

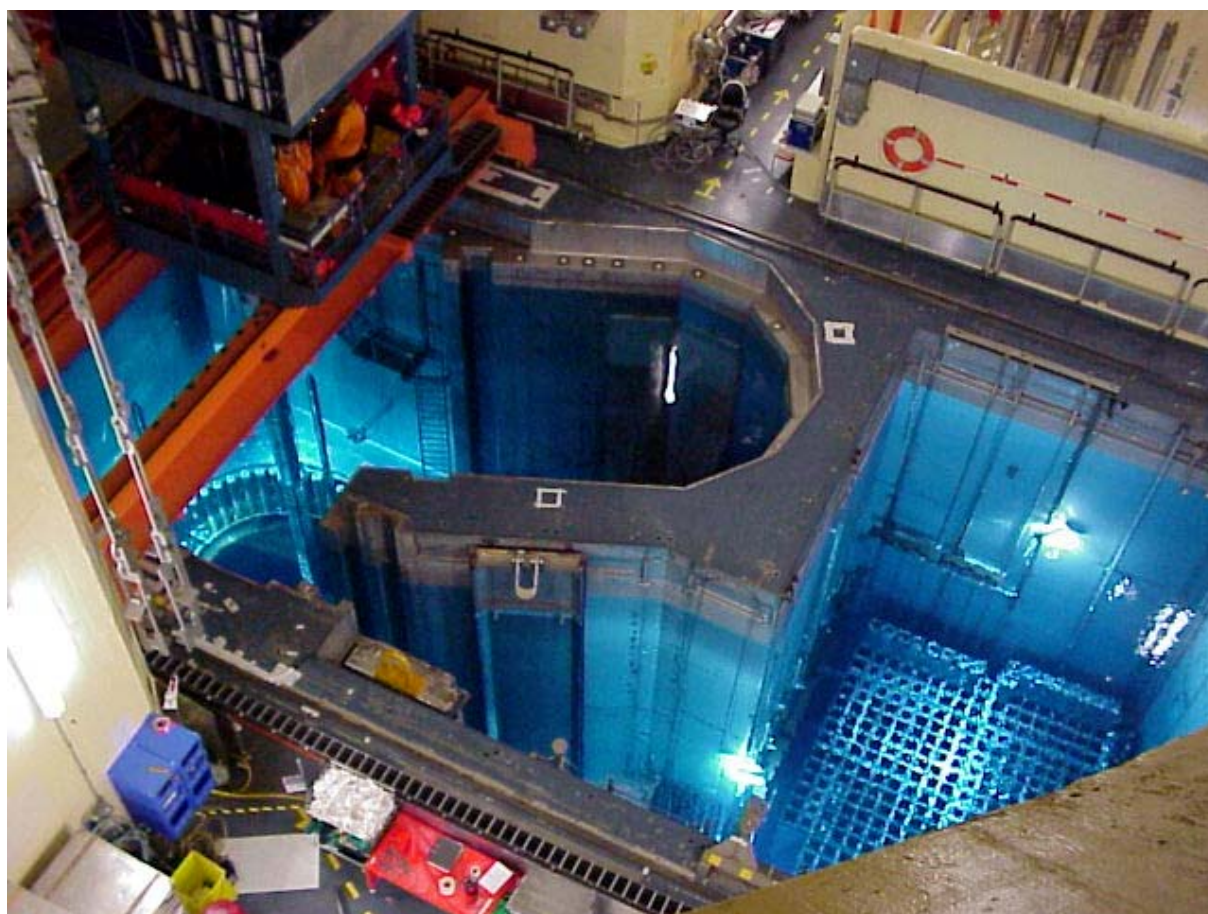


Milieueffectrapport

Kerncentrale Borssele

Hogere verrijking splijtstof tot 4,4%

23 februari 2004



Milieueffectrapport

Kerncentrale Borssele

Hogere verrijking splijtstof tot 4,4%

Februari 2004

N.V. Elektriciteits-Produktie­maatschappij Zuid-Nederland EPZ

KEMA Nederland B.V.

NRG

INHOUDSOPGAVE MER KERNCENTRALE BORSSELE; HOGERE VERRIJKING TOT 4,4%

SAMENVATTING	S.1
VERKLARENDE LIJST VAN BEGRIPPEN, AFKORTINGEN, SYMBOLEN, EENHEDEN, VOORVOEGSELS EN ELEMENTEN	V.1
1 INLEIDING	1.1
1.1 Voorgeschiedenis en aanleiding	1.1
1.2 Reikwijdte en procedure m.e.r.	1.2
1.3 Inhoud MER	1.3
2 PROBLEEMSTELLING EN DOEL	Error! Bookmark not defined.
2.1 Inleiding	Error! Bookmark not defined.
2.2 Internationale ontwikkelingen inzake splijtstoffen ...	Error! Bookmark not defined.
2.3 Inzet en kosten van splijtstof bij de KCB.....	Error! Bookmark not defined.
2.3.1 De splijtstof	Error! Bookmark not defined.
2.3.2 Splijtstofkosten.....	Error! Bookmark not defined.
2.3.3 De besparing met een verrijking van 4.4%	Error! Bookmark not defined.
2.4 Doelstelling voorgenomen activiteit	Error! Bookmark not defined.
3 RANDVOORWAARDEN EN BESLUITVORMING	Error! Bookmark not defined.
3.1 Inleiding	Error! Bookmark not defined.
3.2 Randvoorwaarden	Error! Bookmark not defined.
3.2.1 Wetgeving	Error! Bookmark not defined.
3.2.2 Geldende vergunningen	Error! Bookmark not defined.
3.2.3 Het beoordelingskader	Error! Bookmark not defined.
3.2.3.1 Wettelijk kader Kernenergiewet	Error! Bookmark not defined.
3.2.3.2 Risiconormering ontwerp-ongevallen	Error! Bookmark not defined.
3.2.3.3 Risiconormering ernstige ongevallen	Error! Bookmark not defined.

3.2.3.4	Veiligheidsnormen en -richtlijnen (IAEA)	Error! Bookmark not defined.
3.2.4	Natuurbeleid	Error! Bookmark not defined.
3.2.5	Overige overheidsvoorschriften	Error! Bookmark not defined.
3.2.6	Beleid inzake radioactief afval	Error! Bookmark not defined.
3.3	Besluitvorming	Error! Bookmark not defined.
4	Huidig bedrijf, voorgenomen activiteit en alternatieven	Error! Bookmark not defined.
4.1	Inleiding	Error! Bookmark not defined.
4.2	Huidige installatie.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.1	Algemene beschrijving en bedrijfservaringen	Error! Bookmark not defined.
4.2.2	Splijtstofcyclus	Error! Bookmark not defined.
4.2.3	Het kernsplijtingsproces.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.4	Splijtstofelementen	Error! Bookmark not defined.
4.2.5	Opslag splijtstofelementen.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.6	Veiligheidsvoorzieningen	Error! Bookmark not defined.
4.2.7	Overige relevante systemen en voorzieningen.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.8	Bedrijfservaringen	Error! Bookmark not defined.
4.3	Voorgenomen verhoging van de verrijkingsgraad ..	Error! Bookmark not defined.
4.3.1	Hoofdlijnen van de wijzigingen	Error! Bookmark not defined.
4.3.2	De nieuwe splijtstofelementen en hun veiligheidsaspecten	Error! Bookmark not defined.
4.4	Alternatieven	Error! Bookmark not defined.
5	Bestaande toestand van het milieu.....	Error! Bookmark not defined.
5.1	Inleiding	Error! Bookmark not defined.
5.2	Lozingen bij normaal bedrijf.....	Error! Bookmark not defined.
5.3	Situering en grondgebruik.....	Error! Bookmark not defined.
5.4	Veiligheid	Error! Bookmark not defined.
5.4.1	Inleiding	Error! Bookmark not defined.
5.4.2	Beschouwde ongevallen	Error! Bookmark not defined.
5.4.3	Ongevalsanalyses	Error! Bookmark not defined.
5.4.3.1	Inleiding	Error! Bookmark not defined.
5.4.3.2	Kerninventaris	Error! Bookmark not defined.
5.4.3.3	Thermohydraulische analyses	Error! Bookmark not defined.

5.4.3.4	Radiologische analyses	Error! Bookmark not defined.
5.4.4	Probabilistic Safety Assessment (PSA)	Error! Bookmark not defined.
5.4.4.1	Inleiding	Error! Bookmark not defined.
5.4.4.2	Werkwijze PSA	Error! Bookmark not defined.
5.4.4.3	Resultaten PSA niveau 3	Error! Bookmark not defined.
5.4.5	Onderkriticaliteit in het splijtstofopslagbassin	Error! Bookmark not defined.
5.5	Luchtkwaliteit	Error! Bookmark not defined.
5.5.1	Achtergrondconcentraties radioactieve nucliden en straling	Error! Bookmark not defined.
5.5.2	Bijdragen KCB aan de luchtkwaliteit	Error! Bookmark not defined.
5.5.2.1	Lozingen naar de lucht	Error! Bookmark not defined.
5.5.2.2	Directe straling vanuit KCB	Error! Bookmark not defined.
5.6	Waterkwaliteit (Westerschelde)	Error! Bookmark not defined.
5.6.1	Algemene beschrijving	Error! Bookmark not defined.
5.6.2	Radiologische waterkwaliteit	Error! Bookmark not defined.
5.6.3	Radiologische bijdragen KCB	Error! Bookmark not defined.
5.7	Bodem: depositie van radioactieve stoffen	Error! Bookmark not defined.
5.8	Bijdragen KCB aan de totale stralingsbelasting	Error! Bookmark not defined.
5.8.1	Dosisbijdragen	Error! Bookmark not defined.
5.8.2	Effecten en toetsing aan dosiscriteria	Error! Bookmark not defined.
5.8.3	Collectieve dosis	Error! Bookmark not defined.
5.9	Radioactief afval en (gebruikte) splijtstoffen	Error! Bookmark not defined.
5.10	Verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens	Error! Bookmark not defined.
5.11	Risico's splijtstofcyclus	Error! Bookmark not defined.
5.11.1	Algemeen	Error! Bookmark not defined.
5.11.2	Huidig transport van splijtstofelementen bij KCB ...	Error! Bookmark not defined.
5.11.2.1	Overzicht van de risico's	Error! Bookmark not defined.
5.11.2.2	Risico's van de afvoer van gebruikte splijtstof	Error! Bookmark not defined.
5.11.2.3	Risico's van het transport van kernsplijttingsafval ..	Error! Bookmark not defined.
6	Vergelijking van de milieugevolgen van de voorgenomen activiteit en de alternatieven	Error! Bookmark not defined.
6.1	Inleiding	Error! Bookmark not defined.
6.2	Lozingen en stralingsbelasting bij normaal bedrijf ..	Error! Bookmark not defined.
6.2.1	Belasting via lozingen	Error! Bookmark not defined.
6.2.2	Directe externe straling	Error! Bookmark not defined.

6.3	Aanvullende veiligheidsmaatregelen	Error! Bookmark not defined.
6.3.1	Algemeen.....	Error! Bookmark not defined.
6.3.2	Onderkriticaliteit in het splijtstofopslagbassin	Error! Bookmark not defined.
6.3.3	Benodigde ruimte in het splijtstofopslagbassin	Error! Bookmark not defined.
6.4	Veiligheid	Error! Bookmark not defined.
6.4.1	Inleiding	Error! Bookmark not defined.
6.4.2	Ongevalsanalyses	Error! Bookmark not defined.
6.4.2.1	Kerninventaris	Error! Bookmark not defined.
6.4.2.2	Thermohydraulische analyses	Error! Bookmark not defined.
6.4.2.3	Radiologische analyses	Error! Bookmark not defined.
6.4.3	Probabilistic safety assessment (PSA)	Error! Bookmark not defined.
6.4.3.1	Inleiding	Error! Bookmark not defined.
6.4.3.2	Resultaten.....	Error! Bookmark not defined.
6.5	Radioactief afval en gebruikte splijtstofelementen..	Error! Bookmark not defined.
6.6	Verandering transportrisico's door het voornemen	Error! Bookmark not defined.
6.6.1	Overzicht van de risico's	Error! Bookmark not defined.
6.6.2	Risico's van de afvoer van gebruikte splijtstofelementen	Error! Bookmark not defined.
6.6.3	Risico's van het opgewerkte kernsplijttingsafval.....	Error! Bookmark not defined.
6.7	Verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens	Error! Bookmark not defined.
6.8	Toetsing aan beschermingsbepalingen Westerschelde	Error! Bookmark not defined.
6.8.1	Structuurschema Groene Ruimte (SGR)	Error! Bookmark not defined.
6.8.2	Vogel- en Habitat-richtlijn.....	Error! Bookmark not defined.
7	Vergelijking van de milieugevolgen van de beoogde situatie en de alternatieven	Error! Bookmark not defined.
7.1	Inleiding	Error! Bookmark not defined.
7.2	Vergelijking van de bestaande situatie met de beoogde situatie	Error! Bookmark not defined.
7.3	Vergelijking van de beoogde situatie met de alternatieven	Error! Bookmark not defined.
7.4	Conclusies	Error! Bookmark not defined.

8	Leemten in kennis en evaluatieprogramma.....	8.1
8.1	Inleiding	8.1
8.2	Leemten in kennis.....	8.1
8.3	Evaluatieprogramma milieu-effect-rapportage.....	8.2
8.3.1	Opzet evaluatie MER's	8.2
8.3.2	Evaluatie MER "Optimalisatie splijtstof kernenergie-eenheid Centrale Borssele" van 1996	8.2
8.3.3	Evaluatieprogramma van het onderhavige MER	8.4

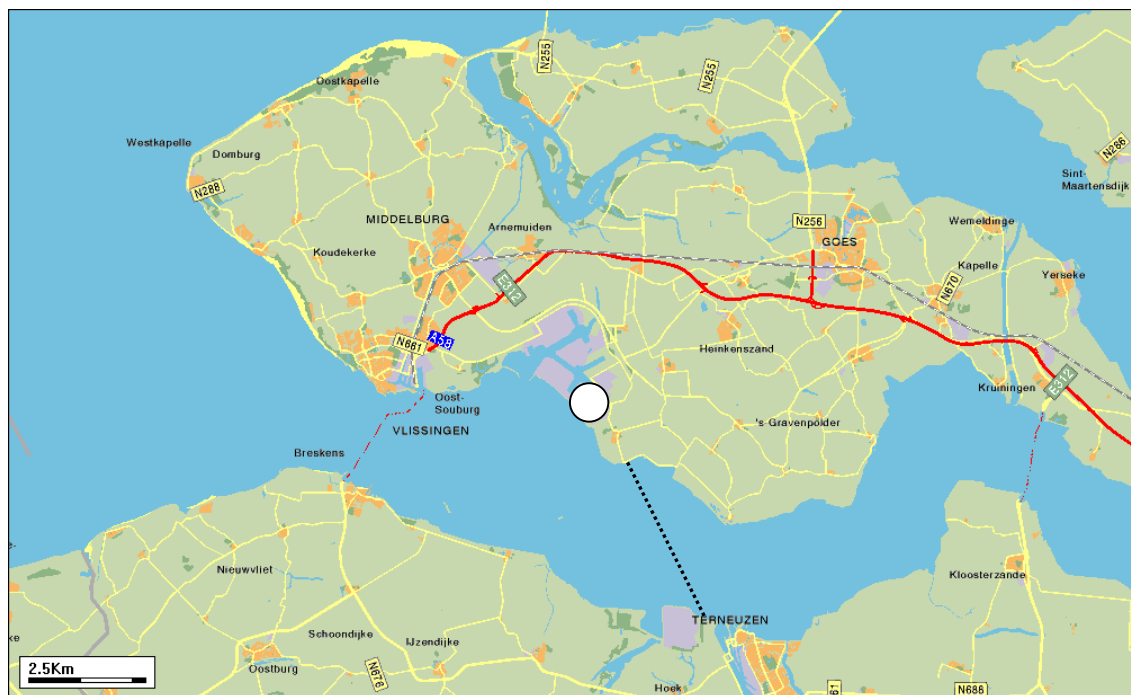
LITERATUUR

Bijlagen A t/m H

SAMENVATTING VAN HET MER "KERNCENTRALE BORSSELE; HOGERE VERRIJKING SPLIJTSTOF TOT 4.4%"

1 INLEIDING

De N.V. Elektriciteits-Produktie­maatschappij Zuid-Nederland (EPZ) exploiteert in Borssele een kerncentrale (KCB) met een netto elektrisch vermogen van 449 MW_e. Deze eenheid is in 1973 in bedrijf gesteld. De ligging van de KCB is aangegeven in figuur S.1.



Figuur S1 Situering KCB

EPZ is van plan de verrijkingsgraad van de splijtstof verder te verhogen tot 4,4%. Deze verhoging is een vervolgstap op de eerdere verhoging van 3,3% naar 4,0%, waarvoor in 1997 een vergunning is verleend. Het nieuwe voornemen is ingegeven door enerzijds mogelijkheden om een verdere kostenbesparing te bereiken, anderzijds door technologische ontwikkelingen met name op het gebied van beter materiaal voor de splijtstofstaven, die het thans verantwoord maken om hogere verrijking gecombineerd met een hogere opbrand van de splijtstof toe te passen.

Het onderhavige MER zal dienen ter onderbouwing van een aanvraag voor een (wijzigings)vergunning ingevolge artikel 15 onder b van de Kernenergiewet om splijtstof met een verrijkingsgraad tot maximaal 4,4% te mogen inzetten.

Volgens het Besluit m.e.r. 1994 bestaat voor de voorgenomen activiteit een zogenaamde beoordelingsplicht. De m.e.r.-beoordelingsplicht houdt in dat het bevoegd gezag dient te beoordelen of een MER dient te worden opgesteld. Deze beoordeling heeft in dit geval niet plaatsgevonden, omdat de initiatiefnemer EPZ op voorhand heeft besloten een MER op te stellen. Hierdoor blijft deze beoordeling achterwege.

De m.e.r.-procedure werd gestart met de bekendmaking van de Startnotitie in met name de Staatscourant van 17 juni 2003. Daarna volgde een periode van terinzagelegging ten behoeve van inspraak. Met inachtneming van onder andere het advies van de Commissie voor de milieueffectrapportage en de resultaten van inspraak, heeft het bevoegd gezag op 25 september 2003 de richtlijnen voor het MER vastgesteld. Het onderhavige MER is opgesteld op basis van deze richtlijnen. Daarin is onder meer geadviseerd om het MER beknopt te houden. Om die reden is deze samenvatting relatief beknopt gehouden.

De m.e.r.- en de vergunningprocedure zijn aan elkaar gekoppeld (zie figuur S3). Na indiening van MER en vergunningaanvraag worden deze documenten ter inzage gelegd. Gedurende een termijn van tenminste vier weken kan eenieder schriftelijk opmerkingen inbrengen. Ook kunnen opmerkingen mondeling worden ingebracht tijdens een openbare zitting, die door het Bevoegd Gezag wordt gehouden.

Het **bevoegd gezag** voor de Kew wordt gevormd door de Ministers van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), van Economische Zaken (EZ) en van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW).

De coördinatie berust bij het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM)

t.a.v. Directie Stoffen, Afvalstoffen, Straling / IPC 645

Postbus 30495

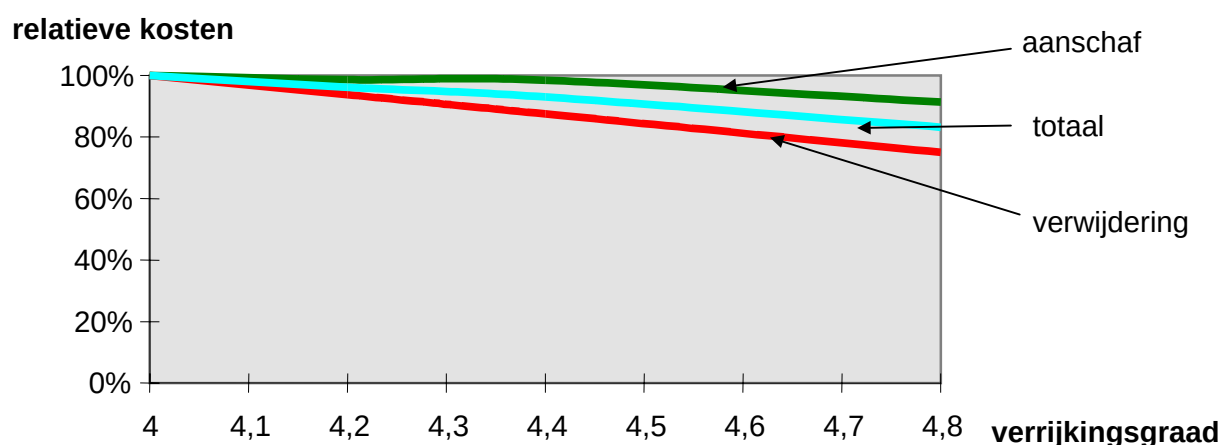
2500 GX Den Haag

2 PROBLEEMSTELLING EN DOEL

In kerncentrales met een drukwaterreactor, zoals de KCB, wordt als “brandstof” uranium toegepast. Voor het splijtingsproces is vooral het isotoop uranium-235 nodig. Het gehalte van dit isotoop in natuurlijk uranium is te laag voor een continu splijtingsproces in de reactor van de KCB. Daarom wordt het gehalte uranium-235 in een verrijkingsfabriek kunstmatig verhoogd. Bij een verrijkingsgraad van 3 à 5% zoals bij de KCB, spreekt men van licht verrijkt uranium.

Allereerst wordt een korte toelichting gegeven op de economische achtergrond van het project. In een geliberaliseerde stroommarkt is het van groot belang om de kosten te minimaliseren om de concurrentie met andere spelers te kunnen aangaan. EPZ levert stroom op de Europese elektriciteitsmarkt. De splijtstofkosten zijn in de praktijk bij een bestaande kerncentrale één van de kosten die substantieel kunnen worden beïnvloed. Bij het toepassen van een hogere verrijkingsgraad blijken de aanschafkosten van de splijtstof relatief gering te dalen. De verwijderingskosten (vooral voor opwerking en opslag) zijn daarentegen in sterkere mate afhankelijk van het aantal elementen dat opgewerkt moet worden. Bij een hogere verrijkingsgraad behoeven -bij gelijkblijvende elektriciteitsproductie en jaarlijkse bedrijfsperiode- jaarlijks minder elementen verwisseld en verwijderd te worden.

In figuur S2 zijn de splijtstofcycluskosten weergegeven als functie van de verrijkingsgraad, kosten ten opzichte van een verrijking van 4%.



Figuur S2 Jaarlijkse splijtstofcycluskosten als functie van de verrijkingsgraad van verse splijtstofelementen. De kosten bij 4% verrijking zijn als referentie (100%) genomen.

Samengevat komt het er op neer dat de nieuwe elementen minder snel vervangen hoeven te worden en daardoor verder uitgenut zullen worden (hogere “opbrand”), dan met de huidige elementen mogelijk is en dat daardoor kosten worden bespaard.

Technisch gezien is het project thans mogelijk door de beschikbaarheid van nieuwe materialen voor de splijtstofstaven en de ervaring die daar inmiddels internationaal mee is opgedaan (zie paragraaf 4.2). Omdat deze ervaring in 1996 ontbrak, is in die vergunningaanvraag geen hogere verrijkingsgraad dan 4,0% aangevraagd.

Uitgaande van de bovenomschreven probleemstelling luidt de doelstelling van de voorgenomen activiteit samengevat: “verlaging van splijtstofcycluskosten door toepassing van een hogere verrijking in de verse splijtstofelementen en daarbij te blijven voldoen aan de geldende veiligheidsmarges en het ALARA-beginsel.”

