Analyse, inform and activate

LAKA

Analyseren, informeren, en activeren

Stichting Laka: Documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie

De Laka-bibliotheek

Dit is een pdf van één van de publicaties in de bibliotheek van Stichting Laka, het in Amsterdam gevestigde documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie.

Laka heeft een bibliotheek met ongeveer 8000 boeken (waarvan een gedeelte dus ook als pdf), duizenden kranten- en tijdschriften-artikelen, honderden tijdschriftentitels, posters, video's en ander beeldmateriaal. Laka digitaliseert (oude) tijdschriften en boeken uit de internationale antikernenergie-beweging.

De catalogus van de Laka-bibliotheek staat op onze site. De collectie bevat een grote verzameling gedigitaliseerde tijdschriften uit de Nederlandse antikernenergie-beweging en een verzameling video's.

Laka speelt met oa. haar informatie-voorziening een belangrijke rol in de Nederlandse anti-kernenergiebeweging.

The Laka-library

This is a PDF from one of the publications from the library of the Laka Foundation; the Amsterdam-based documentation and research centre on nuclear energy.

The Laka library consists of about 8,000 books (of which a part is available as PDF), thousands of newspaper clippings, hundreds of magazines, posters, video's and other material.
Laka digitizes books and magazines from the international movement against nuclear power.

The catalogue of the Laka-library can be found at our website. The collection also contains a large number of digitized magazines from the Dutch anti-nuclear power movement and a video-section.

Laka plays with, amongst others things, its information services, an important role in the Dutch anti-nuclear movement.

Appreciate our work? Feel free to make a small donation. Thank you.

www.laka.org | info@laka.org | Ketelhuisplein 43, 1054 RD Amsterdam | 020-6168294

Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

Directoraat-Generaal voor de Milieuhygiëne

BASISNOTITIE TEN BEHOEVE VAN DE ONTWIKKELING VAN EEN TOETSINGSCRITERIUM VOOR DE ONDERGRONDSE OPBERGING VAN RADIOACTIEF AFVAL (TOR)

september 1987

BASISNOTITIE TEN BEHOEVE VAN DE ONTWIKKELING VAN EEN TOETSINGSCRITERIUM VOOR DE ONDERGRONDSE OPBERGING VAN RADIOACTIEF AFVAL (TOR)

Het vooroverleg: 15 september - 27 oktober

reacties zenden aan:

Ministerie VROM
secretariaat TOR
Postbus 450
2260 MB Leidschendam
tel: 070 - 20.93.67

Ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
Directoraat Generaal voor de Milieuhygiëne.

INHOUDSOPGAVE

1 DOELSTELLING EN PROCEDURE. 1
2 INLEIDING. 6
3 TECHNISCHE VOORSTELLEN OM HET AFVAL OP TE BERGEN 10
4 SCENARIO'S EN MODELLEN OM RISICO'S TE VOORSPELLEN. . . . 14
5 TYPEN CRITERIA 18
6 HET TOETSINGSCRITERIUM
6.1 Inleiding. 22
6.2 Algemene criteria. 22
6.3 Bijzondere criteria. 27
7 GELEIDELIJKE PROCESSEN EN PLOTSELING OPTREDENDE PROCESSEN
7.1 Inleiding. 39
7.2 De criterium-kromme. 42
8 HET OMGAAN MET ONZEKERHEDEN
8.1 Inleiding. 46
8.2 De keuze van de scenario's 48
8.3 De modellen. 50
8.4 De parameters. 51
8.5 De kansverdeling van de stralingsbelasting versus de normering voor de opslag 52

BIJLAGEN

INHOUDSOPGAVE BIJLAGEN. 54
BIJLAGE I: VERGELIJKING VAN DE CRITERIA VOOR DE OPBERGING VAN HOOG-ACTIEF AFVAL IN VERSCHILLENDE LANDEN . . 55
BIJLAGE II: RADIOACTIEF AFVAL EN DE ONDERGRONDSE OPBERGING. . 66

1 DOELSTELLING EN PROCEDURE

In deze basisnotitie worden aspecten beschreven die een rol kunnen spelen bij de ontwikkeling van een **Toetsingscriterium** voor de definitieve opberging van radioactief afval. Een dergelijk toetsingscriterium is een stelsel van eisen ten aanzien van milieukwaliteit en volksgezondheid, waaraan een voorstel voor de definitieve opberging van het afval moet worden getoetst. Het criterium moet over de aanvaardbaarheid van een opberging uitsluitsel kunnen geven, maar moet óók bruikbaar zijn voor de beoordeling van de risico-analyses die daarvoor noodzakelijk zijn.

Deze notitie is onder verantwoordelijkheid van het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer opgesteld. De notitie is bedoeld voor vooroverleg. In de notitie zijn belangrijke aspecten of kernpunten ten behoeve van de formulering van een toetsingscriterium speciaal aangegeven. Er wordt tevens aangegeven op welke punten keuzes mogelijk zijn.
Uit het vooroverleg zal naar voren moeten komen welke criteria bij het maken van keuzes moeten worden aangelegd, en welke gegevens daarvoor noodzakelijk zijn.

Het is de bedoeling dat in de loop van 1988 het toetsingscriterium wordt ontwikkeld. De procedure die daarbij wordt gevolgd, is op pagina 2 schematisch weergegeven en ziet er als volgt uit:

Deze basisnotitie is verspreid over het land ter inzage gelegd. Een ieder kan gedurende een periode van 6 weken zijn mening kenbaar maken. In deze periode zullen ook twee hoorzittingen worden georganiseerd. Deze basisnotitie zal tevens worden voorgelegd aan een panel van onafhankelijke deskundigen van de Commissie voor de milieu-effectrapportage. Dit panel zal tevens worden gevraagd om bij de advisering over de basisnotitie de resultaten van het vooroverleg mee in beschouwing te nemen. Het is de bedoeling dat dit advies een maand na afloop van de termijn voor het vooroverleg, wordt aangeboden.

Procedure en tijdraming totstandkoming toetsingscriterium

tijdsduur in maanden: per stap	tijdsduur in maanden: cumulatief	procedure-stappen	inhoudelijke elementen
		basisnotitie	geeft inzicht in probleem stelling en keuzen
		start vooroverleg medio september	
1.5 ... 2.5	4	..vooroverleg publiek advisering Commissie milieu-effectrapportage	wat zou er in moeten? wat moet er aan onderzoek gebeuren?
3	7	aanvullend onderzoek opstellen concept-toetsingscriterium	aanvullend onderzoek en voorbereiding concept-toetsingscriterium.
3	10	inspraakronde publiek advisering Commissie milieu-effectrapportage	kan men instemmen met het concept? Is het hanteerbaar?
2	12	formuleren 2e concept toetsingscriterium	verwerking inspraak en afronding concept.
3	15	Gezondheidsraad: wetenschappelijke toets Centrale Raad voor de Milieuhygiëne (CRMH): maatschappelijke toets	zijn aannames te verantwoorden? is voldoende rekening gehouden met maatschappelijke opvattingen?
2	17	regeringsbeslissing toetsingscriterium	vaststellen toetsingscriterium
		Tweede Kamer	
		toepassing	

Aan de hand van de resultaten van het vooroverleg en het advies zal zonodig nader onderzoek worden uitgevoerd en zal vervolgens het concept-toetsingscriterium worden opgesteld. Dit concept zal aan een inspraak- en adviesronde worden onderworpen. Een en ander zal analoog aan de huidige overleg en adviesronde plaatsvinden. Ten behoeve van het formuleren van het regeringsstandpunt inzake het toetsingscriterium zal het concept ter toetsing worden voorgelegd aan de Gezondheidsraad voor wat betreft de wetenschappelijke kant en daarna ter advisering aan de Centrale Raad voor de Milieuhygiëne (CRMH).
Nadat het regeringsstandpunt is geformuleerd zal het aan de Tweede Kamer der Staten Generaal worden voorgelegd.

Er zij met nadruk op gewezen dat het toetsingscriterium op zichzelf niet een uitspraak bevat over de mogelijkheid van opberging van radioactief afval in de ondergrond. Het toetsingscriterium zal wel worden gebruikt bij de beoordeling daarvan. Het zal de voorwaarden moeten bevatten waaraan een eventuele ondergrondse opberging van radioactief afval vanuit een oogpunt van de bescherming van mens en milieu moet voldoen. Deze voorwaarden worden in deze basisnotitie omschreven als fundamentele criteria. Zoals in Hoofdstuk 5 nader wordt uitgewerkt is het de bedoeling dat het toetsingscriterium wordt beperkt tot deze fundamentele criteria en geen technische specificaties zal bevatten. Het toetsingscriterium zal voorts aangeven hoe met onzekerheden die nu eenmaal met voorspellingen samenhangen, wordt omgegaan. Dit laatste is van belang omdat het toetsingscriterium zal worden gebruikt voor de toetsing van de voorspellingen van mogelijke effecten van de ondergrondse opberging.

In het kader van het Integraal Landelijk Onderzoek Nucleair Afval (ILONA) wordt door de Commissie Opberging te Land (OPLA) onderzoek verricht naar opbergingsmogelijkheden in de ondergrond. Dat onderzoek is momenteel gericht op opberging in steenzout (zie onder meer: Commissie Opberging te Land: "Onderzoek inzake geologische opberging van radioactief afval in Nederland, Tweede tussenrapportage over fase 1, maart 1987, uitgave: Ministerie van Economische Zaken).

De ontwikkeling van het toetsingscriterium staat los van bovengenoemd onderzoek. Het criterium zal immers worden gebruikt om de resultaten van de OPLA-onderzoeken te toetsen.

Het toetsingscriterium is bedoeld voor de beoordeling van de opberging in de ondergrond. Bij het opstellen van deze basisnotitie is daarbij vooral gedacht aan opberging in de ondergrond (steenzout) op land. Het is evenwel goed denkbaar dat het op te stellen criterium bijvoorbeeld ook zal worden toegepast voor opberging in de ondergrond van de zee.

Deze notitie is als volgt opgebouwd:

Hoofdstuk 1 beschrijft de doelstelling van deze notitie, van het te ontwikkelen toetsingscriterium alsmede de procedure die daarbij wordt gevolgd.
In de Inleiding, Hoofdstuk 2, wordt aangegeven waarom het noodzakelijk is dat de milieuhygiënische uitgangspunten van het afvalbeleid worden vertaald in een toetsingscriterium. Tevens worden de hoofdkenmerken van dit criterium nader omschreven.
In Hoofdstuk 3 worden een aantal technische voorstellen om het afval op te bergen besproken.
In Hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de scenario's en modellen die worden ontwikkeld om het gedrag van het afval, het opbergmedium en hun onderlinge wisselwerking te beschrijven. Daarbij worden de verschillende soorten onzekerheden die in de scenario's en modellen een rol spelen, nader uitgewerkt.
In Hoofdstuk 5 worden de verschillende typen criteria omschreven die bij de opberging van het afval een rol kunnen spelen. Daarnaast wordt de samenhang geschetst tussen de keuzes bij de verschillende uitvoeringsfasen van de opberging en de verschillende criteria.
In Hoofdstuk 6 worden verschillende aspecten van het toetsingscriterium nader uitgewerkt. Daarbij wordt aangegeven welke keuzes ten aanzien van die aspecten mogelijk zijn.
In Hoofdstuk 7 is aangegeven hoe het toetsingscriterium vorm gegeven zou kunnen worden door consequent in termen van risico's te praten. Tevens wordt een kriterium-kromme ontwikkeld waaraan

een concept voor de opberging van radioactief afval zou kunnen worden getoetst.
In Hoofdstuk 8 wordt een eerste analyse gegeven hoe kan worden omgegaan met onzekerheden die zich in de te beschrijven modellen, processen en parameters voordoen. Tevens wordt aangegeven dat de relatie met het te ontwikkelen toetsingscriterium nader moet worden uitgewerkt.

In Bijlage I is een overzicht gegeven van de belangrijkste criteria die in verschillende landen worden gehanteerd voor de opberging van hoogactief afval.
In Bijlage II wordt informatie gegeven over radioactief afval en wordt geschetst hoe de opberging in een diepgelegen geologische formatie er uit zou kunnen zien.

2 INLEIDING

Bij alle toepassingen van radioactieve stoffen ontstaat radioactief afval. Net als ander afval zal dat moeten worden verwerkt of opgeborgen op een manier die voor mens en milieu zo min mogelijk nadelige effecten heeft. Ook in de toekomst zal in meer of mindere mate radioactief afval ontstaan. Dat gegeven houdt geen oordeel in over de noodzaak van de toepassing van radioactieve stoffen, of technieken waarbij afvalstoffen ontstaan.
Veruit de belangrijkste hoeveelheid afval komt van kerncentrales. Daarnaast ontstaat er ook afval in ziekenhuizen, in onderzoeksinstituten en in de procestechnologie.

Over radioactief afval is in de afgelopen jaren veel te doen geweest. Met name de dumpingen in zee van een gedeelte van het afval zijn lange tijd aanleiding geweest tot hevige discussies. Om over de uiteindelijke bestemming van al het afval het noodzakelijke overleg te kunnen voeren en onderzoek te kunnen doen, heeft de regering in 1983 besloten het afval gedurende de komende decennia bovengronds op te slaan.

De milieuhygiënische uitgangspunten voor opslag van het afval zijn nader uitgewerkt in de zogenoemde IBC-criteria. Deze criteria geven aan dat het afval:
geïsoleerd moet worden zodat de kans op verontreiniging van het milieu of bestraling van mensen zo klein als redelijkerwijs mogelijk is, of wordt gehouden,
beheersbaar moet blijven door ernaar te streven soort en hoeveelheid afval tot een minimum te beperken en maatregelen te kunnen nemen indien besmetting voor het milieu dreigt, en
controleerbaar moet zijn. Daarom wordt in Nederland al het afval door één organisatie, COVRA, ingezameld en op één locatie opgeslagen.

Met deze benadering is het probleem van het radioactief afval echter niet definitief opgelost. Een deel van het afval zal namelijk voor vele duizenden jaren zodanig moeten worden

opgeborgen dat aan de bovengenoemde uitgangspunten wordt voldaan. Vanwege deze lange-termijn problematiek is een nadere uitwerking van de IBC-criteria noodzakelijk.
In de nota "Radioactief Afval" (1) wordt het afvalbeleid als volgt omschreven: "het afvalbeleid heeft als hoofdkenmerken isoleren, beheersen en controleren van het afval, tot het tijdstip dat ofwel het afval niet meer radioactief is, ofwel een verwijderingsmethode is toegepast, waarbij de kans dat een onaanvaardbare hoeveelheid activiteit in een biologische kringloop terecht komt, verwaarloosbaar klein is."
Bij een dergelijke verwijderingsmethode is het dus niet noodzakelijk dat in absolute zin aan de IBC-criteria wordt voldaan. Wel zal het isolatiecriterium een belangrijke rol spelen. Immers, indien onvoldoende aan dit criterium wordt voldaan, is het niet aannemelijk dat de hier bedoelde kans verwaarloosbaar klein is.

De vertaling van de milieuhygiënische uitgangspunten naar concrete normen en eisen ten behoeve van de definitieve opberging van radioactief afval is nog niet gebeurd. Deze notitie geeft een aanzet ten behoeve van het vooroverleg daartoe.

Bij die vertaling spelen verschillende aspecten een rol:

1. Er zijn verschillende technische voorstellen ontwikkeld om het afval op te bergen. Voorbeelden van definitieve opberging, waarvan sommige wellicht een hypothetisch karakter hebben, zijn:
   * opberging op de zeebodem;
   * opberging in de zeebodem;
   * opberging in woestijnen;
   * opberging door het in een baan om de zon te brengen;
   * opberging in het Zuidpoolgebied;
   * opberging in diepgelegen geologische formaties op land;
   * opberging in diepgelegen geologische formaties onder de zeebodem;
   * opberging in gebieden waar delen van de aardkorst over

---

1 Nota Radioactief Afval, Tweede Kamer 18393, nrs. 1 en 2.

elkaar schuiven (subductiezones).

2. Er zijn scenario's en modellen nodig waarmee het gedrag van het afval, het opbergmedium en de wisselwerking tussen beide, onder verschillende - denkbeeldige - omstandigheden, kunnen worden beschreven. Daarbij moet rekening worden gehouden met het feit dat het niet bekend is hoe de wereld er op een termijn van bijvoorbeeld 100.000 jaar uit zal zien, welke processen er zich dan zullen afspelen en welke levensvormen er dan aanwezig zullen zijn. Bij deze scenario's en modellen gaat het er om inzicht te krijgen in de mogelijke risico's van opberging op zeer lange termijn.

Zoals gezegd bestaat er nog geen stelsel van kwalitatieve en kwantitatieve normen waaraan een voorstel voor definitieve opberging, kan worden getoetst. Zo'n normenstelsel zou zich ook moeten uitspreken over de gewenste kwaliteit van risico-analyses waarmee processen en gebeurtenissen kunnen worden beschreven. Het hier bedoelde stelsel wordt in deze notitie omschreven als **Toetsingscriterium**, en wordt verder uitgewerkt in Hoofdstuk 5.

Het toetsingscriterium kent in deze optiek dus twee invalshoeken:

1 een uitwerking van de IBC-criteria en de stralingsbeschermingscriteria resulterend in één of meer normen waaraan de definitieve opberging moet voldoen. Kwantitatief zou dit bijvoorbeeld kunnen betekenen dat een niveau wordt gedefinieerd waarbeneden de stralingsbelasting ten gevolge van die opberging zou moeten blijven.
De uitwerking van de IBC- en stralingsbeschermingscriteria zou kunnen plaatsvinden op basis van bijvoorbeeld:
* de - variaties in de - natuurlijke achtergrondstraling,
* het huidige stelsel van individuele stralingsbeschermingsnormen,
* een beperking van de collectieve dosis,
* de risicomanagement-benadering die in het milieubeleid wordt gebruikt.

In hoofdstuk 6 worden deze mogelijkheden nader uitgewerkt.

2 een stelsel van kwaliteitseisen waaraan risico-analyses moeten voldoen. Door de onzekerheid in parameters en processen zal een uitkomst van een dergelijke risico-analyse - een te verwachten stralingsbelasting - een spreiding hebben rond de meest waarschijnlijke waarde: de verwachtingswaarde.
In hoofdstuk 8: "Het omgaan met onzekerheden" zal deze invalshoek nader worden uitgewerkt.

3 TECHNISCHE VOORSTELLEN OM HET AFVAL OP TE BERGEN

Hoewel deze basisnotitie niet bedoeld is om een keuze te maken uit de voorstellen voor de opberging van radioactief afval, wordt in dit hoofdstuk iets meer informatie over die voorstellen gegeven, om de discussie over het toetsingscriterium te voeren tegen de achtergrond van de technische mogelijkheden. Over de in hoofdstuk 2 genoemde mogelijkheden voor de definitieve opberging van radioactief afval is op dit moment geen besluit genomen. Er is dus nog geen keuze gemaakt. Dat betekent echter niet dat voor de Nederlandse situatie de genoemde mogelijkheden alle evenveel perspectief bieden.

Regering en Parlement hebben in de afgelopen jaren vastgesteld dat in ons land met name de volgende opties nader moeten worden bestudeerd (2).

1. **De opberging van radioactief afval in geologische formaties in Nederland** is een mogelijkheid waarvoor thans uitgebreide studies lopen. In Nederland is het onderzoek gericht op de opberging in diepgelegen steenzoutvoorkomens (3). In bijlage II is een schets gegeven hoe een dergelijke opberging eruit zou kunnen zien. In andere landen wordt opberging in onder andere graniet en klei onderzocht.

2. **Bij de opberging van afval in de zeebodem** stelt men zich voor het afval met behulp van raketachtige projectielen (zogenaamde penetrators) diep in de oceaanbodem te brengen. Ontwerpers van

---

2) Nota Radioactief Afval, Tweede Kamer 18393, nrs. 1 en 2

Regeringsstandpunt inzake de rapporten van de commissie MINSK en OPLA, Tweede Kamer 18393, nrs. 5 en 6.

