek van de inrichting zonder enige afscherming op de meest ongunstige plaats) en vervolgens wordt dit risico gecorrigeerd voor reducerende omstandigheden zoals het verblijf binnenshuis en de afstand tot de bron. Dit vindt plaats door middel van de zogenaamde "wooncorrectiefactor" (gesteld op 0,25).

Kan, in maatschappelijke context bezien, met behulp van bovenstaande toetsingscriteria worden vastgesteld of de activiteit van COVRA langdurig kan worden uitgevoerd? Om bovenstaande vraag positief te kunnen beantwoorden dient te worden aangetoond dat de activiteit van COVRA aan de meest stringente eis kan voldoen. Dit betreft dan het hypothetische geval dat het terrein rondom COVRA een woonbestemming zal krijgen in de toekomstige tijd.

#### 4.5.3 TOETSING VAN DE MID

De toetsing van de MID, uitgaande van een woonbestemming van het terrein rondom COVRA, kan worden uitgevoerd door berekening van het individuele risico ("24 uur bloot aan

---

<sup>2</sup> De referentiegroep is de (hypothetische) groep waartoe personen behoren wier blootstelling vanuit een bron redelijk homogeen is (d.w.z. het gedrag van meer dan 95% van de bevolking binnen het aangenomen gedrag van deze groep valt) en die representatief is voor die personen uit de bevolking waarvoor de risico's van die bron het hoogste zijn. Deze groep wordt derhalve representatief geacht voor de vaststelling van het MIR.

het hek") en vervolgens te corrigeren voor de woonfunctie met behulp van de wooncorrectiefactor.

Bij de bepaling van het IR dienen alle relevante belastingspaden te worden meegenomen. Voor COVRA betreft dit de directe externe blootstelling vanuit een bron (inclusief sky-shine), water- en luchtlozingen. Voor de luchtlozingen dienen zaken als cloud-shine, inhalatie, ingestie door interceptie beschouwd te worden evenals de daaruit voortvloeiende grondbesmetting.

Met behulp van de Milieu effect rapportage (COVRA, 1995) en het veiligheidsrapport van COVRA kunnen reeds uitgevoerde metingen en berekeningen worden gehanteerd om multifunctionaliteit te toetsen.

Daartoe wordt uitgegaan van de raming van de totale uiteindelijke hoeveelheid radioactief afval die bij COVRA zou kunnen worden opgeslagen en dus met de meest uitgebreide terreinvulling van de opslagfaciliteiten, namelijk die van 2095. In dat geval bevinden zich benevens het kantoorgebouw en het afvalverwerkingsgebouw (AVG) de volgende aantallen faciliteiten op het terrein:

4 gebouwen voor laag- en middelradioactief afval (LOG's)

2 gebouwen voor verarmd uranium (VOG's)

2 gebouwen voor containers (COG's)

1 gebouw voor hoogradioactief afval (HABOG).

De dosisverhoging voor de referentiegroep die zou wonen in de onmiddellijke nabijheid wordt als volgt opgebouwd:

#### Directe straling

De terreingrensdosis bij continue blootstelling bedraagt  $0,15 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ . Deze stralingbijdrage wordt gecorrigeerd met behulp van de wooncorrectiefactoren. Aannemende dat dit de directe "horizontale" blootstelling vanuit de bron betreft, wordt een factor 0,25 gehanteerd. De directe stralingsdosis bedraagt derhalve:  $0,0375 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

#### Luchtemissies (exclusief ingestie)

De maximale luchtgedragen emissiedosis (exclusief ingestie) treedt op voor werknemers van omliggende bedrijven op ongeveer 200 meter ten noorden van de ventilatieschacht van het AVG. De dosis is berekend voor een verblijf van 8 uur per werkdag op de werkplek.

Dosis (mSv per jaar) per emissiepunt

Werknemers bedrijven	AVG	LOG's	COG's	VOG's	HABOG	Totaal
	$5\cdot 10^{-5}$	$1\cdot 10^{-8}$	$3\cdot 10^{-5}$	$2\cdot 10^{-6}$	$7\cdot 10^{-7}$	$8\cdot 3\cdot 10^{-5}$

Nabij de terreingrens zijn de doses wat lager. Voor een bewoner bij het hek, maar met een langere verblijftijd per jaar, is de totale dosis ongeveer 3x zo groot en bedraagt  $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ mSv.a}^{-1}$ . Mocht later gebouwd gaan worden op de plaatsen die nu bedrijfsterrein zijn, dan worden de doses voor de bewoners 5x zo groot.

#### Ingestiedosis als gevolg van luchtgedragen emissies

Ingestiedosis (luchtgedragen) als gevolg van:

HABOG:  $9 \cdot 10^{-7} \text{ mSv.a}^{-1}$

Rest:  $5 \cdot 10^{-5} \text{ mSv.a}^{-1}$

Totaal:  $5,1 \cdot 10^{-5} \text{ mSv.a}^{-1}$

#### Ingestiedosis als gevolg van emissies naar het oppervlaktewater

Uitgaande van consumptie van vis en schaaldieren wordt een maximale dosis berekend van:  $1 \cdot 10^{-5} \text{ mSv.a}^{-1}$

#### Totaal

Totale dosis wordt aldus opgebouwd uit de directe straling;  $0,0375 \text{ mSv.a}^{-1}$ , plus de andere belastingspaden tezamen  $0,0003 \text{ mSv.a}^{-1}$  en bedraagt dus  $0,038 \text{ mSv.a}^{-1}$ . Na beëindiging van de aanvoer van afval, zal na enige tijd het AVG worden stilgelegd, zodat uit dat gebouw geen stralingsbelasting meer komt.

De MID moet kleiner zijn dan  $0,1 \text{ mSv.a}^{-1}$  of met toepassing van een ABC-factor voor de woonfunctie (0,25) kleiner dan  $0,4 \text{ mSv.a}^{-1}$ . Het is duidelijk dat de totale stralingsdosis volledig wordt gedomineerd door de directe stralingscomponent (meer dan 99%). Wordt deze stralingscomponent inderdaad beperkt tot een dosistempo van  $0,15 \text{ mSv.a}^{-1}$  (continu) aan het hek, dan wordt gegarandeerd dat aan de eis van het multifunctionaliteitsbeginsel wordt voldaan.

## 5 TECHNISCHE LEVENSDUUR

### 5.1 Gebouwen

#### 5.1.1 INLEIDING

Voor de opslag van laag- en middelradioactief afval is eind jaren tachtig een gebouwen complex gerealiseerd op het COVRA-terrein in de gemeente Borsele. Het opslaggebouw voor laag- en middelradioactief afval (LOG) maakt hiervan deel uit. Uitgangspunt voor de levensduur bij het ontwerp en opzet van het opslaggebouw was een periode van 100 jaar. Om na te gaan of verlenging van de levensduur van het opslaggebouw tot 300 jaar mogelijk is, is onderzoek gedaan naar de gebouwonderdelen van het LOG. Het blijkt dat het LOG renoveerbaar is. Nieuwbouw van een LOG is uiteraard ook mogelijk als ter zijner tijd blijkt dat zulks voordeliger is. Het hoogradioactief- en kernsplijtingsafval zal worden opgeslagen in het HABOG. Door de specifieke problematiek van het HABOG is dit gebouw moeilijk renoveerbaar. Gekozen is voor een benadering met volledige nieuwbouw (2x) van het HABOG na een periode van 100 jaar. De overige gebouwen zijn niet beschouwd.

In de loop der jaren zal het huidige LOG vol raken met afval. Voorzien is dat op dezelfde locatie meerdere, identieke opslaggebouwen geplaatst zullen worden. Voor die nieuwe gebouwen kan wel direct rekening worden gehouden met een langere levensduur. Voor deze studie wordt aangenomen dat de constructieve uitvoering van die volgende gebouwen hetzelfde is als voor het reeds bestaande gebouw, zodat de navolgende conclusies zeker ook van toepassing zijn op de nieuwe gebouwen.

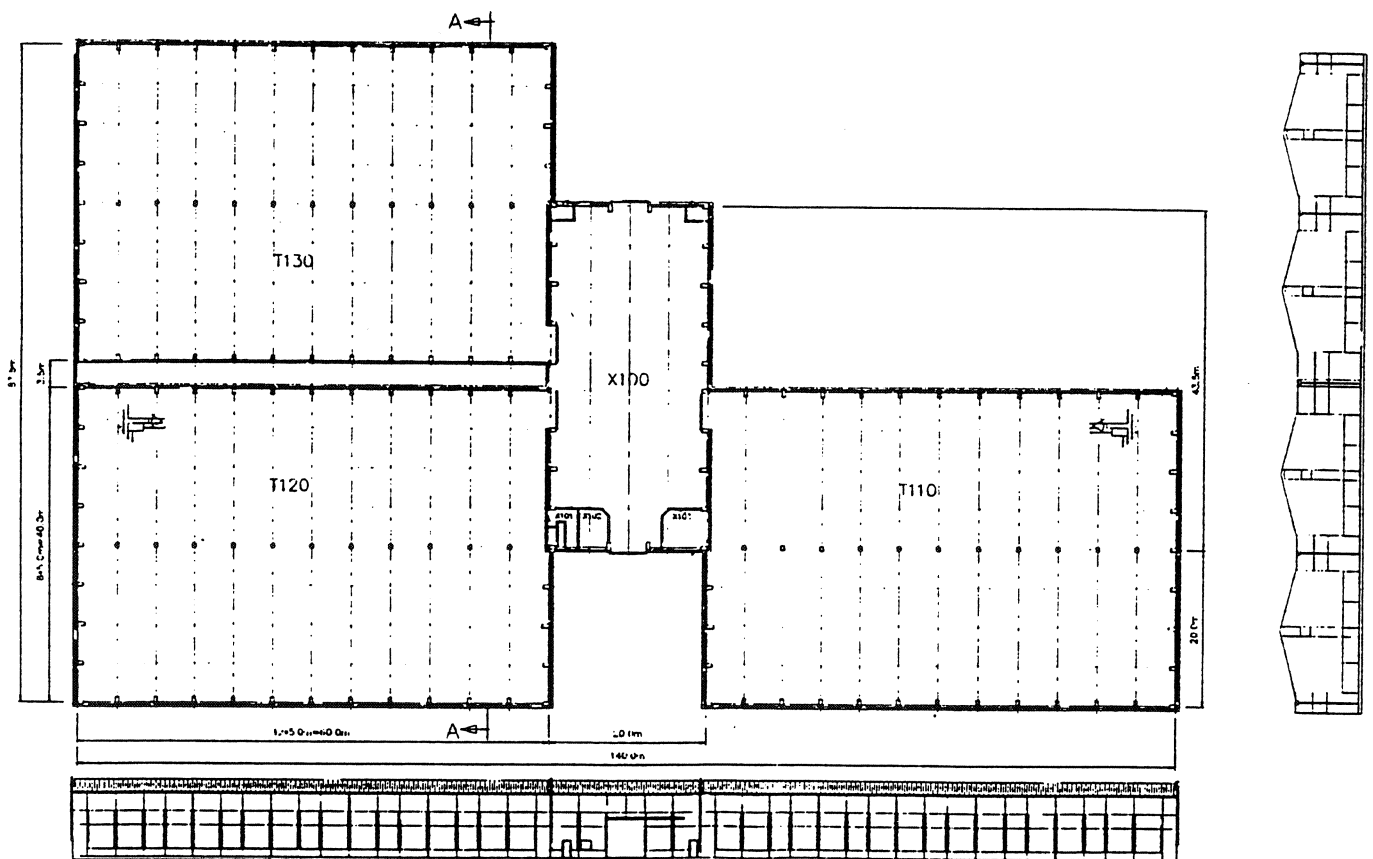
De huidige opzet van COVRA is voor de opslag van radioactief afval voor de eerste 100 jaar. Beschouwd is derhalve alleen de huidige opzet. Doch ook in de periode van 100 tot 300 jaar na heden zal nog radioactief afval worden geproduceerd. Voor de opslagfaciliteiten voor die periode gelden qualita qua dezelfde beschouwingen, zij het dat verwacht mag worden dat over 100 jaar de bouwkundige techniek beter zal zijn dan nu.

#### 5.1.2 LOG-GEBOUW

Op het COVRA terrein is op een oppervlakte van 12000 m<sup>2</sup> het LOG-gebouw geplaatst. Het LOG is te verdelen in 4 compartimenten: de ontvangsthal groot 19 x 43,5 m<sup>2</sup> en drie opslagruimten elk groot 40x60 m<sup>2</sup>. Voor een vierde opslagruimte is plaats gereserveerd. Tussen de twee aangrenzende opslagruimten is een binnenstraat opgenomen met een breedte van 3,5 m. Alle ruimten zijn van elkaar gescheiden middels een betonconstructie, dikte 280 mm. De minimale inwendige hoogte bedraagt 6,5 m.

### 5.1.2.1 De schil van het LOG

Het LOG gebouw is gefundeerd op staal. De vloer van de begane grond is uitgevoerd in beton, dikte 400 mm. De draagconstructie voor gevel en dak wordt gevormd door een geprefabriceerde betonconstructie. De gevelelementen zijn uitgevoerd middels een sandwich paneel: binnenschil beton 150 mm, isolatie 50 mm en een buitenschil 80 mm. Het dak is opgebouwd uit prefab betonnen kanaalplaten waarop een isolatielaag (120 mm) en aluminium platen zijn aangebracht. De vloer van het opslaggebouw is voorzien van een epoxy-coating ter voorkoming van beschadiging van de onderliggende betonconstructie en voor decontaminatie van de vloer. Langs de gehele vloer is een opstaande betonrand, hoogte 400 mm, aangebracht zodat reinigingswater niet uit het gebouw kan treden.



Figuur 5.1 Overzicht LOG

### 5.1.2.2 Overige gebouwonderdelen van het LOG

Naast de schil komen de volgende bouwkundige onderdelen voor:

- binnenriolering
- voegvullingen
- dekvloeren
- kozijnen, ramen en deuren
- coating en conservering.