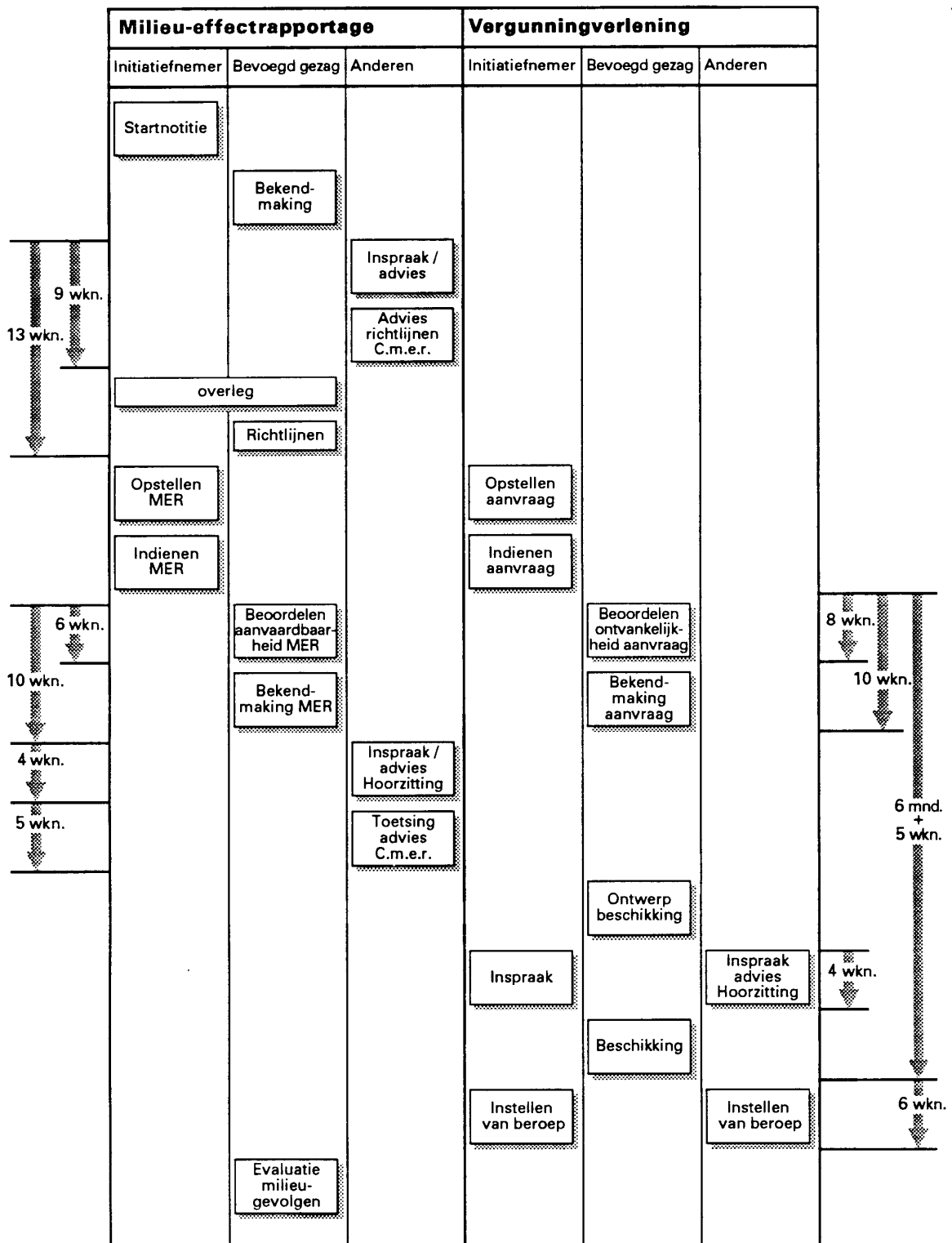
3 TE NEMEN EN EERDER GENOMEN BESLUITEN

De overheid dient het voornemen te toetsen aan haar beleid en regelgeving. De belangrijkste inhoudelijke toetsstenen zijn:

- Kernenergiewet met bijbehorende uitvoeringsbesluiten, zoals het Besluit stralingsbescherming (Bs) en het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen (Bkse)
- Besluit Milieueffectrapportage 1994
- Geldende vergunningen
- Risicobeleid en stralingsnormstelling
- Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding
- Beveiligingsrichtlijnen kerninstallaties

Dit MER is opgesteld ten behoeve van het besluit dat het Bevoegd Gezag moet nemen over de aangevraagde wijzigingsvergunning voor de Kew. Voor de samenstelling van het Bevoegd Gezag wordt verwezen naar hoofdstuk 1.

De procedures voor vergunningverlening krachtens de Kew zijn beschreven in de Algemene wet bestuursrecht en de Wet milieubeheer. De m.e.r.-procedure is geïntegreerd in de vergunningprocedure (zie figuur S3). Dat wil zeggen dat vergunningaanvraag en MER tegelijk worden ingediend en ook gecoördineerd worden behandeld.



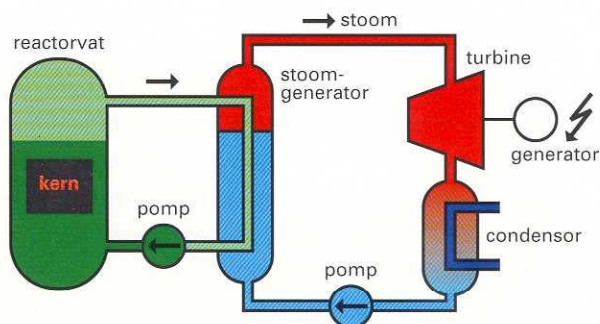
Figuur S3 Procedures m.e.r. en vergunningverlening

4 DE VOORGENOMEN ACTIVITEIT EN DE ALTERNATIEVEN

4.1 Bestaande situatie

Op de splijtstofcyclus werd reeds ingegaan in hoofdstuk 2. De cyclus verandert in principe niet ten gevolge van de voorgenomen activiteit.

Het prinsipeschema van de gehele technische installatie voor stroomopwekking is weergegeven in figuur S4.



Figuur S4 Prinsipeschema van kerncentrale Borssele.

Omdat dit principe en de niet-radiologische milieugevolgen, zoals bijvoorbeeld koelwaterlozingen, niet wijzigen, wordt daar in deze samenvatting niet nader op ingegaan.

De technische systemen rond de reactor en het stroomcircuit alsmede de diverse veiligheids-systemen zijn in paragraaf 4.2 van het MER beschreven. Deze systemen blijven eveneens ongewijzigd. De enige fysieke veranderingen betreffen de splijtstofelementen en het splijtstofopslagbassin. Deze veranderingen worden in de volgende paragraaf beschreven.

4.2 Voorgenomen wijzigingen

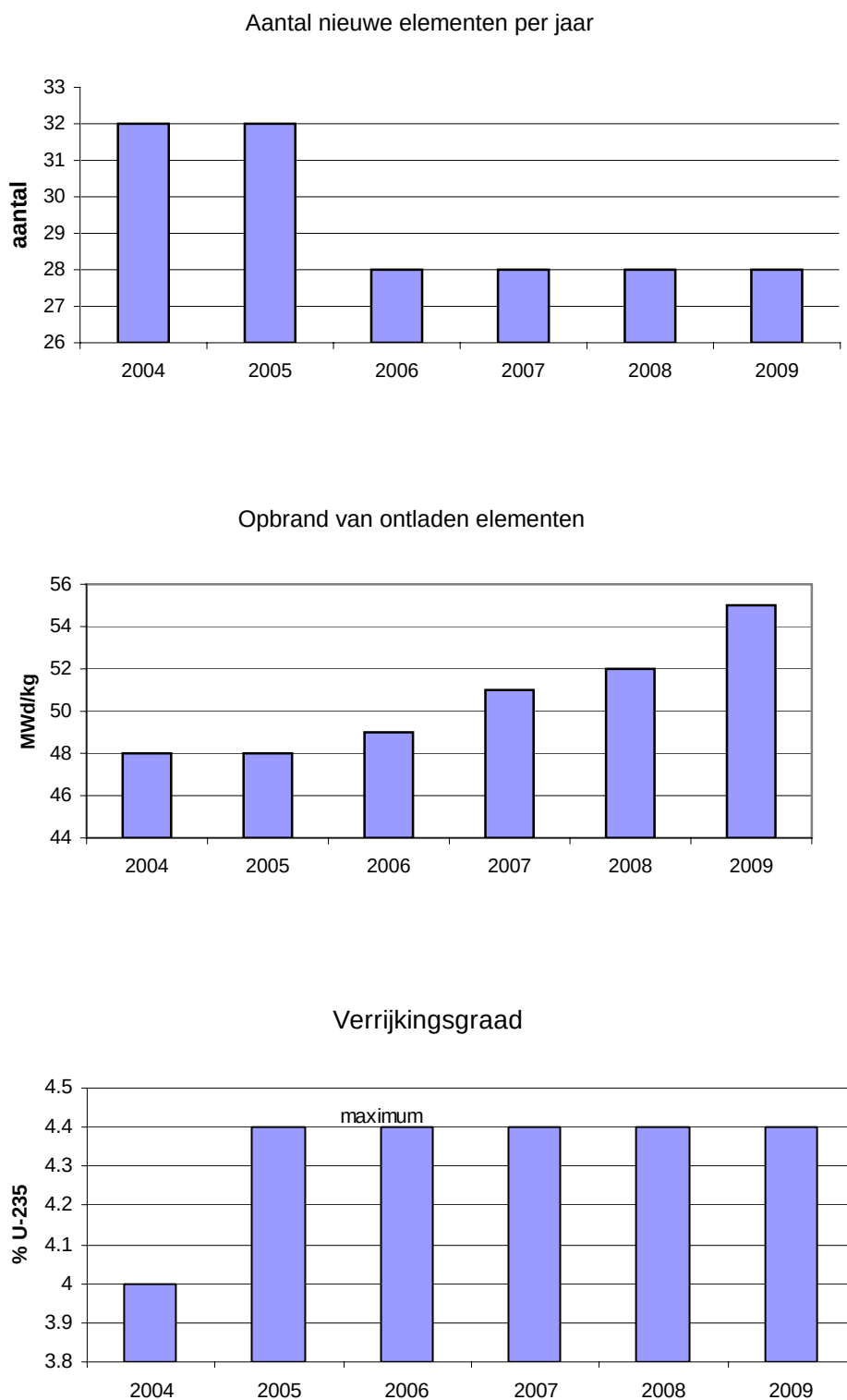
Tabel S1 geeft een overzicht van de belangrijkste wijzigingen in de kentallen van de splijtstof die ten gevolge van de voorgenomen activiteit zullen optreden.

Tabel S1 Overzicht van de belangrijkste wijzigingen in de splijtstofkentallen ten gevolge van de voorgenomen activiteit

	huidige situatie	voorgenomen activiteit	eenheid
beginverrijking (maximaal)	4,0	4,4	%U-235
gemiddelde opbrand van ontladen elementen (circa)	48 ¹⁾	55	MWd/kgU
Maximum elementgemiddelde opbrand	55	65	MWd/kgU
Maximum staafgemiddelde opbrand	59	68	MWd/kgU
gemiddeld aantal ontladen elementen (circa)	32	28	aantal/jaar
hoeveelheid U in kern (circa)	39	39	1000 kg

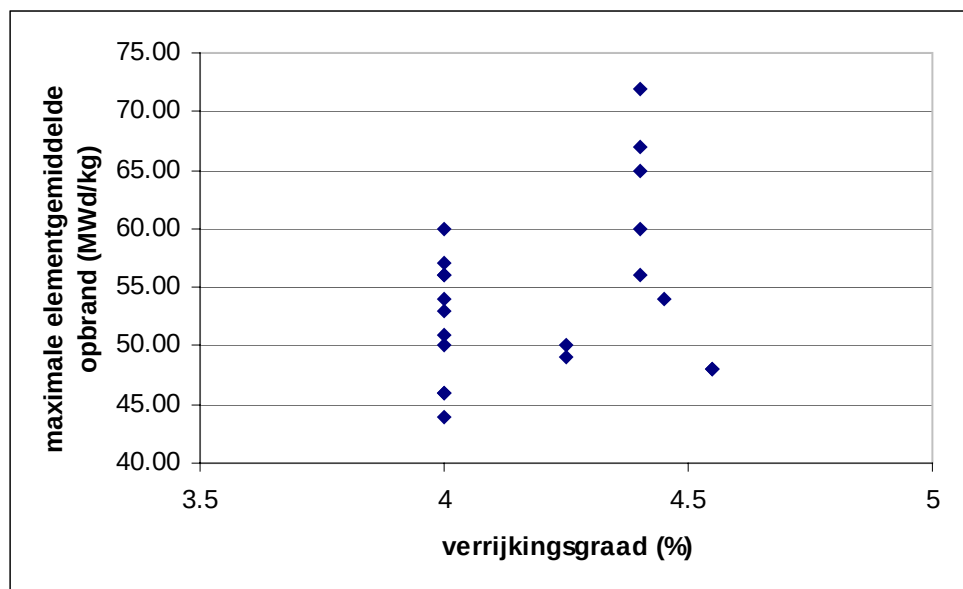
¹⁾ op termijn te bereiken bij een verrijking van 4,0%

Uiteraard zal de overgang niet bij één splijtstofwisseling plaatsvinden. Naar verwachting zijn daar 4 à 5 wisselingen voor nodig. In figuur S5 is een indicatie gegeven hoe de overgang van de huidige situatie naar de nieuwe situatie zal gaan verlopen. Daarbij wordt opgemerkt dat de veiligheid van de jaarlijkse inzet van nieuwe splijtstofelementen en van het ontladen van gebruikte elementen ieder jaar geëvalueerd wordt. Deze evaluatie wordt ter goedkeuring voorgelegd aan de Kernfysische Dienst van VROM.



Figuur S5 Geleidelijke overgang naar de voorgenomen verrijkingsgraad qua aantal ontladen splijtstofelementen per jaar, gemiddelde opbrand van ontladen elementen en gemiddelde verrijkingsgraad van nieuwe elementen

In figuur S6 zijn huidige feitelijke verrijgingsgraden en opbrandwaarden van drukwaterreactoren in Duitsland weergegeven.



Figuur S6 Huidige verrijkingsgraden en opbrandwaarden van Duitse kerncentrales met drukwaterreactoren.

N.B. een aantal punten in de grafiek vertegenwoordigen twee of meer reactoren.

Ten aanzien van de toegepaste verrijkingsgraden kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

1. verrijkingsgraden onder 4% worden (nagenoeg) niet meer toegepast,
2. circa 50% van de reactoren past al een verrijkingsgraad boven 4% toe,
3. slechts enkele reactoren passen een verrijkingsgraad boven 4,4% toe.

Uit figuur S6 is af te leiden dat de opbrand bij een hogere verrijkingsgraad gemiddeld hoger ligt dan bij lagere verrijkingsgraad. Gemiddeld genomen is bij een verrijkingsgraad van 4,0% de maximale elementgemiddelde opbrand 52 MWd/kg en bij de groep boven 4% de opbrand 57 MWd/kg. Elementgemiddelde opbrandwaarden tot 72 MWd/kg worden in Duitsland reeds toegepast.

Ook elders in de wereld is er een algemene trend om naar hogere verrijkingsgraden en opbrandwaarden te gaan, vooral om de economische voordelen daarvan te benutten (zie tabel S2). Zo worden in de Verenigde Staten al sinds 1998 verrijkingsgraden tot 4,4% toegepast bij staafgemiddelde opbranden tot 62 MWd/kgU en in Frankrijk worden verrijkingsgraden tot 4,4% toegepast bij staafgemiddelde opbrandwaarden tot meer dan 60

MWd/kgU. Enkele voorlopercentrales bereiken reeds staafgemiddelde opbrandwaarden tot 80 MWd/kgU. Tevens zijn in Frankrijk plannen ontwikkeld om de verrijkingsgraad stapsgewijs verder te verhogen tot 5% met opbrandwaarden tot 70 MWd/kgU (elementgemiddeld).

Land	Verrijkingsgraad tot [%]	Elementgemiddelde opbrand tot [MWd/kgU]	Staaftgemiddelde opbrand tot [MWd/kgU]
Verenigde Staten	4,4	59	62
België	4,45	55	60
Frankrijk	4,4	56	61 (80 *)
Duitsland	4,55	72	76
Zwitserland	Niet bekend	60	65
Zweden	Niet bekend	60	64

*) in voorlopercentrales met M5-splijtstofomhullingsmateriaal werd een opbrand van 80 MWd/kgU bereikt .

Tabel S2 Overzicht van maximaal toegepaste verrijkingsgraden en opbrandwaarden in de Verenigde Staten en Europa.

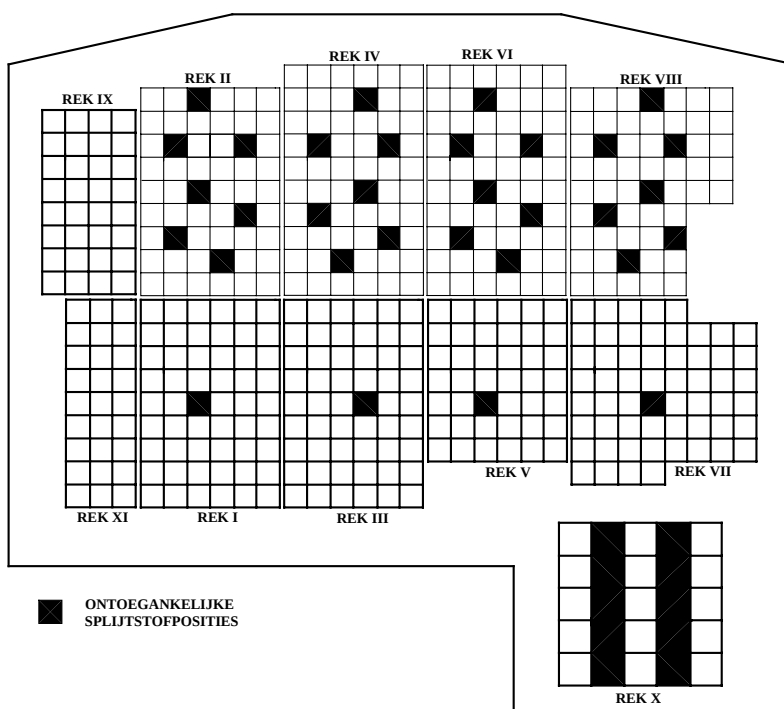
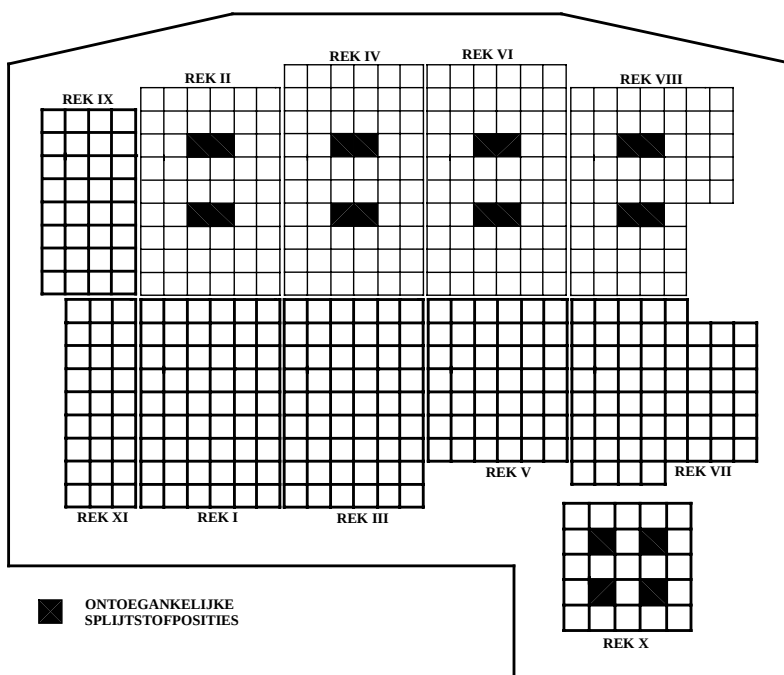
Uit een vergelijking van de internationale ontwikkeling blijkt dat de kerncentrales in Duitsland voorop lopen voor wat betreft het toepassen van hogere opbrandwaarden. De kerncentrale Borssele kan qua ontwerp, constructie en bedrijfsvoering ook het beste met deze Duitse centrales vergeleken worden.

De ontwikkeling naar hogere verrijkingsgraden en opbrandwaarden wordt mogelijk gemaakt door de voortschrijdende ontwikkelingen op op metallurgisch gebied, met name voor wat betreft het omhullingsmateriaal van de splijtstof, wat nu hogere belastingen ten gevolge van warmte, straling en corrosie kan verduren. Het met ingang van de splijtstofwisseling 2004 in de kerncentrale Borssele in te zetten HTP (High Thermal Performance) splijtstofelement is hiervan een voorbeeld.

De tot op heden verkregen testresultaten en opgedane ervaringen hebben inmiddels laten zien dat met de nieuwe materialen staafgemiddelde opbrandwaarden tot circa 70 MWd/kg zonder bezwaar kunnen worden toegepast.

EPZ vraagt vergunning aan voor een verrijkingsgraad van 4,4% +/- 0,05% en een maximale staafgemiddelde opbrand van 68 MWd/kg. Zoals uit figuur S6 blijkt is hier elders al de nodige ervaring mee opgedaan. In paragraaf 4.3.2 van het MER wordt de nadere onderbouwing gegeven dat de inzet daarvan veilig mogelijk is.

Door de introductie van de splijtstofelementen met een hogere verrijkingsgraad zouden in principe de veiligheidsmarges ten opzichte van onbedoelde kernreacties in het splijtstofopslagbassin kunnen worden verkleind. Om zeker te stellen dat ook in de nieuwe situatie nooit dergelijke kernreacties kunnen optreden, zullen compenserende maatregelen worden genomen, die een combinatie zullen zijn van technische en procedurele maatregelen. Figuur S7 illustreert het plan van EPZ om daartoe nog enkele extra opslagposities in het opslagbassin ontoegankelijk te maken. Om praktische redenen kan van het afdekkingspatroon afgeweken worden. Het definitieve afdekkingspatroon zal echter altijd door de Kernfysische Dienst zijn goedgekeurd alvorens splijtstof met een hogere verrijkingsgraad dan 4,0% zal worden ingezet.



Figuur S7 Schematisch bovenaanzicht van het splijtstofopslagbassin met de afgesloten posities in de bestaande situatie (boven) en de nieuwe situatie (onder).

4.3 De alternatieven

In paragraaf 4.2 van het MER zijn de volgende alternatieven beschouwd:

- nulalternatief
- verrijkingalternatieven
- het meest milieuvriendelijke alternatief.

Het nulalternatief beschouwt de situatie waarin de hogere verrijking niet wordt uitgevoerd. EPZ zou door toepassing hiervan economische voordelen missen zonder dat de veiligheid significant beter blijft vergeleken met het voornemen. Derhalve is het nulalternatief voor EPZ geen reëel alternatief.

De onderzochte alternatieven ten aanzien van de verrijking gaan uit van verrijgingsgraden van 4,2% (gelegen tussen de huidige situatie met 4,0% en de voorgenomen verrijking met 4,4%) respectievelijk 4,8%: een verdere verhoging van de verrijgingsgraad.

5 BESTAANDE MILIEUTOESTAND EN MILIEU-EFFECTEN VOORGENOMEN ACTIVITEIT

5.1 Afbakening

In dit en het volgende hoofdstuk worden alleen de milieueffecten beschreven die door de voorgenomen activiteit beïnvloed worden. Derhalve worden de volgende milieueffecten niet beschreven: geluid, visuele beïnvloeding en landschap en overige niet-radiologische milieuzaken.

5.2 Veiligheid

De veiligheid van kernreactoren wordt veelal langs twee lijnen benaderd: de ontwerp-ongevallen en de buiten-ontwerpongevallen. Deze twee benaderingen zijn ook voor de KCB gevolgd.

Ontwerp-ongevallen zijn de ongevallen waartegen de installatie ontworpen is. Daarbij moet aangetoond worden dat de radiologische gevolgen van die ongevallen binnen de daarvoor geldende normen blijven. De ontwerpongevallen voor de KCB zijn vastgesteld op basis van

internationale aanbevelingen van het IAEA¹. Voor deze ongevallen zijn analyses uitgevoerd voor de thans gebruikte splijtstof en voor de splijtstof met hogere verrijking. Deze analyses hebben aangetoond dat bij de meeste ontwerpgevallen geen radioactiviteit vrij komt. In de gevallen dat wel radioactiviteit vrijkomt, blijven de doses ruim tot zeer ruim onder de daarvoor geldende grenswaarden (zie tabel 5.4.2 van het MER). In de beoogde situatie blijken de belastingen marginaal (minder dan 1%) te verminderen, zodat de conclusies gelijk blijven.

Buiten-ontwerpgevallen zijn de ongevallen die de installatie niet (volledig) kan beheersen. De kans dat deze zeer ernstige ongevallen optreden is echter zeer gering. De kansen en gevolgen worden beschreven in zogenaamde risico-analyses. Daarbij wordt eerst vastgesteld wat de kans is dat de kern wordt beschadigd. Deze kans wordt door de voorgenomen activiteit niet beïnvloed. De effecten zijn uitsluitend het gevolg van verschillen in kernsamenstelling.

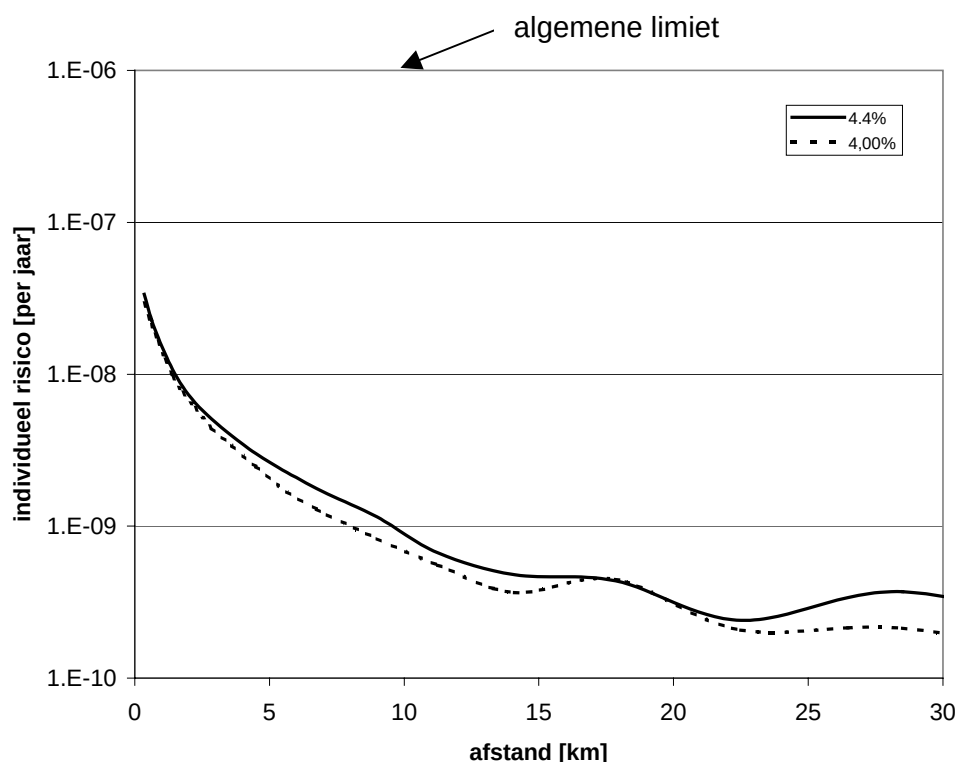
Voor zowel de bestaande als de beoogde situatie zijn de kansen berekend dat een persoon in de omgeving van de KCB overlijdt (individueel risico) respectievelijk dat tenminste 10 dodelijke slachtoffers (groepsrisico) vallen ten gevolge van een ongeval binnen de KCB.