Handelingen UCV 4 d.d. 1-10-84 en UCV 46, d.d. 11-2-85.

Motie Lansink inzake onderzoek radioactief afval, Tweede Kamer 15100, nr 24.

3) Programma van onderzoek inzake geologische opberging van radioactief afval in nederland, Tweede kamer 18343, nrs. 5, 6 en 28.

deze methode noemen als argument dat het afval goed geïsoleerd wordt opgeborgen, niet meer toegankelijk is voor derden en indien radioactieve stoffen vrijkomen uit de containers het nog lang duurt voordat deze in het oceaanwater terecht komen. Door de verdunning die daarna optreedt kunnen de risico's voor de mens klein worden gehouden.

Onderzocht wordt of er mogelijkheden zijn om in internationaal verband te komen tot de opzet van een opbergfaciliteit. Deze activiteit wordt gecoördineerd door het Kernenergie Agentschap (Nuclear Energy Agency,NEA) van de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OESO) te Parijs.
Bij afvoer naar het buitenland is het overigens de vraag of het mogelijk zal zijn dezelfde milieuhygiënische en volksgezondheids-garanties te krijgen die in Nederland worden geëist. Dit klemt te meer als zou blijken dat in Nederland zelf niet aan die eisen kan worden voldaan.

Zoals gezegd, er zijn ook andere technische voorstellen gedaan om het afval definitief op te bergen. Voorbeelden daarvan zijn:

1. **De opberging in geologische formaties onder de zeebodem** onder het continentaal plat is in principe vergelijkbaar aan die op het vaste land. Uiteraard is bij deze methode het aantal technische problemen groter dan bij een faciliteit op land.

2. **De opberging op de zeebodem** gaat uit van het principe dat er zeer diepe troggen in de oceaan zijn waar nagenoeg stilstaand water is. De eventueel uit de afvalcontainers vrijkomende radioactieve stoffen zouden dan in het omringende sediment worden geadsorbeerd, en vervallen aleer in de biologische kringloop te worden opgenomen.

3. **De opberging in woestijngebieden.** De gedachte achter deze verwijderingsoptie is dat woestijnen zo groot en verlaten zijn dat een invloed van die opslag op de bewoonde wereld kan worden voorkomen. Technisch zou het mogelijk moeten zijn opbergfaciliteiten te bouwen die enkele duizenden jaren intact

blijven.

4. **Het opbergen van het afval door het in een baan om de zon te brengen** heeft in de 70-er jaren belangstelling gekregen doordat de ontwikkeling van de ruimtevaarttechniek deze techniek mogelijk leek te maken.

5. **Opberging van het afval op de Zuidpool.** De gedachte achter deze opbergmethode is dat het warmteproducerend afval zichzelf in de ijsmassa's ingraaft doordat het onderliggende ijs smelt. Aan de bovenkant zou het bevriezende water het afval van de biosfeer afsluiten.

6. **Opberging in gebieden waar delen van de aardkorst over elkaar schuiven (subductiezones)** waardoor het afval in het magma zou worden opgelost en daarmee van de biologische kringloop worden afgesloten.

Deze opbergmethoden worden minder geschikt geacht voor Nederland omdat:

* de opbergmethoden zelf reeds in de operationele fase grote risico's geven. Mocht er iets mis gaan dan is menselijk ingrijpen in feite niet meer mogelijk.
* de opbergmethoden wellicht een aanvaardbare bescherming van mensen geven, maar een afdoende bescherming van het milieu lijkt in mindere mate gegarandeerd.
* de opbergmethoden veelal uit economische overwegingen worden beperkt tot een deel van het afval: in het bijzonder het kernsplijtingsafval. Er rest dan nog altijd een afvalprobleem, want voor het overige radioactieve afval is het zeer grote volume een remmende factor voor de verdere ontwikkeling van deze methoden.

Een andere mogelijkheid is wellicht nog de bovengrondse opslag voor een veel langere periode dan de reeds genoemde "komende decennia". Dat impliceert dan wel dat de problemen voor het afval naar komende generaties worden verschoven.

Bij zéér langdurige opslag op land, gedurende bijvoorbeeld vele honderden jaren, zal het afval continu bewaakt en gecontroleerd moeten worden omdat de bereikbaarheid ervan door derden relatief groot is. Tevens moet het afval, althans de verpakking ervan onderhouden worden en bij geconstateerde lekkages worden vernieuwd. Bij een eventueel vrijkomen van radioactieve stoffen is een rechtstreekse besmetting van het milieu niet uit te sluiten. Deze aspecten kunnen in de loop van de tijd een steeds grotere rol gaan spelen. Daarnaast zullen bij een toenemende hoeveelheid afval strengere eisen moeten worden gesteld aan de isolatie en controle erop. Vanwege de noodzaak het afval voor vele duizenden jaren van de biosfeer te isoleren, zal een toekomstige generatie alsnog genoodzaakt kunnen worden een definitieve oplossing voor het afval te zoeken. De daarmee gepaard gaande kosten en de stralingsbelasting als gevolg van het leeghalen van een opslagplaats, de eventuele herverpakking, het transport en de opberging van het afval kunnen dan een knelpunt worden bij de realisatie van een definitieve oplossing.

4 SCENARIO'S EN MODELLEN OM RISICO'S TE VOORSPELLEN

Voor het inschatten van de gevolgen van afvalopberging op zeer lange termijn moeten scenario's en modellen beschikbaar zijn, die het gedrag van het afval, het opbergmedium en hun wisselwerking beschrijven. Daarbij moet met een groot aantal aspecten rekening worden gehouden, zoals de kennis omtrent de effecten van het afval op het opbergmedium (zout, klei, water, graniet enz), waaronder:

* 'tijdelijke' temperatuurverhoging,
* het gedrag van dit medium op zeer lange termijn,
* de meer of minder goed voorspelbare risico's,
* de klimatologische, maatschappelijke en technologische omstandigheden na een zeer lange periode.

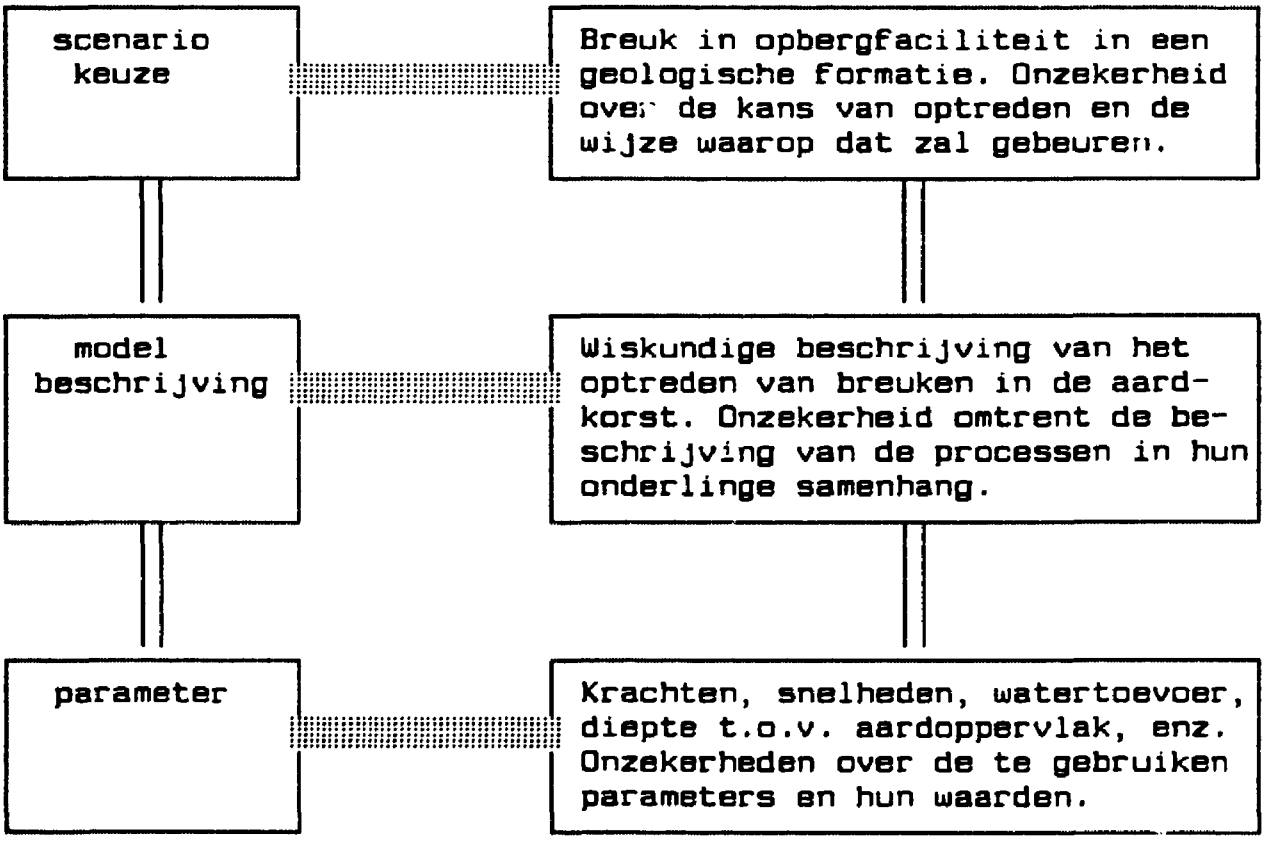
Deze aspecten introduceren allerlei **onzekerheden**. Deze onzekerheden kunnen zich op drie niveaus voordoen:

* in de keuze van de scenario's,
* in de modelbeschrijvingen,
* in de parameters.

Bij de keuze van de scenario's schuilt een onzekerheid zowel in de veronderstelde natuurlijke evolutie van het opbergsysteem als in de gepostuleerde ongevalssituaties. De scenario's moeten met behulp van modellen worden geconcretiseerd. De modellen en hun onderlinge samenhang kunnen zo gecompliceerd zijn dat slechts benaderende beschrijvingen mogelijk zijn met inherente onzekerheden. Naast deze onzekerheden is er een gebrek aan nauwkeurigheid en/of kennis van de vele parameters die worden gebruikt in de hier bedoelde modellen.
In figuur 1 is een model voor het zichtbaar maken van de verschillende soorten onzekerheden als voorbeeld gegeven.

Tegenover deze onzekerheden staat echter ook een zekerheid. Er moet namelijk rekening mee worden gehouden dat de definitieve opberging in de praktijk een onomkeerbaar proces zal zijn. Terugwinning van het afval is na verloop van tijd niet meer mogelijk zonder buitengewoon grote financiële en technische

inspanningen. De opberging is immers juist bedoeld en ontworpen om terugkeer van radioactieve stoffen naar het milieu te voorkomen. Een gemakkelijke toegang tot het afval, ook nog na een zeer lange periode, zou inhouden dat er potentiële lekwegen in de faciliteit worden ingebouwd, hetgeen niet in overeenstemming is met het criterium voor isolatie van het afval.



Figuur 1: model voor het zichtbaar maken van de verschillende soorten onzekerheden.

In de lopende studies naar de mogelijkheden voor het opbergen van radioactief afval nemen de onbekendheid met toekomstige omstandigheden en de praktische onmogelijkheid het afval terug te halen dan ook een centrale plaats in.

Om toch een goed beeld van de toekomst te kunnen schetsen ten behoeve van de besluitvorming over een opbergmethode moeten de onzekerheden worden geïdentificeerd en moeten methodes worden ontwikkeld om met die onzekerheden om te gaan.

Voor een periode van ongeveer duizend jaar kan een redelijk betrouwbaar beeld van de relevante fysische ontwikkelingen worden gegeven omdat niet verwacht mag worden dat door natuurlijke processen, in deze geologisch gezien korte periode, er fundamentele wijzigingen in de geosfeer zullen optreden. De leefgewoonten van de mensen kunnen echter over een dergelijke periode wel degelijk fundamentele wijzigingen ondergaan.

De onzekerheid over het verloop van processen kan worden verminderd door ondermeer studie van processen die zich in het verleden hebben voorgedaan. Van daaruit kunnen schattingen worden gemaakt over mogelijke toekomstige ontwikkelingen. Daarnaast geeft het lopende technisch-wetenschappelijk onderzoek een steeds beter inzicht in transportprocessen die zich afspelen in de aardkorst en de variabelen (parameters) die daarin een belangrijke rol spelen of hebben gespeeld. Tenslotte kunnen met behulp van wiskundige technieken modellen worden ontworpen waarin toekomstige ontwikkelingen in hun samenhang worden benaderd. Deze modellen kunnen met behulp van meetgegevens worden getest en verbeterd.

Voor langere periodes verliest deze benadering aan waarde omdat de onzekerheden steeds groter worden. Daarom moet men scenario's toelaten waarin ook denkbeeldige aannames over de ontwikkelingen op zeer lange termijn worden gedaan. Met wiskundige modellen moet men proberen de consequenties van die scenario's door te rekenen. Hoe verder in de tijd, des te onzekerder worden de modellen. Daar staat tegenover dat het stralingsrisico door het verval van het radioactief afval geringer wordt naarmate de tijd voortschrijdt.

De in de tijd toenemende onzekerheid in de scenario's, modellen en parameters, gecombineerd met het afnemende stralingsrisico als gevolg van het verval van het afval, roept de vraag op of het niet zinvol zou zijn een tijdhorizon vast te stellen. Voorbij die horizon hebben benaderingen een zodanig speculatief karakter dat aan de uitkomsten daarvan geen reële betekenis meer toegekend zou mogen worden.

Het bovenstaande betekent dat in alle gevallen de onderzoeksresultaten, verkregen met behulp van scenario's en modellen om risico's te schatten, afhankelijk zullen zijn van:

* de denkmodellen die voor lange-termijnprocessen worden ontworpen;
* de kansen die men aan die processen toekent; en
* de variaties die men voor die kansen aanneemt.

5 TYPEN CRITERIA

De studies die thans in Nederland worden uitgevoerd (4) richten zich op de opberging van het afval in de ondergrond op land (in steenzout). Alhoewel daarmee voor wat betreft de Nederlandse situatie een eerste voorkeur is aangegeven, is een beslissing nog niet genomen.

Indien de opberging in de ondergrond (steenzout of een ander opbergmedium) niet mogelijk of wenselijk zou blijken, moet er wel een andere oplossing voor het afval komen. In de inleiding zijn enkele alternatieven gegeven, waarvan sommige een zeer hypothetisch karakter hebben.

De ontwikkeling van een toetsingscriterium is er primair op gericht een stelsel van eisen ten aanzien van milieukwaliteit en volksgezondheid te formuleren op grond waarvan de ondergrondse opberging van het afval, danwel een alternatief daarvoor, ten principale kan worden getoetst: **de fundamentele criteria**.

Bij iedere verwijderingsmethode is een aantal uitvoerings-varianten denkbaar. Voorbeelden daarvan bij opberging in diep gelegen geologische formaties zijn: het plaatsen van het afval in diepe boorgaten, het storten van het afval in een ondergrondse holte die verder niet meer toegankelijk is, het opslaan van het afval in grote ondergrondse opslagkamers, het terugneembaar houden van het afval gedurende de exploitatieperiode van de opbergfaciliteit, enz. Binnen de randvoorwaarden die door het toetsingscriterium worden gesteld, kan dus een aantal **afgeleide criteria** worden geformuleerd ten aanzien van de uitvoerings-varianten. Deze afgeleide criteria kunnen betrekking hebben op bijvoorbeeld:

- de mate waarin het afval nog beheerst moet kunnen worden met het oog op een eventuele verwijdering van het afval uit de opberglocatie;

---

4) Programma van onderzoek inzake geologische opberging van radioactief afval in Nederland, Tweede Kamer 18343, nrs. 5, 6, 28.

* de mate waarin de consequenties van het opbergen van het afval controleerbaar moeten blijven;
* het systeem van barrières dat terugkeer van radioactiviteit naar de biosfeer moet verhindersn.

Binnen een bepaalde uitvoeringsvariant bestaat nog een groot aantal meer specifieke technische uitvoeringsmogelijkheden. Voorbeelden daarvan zijn de dikte van de container waarin het afval is opgeborgen, de dikte van het omhullende, isolerende medium, de relatie tussen beide, enz. Om de technische uitvoering van een opbergsysteem te kunnen toetsen, kan binnen de randvoorwaarden die gesteld worden door de afgeleide criteria, een aantal **technische criteria** worden ontwikkeld.

Tenslotte kunnen ten behoeve van de feitelijke uitvoering van de opberging van het afval nog **operationele criteria** worden ontwikkeld (5).

In figuur 2 is de samenhang gegeven tussen de keuzes bij de verschillende uitvoeringsfasen van de definitieve opberging, het toetsingscriterium en de overige criteria.

Een concept voor de opberging van radioactief afval in bijvoorbeeld diepgelegen geologische formaties op land, kan te allen tijden aan een eenmaal vastgesteld toetsingscriterium worden getoetst. De afgeleide, technische en operationele criteria kunnen nader worden uitgewerkt of aangescherpt afhankelijk van de resultaten van technisch-wetenschappelijk onderzoek en de beoogde uitvoeringsvariant van de opberging.

---

5) Bij de operationele uitvoering blijven uiteraard de vereisten op basis van de Kernenergiewet en de Mijnwet onverminderd van kracht.

.....keuze.....	.....type criteria.....
ten aanzien van ondergrondse opberging: * ja, of * neen, dus iets anders	<u>toetsingscriterium</u> gebaseerd op 1) milieukwaliteit en volksgezondheid op lange termijn 2) mogelijk andere aspecten
ten aanzien van de uitvoeringsmethode: * storten, of * gecontroleerd opbergen, of * terugwinbaar opslaan, of * enz.	<u>afgeleide criteria</u> gebaseerd op 1) toetsingscriterium, aangevuld met eisen ten aanzien van: 2) * isolatie, * beheersing, * controleerbaarheid, enz.
ten aanzien van de technische uitvoering: * containers, * dikte opbergmedium, * de onderlinge relatie, enz. * enz.	<u>technische criteria</u> gebaseerd op 1) afgeleide criteria, aangevuld met eisen ten aanzien van: 2) * sterkte containers, * dikte opbergmedium, * enz.
ten aanzien van de operationele uitvoering: * bouw tunnels, * ventilatie, * enz.	<u>operationele criteria</u> gebaseerd op 1) technische criteria, aangevuld met eisen ten aanzien van: 2) * conventionele veiligheid, * radiologische veiligheid, * enz.

Figuur 2: de samenhang tussen de keuzes bij de verschillende uitvoeringsfasen van de definitieve opberging, het toetsingscriterium en de overige criteria.

Het toetsingscriterium kan reeds in een vroeg stadium van het lopende onderzoek naar de mogelijkheden voor de ondergrondse opberging worden gebruikt. Het onderzoek is nl. in verschillende fasen ingedeeld (6). In het bijzonder zou aan de hand van het toetsingscriterium een oordeel kunnen worden gegeven over de

---

6) Zie voetnoot nr. 4

vraag óf na afsluiting van het thans lopende onderzoek, een continuering van het onderzoek gericht op de geologische opberging van het afval zinvol is, of dat naar andere opbergmethoden voor het afval moet worden gezocht.

Het onderzoek naar de definitieve opberging van het afval zal in de opeenvolgende fasen steeds concreter en specifieker worden en tenslotte uitmonden in een opbergplan. Het toetsingscriterium speelt bij iedere toetsing een beslissende rol. Aan afgeleide, technische en operationele criteria kan op den duur behoefte gaan ontstaan, afhankelijk van de richting waarin het onderzoek zich ontwikkelt.

Naast het toetsingscriterium kunnen - ten dele daarvan afgeleide - criteria worden geformuleerd waarmee de kwaliteit van de voorspellingen van de risico's wordt getoetst. Dat wil zeggen dat aangegeven wordt hoe in de modellen en berekeningen rekening moet worden gehouden met de onzekerheden die in de besluitvorming over een ondergrondse opberging een rol spelen. Het toetsings-criterium, gecombineerd met deze criteria, zegt dan zowel iets over de ondergrondse opberging , de resultaten van studies en over de methode waarop die resultaten verkregen mogen of moeten worden. Inhoudelijk geeft het een stelsel van normen, richtlijnen en voorschriften ten behoeve van de beoordeling van een opbergconcept.