### 5.1.3 LEVENSDUUR VAN HET LOG

Uitgangspunt bij de aanvang van het project COVRA-LOG was een levensduur van 100 jaar. Om deze levensduur te verlengen tot 300 jaar is onderzoek gedaan naar de gebouwonderdelen, zowel de schil als de overige delen. Om de verlangde levensduur te bereiken, is periodieke controle van de kwaliteit van de onderdelen noodzakelijk. Daarnaast zijn inspectie-, onderhouds- en vervangingsaspecten op basis van uit de literatuur bekende gegevens en ervaring ingevuld.

Allereerst is op basis van de archiefdocumenten een inventarisatie gemaakt van de voorkomende gebouwonderdelen. Deze zijn veelal samengesteld uit verschillende componenten: bijvoorbeeld deuren zijn opgebouwd uit stalen frames, inwendig voorzien van isolatie en uitwendig geconserveerd. De verwachte levensduur is beschouwd op het gehele gebouwonderdeel. Controle, onderhoud en vervanging is per component afzonderlijk beschouwd.

In referentie (KEMA, 97b) zijn de gebouwonderdelen aangegeven waarbij per component de volgende aspecten, indien van toepassing, zijn benoemd:

- materiaal
- type
- dimensionering
- uitvoering
- bijzonderheden
- conservering
- plaats in het LOG
- opmerkingen
- leverancier
- verwerker
- levensduurverwachting
- onderhoud
- onderhoudscyclus
- vervangingscyclus.

Voor deze gebouwonderdelen en componenten zijn drie overzichten met aanbevelingen samengesteld:

- controle-frequentie per gebouwonderdeel en welke component gecontroleerd moet worden en waarop
- onderhoudsfrequentie per gebouwonderdeel en welke component onderhoud behoeft en waar het onderhoud uit bestaat
- vervangingsfrequentie per gebouwonderdeel en welke component vervangen moet worden.

Deze overzichten zijn opgenomen in bijlage D. Als de aangegeven frequenties worden aangehouden wordt een levensduur van 300 jaar zeker gesteld. Bij mindere frequenties zijn wellicht grotere renovaties nodig om het gebouw in stand te houden.

Bij een eventueel nieuw LOG-gebouw kan direct met een langere levensduur rekening worden gehouden, zodat voor zo'n nieuw gebouw het onderhoud minder kan zijn.

#### 5.1.4 KOSTEN ONDERHOUD

##### 5.1.4.1 LOG

Uitgaande van referentie (KEMA, 1997b) en het jaarverslag van COVRA (COVRA, 1996) wordt een schatting gemaakt van de onderhoudskosten en vervangingskosten van de LOG gebouwen op het terrein van de COVRA opdat de levensduur van 300 jaar is zekergestellt. De referentie (KEMA, 1997b) geeft de onderhouds- en vervangingsfrequenties van onderdelen/componenten van het LOG. De referentie (COVRA, 1996) geeft de jaarlijkse reserveringen voor onderhoud, grootschalige renovaties en vaste eigenaarskosten.

Voor de posten controles, onderhoud en vervangingen zoals weergegeven in (KEMA, 1997b) wordt er nu vanuit gegaan dat deze afgedekt worden door de jaarlijkse reserveringen van COVRA voor een LOG. Weliswaar is dit gebouw nu uitgevoerd met drie opslaghallen, maar voor de afschatting wordt dit als één geheel LOG beschouwd.

Om tot een globale afschatting te komen worden nu de volgende aannamen gedaan:

- Voor een LOG is de gemiddelde jaarlijkse begroting voor groot onderhoud en renovaties MNLG 0,25 per jaar met dien verstande dat deze dotatie vervalt als het LOG gevuld is
- Rekening wordt gehouden met het gestelde in (COVRA, 1996) waarin reeds een onderhoudsreserve (per 1-1-'96) van MNLG 4,7 aanwezig is, opgebouwd over de afgelopen jaren (vanaf 1990)
- In de kostenpost is rekening gehouden met alle onderhoudsposten zoals weergegeven in Bijlage D, met uitzondering van de vervanging van de gietdekvloeren van het LOG eens in de 50 jaar. Hiervoor wordt een kostenpost van MNLG 2,5 geschat per vervanging
- In de nieuwe MER van COVRA (COVRA, 1995) wordt de mogelijke nieuwe terreinsituatie gegeven rond een aantal jaren. Uitgaande van de gegeven voorspelling van de toevoer



van laag- en middelactief afval zoals gegeven in Bijlage B voor de verschillende afvalcategorieën, wordt aangenomen dat de nieuwe te bouwen LOG's in 2016, 2031 en 2061 gereed zullen zijn.

De onderhoudskosten voor het huidige LOG om een levensduur van 100 jaar te halen wordt dan ca. MNLG 10 waarbij de vervanging van de gietvloeren er nog een keer bij dient te komen. Als nu dit uitgezet wordt voor 300 jaar en voor elk LOG, waarbij grootschalige vervangingen kort voor het einde van de 300 jaar niet worden meegenomen, is een totaal bedrag benodigd van ca. MNLG 150 (huidig prijspeil).

#### 5.1.4.2 HABOG

Bij het verlengen van de levensduur van de LOG's tot 300 jaar om het verplaatsen van het afval naar de eindopberging uit te stellen en in het geval van het laag- en middelactieve afval, tot vrijgave van het grootste deel van dat afval te komen, dient ook de levensduur van het HABOG verlengd te worden. In het HABOG is opgeslagen KSA, warmte producerend HAVA, niet warmte producerend HAVA en brandstofelementen van de Nederlandse onderzoeksreactoren. Het HABOG zal waarschijnlijk binnen enkele jaren gebouwd gaan worden. De opslagmodules van dit gebouw zijn verdeeld in drie opslagmodules voor KSA en de elementen en drie opslagmodules voor het HAVA. De opslagmodules zijn intern voorzien van een roestvaststalen frame met daaraan opslagcilinders waarin het afval wordt geplaatst via een plug in de laadvloer. Uitgangspunt is dat de interne delen van de opslagmodules een 100-jarige levensduur hebben en daarna dienen te worden vervangen. Gezien de uitvoering van de interne delen van de modules kunnen deze niet verwijderd worden en herplaatst zonder delen van het gebouw af te breken. Daarom dienen er nieuwe modules te worden gebouwd, waarmee al rekening is gehouden bij het ontwerp. Om tot een kostenschattting te komen voor de nieuwbouw van de opslagmodules, zijn de volgende aannames gedaan:

- de totale kosten van het huidige HABOG ontwerp zullen ca. MNLG 241 bedragen
- naast de nieuwbouw van de opslagmodules dient de laadmachine te worden vernieuwd en het bewakingssysteem van de opslagcilinders
- het behandelingsgebouw wordt daar in stand gehouden waar nodig zoals de behandelingsruimte voor het kunnen herstellen van de insluiting van de brandstofelementen in hun cilinder en het bewakings/besturingssysteem. Voor de afloop van de 300 jaar wordt een eenvoudig afvoergebouw gebouwd (plaatsingsmogelijkheid met laadmachine in container en plaatsen van container op vrachtwagen) aan het eind van de laatste modules
- door het verval van het hoog radioactief afval zou het mogelijk zijn om de afscherming te verminderen en over te gaan tot compactere plaatsing. Echter het gebouw dient nog steeds te voldoen aan de externe invloeden (o.a. neerstortend vliegtuig) waardoor de externe wanddikte gelijk dient te blijven. Tevens wordt omdat dit een grove schatting betreft aangenomen dat een gelijk aantal modules zullen worden gebouwd

- in de kostenschatting wordt meegenomen het nodige onderhoud gedurende honderd jaar opslag.

De kosten van de bouw van de opslagmodules inclusief de laadmachine en bewakings-/besturingssysteem wordt geraamd op basis van de huidige begroting op MNLG 100. De overige kosten van gedeeltelijke instandhouding van het behandelingsgebouw de onderhoudskosten en het te bouwen afvoergebouw wordt gemiddeld geraamd op MNLG 50 per 100 jaar. Als schatting wordt derhalve aangenomen dat gemiddeld MNLG 150 per modules vervanging benodigd is. Dit bedrag is tweemaal nodig om tot een handhaving van de opslag tot 300 jaar te komen.

### 5.1.5 RÉSUMÉ

De instandhouding van het LOG vraagt meer dan een inventarisatie van de levensduur van de afzonderlijke materialen. Algemeen kan worden gesteld dat de verwachte levensduur staat of valt met het beheer van het gebouw. De in bijlage D genoemde onderhoudsaspecten en frequenties zullen bewaakt moeten worden om een verlengde levensduur zeker te stellen. Tevens zullen de conclusies uit de controles vertaald moeten worden naar het verdere verloop van de instandhouding van het gebouw.

Daarnaast dient de beheerder toe te zien op adequaat handelen in geval van mechanische beschadigingen. Onderhoud en reparaties verricht door de oorspronkelijke leverancier biedt de meeste waarborg ten aanzien van de verwachte levensduur.

Een levensduurverlenging van 100 naar 300 jaar voor het LOG is mogelijk mits volgens schema wordt geïnspecteerd en onderhoud wordt gepleegd. Bepaalde componenten moeten op gezette tijden worden vervangen. Voor het HABOG is als eenvoudigste optie gekozen voor volledige vervanging van de opslagmodules. Daarmee wordt ook hier een levensduurverlenging van 100 naar 300 jaar voor het HABOG gerealiseerd.

## 5.2 Containers

### 5.2.1 ALGEMEEN

Het afval wordt voor de opslag verpakt in containers van diverse soorten en maten. De omhullingen kunnen zowel van binnenuit, van buitenaf als ook door interne processen aangetast worden. Om aan de IBC-criteria te blijven voldoen moet de omhulling voldoende integriteit behouden om de inhoud niet naar buiten te laten komen.

Het merendeel van het vaste laag- en middelactief afval wordt bij COVRA aangeleverd in stalen vaten. Deze worden onder een hydraulische pers gecompacteerd en daarna met

enkele stuks tegelijk in een stalen drum geplaatst. Deze drum is vooraf inwendig voorzien van een cementen bodem. Na de plaatsing in de drum van de samengeperste pakketten, wordt de drum afgevuld met beton. Als de drum aan de buitenkant nog te sterk straalt, wordt deze voor de opslag nog geplaatst in een betonnen huls.

Vloeibaar radioactief afval wordt gecementeerd in stalen drums en geplaatst in een betonnen container van 1000 l, welke afgevuld wordt met grout en met een deksel van beton.

Door chemische, fysische of mechanische invloeden in het verpakte afval kan de omhulling worden aangetast. Ook kan de omhulling van buitenaf worden aangetast. Onderscheid moet gemaakt worden of de omhulling van beton of van staal is.

### 5.2.2 DEGRADATIEFACTOREN CEMENT EN BETON

De cementmatrix bij het immobiliseren van radioactief afval en de betonnen omhulling zijn zowel fysische- als chemische barrières. De fysische barrière beperkt de migratie van allerlei stoffen naar binnen, zoals water, zouten en gassen (zuurstof, kooldioxyde), maar een dichte poriestructuur veroorzaakt ook een lage diffusiesnelheid van radionucliden naar het oppervlak van de cementmatrix. De chemische barrière bestaat vooral in het tot stand houden van een hoge pH-waarde van het poriewater in zowel de cementmatrix als het beton. Daardoor wordt roestvorming van stalen componenten tijdens opslag tegengegaan; bovendien is de oplosbaarheid van de radionucliden dan laag.

Over het lange termijn gedrag van beton is slechts weinig kwantitatief bekend, zeker niet in de orde van honderden jaren. Normaal wordt voor betonconstructies een garantietermijn van 10 jaar afgegeven. Binnen dat tijdsbestek komen constructieve fouten tot uiting. Daarna gaat men er van uit dat beton functioneel blijft gedurende de resterende levensduur van de utiliteit. Die garantietermijn is echter voor opslag van radioactief afval onvoldoende.

Kwalitatief kan gezegd worden dat bouwwerken uit de Romeinse tijd nog zeer duurzaam blijken te zijn. Ze dateren vanaf de eerste eeuw voor Christus tot de derde eeuw na Christus. Bij het bouwen was uitgegaan van mengsels bestaande uit kalk en pozzolane stoffen. Sommige van deze bouwwerken hebben bloot gestaan in lucht van een relatief droog subtropisch klimaat, terwijl bijvoorbeeld kades en dergelijke eeuwenlang in aanraking met zeewater stonden. Een aantal van deze bouwwerken hebben de tijd overleefd en zijn enige jaren geleden aan een onderzoek onderworpen. Bij gebouwen die in lucht bloot gesteld stonden was vastgesteld dat de carbonatatie zeer ver voortgeschreden was. Soms was er van het tijdens het hardingsproces gevormde Ca-Si-H gel (calcium-silicaat-hydraten) zeer weinig terug te vinden. Blijkbaar was het totaal in  $\text{CaCO}_3$  en  $\text{SiO}_2$  omgezet. Vorming van kristallijn Ca-Si-H kon niet vastgesteld worden. Toch ontleen deze bouwwerken nog voldoende sterkte aan deze reactieproducten (Roy et al., 1982).

In andere gevallen werden er wel kristallijne verbindingen gevonden, zoals tobermoriet  $\{(CaO)_5 \cdot (SiO_2)_6 \cdot (H_2O)_5\}$ , hillebrandit  $\{(CaO)_2 \cdot SiO_2 \cdot H_2O\}$ , afwilliet  $\{(CaO)_3 \cdot (SiO_2)_2 \cdot (H_2O)_3\}$ , gyroliet  $\{(CaO)_8 \cdot (SiO_2)_{12} \cdot (H_2O)_9\}$  en riversideriet  $\{(CaO)_5 \cdot (SiO_2)_6 \cdot H_2O\}$  (Nichedlov et al., 1967 en 1968). Op laboratoriumschaal kunnen deze verbindingen alleen onder hydrothermale omstandigheden gemaakt worden, maar het is niet onmogelijk dat deze componenten ook zeer langzaam bij kamertemperatuur gevormd worden.

Bij kades, die gedeeltelijk in zeewater waren geëxposeerd, werd naast de reeds genoemde componenten ook een zeoliet  $\{Na \cdot Al_2O_3 \cdot (SiO_2)_4 \cdot (H_2O)_2\}$  gevonden (Hilsdorf, 1976b).