Het maximale individuele risico treedt op aan de terreingrens op 350 meter afstand van de KCB. In de huidige situatie bedraagt dit risico $3,4 \cdot 10^{-8}$ per jaar. Daarmee wordt ruim voldaan aan het algemene toetsings-criterium van de overheid voor het individueel risico, te weten $1 \cdot 10^{-6}$. Op grotere afstand ligt dit risico blijkens figuur S8 nog lager.

In de beoogde situatie ligt het individueel risico, aan de terreingrens, 3% hoger dan bij de hierboven beschreven huidige situatie. In figuur S8 is het individueel risico als functie van de afstand gegeven voor de bestaande en de beoogde situatie.

Het groepsrisico blijft niet relevant. De kans dat 10 directe slachtoffers of meer vallen is kleiner dan 10^{-10} (maximale toelaatbare waarde 10^{-5}).

¹ International Atomic Energy Agency

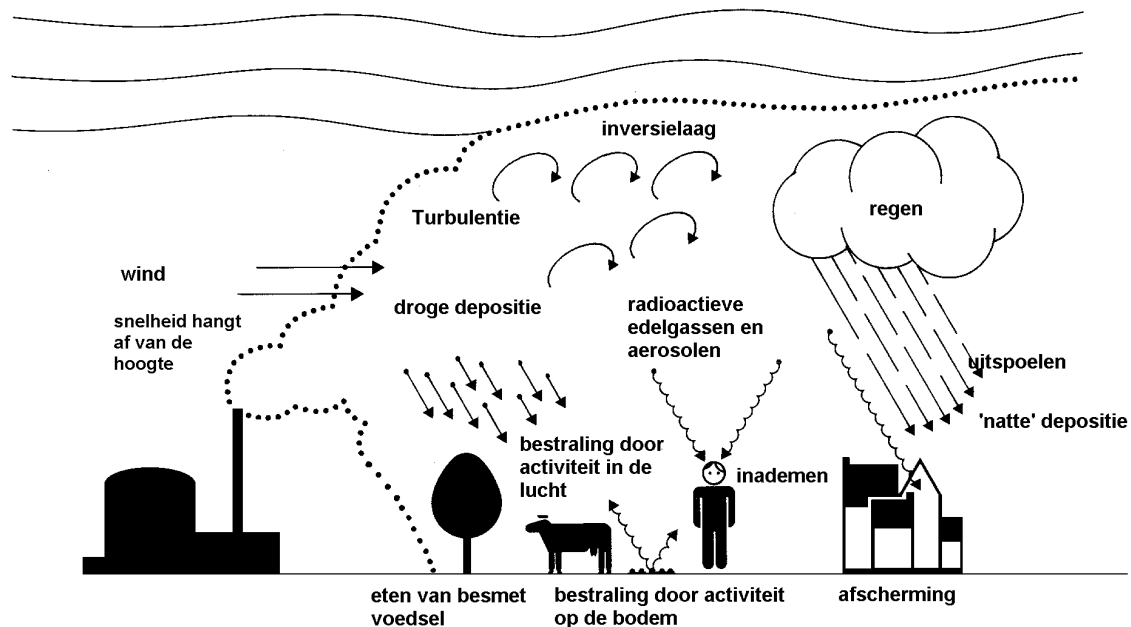


Figuur S8 Totaal maximaal individueel risico per jaar bij de voorgenoemde activiteit (geen tegenmaatregelen, zoals evacuatie en jodiumverstrekking) als functie van de afstand bij een verrijkingsgraad van 4.0 en 4.4%

5.3 Luchtkwaliteit en straling bij normaal bedrijf

De geringe hoeveelheden radioactiviteit die de KCB tijdens normaal bedrijf loost, kunnen langs verschillende wegen mens en milieu belasten. Dit is schematisch weergegeven in figuur S9.

De verschillende bijdragen zijn met modellen berekend op grond van de werkelijk opgetreden emissies in de periode 1993-2002. De maximale waarde van de totale stralingsbelasting op grond van de gemiddelde emissies over bovengenoemde periode bedraagt in de bestaande situatie 10 nSv/jaar. Uitgaande van de maximale emissies is een bijdrage van 30 nSv/jaar berekend. De (wettelijk) toegestane dosislimiet bedraagt 100 μ Sv/jaar, de omgerekende dosis op basis van de vergunningslimiet 650 nSv/jaar. De berekende waarden liggen ver onder deze limieten. In de beoogde situatie veranderen deze waarden niet.



Figuur S9 Schematische weergave van de verspreiding van radioactiviteit uit de KCB en blootstellingswegen naar mens en milieu

5.4 Radioactief afval

Het afval, afkomstig uit de gebruikte splijtstof- en regелеlementen moeten afgevoerd worden als hoog-radioactief afval. De hoeveelheid splijttingsproducten blijft gelijk omdat die aan de geproduceerde energie gekoppeld is. De hoeveelheid niet-warmteproducerend afval neemt met ongeveer 12% af, de radioactiviteit van de ontladen splijtstofelementen met ongeveer 10%.

In de KCB komt voorts enig middel- en laag-radioactief afval vrij. Deze hoeveelheden en de radioactiviteit worden echter niet significant door de voorgenomen activiteit beïnvloed.

5.5 Plutonium productie

Uit proliferatie oogpunt is het vrijkomen van plutonium een relevant gegeven. Met toenemende verrijking blijkt de hoeveelheid splijtbaar plutonium (plutonium-239) af te nemen. Het geproduceerde plutonium bestaat overigens ook uit isotopen (met name plutonium-240), wat het minder geschikt maakt voor toepassing in kernwapens.

6 VERGELIJKING MILIEUGEVOLGEN VAN DE VOORGENOMEN ACTIVITEIT EN DE ALTERNATIEVEN

6.1 Vergelijking alternatieven

In deze vergelijking zijn alleen die grootheden betrokken waarvan gebleken is dat deze door de voorgenomen activiteit of de alternatieven wezenlijk worden beïnvloed. Deze gegevens zijn samengebracht in tabel S3.

Tabel S3 Vergelijking van de huidige situatie (=nulalternatief) met de beoogde situatie en de alternatieven.

milieu-effect c.q. bedrijfsaspect	verrijkingsgraad			
	huidige situatie 4,0%	procentuele verschillen t.o.v. de huidige situatie		
		alternatief 4,2%	beoogd 4,4%	alternatief 4,8%
buiten-ontwerpongevallen				
- kans op kernsmelten (per jaar)	$4,3 \cdot 10^{-6}$	0%	0%	0%
- individueel risico (per jaar)	$3,4 \cdot 10^{-8}$	2%	3%	8%
- groepsrisico	n.r. ¹⁾	n.r. ¹⁾	n.r. ¹⁾	n.r. ¹⁾
- aantal opgebrande splijtstofelementen per jaar	32	-6,7%	-12,5%	-25%
- activiteit hoogradioactief afval (PBq na 500 dagen)	774	-4%	-10%	-23%
- hoeveelheid plutonium (kg/jaar)	102	-5%	-10%	-20%

¹⁾ het groepsrisico is niet relevant (n.r.) omdat de kans op 10 of meer directe dodelijke slachtoffers kleiner is dan 10^{-10} per jaar

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de veiligheid niet significant door de voorgenomen activiteit of de alternatieven wordt beïnvloed. Alleen het zeer lage individuele risico neemt met enkele procenten toe.

De hoeveelheid en de activiteit van het hoogradio-actieve afval en de geproduceerde hoeveelheid plutonium nemen enigszins af. De overige risico's van de splijtstofcyclus (o.a. transport van ontladen elementen) blijken verhoudingsgewijs gering waardoor de invloed van de alternatieven slechts marginaal is.

6.2 Conclusies

Uit het voorgaande trekt EPZ de conclusie dat:

1. de voorgenomen activiteit de veiligheid op sommige punten niet en op andere punten licht negatief beïnvloedt. De KCB blijft echter ruim tot zeer ruim aan alle veiligheidscriteria voldoen.
2. de voorgenomen activiteit de hoeveelheid hoogradioactief afval met circa 12% zal doen verminderen en ook de totale activiteit van dit afval met circa 10% zal afnemen
3. dankzij de voorgenomen activiteit de jaarlijks geproduceerde hoeveelheid plutonium met circa 10% daalt
4. het alternatief 4,8% verrijking op de belangrijkste milieuaspecten nog beter scoort dan de voorgenomen activiteit, maar niet realistisch is omdat er op dit ogenblik onvoldoende ervaring is met verrijking boven 4,4% (zie figuur S6) en de daarmee gepaard gaande hoge waarden voor de opbrand.
5. het alternatief 4,2% verrijking op de belangrijkste milieuaspecten minder scoort dan de voorgenomen activiteit.
6. de voorgenomen activiteit als meest milieuvriendelijke alternatief beschouwd kan worden.

7 LEEMTEN IN KENNIS EN EVALUATIEPROGRAMMA

Er zijn geen leemten in kennis vastgesteld die van belang zouden kunnen zijn voor de besluitvorming. In het MER is een aanzet gegeven voor een evaluatieprogramma, waarin de belangrijkste milieugevolgen van het project, zoals de veiligheid en de radioactieve emissies naar de lucht, zijn opgenomen. Ook zijn in dit MER de positieve conclusies van de uitgevoerde evaluatie van het vorige MER samengevat.

1	Inleiding	1
2	Probleemstelling en doel	3
3	Te nemen en eerder genomen besluiten	4
4	De voorgenomen activiteit en de alternatieven.....	6
4.1	Bestaande situatie	6
4.2	Voorgenomen wijzigingen.....	7
4.3	De alternatieven.....	13
5	Bestaande milieutoestand en milieu-effecten voorgenomen activiteit	13
5.1	Afbakening	13
5.2	Veiligheid	13
5.3	Luchtkwaliteit en straling bij normaal bedrijf	15
5.4	Radioactief afval	16
5.5	Plutonium productie	16
6	Vergelijking milieugevolgen van de voorgenomen activiteit en de alternatieven..	17
6.1	Vergelijking alternatieven.....	17
6.2	Conclusies	18
7	Leemten in kennis en evaluatieprogramma.....	18

VERKLARENDE LIJST VAN BEGRIPPEN, AFKORTINGEN, SYMBOLEN EN EENHEDEN, VOORVOEGSELS EN ELEMENTEN**Begrippen**

Actiniden	De groep chemische elementen met 90 tot 103 protonen in de kern
Activiteit	Verschijsel, dat stoffen radioactief zijn (eenheid: becquerel, Bq)
Afstandhouder	Onderdeel splijtstofelement dat splijtstofstaven op juiste onderlinge afstand houdt
Aërosolen	Zeer kleine stofdeeltjes, die zich als gas gedragen
ALARA	As low as reasonably achievable; zo laag als redelijkerwijs mogelijk. Voor uitleg van het begrip zie paragraaf 3.2.3
Begingebeurtenis	(Veronderstelde) gebeurtenis, die het begin kan zijn van een ongeval
Beginverrijking	Verrijking van verse (nieuwe) splijtstofelementen
Beladingsplan	Plan dat aangeeft hoe de reactor voor een bepaalde cyclus beladen zal worden
Beoogde situatie	Situatie na invoering van de voorgenomen activiteit
Bestaande situatie	Situatie op het moment van indiening van dit MER
Boreringsystemen	Systemen die borium aan het koelmiddel van de kern toevoegen om de reactiviteit te beheersen
Bronterm	Hoeveelheid en soort radioactieve stoffen, die geloosd kunnen worden, inclusief gegevens over moment, lozingsduur, warmte-inhoud, lozingshoogte en kans van optreden
Bronterm-groep	Groep van brontermen, die een grote overeenkomst vertonen

Buiten-ontwerp ongeval	Een verondersteld ongeval, waarvoor de installatie niet is ontworpen
Compactrek	Rek voorzien van neutronenabsorberend materiaal waarin splijtstofelementen op compacte wijze worden opgeslagen
Debiet	De hoeveelheid van een stof, die per tijdseenheid passeert
Depositie	Het op de bodem terechtkomen van (verontreinigende) stoffen
Deterministisch	- gebruikt bij evaluatie: overeenkomstig regelgeving of op andere wijze geldende criteria - gebruikt bij gezondheidseffecten: acute effecten als gevolg van hoge stralingsdoses - of op andere wijze geldende normen
Dosis	Geabsorbeerde stralingsenergie per massa-eenheid (eenheid: Gray, Gy)
Dosisequivalent	Produkt van de dosis en de kwaliteitsfactor, waarin de biologische werkzaamheid van de diverse typen straling is verdisconteerd (eenheid: sievert, Sv)
Drukwaterreactor	Reactor waarin de opgewekte warmte door koelwater dat onder druk staat (en daardoor niet kookt) en via een stoomgenerator wordt overgedragen wordt overgedragen aan een secundair systeem waarin stoom ontstaat die een turbine aandrijft
Edelgassen	Gassen, die geen chemische verbinding met andere elementen kunnen vormen
Effectieve dosis	Dosiswaarde, die dient om het optreden van lange-termijneffecten (kanker) te kunnen beoordelen
Element	1. Kleinste eenheid van chemische stoffen 2. Zie splijtstofelement
Emissie	Uitworp (lozing) van stoffen in het milieu

Evenwichtskern	Kern waarbij ieder jaar sprake is van (ont)laden van hetzelfde aantal elementen met dezelfde eigenschappen
Foutenboom	Ketens van mogelijke gebeurtenissen die tot een bepaalde fout kunnen leiden
Gebeurtenissenboom	Ketens van mogelijke gevolgen van een begingebuurtenis
Geboreerd water	Water, waaraan borium is toegevoegd
Geleidingsbuizen	Geleiders voor de regelstaven
Groepsrisico	De kans per jaar dat gelijktijdig een groep van tenminste 10 personen het dodelijk slachtoffer is van een bepaald ongeval
Halogenen	Groep elementen, die zich met metalen tot zout kunnen verbinden
Herladen	Het plaatsen van nieuwe elementen en herplaatsen van gebruikte elementen in de reactor
Immersie	Versijnsel, waarbij individuen door een gas (met radioactieve componenten) worden omgeven
Immissie	Concentratie van stoffen in het milieu op leefniveau
Individueel risico	Kans op overlijden van een omwonende als gevolg van een activiteit
Ingestie	Opname van stoffen via de slokdarm (o.a. van radioactieve stoffen)
Inhalatie	Inademing (o.a. van radioactieve stoffen)
Initiële verrijking	Zie beginverrijking
Ioniserende straling	Straling die verplaatsing van elektronen tussen atomen teweeg kan brengen

Isotopen	Verschillende atomen van eenzelfde element met dezelfde chemische eigenschappen, echter met verschillend kerngewicht
Kernbeschadigingsfrequentie	De kans (per jaar) dat in een bepaalde reactor de reactorkern geheel of gedeeltelijk smelt
Kerninundatie	Onder water zetten (of houden) van de kern
Kernsmeltfrequentie	Zie kernbeschadigingsfrequentie
Kernsplijting	Het splijten van een atoomkern in twee (lichtere) delen
Kernsplijtingsafval	Het afval dat overblijft nadat uit gebruikte splijtstof tijdens de opwerking nog bruikbare splijtstof is teruggewonnen
Kriticaliteit	Toestand van de reactor ten opzichte van de kritieke toestand
Kritieke toestand	Toestand van een hoeveelheid splijtstof waarin zoveel splijtingen optreden dat de kettingreactie zichzelf precies in stand houdt
Lichtwaterreactor	Reactor waarin gewoon water wordt toegepast als koelmiddel en moderator (zie ook zwaarwaterreactor)
(Meest) milieu-vriendelijke alternatief	Het alternatief voor de voorgenomen activiteit met minder (de minste) milieubelasting
Modereren	Vertragen (van neutronen)
Natuurlijk verval	Zie radioactief verval
Neutron	Ongeladen deeltje uit atoomkernen
Neutronenabsorber	Materiaal dat neutronen effectief absorbeert
Nuclide	zie isotopen
Nulalternatief	Het alternatief waarbij de voorgenomen activiteit niet wordt uitgevoerd

Onderkriticaliteit	Mate waarin een hoeveelheid splijtstof zich beneden de kritieke toestand bevindt
Ongevalsanalyse (bij ontwerp-ongevallen)	Studie omtrent het verloop van een ongeval
Ongevalsmanagement- maatregelen	Door het personeel te treffen maatregelen aan de installatie tijdens ongevallen
Ongevalsscenario	Reeks van opeenvolgende gebeurtenissen tijdens een ongeval volgend op een begingebuurtenis
Ontladen (van elementen)	Het verwijderen van elementen uit de kern
Ontmanteling	Het afbreken van een (kerntechnische) installatie
Ontwerpongeval	Ongeval waarop de installatie is ontworpen en dus tegen bestand is
Opwerking	Serie chemische processen waarbij de resterende splijtstof uit gebruikte splijtstof wordt teruggewonnen
Opbrand	Mate waarin splijtstof opgebrand (= verspleten) is. De opbrand kan gezien worden per (deel van de) splijtstofstaaf, per splijtstofelement dan wel voor de gehele of het ontladen deel van de kern
Probabilistische veiligheidsanalyse	Veiligheidsanalyse op basis van waarschijnlijkheids-rekening een systematisch onderzoek naar de kans van optreden van kernbeschadiging en het bepalen van de gevolgen voor de omgeving
Proton	Positief geladen deeltje uit een atoomkern
Radioactief verval	Natuurlijk proces waarbij de kern van een instabiel atoom overgaat in een andere kern(-toestand)
Radioactieve stoffen	Stoffen, die ioniserende straling uitzenden

Reactiviteitsongeval	Een ongeval in een kernenergiecentrale, waarbij de kernsplijtingsreactie niet meer kan worden beheerst en exponentieel in intensiteit toeneemt
Reactiviteit (nucleair)	Mate waarin de kettingreactie in een kernreactor voortgang vindt
Reactiviteitscoëfficiënt	Geeft invloed van een variabele (bijvoorbeeld druk of temperatuur) op de reactiviteit
Reactor	Installatie waarbinnen een beheerste kettingreactie van kernsplijtingen op gang gehouden worden
Regelstaaf	Onderdeel in kernreactor om aantal splijtingen per tijdseenheid te regelen
Regelstaafgeleidingsbuis	Onderdeel splijtstofelement dat regelstaaf geleidt
Restwarmte	De som van de warmte die door verval van radioactieve splijtingsprodukten na het afschakelen van de reactor ontstaat (vervalwarmte), en de op het moment van afschakelen in het primaire systeem opgeslagen warmte
Risico	Ongewenste gevolgen van een bepaalde activiteit verbonden met de kans, dat deze zich zullen voordoen
Smooorelement	Deze elementen sluiten de geleidingsbuizen gedeeltelijk af voor koelmiddel op de plaatsen waar geen regelelementen aanwezig zijn
Snelle reactor	Reactor waarin de kernsplijtingen veroorzaakt worden door snelle neutronen
Splijtstof	Stoffen waarmee in een kernreactor een kettingreactie van kernsplijtingen in stand kan worden gehouden
Splijtstofcyclus	De kringloop van splijtbaar materiaal vanaf ertswinning tot en met de opberging van het radioactief afval
Splijtstofelement	Constructie van aan elkaar gemonteerde splijtstofstaven

Splijststofopslagbassin	Met geboreerd water gevuld bassin waarin gebruikte en nieuwe splijststofelementen tijdelijk worden opgeslagen
Splijststofstaaf	Buis waarin de splijststof zich bevindt, in de vorm van een stapel tabletten uraniumdioxide
Splijststoftabletten	Tabletten van splijststof (verrijkt uraniumdioxide) waarmee, in een kolom gestapeld, splijststofstaven gevuld worden
Splijststofwisseling	Verwisseling van gebruikte splijststofelementen onderling of door verse elementen
Stochastisch	Gebruikt bij gezondheidseffecten: effecten op lange termijn als gevolg van straling
Straling	Zie ioniserende straling
Strang	Leiding met toebehoren
Terrestrische (oorsprong)	Uit de aarde afkomstig
Thermische reactor	Reactor waarin de kernsplijtingen veroorzaakt worden door vertraagde neutronen
Toxisch	Giftig
Tussenopslag	Tijdelijke opslag (van splijststofelementen) voor afvoer naar opwerkingsfabriek
Vermenigvuldigingsfactor	Factor die aangeeft hoeveel neutronen door kernsplijting vrijkomen als gevolg van één vrijkomend neutron
Verrijking	Verhoging van de concentratie van het splijtbaar uranium ²³⁵ in het natuurlijke uranium
Verrijkingsgraad	Gewichtspercentage splijtbaar materiaal in een splijststof
Verrijkingsgraad 4,0%	(3,98 +/- 0,02) %

Verrijkingsgraad 4,4%	(4,40 +/- 0,05) %
Versplijtingsgraad	Zie opbrand
Vervalwarmte	Warmte die vrijkomt uit splijtstof nadat de reactor is uitgeschakeld
Voorgenomen activiteit	In dit MER het verhogen van de verrijkingsgraad naar 4.4%
Voorziening (financieel)	Financiële reservering (bijvoorbeeld voor ontmanteling of verwerking en opslag radioactief afval)
Zircaloy	Legering waarin onder meer het element zirkonium wordt toegepast

Afkortingen

Bkse	Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen
BTG	Bronterm-groep
CCB	Conventionele Centrale Borssele
CCFD	Complementaire cumulatieve frequentie distributie (verdeling)
Cogema	Opwerkingsfabriek voor de splijtstofelement van KCB
COVRA	N.V. Centrale Organisatie voor Radioactief Afval
ECN	Energieonderzoek Centrum Nederland
EPZ	N.V. Elektriciteits-Produktie maatschappij Zuid-Nederland
EZ	Ministerie van Economische Zaken
GKN	Gemeenschappelijke Kernenergiecentrale Nederland
IAEA	International Atomic Energy Agency
IBC	Isoleren, beheersen en controleren (criteria voor milieuverantwoorde opslag van stoffen)
ICRP	International Commission on Radiological Protection
KCB	Kernenergiecentrale Borssele
KEW	Kernenergiewet
KFD	Kernfysische Dienst
KSA	Kernsplijtingsafval
KTA	Kerntechnischer Ausschuß
m.e.r.	milieu-effectrapportage (de procedure)

MER	Milieu-effectrapport
N.V. EPZ	N.V. Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland EPZ
N.V. Sep	N.V. Samenwerkende elektriciteits-productiebedrijven
NEA	Nuclear Energy Agency
NMP	Nationaal Milieubeleidsplan
NPK	Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding
NUREG	Identificatie van USNRC-documenten
NUSS	Nuclear Safety Standards
NVR	Nucleaire Veiligheidsregels
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
PSA	Probabilistic Safety Assessment
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
RWS	Rijkswaterstaat
SEV	Structuurschema elektriciteitsvoorziening
SOB	Splijtstofopslagbassin
TUSA	Turbinesnelafschakeling
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
VROM	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
Wm	Wet milieubeheer

Wvo Wet verontreiniging oppervlaktewateren

Symbolen, eenheden

a	jaar
bar	eenheid van druk, 10^5 N/m^2
Bq	becquerel; eenheid van activiteit, ter grootte van 1 desintegratie per seconde
°C	graad Celcius
d	dag
f	frequentie
g	gram
E	effectieve dosis
H _{th}	schildklierdosis
h	uur
J	joule, eenheid van arbeid (1 J = 1 Nm)
K	Kelvin, temperatuur = °C + 273
min.	minuten
MWd/kgU	Eenheid voor opbrand van splijtstof
MW _e	productiecapaciteit van elektriciteit uitgedrukt in Megawatt
MW _{th}	productiecapaciteit van warmte uitgedrukt in Megawatt
s	seconde

Sv	sievert; eenheid van dosisequivalent, uitgedrukt in energie per massa-eenheid
t	ton= 10^6 g
UO ₂	uraniumdioxyde

Voorvoegsels

P	peta 10^{15}
T	tera 10^{12}
G	giga 10^9
M	mega 10^6
k	kilo 10^3
m	milli 10^{-3}
μ	micro 10^{-6}
n	nano 10^{-9}

Elementen

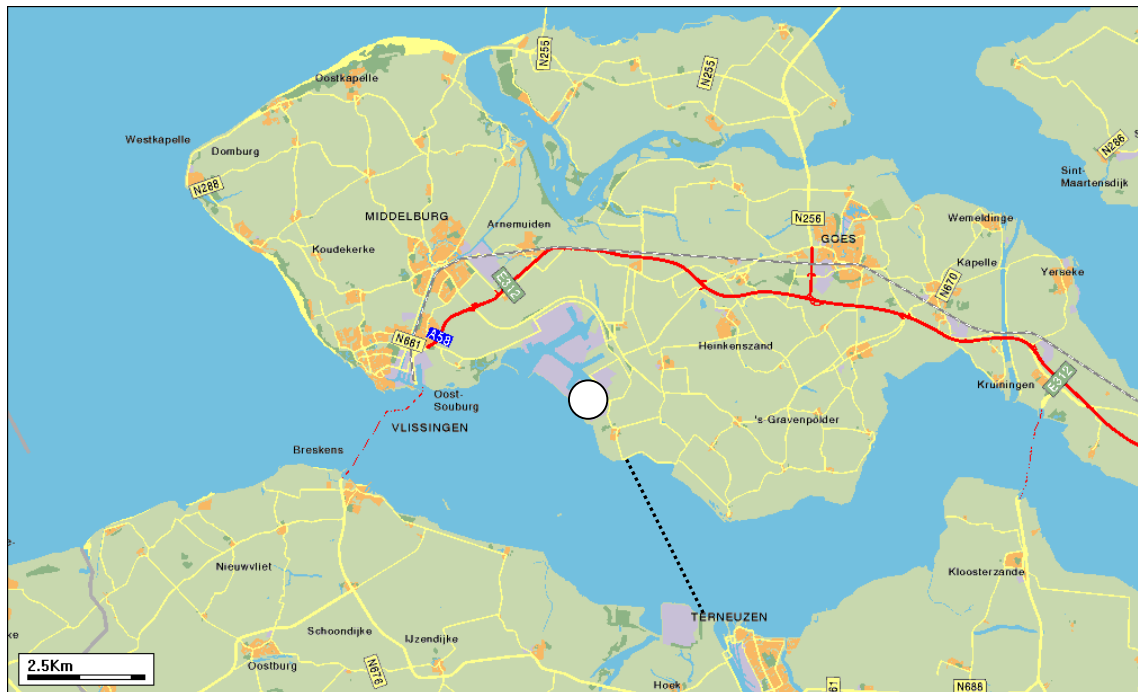
Ba	barium
Bi	bismut
C	koolstof
Ce	cerium
Cl	chloor
Cm	curium
Co	kobalt
Cs	cesium
F	fluor
Fe	ijzer
Ge	germanium
H	waterstof
He	helium
I	jodium
K	kalium
Kr	krypton
Mn	mangaan
Nb	niobium
Ni	nikkel

Np	neptunium
Pb	lood
Po	polonium
Pu	plutonium
Rb	rubidium
Rn	radon
Ru	ruthenium
Sb	antimoon
Sr	strontium
Te	tellurium
Th	thorium
Ti	titaan
U	uranium
Xe	xenon
Y	Yttrium
Zr	zirkonium

1 INLEIDING

1.1 Voorgeschiedenis en aanleiding

De N.V. Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland (EPZ) exploiteert in Borssele een kernenergiecentrale (KCB) met een netto generator vermogen van 449 MWe (1366 MWth). Deze eenheid is in 1973 in bedrijf gesteld. De ligging van de KCB is aangegeven in figuur 1.1.