De voorliggende basisnotitie heeft alleen maar betrekking op het te ontwikkelen toetsingscriterium, en niet op de overige meer gedetailleerde afgeleide, technische en operationele criteria. Deze laatstgenoemde criteria mogen nimmer afbreuk doen aan het toetsingscriterium.

6 HET TOETSINGSCRITERIUM

6.1 Inleiding

Het toetsingscriterium is een stelsel van eisen ten aanzien van milieukwaliteit en volksgezondheid, waaraan een voorstel voor de opberging van het afval moet worden getoetst.

Dit uitgangspunt geeft al direct een probleem van principiële aard: Hoe moeten bij het nemen van beslissingen over afvalopberging, de aan die opberging verbonden risico's voor toekomstige generaties en/of situaties gewogen worden?

Teneinde hier meer inzicht in te verkrijgen zou een onderscheid kunnen worden gemaakt tussen **Algemene** en **Bijzondere** criteria. De Algemene criteria zijn in dit model uitgangspunten waarin de randvoorwaarden voor handelingen van deze generatie voor toekomstige generaties, in relatie tot het opbergen van radioactief afval, worden omschreven. Daarmee kan tevens de verantwoordelijkheid tegenover die generaties tot uitdrukking komen. De Bijzondere criteria beschrijven de toelaatbare stralingsrisico's voor toekomstige generaties, rekening houdend met de verschillende onzekerheidsaspecten die daarbij een rol spelen.

6.2 Algemene criteria

De verantwoordelijkheid van de huidige generatie ten opzichte van toekomstige generaties kan in algemene criteria tot uitdrukking worden gebracht. Allereerst kan daarbij worden gedacht aan eisen ten aanzien van milieukwaliteit en volksgezondheid ter bescherming van mens en milieu, nu en in de toekomst. De concretisering van die eisen kan zichtbaar worden gemaakt met behulp van consequentie-studies, vaak ook risico- of veiligheidsstudies genoemd. Deze studies kunnen een oordeel geven over de gevolgen van het opbergen van het afval voor mens en milieu.

Naast de aspecten van milieuhygiëne en volksgezonheid kunnen ook

maatschappelijke aspecten in beschouwing worden genomen. Zo zou een afweging kunnen worden gemaakt in hoeverre opberging van het afval toekomstige generaties ontlast van de zorg voor dat afval. Ook een mogelijke maatschappelijk destabiliserende invloed van het afval door eventuele terroristische activiteiten kan daarbij worden betrokken.

De zorg voor het radioactief afval brengt ook financiële lasten met zich mee. Aangezien de huidige generatie het afval produceert, is het redelijk dat zij de lasten draagt die de opberging van het afval met zich meebrengt. De mate waarin die lasten gedragen moeten worden kan afhankelijk worden gemaakt van het antwoord op de vraag in hoeverre activiteiten waarbij radioactief afval wordt geproduceerd, andere voor- en nadelen hebben voor die toekomstige generaties. Ook de overweging om niet voortijdig bepaalde bestanddelen, zoals niet-verbruikt uranium, en andere langlevende actiniden die nog nuttig kunnen zijn voor latere generaties, af te danken, kan een rol spelen ten aanzien van de definitieve opberging.

De opberging van radioactief afval maakt het - toekomstig - gebruik van het opbergmedium voor andere doeleinden minder wenselijk. Ook de exploitatie van het opbergmedium voor de winning van grondstoffen kan door de opberging van het afval worden geblokkeerd. Deze voorbeelden geven aan dat ook economische factoren bij de toetsing van een opbergconcept tot uitdrukking kunnen komen.

De vraag doet zich dus voor of naast aspecten van milieuhygiëne en volksgezondheid ook maatschappelijke, economische, financiële en wellicht nog andere aspecten bij de toetsing van de opberging van radioactief afval moeten worden betrokken.

Indien meer aspecten bij de toetsing een rol spelen, moeten die aspecten ten opzichte van elkaar worden gewogen.

Een methode zou kunnen zijn om <u>eerst enkele aspecten afzonderlijk</u>

te normeren. Indien dit wordt toegepast op de aspecten van milieuhygiëne en volksgezondheid, zou een minimaal beschermingsniveau bereikt kunnen worden. Deze benadering laat zich in de volgende vraagstelling formuleren:

Is het wenselijk of noodzakelijk dat één of meer aspecten die in het toetsingscriterium een rol spelen afzonderlijk worden genormeerd, met name met het oog op het realiseren van een minimaal beschermingsniveau?

Ook zou kunnen worden overwogen om alle aspecten die bij de toetsing een rol spelen afzonderlijk te normeren. Naast een minimaal beschermingsniveau kunnen dan ook aan andere aspecten limieten worden gesteld. Zo zouden met een voorafgaande normering van bijvoorbeeld de financiële aspecten, de totale kosten van een definitieve opberging beperkt kunnen worden. Deze benadering kan als een alternatief voor de hierboven geschetste aanpak dienen.

Moet aan een afzonderlijke normering van alle aspecten die bij de toetsing een rol spelen de voorkeur worden gegeven boven een normering van het beschermingsniveau alleen?

Als een opbergconcept onder deze benadering aan alle randvoorwaarden voldoet zouden geen verdere eisen behoeven te worden gesteld. Maar ook de volgende benadering zou kunnen worden gekozen:

Binnen de randvoorwaarden ten behoeve van een minimaal beschermingsniveau voor mens en milieu, kan een optimale oplossing worden bereikt door de overige aspecten naar hun belang te wegen.

Hierbij gaat het er om een **optimale** opbergmethode na te streven. Indien meer aspecten bij die bepaling meegewogen worden en geen minimaal beschermingsniveau zou worden geëist, zou het kunnen voorkomen dat die andere aspecten tezamen een te dominante rol gaan spelen, waardoor het beschermingsniveau behorend bij de optimale oplossing te laag wordt. Dit zou ook kunnen worden

ondervangen door aan de verschillende aspecten een verschillend gewicht toe te kennen bij het bepalen van de optimale oplossing.

Indien in het toetsingscriterium van een minimaal beschermingsniveau zou worden uitgegaan, doet de vraag zich voor hoe dit niveau zou moeten worden gedefinieerd. Een benadering daarbij zou kunnen zijn om in aansluiting op het Indicatief Meerjaren Programma Milieubeheer 1986-1990 (7) milieukwaliteitseisen vast te stellen. Dit zou dan tot de volgende benadering leiden:

Een uitgangspunt zou kunnen zijn dat het beschermingsniveau voor mens en milieu in de toekomst niet minder mag zijn dan het beschermingniveau, dat thans door middel van algemene milieukwaliteitseisen wordt gerealiseerd c.q. nagestreefd.

Inzicht in het beschermingsniveau dat bereikt kan worden met de ondergrondse opberging van radioactief afval kan verkregen worden met veiligheidsstudies. Deze studies beogen de risico's van de opberging voor mensen, dieren, planten en goederen te kwantificeren en te laten zien op welke punten die risico's beïnvloedbaar zijn. Een benadering voor een minimaal beschermingsniveau zou dus in het bijzonder gevonden kunnen worden door vast te leggen welke risico's in relatie tot de definitieve opberging van het afval acceptabel of verwaarloosbaar zijn, voor de huidige en voor toekomstige generaties.

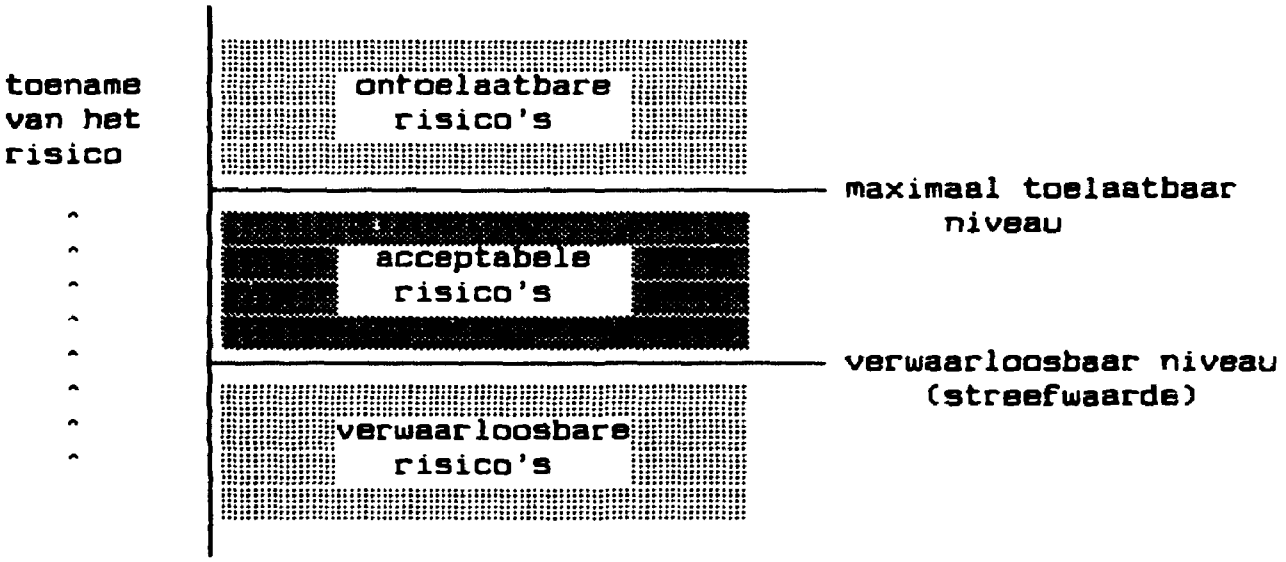
Bij het hanteren van een risicobenadering kan het niveau van de bescherming van mensen, dieren, planten en goederen tot uitdrukking worden gebracht in de keuze van de waarde voor acceptabele of verwaarloosbare risico's.

In figuur 3 is schematisch aangegeven dat voor een acceptabel risico een zekere bandbreedte zou kunnen worden ingevoerd. Deze benadering zou van belang kunnen zijn in verband met de reeds in de inleiding genoemde spreiding in de verwachtingswaarde van de resultaten van de risico-analyses.

---

7) Indicatie Meerjaren Programma Milieubeheer 1986-1990, Tweede Kamer 19204, nrs. 1 en 2.

In een nadere evaluatie zal dit criterium nog moeten worden gekwantificeerd. In paragraaf 6.3 zal deze kwantificering nader worden uitgewerkt.



Figuur 3: mogelijke begrenzing van verwaarloosbare en acceptabele risico's in verband met de definiëring van beschermingsniveau's.

Bij de keuze van een minimaal beschermingsniveau zal moet worden aangegeven hoe dat niveau, ook op zeer lange termijn kan worden gehandhaafd. Dit geldt des te sterker naarmate het minder goed mogelijk zal zijn het afval uit de faciliteit te verwijderen. Een eventueel milieu-monitoring programma zou daarbij slechts een signalerende functie hebben.

De keuze van het beschermingsniveau kan worden bepaald door de overweging dat het voor toekomstige generaties zeer moeilijk zo niet onmogelijk zal zijn het aanwezige beschermingsniveau te beïnvloeden.

Een volgend aspect dat hierbij van belang kan zijn is de vraag of van toekomstige generaties verwacht mag worden dat zij zich met de controle, bewaking en monitoring van een opbergfaciliteit bezighouden, nog afgezien van de vraag hoe dit dan zou moeten worden afgedwongen. Indien ervan wordt uitgegaan dat deze last niet op de schouders van volgende generaties gelegd kan of mag worden, moeten diê maatregelen worden getroffen die dat effectief

mogelijk maken.

Indien wordt gekozen voor een minimaal beschermingsniveau waarbij van verwaarloosbare risico's sprake is, impliceert dit dat toekomstige generaties geen bijzondere maatregelen hoeven te treffen om zich te beschermen tegen de nadelige invloeden van de afvalopberging.

Op het moment dat in Nederland tot de opberging van het afval zou worden besloten, is het duidelijk binnen welke landsgrenzen die opberging wordt gerealiseerd. Dat geeft echter geen garantie dat die opberging over zeer lange periodes nog onder dezelfde nationale autoriteit valt. Daar komt nog bij dat niet mag worden verwacht dat bij het vrijkomen van radioactieve stoffen uit de opbergfaciliteit, de verspreiding via bijvoorbeeld het grondwater zodanig zal zijn dat de verontreiniging zich zal beperken tot het land waarin de desbetreffende faciliteit gelegen is. Uit risico-studies zou zelfs kunnen blijken dat het grootste risico gelopen wordt door mensen die niet binnen de huidige grenzen van Nederland wonen.

Bij de keuze van het minimale beschermingsniveau zou rekening gehouden kunnen worden met een bescherming van mensen, dieren, planten en goederen, onafhankelijk van de plaats waar deze zich bevinden.

6.3 Bijzondere criteria

Voor de beperking van het stralingsrisico van radioactieve stoffen (8) is door de International Commission on Radiological Protection (ICRP) een stelsel van regels en normen geformuleerd. Beperking van de individuele èn collectieve doses, die het gevolg zijn van blootstelling van de mens aan straling, is daarbij het centrale element. De achterliggende doelstellingen daarbij zijn:

---

8) Deze omschrijving wordt kortheidshalve gegeven. Een nauwkeuriger omschrijving luidt: de beperking van het risico van een mogelijke blootstelling aan ioniserende straling als gevolg van het toepassen van die straling en met name van radioactieve stoffen.

* het vermijden van effecten waarvoor een drempeldosis bestaat (de niet-stochastische effecten);
* het in voldoende mate beperken van het optreden van effecten waarvoor een kans, als functie van de dosis, van optreden bestaat (stochastische effecten).

In het Indicatief Meerjaren Programma Straling 1985-1989 (9) wordt deze benadering als volgt omschreven:

"Hantering van dit stelsel normen en criteria betekent dat de bescherming van de mens tegen ernstige ziekten - andere dan kanker - of dood door straling afdoende is gewaarborgd omdat voor dergelijke effecten de doses veel hoger zouden moeten zijn.
Bescherming van dieren en planten beoogt de bescherming van de soort en niet - zoals bij de mens - van ieder individueel lid afzonderlijk. Bij het hier bedoelde stelsel van dosisbeperking voor de mens wordt de bescherming van planten en dieren voldoende geacht. Wanneer daar, door bijzondere omstandigheden, aan getwijfeld zou kunnen worden, moet uiteraard een afzonderlijke evaluatie worden gemaakt."

Een afzonderlijke evaluatie kan noodzakelijk zijn omdat op dit moment nog geen concreet hanteerbare ecologische criteria ten behoeve van de stralingshygiëne ter beschikking staan.

De vraag rijst of ten behoeve van de definitieve opberging van radioactief afval dergelijke criteria ontwikkeld zouden moeten worden.

Uitgangspunten bij de bescherming tegen straling zijn de rechtvaardiging van de toepassingen die blootstelling aan straling meebrengen, het ALARA-principe en de individuele dosislimieten. Bij de toepassing van deze criteria dient allereerst bovenbedoelde rechtvaardiging te worden aangetoond. Vervolgens moet een stelsel va. operationele maatregelen worden getroffen ter beperking van de stralingsbelasting. De dosislimieten mogen

---

9) Indicatief Meerjaren Programma Straling 1985-1989, Tweede Kamer 18607, nrs. 1-2.

niet worden overschreden. Deze benadering wordt hierna verder toegelicht.

a. Rechtvaardiging

Een activiteit die blootstelling aan straling met zich mee kan brengen (10), mag alleen plaatsvinden wanneer dat gerechtvaardigd is tegenover ieder ander alternatief. Met ander woorden: het toepassen van radioactiviteit of het handelen met radioactieve stoffen wordt slechts dan toegestaan als het voordeel daarvan duidelijk kenbaar is en in voldoende mate tegen de eventuele nadelen opweegt.

b. Het ALARA-principe

Elke blootstelling moet zo beperkt mogelijk worden gehouden als redelijkerwijs mogelijk is. Voor iedere toepassing van straling worden zodanig beschermende maatregelen vastgesteld dat een verdere verlaging van de blootstelling niet meer opweegt tegen de kosten die de maatregelen tot gevolg hebben. Bij het vaststellen van de maatregelen worden ook sociale en economische factoren betrokken. Dit samenspel van uitgangspunten wordt veelal aangeduid met "ALARA-principe" (As Low As Reasonably Achievable).

c. Individuele dosislimieten

Bij de individuele dosislimieten wordt onderscheid gemaakt tussen beroepshalve aan straling blootgestelde personen (de zogenaamde radiologische werkers) en individuele leden van de bevolking.

Radiologische werkers

Bij het vaststellen van blootstellingslimieten voor radiologische werkers wordt het door straling veroorzaakte risico, de kans door dood op kanker en de kans op genetische effecten in de eerste twee generaties, vergeleken met de kans op dood door ongevallen en beroepsziekten in de industrie. Deze risicovergelijking is mogelijk omdat de kansen redelijk goed bekend zijn. Anderzijds heeft deze vergelijking duidelijk zijn bezwaren omdat de aard van de processen voorafgaande aan het overlijden niet worden

---

10) Voor de leesbaarheid zal in het volgende steeds gesproken worden over 'toepassing van straling'.

meegewogen. Bij gelijkmatige bestraling van het gehele lichaam bedraagt de dosislimiet 50 milli-Sievert (mSv) per jaar.

Individuele leden van de bevolking
De dosislimieten voor individuele leden van de bevolking zijn een factor 10 lager dan die voor radiologische werkers. De begrenzing is gebaseerd op de volgende overwegingen:

1. De risico's voor de bevolking, veroorzaakt door blootstelling aan straling, dienen gering te zijn in vergelijking met de overige risico's verbonden aan het dagelijks leven.
2. De bevolking is minder homogeen samengesteld dan de groep radiologische werkers. Rekening moet worden gehouden met kinderen, zwangere vrouwen, oudere mensen en zieken.
3. Individuele leden van de bevolking genieten niet dezelfde persoonlijke medische en dosimetrische controle als radiologische werkers.

De gevolgen van de blootstelling aan straling kunnen worden gekwantificeerd. Boven een bepaalde drempeldosis kunnen **directe effecten** optreden. Deze effecten nemen sterk toe met de opgelopen dosis. Beneden de drempeldosis kunnen **late effecten** optreden waarbij er sprake is van een kans op het optreden daarvan, zoals kanker en erfelijke afwijkingen. Deze kans neemt bij benadering lineair toe met de dosis; zij vertoont een relatie met leeftijd en sexe.
Stralingsdoses kunnen worden vertaald in risico's. De hier gehanteerde gemiddelde risicofactoren, behorend bij een dosis van 1 Sv, bedragen 12,5 * 10 en 4 * 10 voor respectievelijk de somatische en genetische risico's.

Het bestaande stelsel van stralingsbeschermingsnormen zou gebruikt kunnen worden voor de ontwikkeling van een bijzonder criterium. Maar dat is niet de enige mogelijkheid.

Een criterium afgeleid van de - variaties in de - natuurlijke achtergrondstraling.
De belangrijkste bijdrage tot de collectieve stralingsdosis van de wereldbevolking komt voort uit de permanente blootstelling aan

natuurlijke stralingsbronnen. Hiertoe behoren bronnen buiten het lichaam, zoals kosmische straling en radioactiviteit in de aardkorst en in bouwmaterialen, en de bronnen binnen het lichaam als gevolg van radioactieve stoffen in lucht en voedsel.
De grootte van die stralingsdosis is afhankelijk van plaats, tijd, metereologische omstandigheden en leefgewoonten. Voor Nederland bedraagt deze gemiddeld nagenoeg 2 mSv per jaar. De absolute grootte ligt tussen circa 1 mSv en 4 à 5 mSv per jaar, terwijl nog hogere waarden niet mogen worden uitgesloten.
De stralingsbelasting die het gevolg zou kunnen zijn van de opberging van het afval zou gerelateerd kunnen worden aan de natuurlijke stralingsbelasting. In het milieubeleid worden belastingen die gering zijn in vergelijking met de natuurlijke belastingen vaak acceptabel beschouwd. Indien dit principe wordt toegepast op de opberging van het afval, zou dit tot het volgende criterium leiden:

De maximaal toelaatbare stralingsbelasting als gevolg van de opberging van radioactief afval moet altijd klein zijn ten opzichte van de natuurlijke stralingsbelasting.