Een goed inzicht over veroudering van gecementeerd afval onder Nederlandse condities zou ook verkregen kunnen worden via materiaalonderzoek aan beton, dat afkomstig is van een bunker uit het begin van deze eeuw. Een andere mogelijkheid is onderzoek aan cement, dat gebruikt werd bij de bouw van huizen tijdens de 17e eeuw.

Het is natuurlijk niet mogelijk met deze resultaten de duurzaamheid van opgeslagen afval over enige honderden jaren te voorspellen. Toch kan vastgesteld worden dat vergaande carbonatatie en omzetting van het Ca-Si-H gel geen dramatische gevolgen voor beton of cementmatrix behoeft te hebben. Soms blijken de eigenschappen zelfs nog verbeterd te worden. Lea (Lea, 1970) heeft vastgesteld dat de gekristalliseerde fasen zoals tobermoriet, hillebrandiet en afwilliet bijzonder resistent zijn tegen sulfaataantasting.

#### 5.2.2.1 Fysische degradatiefactoren

Beton, mortels en gecementeerde pasta's kunnen in principe door de volgende fysische degradatiefactoren aangetast en beschadigd worden:

- erosie in lucht en water
- erosie door cavitatie (water)
- botsingen
- vorst/dooi cycli
- ioniserende straling.

Aantasting via de eerste drie genoemde factoren is bij opslag zoals bij COVRA plaatsvindt niet mogelijk. Ook scheurvorming door het optreden van vries/dooi cycli is uiterst onwaarschijnlijk, aangezien het temperatuurverschil in de opslaghallen over een jaar slechts enkele graden is.

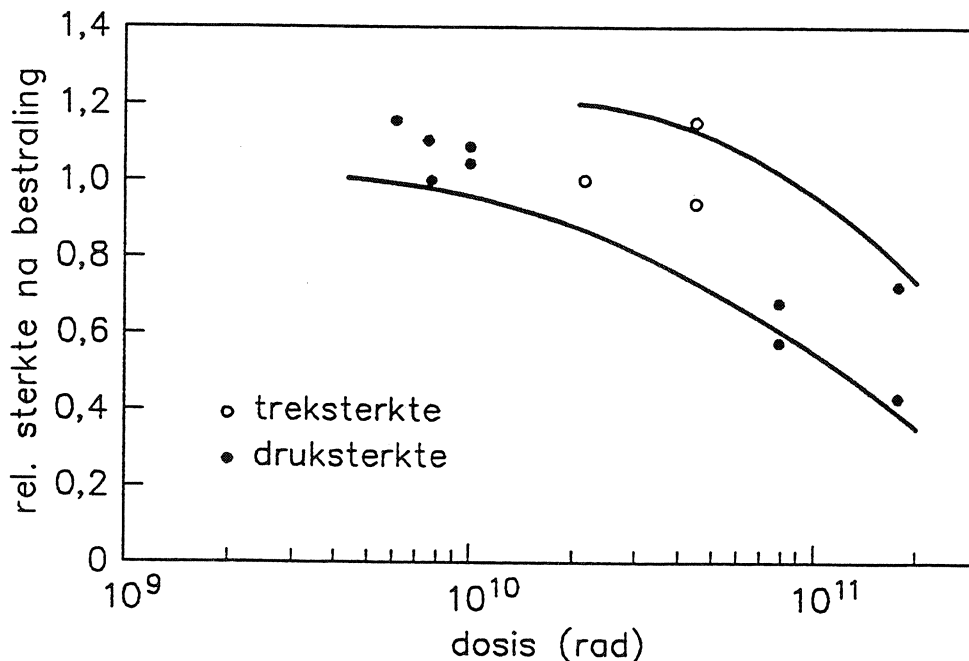
Schade door ioniserende straling zou in principe bij de cementmatrix van het geïmmobiliseerde afval mogelijk kunnen zijn. Bij hoge doses kunnen de fysische- en mechanische eigenschappen aanzienlijk veranderen. Zo bleken de druk- en treksterkte bij een neutronendosis van  $10^{19}$  n.cm<sup>-2</sup> aanzienlijk af te nemen (Hilsdorf et al. 1976a). Ook de hierbij optredende

opwarming kan tot kwaliteitsverlies leiden.

Figuur 5.1 geeft het verband tussen de  $\gamma$ -dosis en het verloop van de druk- en treksterkte van beton. Daaruit blijkt dat afname van de sterkte pas plaatsvindt na  $2 \cdot 10^8$  Gy ( $2 \cdot 10^{10}$  rad). Hillsdorf (Hillsdorf et al., 1976b) heeft berekend dat de dosissnelheid van  $\gamma$ -straling voor opgeslagen middelradioactief afval ongeveer  $3 \text{ mGy} \cdot \text{s}^{-1}$  ( $0,3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ ) bedraagt. Daarbij werd uitgegaan van een radioactiviteit van  $3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$  terwijl de  $\gamma$ -energie 1 MeV is. Bij een dergelijke aanname zou het ruim 2000 jaar duren voordat de genoemde dosis van  $2 \cdot 10^8$  Gray bereikt is.

De aangegeven activiteiten zijn vele orden hoger dan de activiteiten die in het bij COVRA opgeslagen laag- en middelactief afval voorkomen. Vastgesteld kan daarom worden dat stralingseffecten geen aantoonbare invloed zullen hebben op de kwaliteit van zowel beton als het verharde cement.

Verder kan radiolyse van water door  $\alpha$ -,  $\beta$ - en  $\gamma$ -straling optreden. Daarbij ontstaan dan waterstof en zuurstof. Alleen waterstof blijft over; het gevormde zuurstof wordt kennelijk door het cement opgenomen. Radiolyse van organisch materiaal leidt tot de vorming van waterstof, stikstof, koolmonoxyde, kooldioxyde en koolwaterstoffen. Parrot en Lawrence (Parrot, Lawrence, 1992) hebben een schatting gemaakt van het totale volume aan gasmengsel dat in 1000 jaar ontstaat. Omgerekend voor een 220 l vat blijkt dit 0,01 l te zijn.



Figuur 5.1 De invloed van  $\gamma$ -straling op de sterkte van beton (Hillsdorf et al. 1976a)

### 5.2.2.2 Chemische degradatiefactoren

De stoffen die een schadelijke inwerking op beton of gecementeerd afval kunnen hebben zijn zacht water, zeewater, zuren, een aantal zouten en basen en enige organische verbindingen. Verder kunnen bacteriën en micro-organismen hierbij nog een rol spelen.

Uitwendige aantasting zal bij opslag ten aanzien van de situatie bij COVRA alleen plaatsvinden door inwerking van kooldioxyde (carbonatatie). De kans op aantasting door zeewater bij een mogelijke overstroming wordt op  $10^{-4}$  geschat. De risico's van het vrijkomen van radionucliden voor het zeemilieu zijn onderwerp voor een afzonderlijke studie.

Met grondwater kunnen de opgeslagen containers niet in aanraking komen. Aantasting van de cementmatrix kan dan nog plaatsvinden door componenten vanuit het afval. Gedacht moet daarbij worden aan de verschillende aanwezige zouten, zuren en verbindingen die door bacteriën en micro-organismen gevormd worden.

Tijdens het uitharden van cement of beton ontstaan er opgeloste hoeveelheden  $\text{Ca(OH)}_2$ , NaOH en KOH in het poriewater waardoor er een pH-waarde van 12,5 tot 13,5 ontstaat. Tijdens de levensduur van het uitgeharde materiaal kan kooldioxyde vanuit de lucht in het poriënstelsel diffunderen. Het calciumhydroxyde wordt dan omgezet in  $\text{Ca(HCO}_3\text{)}$  of er wordt een neerslag gevormd van  $\text{CaCO}_3$  (Atkinson et al.). Door het evenwicht van poriewater met lucht zal dit resulteren in neerslagvorming van calciumcarbonaat, tenminste als het poriewater verzadigd is met calciumhydroxyde.

De vorming van  $\text{CaCO}_3$  verloopt het snelst als het relatieve vochtgehalte in de poriën 50-60% bedraagt. Droog beton carbonateert niet en volledig nat beton carbonateert langzaam omdat kooldioxyde slechts langzaam in de geheel met water gevulde poriën kan binnendringen. Bij een voortdurende toevoer van kooldioxyde zal al het in de cementmatrix aanwezig zijnde calciumhydroxyde, omgezet worden in calciumcarbonaat. Na zeer lange tijd kan ook het calciumsilicaathydraat geheel afgebroken worden. Het gevolg hiervan is een verlaging van de pH tot ongeveer 8,3 en dit heeft een oplosverhogend effect op de radionucliden. Bij COVRA wordt de relatieve luchtvochtigheid in de opslagruimte kunstmatig onder 60% gehouden, zodat de carbonaatvorming langzaam zal zijn.

Zuren kunnen een reactie met calciumhydroxyde en aluminaathydraten aangaan. De mate van aantasting hangt van de concentratie af. Ook in dit geval zal op de lange duur de pH van het poriewater verlaagd worden.

Van de zouten zijn de ammoniumverbindingen het meest agressief. Ze kunnen een uitwisselingsreactie met calciumhydroxyde aangaan, waardoor er oplosbare calciumzouten ontstaan. Het vaste calciumhydroxyde verdwijnt op den duur met als gevolg dat het uitgeharde cement poreuzer wordt en aan sterkte verliest.

Inwerking van opgeloste sulfaten op beton of cementsteen leidt tot ernstige beschadiging van de microstructuur, gevolgd door scheurvorming, verhoogde porositeit en verlies aan sterkte. Belangrijk hierbij is de reactie tussen calciumsulfaat en gehydrateerde aluminaatverbindingen, waarbij ettringiet  $\{(CaO)_3 \cdot Al_2O_3 \cdot (CaSO_4)_3 \cdot (H_2O)_{32}\}$  ontstaat. Door de vorming van ettringiet vindt er aanzienlijke expansie plaats, wat aanleiding geeft tot scheurvorming. Calciumsulfaat is hierbij het tussenproduct, want het is gebleken dat inwerking van natriumsulfaat-oplossingen op zuivere gehydrateerde aluminaatverbindingen geen omzetting tot monosulfaat of ettringiet oplevert (Collepari, 1978). De vereiste calciumionen worden dan geleverd door calciumhydroxyde.

Als het poriewater zowel  $Mg^{++}$  als  $SO_4^-$  ionen bevat, dan zal cementgel zowel met sulfaat- als magnesiumionen reageren. Het uithardingsproduct wordt daardoor extra verzwakt, met als gevolg een verhoogde porositeit en een verlaagde sterkte. In sommige gevallen wordt ook een gekristalliseerde magnesiumsilicaat ( $4MgO \cdot SiO_2 \cdot 8H_2O$ ) gevormd (Lea, 1970). Door de aanwezigheid van magnesiumsulfaat kunnen het monosulfaat en ettringiet weer ontleed worden, wat leidt tot de vorming van  $CaSO_4$ ,  $Mg(OH)_2$  en  $Al(OH)_3$  (Lea, 1970).

Chloriden kunnen eveneens inwerken op gehydrateerde aluminaathydraten; dit vindt plaats onder de vorming van Friedel's zout  $\{(CaO)_3 \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot (H_2O)_{10}\}$ . Evenals bij de vorming van ettringiet vindt er weer expansie en scheurvorming plaats (Lea, 1970).

### 5.2.2.3 Evaluatie degradatiefactoren

Uit het voorgaande kan afgeleid worden dat op de lange duur aantasting van bij COVRA opgeslagen gecementeerd laag- en middelactief afval kan plaatsvinden door:

- inwerking van kooldioxyde vanuit de lucht
- interactie tussen de gehydrateerde componenten en organische verbindingen die tijdens radiolyse van het gecementeerde organische materiaal zijn ontstaan
- inwerking van zouten en zuren vanuit het afval.

Vooralsnog lijkt het kwalitatief dat cement en beton een voldoende lange levensduur zullen hebben om de radioactiviteit ingekapseld te houden. Om kwantitatief inzicht te krijgen in het lange termijn gedrag van het gecementeerde laag- en middelradioactief afval zoals dat bij COVRA is opgeslagen is nader onderzoek nodig. Het onderzoek zal in eerste instantie gericht moeten zijn op procedures die zowel beton als gecementeerd afval versneld kunnen verouderen. Daarna kan via karakterisering van de "verouderde" monsters een indruk verkregen worden van de kwaliteit na langdurige opslag. Een belangrijk aspect daarbij is ook dat vastgesteld moet worden met welke realistische levensduur zo'n kunstmatige veroudering overeenkomt. Door KEMA is onder contract met de EC een dergelijk onderzoek gestart dat op de methode voor kunstmatige veroudering volgens Saito et al. (1992) is gebaseerd (KEMA, 1997c).

### 5.2.3 DEGRADATIE OMHULLING

Voor de opslag van afval zijn drie typen stalen vaten in gebruik:

	<u>Inhoud</u>	<u>Wanddikte</u>	<u>Materiaal</u>
Type I	220 l	1 mm	gecoat koolstofstaal
Type II	220 l	1 mm	roestvast staal
Type III	220 l	1 mm	verzinkt koolstofstaal

De coating van type I degradeert op de lange duur o.a. door:

- wateropname
- fysische veroudering
- ozon in de lucht
- uitdampen vluchtige componenten

Een coating neemt langzamerhand water op naar steeds diepere lagen. Onder de heersende condities van opslag is het transport naar het onderliggende staal zeer gering en vormt geen ernstige bedreiging. De coating vervloeit visceus op den duur, zeker onder drukpunten; hierdoor kunnen kleine scheurtjes ontstaan. De amorfe toestand van een coating ordent zich in de loop der tijd, waardoor de coating verbrost. Ozon, aanwezig in buitenlucht, oxydeert de organische stoffen van de coating waardoor deze hard wordt en haarscheurtjes ontstaan. Het uitdampen van niet volledig gereageerde vluchtige componenten in de lak kan het ontstaan van poriën ten gevolge hebben. Vochttransport naar het onderliggende materiaal door (haar)scheurtjes en poriën is vele malen groter dan door de intacte coating. Zonder nader onderzoek kan voor de coating geen langere garantie worden afgegeven dan voor enkele decennia (KEMA, 1997d).