Figuur 1.1 Situering KCB

Na de inbedrijfstelling zijn herhaalde malen veiligheidsverhogende maatregelen doorgevoerd, waaronder een grote in 1997 voltooide modificatie waardoor de KCB zo veel als redelijkerwijs mogelijk voldoet aan de laatste internationaal erkende inzichten op het gebied van de nucleaire veiligheid en de stralingsbescherming. De toetsing aan de veiligheidsinzichten vindt overeenkomstig de Kernenergiewetvergunning iedere tien jaar plaats.

Naast het project Modificaties werd in 1997 ook een project “Optimalisatie splijtstof” uitgevoerd, waarbij de inzet van de splijtstof werd geoptimaliseerd door een verhoging van de verrijkingsgraad van 3,3% tot 4,0%.

Eigenaar EPZ van de KCB is voornemens de bedrijfsvoering met de eenheid tot zeker 2014 en mogelijk langer te continueren. In dat licht heeft EPZ om bedrijfseconomische redenen besloten tot een verdere optimalisatie van het splijtstofmanagement. Dit is een belangrijke, beïnvloedbare kostenpost in de exploitatie van de KCB. EPZ is tot de conclusie gekomen dat een verdere verhoging van de verrijkingsgraad van de splijtstof aanzienlijke operationele en financiële voordelen biedt zonder dat de veiligheid van de centrale in het geding komt, terwijl de hoeveelheid radioactief afval wordt verminderd. De verhoging van de verrijkingsgraad zal het reactorvermogen van de KCB niet vergroten.

1.2 Reikwijdte en procedure m.e.r.

Het onderhavige MER zal dienen ter onderbouwing van een aanvraag voor een (wijzigings)vergunning ingevolge artikel 15 onder b van de Kernenergiewet om splijtstof met een verrijkingsgraad tot maximaal 4,4% te mogen inzetten.

Volgens het Besluit m.e.r. 1994 bestaat voor de voorgenomen activiteit een zogenaamde beoordelingsplicht (zie verder par. 3.2.1). De m.e.r.-beoordelingsplicht houdt in dat het bevoegd gezag moet beoordelen of een MER dient te worden opgesteld. Deze beoordeling heeft in dit geval niet plaatsgevonden, omdat de initiatiefnemer EPZ op voorhand heeft besloten een MER op te stellen. Hierdoor blijft deze beoordeling achterwege.

De m.e.r.-procedure werd gestart met de bekendmaking van de door EPZ op 5 juni 2003 ingediende Startnotitie in de Staatscourant van 17 juni 2003 alsmede in de landelijke en regionale pers. Daarna volgde een periode van terinzagelegging ten behoeve van inspraak. Met inachtneming van onder andere het advies van de Commissie voor de milieueffectrapportage en de resultaten van inspraak, heeft het bevoegd gezag in op 25 september 2003 de richtlijnen voor het MER vastgesteld. Het onderhavige MER is opgesteld op basis van deze richtlijnen. De m.e.r.- en de vergunningprocedure zijn aan elkaar gekoppeld (zie figuur 3.3.1).

Na indiening van het MER en de vergunningaanvraag worden deze documenten ter inzage gelegd. Gedurende een termijn van tenminste vier weken kan eenieder schriftelijk opmerkingen inbrengen. Ook kunnen opmerkingen mondeling worden ingebracht tijdens een openbare zitting, die door het Bevoegd Gezag wordt gehouden.

Het bevoegd gezag voor de Kew wordt gevormd door de Ministers van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM, tevens coördinerende instantie), van Economische Zaken (EZ) en van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW)

1.3 Inhoud MER

Het MER volgt de systematiek van de hiertoe door het bevoegde gezag vastgestelde richtlijnen en ziet er globaal als volgt uit.

In hoofdstuk 2 worden de probleemstelling en het doel van de voorgenomen activiteit aangegeven. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de van overheidswege reeds genomen en nog te nemen besluiten over de KCB.

In hoofdstuk 4 wordt eerst in grote lijnen een beschrijving van de bestaande kernenergiecentrale gegeven. Vervolgens wordt de voorgestelde verhoging van de verrijkingsgraad, de zogenaamde "voorgenomen activiteit", beschreven en worden de alternatieven voor de voorgestelde activiteit uitgewerkt.

In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de bestaande toestand van het milieu in de omgeving van de centrale, en de invloed van de KCB op het milieu, inclusief de voorgenomen optimalisatie. Met name de wijzigingen in de stralingsbelasting voor het personeel, de veiligheidssituatie en het radioactief afval als gevolg van de voorgenomen activiteit en de alternatieven worden hier beschouwd.

In hoofdstuk 6 en 7 worden de milieugevolgen van de voorgenomen activiteit en de alternatieven met elkaar vergeleken en waar mogelijk getoetst aan wettelijke grenswaarden.

In hoofdstuk 8 tenslotte, wordt een overzicht gegeven van de op het moment van afronding van het rapport bestaande leemten in kennis ten aanzien van de voorgenomen activiteit, van de alternatieven en aangaande de milieubeïnvloedingen van beide.

Het MER is opgesteld onder verantwoordelijkheid van N.V. EPZ. Bij de totstandkoming is gebruik gemaakt van advies van NRG, KEMA en Framatom ANP.

1	INLEIDING	1.1
1.1	Voorgeschiedenis en aanleiding	1.1
1.2	Reikwijdte en procedure m.e.r.	1.2
1.3	Inhoud MER	1.3

2 PROBLEEMSTELLING EN DOEL

2.1 Inleiding

In kernenergiecentrales van het type drukwaterreactor (PWR), zoals door EPZ op de locatie Borssele in gebruik, wordt als “brandstof” uranium toegepast. Voor het splijttingsproces van deze thermische lichtwaterreactor is vooral het isotoop uranium 235 nodig. Het gehalte van dit isotoop in het in de natuur voorkomend uranium bedraagt circa 0,7%. Dit gehalte is te laag om in het type reactor als die van de KCB een continu splijttingsproces te kunnen bewerkstelligen. Daarom wordt het gehalte verhoogd. Dit wordt het verrijken van de splijtstof genoemd. Het gewichtspercentage uranium-235 van alle uranium heet de verrijkingsgraad. Wanneer de verrijkingsgraad tot 3 à 5% beperkt blijft, ligt zij ruim onder de 20%, de grenswaarde voor licht verrijkt uranium.

De kernenergiecentrale Borssele (KCB) is sinds 1973 in bedrijf. Tot 1997 werd splijtstof met verrijkingsgraad van maximaal 3,3 % ingezet. Vanaf datzelfde jaar werd de inzet van splijtstof geoptimaliseerd door een verhoging van de verrijkingsgraad van verse splijtstof tot 4,0%. Thans heeft EPZ besloten tot optimalisatie van het splijtstofmanagement door een verdere verhoging van de verrijkingsgraad tot 4,4%.

In dit hoofdstuk worden met name de economische achtergronden voor de voorgenomen verhoging van de verrijkingsgraad tot 4,4% toegelicht. In hoofdstuk 4 worden meer technische achtergrondgegevens verstrekt.

2.2 Internationale ontwikkelingen inzake splijtstoffen

Kernreactoren kunnen onderscheiden worden in thermische reactoren en snelle reactoren. De KCB heeft een thermische reactor hetgeen betekent dat de vrijkomende neutronen vertraagd (gemodereerd) worden en waarbij gebruik gemaakt wordt van splijtingen van vooral uranium-235 door langzame (thermische) neutronen.

Er zijn diverse typen thermische reactoren, die verschillende eisen stellen aan de verrijkingsgraad van de splijtstof. De kernenergiecentrale Borssele heeft een zogenaamde drukwaterreactor (PWR). Dit is het meest gangbare type. Medio 2003 zijn van alle 437

commerciële reactors in de wereld 263 van het type PWR¹. In dit type reactoren worden verrijkingsgraden tussen de 3% en 5% toegepast.

De wijze, waarop uranium als splijtstof in PWR-kernenergiecentrales van het lichtwatertype wordt gebruikt, is in grote lijnen al tientallen jaren gelijk gebleven. Het licht verrijkte uranium bevindt zich, in de vorm van gesinterde, uraniumdioxide (UO₂) tabletten binnen een metalen buis. Deze buizen of splijtstofstaven worden tot bundels, de zogenaamde splijtstofelementen, samengevoegd. De kwaliteit van deze splijtstofstaven waarborgt dat lekkage van radioactieve stoffen, a.g.v. fabricagefouten, naar het primaire medium uiterst zelden voorkomt (minder dan één keer op de tienduizend), waardoor radioactieve besmetting van het reactorsysteem tot een minimum beperkt blijft. Wijzigingen in de samenstelling en opbouw van splijtstofelementen hebben (om bedrijfseconomische redenen) tot doel een nog langere verblijfstijd in de reactor mogelijk te maken zonder dat de veiligheidsmarges worden aangetast. Daarnaast is er de ontwikkeling om de splijtstofelementen te voorzien van een filter in de voetstukken, zgn. Debris-filter, om losse deeltjes die mogelijk schade kunnen veroorzaken aan de bekleding van de splijtstofstaafjes af te vangen.

Er is een algemene trend om de verrijkingsgraad van nieuwe splijtstofelementen hoger te kiezen dan voorheen. Toename van de verrijkingsgraad geeft de mogelijkheid om de splijtstofelementen langer energie te laten produceren. Bij een patroon van één splijtstofwisseling per jaar zal dat tot gevolg hebben, dat het aantal splijtstofelementen dat jaarlijks geladen moet worden, minder wordt. Daarbij komt dat de opbrand of versplijtingsgraad van af te voeren elementen zal toenemen. Bij het ontwerp van de elementen is daarmee rekening gehouden.

De opbrand of versplijtingsgraad is de mate waarin de splijtbare isotopen zijn afgenomen of - wat daarmee samenhangt - voor de energie die per kg met het element is geproduceerd. Deze wordt meestal uitgedrukt als de hoeveelheid energie (Megawatt * aantal dagen) die per kg uranium is opgewekt (MWd/kgU).

Men onderscheidt de volgende nadere definities van het begrip opbrand:

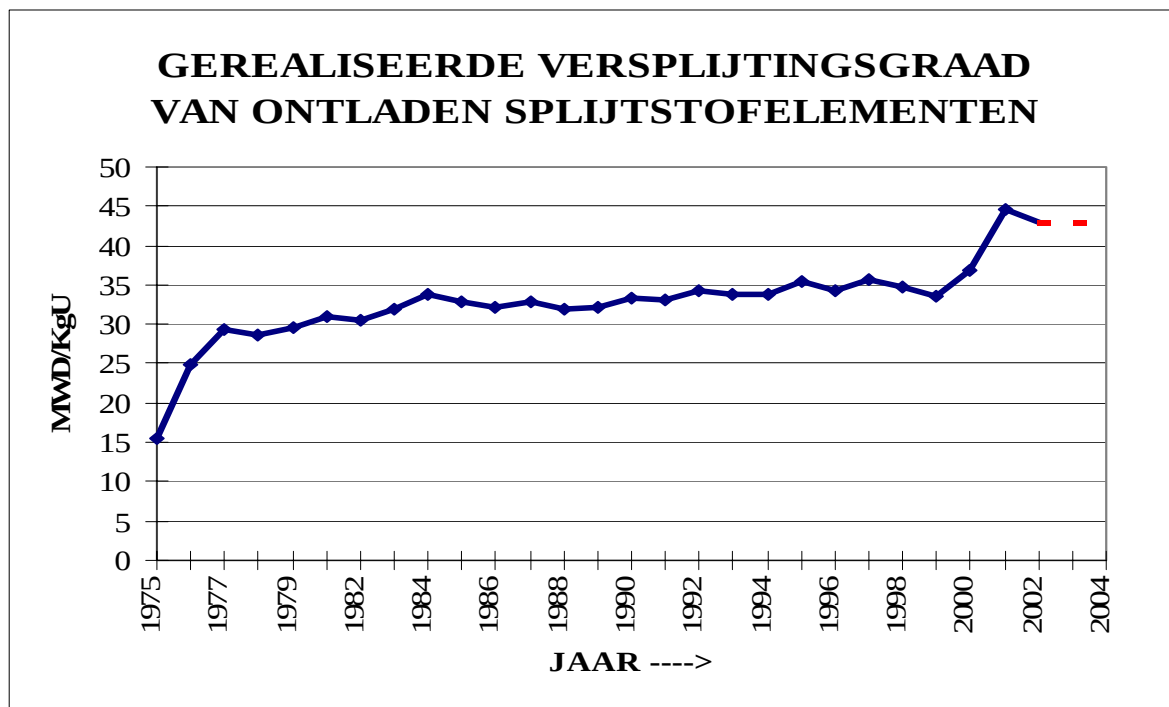
- De staafgemiddelde opbrand: de opbrand wordt hierbij gemiddeld over de lengte van een splijtstofstaaf;
- De elementgemiddelde opbrand: de gemiddelde opbrand van alle splijtstofstaven in één splijtstofelement;
- De gemiddelde opbrand van ontladen elementen: de opbrand, gemiddeld over alle elementen die aan het eind van een cyclus definitief uit de kern ontladen worden;

¹ bron: IAEA, PRIS data base, update 2003/06/30

- De reactorgemiddelde opbrand: de opbrand, gemiddeld over alle splijtstofelementen in de reactorkern.

Deze laatste definitie is van belang ter bepaling van de samenstelling van de nuclideninventaris. Hierbij wordt conservatief de opbrand aan het eind van de jaarlijkse cyclus genomen. Waar in dit rapport over opbrand, zonder nadere aanduiding, wordt gesproken, wordt de elementgemiddelde opbrand bedoeld.

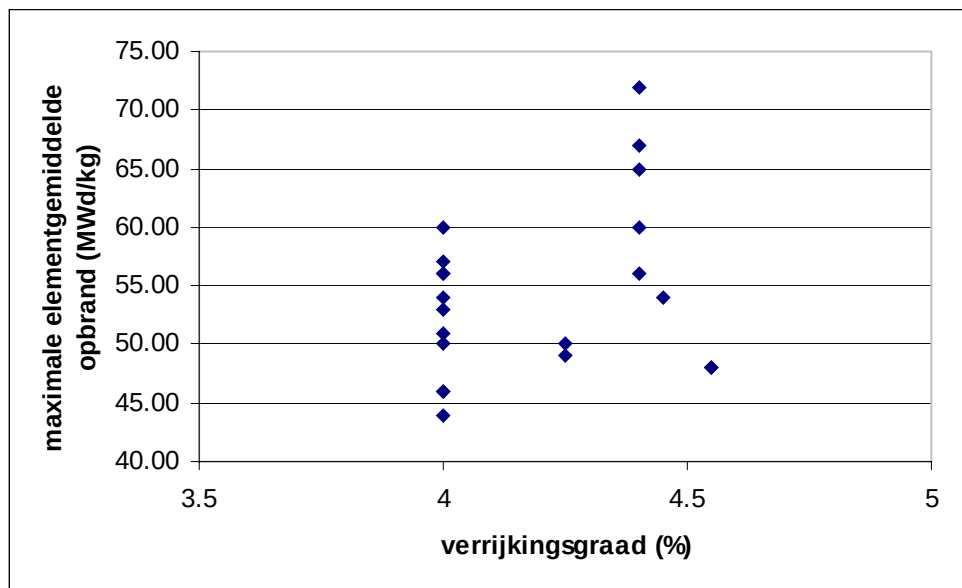
Navolgende figuur 2.2.1 laat zien, dat bij KCB in de loop der jaren een geleidelijke stijging van deze opbrand is bereikt.



Figuur 2.2.1 Gerealiseerde versplijtingsgraad van ontladen splijtstofelementen van de KCB

De momenteel bij de KCB gerealiseerde gemiddelde opbrand van 45 MWd/kgU is blijkens het vervolg niet erg hoog vergeleken met opbranden in andere westerse kerncentrales.

In figuur 2.2.2 zijn huidige feitelijke verrijktingsgraden en opbrandwaarden van drukwaterreactoren in Duitsland weergegeven.



Figuur 2.2.2 Huidige verrijkingsgraden en opbrandwaarden van Duitse kerncentrales met drukwaterreactoren.

N.B. een aantal punten in de grafiek vertegenwoordigen twee of meer reactoren.

Uit de figuur kunnen de volgende conclusies ten aanzien van de toegepaste verrijkingsgraden getrokken worden:

1. verrijkingsgraden onder 4% worden (nagenoeg) niet meer toegepast
2. circa 50% van de reactoren past al een verrijkingsgraad boven 4% toe
3. slechts enkele reactoren passen een verrijkingsgraad boven 4,4% toe

Uit de figuur is ook af te leiden dat de opbrand bij een hogere verrijkingsgraad hoger ligt dan bij lagere verrijkingsgraad. Gemiddeld genomen is bij een verrijkingsgraad van 4,0% de maximale elementgemiddelde opbrand 52 MWd/kg en bij de groep boven 4% de opbrand 57 MWd/kg. Opbrandwaarden tot 72 MWd/kg worden blijkens de figuur reeds toegepast.

Ook elders in de wereld is er een algemene trend om naar hogere verrijkingsgraden en opbrandwaarden te gaan, vooral om de economische voordelen daarvan te benutten (zie tabel 2.2.1).

Land	Verrijkingsgraad tot [%]	Elementgemiddelde opbrand tot [MWd/kgU]	Staaftgemiddelde opbrand tot [MWd/kgU]
Verenigde Staten	4,4	59	62
België	4,45	55	60
Frankrijk	4,4	56	61 (80 *)
Duitsland	4,55	72	76
Zwitserland	Niet bekend	60	65
Zweden	Niet bekend	60	64

*) in voorlopercentrales met M5-splijststofomhullingsmateriaal werd een opbrand van 80 MWd/kgU bereikt .

Tabel 2.2.1 Overzicht van maximaal toegepaste verrijkingsgraden en opbrandwaarden in de Verenigde Staten en Europa.

In de Verenigde Staten worden reeds sinds 1998 verrijkingsgraden tot 4,4% toegepast bij staaftgemiddelde opbranden tot 62 MWd/kgU en in Frankrijk worden verrijkingsgraden tot 4,4% toegepast bij staaftgemiddelde opbrandwaarden tot meer dan 60 MWd/kgU. Enkele voorlopercentrales bereiken reeds staaftgemiddelde opbrandwaarden tot 80 MWd/kgU. Tevens zijn in Frankrijk plannen ontwikkeld om de verrijkingsgraad stapsgewijs verder te verhogen tot 4,95% met opbrandwaarden tot 70 MWd/kgU (elementgemiddeld).

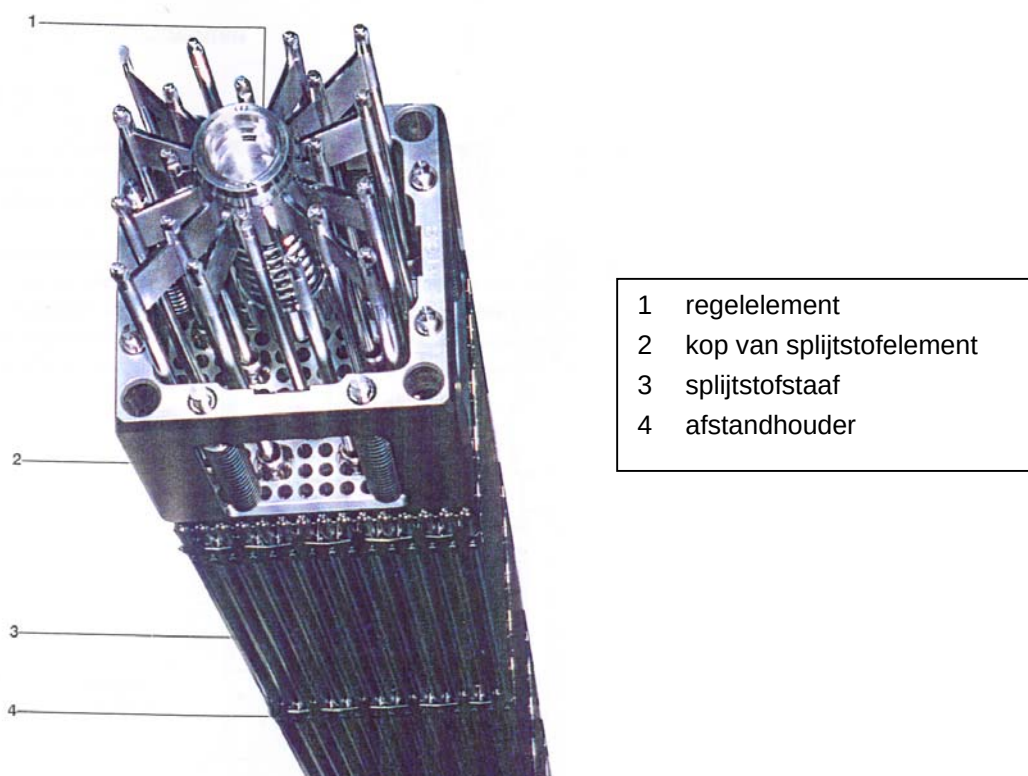
Uit een vergelijking van de internationale ontwikkeling blijkt dat de kerncentrales in Duitsland voorop lopen voor wat betreft het toepassen van hogere opbrandwaarden. De kerncentrale Borssele kan qua ontwerp, constructie en bedrijfsvoering ook het beste met deze Duitse centrales vergeleken worden.

De ontwikkeling naar hogere verrijkingsgraden en opbrandwaarden wordt mogelijk gemaakt door de voortschrijdende ontwikkelingen op op metallurgisch gebied, met name voor wat betreft het omhullingsmateriaal van de splijststof, wat nu hogere belastingen ten gevolge van warmte, straling en corrosie kan verduren. Het met ingang van de splijststofwisseling 2004 in de kerncentrale Borssele in te zetten HTP (High Thermal Performance) splijststofelement is hiervan een voorbeeld. Dit element wordt uitvoering beschreven in hoofdstuk 4.3.2.

2.3 Inzet en kosten van splijtstof bij de KCB

2.3.1 De splijtstof

De splijtstof van de KCB bestaat uit uraniumdioxide, dat in tabletten is opgestapeld in metalen hulzen. Deze splijtstofstaven zijn bevestigd in een draagconstructie en vormen daarmee samen de zogenaamde splijtstof-elementen. Een afbeelding van het bovenste gedeelte van een splijtstofelement is weergegeven in figuur 2.3.1.



Figuur 2.3.1 Bovenzijde van een splijtstofelement met regelement van de KCB

De huidige splijtstofelementen van de KCB (FOCUS-elementen) worden vanaf 2004 vervangen door een nieuwer type (HTP-elementen). In deze nieuwe elementen zijn de hulzen van de splijtstofstaven van een ander materiaal ("M5") vervaardigd, dat een hogere belasting ten gevolge van warmte, straling en corrosie kan verduren. In buitenlandse kerncentrales zijn reeds vanaf 1996 positieve ervaringen opgedaan met dit materiaal. De toepassing van het nieuwe materiaal bij de KCB is een autonome ontwikkeling die los staat

van de besluitvorming over de splijtstofverrijking. De toepassing van het nieuwe materiaal wordt door KCB overigens wel beschouwd als noodzakelijk om het uranium-235 gehalte in de splijtstoftabletten te kunnen verhogen van maximaal 4,0% naar maximaal 4,4%. Als gevolg hiervan zullen de elementen namelijk langer dan voorheen in de reactor warmte produceren. De HTP-splijtstofelementen met M5-hulsmateriaal zijn door middel van uitgebreide onderzoeken gekwalificeerd voor de hoge warmtebelasting en de langere verblijftijd in de reactor, die het gevolg kunnen zijn van de door EPZ beoogde hogere verrijkingsgraad tot 4,4%. In de bij de vergunningaanvraag gevoegde "Beschrijving van de voorgenomen wijziging van de verrijkingsgraad tot 4,4%" wordt uitgebreider op deze materie ingegaan.

2.3.2 Splijtstofkosten

Kostenopbouw kernenergie

Het is gebruikelijk de kosten bij kernenergiecentrales te splitsen in 3 groepen, namelijk:

- kapitaals-/investeringskosten
- bediening en onderhoudskosten
- splijtstofkosten.