De gemiddelde fluctuatie in de natuurlijke stralingsbelasting als functie van plaats en tijd bedraagt circa 0.5 mSv. Hiervan uitgaande zou voor de definitieve opberging van het afval ook het volgende criterium kunnen worden gekozen:

De stralingsbelasting als gevolg van de opberging van het afval moet klein zijn in vergelijking met de variaties in de natuurlijke achtergrondstraling.

Deze criteria kunnen wiskundig vertaald worden door 1% à 10% van de gemiddelde variatie als toelaatbare stralingsbelasting te definiëren. Deze redenering volgend komt de maximale individuele dosislimiet voor bestraling als gevolg van de opberging van het afval uit op 0.005 mSv à 0.05 mSv per jaar.

Een criterium afgeleid van het huidige stelsel van individuele stralingsbeschermingsnormen.

In het bestaande stelsel van stralingsbeschermingsnormen geldt een individuele algemene dosislimiet van 1 mSv per jaar, als gevolg van alle handelingen waarbij blootstelling aan straling kan optreden, medisch handelen uitgezonderd. Blootstelling van personen tot aan die limiet door een enkele bron van straling gedurende langere perioden is niet toegestaan, omdat dan geen marge overblijft voor eventuele blootstelling van dezelfde personen aan andere bronnen van straling. Hiermee kan rekening worden gehouden door voor die betreffende bron van straling, uit te gaan van een zogenoemde **bron-dosislimiet** in plaats van de algemene dosislimiet. De bron-dosislimiet geeft dan de maximale individueel stralingsdosis aan die een individu mag ontvangen ten gevolge van straling uit die betreffende bron, onafhankelijk van de vraag wanneer dat maximum optreedt.

Op dit moment zijn nog geen bron-dosislimieten vastgesteld. In de praktijk is gebleken dat de totale kunstmatige stralingsbelasting nog ver onder de algemene dosislimieten blijft, zodat er vanuit die optiek nog geen noodzaak bestond bron-dosislimieten in te voeren.

Om er zeker van te zijn dat de individuele dosislimieten niet worden overschreden, kan voor elke bron van straling een bron-dosislimiet worden vastgesteld. Zo ook voor de opberging van het afval.

> **Een bron-dosislimiet voor de ondergrondse opberging van radioactief afval kan worden bepaald door bijvoorbeeld de individuele dosislimiet te verminderen met de som van alle andere bron-dosislimieten.**

Deze methode is erg omslachtig en indirect omdat het resultaat afhankelijk is van de gekozen waarden voor alle andere bron-dosislimieten.

In plaats van uit te gaan van een groot aantal bron-dosislimieten kan ook een schatting worden gemaakt van de feitelijke stralingsbelasting.

De schatting van de stralingsbelasting als gevolg van wereldwijd

verspreide bronnen van straling, kan gebaseerd worden op de door internationale organisaties, met name de United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), gebruikte uitgangspunten ten aanzien van modellen voor de stralingsbelasting als gevolg van alle activiteit waarbij ioniserende straling betrokken is. Bij de sommering dient rekening te worden gehouden met de mogelijke opbouw van stralingsdoses als gevolg van voortgezette lozingen en met de mate waarin verschillende bronnen blootstelling aan straling van dezelfde groepen personen veroorzaken. Er dient een behoorlijke fractie van de dosislimieten als marge te worden aangehouden voor eventuele toekomstige bronnen waarvan de stralingsbelasting nu niet nauwkeurig voorspeld kan worden. Hiervan uitgaande kan het volgen criterium worden geformuleerd:

Een bron-dosislimiet als randvoorwaarde bij het ontwerp van een opbergplaats kan bepaald worden door de individuele dosislimieten te verminderen met de gemiddelde som van alle individuele blootstellingen aan straling als gevolg van lokale, regionale en wereldwijde bronnen van straling, met uitzondering van natuurlijke en medische, en met een marge voor toekomstige activiteiten.

Het nadeel van beide methoden is dat ze een grote nauwkeurigheid suggereren en wellicht onvoldoende rekening houden met de spreiding in de doses en met speciale kritieke groepen. Daarom zou ook de volgende benadering gekozen kunnen worden:

Een bron-dosislimiet voor de ondergrondse opberging van radioactief afval moet zodanig laag zijn dat de opberging geen belemmering kan vormen voor de huidige activiteiten of toekomstige ontwikkelingen die met een verhoogde stralingsbelasting gepaard kunnen gaan.

Indien voor de definitieve opberging van het afval laatstgenoemde bron-dosislimiet als criterium zou worden gekozen kan hiervoor op grond van eerder gegeven overwegingen, bijvoorbeeld 1% worden genomen van de algemene dosislimiet. Daarmee zou de bron-

dosislimiet voor de ondergrondse opslag op 0.01 mSv per jaar uitkomen.

Bij de toepassing van individuele (bron-)dosislimieten moet voor de verre toekomst een groep personen worden gedefinieerd ten behoeve waarvan de dosislimieten worden vastgesteld (de doelgroep). Voor de bepaling van die doelgroep kan de totale, te verwachten stralingsbelasting als referentiewaarde worden genomen. Een andere invalshoek zou kunnen zijn diè groep als doelgroep te definiëren die bij eenzelfde dosis straling de grootste gevoeligheid heeft, bijvoorbeeld een groep kinderen en zwangere vrouwen. Als derde mogelijkheid zou een doelgroep kunnen worden gedefinieerd die het grootste risico loopt, gelet op de stralingsbelasting én de stralingsgevoeligheid.

De keuze van een doelgroep kan worden gebaseerd op basis van de te verwachten grootte van de dosis, maar cok op basis van de gevoeligheid voor straling bij eenzelfde dosis, of op het risico dat als gevolg van de bestraling wordt opgelopen.

De moeilijkheid om de groep individuen die het meest aan straling wordt blootgesteld (kritieke groep) te identificeren, neemt toe met de tijd. Het kan daarom noodzakelijk worden de dosislimiet toepasbaar te laten zijn op "hypothetische" individuen die leven onder omstandigheden waar de blootstelling het grootst is. Bij het vaststellen van de leefgewoonten van deze hypothetische individuen moeten verschillende modellen voor de levenspatronen doorgerekend worden. Daarbij kunnen diverse consumptiepatronen worden beschouwd, variërend van bijvoorbeeld vis-eters tot vegetariërs. Ook verschillende leefomstandigheden, variërend van primitieve maatschappijen tot technologisch zeer hoog ontwikkelde samenlevingsvormen kunnen daarbij de revue passeren.
Het tijdstip waarop een eventuele blootstelling van mensen aan straling kan optreden kan dus het praktische probleem geven dat toekomstige omstandigheden van onder meer demografische, biologische en fysische aard onvoldoende bekend zijn om een bruikbare schatting van de toekomstige stralingsbelasting te maken.

Een criterium op basis van de beperking van de collectieve dosis.
Bij de definitieve opberging van het afval gaat het er om de risico's op de lange termijn en dus voor toekomstige generaties, te beperken. Vanuit die optiek kan een beperking van de collectieve dosis als uitgangspunt worden gekozen. Er moet dan wel eerst worden gedefinieerd wat onder de collectieve dosis moet worden verstaan. Daarbij doen zich drie keuzemogelijkheden voor:

1. Een collectieve jaardosis. Dit is de dosis die een beschouwde groep personen in een jaar ontvangt.
2. Een collectieve generatiedosis. Dit is de dosis die een beschouwde groep personen in een generatie ontvangt.
3. Een collectieve totaaldosis. Hieronder wordt de dosis verstaan die wordt verkregen door alle generatiedoses te sommeren.

In verband met de lange periode waarover het afval potentieel een stralingsbelasting kan opleveren en de grote oppervlakte waarover de radioactieve stoffen zich zouden kunnen verspreiden, zou er een voorkeur van de derde definitie van de collectieve dosis kunnen bestaan.

Indien deze definitie wordt gehanteerd is de collectieve dosis de som van alle individuele doses die de beschouwde groep personen ten gevolge van de opberging van het afval oploopt tussen nu en het moment dat het afval vervallen is of geen risico meer op kan leveren.
Teneinde een criterium te kunnen kwantificeren kan de collectieve dosis voor een regio, continent of de gehele wereld als uitgangspunt worden genomen. Gelet op de variatie en de fluctuaties in de individuele doses, zoals hierboven reeds aangegeven, zal de waarde van de collectieve dosis een grote fluctuatie in de tijd te zien geven.
Indien de collectieve dosis niet significant verhoogd zou mogen worden als gevolg van de opberging van het afval zou daarvoor bijvoorbeeld een limiet van 1 pro mille kunnen worden aangehouden. Deze limiet moet dan geïnterpreteerd worden als een maximale additionele collectieve dosis voor dezelfde groep personen over dezelfde tijdsperiode.

Het beschermingsniveau voor mens en milieu in verband met de opberging van radioactief afval, kan afgeleid worden uit een beperking van de collectieve dosis.

Bij het gebruik van een criterium dat uitsluitend gebaseerd is op een beperking van de collectieve dosis, kunnen zich ernstige - radiologische - problemen voordien. Het is nl. waarschijnlijk dat radioactieve stoffen uit de opbergplaats zich **niet homogeen** over het gebied zullen verspreiden waarvoor de collectieve dosis als maat voor het radiologisch criterium heeft gediend. Lokaal zouden die stoffen geconcentreerd kunnen worden. Als gevolg hiervan kan de collectieve dosis binnen de gestelde norm blijven, maar kunnen tegelijkertijd enkele individuele doses zo hoog worden dat effecten van die bestraling niet te vermijden zijn. Deze conclusie zou er toe kunnen leiden dat:

Indien een radiologisch criterium wordt opgesteld met gebruik making van de collectieve dosis is een additioneel criterium noodzakelijk voor de individuele bescherming van mensen.

Deze overwegingen leiden tot de volgende vraag:

Moet bij het vaststellen van een beschermingsniveau voor mens en milieu allereerst het individuele risico worden beperkt en vervolgens het collectieve risico?

Een criterium afgeleid van het algemeen milieubeleid inzake risicomanagement.

Het milieubeleid is gericht op het bereiken van een bepaalde kwaliteit van het milieu. Het niveau van deze kwaliteit wordt omschreven met streefwaarden. De streefwaarde is gedefinieerd als het niveau waarbij geen als nadelig te waarderen effecten van milieubelasting voor mensen, dieren, planten en goederen zijn te verwachten. Met andere woorden: het risico is als verwaarloosbaar klein te beschouwen. Omdat bij een bepaalde belasting sprake is van een daadwerkelijke aantasting van het milieu, is ook aangegeven welk risico maximaal toelaatbaar is.
Blootstellingsniveaus die gepaard gaan met een individueel risico

(11) in een kritieke groep, van kleiner of gelijk aan 10^{-8} (één op de honderd miljoen) per jaar kunnen worden beschouwd als verwaarloosbaar. In het geval van blootstelling aan stoffen wordt een concentratie waaruit een individueel risico voortvloeit van maximaal 10^{-8} per jaar beschouwd als de streefwaarde. Dit komt ongeveer overeen met een kankerrisico van 10^{-6} gedurende een heel leven, zoals dat door de Gezondheidsraad als verwaarloosbaar wordt beschouwd.
In sommige gevallen zal een individueel risico van kleiner of gelijk aan genoemde verwaarloosbaarheidsgrens van 10^{-8} per jaar niet gerealiseerd kunnen worden.
Bij het milieurisicomanagement wordt per afzonderlijke activiteit gekozen voor een bovengrens aan het maximaal toelaatbaar te achten individueel risico in een kritieke groep, van 10^{-6} per jaar.
Het gebied tussen de voorgestelde bovengrens aan het maximale individuele risico van 10^{-6} per jaar en de verwaarloosbaarheidsgrens van 10^{-8} per jaar wordt beschouwd als een 'grijs gebied'. Dit grijze gebied is nodig om flexibel te kunnen omgaan met verschillende situaties. In het grijze gebied vindt een afweging plaats tussen de voordelen van de betreffende activiteit enerzijds en de risico's en nadelen anderzijds.
Los van het individuele risico wordt ook het groepsrisico als maatstaf genomen bij de beoordeling van risico's. Vergelijkbaar met de verwaarloosbaarheidsgrens van het individueel risico wordt voor het groepsrisico als verwaarloosbaarheidsgrens een kans van 10^{-7} per jaar met een omvang van 10 doden aangehouden; een factor 100 onder de bovengrens. In het grijze gebied dat ontstaat moet een gelijksoortige afweging gemaakt worden als beschreven is voor het individuele risico.

---

11) In het Indicatie Meerjaren Programma Milieubeheer is het individueel risico omschreven als:
"Er is sprake van een individueel risico, wanneer het effecten betreft waarvoor geen drempelwaarde bestaat (stochastische effecten) of wanneer het blootstellingsniveaus betreft die hoger zijn dan de voor niet-stochastische effecten bestaande drempelwaarden. Deze risico's worden voor de mens in de praktijk altijd uitgedrukt in de kans op niet-herstelbare ongewenste effecten (waaronder overlijden)."

Voor grotere gevolgen van ongevallen moet een zwaarder gewicht worden toegekend. In dit verband is ervoor gekozen dat een n-maal groter gevolg moet corresponderen met een n^2 maal kleinere kans. In het Indicatief Meerjaren Programma Milieubeheer 1986-1990 wordt gesteld dat een dergelijk verband tussen kans en gevolg recht doet aan de aard van het groepsrisico.
Tenslotte zijn voor die effecten waarbij een drempelwaarde bestaat afzonderlijke streefwaarden en maximaal toelaatbare waarden vastgesteld.

Als risico-criterium voor de toetsing van de ondergrondse opberging van radioactief afval kan gekozen worden voor de benadering zoals die is afgeleid voor het milieubeleid inzake risicomanagement.

Voor de kwantificering van dit criterium kan verwezen worden naar onderstaande tabel die ontleend is aan het Indicatief Meerjaren Programma Milieubeheer 1986-1990. In de tabel zijn de maximaal toelaatbare en verwaarloosbare niveau's gegeven.

Maximaal toelaatbare en verwaarloosbare niveaus van drie soorten risico's voor de mens (NEL = no effect level; VF = veiligheids-factor).

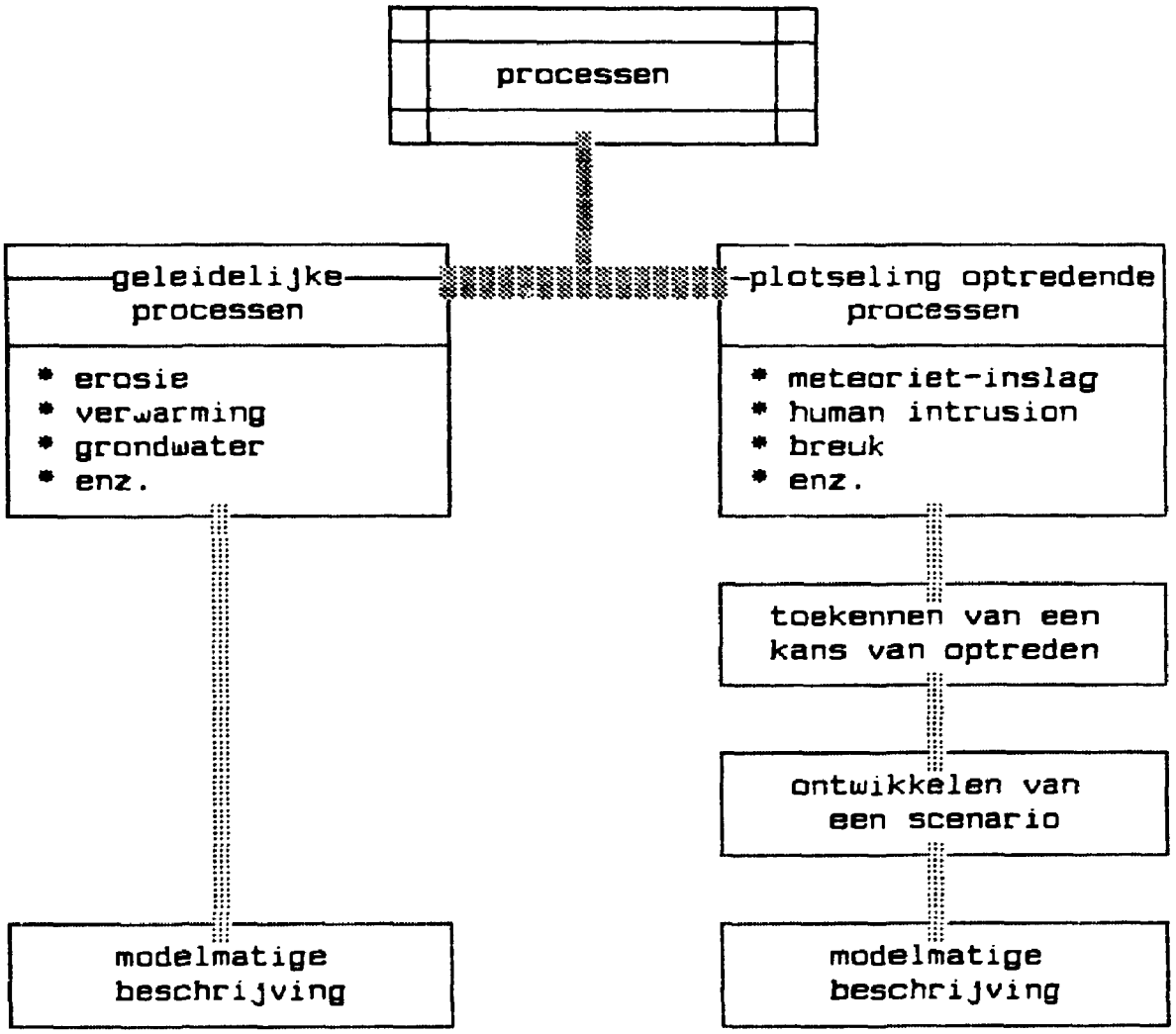
Aard van het risico	Maximaal toelaat-baar niveau	Verwaarloosbaar-heids-niveau
individueel risico t.g.v. effecten zonder drempelwaarde	10^{-6} per jaar	10^{-8} per jaar
groepsrisico/kans op ongeval met 10 doden	10^{-5} per jaar	10^{-7} per jaar
risico op gezondheids-effecten t.g.v. effecten met een drempelwaarde	concentratie behorend bij NEL/VF	1/100 maal de concentratie behorend bij NEL/VF

7 GELEIDELIJKE PROCESSEN EN PLOTSELING OPTREDENDE PROCESSEN

7.1 Inleiding

Processen die aanleiding kunnen geven tot blootstelling aan straling, zullen in de veiligheidsstudies moeten worden meegenomen. Die processen zijn globaal in twee categorieën te onderscheiden (zie bijboorbeeld ICRP-46).