Het type I vat wordt voornamelijk gebruikt voor gecontamineerde onderdelen van de kernenergiecentrales. Tussen de losse onderdelen is veel vrije ruimte die opgevuld wordt met grout. Tussen de onderdelen en de wand is altijd een extra afscherming. De kans op vrijkomen van radioactieve stoffen als de wand is verstoord is dan nog gering. Periodieke inspectie van deze vaten is echter wel gewenst. Zonodig moeten deze worden herverpakt. Tenzij de activiteit in de vaten, die voornamelijk uit Co-60 zal bestaan, reeds voldoende vervallen is om geruimd te mogen worden.

Onder de condities van opslag bij COVRA in een droge atmosfeer bij gelijkmatige temperatuur is de verwachting dat de type II en type III vaten niet binnen enkele eeuwen zullen corroderen (KEMA, 1997e). Deze uitspraak wordt ondersteund door onderzoeken naar de corrosie van vaten voor laag radioactief afval onder omgevingscondities die overeenstemmen met de condities bij COVRA (Bunnel and Duncan, 1995; Hauser and Köster, 1990).



#### 5.2.4 GEVOLGEN OVERSTROMING

In een deelstudie is onderzocht wat de risico's voor de Nederlandse bevolking zouden zijn als het opgeslagen afval door een overstroming langdurig onder water zou komen te staan (KEMA, 1998). Alleen beschouwd is het afval opgeslagen in het LOG, omdat het HABOG, waar het hoogradioactief en kernsplittingsafval is opgeslagen, tot op grote hoogte waterdicht is en bestand tegen overstromingen. Uitgegaan is van de huidige afvalinventaris, uitloging zoals beschreven in de MER (COVRA, 1995), verspreidingsparameters volgens de IAEA en dosisfactoren volgens de ICRP.

Uit de deterministische modelberekeningen volgt dat in het eerste jaar na de overstroming de maximale belasting optreedt en in dat jaar een individuele effectieve stralingsdosis van  $7,2 \cdot 10^{-14}$  Sv kan betekenen voor leden van de meest belaste referentiegroep. Deze waarde ligt een factor van  $5 \cdot 10^6$  lager dan de dosis behorend bij het secundair risiconiveau. Een eventuele (grote) onderschatting van de risico's is daarom irrelevant voor de eindconclusie dat een overstroming geen onaanvaardbaar risico voor de bevolking betekent.

#### 5.3 Informatiesystemen

In het laatste decennium is de ontwikkeling van de informatietechnologie in een enorme stroomversnelling geraakt. Het vervolg van deze ontwikkeling valt op geen enkele wijze voor de komende jaren te voorspellen, vandaar dat alleen basisuitgangspunten kunnen worden geformuleerd die onafhankelijk van deze ontwikkeling moeten worden gehandhaafd.

Als basisuitgangspunten gelden dat de inventarisatie van het opgeslagen afval naar aard, volume en activiteit, alsmede naar plaatsing in de gebouwen altijd is gewaarborgd én altijd toegankelijk is. Dit houdt in dat vernieuwing van de inventarisatie gelijke tred zal houden met de vernieuwing van het in gebruik zijnde administratie- en registratiesysteem en met een gebruikelijke back-up voor de bescherming van opgeslagen data. Daarnaast kan als extra back-up dienen de archivering van deze data door middel van hard copies. De systematiek van opslag en uitlezen zal weinig ontwikkeling meer kennen. Wel zal het nodig zijn ook hier een systematiek van frequente vervanging c.q. vernieuwing toe te passen om de data toegankelijk te houden.

#### 5.4 Nieuwe technieken

De voorgaande evaluatie van de technische levensduur voor de afzonderlijke onderdelen is gebaseerd op de huidige bewezen kennis en kunde. Op basis daarvan is in potentie een verlengde opslag tot 300 jaar mogelijk. Wel dienen dan uitgebreidere voorzorgen en maatregelen getroffen te worden dan benodigd voor een 100 jarige periode. Bewust zijn technieken die nog in ontwikkeling of experimenteel zijn niet meegenomen in de evaluatie. Nog niet ontdekte technieken konden per definitie niet worden beschouwd. Het is zeker niet

Nog niet ontdekte technieken konden per definitie niet worden beschouwd. Het is zeker niet uitgesloten dat in de toekomst enkele van de nieuwe technieken voordelig toegepast kunnen gaan worden op het opslagregime. De levensduur van 300 jaar kan dan nog beter bereikt worden.

## 6 MAATSCHAPPIJ

### 6.1 Sociale factoren

#### 6.1.1 INLEIDING

Het bewustzijn ten aanzien van milieuvervuiling en risico's is in toenemende mate gegroeid in de loop van deze eeuw. Na de start van het industriële tijdperk werden in het begin van deze eeuw ook de nadelen en de effecten van grootschalige vervuiling en slechte arbeidsomstandigheden zichtbaar.

Over het algemeen worden op dit moment de activiteiten van het bedrijfsleven niet op de voet gevolgd door het generale publiek, tenzij er sprake is van (vermeende) grootschalige milieuvervuiling of risico's voor de (locale) omgeving. Eén van de meest belangrijke factoren ten aanzien van het sociale aspect van de activiteiten van COVRA is waarschijnlijk de risicoperceptie van het generale publiek ten aanzien van radioactiviteit en straling.

In de risico-perceptie van het publiek speelt de psychologie een grote rol. Niet alleen is er een groot onbegrip over radioactiviteit en straling in zijn algemeenheid maar ook het verschil in risico-opvatting van de bevolking en de wet. In dit verband is een artikel van G.P. van den Berg, "Psychologische aspecten van elektromagnetische straling" (Berg, 1997) vermeldenswaardig. Enige aspecten van dit artikel worden hieronder mede belicht.

#### 6.1.2 BEGRIP

Het begrip straling heeft bij de bevolking een geheel andere lading dan bij wetenschappers, hoewel het gemeenschappelijke aspect de werking op afstand betreft. Bij de bevolking omvat het begrip een veelheid aan fysische, mentale en zelfs paranormale verschijnselen, die al dan niet op een hoop worden geveegd. Zo kan gedacht worden aan warmtestraling van de zon, licht, geluid, noorderlicht, röntgenstraling en de onmerkbare straling van hoogspanningsleidingen en kerncentrales. De paranormale verschijnselen van werking op afstand omvatten aldus astrologische inwerking van planeten en sterren op allerlei mentale en lichamelijke cycli, helderziendheid, aura of gedachtenlezen. Veelal zijn er in de ogen van de leek wetenschappelijke analogieën (technische versies) hiervan (bijvoorbeeld electroencefalografie, magnetische spin resonantie (NMR), corona-ontladingen), die net zo ongrijpbaar dan wel net zo gewoon zijn als het paranormale. Bestrijding van het bestaan van paranormale fenomenen is vaak vruchteloos omdat de discussie nu juist niet op wetenschappelijke gronden gevoerd kan worden. Het is de tegenstelling tussen de 'meetbare realiteit' (wat niet meetbaar is, wat niet in getallen of vergelijkingen uit te drukken is, bestaat niet) en de menselijke ervaring.

De negatieve vormen van straling, zoals "radioactieve straling" wordt vrijwel zonder

uitzondering geassocieerd met onheilspellende of ingrijpende gebeurtenissen. Bekende voorbeelden hiervan zijn uiteraard de kernbommen en het grootschalige ongeval Tsjernobyl. In de evaluatie van de IAEA over de gezondheidsaspecten van de bevolking rondom het getroffen gebied wordt geconstateerd dat allerlei ziekten direct toe worden geschreven aan het ongeval. Dit wordt nog versterkt door wantrouwen ten opzicht van de (plaatselijke) overheid, die doofpot-mentaliteit wordt verweten. De belangrijkste conclusie van het rapport is dat grote groepen geen doses hebben ontvangen die kunnen leiden tot de geconstateerde ziekte verschijnselen, behalve voor de schildklier. Veelal is beduidend minder straling ontvangen dan door de bevolking wordt veronderstelt, maar dat de zogenaamde "radio-phobia", de uitwerking van angst in het lichaam, niet alleen reëel is maar zelfs alarmerend. In die zin heeft een ongeval van een dergelijke omvang wel degelijk aantoonbare gevolgen.

### 6.1.3 DE "TECHNISCHE" RISICO-OPVATTING

Het huidige risicobeleid van de overheid is verankerd in meetbare, kwantificeerbare grootheden die getoetst kunnen worden aan grenswaarden. Die grootheden worden geacht een maat te zijn voor de schade, overlast of hinder die de bevolking (of milieu) kan ondervinden door enige menselijke activiteit. Het is duidelijk dat voor eventuele subjectieve, gevoelsmatige aspecten (zoals angst of stress) vooralsnog geen grootheden zijn gedefinieerd, wellicht ingegeven door het feit dat zij ook niet of nauwelijks objectief kunnen worden gedefinieerd. Indien een activiteit voldoet aan de grenswaarden die de overheid heeft gesteld wordt daarmee de activiteit toegestaan.

### 6.1.4 DE "BURGERLIJKE" RISICO-OPVATTING

Voor de burger blijkt risico veel meer te omvatten dan alleen maar de kans op een of andere aandoening, al dan niet vermenigvuldigd met de grootte van het effect. De burger hanteert vele maatstaven om het risico te bepalen, en die zijn overigens niet allemaal even scherp te definiëren of gelijk voor een ieder. Tabel 6.1, overgenomen van Vlek (Vlek, 1996) geeft aan hoe de risicomaatstaf van de bevolking er ongeveer uitziet. Deze tabel is algemeen voor de burgerlijke opvatting van risico's. Voor de opvatting van risico's verbonden met straling, is deze tabel ook goed toepasbaar.

Tabel 6.1 Basisdimensies van waargenomen risico

- 1 Mogelijke ernst van schade
- 2 Geografische omvang (grootte getroffen gebied)
- 3 Sociale omvang (aantal betrokkenen)
- 4 Tijdverloop schade (onmiddellijke / latere schade)
- 5 Kans op ongewenst vervolg

- 6 Beheersbaarheid (eigen of van vertrouwde deskundige) van gevolgen
- 7 Ervaring, vertrouwdheid, voorstelbaarheid met/van gevolgen
- 8 Vrijwilligheid van blootstelling (keuzevrijheid)
- 9 Duidelijkheid, belang van verwachte gevolgen
- 10 Sociale verdeling van risico's en voordelen
- 11 Intentie tot schade

Een betrekkelijk gering gevolg (punten 1,2 en/of 3) kan gepaard gaan met onbekendheid (7) of een ongelijke verdeling van lusten en lasten (10) waardoor het risico toch groot geacht wordt. Hoewel in de ogen van sommigen ongerijmd, is een van de consequenties van deze risico-inschatting bijvoorbeeld dat (afgezien van medische bestraling) radon weliswaar de grootste bron van stralingsbelasting is (punten 2 en 3) en tot een aanzienlijke longkankersterfte moet leiden (4 en 5), maar toch nauwelijks onrust veroorzaakt omdat het om een natuurlijke 'democratische' en neutrale (7, 8 en 9) bron gaat.

Verder blijkt ook dat als het aan de burger ligt het ALARA principe onder alle omstandigheden uitgevoerd moet worden. Ook al wordt er geen grenswaarde overschreden, ook al voldoet een situatie aan de normen, hoe klein het risico ook is, dan moet toch de blootstelling -zo mogelijk- verminderd worden.

#### 6.1.5 PSYCHOLOGISCHE ASPECTEN COVRA

In het licht van het voorgaande kan nu worden gezien in hoeverre de functie van COVRA en de risico's van COVRA door vooral de plaatselijke bevolking zullen worden beoordeeld. De inschatting is dat het perspectief van het publiek in Zeeland zich op dit moment vooral richt naar een afweging van duidelijke voor- en nadelen.

De voordelen zullen niet altijd even duidelijk zijn, zeker niet voor de lokale bevolking. Een van de voordelen van een centrale organisatie is dat niet ieder radioactief afval producerend instituut of industrie eigen oplossingen zal moeten verzinnen voor hun afval zoals in het verleden. Toen werd soms het afval begraven in het omliggende terrein van deze bedrijven zelf. Het is duidelijk dat het aantal bezwaren dat hieraan verbonden is veel groter is dan bij centrale, keurig geconditioneerde en gecontroleerde opslag. Dit perspectief zal de omwonende wel op kunnen brengen, maar dan toch treedt logischerwijze het NIMBY (Not In My Back Yard) principe in werking. Dit principe zegt eenvoudigweg dat een gevaarlijk geachte activiteit indien toch onvermijdelijk (hoe klein dit gevaar ook is) niet in mijn eigen achtertuin mag plaatsvinden. Dit principe is overigens overal en altijd waarneembaar. Het meest aansprekende voorbeeld is wel de plaatsing van windmolens. Velen zijn zeer te spreken over deze vorm van energieopwekking, maar niet in de buurt van hun eigen woning.

Het publiek zal in eerste instantie zicht moeten krijgen op het feit dat er nu eenmaal radioactief afval wordt geproduceerd, al was het alleen maar vanwege de ziekenhuizen. Dit

laatste doet het begrip voor een fatsoenlijke manier van opslag aanzienlijk toenemen. Het zal geen verbazing wekken dat velen geen notie hebben van de bronnen van het meeste afval, en wellicht veronderstellen dat het een verlengstuk is van de kerncentrales. Alle negatieve gevoelens ten aanzien van kerncentrales (ontploffingen, onmerkbare lozingen en/of incidenten) worden dan geassocieerd met COVRA.

De COVRA ervaring leert eveneens het eerder genoemde onbegrip ten aanzien van radioactiviteit, straling, het gebruik van radioactieve stoffen en de werkzaamheden van COVRA zelf, wijdverbreid is, zowel bij bezoekers als bij sollicitanten. Het gebruik van straling in de industrie anders dan kernenergiecentrales en de aanwezigheid van natuurlijke achtergrondstraling zijn veelal onbekend. De link tussen straling en kanker is overigens wel gemeengoed, evenals de Tsjernobyl ramp (COVRA, 1995)

Bij de aanvraag voor de vergunning in het kader van de kernenergiewet is een groot aantal bezwaarschriften ingediend afkomstig uit de provincie Zeeland. Dit wijst op een negatieve ervaring ten aanzien van de te ontplooiën activiteiten van COVRA. Verder hebben een aantal demonstraties plaatsgevonden. Ook ten tijde van de transporten van verwerkt afval van de tijdelijke COVRA-locatie in Petten naar de nieuwe opslaggebouwen zijn er 2 kleine demonstratieve acties geweest.