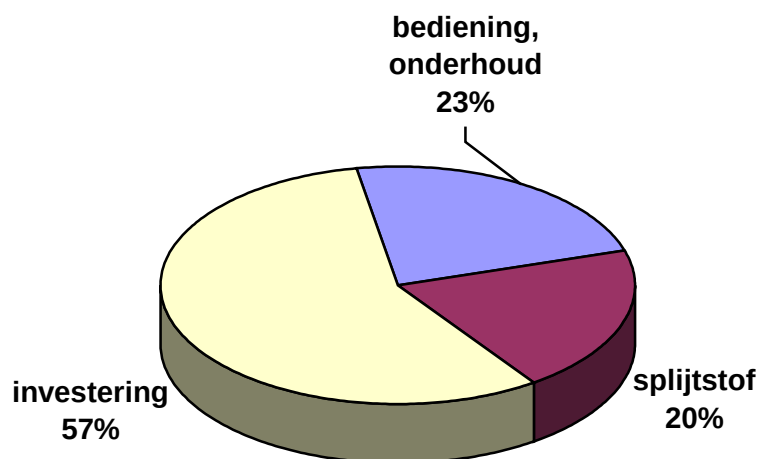
Hierbij zijn de kosten van financiële reserveringen voor toekomstige uitgaven inbegrepen, zoals de verwerking van het radioactieve afval en de ontmanteling van de kerncentrale na beëindiging van het bedrijf.

Het voornemen van EPZ, om de verrijkingsgraad tot 4,4% te verhogen, heeft een gunstige invloed op de splijtstofcycluskosten zonder de andere kostensoorten nadelig te beïnvloeden.

In het algemeen kan gesteld worden dat de kapitaalskosten van kernenergiecentrales de helft of iets meer dan de helft van de totale kosten bedragen. De bedienings- en onderhoudskosten nemen 15 tot ruim 20% in beslag en de splijtstofkosten de rest. Figuur 2.3.2 geeft weer hoe de totale kosten die samenhangen met het bedrijven van een kernenergiecentrale gemiddeld genomen onder te verdelen zijn over de drie te onderscheiden kostencategorieën (ontleend aan OECD, 1992 NEA,2001).

De absolute hoogte van de totale kosten van een bepaalde kernenergiecentrale en de daarvan afgeleide procentuele onderverdeling van de drie genoemde kostencategorieën, hangen af van een groot aantal factoren. Zo zijn bijvoorbeeld de investeringskosten voor kernenergiecentrales die thans gebouwd worden hoger dan in het verleden. Dit is met name

het gevolg van stringenter veiligheidseisen. Daarnaast is ook het land waar de centrale gebouwd wordt mede bepalend voor een aantal kosten zoals bijvoorbeeld de opslagkosten voor het radioactief afval. In Frankrijk bijvoorbeeld, waar relatief veel kernenergiecentrales staan, zijn deze opslagkosten per kernenergiecentrale aanzienlijk lager dan in Nederland.



Figuur 2.3.2 Typische verdeling van opwekkingskosten bij een kernenergiecentrale (NEA NEWS, 2001 no 19.2)

Voor een in bedrijf zijnde centrale, zoals de KCB, kan nog slechts op een gedeelte van deze kosten invloed uitgeoefend worden. De investeringskosten van de KCB zijn niet meer te beïnvloeden. De kosten voor onderhoud en bediening zijn dagelijkse kosten, die binnen de daarvoor aanwezige mogelijkheden zo laag mogelijk gehouden worden. Gezien met name de vereiste veiligheid zijn de besparingsmogelijkheden op onderhoud en bediening beperkt. Op de splijstofkosten, die wel beperkt beïnvloedbaar zijn, wordt hieronder nader ingegaan.

Kostenopbouw splijstofstofcyclus

De kosten voor de splijstofcyclus zijn typisch opgebouwd uit:

- aanschaf van natuurlijk uranium en omzetting naar de chemische vorm UF_6 ,
- verrijking (van 0,7 naar bijvoorbeeld 4,4% uranium-235),
- omzetting in de chemische vorm UO_2 en fabricage van de splijstof(elementen),
- transport van de splijstofelementen naar KCB,

- e) transport van de gebruikte splijtstofelementen naar de opwerkingsfabriek,
- f) opwerking van gebruikte splijtstof(elementen), hergebruik van resterend uranium en plutonium (zijnde ongeveer 95% van het gewicht van het oorspronkelijke uranium),
- g) conditionering, transport en opslag/eindberging van het opwerkingsafval.

De splijtstofcycluskosten worden gedomineerd door de kosten voor een zorgvuldige en maatschappelijk verantwoorde verwijdering van de gebruikte splijtstofelementen (kosten e, f en g).

De splijtstofkosten zijn door EPZ op korte termijn nauwelijks beïnvloedbaar. Ten aanzien van de onder a, b en c genoemde kosten wordt opgemerkt dat grondstofkosten (a, b) en de kosten van verrijking worden bepaald door de marktwaaarde respectievelijk de hoeveelheid uranium-235. De kosten van het uranium-235 en van de verrijking worden voornamelijk bepaald door de benodigde hoeveelheid uranium-235. Aangezien deze hoeveelheid direct gekoppeld is aan de hoeveelheid elektriciteit die ermee geproduceerd kan worden, is een reële besparing hierop niet mogelijk. De kosten van de fabricage (c en d) en het opwerken (e en f) worden vooral door het aantal benodigde elementen (per jaar) bepaald. Door de voorgenomen hogere verrijking wordt het jaarlijks benodigde aantal nieuwe elementen verminderd en is een besparing mogelijk. Ook levert dit een besparing op voor de hoeveelheid radioactief afval (onderdeel g).

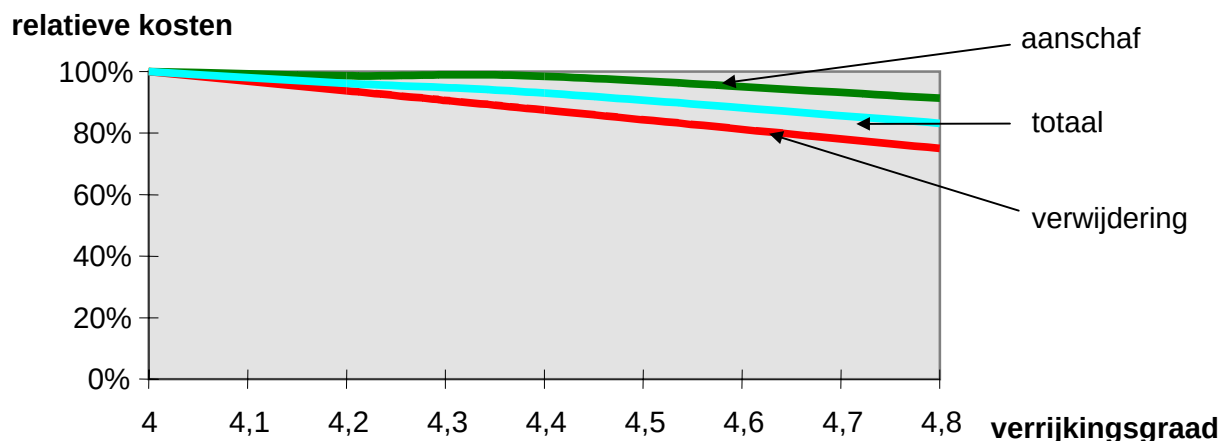
Er wordt geconcludeerd dat verlaging van de splijtstofkosten gezocht zal moeten worden in het effectiever gebruiken van de splijtstofelementen of, anders gezegd, hetzelfde vermogen produceren met minder nieuwe elementen. Dat kan alleen door splijtstof-elementen langer in de reactorkern te laten. Bij de kernenergiecentrale Borssele worden bij de huidige herladingen de splijtstofelementen over het algemeen na vier jaar uit de kern genomen. Een langere verblijftijd van bijvoorbeeld vijf splijtstofcycli zal leiden tot een hogere opbrand of versplijting. Dit kan om technische redenen alleen met een hogere beginverrijking van de nieuwe elementen. Ook zal door het toepassen van een hogere beginverrijking het aantal op te werken splijtstofelementen afnemen. Dit effect wordt in de hoofdstukken 4 en volgende nader beschreven.

2.3.3 De besparing met een verrijking van 4.4%

Bij het toepassen van een hogere verrijkingsgraad nemen, per kilogram splijtstof, de benodigde hoeveelheid natuurlijk uranium en verrijkingsarbeid toe. De fabricage- en transportkosten dalen wegens het kleinere aantal elementen, hoewel elke herlading ook een vaste prijscomponent heeft die niet afhankelijk is van de omvang van de herlading. Netto is er een relatief geringe daling van de aanschafkosten bij toepassing van een hogere verrijking.

De verwijderingskosten (vooral voor opwerking) zijn daarentegen rechtstreeks afhankelijk van het aantal elementen dat opgewerkt moet worden. Bij een hogere verrijkingsgraad behoeven -bij gelijkblijvende elektriciteitsproductie en jaarlijkse bedrijfsperiode- jaarlijks minder elementen verwisseld en verwijderd te worden.

In figuur 2.3.3 zijn de relatieve splijtstofcycluskosten schematisch weergegeven als functie van de verrijkingsgraad, genormeerd op de kosten bij een verrijking van 4%.



Figuur 2.3.3 Jaarlijkse splijtstofcycluskosten als functie van de verrijkingsgraad van verse splijtstofelementen. De kosten bij 4% verrijking zijn als referentie (100%) genomen.

Vanuit de afvalzijde van de splijtstofcyclus is er dus een sterke prikkel om hogere verrijkingen na te streven. Bij 4,2% verrijking is er een kostendaling van circa 4%, bij 4,4% een daling van 7% en bij 4,8% een daling van 17%.

Een belangrijk uitgangspunt voor EPZ bij de bepaling van de maximaal toe te passen verrijking is dat de hierbij beoogde hogere opbrand van de splijtstofelementen bereikt kan worden door toepassing van reeds bewezen en elders succesvol toegepaste technologieën.

De voornaamste reden van EPZ om de verrijking niet verder op te voeren dan 4,4% is dat deze waarde goed wordt afgedekt door internationaal verkregen bedrijfservaring en dat bij 4,4% verrijking geen complexe en kostbare aanpassingen aan de installatie nodig zijn. Deze en de overige redenen zullen in de hoofdstukken 4 en 6 worden toegelicht.

Ter zijde wordt opgemerkt dat door de hogere verrijking het vermogen van de reactor niet wordt vergroot.

2.4 Doelstelling voorgenomen activiteit

Uitgaande van de bovenomschreven probleemstelling luidt de doelstelling van de voorgenomen activiteit samengevat:

“verlaging van splijtstofcycluskosten door toepassing van een hogere verrijking in de verse splijtstofelementen en daarbij te blijven voldoen aan de geldende veiligheidsmarges en het ALARA-beginsel.”

2	PROBLEEMSTELLING EN DOEL.....	2.1
2.1	Inleiding	2.1
2.2	Internationale ontwikkelingen inzake splijtstoffen	2.1
2.3	Inzet en kosten van splijtstof bij de KCB.....	2.6
2.3.1	De splijtstof	2.6
2.3.2	Splijtstofkosten.....	2.7
2.3.3	De besparing met een verrijking van 4.4%	2.10
2.4	Doelstelling voorgenomen activiteit	2.11

3 RANDVOORWAARDEN EN BESLUITVORMING

3.1 Inleiding

De voorgenomen verhoging van de verrijkingsgraad bij de KCB dient uitgevoerd te worden met inachtneming van de bestaande regelgeving en eerder genomen besluiten van overheidsorganen. Dit geldt zowel voor de voorgenomen activiteit als voor de beschreven alternatieven. In dit hoofdstuk zullen de randvoorwaarden behandeld worden, die van invloed (kunnen) zijn op de voorgenomen activiteit en op de toetsing van de milieubeïnvloeding in dit MER.

In paragraaf 3.2 zal een toelichting gegeven worden op de volgende voor de besluitvorming relevante randvoorwaarden:

- Wetgeving:
 - Kernenergiewet met bijbehorende uitvoeringsbesluiten, zoals het Besluit stralingsbescherming (Bs) en het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen (Bkse)
 - Besluit Milieueffectrapportage 1994
 - Wet milieubeheer
 - Algemene wet bestuursrecht
- Geldende vergunningen
- Risicobeleid en stralingsnormstelling
- Regeling analyse gevolgen ioniserende straling voor het milieu
- Nota's inzake radioactief afval
- Natuurbeleid
- Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding
- Beveiligingsrichtlijnen kerninstallaties

In paragraaf 3.3 wordt aangegeven ten behoeve van welke besluiten het MER wordt opgesteld en door welke overheidsinstantie(s) deze besluiten zullen worden genomen.

3.2 Randvoorwaarden

3.2.1 Wetgeving

Kernenergiewet (Stb. 1963-82)

De Kernenergiewet (KeW) is een raamwet die betrekking heeft op activiteiten waarbij met ioniserende straling wordt gewerkt of waarbij deze straling vrijkomt. Het doel van de wet is volgens de Memorie van Toelichting:

- de bevordering van een goede ontwikkeling betreffende het vrijmaken en het gebruik van radioactieve stoffen en van ioniserende straling uitzendende apparatuur
- bescherming tegen de gevaren die zijn verbonden aan het gebruik van radioactieve stoffen en ioniserende straling.

De wet heeft onder meer betrekking op:

- nucleaire veiligheid
- de volksgezondheid
- de bescherming op de arbeidsplaats tegen de gevaren van radioactieve stoffen en ioniserende straling
- het bevorderen van de milieuhygiëne.

De Kernenergiewet kent meerdere vergunningstelsels die alle relevant zijn voor de KCB, namelijk voor het wijzigen van een inrichting (artikel 15, onder b), het voorhanden hebben van splijtstoffen (artikel 15, onder a) en het voorhanden hebben, toepassen en zich ontdoen van radioactieve stoffen (artikel 29, eerste lid). Een en ander wordt nader uitgewerkt in het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen (Stb. 1969-403). Het besluit bevat algemene regels met betrekking tot de gegevensverstrekking over de (wijzigingen in) inrichtingen. Het Besluit stralingsbescherming (Stb. 2001-397) bevat bepalingen met betrekking tot de principes en de normstelling voor stralingsbescherming (zie verder par. 3.2.3).

De KeW en de bovengenoemde besluiten zijn de afgelopen jaren geharmoniseerd met Europese wetgeving met name Richtlijn 96/29/Euratom inzake de basisnormen voor de bescherming van de gezondheid van de bevolking en de werkers tegen de aan ioniserende straling verbonden gevaren (PbEG 1996, L 159)

Besluit milieu-effectrapportage 1994

Volgens het Besluit m.e.r. bestaat voor de voorgenomen activiteit een beoordelingsplicht. Op lijst D van beoordelingsplichtige activiteiten is onder categorie 22.3 genoemd “de wijziging of uitbreiding van een inrichting waarin kernenergie kan worden vrijgemaakt..”, waarbij onder meer wordt gerefereerd naar de gevallen waarin de activiteit betrekking heeft op “een wijziging van de soort, hoeveelheid of verrijkingsgraad van de splijtstof”.

De m.e.r.-beoordelingsplicht houdt in dat het bevoegd gezag dient te beoordelen of een MER dient te worden opgesteld. Deze beoordeling hoeft niet plaats te vinden, omdat de initiatiefnemer (EPZ) op voorhand heeft besloten een MER op te stellen.

Deze procedure is beschreven in hoofdstuk 7 van de Wet milieubeheer (zie figuur 3.3.1).

Wet milieubeheer (Stb. 1993-80)

Een milieueffectrapport moet tot stand worden gebracht overeenkomstig de bepalingen, waaronder inhoudelijke vereisten, van hoofdstuk 7 van de Wet milieubeheer (Wm) betreffende "Milieu-effectrapportage".

Algemene wet bestuursrecht (Stb. 1994-1)

Voorzover niet geregeld in de Algemene wet bestuursrecht, bevat de Wm ook regels met betrekking tot procedures voor vergunningen en coördinatie bij vergunningaanvragen alsmede voor bedenkingen en beroep tegen besluiten.

3.2.2 Geldende vergunningen

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de reeds verleende vergunningen ingevolge artikel 15 van de Kernenergiewet.

KENMERK	DATUM	OMSCHRIJVING	OPMERKING
372/352/EEK	23-3-72	Vergunning voor het oprichten van een kernenergiecentrale te Borssele en het voorhanden hebben van splijtstoffen.	Deze vergunning is vastgesteld bij Koninklijke besluit d.d. 8 september 1975, no.16.
372/1132/EEK	18-6-73	Vergunning voor het in werking brengen en in werking houden van de kernenergiecentrale te Borssele.	Deze vergunning is vastgesteld bij Koninklijke besluit d.d. 13 september 1979, no.46.
675/540	8-9-75	Koninklijke besluit nr. 16, m.b.t. oprichtingsvergunning	
378/II/66EEK	27-1-78	Wijziging bedrijfsvergunning n.a.v. het bouwen van een afvalgebouw.	Vervanging van de voorschriften 18 en 19 van artikel IV m.b.t. Alarmregeling.
679/842	13-9-79	Koninklijke besluit nr. 46, m.b.t. bedrijfsvergunning	
380/II/330/EEK	18-4-80	Vergunning voor het wijzigen van de kernenergiecentrale te Borssele en het voorhanden hebben van ten hoogste 200 ton uranium. (compactrekken).	Vastgelegd bij K.B. nr. 26, d.d. 12 november 1986.
nr. 189326 DGMH/S/VK/AS	24-9-82	Wijziging bedrijfsvergunning in verband met intrekking van het veiligheidsbesluit Ioniserende Stralen (VBIS).	Aanpassing en wijziging van voorschrift II.22.

KENMERK	DATUM	OMSCHRIJVING	OPMERKING
149/463	7-3-84	Aanvullende voorschriften, verbonden aan de vergunning tot het in werking houden van de kernenergiecentrale te Borssele. (deskundigheid personeel)	Toevoegingen aan voorschrift II.1.
687/45	12-11-86	Koninklijke besluit nr. 26, m.b.t. bedrijfsvergunning (compactrekken).	
nr. 2537041	27-3-87	Wijziging bedrijfsvergunning i.v.m. vervallen Radioactieve stoffenbesluit Kernenergiewet (Stb.1981, 564)	
DGA/KFD/88/12587	27-1-89	Aanvullende voorschriften i.v.m. invoering kwaliteitsborgingsprogramma.	Toevoegingen aan voorschrift II.1 en II.1a. Aanpassing van Bedrijfsvergunning n.a.v. OSART-missie.
E/EEK/90039894	25-4-90	Overdracht van destijds vigerende kernenergiewetvergunningen van N.V. PZEM aan N.V. EPZ.	
E/EE/KK/91001017	13-2-92	Aanvulling van voorschrift II.1 t/m II.1d (betreft implementatie NVR en 2- en 10-jaarlijkse evaluaties). * Vervanging voorschrift II.37 (betreft geluidshinder).	
E/EE/KK/93041207	28-6-93	Wijziging bedrijfsvergunning n.a.v. tijdelijke opslag van licht besmet materiaal. (cementeerinstallatie)	Toevoeging van nieuwe voorschriften 33A en 33B.
E/EE/KK/99004681	01-06-99	Beschikking inzake MOD.	"Nieuwe" beschikking.
E/EE/KK/99004680	01-06-99	Beschikking inzake Optimalisatie Splijtstof	Aanvulling op E/EE/KK/99004681.

Door gerechtelijke uitspraken (Rechtbank 's-Hertogenbosch d.d. 25-09-2002 en ABRvS 16-04-2003) is duidelijk geworden dat de vigerende Kew-vergunning van de KCB ook na 1 januari 2004 geldig blijft. De vergunningstermijn is thans onbepaald. Technisch gezien heeft de KCB een levensduur van meer dan 40 jaar. Aangezien de centrale in 1973 in bedrijf werd genomen, kan zij technisch gezien tot na 2013 in bedrijf worden gehouden.

3.2.3 Het beoordelingskader

3.2.3.1 Wettelijk kader Kernenergiewet

Het wettelijk kader is gebaseerd op de volgende drie principes van stralingsbescherming die zijn neergelegd in het Besluit stralingsbescherming (Bs)(Stb. 2001-397):

- *Rechtvaardiging* (art. 4 Bs)

Dit principe wil zeggen dat een activiteit pas wordt toegestaan als de sociale, economische en andere voordelen opwegen tegen de gezondheidsschade die er het gevolg van kan zijn. Bij de gezondheidsschade gaat het om de schade voor alle direct betrokkenen: werknemers en overige leden van de bevolking. In een ministeriële Regeling bekendmaking rechtvaardiging gebruik van ioniserende straling (Stcrt. 2002-248) is, gelet op de criteria, van een aantal toepassingen aangegeven dat deze generiek gerechtvaardigd zijn. De KCB wordt met name genoemd onder categorie I.B.2 "Energieopwekking" hetgeen betekent dat de rechtvaardiging dat de KCB in bedrijf is, gerechtvaardigd is. De rechtvaardiging betreft hier alleen de onderhavige wijzigingen en verandert niet, te meer omdat zal blijken dat de stralingsaspecten nauwelijks veranderen.

- *Optimalisatie /ALARA* (art. 5 Bs)

Optimalisatie wordt gezien als de invulling van het ALARA-beginsel (As Low As Reasonably Achievable). In dit kader wordt gestreefd naar zo laag als redelijkerwijs mogelijke emissies en blootstelling. Hierbij wordt rekening gehouden met maatschappelijke en economische factoren en met zowel milieuhygiënische als arbeidshygiënische aspecten. Voor de volledigheid wordt opgemerkt dat het ALARA-beginsel ook is opgenomen in de Wet milieubeheer (artikel 1.1a en 8.11 lid 3).

Bij wijze van een globale invulling van ALARA kunnen door de overheid dosisbeperkingen voor specifieke activiteiten worden gesteld. Dosiswaarden zijn dus vooral bedoeld als hulpmiddel om ALARA toe te passen

- *Dosislimieten* (art. 6, 48, 49 Bs; art. 18 Bkse)

Dit zijn maximaal toegestane doses, die in geen geval overschreden mogen worden om een minimum beschermingsniveau te garanderen. In het Besluit stralingsbescherming is de dosislimiet bij *normaal bedrijf* voor leden van de bevolking op 1 millisievert per jaar gesteld (0,1 millisievert per bron). Als arbeidslimiet geldt 20 millisievert per jaar. Rekenregels en de toetsingsmethoden met betrekking tot de dosisniveau's (omgevingsequivalente, equivalente en effectieve doses) worden gegeven in de ministeriële "Regeling analyse gevolgen ioniserende straling voor het milieu" (Stcrt. 2002, 73).

3.2.3.2 Risiconormering ontwerp-ongevallen

Ontwerpongevallen zijn ongevallen waarvoor de installatie ontworpen is om die te kunnen beheersen. Voor de dosiscriteria voor ontwerp-ongevallen wordt, afhankelijk van

de kans van optreden van een ontwerpgeval, het dosiscriterium vastgesteld via een getrapte schaal: hoe kleiner de kans, hoe groter de toelaatbare dosis.

In tabel 3.2.1 zijn de kansgebieden met de bijbehorende maximale dosiswaarden aangegeven. Het kansgebied $F \geq 10^{-1}$ heeft betrekking op normaal bedrijf. De dosiscriteria zijn bedoeld om de kans op sterfte ten gevolge van lange-termijn effecten te beperken. Met lange-termijn effecten worden ziektes bedoeld zoals kanker die zich vele jaren na de bestraling kunnen openbaren. Dit in tegenstelling tot korte-termijn effecten, die het gevolg zijn van een zodanige beschadiging van organen, dat deze niet of verminderd functioneren. Deze effecten treden op binnen enkele uren of weken. Ze worden echter alleen waargenomen indien een zekere (hoge) drempelwaarde wordt overschreden. Ter vermijding van korte-termijn-effecten ten gevolge van jodiumopname door de schildklier is in een aanvullend criterium de maximale schildklierdosis gesteld op 500 mSv.

Tabel 3.2.1 Dosiscriteria voor kinderen en volwassenen als functie van het kansgebied.
Bron: Bkse art. 18-2

Gebeurtenis frequentie F (per jaar)			Effectieve dosis E (mSv) ¹⁾	
			Volwassene	Kind
	F	$\geq 10^{-1}$	0,1	0,04
$10^{-1} >$	F	$\geq 10^{-2}$	1	0,4
$10^{-2} >$	F	$\geq 10^{-4}$	10	4
$10^{-4} >$	F	$\geq 10^{-6}$	100	40

¹⁾ Ter vermijding van korte-termijn effecten geldt in alle gevallen een dosiscriterium van 500 mSv voor de schildklier (H_{th})

3.2.3.3 Risiconormering ernstige ongevallen

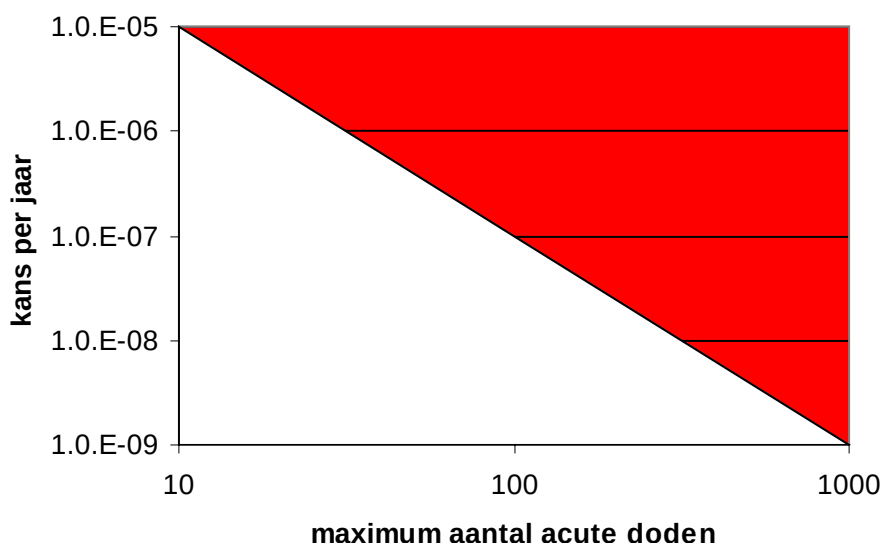
Naast beheersing van de ontwerpgevalen is het van belang in hoeverre de gevolgen voor de omgeving kunnen worden beperkt van ontwerpoverschrijdende gebeurtenissen, die doorgaans "buiten-ontwerpgevalen" of "ernstige ongevallen" worden genoemd. De kansen op dergelijk ongevallen zijn zeer klein. Bij de vergunningverlening wordt getoetst op normen ten aanzien van het zogenaamde individueel risico en het groepsrisico.