Processen die een **geleidelijk** verloop hebben, maar zeker zullen optreden als gevolg van natuurlijke verschijnselen. Voorbeelden van dergelijke processen zijn de erosie van het opbergmedium, veranderingen van de eigenschappen van het opbergmedium door de voortdurende bestraling, enz. Deze processen kunnen over het algemeen goed met behulp van modellen beschreven worden. Zie hiervoor ook de discussie in hoofdstuk 4. Deze processen worden in deze notitie aangeduid als "geleidelijke processen".
Processen die **plotseling** kunnen optreden zijn met de hierboven bedoelde modellen niet zonder meer te beschrijven omdat aan het optreden van een dergelijk proces eerst een kans moet worden toegekend. Omdat de omstandigheden waaronder een dergelijk proces kan optreden niet altijd bekend zijn, moet eerst een scenario worden ontworpen alvorens tot een modelmatige beschrijving van het proces kan worden overgegaan. Deze processen worden in deze notitie aangeduid als "plotseling optredende processen".
Voorbeelden daarvan zijn seismische en tektonische verschijnselen die de stroming van het grondwater of de stabiliteit van de geologische formaties kunnen beïnvloeden. Ook denkbare toekomstige menselijke activiteiten (human intrusion) zoals boren en le winning van mineralen, of terroristische activiteiten zijn plotseling optredende processen die een belangrijke rol in de veiligheidsanalyse kunnen spelen. Deze processen kunnen in bepaalde situaties in de veiligheidsanalyse van de afvalopberging een dominerende rol spelen.



Figuur 4: onderscheid tussen geleidelijke processen en plotseling optredende processen, en de consequenties daarvan ten aanzien van de verdere behandeling.

a. de geleidelijke processen

De geleidelijke processen kunnen op den duur bijdragen tot de verspreiding van radioactieve stoffen in het milieu.
Modellen voor die processen maken het mogelijk die verspreiding te voorspellen rekening houdend met onzekerheden in de verschillende parameters die de verspreiding beschrijven. Ondanks de gecompliceerdheid van een aantal van deze processen kan op grond van fysische modellen en laboratoriumexperimenten een redelijk betrouwbare voorspelling van de resulterende tijd- en plaatsafhankelijke stralingsbelasting worden gegeven.

b. de plotseling optredende processen

De plotseling optredende processen beschrijven processen die een zekere kans van optreden hebben, die ook nog in de loop der tijd

kan veranderen. Bij dergelijke processen is het niet zinvol bijzondere criteria te formuleren die uitsluitend bestaan uit grenzen voor stralingsdoses. Het zal altijd mogelijk zijn om een samenloop van omstandigheden te bedenken die weliswaar een kleine kans van optreden heeft, maar die bij optreden leidt tot overschrijding van de gekozen dosislimiet. Het bestaande normenstelsel voor stralingsbescherming is hierom niet zonder meer geschikt voor normstelling van plotseling optredende processen.

De basis van het systeem van dosisbeperking is een keuze van een grens waarboven het aan de ontvangen stralingsdosis verbonden risico als onaanvaardbaar wordt beschouwd. Een dosislimiet is dus getalsmatig uit te drukken als een risico. Meer informatie hierover is gegeven in Hoofdstuk 6.3. Door consequent in termen van risico te praten, kunnen zowel de kans op bestraling als de hoogte van de dosis in één normenstelsel begrepen worden.

In het geval van verspreiding van radioactieve stoffen die door geleidelijke processen worden beschreven, kan nu een risicolimiet worden vastgesteld in analogie met de dosislimiet.

Door het hanteren van een systeem van risicolimieten is het mogelijk om 'geleidelijke processen' en 'plotseling optredende processen' met elkaar te vergelijken.

De resultaten van geleidelijke processen en plotseling optredende processen kunnen dus met elkaar vergeleken worden in termen van risico's. Het is echter ook mogelijk de beide risico's bij elkaar op te tellen. Dit leidt dan tot de volgende vraag:

Moeten de risico's van geleidelijke- en plotseling optredende processen bij elkaar worden opgeteld, en op de som de risicolimiet worden toegepast, of heeft een afzonderlijke limitering van de beide soorten risico's de voorkeur?

Voor de beantwoording van deze vraag kan worden overwogen dat de geleidelijke processen met een zeer hoge waarschijnlijkheid tot

een stralingsbelasting zullen leiden. Bij de plotseling optredende processen is er een kans dat er ooit een stralingsbelasting kan optreden. Over de manier waarop alle soorten kansprocessen bij de beoordeling betrokken kunnen worden, wordt in Hoofdstuk 8 nader ingegaan.
Indien de som van de beide soorten risico's zou worden gelimiteerd, zou dat tot het volgende aanleiding kunnen geven. Door het introduceren van een groot aantal plotseling optredende processen die ieder weliswaar een onwaarschijnlijk kleine kans van optreden hebben, maar indien ze optreden wel ernstige gevolgen hebben, kan de risicolimiet betrekkelijk eenvoudig door dit soort processen overheerst worden. De consequentie zou dan kunnen zijn dat de risico's als gevolg van geleidelijke processen alsnog sterk zouden moeten worden gereduceerd.

Tot nu toe zijn er geen argumenten naar voren gebracht om voor de beide risicolimieten sterk verschillende waarden te kiezen. Daarom zouden de beide risicolimieten getalsmatig aan elkaar kunnen worden gelijk gesteld. Een aspect dat bij de definitieve keuze van de beide risicolimieten nog van belang zou kunnen zijn, is de in Hoofdstuk 5 gesignaleerde mogelijkheid een limiet te stellen aan de periode waarover nog uitspraken over de evolutie van de opbergfaciliteit moeten worden gedaan. In het buitenland wordt vaak een periode tussen de 10.000 jaar en 100.000 jaar aangehouden. Nadere informatie hierover is in Bijlage I gegeven.

7.2 De criterium-kromme

Bij de limitering van het jaarlijks individueel risico zou rekening gehouden kunnen worden met het optreden van de volgende waarschijnlijkheden:

* de waarschijnlijkheid van het optreden van een gebeurtenis die tot bestraling kan leiden;
* de waarschijnlijkheid van bestraling;
* de waarschijnlijkheid dat de opgelopen stralingsdosis het ongewenste effect tot gevolg heeft.

Het produkt van de eerste twee waarschijnlijkheden wordt hierna

omschreven als de **dosiskans**; terwijl de derde waarschijnlijkheid als een **dosisrisco** is te omschrijven. Het totale individuele risico wordt kortheidshalve omschreven als het risico.

de dosiskans

Voor sommige gebeurtenissen is de kans van optreden in een bepaalde periode, bijvoorbeeld in een of meer generaties, constant of vrijwel constant in de tijd. Voor andere gebeurtenissen, zowel natuurlijke als door de mens veroorzaakte, zal de waarschijnlijkheid van optreden niet alleen veranderen met de tijd na sluiting van de opbergplaats, maar ook afhangen van andere gebeurtenissen. De berekening van de waarschijnlijkheden kan daardoor erg complex worden.

De schatting van de stralingsbelasting, de individuele dosis, in het geval dat een gebeurtenis heeft plaatsgevonden is het tweede aspect bij de schatting van de dosiskans. De dosis zal afhankelijk zijn van het tijdstip waarop, of de periode waarin de gebeurtenis plaatsvond, en van ontwikkelingen na die gebeurtenis.

het dosisrisico

De waarschijnlijkheid dat een ontvangen dosis een ongewenst effect tot gevolg heeft, kan met behulp van de dosis-effect-relaties worden aangegeven. Eventueel kan nog gedifferentieerd worden naar leeftijd, sexe e.d..

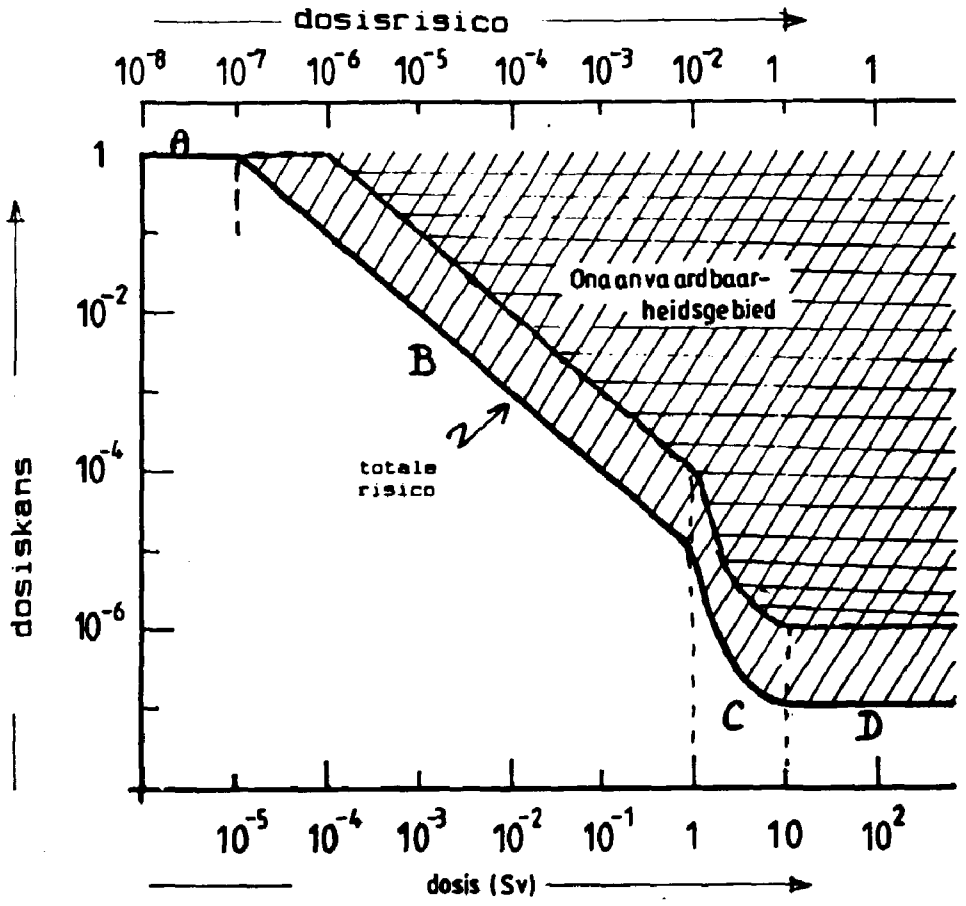
de criterium-kromme

Een methode om de limitering van risico's zichtbaar te maken en op eenvoudige wijze te kunnen testen is het gebruik van een zogenaamde 'criterium-kromme'. Een dergelijke kromme geeft de maximaal toegestane waarschijnlijkheid van een geschatte jaarlijkse dosis als gevolg van alle gebeurtenissen tezamen. In figuur 5 is een dergelijke kromme gegeven voor een risico(limiet) van 10^{-6} per jaar en van 10^{-7} per jaar.

Een dergelijke kromme wordt voor een totaal risico van 10^{-7} per jaar als volgt opgebouwd:

Deel A

Indien tengevolge van gebeurtenissen het jaarlijks risico kleiner is dan 10^{-7}, dan is dat risico aanvaardbaar. De kans dat een gebeurtenis optreedt die een dosisrisico kleiner dan 10^{-7} geeft mag gelijk aan 1 zijn.



figuur 5: kriterium-kromme voor risicolimieten van 10^{-6} per jaar en 10^{-7} per jaar.

Deel B

Voor gebeurtenissen waarbij het dosisrisico groter wordt, moet de kans dat een dergelijke dosis wordt opgelopen, de dosiskans, kleiner worden opdat het totale risico beneden de risicolimiet van 10^{-7} blijft. In een gebied tot circa 1 Sv geldt dat hoe hoger de dosis is, des te groter de kans is op een effect tengevolge van die dosis. De risicolimiet van 10^{-7} wordt dan beschreven door

een toegestane waarschijnlijkheid die omgekeerd evenredig is met de dosis.

Deel C

Boven een jaarlijkse dosis van 1 Sv, corresponderend met een risico van 10^{-2}, moet de toegestane waarschijnlijkheid meer dan proportioneel afnemen met de dosis, omdat er niet alleen kansen op effecten zijn, maar ook acute stralingseffecten optreden waarvan de ernst en de aard dosis afhankelijk zijn. Dit gebied loopt tot circa 10 Sv. In dit gebied verloopt de dosisrisico-schaal niet meer lineair wegens het optreden van acute effecten.

Deel D

Hogere dosis zijn met grote waarschijnlijkheid lethaal. Voor lethale doses geldt een limiet voor de kans van optreden van 10^{-7}. Het dosisrisico is voor iedere dosis gelijk aan 1.

Een criterium-kromme kan worden gebruikt om te toetsen of een bepaalde afvalopbergingsoptie in overeenstemming is met de eisen ten aanzien van de risicobeperking.
Daartoe moeten alle gebeurtenissen die de integriteit van de opslagplaats kunnen verstoren en een bestraling van personen kunnen veroorzaken, geanalyseerd worden. De waarschijnlijkheid van elke gebeurtenis, de daardoor vrijkomende hoeveelheid radioactiviteit en de daardoor veroorzaakte stralingsdosis moeten worden berekend of ingeschat.
In de criterium-kromme kan voor iedere gebeurtenis het punt worden aangegeven van de waarschijnlijkheid van optreden van die gebeurtenis met de daarbij behorende maximale dosis. Als dat punt in het onaanvaardbaarheidsgebied ligt moet het opbergconcept worden verworpen. De bruikbaarheid van een criteriumkromme is dus in eerste instantie een hulpmiddel om over de **onaanvaardbaarheid** van een opbergconcept te oordelen. Wanneer alle gebeurtenissen in het aanvaardbaarheidsgebied liggen, moet nog worden nagegaan of het opbergconcept in zijn totaliteit aan het criterium voldoet; m.a.w. dat het risico van alle gecombineerde scenario's op ieder tijdstip onder de gestelde risicolimiet blijft.

8 HET OMGAAN MET ONZEKERHEDEN

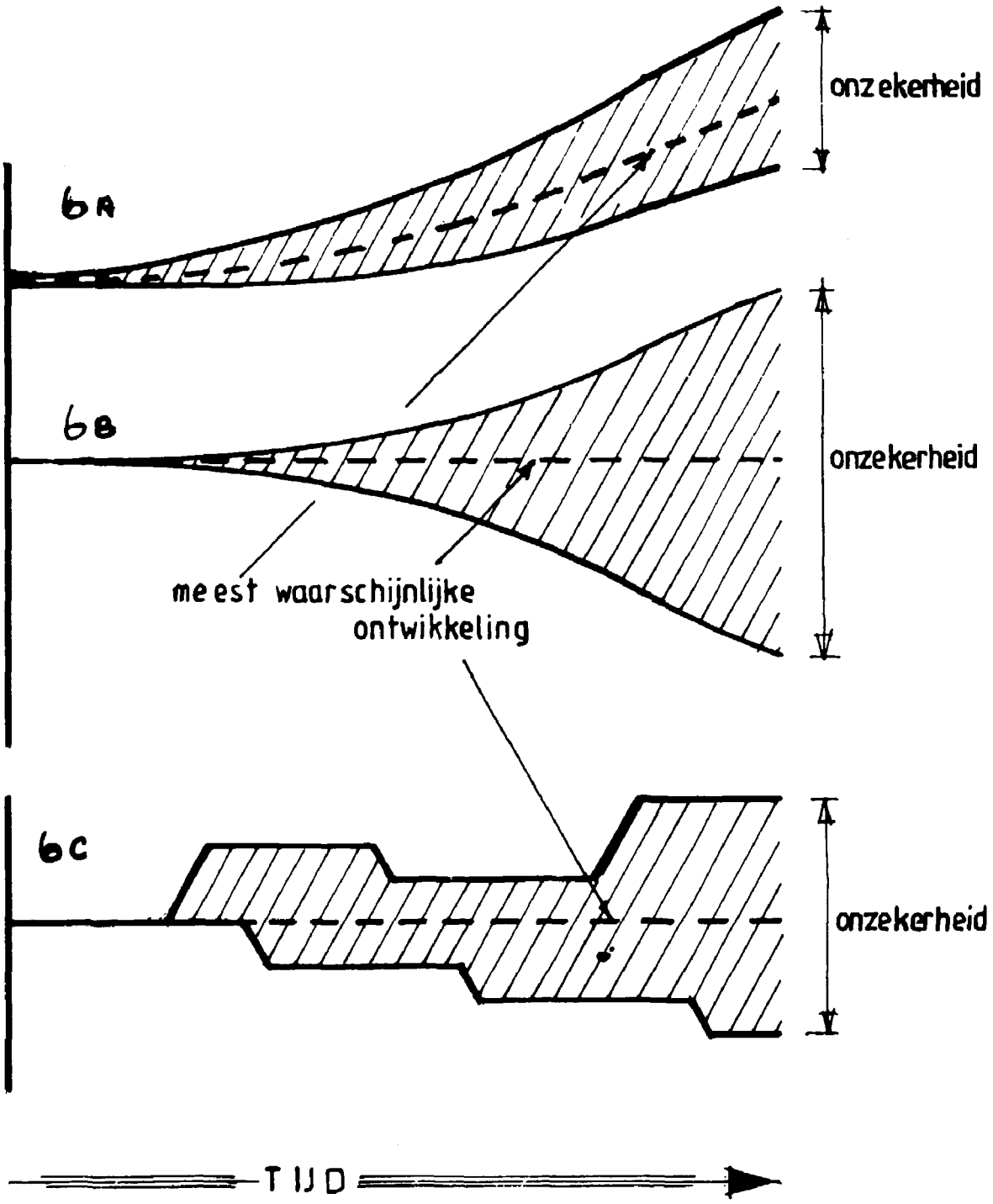
8.1 Inleiding

Het gedrag van een opbergsysteem wordt in veiligheids-studies nader onderzocht. Dergelijke studies moeten dus een voorspelling over dat gedrag geven over een zeer lange tijdsperiode en tevens inzicht geven in de radiologische consequenties van dat gedrag. Zowel langzame als plotseling optredende veranderingen in het veronderstelde gedrag maken deel uit van de berekeningen.

Men kan zich afvragen hoe met de onzekerheden in al die processen moet worden omgegaan. Hierin kan inzicht worden verkregen door de aard en de omvang van onzekerheden zo nauwkeurig mogelijk te bepalen en zo mogelijk te reduceren. Op deze aspecten wordt in de volgende paragrafen nader ingegaan. In het kader van het toetsingscriterium zullen deze aspecten nader worden uitgewerkt in de vorm van kwaliteitseisen die aan voorspellende berekeningen moeten worden gesteld. In deze basisnotitie zijn nog geen concrete voorstellen voor deze kwaliteitseisen opgenomen.

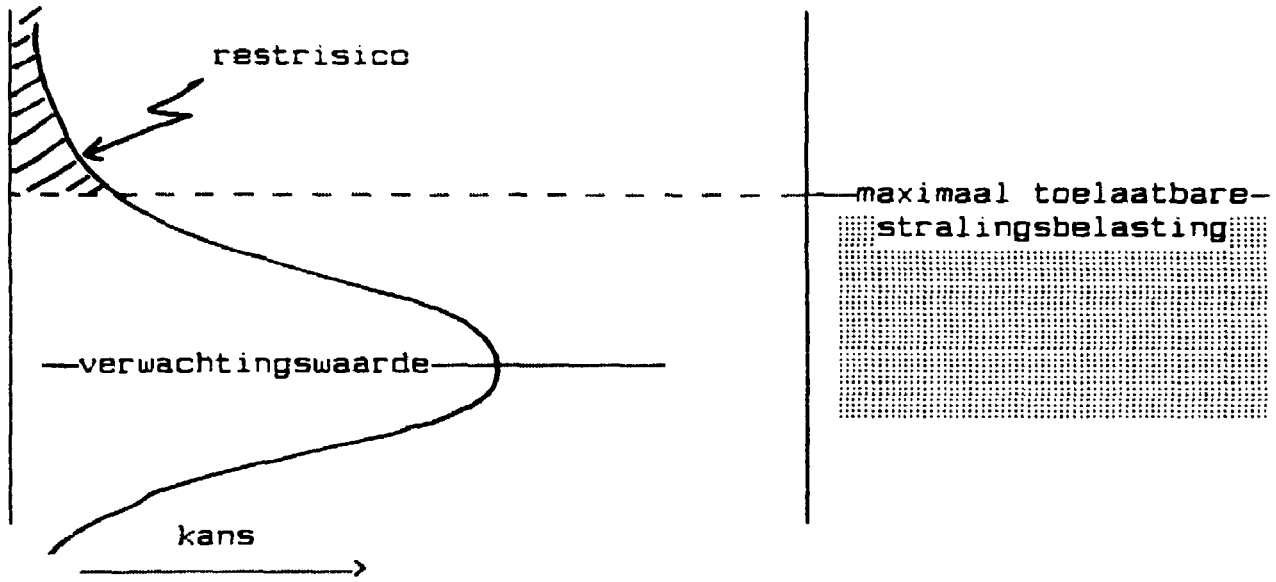
In figuur 6 is schematisch een mogelijke ontwikkeling van een parameter, een set van parameters, een proces of eventueel van een opbergfaciliteit als functie van de tijd weergegeven. De toename in de spreiding rond de verwachtingswaarden is eveneens schematisch aangegeven. In de figuur zijn deze ontwikkelingen zowel in relatie tot geleidelijke processen als tot plotseling optredende processen gegeven.