Deze demonstraties worden veelal goed georganiseerd door een aantal organisaties, waarvan Greenpeace en Miljoenen zijn Tegen bekende vertegenwoordigers zijn.

Wat echter niet immer duidelijk is, is de mate van maatschappelijk draagvlak van deze organisaties. Zij pretenderen te spreken uit naam van de gehele maatschappij, maar het is natuurlijk de vraag in hoeverre de grote zwijgende massa het eens is met al hun denkbeelden en de manieren waarop de doelstellingen worden uitgedragen. Het is denkbaar dat ook vele donateurs zich achter organisaties hebben geschaard vanwege de doelstellingen die zijn geformuleerd in de pionierfase van deze organisaties (in het voorbeeld van Greenpeace de walvisjacht). Naarmate de activiteiten en horizon van deze organisaties zich verbreden is het denkbaar dat een niet onaanzienlijk deel van de achterban zich in sommige doelstellingen niet kan vinden. Dit is wellicht de reden waarom deze organisaties in toenemende mate moeite hebben om hun ledenbestand op peil te houden, en inkomstenbronnen veilig te stellen.

Ook het omgekeerde wordt nu zichtbaar. Als voorbeeld kan dienen dat de gemeente Borsele niet onverdeeld blij is met het voornemen van de regering de kernenergie centrale Borsele te sluiten in het jaar 2004. Kennelijk wordt naar mate de centrale steeds langer bewijst een veilige centrale te zijn, alle resultaten ten aanzien van radioactieve emissies binnen de vergunningslimieten blijven en de omgevingsmetingen vrij ter inzage worden gegeven, duidelijk dat ook voordelen (werkgelegenheid / inkomsten / economie) van deze activiteit tot de verbeelding gaan spreken.

Op dit moment tonen de lokale nieuwsmedia zich in het algemeen zeer geïnteresseerd in de

activiteiten van COVRA, terwijl er sprake is van een neutrale informatieve houding. Er worden ook geen negatieve belevingsaspecten waargenomen.

Om het maatschappelijk begrip en draagvlak te verhogen biedt COVRA belangstellenden de mogelijkheid de bedrijfsgebouwen te bezoeken. Niet alleen bewoners van de provincie blijken geïnteresseerd te zijn maar ook personen die verder weg wonen. Bij de bezoeken wordt een voordracht gegeven over radioactiviteit, straling en de rol van COVRA, waarna een rondleiding langs de diverse verwerkingsinstallaties en het opslaggebouw voor laag- en middelradioactief afval plaats vindt.

#### 6.1.6 TOEKOMST

De relevante vraag die gesteld kan worden is of in de toekomst de risicoperceptie van de bevolking en overheid dusdanig kan veranderen dat "ongunstige" maatregelen zullen worden geëist omtrent de activiteit van COVRA. Het is duidelijk dat uitspraken hierover niet alleen moeilijk te staven zijn maar ook afhangen van een veelheid aan omstandigheden. Men kan in dit verband twee wegen bewandelen; extrapoleren onder huidige omstandigheden en een hele waslijst mogelijk scenario's uitwerken (onder allerlei omstandigheden) en proberen te rangschikken naar waarschijnlijkheid. Het laatste is niet alleen omvangrijk qua werk maar zou ook een schijn van wetenschappelijkheid kunnen uitdragen. Echter indien men zich ervan vergewist wat drie eeuwen geleden wel en niet verwacht werd omtrent ontwikkelingen van politieke, economische wetenschappelijke en technische aard, dan is het duidelijk dat elke voorspelling gedoemd is te mislukken. Sterker nog, zelfs ontwikkelingen die 50 jaar geleden nog als ondenkbaar werden geacht zijn tegenwoordig werkelijkheid geworden, terwijl redelijk logische voorspellingen in het geheel niet zijn uitgekomen. Door verregaande informatisering van de maatschappij heeft het er alle schijn van dat het tempo van de ontwikkelingen ook steeds meer toeneemt. Veel hangt logischerwijze af van ontwikkelingen op politiek vlak, energievoorraad en natuurlijke grondstoffen. Verder zullen ook aspecten als bevolkingsgroei, economie en de verdeling van arm en rijk een belangrijke rol spelen. Feitelijk zijn de hoeveelheid factoren die de toekomst bepalen te omvangrijk om te kunnen worden bevat of geanalyseerd. Derhalve beperken we ons tot enige extrapolatie, gegeven de huidige politieke en economische omstandigheden.

##### *Extrapolatie*

Ten aanzien van ontwikkelingen op politiek vlak en overheidsbeleid wordt verwezen naar paragraaf 6.2. Ten aanzien van risicoperceptie wordt gesteld dat de maatschappij op dit moment neigt om enerzijds onvrijwillige risico's zoveel mogelijk te beperken dan wel niet te accepteren terwijl aan de andere kant vrijwillige risico's worden gezocht. Het opzoeken van vrijwillige risico's wordt vooral gevonden in de zucht naar avontuur, en uit zich op allerlei vlakken in sport, recreatie, vakanties en genotindustrie. Een willekeurige greep hieruit: extreme kermisattracties, roken, drank- en druggebruik, delta vliegen, wild-water kano, survival tochten, klimwand, (stunt-)skiën, vrije val, bungee jumping, etc. Het is weliswaar zo

dat deze activiteiten voornamelijk door de jeugd worden bedreven, maar er is toch ook een tendens waarneembaar dat ouderen (tot een bepaalde leeftijd) meer en meer risico's durven of willen nemen. Bovendien is het zo dat de generaties die nu jong zijn later de oudere groep vormen, waarin deze tendens zich waarschijnlijk zal voortzetten.

Aan de andere kant is een tendens waarneembaar dat alle onvrijwillige risico's steeds minder geaccepteerd worden dan wel vermeden worden. Dit is bijvoorbeeld zichtbaar in de toenemende mate waarin van alles verzekerd wordt, met name economische risico's. Verder is ook de bereidheid om claims in te dienen tegen fabrikanten, instanties of particulieren bij vermeende berokkende schade (juridisch, economisch, lichamelijk of emotioneel) in opkomst. De mondigheid van de burger neemt in die zin toe.

De mate waarin deze trends tijdelijk en/of omkeerbaar zijn is zoals gezegd moeilijk te voorspellen. De achterliggende vraag is natuurlijk in hoeverre een maatschappij werkbaar c.q. leefbaar kan blijven indien allerlei trends zich te ver doorzetten. Om een voorbeeld te geven; de verregaande mate om allerlei disputen in het gerechtshof uit te vechten kan leiden tot een volkomen overbelast justitieel apparaat. Het is duidelijk dat de wisselwerking tussen de regering/wetgever en de maatschappij (burgers en bedrijven) zorg dient te dragen voor balans in de maatschappij. Zolang deze balans stand houdt is het waarschijnlijk dat COVRA haar activiteit kan blijven uitvoeren over langere periode. Verder is het waarschijnlijk dat bij voortdurend goed bedrijf (zonder incidenten) een zekere gewenning zal optreden bij de lokale bevolking en zal leiden tot gedogen bij de gemiddelde bevolking dan wel berusten bij uitgesproken tegenstanders.

## 6.2 **Politieke stabiliteit**

### 6.2.1 ALGEMEEN

Om uitspraken te doen over politieke stabiliteit in termen van regering of machtsuitoefening over de komende 300 jaar, kan evenals reeds eerder is opgemerkt, geen zinnige uitspraak worden gedaan. Ter onderbouwing van dit standpunt kan men een blik werpen op de politieke situatie in ons land rond het jaar 1700. Het is waarschijnlijk dat elke toekomstvoorspelling in die tijd op welk vlak dan ook gedoemd zou zijn geweest te mislukken, gezien de ontwikkelingen over de afgelopen 300 jaar, en met name in de laatste 100 jaar door de indrukwekkende technologische ontwikkeling. Het enige wat wellicht nog enigermate hout kan snijden zijn zeer algemene uitspraken over verwachte ontwikkelingen, dan wel uitspraken onder bepaalde randvoorwaarden.

Een belangrijke randvoorwaarde is bijvoorbeeld of er al dan niet oorlog zal uitbreken. De huidige vrede in westelijk Europa sinds 1945 is ongekennd in de vroegere historie in Europa. De oorzaken van oorlogen lijken velerlei doch zijn vrijwel zonder uitzondering terug te voeren op economische belangenbehartiging (al dan niet onder misbruik van de vlag van een hoger



ideaal) of machtswellust van individuen (despotische monarchen en dictators). Indien de huidige trend van scheiding van arm en rijk binnen een land zich doorzet kan dit op den duur leiden tot onlusten en politieke onstabiliteit. Ook langdurige scheefgroei in economische welvarendheid tussen landen of machtsblokken onderling kan hiertoe aanleiding geven.

Wordt verondersteld dat geen oorlog zal optreden in de komende 300 jaar, kunnen de volgende verwachtingen worden geuit ten aanzien van politieke ontwikkeling.

Het is niet onredelijk te veronderstellen dat het proces van Europese integratie zich zal voortzetten, wellicht zelfs met centraal bestuur op sommige terreinen (Federale staat, zoals in de Verenigde Staten). Verder kan worden verwacht dat de democratische vorm van bestuur gehandhaafd zal blijven (andere systemen hebben zo langzamerhand bewezen niet werkzaam te zijn of niet te handhaven). Dit in het achterhoofd houdende, kan worden gesteld dat de invloed van politiek op de activiteit van COVRA in de komende 300 jaar zich voornamelijk zal uiten op het gebied van regelgeving en vergunningkwesties naast een mogelijke financiële invloed. Ontbreken van financiële middelen bijvoorbeeld, kan leiden tot een onvoldoende toezicht of onderhoud. Zolang echter milieuzorg een belangrijk politiek issue blijft is dit niet erg waarschijnlijk.

## 6.2.2 STABILITEIT IN WET- EN REGELGEVING

Verwacht wordt dat de huidige risico-politiek zoals nu gehanteerd wordt door de overheid verder uitgebreid, verfijnd en geactualiseerd zal worden. Dit laatste naarmate er meer onderzoeksgegevens bekend worden. Het is niet ondenkbeeldig dat ook de mate van stress of angst onder de bevolking gekwantificeerd zal worden en moet voldoen aan bepaalde limieten. Dit kan wellicht eerder ongunstig uitpakken voor een bedrijf als COVRA dan voor andere (chemische) industrieën, terwijl deze misschien zelfs meer radioactiviteit emitteren dan COVRA (zie bijvoorbeeld de fosfaat verwerkende industrie).

Ten aanzien van de limieten wordt verwacht dat die op sommige terreinen nog enigszins zullen worden aangescherpt, maar over het algemeen niet beduidend scherper zullen worden. Dit omdat enerzijds bij verdere aanscherping vele bedrijfstakken en industrieën niet aan deze limieten kunnen voldoen en anderzijds het "natuurlijke achtergrondrisico" (bijvoorbeeld stralingsrisico) vaak al beduidend hoger ligt dan het niveau die deze bedrijven extra bijdragen. Verder zal de regel- en wetgeving zich steeds meer internationaliseren. Dit zal ongetwijfeld een nuancerende en balancerende invloed op werkbaarheid/uitvoerbaarheid van deze regel- en wetgeving uitoefenen.

Concluderend kan redelijkerwijze worden verondersteld dat onder de aanname van uitblijven van oorlog, COVRA over langere periode haar activiteiten mag en kan blijven uitvoeren.

## 7 ALTERNATIEVEN

### 7.1 Inleiding

Als meest voor de hand liggende optie is aangenomen en in dit rapport behandeld, de voortzetting van de opslag in de bestaande en voorziene gebouwen van COVRA op de huidige locatie Borsele. In dit hoofdstuk zullen andere opties worden aangegeven welke wellicht ook voordelen bieden. Gedacht wordt daarbij aan andere gebouwen, inzet op andere locaties, een ander beheersysteem en opberging in de ondiepe ondergrond. Daarnaast wordt aangegeven wat de mogelijkheden zijn tot (her)gebruik van afval dat bij COVRA is opgeslagen en vrijgegeven wordt.

### 7.2 Andere gebouwen

Uit oogpunt van mogelijke kostenreductie zou als alternatief kunnen worden overwogen het gebruik van een ander type gebouwen. Uitgangspunt zou kunnen zijn dat met een verbeterde duurzaamheid de onderhouds- en renovatieaspecten kunnen worden verkleind. Op basis van de huidige technieken zou dan de toepassing van bunkers voor verder ongecontroleerde opslag een mogelijkheid zijn. Los van het feit dat duurzaamheid nog steeds niet kan worden gewaarborgd wordt het aspect "terugneembaarheid" in deze optie bemoeilijkt ten gunste van mogelijk lagere kosten voor bouw en exploitatie. Een nadere detaillering voor deze optie is wenselijk om tot een betere vergelijking te komen.

### 7.3 Andere locaties

Zorgvuldig onderzoek en afwegingen, alsmede een uitgebreide selectieprocedure (o.a. commissie Geertsema) hebben geleid tot de keuze van de huidige locatie. Een aspect dat hierbij niet is meegenomen, ook al omdat opslag voor 300 jaren niet aan de orde was, is de stijging van de zeespiegel.

Verondersteld wordt dat met passende maatregelen (dijkverhoging, bemaling) de locatie kan worden gevrijwaard van overstromingen. In geval dat dit laatste niet kan worden gerealiseerd is verplaatsing van COVRA aan de orde. In die situatie zal een keuze moeten worden gemaakt tussen een herhaling van de bestaande optie en de alternatieven en zal de selectieprocedure voor de keuze van de locatie opnieuw moeten worden gestart.