Individueel risico

Uitgangspunt voor de bepaling van het individueel risico (IR) is de multi-functionaliteit van de omgeving van een bron. Een bedrijf mag door zijn aanwezigheid geen extra belemmeringen opleveren voor de realistisch te achten gebruiksmogelijkheden (Stb. 1996-44). Het maximaal toelaatbaar (toegevoegd) individueel risico voor leden van de bevolking bedraagt voor alle stralingsbronnen tezamen 10^{-5} per jaar en vanwege één bron 10^{-6} per jaar. Deze risico's drukken de kans uit dat een persoon ten gevolge van de ongevalsemissies van een bron direct of op latere leeftijd komt te overlijden. Hierbij wordt steeds de emissie over één jaar beschouwd en wordt de toegevoegde kans op overlijden ten gevolge van dezelfde emissie in de rest van het leven van deze persoon toegerekend aan datzelfde jaar. Zo komt bijvoorbeeld een risico van 10^{-6} overeen met een kans van één op de miljoen dat een persoon ten gevolge van de jaaremissie van een bron op een later moment in zijn verdere leven komt te overlijden. Om de hoogte van het risico van een bron te berekenen dient een risico-analyse te worden gemaakt.

Groepsrisico

Bij grote *ongevallen* waarbij vele slachtoffers direct tijdens het ongeval of kort daarna kunnen vallen, wordt bovendien rekening gehouden met de maatschappelijke ontwrichting die dit teweeg zou kunnen brengen. Hieraan is vorm gegeven door middel van het zogenaamde groepsrisico. Het criterium voor het groepsrisico beoogt maatschappelijke ontwrichting te voorkomen door te stellen dat de kans op ongevallen met meer dan tien acute doden ten hoogste 10^{-5} per jaar mag zijn. Voor meer dan 100 acute doden is de maximaal toelaatbare kans gesteld op 10^{-7} . Een factor 10 meer acute doden levert dus een toelaatbare kans die een factor 100 lager ligt, enzovoort (zie figuur 3.2.1). Het verwaarloosbare niveau van het groepsrisico is hier gesteld op een factor 100 lager dan het maximaal toelaatbare niveau.



Figuur 3.2.1 Grenzen aan het groepsrisico. Het gebied rechtsboven is niet toelaatbaar op grond van het Nederlandse risicobeleid

3.2.3.4 Veiligheidsnormen en -richtlijnen (IAEA)

Sinds 1974 onderhoudt het Internationale Atoomenergie Agentschap (IAEA) een stelsel van veiligheidsnormen en richtlijnen voor *kernenergiecentrales* (serie nr. 50), de zogenaamde Codes and Safety Guides. Het IAEA beveelt het gebruik van deze Codes en Safety Guides in de lidstaten aan als middel ter verzekering van een veilige toepassing van kernenergie. De Codes beschrijven de hoofddoelstellingen en voorwaarden waaraan moet worden voldaan en de Safety Guides geven mogelijke manieren van uitvoering weer. In de afgelopen jaren zijn door de Nederlandse overheid de voorschriften in de Codes - deels geamendeerd - vastgesteld en gepubliceerd in de reeks Nucleaire Veiligheidsregels (NVR). Ook de Safety Guides zijn op dezelfde wijze bewerkt en omgezet in Nucleaire Veiligheidsrichtlijnen (ook NVR). De vastgestelde NVR's zijn, voor zover dit redelijkerwijs te vragen valt, van toepassing verklaard in de Kew-vergunning van de KCB d.d. 2 augustus 1994.

3.2.4 Natuurbeleid

De KCB is gelegen aan de Westerschelde. Dit estuarium behoort tot de Ecologische Hoofd Structuur EHS van Nederland (SGR, 1993). De EHS is een stelsel van bestaande natuurgebieden, te ontwikkelen natuurgebieden en verbindingszones. Daarnaast is de Westerschelde aangewezen c.q. aangemeld als beschermd gebied op

grond van de Europese Habitatrichtlijn en de Vogelrichtlijn. Deze status betekent dat getoetst moet worden of de activiteit significante negatieve gevolgen voor de instandhouding van beschermde soorten en habitats in de Westerschelde heeft.

3.2.5 Overige overheidsvoorschriften

Volgens de KEW (art. 40, 41) en de Wet rampen en zware ongevallen (Stb. 1993-503) moet in gemeentelijke rampbestrijdingsplannen invulling worden gegeven aan het Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding (NPK) uit 1989. De KCB is op grond van het NPK aan te merken als zogenaamd categorie A-object, een nucleair object waarbij de gevolgen van ongevallen verder dan de lokale omgeving kunnen reiken.

Het "Rampbestrijdingsplan Kernenergiecentrale Borssele" is op 20 september 1991 vastgesteld door de burgemeesters van de gemeenten Arnhem, Borsele, Goes, Middelburg, Oostburg, Terneuzen en Vlissingen.

De Beveiligingsrichtlijnen kerninstallaties van het Ministerie van EZ bevatten richtlijnen voor een aantal beveiligingsmaatregelen. Het gaat hierbij om materiële, organisatorische en personele beveiliging. Deze richtlijnen zijn voor de KCB van toepassing. Voor de ramp- en noodplannen wordt verwezen naar paragraaf 5.9.

3.2.6 Beleid inzake radioactief afval

In het algemene afvalbeleid is als uitgangspunt neergelegd dat de opslag of stort van niet-verwerkbaar afval moet voldoen aan de zogenaamde IBC-criteria (Isoleren, Beheersen en Controleren). Een bergingswijze dient aan deze criteria te voldoen.

Het Nederlandse overheidsbeleid heeft bepaald dat de opslag van uit Nederland afkomstig radioactief afval in Nederland moet plaatsvinden door één centrale organisatie op één locatie (Tweede Kamer, 1984). Deze organisatie is de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) en haar opslaglocatie bevindt zich in de Gemeente Borsele. De uitgangspunten van de nota zijn nog onverkort geldig. Het radioactieve afval van de KCB wordt bij COVRA opgeslagen waarmee het voldoet aan de bovengenoemde uitgangspunten.

De regering heeft in 1993 besloten dat opslag van radioactief afval in de diepe ondergrond alleen kan worden toegelaten mits het afval terugneembaar is (Tweede Kamer, 1993). In 2001 heeft de Commissie Opberging Radioactief Afval (CORA) de

terugneembare berging in de ondergrond opnieuw beoordeeld (CORA, 2001). Dit heeft niet geleid tot een nieuw regeringsstandpunt, zodat voorlopig wordt gekozen voor langdurige (100 jaar) bovengrondse opslag van al het in Nederland gegenereerde radioactief afval bij COVRA (Tweede Kamer, 2002). De regering maakt zich ook hard voor dit standpunt in de onderhandelingen over een ontwerp-richtlijn van de EU, waarin wel sprake is van toekomstige ondergrondse opslag (Tweede Kamer, 2003). Het ontwerp van de EU verlangt echter in tegenstelling tot het Nederlandse beleid geen terugneembaarheid.

Recent is bij COVRA een gebouw voor hoogradioactief afval (HABOG) in gebruik genomen. De specificaties van het opwerkingsafval, dat EPZ zal aanbieden ter opslag in HABOG (en uiteindelijk ter geologische eindberging) zijn door de verantwoordelijke minister reeds goedgekeurd. Hierin zullen geen veranderingen ontstaan als gevolg van de beoogde wijziging.

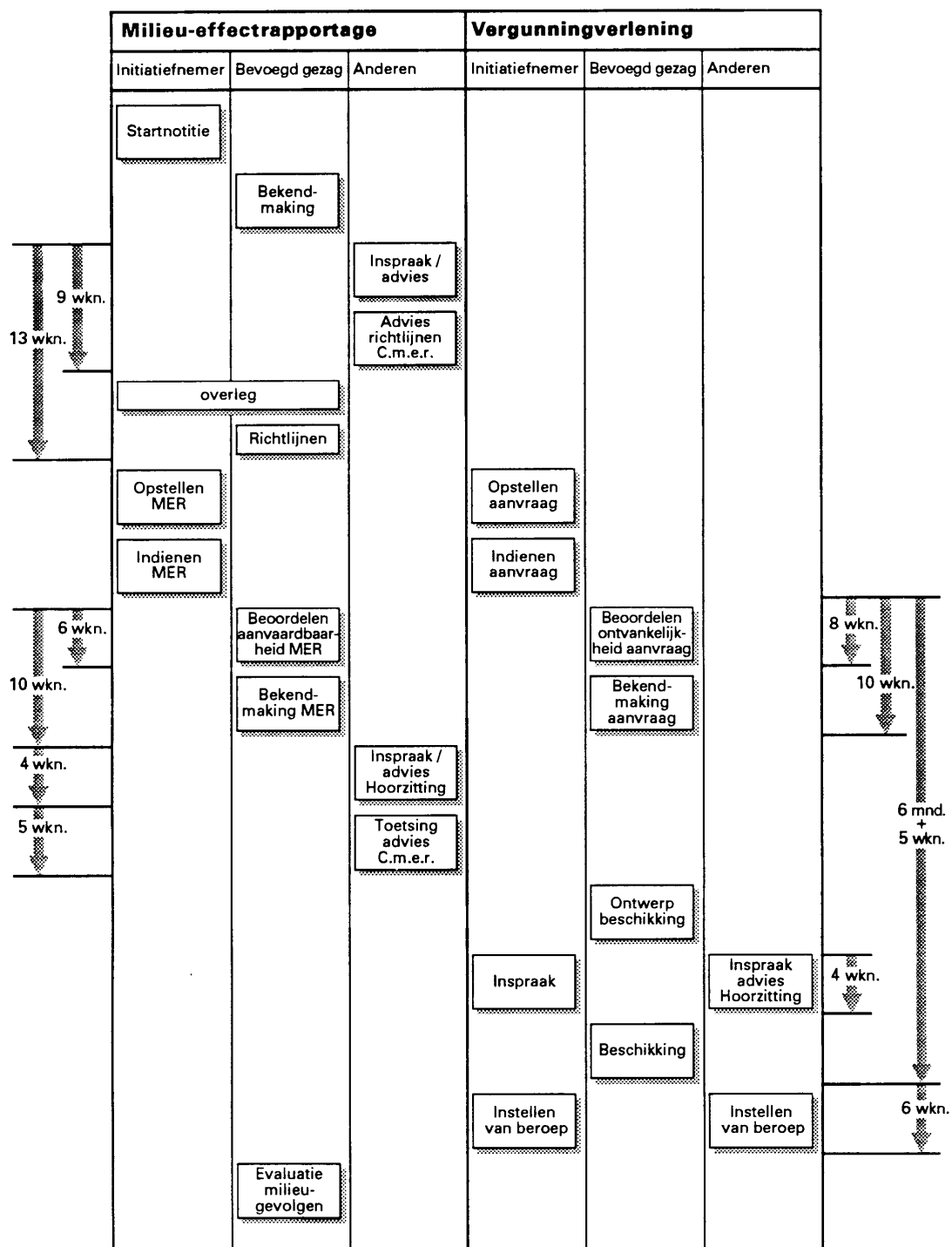
3.3 **Besluitvorming**

Dit MER is opgesteld ten behoeve van de te nemen besluiten inzake de wijzigingsvergunning voor de KeW. Een wijzigingsvergunning ingevolge de Wet verontreiniging oppervlaktewateren (WVO) is niet vereist aangezien in de lozingssituatie geen veranderingen optreden.

De KeW-vergunning wordt aangevraagd bij de bevoegde ministers van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), van Economische Zaken (EZ), en van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW). De ministers beslissen in overeenstemming met de ministers die het mede aangaat. Het gaat hierbij om de ministers van Verkeer en Waterstaat (V&W), Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV) en Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS).

De procedures voor vergunningverlening krachtens de Kew zijn beschreven in de Algemene wet bestuursrecht en de Wet milieubeheer. De m.e.r.-procedure is geïntegreerd in de vergunningprocedure (zie figuur 3.3.1). Dat wil zeggen dat de vergunningaanvraag en het MER tegelijk worden ingediend en ook voor het overige overeenkomstig de Wet milieubeheer gecoördineerd worden voorbereid en behandeld. Ten aanzien van alle besluiten over deze vergunningen geldt dat deze voorafgegaan worden door inspraak- en adviesprocedures, terwijl tegen de besluiten beroep mogelijk is.

Na afgifte van de beschikking (het verlenen van de vergunning door het Bevoegd Gezag) bestaat de mogelijkheid tot beroep bij de Raad van State.



Figuur 3.3.1 Schema koppeling m.e.r. aan vergunningsprocedure KeW (Wet milieubeheer) / Algemene wet bestuursrecht

3	RANDVOORWAARDEN EN BESLUITVORMING	3.1
3.1	Inleiding	3.1
3.2	Randvoorwaarden	3.1
3.2.1	Wetgeving	3.1
3.2.2	Geldende vergunningen	3.3
3.2.3	Het beoordelingskader	3.4
3.2.3.1	Wettelijk kader Kernenergiewet	3.4
3.2.3.2	Risiconormering ontwerp-ongevallen	3.5
3.2.3.3	Risiconormering ernstige ongevallen	3.6
3.2.3.4	Veiligheidsnormen en -richtlijnen (IAEA)	3.8
3.2.4	Natuurbeleid	3.8
3.2.5	Overige overheidsvoorschriften	3.9
3.2.6	Beleid inzake radioactief afval	3.9
3.3	Besluitvorming	3.10

4 HUIDIG BEDRIJF, VOORGENOMEN ACTIVITEIT EN ALTERNATIEVEN

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de huidige installatie, de voorgenomen activiteit en de alternatieven voor deze activiteit behandeld.

Daartoe wordt in paragraaf 4.2 een beschrijving van de huidige installatie gegeven, waarbij met name wordt ingegaan op de maatregelen die zijn getroffen om ervoor te zorgen dat de aanwezige radioactieve stoffen geen gevaar kunnen vormen voor mensen, dieren, planten en goederen buiten de centrale. De verschillende barrières tussen de radioactieve inhoud van de reactor en de omgeving en de voorzieningen om die barrières in stand te houden, worden beschreven.

In paragraaf 4.3 wordt de voorgenomen activiteit behandeld. Deze bestaat uit enkele wijzigingen aan de splijtstof(elementen) zoals in de tweede paragraaf beschreven.

In het MER dienen tevens de alternatieven van de voorgenomen activiteit, die redelijkerwijs in beschouwing dienen te worden genomen, te worden beschreven. Deze worden besproken in paragraaf 4.4. De volgende alternatieven worden behandeld:

- nulalternatief
- milieuvriendelijke alternatieven (uitvoeringsalternatieven)
- het meest milieuvriendelijk alternatief.

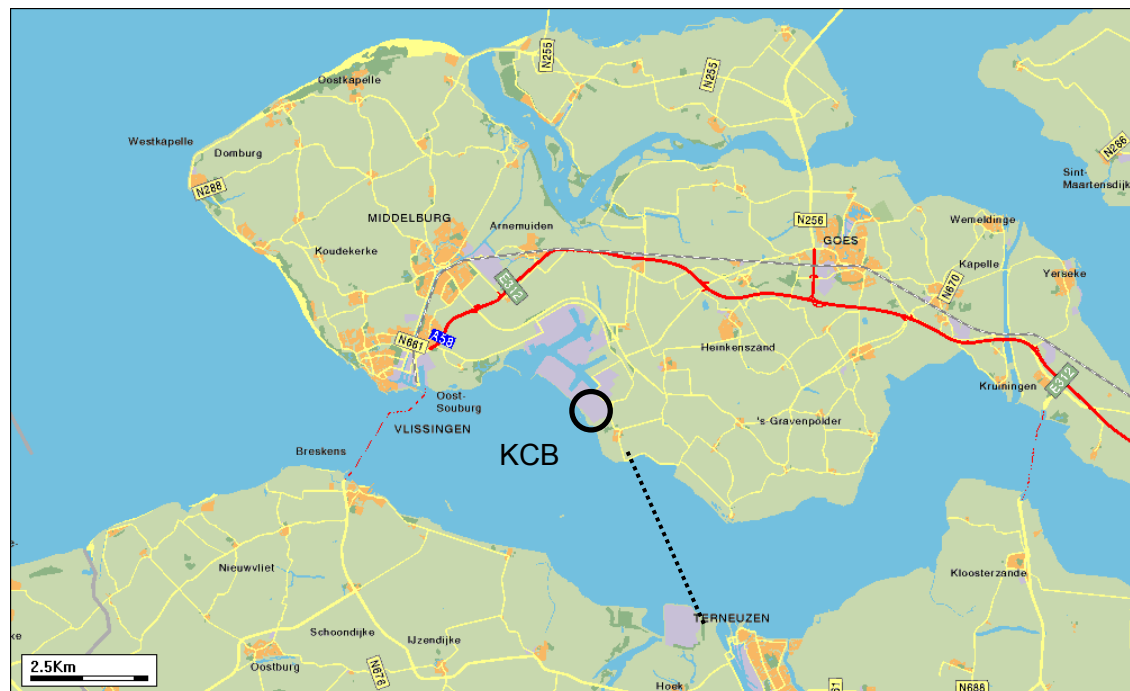
4.2 Huidige installatie

4.2.1 Algemene beschrijving en bedrijfservaringen

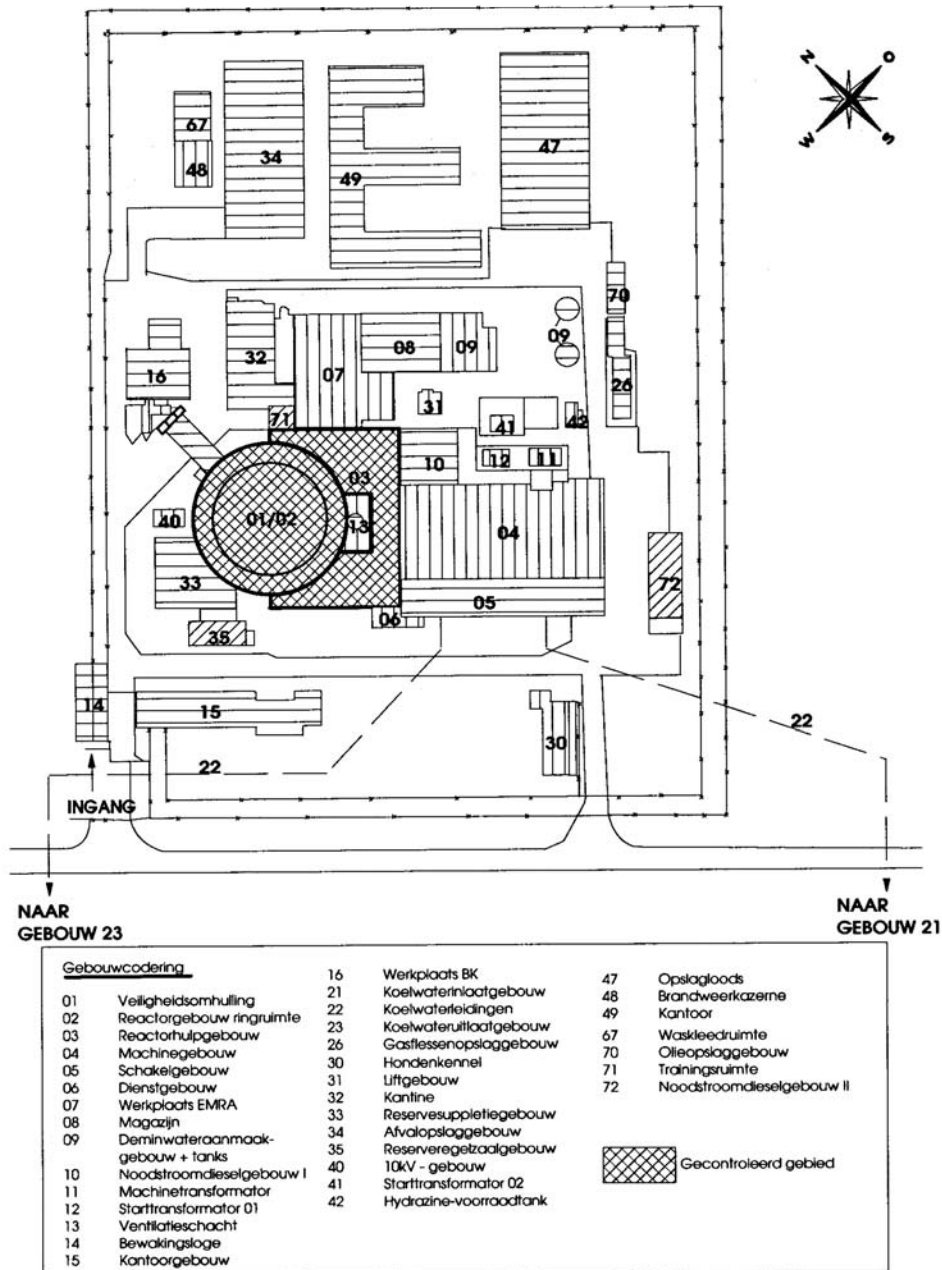
De ligging van de KCB is te zien in figuur 4.2.1. De KCB bevindt zich op het terrein van EPZ, waarop zich ook een kolengestookte eenheid en een gasturbine-eenheid bevinden. De belangrijkste gebouwen van de KCB zijn aangegeven in figuur 4.2.2. Voorts zijn enkele karakteristieke gegevens in tabel 4.2.1 vermeld.

Tabel 4.2.1 Karakteristieke gegevens van de kernenergiecentrale

Netto elektrische vermogen	449 MW _e
Bruto thermisch vermogen van de reactor	1366 MW _{th}
Netto rendement	33%
Primair systeem	
Systeemdruk	155 bar
Gemiddelde temperatuur	305 °C
Secundair systeem	
Stoomdruk	58 bar
Stoomtemperatuur	260 °C

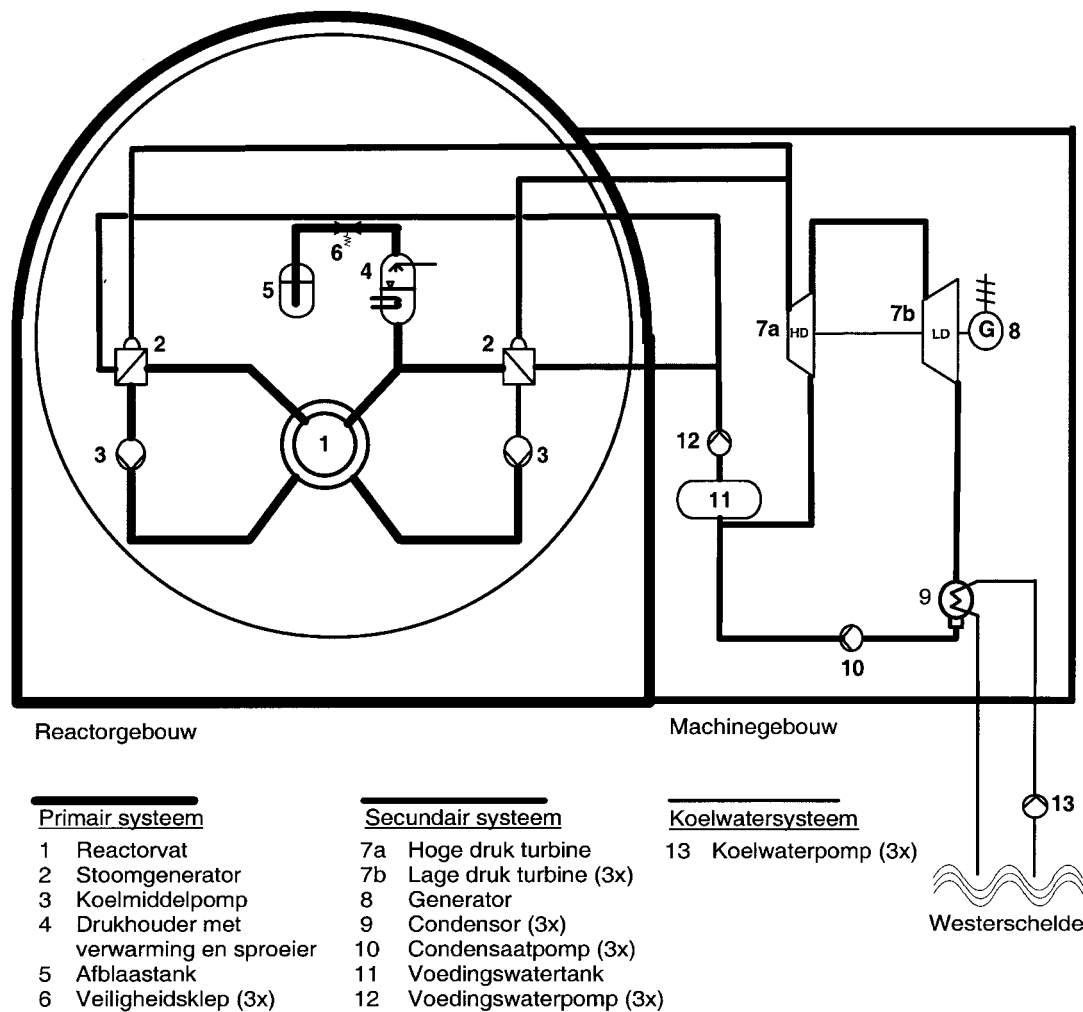


Figuur 4.2.1 Ligging van de kernenergiecentrale Borssele (schaal 1:200.000)



Figuur 4.2.2 De belangrijkste gebouwen van de KCB

De reactor van de KCB is een thermische drukwaterreactor. In de reactorkern, die zich in het reactorvat (1) bevindt, wordt door het splijtingsproces warmte geproduceerd (zie figuur 4.2.3).