Het uiteindelijke resultaat van de risicoberekeningen is een kansverdeling van mogelijke stralingsbelastingen ieder met een eigen verwachtingswaarde. De vraag kan worden gesteld hoe de berekende stralingsbelastingen en de bijbehorende verwachtingswaarden met inbegrip van de onzekerheden vergeleken moeten worden met een kwantitatieve norm voor de opberging van het afval. Figuur 7 geeft de hier besproken situatie grafisch weer.



Figuur 6 a en b: de ontwikkeling van een verwachtingswaarde van een parameter, een set parameters of een proces en de spreiding daarin als functie van de tijd als gevolg van geleidelijke processen.

Figuur 6 c: een zelfde soort ontwikkeling als bedoeld in de figuren 6 a en b, maar nu als gevolg van plotseling optredende processen.



Figuur 7 a: theoretische spreiding rond een verwachtingswaarde van de stralingsbelasting

figuur 7 b: maximaal toelaatbare stralingsbelasting als kwantitatieve norm voor de opberging van afval

De verticaal geeft in beide grafieken de stralingsbelasting weer op een willekeurig doch voor beide grafieken gelijke schaal.

De hier bedoelde onzekerheden kunnen zich op drie niveaus voordoen:

* in de keuze van de scenario's,
* in de model beschrijvingen,
* in de parameters.

In Hoofdstuk IV is reeds kort op deze onzekerheden ingegaan.

8.2 De keuze van de scenario's

Bij iedere scenariokeuze bestaat er een onzekerheid zowel ten aanzien van de veronderstelde natuurlijke evolutie van het opbergsysteem als t.a.v. gepostuleerde ongevalsscenario's. Voor toekomstige omstandigheden die we nu nog niet kennen, moeten veronderstellingen gemaakt worden met het besef dat die mogelijk wel, maar misschien ook niet, overeenkomen met de toekomstige realiteit. Over het algemeen nemen de onzekerheden toe naarmate de periode van voorspelling langer wordt. Daarom moet een ruim spectrum van scenario's worden onderzocht en moeten over deze

soorten onzekerheden zodanige veronderstellingen worden gemaakt dat aan toekomstige generaties een niveau van bescherming wordt toegekend dat consistent is met het huidige niveau.
In hoofdstuk 7.2 is beschreven op welke manier een toetsingscriterium met de verschillende soorten van processen rekening kan houden. Daarbij is uitgegaan van de mogelijkheid zowel de plotseling optredende processen als de geleidelijke processen te analyseren vanuit een probabilistische en niet vanuit een deterministische benadering. De reden was dat er altijd scenario's te bedenken zijn waarbij eventueel gestelde dosislimieten worden overschreden.

Om de waarschijnlijkheid van optreden van 'plotseling optredende' processen te analyseren is het nodig de kans van optreden getalsmatig uit te drukken, te kwantificeren. De term kans is meestal gedefinieerd in termen van frequentie van optreden. Het systeem voor kwantificering van kansen wordt steeds minder bruikbaar naarmate de frequentie van optreden afneemt en er dus weinig informatie bestaat om de werkelijke kans te voorspellen. Aan dergelijke gebeurtenissen wordt daarom dikwijls een kans toegekend op basis van "beste schatting" of "technisch oordeel", maar soms kan men zelfs niet verder komen dan het uitdrukken in "de mate van geloof" in het werkelijk optreden van een dergelijke gebeurtenis. De mate van geloof is dan geheel gebaseerd op subjectieve beoordeling. Het resultaat is echter in concept identiek aan de meer gebruikelijke waarschijnlijkheid en kan op dezelfde manier gebruikt worden. De waarde van deze benadering is mede afhankelijk van het behoud van consistentie bij de toekenning van waarschijnlijkheden aan verschillende gebeurtenissen. Die eis van consistentie houdt in dat alle waarschijnlijkheden worden toegekend in overeenstemming met de regels van kansrekening.

Deze benadering kan aanvaardbaar zijn zolang de quantitatieve waarde die op grond van "beste schatting" , "technisch oordeel" of "mate van geloof" is toegekend, consistent is met de waarde van de relatieve frequentie in situaties waarover meer informatie beschikbaar is.

8.3 De modellen

Een tweede groep onzekerheden betreft de model-beschrijving van het samenspel van processen in de natuur. Voor sommige processen zijn op grond van bekende fysische en chemische wetmatigheden adequate modelbeschrijvingen mogelijk. Andere processen zijn zo gecompliceerd dat slechts benaderende beschrijvingen mogelijk zijn met inherente onzekerheden. Van de grootte van deze onzekerheden kan een indruk worden verkregen door verschillende modellen op te stellen en de daaruit voortvloeiende rekenuitkomsten onderling te vergelijken. Toetsing op deze wijze is echter geen eenvoudige zaak zoals ondermeer blijkt uit lopende internationale modelvergelijkingen,

Gangbare methoden voor de validatie van modellen zijn:

* Een vergelijking van de modellen met natuurlijke analogons. Het voordeel van deze methode is dat de toetsing aan in de natuur voorkomende processen kan geschieden. Een bezwaar is dat de meeste van die processen zo langzaam verlopen dat in de tijd waarin het onderzoek plaatsvindt geen significante wijzigingen behoeven op te treden.
* Een vergelijking met, en toetsing aan, de resultaten van experimenten. Deze methode heeft het voordeel dat de resultaten van het wetenschappelijk onderzoek rechtstreeks gebruikt kunnen worden om de modellen bij te stellen en te verfijnen.
* Ook een onderlinge vergelijking van modellen kan in bepaalde gevallen worden gebruikt om modellen te valideren. In het bijzonder geldt dit als met de andere modellen inmiddels zoveel ervaring is opgedaan dat die als 'betrouwbaar' of 'realistisch' kunnen worden omschreven. Bij deze methode moet ervoor worden gewaakt dat er niet teveel onderlinge afhankelijkheid van de modellen bestaat. Dit zou tot gevolg kunnen hebben dat een te optimistisch beeld van de bruikbaarheid van het betreffende model ontstaat.
* Een toetsing van de modellen aan de uitkomsten van analytisch wiskundige oplossingen kan eveneens worden toegepast.

In de praktijk zou er de voorkeur aan kunnen worden gegeven de hier beschreven methoden verder uit te werken en ze waar mogelijk toe te passen. Daardoor kan sneller een inperking van onzekerheden worden verkregen dan door een of meer van de hier genoemde methoden uit te sluiten.

8.4 De parameters

Naast de onzekerheden in de model-beschrijving van gecompliceerde processen zelf en in hun onderlinge samenhang, heeft men te maken met een gebrek aan nauwkeurigheid of kennis van de vele parameters die gebruikt worden in modellen van het transport van de radionucliden in het milieu en in het transport via voedselketens, lucht en water naar de mens. Zo kan bijvoorbeeld de beweging van het grondwater in de nabijheid van of door een opbergplaats, voorspeld worden op grond van algemene gegevens over de omgeving van de opbergplaats. De werkelijke beweging van het water zal echter afhangen van de methode van opberging van het afval, de specifieke eigenschappen van het omringende gesteente en andere factoren. Ook als er gegevens zijn om de huidige grondwaterstromen te schatten, dan nog blijft de toekomstige verplaatsing van radionucliden uit de opbergplaats met het grondwater onzeker. Als die onzekerheid kan worden gekwantificeerd leidt dit tot een bandbreedte bij de invoergegevens. Deze bandbreedte kan groot zijn. In moderne modelberekeningen wordt dan ook met dergelijke onzekerheden in de parameters rekening gehouden door een deel van de berekeningen uit te voeren op probabilistische basis, dat wil zeggen door in het rekenmodel verdelingsfuncties voor sommige onzekere parameters in te voeren. Dit leidt tot een bandbreedte van uitkomsten, waarbinnen zich echter wel de meest waarschijnlijke uitkomst bevindt.

Een methode om vast te stellen welke parameters de grootste invloed op de uitkomst van modelberekeningen hebben, is het uitvoeren van een zogenoemde parameter-gevoeligheidsanalyse. Dit gebeurt door aan een parameter een breed scala van waarden toe te kennen en dan door middel van berekeningen vast te stellen hoe

groot daardoor de spreiding wordt in de uitkomst.

Zulke gevoeligheidsanalyses vereisen complexe rekenprogramma's die zeer kostbaar zijn, speciaal als veel parameters aan de analyse moeten worden onderworpen. Daarom gebruikt men in de praktijk voor dergelijke analyses veelal vereenvoudigde modellen, waarvan door vergelijking met uitkomsten van verfijnde modellen is gebleken dat ze tot redelijk daarmee overeenstemmende resultaten leiden.

De parameter gevoeligheidsanalyse zou zich kunnen beperken tot dis grootheden die niet éénduidig experimenteel kunnen worden bepaald, bijvoorbeeld doordat omstandigheden in het opbergsysteem zich over langere perioden op niet duidelijk voorspelbare wijze wijzigen. Het is op deze wijze mogelijk een indruk te krijgen van de uitwerking die onzekere parameters hebben op de berekening van de toekomstige stralingsbelastingen ten gevolge van de definitieve opberging van radioactief afval.

8.5 De kansverdeling van de stralingsbelasting versus de normering voor de opslag

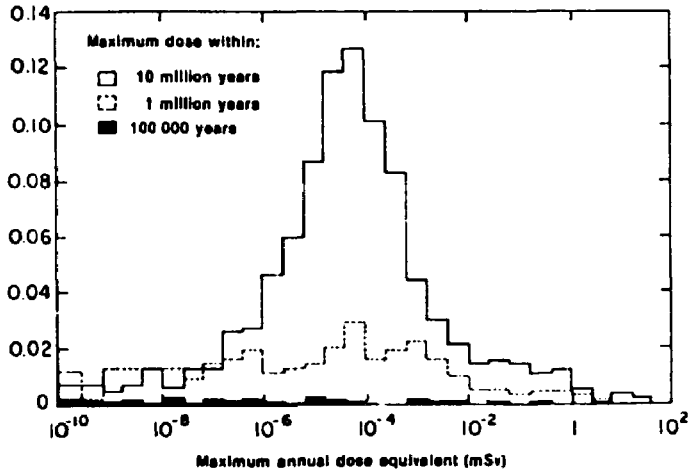
Onzekerheden in parameters, in modelbeschrijvingen en tenslotte in scenario-keuzes kunnen elkaar zeer sterk beïnvloeden. Oriënterende studies laten zien dat de te verwachten jaarlijkse dosis gemakkelijk een factor 100 tot 1000 kan variëren, afhankelijk van de gekozen uitgangspunten. In figuur 8 is een voorbeeld van een dergelijke evaluatie gegeven. Het histogram geeft de verdeling voor de maximale dosis als gevolg van het opbergen van gebruikte brandstof, na perioden van 100.000 jaar, 1 miljoen jaar en 10 miljoen jaar (12).

De figuur laat duidelijk zien dat nader aangegeven zal moeten worden wanneer de uitkomsten van risico-analyses voldoen aan een kwantitatieve normering voor de ondergrondse opberging van radioactief afval. In het kader van deze basisnotitie kunnen

---

12) Second Interim Assessment of the Canadian Concept for Nuclear Fuel Waste Disposal, Volume 1, juli 1985.

hiervoor thans nog geen voorstellen worden gedaan.



Figuur 8: de berekende verdeling van de maximum jaarlijkse dosis als gevolg van het opbergen in graniet van gebruikte brandstof.

INHOUDSOPGAVE BIJLAGEN

BIJLAGE I: VERGELIJKING VAN DE CRITERIA VOOR DE OPBERGING VAN HOOG-ACTIEF AFVAL IN VERSCHILLENDE LANDEN

1 Inleiding. 55
2 Doelstellingen op het gebied van de veiligheid 57
3 Stralingsbeschermingsnormen in relatie tot het opbergen van hoog-actief afval. 58
4 Criteria in verband met de technische uitvoering 59
5 Periode waarover het voldoen aan de normstelling moet worden aangetoond. 60
6 Terugwinbaarheid 62
7 Referenties. 64

BIJLAGE II: RADIOACTIEF AFVAL EN DE ONDERGRONDSE OPBERGING

1 Inleiding. 66
2 Bedrijfsafval en splijtstofelementen 66
3 Huidig aanbod van radioactief afval. 67
4 Toekomstig aanbod. 68
5 Beleid van de overheid 70
6 De ondergrondse opberging. 70
7 De opbergmijn als voorbeeld. 71

BIJLAGE I VERGELIJKING VAN DE CRITERIA VOOR DE OPBERGING VAN HOOG-ACTIEF AFVAL IN VERSCHILLENDE LANDEN

1 INLEIDING

Deze Bijlage geeft een overzicht van de stand van zaken met betrekking tot de ontwikkeling van criteria voor de opberging van hoogactief afval in: de Verenigde Staten, Canada, de Bondsrepubliek Duitsland, Zweden en Zwitserland. In het kort worden de volgende onderwerpen besproken:

* doelstellingen op het gebied van de veiligheid;
* vereisten op het gebied van stralingsbescherming;
* criteria in verband met de technische uitvoering;
* periode waarover het voldoen aan de normstelling moet worden aangetoond;
* terugwinbaarheid.

De hier gegeven stand van zaken geeft zeker geen volledig beeld. Slechts de, in het kader van de ontwikkeling van een toetsingscriterium, belangrijkste ontwikkelingen zijn opgenomen.

In verschillende landen wordt thans, of op korte termijn, onderzoek verricht in geologische formaties die potentieel geschikt zijn voor de opberging van hoogactief afval.

* In de verenigde Staten is een onderzoekprogramma naar opbergruimten opgezet. Tot begin 1988 wordt op drie potentieel geschikte locaties een aantal mijnbouwactiviteiten ontplooid voor een eerste geologische opbergruimte. Het is de bedoeling rond 2003 met de opberging te starten.
* De Bondsrepubliek Duitsland wil met de opberging voor het jaar 2000 starten en doet uitgebreide testen in en rond de zoutmijn te Asse. Tevens is begonnen met een ondergronds onderzoek bij de zoutkoepel van Gorleben.
* Canada heeft een ondergronds onderzoekslaboratorium ontwikkeld en bouwt dit in kristallijn gesteente in Whiteshell. Een selectie procedure voor een uiteindelijke opbergplaats is nog niet gestart.
* Frankrijk selecteert locaties voor ondergrondse

proeflaboratoria. De intentie is die rond 1989 in gebruik te nemen. Proefondervindelijk zal moeten blijken of een locatie al dan niet geschikt is voor de opberging van hoog-actief afval.

* Zweden wil tegen 1992 een ondergronds onderzoekslaboratorium hebben ontwikkeld; tegen 1998 een potentiële opberglocatie hebben geselecteerd en rond 2020 met de daadwerkelijke opberging beginnen.
* Zwitserland doet momenteel ondergronds onderzoek in kristallijn gesteente op de testlocatie bij Grimsel. Men hoopt binnen tien jaar met de bouw van een ondergronds laboratorium te kunnen starten op een locatie waarvan wordt onderzocht of die geschikt is als opberglocatie. De locatie bij Grimsel is alleen maar voor onderzoek.
* België heeft reeds een laboratorium in de Boomse klei bij Mol operationeel en wil deze faciliteit in het begin van de jaren '90 voor verder onderzoek uitbreiden.

In verschillende landen zijn criteria ontwikkeld die eisen formuleren voor de kwaliteit van opbergruimten. Alhoewel de uiteindelijke doelstelling - het verzekeren van de bescherming van mens en milieu - in al deze landen hetzelfde luidt, verschillen de uitgangspunten en benaderingen wel degelijk. Dit heeft tot gevolg dat de normstellingen van land tot land verschillen en meer of minder stringent en gespecificeerd zijn. De normstellingen zijn bovendien niet altijd onderling vergelijkbaar. Verschil in de verdeling van verantwoordelijkheden tussen organisaties en instanties die bij de ontwikkeling van de opbergruimten betrokken zijn en verschil in verhoudingen met de regelgevende instanties kan tot gevolg hebben dat bij die normstelling andere invalshoeken worden gekozen. Culturele verschillen en het gebruik van een onafhankelijk controle mechanisme kunnen eveneens leiden tot een andere aanpak van de normstelling.
Het volgende voorbeeld illustreert een en ander: in de Verenigde Staten is voor de vijf bovengenoemde, in deze bijlage te behandelen, onderwerpen speciale regelgeving met kracht van wet ontworpen, terwijl in Zweden - ondanks het feit dat over alle

vijf onderwerpen grondig gediscussieerd is en de bescherming van mens en milieu een hoge prioriteit geniet - dergelijke speciale wettelijke regelingen niet worden voorzien.

2 DOELSTELLINGEN OP HET GEBIED VAN DE VEILIGHEID

Alle vijf landen hebben hun eigen benadering om aan de doelstellingen t.a.v. de bescherming van mens en milieu, te voldoen.

Het Environmental Protection Agency (EPA) in de USA eist dat men "redelijkerwijze moet kunnen verwachten", dat er slechts een geringe kans bestaat dat bepaalde limieten van vrijzetting van specifieke radionucliden of individuele dosislimieten worden overschreden. Deze benadering beoogt ervoor te zorgen dat de risico's voor toekomstige generaties door de opberging van het afval niet groter zijn dan wanneer het uraniumerts waarvan het afval afkomstig is, nooit gedolven zou zijn.

De Atomic Energy Control Board (AECB) in Canada stelt dat er slechts een geringe kans mag bestaan dat, na sluiting van de opberglocatie, de stralingsdosis waaraan het publiek wordt blootgesteld, en die afkomstig is van die opberglocatie, een geringe fractie van de natuurlijke achtergrondstraling overschrijdt. Voorts eist het AECB dat aan drie algemene kwaliteitsvoorwaarden wordt voldaan:

* de lasten voor toekomstige generaties moeten geminimaliseerd zijn;
* het milieu moet beschermd worden;
* de menselijke gezondheid moet beschermd worden, dat wil zeggen het individueel risico kleiner dan 10^{-6} per jaar.

De Reaktor Sicherheits Kommision in de Bondsrepubliek Duitsland eist, dat bescherming van mens en milieu tegen bestraling als gevolg van afval gegarandeerd moet zijn, ook na de definitieve afsluiting van een opbergruimte.

In Zwitserland geldt dat een opbergruimte dusdanig ontworpen moet zijn, dat hij binnen enkele jaren kan worden gesloten en dat daarna kan worden volstaan met veiligheids- en monitoringmaatregelen.

In Zweden zijn geen speciale criteria vastgelegd en wordt dit, voor zover bekend, ook niet overwogen. Het Zweeds Kernenergie en Afvalmanagement bedrijf (SKB) heeft in een recent onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma de volgende doelstelling omschreven: Het afvalprobleem moet worden opgelost door de generatie die de elektriciteit afkomstig uit de kernenergiecentrales benut.