### 7.4 Andere beheersystemen

De opzet van de in dit rapport beschouwd optie is een opslag van 300 jaar waarna afvoer van de bulk aan vrijgegeven materiaal in één keer kan plaatsvinden.

Alternatief is de afvoer van materiaal op korte termijn nadat de vrijgavelimiet is overschreden. Dit houdt in dat de benodigde opslagcapaciteit voor de categorie B, C en D afval kan worden verlaagd. Voor het huidige C en D afval (zie bijlage B1) zou al per direct ca. 75% kunnen worden afgevoerd, hoeveelheden die tot 90%, resp. 100% oplopen na nog eens 100 jaar opslag. Voor de categorie B afval verloopt dit minder snel hoewel ook hier na 200 jaar meer dan 90% kan zijn afgevoerd. Voor de categorie A afval resteert na 300 jaar nog 67%.

Tabel B2 toont het mogelijke verloop van de opslag voor toekomstig afval. Hier tekent zich een stabiel patroon af van aan- en afvoer dat uiteraard een dalende lijn vertoont. Deze manier van handelen heeft als resultaat dat over de hele periode minder opslagcapaciteit nodig is. Zonder verdere detailanalyse mag ervan worden uitgegaan dat een opslaggebouw (4 units) minder dan volgens de huidige opzet, zeer wel mogelijk is. Dit levert aan bouw- (ca. 20 MNLG) en onderhoudskosten grote besparingen op. Daar staat echter tegenover dat:

- a veel sorteer- en selectiewerk moet worden uitgevoerd om vrijgegeven afval daadwerkelijk af te voeren (met toename van stralingsbelasting van personeel)
- b afvoer- en/of verwerkingsmogelijkheden voorhanden moeten zijn (zie 7.6).

Een evaluatie van beide aspecten en het daarbij behorende kostenplaatje zal nog onderwerp van een nadere studie moeten worden.

## 7.5 Opberging in ondiepe ondergrond

Het alternatief van zand erover in plaats van langdurige bovengrondse opslag wordt toegepast c.q. bestudeerd in andere landen (IAEA, 1996). Deze optie waarbij duidelijk de nadruk ligt op het isoleren kent in zijn huidige toepassingsvorm een extra moeilijkheidsgraad m.b.t. de terugneembaarheid van het afval. Ook het aspect van controleren komt maar in beperkte mate aan de orde.

## 7.6 Mogelijkheden tot hergebruik/verwerking

Momenteel is nog het Besluit stralenbescherming Kernenergiewet (BsK, 1986) van kracht voor radioactief materiaal. Over twee jaar zal de nieuwe Europese regelgeving in de Nederlandse wet zijn geïmplementeerd in een nieuw besluit, het zogenoemde BsK-2000. Dan zullen de vrijstellingsgrenzen gelden zoals verwoord in de paragrafen 2.2.2 en 3.2. Onzeker is thans nog of het Bevoegd Gezag deze vrijstellingsgrenzen ook zal hanteren als vrijgavegrenzen voor "gedeclassificeerd" radioactief afval. In een studie van ECN (ECN, 1997b) blijkt dat het zeer goed mogelijk is om bij hantering van de vrijstellingsgrens als vrijgavegrens voor het merendeel van het afval bij COVRA onder het criterium van 10  $\mu$ Sv per jaar te blijven. Dit is zeker het geval bij een 'voorwaardelijke vrijgave' d.w.z. dat alleen voorgeschreven handelingen zijn toegestaan.

Door KEMA (1997f) is een studie uitgevoerd naar mogelijkheden om afvalstoffen die bij

COVRA zijn opgeslagen en die qua radioactiviteit de vrijgavelimiet hebben overschreden te gebruiken, dan wel te verwerken als niet-radioactief afval. Om tot een gemakkelijke manier van nabehandelen te komen moet afhankelijk van deze manier een passende verpakking worden gekozen. Alvorens tot verpakking over te gaan dient een selectie plaats te vinden naar aard van de materialen en hun verwerkingsmogelijkheden. Het onvermengd opslaan van materialen is daarbij een belangrijk aandachtspunt.

Als mogelijke verwerkingsstrategieën zijn aangegeven:

- de verbranding van verbrandbaar materiaal
- de opwerking van hoogwaardige materialen (b.v. de ionenwisselaarharsen)
- de afvoer naar een deponie.

Voor de laatste mogelijkheid moet wel het uitloggedrag nader worden beschouwd. In sommige gevallen kan het alsnog immobiliseren een oplossing zijn.

## 8 CONCLUSIES

Aangetoond is dat een bovengrondse opslag van radioactief afval gedurende 300 jaar op basis van het oorspronkelijke ontwerp van COVRA, met als uitgangspunt 100 jaar opslag, technisch goed mogelijk is en financieel aantrekkelijk.

Daarbij geldt dat voor deze optie over de gehele periode wordt voldaan aan de volgende criteria:

- IBC is altijd gewaarborgd
- de terugneembaarheid is blijvend
- een verlenging van de levensduur van 100 jaar naar 300 jaar is technisch geen probleem, met dien verstande dat onderhouds-, renovatie- en vervangingsaspecten een wezenlijke factor zijn om de IBC waarborg in stand te houden
- de reductie van het resterend afval dat alsnog naar een eindberging moet worden afgevoerd is aanzienlijk. Zo resteert voor eindberging na 300 jaar van het huidig afval dat reeds bij COVRA is opgeslagen nog 67% aan A categorie, 4% aan B categorie, 25% aan C categorie en 0% aan D categorie. Voor het toekomstig afval zijn de overeenkomstige waarden 75%, 8%, 29% en 0%. Hiermee is het geheel aan volumereductie voor eindopslag aangegeven. Aangezien voor het ontmantelingsafval detailgegevens ontbreken kan niet gedifferentieerd worden naar materialen welke na verloop van tijd (hier na 300 jaar) wel of niet kunnen worden vrijgegeven, dus afgevoerd. Indien bij de ontmanteling hiermee rekening wordt gehouden kan ook hier nog een aanzienlijke volumereductie m.b.t. de eindopslag worden bereikt
- de financiële voordelen van een verlenging van de opslag tot 300 jaar worden gevonden in het uitstel van de realisering van de ondergrondse opslag. In (ECN, 1997a) zijn de kosten van definitieve opberging onder de grond, zonder terugneembaarheid geraamd op 451 MNLG prijspeil 1985: Naar het huidige prijspeil zullen de kosten (investering en onderhoud) 500 MNLG bedragen bij een indexering van 3%.

Gelet op het feit dat een aanzienlijke reductie wordt verkregen in benodigde ondergrondse opslagcapaciteit en als aangenomen wordt dat door deze reductie kan worden volstaan met één schacht kan een forse investeringsreductie worden bereikt.

Voor de reservering over 200 jaar verlenging van bovengrondse opslag is dit in absolute zin gering (20%) vergeleken met de overige kosten. Blijft het uitgangspunt 500 MNLG gehandhaafd dan vereist dit bij een effectief rendement van 2% over de 200 jaar op het startpunt van de 200 jaar verlenging een reservering van 10 MNLG. Wordt er tevens van uitgegaan dat de totale kosten voor levensduurverlenging dan ook gereserveerd moeten zijn, dan moeten beschikbaar zijn:

- voor onderhoud LOG	150 MNLG
- voor directe vervanging HABOG	150 MNLG
- reservering voor HABOG van nogmaals 100 jaar (2%)	20 MNLG
- reservering voor realisering eindopslag (2%)	<u>10 MNLG</u>
totale kosten	330 MNLG

Dit levert derhalve op het huidige prijspeil een besparing van 170 MNLG. Dit kan nog toenemen indien rendementen op reserveringen voor onderhoud mee worden genomen (b.v. 65 MNLG extra bij reservering voor de helft van de onderhoudskosten over 100 jaar).

De huidige wereldklimaatmodellen geven geen uitsluitel over lokaal optredende klimaatseffecten in de toekomst. Derhalve dient op wijziging van omgevingsfactoren (bijv. zeespiegelstijging) te worden geanticipeerd. Historische trends geven aan dat aan voorspellingen van sociale en politieke factoren over een periode van 300 jaar geen vaste conclusies kunnen worden verbonden. In feite geldt dit voor elke vorm van afvalopslag en niet slechts alleen voor bovengrondse opslag.

De eindconclusie, zij het een voorlopige die uitgebreid moet worden naar een vergelijking met de resultaten van de huidige nog lopende studies naar ondergrondse opslag in klei, zout of rotsgrond, inclusief het aspect van terugneembaarheid, is dat het goed mogelijk is en alleszins voordelig om over te gaan tot een verlenging van de duur van de bovengrondse opslag bij COVRA met 200 jaar.

Nadere studies worden aanbevolen naar:

- een verdere volumereductie door gericht omgaan met ontmantelingsafval
- een aangepaste verpakking gericht op een gemakkelijke verwerking van vrijgegeven afval
- mogelijkheden naar afvoer en hergebruik
- ontwikkeling van non-destructieve meetmethoden ter declassering.

## REFERENTIES

ATKINSON, A., HEURNE, J.A. An Assessment of the long-term durability of concrete in radioactive waste repositories.

BERG, G.P. van den (1997), Straling: één pot nat; psychologische aspecten van elektromagnetische straling. NVS-Nieuws, **22** no.4, oktober 1997.

BsK, 1986. Besluit stralenbescherming Kernenergie. Staatscourant 465.

BUNNEL, L.R., DUNCAN, D.R.: Measurements of the corrosion of low-carbon steel drums under environmental conditions at Hanford. Proc. Corrosion 95, the NACE International Annual Conference and Corrosion Show. Paper no.427.

COLLEPARDI et al., 1978. Cement and Concrete Research 8, 571.

COVRA, 1995. Milieu-effectrapport (Behorende bij de aanvraag tot wijziging van de Kewvergunning van COVRA N.V.), rapport nr. MER-COVRA NV, rev. 0, 15 augustus 1995.

COVRA, 1997. Jaarverslag 1996.

ECN, 1997a. (Gruppa, J. e.a.). METRO tussenrapportage. Topical rapportage voorjaar 1997.

ECN, 1997b (Hienen, J.F.A. van). Randvoorwaarden bij declassering radioactief afval. Rapport no. ECN-CX--97-117.

EPRI, 1985. Radionuclide Correlations in Low-Level Radwaste. Rapportno. EPRI NP-4037

EU, 1996. Richtlijn 96/29/Euratom van de Raad van 13 mei 1996 tot vaststelling van de basisnormen voor de bescherming van de gezondheid der bevolking en der werkers tegen de aan ioniserende straling verbonden gevaren. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen L159 **39** (29-6-1996).

GKN, 1997, Decommissioning of the Dodewaard BWR, 97-025/PBC/R, June 1997

GROVE Engineering Inc., 1988. MICROSHIELD; a micro computer program for shielding analyses.

HAUSER, W., KÖSTER, R.: Evaluation of long-term durability of Low- and Intermediate-Level waste packages. In: Evaluation of low and intermediate level radioactive solidified waste forms and packages: pp.139-147. Final report of a co-ordinated research program, 1985-1989. NITS, order no. DE91617520

HILSDORF, H.K., KROPP, J., KOCH, H.J., 1976a. Der Einfluss radioaktiver Strahlung auf die mechanischen Eigenschaften von Beton. DAF Stb. Heft 261, Berlin.

HILSDORF, H.K., KROPP, J. KROPP, H.J., 1976b. Deut. Acuss für Stahlbeton No. 261.

IAEA, 1996. Proceedings Int. symposium on Experience in the Planning and Operation of Low Level Waste Disposal Facilities (Wenen, juni 1996).

IPCC, 1995 CLIMATE CHANGE 1995; IPCC second assessment. Cambridge Univ. Press.

KEMA, 1997a (L.C. Scholten). Inventarisatie afval COVRA; statusbericht. KEMA-rapport 41436-NUC 97-5173

KEMA, 1997b (Jacobs, A.J.A.). Levensduurverlenging LOG COVRA Borssele, rapport no. 82571-RIVB 97-5005.

KEMA, 1997c (Bloem, P.J.C.). Degradatiefactoren van cement en beton bij opslag van laag- en midden-radioactief afval in Nederland. KEMA rapport 41437-KET/R&B 97-4065.

KEMA, 1997d. Persoonlijke mededeling door C.A.M. van den Ende.

KEMA, 1997e. Persoonlijke mededeling door W.M.M. Huijbrechts.

KEMA, 1997f. Aanbevelingen voor verwerking van radioactief afval dat na opslag bij COVRA kan worden vrijgegeven, 41436-NUC 97-5982 Revisie 0, 30 september 1997.

KEMA, 1998 (Scholten, L.C. en Heling, R.). Risico-evaluatie overstrooming COVRA-terrein. KEMA rapport 41441-NUC 98-5209, revisie 1.

LEA, F.M., 1970. The Chemistry of Cement and Concrete, pp. 338-344.

LEMMENS, A. ,e.a. 1997. Determination and declaration of critical nuclides inventories in Belgian NPP radwaste streams. Proc. ICEM'97; Int. Conf. on Radioactive Waste Management and Environmental Remediation. Singapore, 12-16 oktober 1997.

NICHEDLOV-PETROSSION, PAPKOVA L.P., 1967. Silikattechnik 18, pp. 319.

NICHEDLOV-PETROSSION, VGRODOV, I.P., 1968. Proc. 5th Int. Symp. Chem. Cement (Tokyo), part 2.

NITG, 1997 (Rijkers, R.H.B. en Bremmer, C.N.). Schatting bodembeweging van het COVRA-terrein (Vlissingen-Oost) gedurende de komende 300 jaar. TNO-rapport NITG 97-135-B.



NIS, 1994, Costs of decommissioning of the NPP at Borssele, No. 1362/3179/0, October 1994

NORS, 1990, Omgaan met risico's van straling, Tweede Kamer vergaderjaar 1989/1990  
21 483, nr. 1. SDU, Den Haag,

Nota's, 1994; nota COV-N-001, COV-N-002 en COV-N-003 van Rijkswaterstaat

PARROT, L.J., LAWRENCE, C.D., 1992. Review of durability of cementitious engineered barrier in repository environments. DOE report/HMIP/RR/92/020.