Figuur 4.2.3 Principeschema van de installatie

Deze warmte wordt overgedragen aan het koelmiddel, dat uit water bestaat waaraan borium is toegevoegd. Dit koelmiddel wordt in een kringloop, de primaire kringloop genoemd, rondgepompt. Het water staat daarbij onder een zodanige druk dat het bij het opnemen van de geproduceerde warmte niet gaat koken. Het koelmiddel staat de warmte weer af aan een tweede (secundaire) kringloop. Deze warmte-overdracht vindt plaats in twee stoomgeneratoren, waar het water uit de secundaire kringloop in stoom wordt omgezet. Na afschakeling van de reactor blijft de kern door de aanwezigheid van radioactieve splijtingsproducten nog warmte produceren. Ook na stoppen van de reactor dient deze warmte

(restwarmte), die enkele procenten van de hoeveelheid bij volle belasting bedraagt, dus nog te worden afgevoerd.

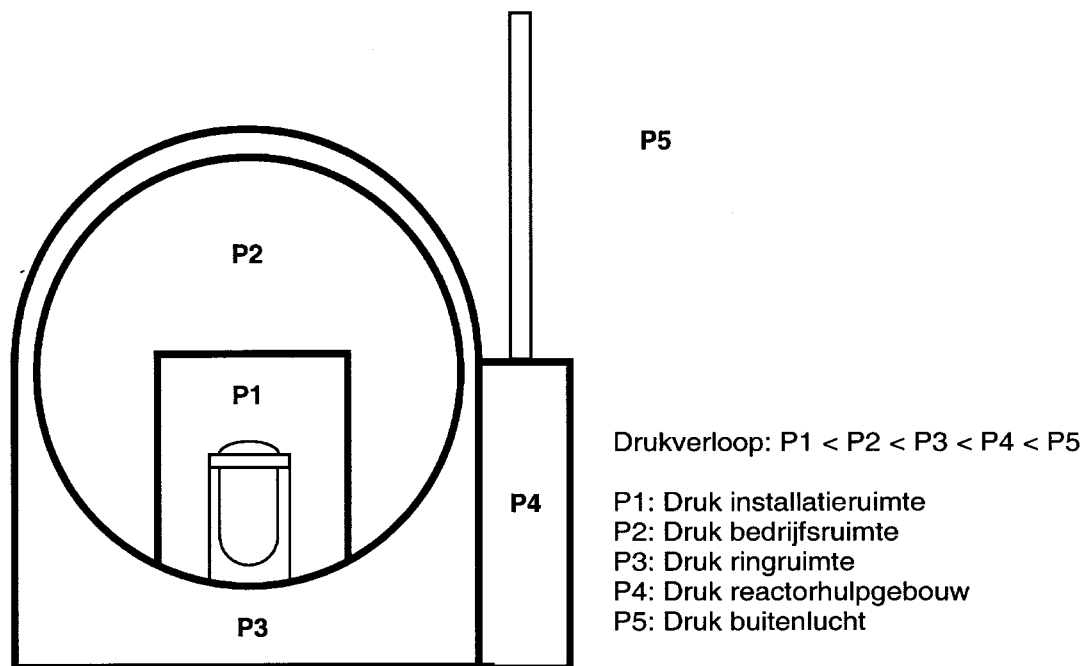
De in de stoomgeneratoren geproduceerde stoom drijft een stoomturbine (7) aan, die op haar beurt een elektriciteitsgenerator (8) aandrijft, die de elektriciteit produceert.

Op de primaire kringloop is een drukhouder aangesloten (4), waarmee door sproeien of door elektrisch verwarmen de druk in het primaire systeem wordt geregeld. Op de drukhouder bevinden zich veiligheidskleppen (6).

Nadat in de reactor de splijtstof van de elementen grotendeels is verbruikt, worden de elementen in een splijtstofopslagbassin geplaatst. De gebruikte splijtstof wordt na een afkoelperiode van circa één jaar, waarin een deel van de radioactiviteit is vervallen en de splijtstofstaven voldoende afgekoeld zijn om getransporteerd te mogen worden, in een speciaal daarvoor ontworpen container verzonden naar de opwerkingsfabriek. Het opslagbassin is voorzien van een koelsysteem.

De splijtstofcyclus, waarin de fabricage van de splijtstof wordt uitgelegd, en het kernsplijtingsproces, dat de fysische achtergronden van de kernsplijting behandelt, worden in de paragrafen 4.2.2 en 4.2.3 beschreven.

De centrale is uitgerust met een speciaal ventilatiesysteem. Met behulp van ventilatoren wordt in de verschillende ruimten binnen het reactorgebouw een van buiten naar binnen toenemende onderdruk in stand gehouden (zie figuur 4.2.4). Daardoor kunnen bij normaal bedrijf slechts naar binnen gerichte lekkages optreden en kan er geen radioactiviteit ongecontroleerd in het milieu terechtkomen. De afgezogen lucht wordt door uiterst effectieve filtersystemen geleid, voordat zij via de ventilatieschacht ("schoorsteen") naar de omgeving wordt afgevoerd. De afgevoerde lucht uit bovengenoemde ruimten alsmede de luchtafvoer door de ventilatieschacht worden bewaakt op radioactiviteit. Tevens wordt in de ventilatieschacht de doorstromende hoeveelheid lucht gemeten. Bij een te grote toename van de radioactiviteit in de lucht binnen de veiligheidsomhulling wordt de toe- en afvoer van de lucht bij de doorvoeringen van de veiligheidsomhulling direct, automatisch afgesloten.



Figuur 4.2.4 Drukverloop binnen de gebouwen

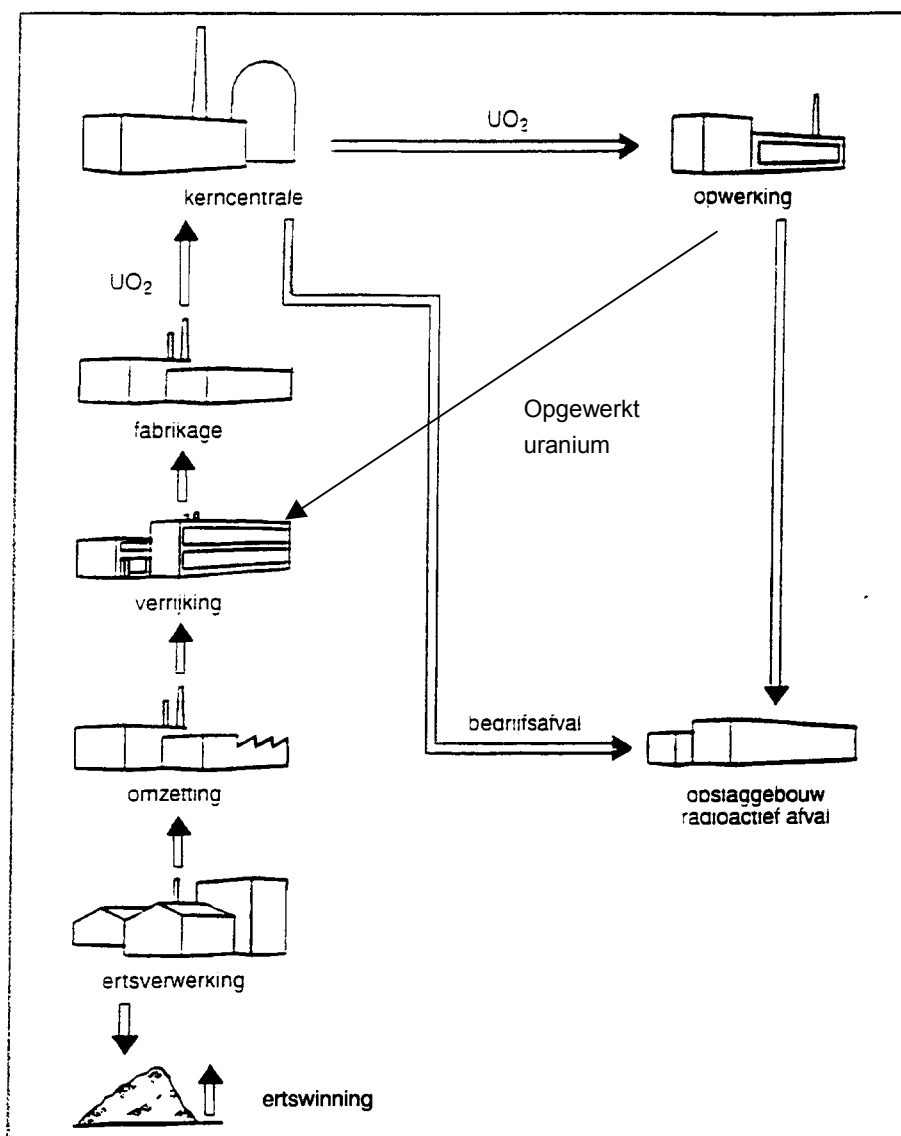
4.2.2 Splijtstofcyclus

De opeenvolging van de verschillende bewerkings- en verwerkingsstadia van de materialen die nodig zijn voor de kernsplijting wordt de splijtstofcyclus genoemd. Aangezien de diverse activiteiten veelal op verschillende plaatsen gebeuren, zijn materiaaltransporten nodig. Een schema van de kenmerkende splijtstofcyclus voor de kernenergiecentrale Borssele is weergegeven in figuur 4.2.5.

De splijtstofcyclus voor een lichtwaterreactor zoals de KCB kan in de volgende kenmerkende fasen onderscheiden worden:

- 1 de winning van uranium uit ertsen en de omzetting van uraniumconcentraat in uraniumoxide (U_3O_8). Natuurlijk uranium wint men uit uraniumerts in bovengrondse en ondergrondse mijnen. Het erts, waarin normaliter enkele tienden tot een tiental gewichtsprocenten (0,2 - 10%) uranium zit, wordt gemalen waarna het uranium via een chemisch proces wordt afgescheiden. Het uranium komt dan vrij als U_3O_8 , een uraniumoxide dat men vanwege zijn geel-bruine kleur aanduidt als "yellowcake". Voor KCB is op jaarbasis ongeveer 90 ton natuurlijk uranium benodigd.

- 2 de omzetting van het vaste U_3O_8 in het gasvormige uraniumhexafluoride (UF_6). De meest gangbare verrijkingsprocessen kunnen alleen op basis van UF_6 werken.
- 3 de verrijking, waarbij de concentratie van het splijtbare isotoop uranium-235 van 0,7% verhoogd wordt tot bijvoorbeeld 4,4%.
- 4 de omzetting van uraniumhexafluoride in vast uraniumdioxide (UO_2) in de splijtstoffabriek
- 5 de fabricage van splijtstofelementen. Het uraniumdioxide wordt tot tabletten geperst en gesinterd. De tabletten worden verpakt in metalen staven (splijtstofstaven) van ongeveer drie meter lengte, die vervolgens worden gebundeld tot splijtstofelementen van 205 staven elk.
- 6 de versplijting van het uranium in kernreactoren: hierbij neemt de concentratie van het splijtbare uraniumisotoop uranium-235 af tot minder dan één gewichtsprocent onder gelijktijdige vorming van splijtbaar plutonium-239 en andere plutoniumisotopen uit het niet-splijtbare uranium-238. Verder worden radioactieve splijtings- en activeringsproducten gevormd.
- 7 de opwerking: in deze fase wordt na gebruik in de reactor de gebruikte splijtstof langs chemische weg in drie fracties gescheiden: uranium, plutonium en radioactieve restproducten.
- 8 hergebruik, verkoop, of opslag van het uranium en plutonium.
- 9 de conditionering en opslag van de radioactieve residuen in afwachting van eindberging.



Figuur 4.2.5 Vereenvoudigde weergave van de splijstofcyclus van KCB

4.2.3 Het kernsplijtingsproces

Als "brandstof" voor de kernenergiecentrale dient uranium. Door middel van het zogenaamde kernsplijtingsproces wordt uit dit uranium energie gewonnen.

In de natuur voorkomend uranium bestaat uit een mengsel van de isotopen uranium-238 en uranium-235. Voor het splijtingsproces is bij een thermische lichtwaterreactor alleen het uranium-235 isotoop bruikbaar. Het gehalte van dit isotoop bedraagt van nature circa 0,7%. Dit gehalte is te laag om in een lichtwaterreactor een continu splijtingsproces te kunnen bewerkstelligen en wordt daarom kunstmatig verhoogd. Dit wordt het verrijken van de splijtstof genoemd. Het percentage uranium-235 van de totale hoeveelheid uranium wordt de verrijkingsgraad genoemd. Wanneer de verrijking minder dan 20% bedraagt, spreekt men van licht verrijkt uranium. In de kernenergiecentrale Borssele wordt uitsluitend deze licht verrijkte splijtstof toegepast (thans tot 4,0%).

De warmte-ontwikkeling in een reactor komt als volgt tot stand. De kern van een uraniumatoom bestaat uit een groot aantal deeltjes, te weten neutronen en protonen. De totale hoeveelheid deeltjes bepaalt het massagetal van het atoom. Uranium-235 heeft dus een kern die uit 235 deeltjes, neutronen en protonen, bestaat. Wordt een dergelijke kern getroffen door een neutron dan kan dit neutron ingevangen worden in de kern. Als gevolg van het invangen van het neutron kan de kern uiteenvallen in twee kleinere kernen. Er ontstaan dan twee lichtere atomen, zogenaamde splijtingsproducten. Deze zijn radioactief.

Bij het splijten van een kern komen naast de splijtingsproducten ook enkele neutronen en een hoeveelheid energie vrij. De energie wordt omgezet in warmte. De vrijgekomen neutronen kunnen op hun beurt weer kernsplijtingen bij andere uraniumatomen veroorzaken. Op die wijze ontstaat een continu splijtingsproces. De reactor is dan kritisch. Om de neutronen geschikt te maken voor het splijtingsproces moeten ze worden afgeremd (modereren). Dit gebeurt bij de kernenergiecentrale Borssele met behulp van water. Dit water dient tevens voor de afvoer van de opgewekte warmte. De gevormde activerings- en splijtingsproducten vervallen onder uitzending van ioniserende straling uiteindelijk naar stabiele, niet-radioactieve atomen. Dit wordt radioactief verval genoemd. Hierbij komt eveneens een hoeveelheid warmte vrij, echter veel minder dan bij de kernsplijting zelf.

De reactor van de KCB is een thermische drukwaterreactor. Het water staat daarbij onder een dermate hoge druk dat het bij het opnemen van de geproduceerde warmte niet gaat koken. Bij een constant vermogen van de reactorkern wordt ervoor gezorgd dat het aantal splijtingen per seconde constant blijft door de hoeveelheid neutronen op een bepaald peil te houden.

Bij afschakeling van de reactor wordt een zodanig percentage neutronen weggenomen dat het overblijvende aantal te gering is om een continu splijtingsproces in stand te houden. Het proces stopt dan in zeer korte tijd waarbij de reactor onderkritisch wordt. De overblijvende splijtings- en activeringsproducten blijven nog lange tijd na stopzetting van het splijtingsproces een steeds verder afnemende hoeveelheid warmte produceren als gevolg van radioactief verval. Deze hoeveelheid warmte bedraagt kort na afschakeling nog maar enkele procenten van het volle reactorvermogen en neemt af in de tijd.

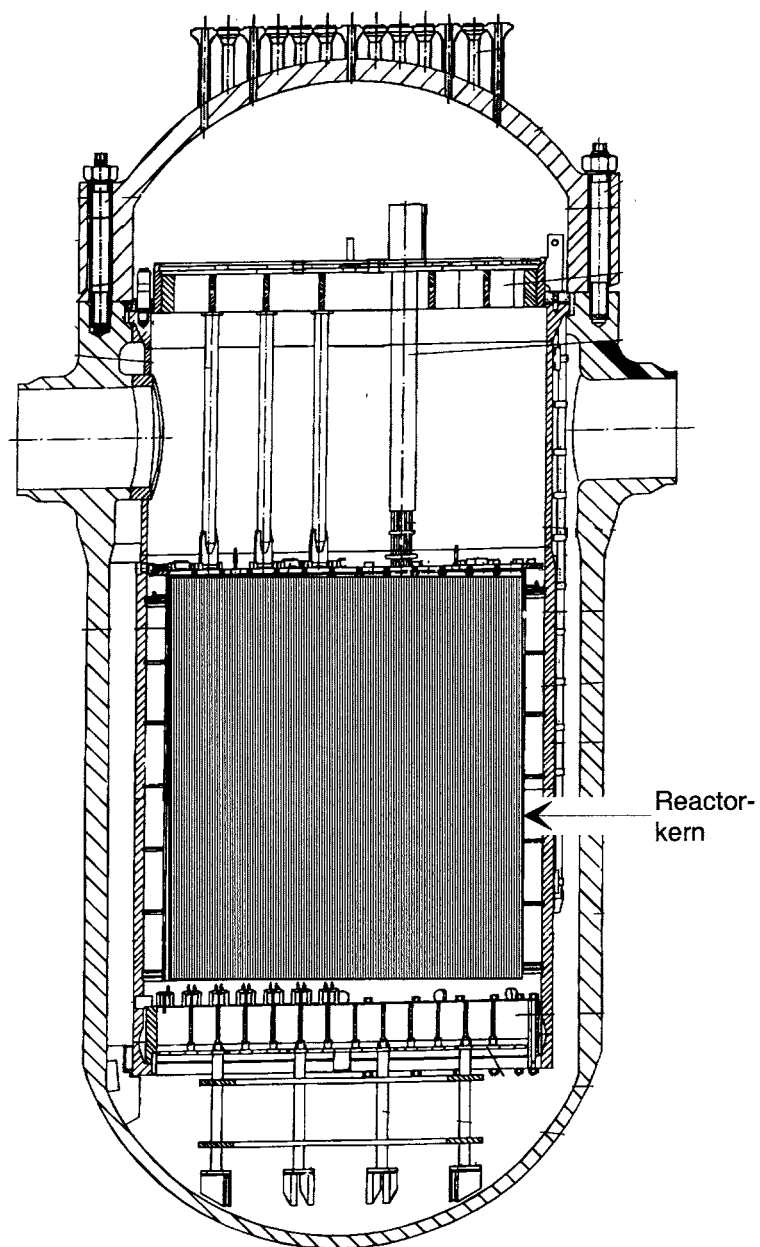
Onbestraalde splijtstof bevat slechts een geringe hoeveelheid radioactiviteit. Tijdens het bedrijf van de reactor wordt in de splijtstof een grote hoeveelheid radioactiviteit gevormd door splijtings- en activeringsproducten. Deze producten blijven binnen de splijstofelementen opgesloten.

4.2.4 Splijstofelementen

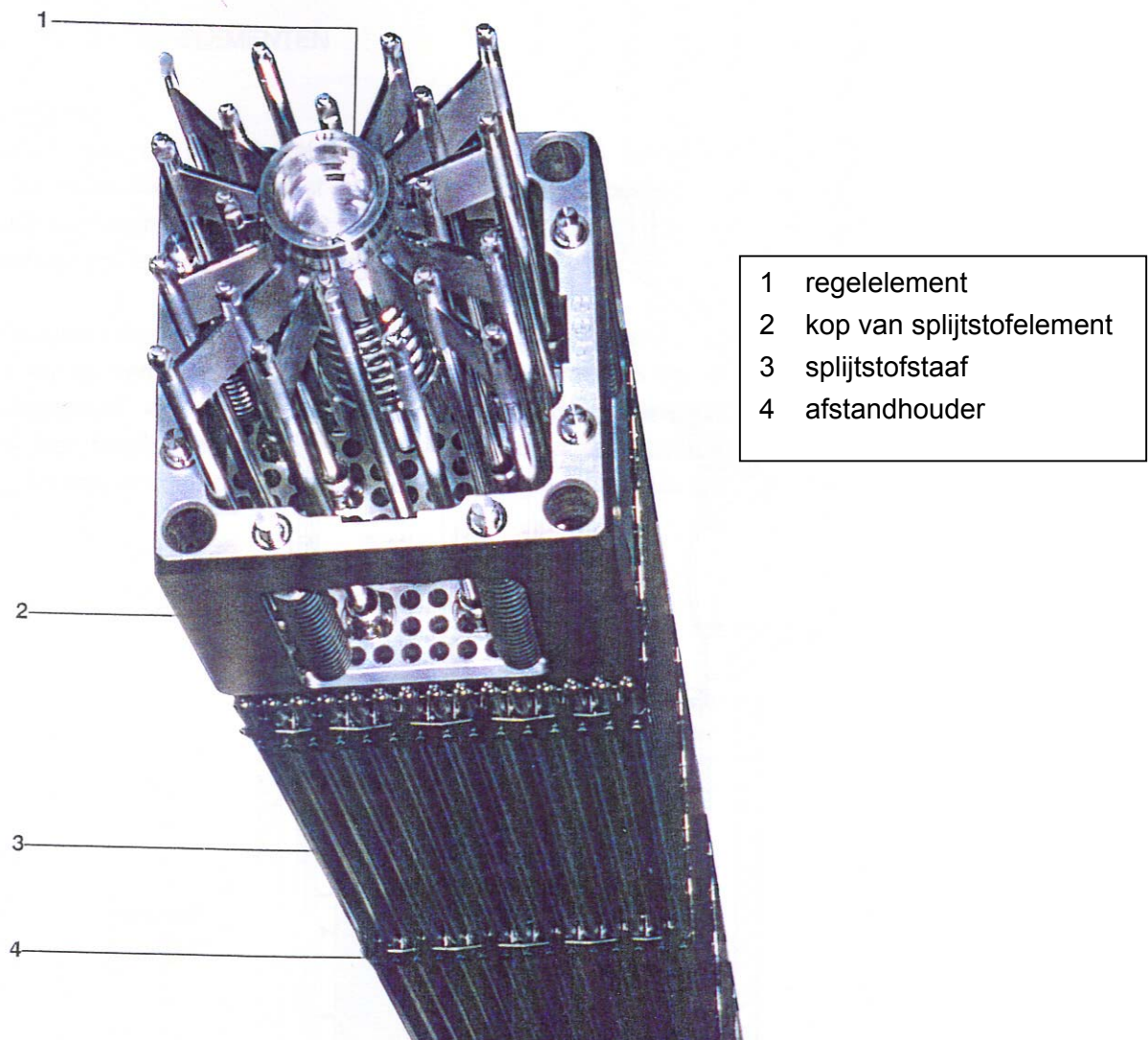
Kernsamenstelling

De reactorkern van de KCB bevat circa 39 ton uranium in de vorm van UO_2 -tabletten. De reactorkern is geplaatst in het reactorvat (zie figuur 4.2.6) en bestaat uit in totaal 121 splijstofelementen (zie figuur 4.2.7). Op 28 posities van de kern kan een regelement in het splijstofelement op en neer worden bewogen.

Alle splijstofelementen zijn in principe identiek geconstrueerd maar kunnen van elkaar verschillen wat de verrijkingsgraad betreft. Binnen elk element is de verrijkingsgraad constant. De verrijkingsgraad van nieuwe elementen bedraagt thans 4,0% uranium-235. Gedurende het bedrijf neemt de verrijking van de splijstofelementen af als gevolg van versplijting. Daarbij worden per element ook enige kilogrammen plutonium gevormd.

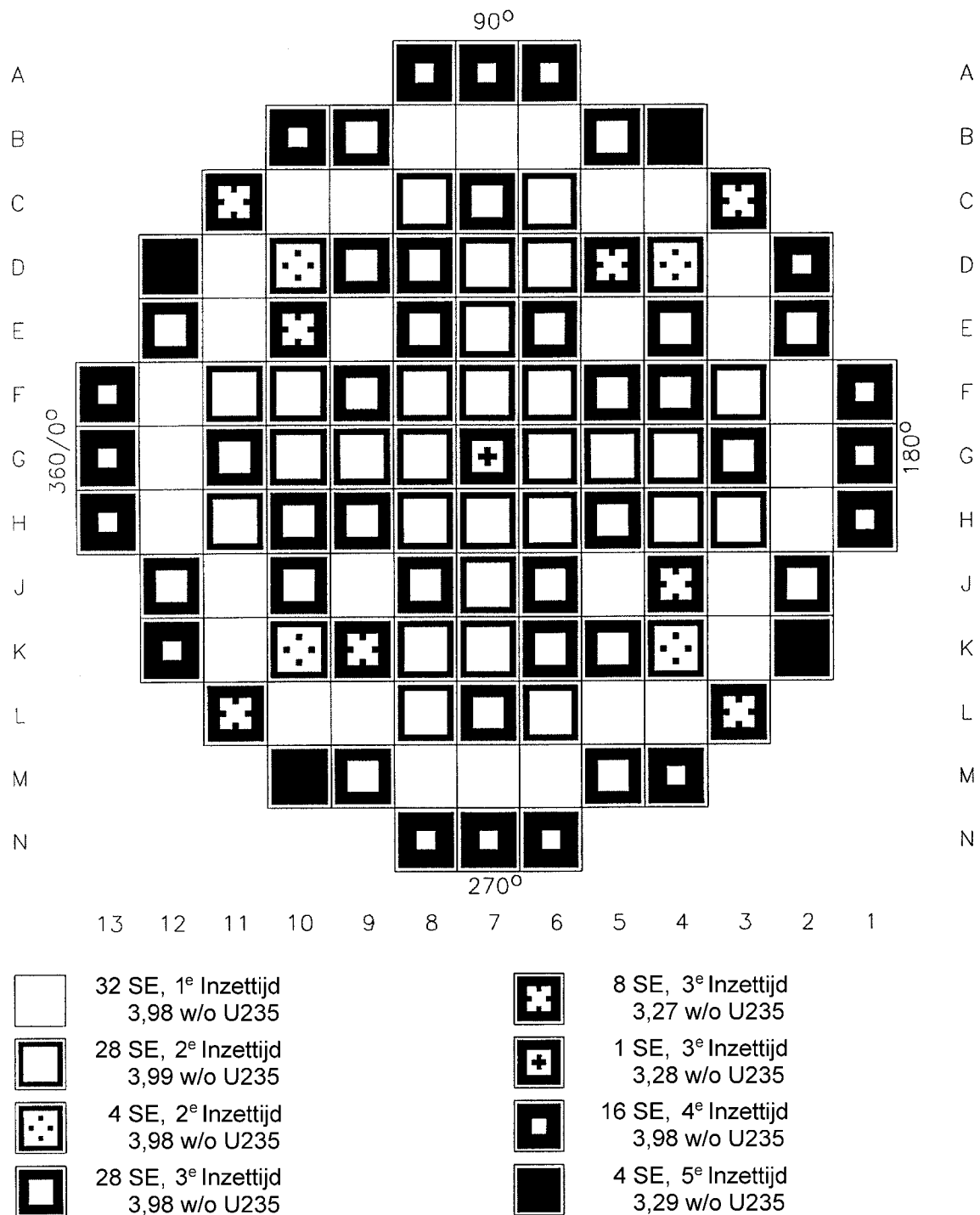


Figuur 4.2.6 Reactorvat met daarin reactorkern



Figuur 4.2.7 Bovenste gedeelte van een splijstofelement met regelement

Ter illustratie is een karakteristieke kern, zoals deze in een recente splijstofcyclus was opgebouwd, weergegeven in figuur 4.2.8. Deze bevat splijstofelementen tot aan de vijfde inzettijd met beginverrijkingen kleiner of gelijk aan 4,0% uranium-235. Na een splijstofcyclus van circa 12 maanden, wordt telkens een deel van de in de kern aanwezige splijstofelementen vervangen door nieuwe elementen. Dit gebeurt tijdens de splijstofwisseling waarbij de reactor uit bedrijf is.