3 STRALINGSBESCHERMINGS-NORMEN IN RELATIE TOT HET OPBERGEN VAN HOOG-ACTIEF AFVAL.

De EPA-standaarden in de USA laten een maximale individuele dosis toe van 0.25 mSv per jaar voor het hele lichaam.
De algemene regelgeving voor stralingsbescherming in Duitsland geeft een criterium van 0.30 mSv per jaar.
In Zwitserland geldt, dat het verwachte niveau van vrijgezette radionucliden dat de biosfeer bereikt nooit mag leiden tot een individuele stralingsbelasting, die de 0.10 mSv per jaar overschrijdt.
In Zweden zijn geen speciale normen opgesteld voor de stralingsbescherming in het kader van het afvalbeheer. De Zweedse overheid is akkoord gegaan met een SKB-plan, waarbij de geschatte doses t.g.v. het opbergen van het afval veel kleiner zijn dan 0.10 mSV per jaar per individu voor het hele lichaam. Deze dosis is een limiet die van kracht is voor bestraling als gevolg van het in bedrijf hebben van kernenergiecentrales.
De Canadese autoriteiten geloven niet dat het juist is om dosislimieten in relatie tot het definitief opbergen van afval vast te stellen aangezien zij niet geloven dat het mogelijk is om de nakoming daarvan op de lange termijn af te dwingen. AECB heeft als doelstelling het jaarlijkse individuele risico te beperken tot 10^{-5} .

4 CRITERIA IN VERBAND MET DE TECHNISCHE UITVOERING

In de Verenigde Staten zijn specifieke vereisten met betrekking tot de uitvoering van de opberging voor hoog-actief afval ontwikkeld. De Nuclear Regulatory Commission (NRC) vereist:

* degelijke en volledige verpakking van het afval voor de eerste 300 tot 1000 jaar nadat de opbergruimte is gesloten;
* het niveau van vrijzetting van radionucliden door het barrière-systeem naar de toegankelijke omgeving mag niet groter zijn dan 0.001% per jaar van de hoeveelheid radioactiviteit die na de eerste 1000 jaar na sluiting van de opbergruimte nog aanwezig is;
* de opbergruimte moet zodanig gesitueerd zijn dat de periode waarin het grondwater langs de snelste weg stroomt van een verstoorde zone naar de toegankelijke omgeving, langer is dan 1000 jaar.

Andere landen zijn voornemens eerst kwantitatieve criteria op te stellen na selectie en onderzoek van specifieke locaties. De criteria worden dan mede gebaseerd op de eigenschappen van die specifieke locatie.
In de Bondsrepubliek Duitsland worden bijvoorbeeld de criteria voor de opbergruimte te Gorleben ontwikkeld en vastgesteld door de overheid die de vergunning verleent. Dergelijke criteria worden gekozen naar aanleiding van veiligheidstudies van de PTB, de Physikalisch-Technische Bundesanstalt.
Parameters die bij de exploitatie van de opbergruimte aan beperkingen gebonden kunnen worden zijn bijvoorbeeld:

* het jaarlijks niveau van vrijzetting van vluchtige radionucliden;
* de jaarlijkse hoeveelheid radioactiviteit per nuclide die in de opbergruimte geplaatst kan worden afhankelijk van de afvalvorm en verpakking;
* de mate waarin vrijzetting van vluchtige radionucliden uit de afgesloten ruimten mag plaatsvinden;
* de minimale verzwakkingsfactoren voor de gammastralers;

De Bondsrepubliek Duitsland bereidt ook criteria voor ter

voorkoming van ongevalssituaties gedurende de exploitatiefase. Daarbij wordt gedacht aan limieten voor de radioactiviteit per afvalcontainer en aan voorzorgsmaatregelen zoals het plaatsen van automatische blusapparatuur. Verwacht wordt dat criteria worden opgesteld die aangeven welke maximale hoeveelheid radioactiviteit in een opbergruimte mag voorkomen. Het is nog niet beslist of dergelijke criteria nuclide-specifiek zullen zijn.

Zweden is niet voornemens dergelijke technische criteria voor de opberging van hoog-actief afval te ontwikkelen. Zij zijn overigens ook niet ontwikkeld voor het laag- en middel-actief afval, waarvoor thans vergunning wordt verleend.

5 PERIODE WAAROVER HET VOLDOEN AAN DE NORMSTELLING MOET WORDEN AANGETOOND

De diverse regelingen verschillen aanmerkelijk met betrekking tot de periode waarover het voldoen aan normstelling met betrekking tot het individuele stralingsrisico of het beperken van vrijzetting van radionucliden, moet worden aangetoond.

Zoals eerder werd gemeld eist het EPA dat het redelijkerwijs te verwachten moet zijn dat de kans op het overschrijden van een bepaalde limiet van vrijzetting van radionucliden gering is en dat een ongestoord gedrag van een opbergsysteem er niet toe leidt dat bepaalde individuele dosislimieten worden overschreden. Voor de opberging wordt een periode van 10.000 jaar aangehouden. Deze termijn is gebaseerd op de overweging dat die termijn voldoende lang is om het gebruik van opberglocaties te stimuleren die van nature een lange isolatie bevorderen. In tegenstelling daarmee wordt voor de individuele stralingsbeschermingsnormen een periode van 1.000 jaar aangehouden. Deze termijn is voldoende lang om te verzekeren dat degelijk geconstrueerde barrières nodig zijn op locaties waar grondwater aanwezig kan zijn en dat het aantonen dat aan die normen wordt voldaan na een periode van 1.000 jaar grote onzekerheden met zich brengt. Het EPA is van mening dat bij sommige locaties slechts aan de normstelling voor een periode van

meer dan 10.000 jaar kan worden voldaan indien zeer kostbare barrières worden geconstrueerd die elke vorm van vrijzetting voor deze periode voorkomen. Alhoewel dit systeem kan bijdragen aan de bescherming van het individu over een langere periode, kunnen, aldus het EPA, geen daadwerkelijke voordelen voor de bevolking met dit systeem worden behaald, omdat het risico al erg laag is als gevolg van o.a. de containment-eisen van de EPA.

De AECB in Canada heeft voorgesteld als uitgangspunt te nemen dat de normstellingsperiode met betrekking tot het individuele risico de 10.000 jaar niet hoeft te overschrijden. Ten aanzien van situaties waarvan mag worden verwacht dat zij niet binnen deze periode van 10.000 jaar zullen optreden, moeten worden onderbouwd dat na deze 10.000 jaar er geen sprake zal zijn van een ernstige en plotselinge verhoging van het niveau van vrijzetting van radionucliden die de acute individuele radiologische risico's doen toenemen. Dit zou zich bijvoorbeeld voor kunnen voordoen indien het afval is opgeslagen in stabiele geologische formaties. De AECB merkt hierbij op dat experts geloven dat de volgende ijstijd die de merselijke omgeving drastisch zal veranderen zich over enkele 10.000-den tot 100.000-den jaren zal voordoen hetgeen een limitering van de periode waarover het individuele risico wordt bezien, rechtvaardigt.

In de Bondsrepubliek wordt nog gediscussieerd over de vraag over welke periode het voldoen aan stralingsbeschermingsnormen aangetoond moet kunnen worden. De PTB is van mening dat berekeningen slechts zinvolle betekenis hebben wanneer de periode niet langer is dan 10.000 jaar. Zeker gezien de kans dat zich veranderingen in het klimaat of andere factoren zullen voordoen, zijn berekeningen voor langere perioden onzeker. Voorts meent de PTB dat het potentiële individuele risico na 10.000 jaar niet geschat hoeft te worden in de vorm van een dosis, aangezien dat risico vergelijkbaar wordt met andere risico's uit de menselijke omgeving zoals het risico dat verbonden is aan een zekere hoeveelheid uraniumerts. Het Duitse Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit en de vergunningverlenende autoriteit voor de bondsstaat Nedersaksen zijn akkoord gegaan met

deze limiet van 10.000 jaar.

In Zweden is een discussie gaande over de zin van het gebruik van perioden van langer dan 10.000 jaar. Daarbij gaat het om het niveau van vrijzetting van radionucliden in de geosfeer en niet zozeer om de meer onzekere voorspellingen van stralingsdoses in de biosfeer. Het Zweedse nationale instituut voor stralenbescherming is van mening dat een periode van 10.000 jaar redelijk is, aangezien ijstijden zich met een interval periode van tussen de 10.000 jaar en 50.000 jaar voordoen en de betekenis van voorspellingen voor de verre toekomst teniet kunnen doen. Een periode van 100.000 jaar zou ook nog acceptabel zijn. Ook hoort men dat het niveau van vrijzetting in de geosfeer voorspeld moet worden, voor de periode na 10.000 jaar na de opberging, omdat er een goede mogelijkheid bestaat dat de opbergruimte vrijzetting gedurende de eerste 10.000 jaar zal voorkómen.

6 TERUGWINBAARHEID

Het EPA in de USA eist dat het afvalsysteem zo ontworpen wordt dat verwijdering van het grootste deel van het afval na verloop van een redelijke periode van opberging niet op voorhand is uitgesloten. De ratio achter deze eis is dat toekomstige generaties de mogelijkheid moeten hebben om tot een andere wijze van opberging over te gaan, wanneer omstandigheden daartoe aanleiding geven. Het EPA meent echter dat dit uitgangspunt niet van invloed mag zijn op bestaande plannen voor de ontwikkeling van geologische opbergruimten. Het ligt zelfs niet in de bedoeling om methoden waarbij terugwinning minder goed mogelijk is - zoals bij injectie van vloeibaar afval in diepe bronnen - op grond daarvan in heroverweging te nemen. Er worden geen additionele eisen aan het ontwerp van de opbergruimte gesteld en er behoeven geen extra procedures te worden gevolgd. Er wordt slechts vereist dat het afval terugwinbaar moet zijn, al brengt dat hoge kosten en een zeker risico met zich mee.

De NRC vereiste van terugwinbaarheid is conform het EPA-beleid:

het ontwerp van de opbergruimte moet dusdanig zijn dat de optie van terugwinning van het afval gedurende de periode dat het afval opgeborgen wordt, mogelijk blijft. Om aan deze eis tegemoet te komen moet de opbergruimte zo ontworpen zijn dat het afval tot 50 jaar na plaatsing van het afval, kan worden teruggewonnen. De NRC stelt dat de ratio achter dit beleid is dat de mogelijkheid moet worden behouden om te beslissen of een bepaalde opbergruimte voor altijd gesloten moet blijven. De termijn van 50 jaar is gebaseerd op het idee dat de opbergruimte 25 tot 30 jaar operationeel is en dat voorts 10 tot 15 jaar nodig is alvorens het gedrag van de opbergruimte kan worden geëvalueerd. De NRC stelt dat het beleid er niet op gericht is het opvullen of afdichten van de opbergruimte over een periode van 50 jaar uit te sluiten, maar dat de opbergruimte niet zo ontworpen mag zijn dat terugwinning zo duur, zo ingewikkeld, of een zo groot radiologisch effect heeft dat de optie van terugwinning op voorhand is uitgesloten.

De AECB in Canada stelt dat, alhoewel er geen ontwerpeisen zijn m.b.t. de terugwinning van afval, dergelijke voorzieningen nooit tot gevolg mogen hebben dat de effectiviteit van de opbergruimte wordt aangetast. In de periode vóór de afdichting van de ruimte moet het ontwerp mogelijkheden bevatten voor de terugwinning van afval ingeval zich calamiteiten voordoen. Dit beleid gaat dus in één opzicht verder dan het beleid dat in de Verenigde Staten wordt gevoerd: er wordt geëist dat voorzieningen voor terugwinning de integriteit van de opbergruimte niet mogen aantasten.

De Zwitserse regelgeving eist dat een opbergruimte dusdanig ontworpen is dat hij te allen tijde binnen enkele jaren gesloten kan worden. Het 'Project Gewahr' rapport stelt dat het doel van de opberging is om tot een definitieve opruiming van het afval te komen zonder dat terugwinning nodig is. Het Federale Energie Bureau stelt dat terugwinning als laatste veiligheidsmaatregel nooit overwogen mag worden en dat, wanneer men niet zeker is dat een opbergsysteem voldoende betrouwbaar is, de tijd voor definitieve opberging nog niet rijp is en toevlucht moet worden gezocht tot de reeds beproefde methode van opslag met bewaking.

Alhoewel terugwinbaarheid om socio-politieke redenen vereist kan worden, is dit een beslissing die nooit door de veiligheids-deskundigen mag worden genomen. Om die reden wordt daarom de mogelijkheid van terugwinning niet uitgesloten of vereist.

In Zweden blijft gebruikte brandstof terugwinbaar gedurende de periode van interim-opslag van ongeveer 40 jaar. Voorts is het de bedoeling van de SKB om de Mogelijkheid van terugwinning open te houden gedurende de 40 jaar dat opbergactiviteiten plaatsvinden, of tot ongeveer 2060. Dit beleid geeft een behoorlijke periode, gedurende welke de toegang tot de gebruikte brandstof blijft bestaan. De Zweedse regering heeft dit tijdschema geaccepteerd, maar heeft nog niet officieel stelling genomen m.b.t. de terugwinbaarheid van het afval.

7 REFERENTIES

1 U.S. Environmental Protection Agency, "Environmental Radiation Protection Standards for Management and Disposal of Spent Nuclear Fuel, High Level and Transuranic Radioactive Wastes", 40 CFR Par 191, 15 augustus 1985.

2 Atomic Energy Control Board of canada, "Deep Geological Disposal of Nuclear Fuel Waste: Background Information and Regulatory Requirements Regarding the Concept Assessment Phase",
Regulatory Document R-71, 29 januari 1985.

3 Atomic Energy Control Board of Canada, "Regulatory Objectives, Requirements, and Guidelines for the Disposal of Radioactive Wastes", Proposed Regulatory Policy Statement, Consultative Document C-104, 30 april 1986.

4 "Safety Criteria for the Final Disposal of Radioactive Waste in a Mine". Recommendations of the Reactor Safety Commission of the Federal Republic of Germany, 17 december 1982.

5 Swiss Federal Commission for the Safety of Nuclear Installations and Swiss Federal Energy Office, "Protection Goals for the Final Storage of Radioactive Waste", Regulatory Document R-21, oktober 1980.

6 Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company, "Handling

and Final Disposal of Nuclear Waste: Programme for Research, Development and Other Measures". september 1986.

7 Swedish Nuclear Fuel and waste Management Company, "Final Storage of Spent Nuclear Fuel - KBS-3", mei 1983.

8 U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Disposal of High-Level Radioactive Wastes in Geologic Repositories", 10 CFR Part 60, 21 juni 1983.

9 Swiss National Cooperative for the Storage of Radioactive Waste, "Nuclear Waste Management in Switserland: Feasibility Studies and Safety Analyses", Project Gewahr Report NGB 85-09, juni 1985.

10 Neil J. Numark, "International Comparison of High-Level Waste Disposal Criteria", Waste Management Conference, Tuscon, Arizona, 4 maart 1987.

BIJLAGE II: RADIOACTIEF AFVAL EN DE ONDERGRONDSE OPBERGING

1 INLEIDING

Het onderwerp van deze basisnotitie betreft het ontwikkelen van een toetsingscriterium voor de definitieve opberging van radioactief afval in diepgelegen geologische formaties. In deze Bijlage wordt informatie gegeven over radioactief afval en een schets gegeven hoe zo'n opberging eruit zou kunnen zien.

Bij alle toepassingen van radioactieve stoffen ontstaat radioactief afval. Het radioactieve afval wordt door de enige erkende ophaaldienst voor radioactief afval in Nederland ingezameld, verwerkt, verpakt en opgeslagen. Deze ophaaldienst, COVRA (Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval), is gevestigd in Petten. Niet al het afval heeft dezelfde radioactiviteit. Op grond van de hoeveelheid straling die het afval na verwerking en verpakking nog uitzendt wordt een onderscheid gemaakt in laag-actief vast afval (LAVA), middel-actief vast afval (MAVA) en hoog-actief vast afval (HAVA).

2 BEDRIJFSAFVAL EN SPLIJTSTOFELEMENTEN

Het radioactieve afval is ruwweg in twee categorieën in te delen: in bedrijfsafval en in splijtstofelementen. Het bedrijfsafval vormt het grootste deel van het afval. Het andere deel wordt gevormd door splijtstofelementen die als brandstof in de kerncentrales zijn gebruikt. Deze in volume relatief geringe hoeveelheid heeft echter wel veruit de hoogste radioactiviteit.

Het bedrijfsafval is laag- of middel-actief. Dit bedrijfsafval is zeer gevarieerd van samenstelling: het bestaat uit met radioactieve stoffen verontreinigde voorwerpen zoals: werkkleding, handschoenen, glaswerk, injectienaalden, poetsdoeken, plastic folie en kadavers. Daarnaast ontstaat ook vloeibaar afval. Dit afval kan door bijvoeging van cement eenvoudig tot vast afval worden verwerkt. Slib en andere resten uit waterreinigingsinstallaties van kerncentrales behoren ook tot

het bedrijfsafval. Ook dit afval is over het algemeen vloeibaar. Bij de kerncentrales wordt het verwerkt tot vast afval (cementeren) en in vaten of betonnen containers verpakt.

Splijtstofelementen die in een kerncentrale zijn gebruikt en materialen die door een langdurige bestraling zelf radioactief zijn geworden, zoals bijvoorbeeld onderdelen van de kernreactor zelf, behoren tot het hoogactieve afval. De bestraalde splijtstofstaven worden na gebruik naar een opwerkingsfabriek getransporteerd. In een opwerkingsfabriek wordt het nog bruikbare deel van de splijtstof afgescheiden van de gevormde splijtingsproducten en andere verontreinigingen. Dit proces wordt 'opwerking' genoemd. Hierbij ontstaat onder meer het 'kernsplijtingsafval' (KSA). Het zijn deze splijtingsproducten die het grootste afvalprobleem veroorzaken. Ze zijn sterk radioactief, produceren warmte en vervallen slechts langzaam. Het afval moet worden gekoeld en het moet zeer lang worden opgeslagen.

De gebruikte splijtstofstaven van de nederlandse kerncentrales worden opgewerkt in fabrieken in Frankrijk en Engeland. In de desbetreffende opwerkingscontracten is bepaald dat het opwerkingsafval te zijner tijd naar Nederland kan worden teruggezonden. Het Franse opwerkingsbedrijf heeft vorig jaar laten weten van deze mogelijkheid gebruik te zullen maken.

3 HUIDIG AANBOD VAN RADIOACTIEF AFVAL

Op circa 300 plaatsen in Nederland wordt met radioactieve stoffen gewerkt en afval geproduceerd. De jaarlijkse hoeveelheid laag- en middel-actief afval die aan COVRA wordt aangeboden ziet er als volgt uit:

* vast afval 575 m3
* kadaver 5 m3
* organische vloeistoffen. 25 m3
* anorganische vloeistoffen. 80 m3
* vast slib e.d. uit kerncentrales . . . 450 m3

De laatste categorie afval wordt door de kerncentrales zelf verwerkt en verpakt. De overige categorieën worden door of in opdracht van COVRA verwerkt en verpakt.

Het radioactief afval in Nederland wordt verwerkt door het samen te persen en in beton te verpakken. Andere verwerkingsmethoden, zoals verbranding, worden nog nader onderzocht.

Na verwerking en verpakking bedraagt het volume van het totale jaarlijkse aanbod ruim 800 m3.

4 TOEKOMSTIG AANBOD

Op dit moment is het nog niet duidelijk of er in Nederland meer kerncentrales in gebruik zullen worden genomen. In het kader van deze basisnotitie is het zinvol om een inzicht te geven in de hoeveelheid afval die zal ontstaan:
1. wanneer het aantal kerncentrales gelijk blijft,
2. wanneer het aantal centrales wordt uitgebreid,
3. wanneer er kerncentrales zouden worden ontmanteld.

Voor wat betreft het bedrijfsafval wordt er vanuit gegaan dat de hoeveelheid in de loop der tijd niet wezenlijk zal veranderen.

1. aantal kerncentrales blijft gelijk.

Bij de berekening van de hoeveelheid afval wordt uitgegaan van een bedrijfstijd van 30 jaar van de kerncentrales Borssele en Dodewaard. Er moet tevens rekening worden gehouden met het afval dat naar Nederland zal worden teruggestuurd vanuit de opwerkingsfabrieken in Engeland en Frankrijk. Dit zal waarschijnlijk in de jaren '90 gebeuren. Uitgaande van de geplande bedrijfstijd van de kerncentrales te Dodewaard en Borssele kunnen er dan in totaal circa 300 cilinders met KSA en circa 200 cilinders met hoog-actief warmte-producerend afval worden teruggezonden en ruim 2000 m3 verpakt niet-warmte producerend hoog-, middel- en laag radioactief afval.