ROY, D.M., LANGTON, C.A., 1982. Longevity of bore hole and shaft sealing materials, ONWI-202

Rijkswaterstaat, 1986: ZEESPIEGELRIJZING, worstelen met wassend water

SAITO, H.S., NAKANA, S., IKARI, S., FUJIWARE, A., 1992. Preliminary experimental study on the deterioration of cementitious materials by an acceleration method. Nuclear Engineering and Design, Volume 138:2, pp. 151-155.

SCHOLTEN, L.C. 1997: Persoonlijke mededelingen vanuit de centrales

SVENSMARK, H. 1997: to be published in J. of Atmospheric and Terrestrial Physics

TITUS J.G. and NARAYANAN, V. (1996): The risk of sea level rise. Climate Change **33**, pp. 151-212

VLEK, C.A.J., (1996). A multi-level, multi-stage and multi-attribute perspective on risk assessment, decision making and risk-control. Risk Decision and Policy, vol 1(1), 1996, pp. 9-31.

VROM, 1984. Nota Radioactief afval

WELBERGEN, J., CODÉE, H.D.K.: Radioactive waste from the Non-Nuclear Industry; Developments at COVRA in the Netherlands. Proceedings International symposium on radiological problems with natural radioactivity in the Non-Nuclear Industry. (Amsterdam, 8-10 sept. 1997)

**Bijlage A      Europese richtlijnen**

Door de Europese Commissie is een nieuwe Council Directive opgesteld die de bestaande Europese richtlijnen op het gebied van stalingsbescherming zal gaan vervangen (EU, 1996). Het bereik van deze richtlijn zal zijn tot alle praktijken die een risico van ioniserende straling opleveren, afkomstig van een kunstmatige of natuurlijke bron. In de Directive zijn richtlijnen vastgesteld voor vrijstellingsgrenzen voor melding van radioactieve stoffen (EU, 1996). Deze grenzen zijn niet meer generiek, zoals in de huidige Nederlandse normen, maar nuclide specifiek. De meldingsplichtigegrenzen zijn getabelleerd in absolute hoeveelheden (Bequerels) en in concentraties ( $\text{kBq.kg}^{-1}$ ). Melding is vereist als zowel de grenswaarde voor de absolute activiteit als ook de grenswaarde voor de specifieke activiteit wordt overschreden.

De criteria gehanteerd bij het opstellen van deze lijst van vrijstellingen zijn:

- a) de effectieve dosis die op gelopen zou kunnen worden door enig lid van de bevolking ten gevolge van de vrijgestelde praktijk is in de orde van grootte van  $10 \mu\text{Sv}$  per jaar of minder
- b) of de collectieve dosis opgelopen in een jaar als gevolg van de praktijk is niet meer dan  $1 \text{ mensSv}$  of uit een bepaling voor de optimalisatie van de bescherming is gebleken dat de vrijgestelde praktijk het optimale is.

In de lijst van nucliden is een groot aantal nucliden opgenomen met een korte halveringstijd. Deze nucliden zullen zelden door de instelling waar ze zijn gebruikt worden aangeboden aan COVRA omdat men ze in eigen opslag laat vervallen tot activiteiten onder de waarden van de vrijstellingswaarden uit de tabel. Het blijkt in de praktijk dat het criterium voor aanbieding aan COVRA gelegd kan worden op een halveringstijd van 2 weken. Daarnaast geldt het criterium van een halfwaardetijd van 15 jaar uit de nota radioactief afval van VROM tussen kort en lang levend afval.

Tabel A1 is een bewerking van de tabel uit de Europese richtlijn, waarbij de nucliden met een halfwaardetijd van minder dan 2 weken zijn weggelaten, behoudens enkele dochternucliden die altijd voorkomen bij het moedernuclide. Tevens is aangegeven of de halfwaardetijd meer of minder dan 15 jaar is.

## Bijlage A blad 2

Tabel A-1 Vrijstellingsgrenzen volgens Europese richtlijn (EU,1996)

Nuclide	halfwaardetijd < 15 jaar >	Hoeveelheid ( Bq )	Concentratie ( kBq/kg )
H-3	12,3 j <	$10^9$	$10^6$
Be-7	53 d <	$10^7$	$10^3$
C-14	> 5,73E3 j	$10^7$	$10^4$
Na-22	2,6 j <	$10^6$	10
P-32	14,3 d <	$10^5$	$10^3$
P-33	25,3 d <	$10^8$	$10^5$
S-35	87,5 d <	$10^8$	$10^5$
Cl-36	> 3E5 j	$10^6$	$10^4$
Ar-37	35 d <	$10^8$	$10^6$
K-40	> 1,28E9 j	$10^6$	$10^2$
Ca-45	163 d <	$10^7$	$10^4$
Sc-46	84 d <	$10^6$	10
V-48	16 d <	$10^5$	10
Cr-51	27,7 d <	$10^7$	$10^3$
Mn-53	> 3,7E6 j	$10^9$	$10^4$
Mn-54	312 d <	$10^6$	10
Fe-55	2,7 j <	$10^6$	$10^4$
Fe-59	45 d <	$10^6$	10
Co-56	78,7 d <	$10^5$	10
Co-57	271 d <	$10^6$	$10^2$
Co-58	71 d <	$10^6$	10
Co-60	5,27 j <	$10^5$	10
Ni-59	> 7,5E4 j	$10^8$	$10^4$
Ni-63	> 100 j	$10^8$	$10^5$

Tabel A-1 vervolg

Nuclide	halfwaardetijd < 15 jaar >	Hoeveelheid ( Bq )	Concentratie ( kBq/kg )
Zn-65	244 d <	10 <sup>6</sup>	10
As-73	80 d <	10 <sup>7</sup>	10 <sup>3</sup>
As-74	17,8 d <	10 <sup>6</sup>	10
Se-75	120 d <	10 <sup>6</sup>	10 <sup>2</sup>
Kr-81	> 2,1E5 j	10 <sup>7</sup>	10 <sup>4</sup>
Kr-85	10,76 j <	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>
Rb-86	18,7 d <	10 <sup>5</sup>	10 <sup>2</sup>
Sr-85	65 d <	10 <sup>6</sup>	10 <sup>2</sup>
Sr-89	50,5 d <	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>
Sr-90+	> 28,5 j	10 <sup>4</sup>	10 <sup>2</sup>
Y-91	58,5 d <	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>
Zr-93+	> 1,5E6 j	10 <sup>7</sup>	10 <sup>3</sup>
Zr-95	64 d <	10 <sup>6</sup>	10
Nb-94	> 2E4 j	10 <sup>6</sup>	10
Nb-95	35 d <	10 <sup>6</sup>	10
Mo-93	> 3,5E3 j	10 <sup>8</sup>	10 <sup>3</sup>
Tc-97	> 2,6E6 j	10 <sup>8</sup>	10 <sup>3</sup>
Tc-99	> 2,1E5 j	10 <sup>7</sup>	10 <sup>4</sup>
Ru-103	39,4 d <	10 <sup>6</sup>	10 <sup>2</sup>
Ru-106+	1,01 j <	10 <sup>5</sup>	10 <sup>2</sup>
Pd-103	17 d <	10 <sup>8</sup>	10 <sup>3</sup>
Ag-105	41,3 d <	10 <sup>6</sup>	10 <sup>2</sup>
Ag-108m+	> 127 j	10 <sup>6</sup>	10
Ag-110m	250 d <	10 <sup>6</sup>	10

Tabel A-1 vervolg

Nuclide	halfwaardetijd < 15 jaar >	Hoeveelheid ( Bq )	Concentratie ( kBq/kg )
Cd-109	1,24 j <	$10^6$	$10^4$
In-115m	> 4E14 j	$10^6$	$10^2$
Sn-113	115 d <	$10^7$	$10^3$
Sb-124	60 d <	$10^6$	10
Sb-125	2,77 j <	$10^6$	$10^2$
Te-123m	120 d <	$10^7$	$10^2$
Te-125m	57 d <	$10^7$	$10^3$
Te-127m	109 d <	$10^7$	$10^3$
Te-129m	34 d <	$10^6$	$10^3$
I-125	60 d <	$10^6$	$10^3$
I-129	> 1,6E7 j	$10^5$	$10^2$
Cs-134	2,06 j <	$10^4$	10
Cs-135	> 2E6 j	$10^7$	$10^4$
Cs-137+	> 30,2 j	$10^4$	10
Ce-139	138 d <	$10^6$	$10^2$
Ce-141	32,5 d <	$10^7$	$10^2$
Ce-144+	285 d <	$10^5$	$10^2$
Pm-147	2,6 j <	$10^7$	$10^4$
Sm-151	> 93 j	$10^8$	$10^4$
Eu-152	13,3 j <	$10^6$	10
Eu-154	8,8 j <	$10^6$	10
Eu-155	5,0 j <	$10^7$	$10^2$
Gd-153	2,42 d <	$10^7$	$10^2$
Tb-160	72 d <	$10^6$	10

Tabel A-1 vervolg

Nuclide	halfwaardetijd < 15 jaar >	Hoeveelheid ( Bq )	Concentratie ( kBq/kg )
Tm-170	129 d <	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>
Tm-171	1,92 j <	10 <sup>8</sup>	10 <sup>4</sup>
Hf-181	42,4 d <	10 <sup>6</sup>	10
Ta-182	114 d <	10 <sup>4</sup>	10
W-181	121 d <	10 <sup>7</sup>	10 <sup>3</sup>
W-185	75 d <	10 <sup>7</sup>	10 <sup>4</sup>
Os-191	15,4 d <	10 <sup>7</sup>	10 <sup>2</sup>
Ir-192	74 d <	10 <sup>4</sup>	10
Hg-203	46,6 d <	10 <sup>5</sup>	10 <sup>2</sup>
Tl-204	3,8 j <	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>
Pb-210+	> 22,3 j	10 <sup>4</sup>	10
Bi-207	> 33,4 j	10 <sup>6</sup>	10
Bi-210	5,0 d <	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>
Bi-212+	0,04 d <	10 <sup>5</sup>	10
Po-210	138 d <	10 <sup>4</sup>	10
Rn-222+	3,8 d <	10 <sup>8</sup>	10
Ra-223+	11,4 d <	10 <sup>5</sup>	10 <sup>2</sup>
Ra-224+	3,66 d <	10 <sup>5</sup>	10
Ra-225	15 d <	10 <sup>5</sup>	10 <sup>2</sup>
Ra-226+	> 1,6E3 j	10 <sup>4</sup>	10
Ra-228+	5,75 j <	10 <sup>5</sup>	10
Ac-228	0,26 d <	10 <sup>6</sup>	10
Th-227	18,7 d <	10 <sup>4</sup>	10
Th-228+	1,9 j <	10 <sup>4</sup>	1

Tabel A-1 vervolg

Nuclide	halfwaardetijd < 15 jaar >	Hoeveelheid ( Bq )	Concentratie ( kBq/kg )
Th-229+	> 7,34E3 j	10 <sup>3</sup>	1
Th-230	> 7,5E4 j	10 <sup>4</sup>	1
Th-231	1,05 d <	10 <sup>7</sup>	10 <sup>3</sup>
Th-232sec	> 1,4E10 j	10 <sup>3</sup>	1
Th-234+	24 d <	10 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup>
Pa-230	17,4 d <	10 <sup>6</sup>	10
Pa-231	> 3,2E4 j	10 <sup>3</sup>	1
Pa-233	27 d <	10 <sup>7</sup>	10 <sup>2</sup>
U-230+	21 d <	10 <sup>5</sup>	10
U-232+	> 70 j	10 <sup>3</sup>	1
U-233	> 1,6E5 j	10 <sup>4</sup>	10
U-234	> 2,5E5 j	10 <sup>4</sup>	10
U-235+	> 7,0E8 j	10 <sup>4</sup>	10
U-236	> 2,3E7 j	10 <sup>4</sup>	10
U-238+	> 4,5E9 j	10 <sup>4</sup>	10
U-238sec	> 4,5E9 j	10 <sup>3</sup>	1
Np-237+	> 2,1E6 j	10 <sup>3</sup>	1
Np-239	2,4 d <	10 <sup>7</sup>	10 <sup>2</sup>
Pu-236	2,85 j <	10 <sup>4</sup>	10
Pu-238	> 87,8 j	10 <sup>4</sup>	1
Pu-239	> 2,42E4 j	10 <sup>4</sup>	1
Pu-240	> 6,56E3 j	10 <sup>3</sup>	1
Pu-241	14,4 j <	10 <sup>5</sup>	10 <sup>2</sup>
Pu-242	> 3,73E5 j	10 <sup>4</sup>	1

Tabel A-1 vervolg

Nuclide	halfwaardetijd < 15 jaar >	Hoeveelheid ( Bq )	Concentratie ( kBq/kg )
Pu-244	> 8,3E7 j	10 <sup>4</sup>	1
Am-241	> 433 j	10 <sup>4</sup>	1
Am-242m+	> 141 j	10 <sup>4</sup>	1
Am-243+	> 7,4E3 j	10 <sup>3</sup>	1
Cm-242	163 d <	10 <sup>5</sup>	10 <sup>2</sup>
Cm-243	> 28,5 j	10 <sup>4</sup>	1
Cm-244	> 18,1 j	10 <sup>4</sup>	10
Cm-245	> 8,5E3 j	10 <sup>3</sup>	1
Cm-246	> 4,73E3 j	10 <sup>3</sup>	1
Cm-247	> 1,6E7 j	10 <sup>4</sup>	1
Cm-248	> 3,4E5 j	10 <sup>3</sup>	1
Bk-249	320 d <	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>
Cf-248	333 d <	10 <sup>4</sup>	10
Cf-249	350 d <	10 <sup>3</sup>	1
Cf-250	13,1 j <	10 <sup>4</sup>	10
Cf-251	> 9E2 j	10 <sup>3</sup>	1
Cf-252	2,64 j <	10 <sup>4</sup>	10
Cf-253	17,8 d <	10 <sup>5</sup>	10 <sup>2</sup>
Cf-254	60,5 d <	10 <sup>3</sup>	1
Es-253	20 d <	10 <sup>5</sup>	10 <sup>2</sup>
Es-254	276 d <	10 <sup>4</sup>	10



## **Bijlage B Tabellen inventarisatie afvalhoeveelheden**

### Inhoud

- Tabel B1 Inventarisatie huidig afval bij COVRA
- Tabel B2 Inventarisatie te verwijderen huidig afval bij COVRA
- Tabel B3 Aanbod ontmantelingsafval

## Bijlage B blad 2

Tabel B1 Inventarisatie huidig afval bij COVRA

cate- gorie	soort vat	totaal aantal	aantal colli dat verwijderd mag worden na ... jaar																	restant aantal				
			0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240		255	270	285	300
A	200 l	2323	536	20	17	11	7	2	116	7	9	11	1	3	6	3	3	3	3	1	1	-	1	1562
	huls	68	2	-	2	-	1	-	1	2	-	1	2	1	2	4	-	1	-	-	3	1	-	45
	1000 l	22	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
B	200 l	3853	24	101	822	1022	535	270	193	144	170	162	163	87	42	45	14	10	4	-	-	-	-	45
	huls	2430	8	-	131	352	112	126	103	231	190	383	179	248	203	75	15	51	12	3	-	1	1	6
	1000 l	1431	-	16	22	127	30	13	79	148	354	222	88	79	12	82	29	10	-	-	-	-	-	120
C	200 l	7580	5702	366	218	138	79	119	233	143	292	109	56	45	23	11	8	7	4	1	4	2	4	16
	huls	310	7	12	18	38	7	7	10	9	14	6	8	19	13	7	15	12	13	10	10	8	16	51
	1000 l	5	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	2
D	200 l	3038	2264	401	307	57	4	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	huls	110	10	58	27	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1000 l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totalen		21170	8553	912	1587	1670	874	560	668	615	825	1025	630	492	367	155	141	112	48	15	19	12	22	1868

) Een 100-tal colli van atwijkende maten, stammend uit de aanvangsfase van de opslag, zijn buiten beschouwing gelaten.