2. uitbreiding van het aantal kerncentrales.

De hoeveelheid afval van mogelijkheid 1 wordt uitgebreid met het afval dat ontstaat bij een 30-jarige bedrijfstijd van een eventueel nog te installeren kernenergievermogen van 2000 MWe. Met de huidige stand van de techniek kan dit met een tweetal centrales gerealiseerd worden. Van de hoeveelheid afval is op grond van bedrijfservaring een schatting te maken. De werkelijke hoeveelheid afval zal afhangen van het type reactor. Het aantal bestraalde splijtstofelementen dat dan in 30 jaar zou moeten worden opgewerkt of opgeslagen bedraagt in totaal 3800. Een overzicht van de hoeveelheden radioactief afval is opgenomen in onderstaande tabellen. De hoeveelheden zijn gebaseerd op de huidige verwerkingsmethoden.

AANBOD EN OPGESLAGEN HOEVEELHEDEN LAVA EN MAVA PER JAAR

Soort afval	Aangeboden volume (m3/j)		Opslag volume (m3/j)	
mogelijkheid	1	2	1	2
vast afval	575	791	352	430
kadavers	5	5	+1	+1
organische vloeistoffen	25	25	+1	+1
anorganische vloeistoffen	80	80	20	20
vast slib e.d. (kerncentrales)	450	1100	450	1100
totaal			822	1550

OPWERKINGSAFVAL
TOTALE PRODUKTIE GEDURENDE BEDRIJFSDUUR VAN DE KERNCENTRALES
TOTAAL OP TE SLAAN VOLUME NA VERWERKING

Soort afval	mogelijkheid 1		mogelijkheid 2	
	containers	m3	containers	m3
KSA	300	60	1460	270
HAVA (warmteproducerend)	200	300	270	1450
HAVA	1000	220	4870	1070
MAVA	400	480	1950	2340
LAVA	2100	1400	10130	6740

3. buiten gebruik stellen van kerncentrales

Een aparte categorie afval die nog niet ter sprake is gekomen betreft het ontmantelingsafval. Na het buiten gebruik stellen van kernreactoren zullen deze na verloop van tijd ontmanteld en afgebroken kunnen worden. De geraamde hoeveelheid ontmantelingsafval die na verwerking en verpakking moet worden opgeslagen bedraagt voor de centrales Dodewaard en Borsele tezamen circa 10.000 m3.

5 BELEID VAN DE OVERHEID

Tot 1982 werd het laag en middel-actief vast afval in vaten en betoncontainers verpakt en in de Atlantische Oceaan gestort. Hoog-actief afval werd op land opgeslagen. Bestraalde splijtstofelementen werden en worden nog steeds voor opwerking naar Engeland en Frankrijk verzonden. Sinds 1982 wordt al het radioactieve afval op land opgeslagen. COVRA heeft hiervoor inmiddels een lokatie-onafhankelijk milieu-effectrapport opgesteld.

In de nazomer van 1987 zal naar verwachting door COVRA vergunning worden gevraagd om alle categorieën radioactief afval op te slaan in een nieuw te realiseren afval-opslagfaciliteit. Bij de vergunningaanvraag zal ook een lokatie gebonden milieu-effect-rapport worden ingediend. De nieuwe bovengrondse opslag is echter een - tijdelijke - opslag voor 50 tot 100 jaar. Er wordt op dit moment uitgebreid onderzoek verricht naar mogelijkheden om al het radioactief afval voorgoed op te bergen en wel zodanig dat dit vanuit het oogpunt van milieuhygiëne verantwoord is.

6. DE ONDERGRONDSE OPBERGING

Niet alleen in Nederland maar ook in anders landen wordt naar de definitieve verwijdering van het afval onderzoek verricht. In al die landen is het onderzoek gericht op opberging in geologische formaties. Maar dat is niet altijd in zout zoals in Nederland. In Zweden en Zwitserland wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheid

het afval in rotsformaties (graniet) op te bergen. In Duitsland worden steenzout formaties (zoutkoepels) op hun geschiktheid onderzocht en in België kleiformaties.
Alhoewel de geologische formatie, het opbergmedium, dus zeer verschillend kan zijn, is het opbergprincipe in grote lijnen telkens hetzelfde. Het berust er altijd op dat in - geologisch gezien - zeer stabiele, ondoordringbare formaties een optimale isolatie van het afval ten opzichte van de biosfeer wordt nagestreefd. Daarbij moet het mogelijk zijn om na verloop van tijd de bergplaats definitief af te sluiten, waarna tot in lengte van jaren de insluiting van het afval gehandhaafd blijft.

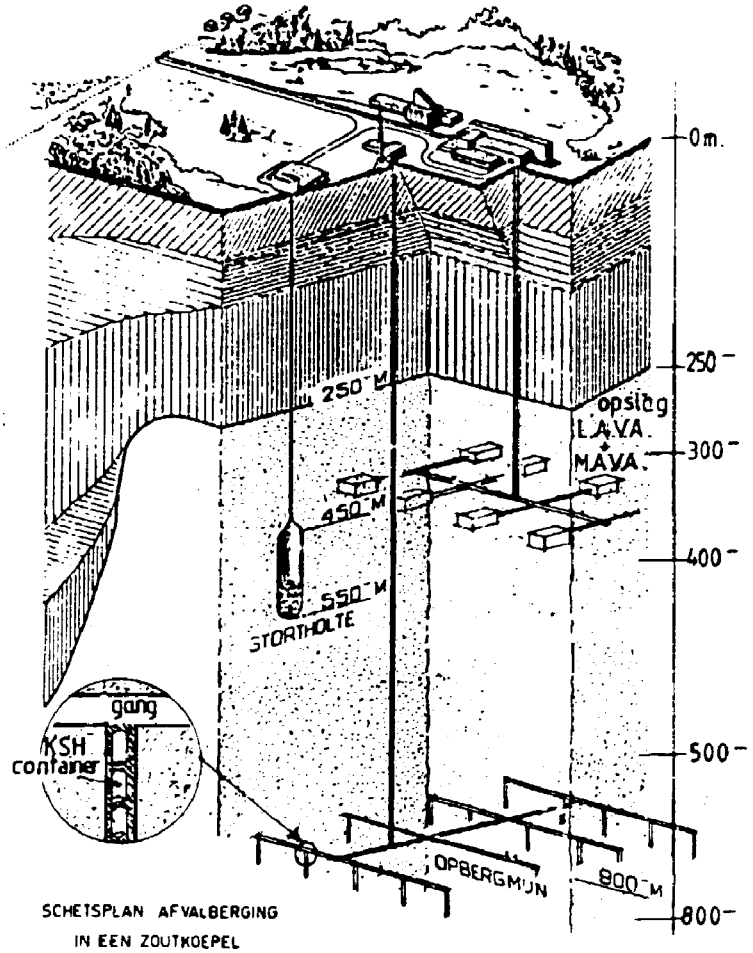
7 DE OPBERGMIJN ALS VOORBEELD

Figuur 1 geeft een globale schets van een gangbaar concept van een ondergrondse opbergmijn.
Vanaf het aardoppervlak worden één of meer mijnschachten aangelegd die enkele honderden meters diep zijn en reiken tot in de gekozen geologische formatie. Vanuit de schacht kunnen dan horizontaal gelegen gangen en ruimten worden aangelegd, die nodig zijn voor het transport en de opslag van het afval. In alle gevallen wordt uitsluitend over vast afval gesproken. Vloeibaar of gasvormig afval komt dus niet in aanmerking om als zodanig in een dergelijke geologische formatie te worden opgeslagen. Voor het vaste afval geldt bovendien nog dat het in beton, glas of een ander materiaal verpakt moet zijn; vast afval mag dus niet los, zoals op een vuilstortplaats, in de geologische formatie worden opgeborgen.

Kernsplijtingsafval - en ook ander hoog-actief afval - ontstaat bij de opwerking van gebruikte splijtstofelementen. In de opwerkingsfabrieken wordt dit afval in een glasmatrix gebonden en verpakt in roestvaste stalen containers. Deze containers zijn circa 1.50 m lang en hebben een diameter van 40 cm.
Omdat deze containers zeer veel radioactiviteit bevatten en daardoor voortdurend (verval)warmte afgeven, zullen ze zodanig moeten worden opgeslagen dat de warmte-afgifte aan het omringend medium (zout, graniet, klei) geen probleem voor de integriteit

van het opbergmedium kan vormen.
Het opbergen van het hoog-actieve en kernsplijtingsafval zou op het diepste niveau in de mijn moeten plaatsvinden.
Vanuit een horizontale mijngang moeten daartoe diepe gaten worden geboord met een diameter die iets groter is dan de diameter van de container. De onderlinge afstand van zulke boorgaten zal een tiental meters zijn. In deze gaten kunnen de containers op elkaar gestapeld worden, waarna de ruimte tussen de wand en de containers met een geschikt materiaal kan worden opgevuld en het boorgat aan de bovenkant kan worden afgesloten.

De opberging van het laag- en middel-actieve vast afval kan op een hoger gelegen niveau plaatsvinden. De vaten en containers kunnen in grote ruimten gestapeld worden, waarna deze kunnen worden opgevuld en afgesloten.
Als na verloop van tijd de opbergmijn geheel gevuld is, kunnen alle gangen en schachten weer worden opgevuld en definitief worden gesloten.
Als alternatief voor de opberging van laag- en middel-actief afval in opslagkamers, kan ook gedacht worden aan stortholtes die in het zout zijn uitgespoeld. Zo'n holte staat eveneens in de figuur geschetst. Een dergelijke stortholte is verder niet toegankelijk.



SCHETSPLAN AFVALBERGING
IN EEN ZOUTKOEPEL

VROM -- 70727 - 9 - 87

Basisnotitie ten behoeve van de ontwikkeling van een toetsingscriterium voor de ondergrondse opberging van radioactief afval

SAMENVATTING

September 1987

Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening
en Milieubeheer

Directoraat-Generaal voor de Milieuhygiëne

Inleiding

In Nederland wordt sinds enkele jaren het radioactief afval bovengronds opgeslagen in afwachting van het beschikbaar komen van een mogelijkheid het afval definitief op te bergen. In verband daarmee wordt onderzoek verricht naar de mogelijkheid van opberging van radioactief afval in de ondergrond. De overheid beschikt niet over criteria om eventuele plannen voor de ondergrondse opberging te toetsen. De basisnotitie dient als discussiestuk in de eerste stap van de procedure die moet leiden tot een toetsingscriterium (of toetsingscriteria).

De procedure

De procedure die wordt gevolgd bij de ontwikkeling van het toetsingscriterium is als volgt:

Thans loopt het vooroverleg waarin een ieder in de gelegenheid wordt gesteld suggesties te doen over de inhoud van het te ontwikkelen toetsingscriterium. De basisnotitie kan daarbij als discussiestuk worden gebruikt. Tevens is aan de Commissie voor de milieu-effectrapportage advies gevraagd.

Na afsluiting van het vooroverleg wordt een concept-toetsingscriterium opgesteld. Dit concept wordt aan een inspraakprocedure onderworpen, waarbij eveneens de Commissie voor de milieu-effectrapportage wordt ingeschakeld.

Na verwerking van de inspraakresultaten en adviezen, zal het concept-toetsingscriterium ter advisering worden voorgelegd aan de Centrale raad voor de milieuhygiëne en aan de Gezondheidsraad. Vervolgens wordt de regeringsbeslissing aan de Tweede Kamer voorgelegd.

Het gebruik van het toetsingscriterium

Als het toetsingscriterium is vastgesteld, wordt het gebruikt voor de beoordeling van plannen om het radioactief afval definitief ondergronds op te bergen. Dat wil zeggen dat als een plan aan het criterium of aan de criteria voldoet de uitvoering van dat plan in principe geen ontoelaatbare risico's voor mens en milieu oplevert. Die plannen zullen daarbij uiteraard de gebruikelijke procedures van besluitvorming doorlopen (onder andere de procedure van milieu-effectrapportage).

Het toetsingscriterium wordt ontwikkeld terwijl ook studies naar de technische haalbaarheid van ondergrondse opberging worden uitgevoerd (de zogenaamde OPLA-studies). De ontwikkeling van het toetsingscriterium vindt onafhankelijk van deze studies plaats. Bij de besluitvorming over de voortzetting van de OPLA-studies zal het toetsingscriterium kunnen worden gebruikt.

Het probleem van radioactief afval

Radioactief afval wordt gevormd in kerncentrales, ziekenhuizen, laboratoria en in de industrie. De toekomstige hoeveelheid radioactief afval hangt onder andere af van de mogelijke bouw van nieuwe kerncentrales in Nederland. Ook moet rekening worden gehouden met het buiten gebruik stellen van kerncentrales.
Afhankelijk van de ontwikkelingen zal het in de komende jaren gaan om honderden m^3 laag- en middelactief afval per jaar en om de tientallen m^3 hoogactief afval en kernsplijtingsafval per jaar.
In 1983 is besloten radioactief afval niet meer in zee te dumpen, maar voorlopig op land op te slaan. Thans gebeurt dit in Petten door de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA). COVRA is voornemens een langdurige opslag in Borsele te realiseren.
Voor de definitieve opberging van radioactief afval zijn vele technische voorstellen gedaan. Thans wordt - ook internationaal - de meeste aandacht besteed aan opberging in de diepe ondergrond op het land of onder de zeebodem.

Naar een of meer toetsingscriteria

In beginsel dient een ondergrondse opslag voor radioactief afval te voldoen aan de normen en criteria die in het milieubeleid gelden. Zo kent het afvalbeleid de zogenaamde IBC-criteria: isoleren, beheersen en controleren. Ook zijn er normen voor het risico dat een bepaalde activiteit met zich mee brengt, en er bestaan normen voor de stralingsbelasting van de bevolking. De lange duur van de opberging maakt het echter nodig deze normen en criteria nader uit te werken.
Daarbij zal het waarschijnlijk gaan om meer dan een toetsingscriterium, of om meer aspecten van de bescherming van mens en milieu die in een toetsingscriterium worden samengebracht. Hoe meer verschillende aspecten een rol spelen, hoe belangrijker het wordt tevoren na te denken over de onderlinge verhouding van die aspecten: is één aspect belangrijker dan de andere of zijn alle aspecten even belangrijk?

Het is niet de bedoeling dat het toetsingscriterium de technische uitvoeringsvoorschriften bevat die aan een specifieke opberging worden gesteld. Die uitvoeringsvoorschriften zijn een uitwerking van het toetsingscriterium, maar kunnen pas worden opgesteld als bijvoorbeeld bekend is waar en in welk opbergmedium (steen, zout, klei enz.) de opbergfaciliteit is gepland.

Algemene criteria

In algemene zin kunnen langs de volgende lijnen criteria worden ontwikkeld:

* de bescherming van mens en milieu mag in de toekomst niet minder zijn dan het niveau van bescherming dat voor de huidige generatie wordt nagestreefd;
* de risico's voor mens en milieu van een ondergrondse opberging van radioactief afval moeten acceptabel zijn (dat kan betekenen dat de risico's minder moeten zijn dan een maximaal toelaatbaar niveau, maar meer mogen zijn dan een verwaarloosbaar niveau);
* toekomstige generaties hebben weinig mogelijkheden in te grijpen in een eenmaal afgesloten ondergrondse opslag;

* toekomstige generaties kunnen of hoeven geen bijzondere maatregelen te treffen;
* de woonplaatskeuze van toekomstige generaties mag niet beïnvloed worden door een ondergrondse opberging.

Criteria ter beperking van de stralingsbelasting

Er kunnen verschillende uitgangspunten voor de beperking van de stralingsbelasting worden gebruikt:

1. Voor de stralingsbelasting van de huidige generatie mensen geldt dat het beleid erop is gericht die belasting zo laag mogelijk te houden en in ieder geval zo laag dat:
   - directe effecten (zoals verbranding of stralingsziekten) worden vermeden; en
   - de kans op optreden van late effecten (zoals kanker) in voldoende mate wordt beperkt.

   Op basis hiervan en op basis van kennis van de gemiddelde risico's per dosiseenheid zijn individuele dosislimieten opgesteld. Het toetsingscriterium zou op hetzelfde principe kunnen berusten.
2. De acceptabel te achten stralingsbelasting voor toekomstige generaties als gevolg van een ondergrondse opslag van radioactief afval zou ook kunnen worden afgeleid van de natuurlijke stralingsbelasting of van de variaties daarin.
3. Een andere benadering is het definiëren van een brondosislimiet: dat is de maximale dosis die tengevolge van straling uit die bron (in dit geval de ondergrondse opslag van radioactief afval) mag worden opgelopen.

   De brondosislimiet zou dan zodanig laag kunnen worden gesteld dat de opberging geen belemmering kan vormen voor huidige activiteiten of voor toekomstige ontwikkelingen die een stralingsbelasting met zich mee kunnen brengen.

Naast een keuze uit deze uitgangspunten moet ook rekening gehouden worden met de verschillen in gevoeligheid voor straling van verschillende groepen.

Voorts zou de stralingsbelasting als gevolg van een ondergrondse opberging van radioactief afval per jaar, per generatie of voor alle generaties tezamen kunnen worden berekend. Dit is van belang vanwege de lange duur dat er mogelijk sprake is van een stralingsbelasting. Een beperking van een zogenaamde collectieve dosis houdt echter nog geen bescherming van individuen in.

Criteria ter beperking van de risico's

In het milieubeleid wordt ernaar gestreefd het individueel risico als gevolg van een bepaalde activiteit of stof te beperken tot 10^{-8} (een kans van een op de honderd miljoen om als gevolg van die activiteit of stof te overlijden). Een individueel risico van 10^{-6} als gevolg van een bepaalde activiteit of stof wordt nog juist acceptabel geacht.
Voor de ondergrondse opberging zou dezelfde risiconorm kunnen gelden.

Aspecten waarmee ook rekening moet worden gehouden

Vanwege de radioactiviteit van de op te bergen stoffen gaat het om een opberging voor duizenden jaren. Deze lange tijdsduur, waarmee rekening moet worden gehouden, brengt speciale problemen met zich mee. Hoe langer de tijdsduur waarover voorspellingen van (mogelijke) effecten worden gemaakt, hoe moeilijker het is die voorspellingen met enige mate van zekerheid uit te voeren. Daarbij moet ook nog een onderscheid worden gemaakt tussen geleidelijk verlopende processen (bijvoorbeeld grondwaterstromen) en plotseling optredende processen (bijvoorbeeld aardverschuivingen).
Voor plotseling optredende processen moet rekening worden gehouden met de kans van optreden van dergelijke processen.
Daartoe moeten scenario's worden opgesteld.

Het is in beginsel mogelijk de risico's als gevolg van geleidelijke processen te vergelijken met risico's van plotseling optredende processen. Een criterium dat betrekking heeft op de beide typen risico's te zamen, zou kunnen worden ontwikkeld.
Naast de onzekerheden voortvloeiend uit de lange tijdsduur en uit de kans dat plotseling optredende processen zich zullen voordoen, speelt onzekerheid over de zich in de toekomst ontwikkelende maatschappij een rol: zal dat bijvoorbeeld een hecht georganiseerde maatschappij zijn, of een maatschappij waarin weinig organisatie aanwezig is.
Vanwege deze onzekerheden zouden ook criteria kunnen worden opgesteld ten aanzien van de marges in die voorspellingen bijvoorbeeld door te bepalen dat met verschillende voorspellingsmethoden voorspellingen over en weer worden "gecontroleerd" of door bepaalde scenario's op te stellen (bijvoorbeeld wat er gebeurt bij een aardverschuiving).

Produktie en verspreiding:
Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer,
Centrale Directie Voorlichting en Externe Betrekkingen,
Van Alkemadelaan 85, 2597 AC 's-Gravenhage

VROM 70727/9-87
4824 / 101