Tabel B3 Aanbod ontmantelingsafval (schatting a.d.h. huidige studies)

cate- gorie	soort vat	totaal aantal	aantal vaten in het jaar														restant aantal							
			1997	2004	2005	2011	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053		2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060
O	200 l	23620	--	--	--	--	1165	1165	1165	1165	1164	1164	2362	2362	2362	1198	1198	1197	1197	1197	1197	1197	1197	1197
	huls	423	--	--	--	12	12	12	12	12	12	12	43	43	43	31	30	30	30	30	30	30	30	30
	totalen	24023	--	--	--	1177	1177	1177	1177	1176	1176	1176	2405	2405	2404	1229	1228	1227	1227	1227	1227	1227	1227	1227

**Bijlage C      Inventarisatie afval in HABOG**

Inhoud

Tabel C1      Nuclideninventaris van een verglaasde container

Tabel C2      Nuclideninventaris van een brandstofelement na 3 jaar koeltijd in GBq

Tabel C3      Nuclideninventaris van HAVA in drums in TBq

Tabel C1 Nuclideninventaris van een verglaasde container  
(volgens opgave van de fabrikanten)

COGEMA *)	
Nuclide	Bq
Ru+Rh	3.24E15
Cs+Ba	1.12E16
Sr+Y	6.73E15
overigen	6.94E15
Am	3.96E13
Cm	1.00E14
Pu	1.18E12
Np	klein
U	klein

BNFL **)		
Nuclide	$\alpha$ -Bq	$\beta$ -Bq
Am	7.44E13	
Np	1.57E10	6.05E11
Cm	3.81E13	
U	3.07E07	
Pu	4.75E11	1.79E13
Ru+Rh		7.97E14
Cs+Ba		1.08E16
SR+Y		7.35E15
Sb+Te		1.18E14
Ce+Pr		5.05E14
Pm		1.98E15
Sm		1.21E13
Eu		3.48E14
overigen	4.82E08	1.35E12

\* ) 8 jaar na verwijdering uit een PWR reactor

\*\* ) 6 jaar na verwijdering uit een BWR reactor

## Bijlage C blad 3

Tabel C2 Nuclideninventaris van een brandstofelement na 3 jaar koeltijd in GBq

Nuclide	T1/2	HFR	LFR	HOR
Kr-85	10.73 j	2.57E3	7.00E-1	
Sr-90	29.1 j	2.33E4	2.25E1	
Y-90	2.67 d	2.33E4	2.25E0	
Ru-106	1.01 j	4.65E3	-	
Rh-106	29.8 m	4.65E3	-	
Sb-125	2.73 j	5.96E2	-	
Te-125m	58 d	1.43E2	-	
Cs-134	2.06 j	1.23E4	-	
Cs-137+	30.2 j	2.42E4	2.39E1	
Ce-144	285 d	3.76E4	-	
Pr-144	17.3 m	3.77E4	-	
Pr-144m	7.2 m	4.53E2	-	
Pm-147	2.62 j	2.61E4	-	
Eu-154	8.61 j	9.48E2	-	
Eu-155	4.96 j	3.35E2	-	
U-235	7.04E8 j		1.52E-2	3.92E-4
Pu-238	87.8 j	4.34E2	4.74E-6	
Pu-239	24E3 j	2.73E0	1.41E-3	8.63E-3
Pu-240	6.5E3 j	2.06E0	8.25E-6	2.97E-2
Pu-241	14.4 j	9.50E2	9.77E-7	
Am-241	433 j	5.25E0	-	
Cm-242	163 d	1.44e0	-	
Cm-244	18.1 j	5.05E0	-	

Tabel C3 Nuclideninventaris van HAVA in drums in TBq

Nuclide	COGEMA			BNFL	ECN
	H&E drums	CBFC-2 drums <sup>1)</sup>	Bitum. drums <sup>2)</sup>	drums	HAVA drums <sup>3)</sup>
H-3	10.4			21.3	40.11
Na-22					55.15
Cr-51					742
Mn-54					606.7
Fe-55	91.8			3.68	
Fe-58					30.08
Fe-59					436.2
Zn-65					75.21
Co-58					215.6
Co-60	83.6			9.46	917.5
Ni-63	15.8			3.56	45.12
Kr-85	0.7			0.09	
Sr-90+	8.7			1.13	
Ru-106+	8.7			1.23	55.15
In-115					35.1
Cd-115					45.12
Sn-119m	14.8				
Sn-121m				3.13	
Sb-125	20.1			9.78	35.1
Te-125m				2.25	
Cs-134	4.4			0.29	366
Cs-137+	13.5			9.02	737



W-187					65.18
Pu-238	0.01			0.018	
Pu-239	0.35			0.010	
Pu-240	0.14			0.011	
Pu-241	2			1.11	
Pu-242	0.03				
Am-241	0.02			0.025	
Cm-244	0.02			0.006	

- 1) nuclide inventaris wordt per drum gespecificeerd met garantie vooraf dat  $\beta/\gamma$ -activiteit < 3.15 TBq en  $\alpha$ -activiteit < 0.63 TBq
- 2) gegarandeert wordt dat  $A1 + 80A2 \leq 5.18$  TBq  
 waarin:  
 A1= totale  $\beta/\gamma$ -activiteit, behalve van Pu-241  
 A2= totale  $\alpha$ -activiteit (Pu-241= 30\*  $\alpha$ -totaal)
- 3) totale inhoud van 500 drums op 93-02-25

## Bijlage D blad 1

**Bijlage D    Onderhoud gebouwen**

Inhoud

Blad 1        Controle

Blad 2        Onderhoud

Blad 3        Vervanging

## Bijlage D blad 1.1

<b>CONTROLE PER HALF JAAR</b>		
<b>controle gebouwonderdeel</b>	<b>controle op</b>	<b>component</b>
kozijnen en deuren	geleidingsgoot schoonhouden	buitenschuifdeuren

<b>CONTROLE PER JAAR</b>		
<b>controle gebouwonderdeel</b>	<b>controle op</b>	<b>component</b>
kozijnen	beschadigingen	binnenkozijn staal
ramen	beschadigingen	buitenkozijn
kozijnen en deuren	beschadigingen	binnenschuifdeuren
	beschadigingen	buitendraaideuren
	beschadigingen	buitenschuifdeuren
dakgoten	beschadigingen	goten
dakplaten	beschadigingen	beplating
gevelbeplating	beschadigingen	beplating
dekvloeren	beschadigingen	gietvloer
gevelbeplating	dichtheid	beplating
dakplaten	dichtheid	beplating
dakgoten	dichtheid	goten
deuren	hang- en sluitwerk	binnendeuren
kozijnen en deuren	hang- en sluitwerk	binnenschuifdeuren
	hang- en sluitwerk	buitendraaideuren
	hang- en sluitwerk	buitenschuifdeuren
kozijnen	hechting coating op ondergrond	binnenkozijnen staal
ramen	hechting coating op ondergrond	buitenkozijn
kozijnen en deuren	hechting coating op ondergrond	binnenschuifdeuren
	hechting coating op ondergrond	buitendraaideuren
	hechting coating op ondergrond	buitenschuifdeuren
deuren	rubbers	binnendeuren
kozijnen en deuren	rubbers	buitenschuifdeuren
	rubbers	buitendraaideuren
	rubbers	buitenschuifdeuren
dakgoten	randaansluitingen afsluitprofielen	goten
dakplaten	randaansluitingen afsluitprofielen	beplating
gevelbeplating	randaansluitingen afsluitprofielen	beplating
dakplaten	zuiveren dakoppervlak van voorwerpen	beplating
dakgoten	zuiveren van aangroei en bladafval	goten

Bijlage D blad 1.2

<b>CONTROLE PER 2 JAAR</b>		
<b>controle gebouwonderdeel</b>	<b>controle op</b>	<b>component</b>
hemelwaterafvoer	reinigen en ontstoppen	hwa
binnenriolering	reinigen en ontstoppen	vloerput
	reinigen en ontstoppen	sanitair
	reinigen en ontstoppen	SML leiding

<b>CONTROLE PER 2,5 JAAR</b>		
<b>controle gebouwonderdeel</b>	<b>controle op</b>	<b>component</b>
voegvullingen	hechting, beschadiging, uitdroging	SABA

<b>CONTROLE PER 5 JAAR</b>		
<b>controle gebouwonderdeel</b>	<b>controle op</b>	<b>component</b>
dekvloeren	hechting op ondergrond	gietvloer
	hechting ondergrond	tegelvloeren
	voegen	tegelvloeren

<b>CONTROLE PER 10 JAAR</b>		
<b>controle gebouwonderdeel</b>	<b>controle op</b>	<b>component</b>
deuren	algemeen	binnendeuren

## Bijlage D blad 2.1

<b>ONDERHOUD PER JAAR</b>		
<b>onderhoud gebouwonderdeel</b>	<b>onderhoud</b>	<b>component</b>
dekvloeren	beschadigingen bijwerken	gietvloer

<b>ONDERHOUD PER 5 JAAR</b>		
<b>onderhoud gebouwonderdeel</b>	<b>onderhoud</b>	<b>component</b>
ramen	schilderwerk	buitenkozijn
kozijnen en deuren	schilderwerk	binnenschuifdeuren
kozijnen en deuren	schilderwerk	buitendraaideuren
kozijnen en deuren	schilderwerk	buitenschuifdeuren

<b>ONDERHOUD PER 10 JAAR</b>		
<b>onderhoud gebouwonderdeel</b>	<b>onderhoud</b>	<b>component</b>
deuren	rubbers	binnendeuren
deuren	renoveren hang- en sluitwerk	binnendeuren
kozijnen	schilderwerk	binnenkozijnen staal
kozijnen en deuren	rubbers	binnenschuifdeuren
kozijnen en deuren	rubbers	buitendraaideuren
kozijnen en deuren	rubbers	buitenschuifdeuren

Bijlage D blad 3.1

<b>VERVANGING PER 10 JAAR</b>		
<b>vervanging gebouwonderdeel</b>	<b>vervanging van</b>	<b>component</b>
voegvullingen	geheel	SABA
dakplaten	coating	beplating
gevelbeplating	coating	beplating

<b>VERVANGING PER 15 JAAR</b>		
<b>vervanging gebouwonderdeel</b>	<b>vervanging van</b>	<b>component</b>
deuren	rubbers	binnendeuren
kozijnen en deuren	rubbers	binnenschuifdeuren
kozijnen en deuren	rubbers	buitendraaideuren
kozijnen en deuren	rubbers	buitenschuifdeuren

<b>VERVANGING PER 20 JAAR</b>		
<b>vervanging gebouwonderdeel</b>	<b>vervanging van</b>	<b>component</b>
binnenriolering	geheel	vloerput
binnenriolering	geheel	SML leiding

<b>VERVANGING PER 30 JAAR</b>		
<b>vervanging gebouwonderdeel</b>	<b>vervanging van</b>	<b>component</b>
gevelpaneel	geheel	sandwich paneel
kozijnen en deuren	deuren	binnenschuifdeuren
hemelwaterafvoer	geheel	hwa standleiding
dakgoten	geheel	goten
dakplaten	beplating	beplating
dakplaten	geheel	isolatie
gevelbeplating	beplating	beplating

<b>VERVANGING PER 40 JAAR</b>		
<b>vervanging gebouwonderdeel</b>	<b>vervanging van</b>	<b>component</b>
kozijnen en deuren	deuren	buitendraaideuren
kozijnen en deuren	isolatie	buitendraaideuren
kozijnen en deuren	deuren	buitenschuifdeuren
kozijnen en deuren	isolatie	buitenschuifdeuren

<b>VERVANGING PER 50 JAAR</b>		
<b>vervanging gebouwonderdeel</b>	<b>vervanging van</b>	<b>component</b>
deuren	deuren	binnendeuren
kozijnen	geheel	binnenkozijnen staal
ramen	geheel	buitenkozijn
dekvloeren	geheel	gietvloer
hemelwaterafvoer	geheel	hwa
dakgoten	geheel	isolatie bovenlaag
dakgoten	geheel	isolatie onderlaag
binnenriolering	geheel	sanitair

<b>VERVANGING PER 100 JAAR</b>		
<b>vervanging gebouwonderdeel</b>	<b>vervanging van</b>	<b>component</b>
dekvloeren	geheel	tegelvloeren