Figuur 4.2.8 Voorbeeld van een kern na verschillende splijstofwisselingen.
SE = splijstofelement; w/o: gewichtsperscentage.

Splijstofelement

De splijstof is opgenomen in de reactorkern door middel van splijstofelementen (zie figuur 4.2.7). Een splijstofelement is opgebouwd uit een skelet bestaande uit afstandhouders, geleidingsbuizen en een kop en een voet. In dit skelet staan 205 splijstofstaven.

Splijstofstaaf

Een splijstofstaaf bestaat uit een buis waarin splijstoftabletten van uraniumdioxide zijn opgestapeld. De buis is met eindproppen gasdicht en druckbestendig dichtgelast. Per element bevindt zich in elke splijstofstaaf splijstof met een gelijke verrijkingsgraad. De verrijkingsgraad van verschillende elementen kan onderling wel verschillen.

Afstandhouder

De afstandhouders klemmen op verschillende hoogtes van het element de splijstofstaven vast zodat deze op een vaste afstand ten opzichte van elkaar blijven.

Geleidingsbuis

De geleidingsbuizen zijn aan de afstandshouders bevestigd en hebben tot taak de regelstaven, die dienen voor het snel afschakelen van de reactor, te geleiden. Tevens vormen zij, samen met de afstandhouders, de kop en de voet het “skelet” van het splijstofelement.

Kop en voet

De kop en voet van het splijstofelement zijn vast verbonden met de geleidingsbuizen en zorgen ervoor dat het element binnen de reactorkern op zijn plaats blijft. Aan de kop van het element bevindt zich een bevestigingspunt waaraan het element kan worden opgehesen.

Regelement

Met de regelementen kan het vermogen van de reactorkern worden geregeld en kan deze worden afgeschakeld. Elk regelement bestaat uit 20 regelstaven, die aan een spinvormige constructie zijn bevestigd. Elk van de 20 regelstaven is opgebouwd uit een metalen huls waarin zich neutronenabsorberend materiaal (een zilver-cadmium legering) bevindt.

Smoorelement

De smoorelementen worden geplaatst in de splijstofelementen waarin zich geen regelement bevindt. De smoorelementen zorgen ervoor dat door de geleidingsbuizen van de genoemde splijstofelementen niet te veel koelmiddel stroomt omdat hierdoor temperatuurspanningen zouden kunnen ontstaan. Deze smoorelementen bestaan uit een bodemplaat met korte smoorvingers die de geleidingsbuizen afsluiten.

Splijfstofwisseling

Na iedere cyclus van ongeveer een jaar wordt een deel van de splijstfoelementen uit de kern verwijderd en vervangen door nieuwe elementen. Hiertoe wordt de reactorkern na iedere cyclus opnieuw beladen. De elementen waarvan de splijstof zo goed als geheel is opgebrand worden definitief verwijderd. De mogelijkheid bestaat dat een aantal splijstfoelementen, die slechts deels zijn opgebrand, niet direct wordt teruggeplaatst in de kern maar pas bij een latere cyclus weer worden terug geplaatst in de kern. Dit is afhankelijk van de optimale toepassing van de splijstfoelementen. Het zo optimaal mogelijk beladen van de reactorkern vindt plaats volgens een vooraf vastgesteld beladingsplan waarbij een deel van de splijstfoelementen op andere plaatsen wordt gezet en ongeveer een vierde deel wordt ontladen en vervangen door nieuwe elementen. De elementen die definitief worden ontladen zijn elementen die gedurende vier of vijf cycli zijn gebruikt. Bij een splijstofwisseling worden de nieuwe splijstfoelementen vanuit het splijstofopslagbassin in het reactorvat geplaatst en worden de opgebrande elementen vanuit de kern in het splijstofopslagbassin geplaatst.

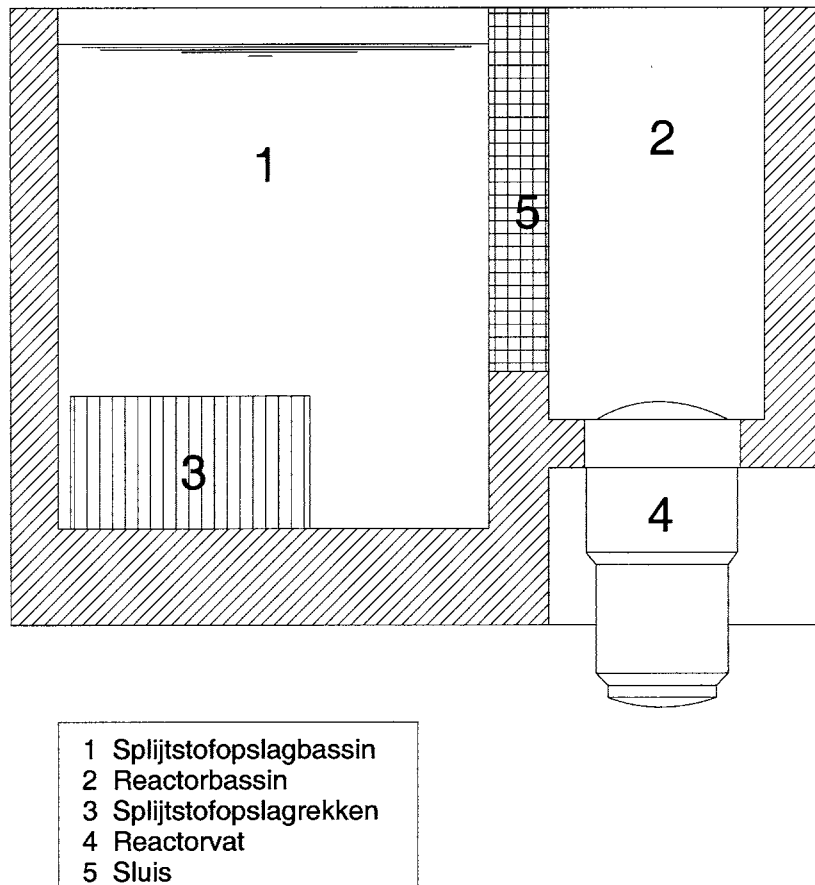
De beladingsplannen worden voor elke cyclus opnieuw vastgesteld waarbij rekening wordt gehouden met eventueel gewijzigde randvoorwaarden. Daarom wordt voor aanvang van elke nieuwe cyclus door middel van analyses aangetoond dat de reactor met de nieuwe kern veilig bedreven kan worden. Deze analyses worden vooraf door de Kernfysische Dienst van het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer beoordeeld.

4.2.5 Opslag splijstfoelementen

Opslag van nieuwe splijstfoelementen

Nieuwe splijstfoelementen zijn nauwelijks radioactief en produceren geen warmte. Opslag, afscherming en koeling vragen daarom dan ook veel minder aandacht dan bij gebruikte elementen. Nieuwe splijstfoelementen worden in principe bij aankomst in de centrale in het splijstofopslagbassin (zie figuur 4.2.9) geplaatst. De materialen van de opslagrekken en de afstand tussen de splijstfoelementen in het splijstofopslagbassin zijn zo gekozen, dat zelfs wanneer alle plaatsen bezet zijn door nieuwe splijstfoelementen, en het water in het bassin per ongeluk geen neutronenabsorberend boorzuur zou bevatten, geen kernsplijtingsproces op gang kan komen. De zogenaamde onderkriticaliteit van de splijstfoelementen is dan gewaarborgd. De verhouding tussen de geproduceerde en de geabsorbeerde neutronen is dan duidelijk kleiner dan 1, namelijk $K_{\text{eff}} \leq 0,95$. Normaal is het water wel voorzien van boorzuur en is slechts een gedeelte van de beschikbare plaatsen daadwerkelijk door nieuwe splijstfoelementen bezet, zodat de onderkriticaliteit met een zeer ruime marge is gewaarborgd.

Teneinde het aantal handelingen met nieuwe splijstofelementen zo beperkt mogelijk te houden worden de splijstofelementen normaliter direct na aanvoer in het splijstofopslagbassin opgeslagen.



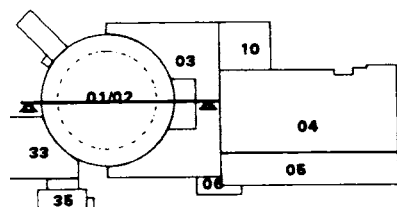
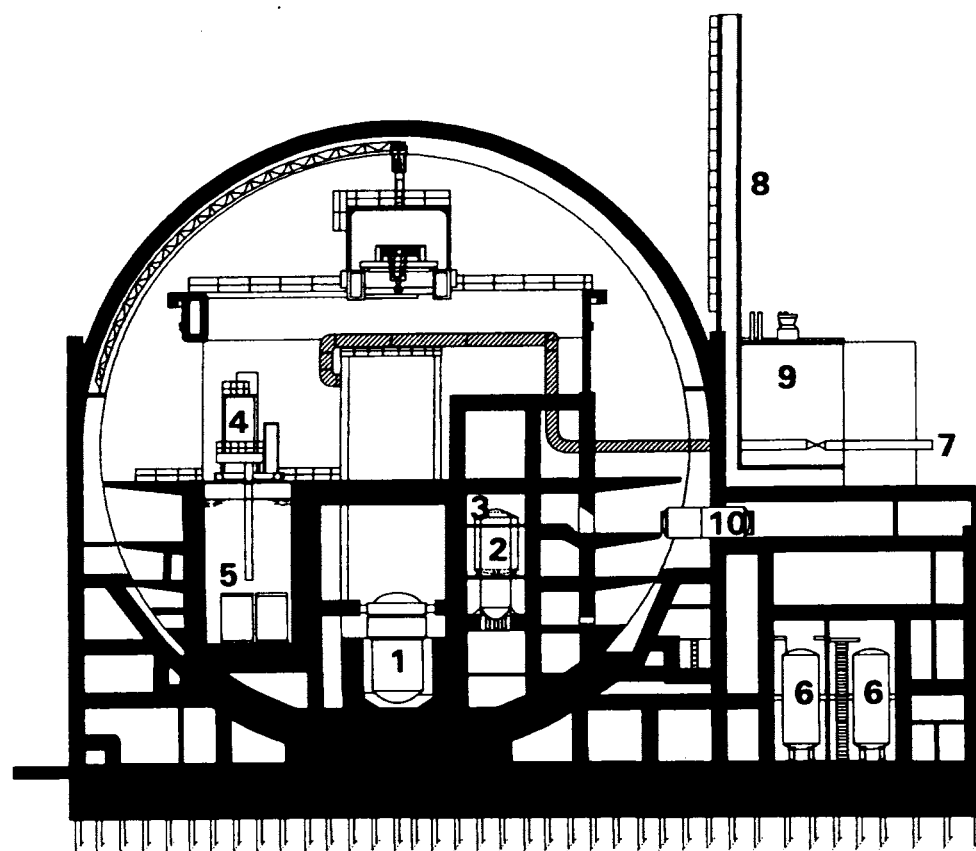
Figuur 4.2.9 Situering splijstofopslagbassin

Opslag van gebruikte splijstofelementen

Gebruikte splijstofelementen worden in het splijstofopslagbassin bewaard totdat ze opnieuw in de reactorkern gebruikt worden of afgevoerd worden uit de centrale. Het splijstofopslagbassin bevindt zich binnen de veiligheidsomhulling (zie figuur 4.2.10) en is door middel van een afsluitbare sluis verbonden met het reactorbassin (het bassin boven het reactorvat). Het geboreerde water in het splijstofopslagbassin dient om de gebruikte splijstofelementen te koelen. Verder dient het ter afscherming van de ioniserende straling van de gebruikte splijstofelementen.

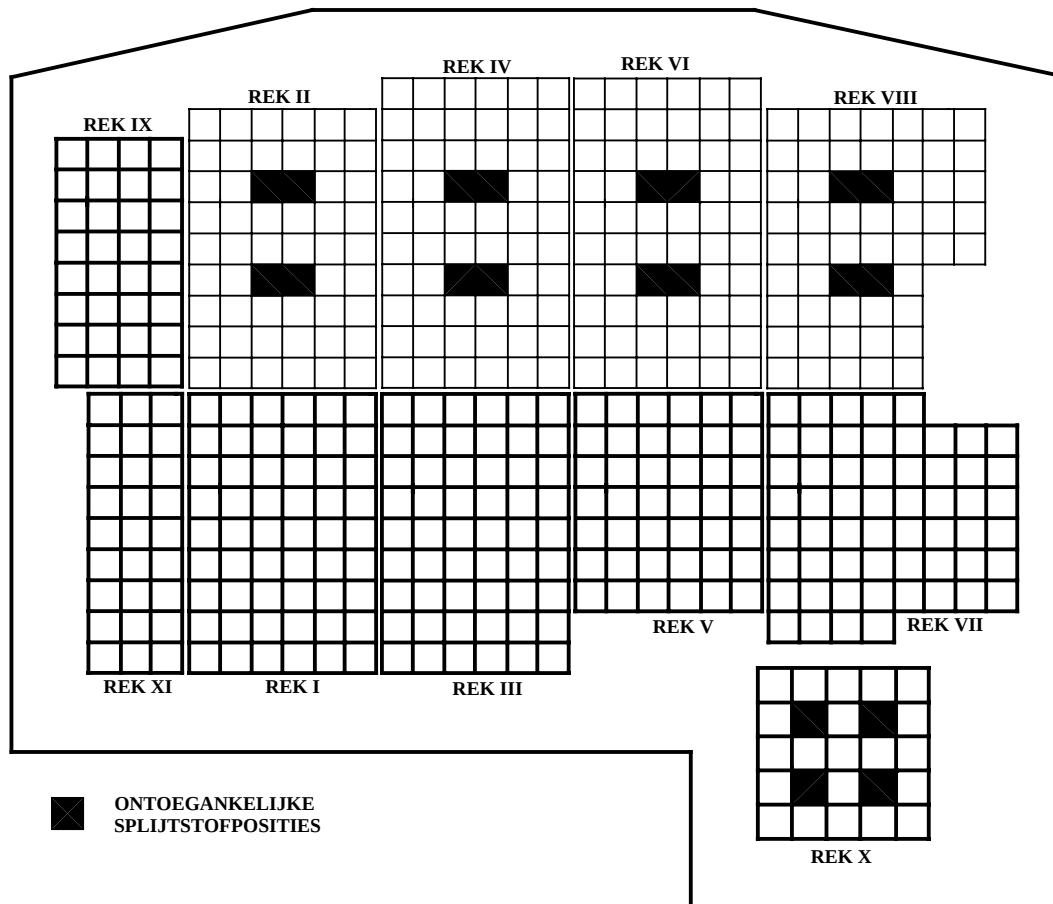
Voordat een splijtstofwisseling plaatsvindt, wordt het reactorbassin gevuld met geboreerd water. Op deze wijze wordt de noodzakelijke afscherming tegen ioniserende straling tijdens het transport van de splijtstofelementen van de reactor naar het splijtstofopslagbassin verzorgd.

In het splijtstofopslagbassin bevinden zich zogenaamde compactrekken waarin 530 splijtstofelementen kunnen worden opgeslagen (zie figuur 4.2.11). Deze rekken zijn voorzien van neutronen-absorberend materiaal tussen de posities waar de elementen staan, ter waarborging van de onderkritikaliteit. De rekken worden verdeeld in twee zones namelijk een zone (rek II, IV, VI en VIII) met de mogelijkheid om splijtstofelementen op te slaan die een verrijkingsgraad hebben van maximaal 4,0% en een tweede zone (rek I, III, V, VII, IX en XI) die splijtstofelementen met een verrijkingsgraad tot maximaal 4,3% kan bergen. Van de eerste zone kan worden aangegeven dat deze rekken oorspronkelijk zijn ontworpen voor opslag tot 3,8 % en enkele posities zijn afgesloten (zie figuur 4.2.11) om de vereiste onderkritikaliteit bij belading met de nu gangbare 4,0 % te garanderen. Door meer posities af te sluiten, kunnen de rekken ook voor nog hogere verrijkingsgraden veilig benut worden binnen de geldende voorschriften. Eén niet-compact rek (rek X, 25 posities), oorspronkelijk geschikt voor de opslag van splijtstofelementen met een verrijkingsgraad van 3,3%, wordt als demontabele stelling gebruikt. Op de positie van rek X kan, in de periodes tussen de splijtstofwisselingen, de transportcontainer voor de afvoer van splijtstofelementen onder water worden geplaatst. Naast opslagrekken is er ook plaats voor de opslag van de aandrijfstanden van de regelementen. Tevens zijn er voorzieningen voor het inspecteren en repareren van splijtstofelementen.



- | | |
|----|---------------------------------|
| 1 | Reactorvat |
| 2 | Drukhouder (YP) |
| 3 | Afblaastank (YP) |
| 4 | Splijtstofwisselmachine |
| 5 | Splijtstofopslagbassin |
| 6 | Radioactief afvalwatertank (TR) |
| 7 | Hoofdstoomleiding (RA) |
| 8 | Ventilatieschacht |
| 9 | Afblaasstation |
| 10 | Personensluis |

Figuur 4.2.10 Splijtstofopslagbassin binnen veiligheidsomhulling



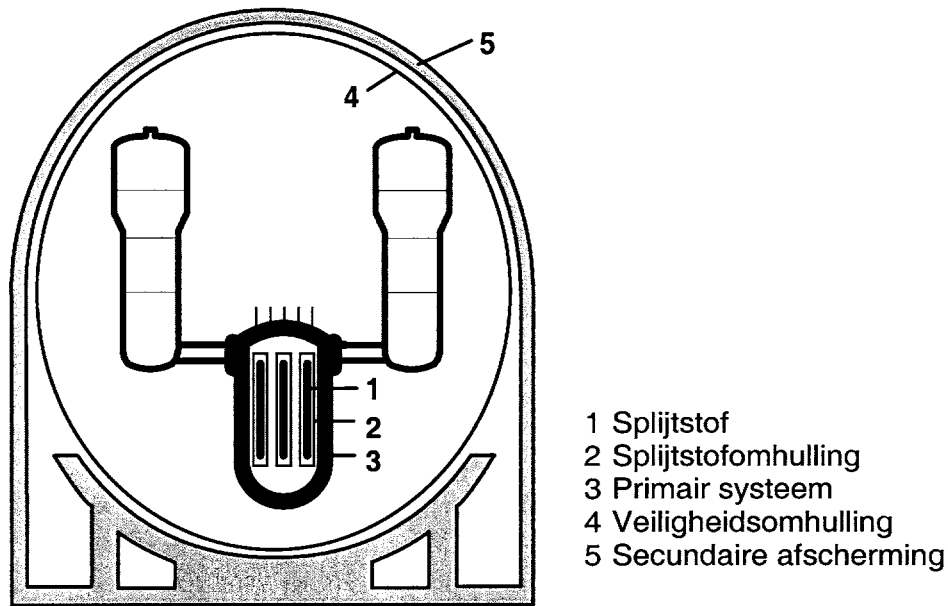
Figuur 4.2.11 Schematisch bovenaanzicht van het huidige splijtstofopslagbassin

4.2.6 Veiligheidsvoorzieningen

Aangezien er bij kernsplijting ioniserende straling vrijkomt en radioactieve stoffen worden gevormd, dienen er maatregelen getroffen te worden ter bescherming van omgeving en personeel. Het doel van deze bescherming is de stralingsbelasting zo laag als redelijkerwijs mogelijk te houden en de radioactieve stoffen veilig op te sluiten.

Het veilig insluiten van de radioactiviteit die tijdens de kernsplijting ontstaat, wordt gerealiseerd met behulp van een systeem van vijf, in hun werking achter elkaar geschakelde barrières. Deze zijn aangegeven in figuur 4.2.12.

De integriteit van de barrières wordt bewaakt door het meten van de radioactiviteit in de verschillende kringlopen en ruimten. De barrières worden bovendien periodiek op hun goede staat gecontroleerd.



Figuur 4.2.12 Activiteitsbarrières

Indien een van de barrières 1 tot en met 3 wordt bedreigd of doorbroken, treden automatisch actieve veiligheidssystemen in werking. Deze dienen om te voorkomen dat oververhitting van de kern optreedt, waarbij grotere hoeveelheden radioactiviteit vrij zouden kunnen komen. Om deze situatie te kunnen beheersen dienen de volgende drie functies gewaarborgd te zijn:

- afschakelen van de reactor
- koelen van de reactorkern
- afvoer van restwarmte.

In een storingssituatie kan de reactor snel afgeschakeld worden door het reactorsnelafschakelsysteem (zie hierna). Een tweede, langzamere methode is het toedienen van boorzuur in de reactorkern. Dit kan, afhankelijk van de storingssituatie, gebeuren door verschillende systemen namelijk door het volumeregelsysteem, het kerninundatie- en nakoelsysteem en het primaire reservesuppletiesysteem.

Voor de koeling van de kern is het noodzakelijk dat deze in alle situaties (bijvoorbeeld ook bij grote lekkages in het primaire systeem) onder water blijft staan. Twee veiligheidssystemen zijn in staat geboreerd water aan het primaire systeem toe te voeren, namelijk het kerninundatie- en nakoelsysteem en het primaire reservesuppletiesysteem.

De afvoer van de restwarmte vindt ook in storingssituaties in eerste instantie via de stoomgeneratoren plaats. Deze laatste kunnen worden gevoed door de secundaire veiligheidssystemen. De gevormde stoom wordt eventueel afgeblazen naar de omgeving. Is warmte-afvoer via de stoomgeneratoren niet mogelijk, dan wordt het kerninundatie- en nakoelsysteem ingeschakeld.

De belangrijkste veiligheidsvoorzieningen zijn:

- primairzijdige (in directe verbinding met de reactor) veiligheidsvoorzieningen:
 - reactorsnelafschakelsysteem
 - kerninundatie- en nakoelsysteem
 - primair reservesuppletiesysteem
- secundairzijdige veiligheidsvoorzieningen:
 - noodvoedingswatersysteem
 - secundair reservesuppletiesysteem
- algemene veiligheidsvoorzieningen:
 - reactorbeveiligingssysteem
 - noodstroomvoorziening
 - drukontlastsysteem van de veiligheidssomhulling.

Met het **reactorsnelafschakelsysteem** kan de reactor door de regelementen in de kern te laten vallen, in enkele seconden worden afgeschakeld.

Met het **kerninundatie- en nakoelsysteem** kan bij een lekkage van het primaire systeem koelmiddel worden aangevuld en restwarmte worden afgevoerd. Het systeem wordt, evenals het splijtstofopslagbassin, gekoeld door het nucleair tussenkoelwatersysteem, dat op haar beurt weer door het nood- en nevenkoelwatersysteem, waardoor Westerscheldewater stroomt, wordt gekoeld. Aan het kerninundatie- en nakoelsysteem zijn voorraad tanks met koelmiddel verbonden. Ook kan gelekt water uit de onder het reactorvat gelegen put worden gepompt.

Het **primaire reservesuppletiesysteem** is aangesloten op de primaire kringloop. Uit voorraadbassins kan in geval van uitvallen van bepaalde bedrijfssystemen, met name door invloeden van buitenaf, boorzuurvoeding en compensatie van lekkage plaatsvinden.

Met het **noodvoedingswatersysteem** kan, in het geval het gewone voedingswatersysteem uitvalt, water in de secundaire zijde van de stoomgeneratoren worden gepompt om tijdelijk de koeling over te nemen tot de druk in het primaire systeem zover is gedaald dat het kerninundatie- en nakoelsysteem de verdere koeling kan overnemen.

Het **secundaire reservesuppletiesysteem** bestaat uit voedingswaterstrangen met voorraadbassins, die aan de stoomgeneratoren zijn gekoppeld. Hiermee kan bij het uitvallen van het noodvoedingswatersysteem de geproduceerde warmte worden afgevoerd.

Het **reactorbeveiligingssysteem** meet een aantal grootheden van het proces. De gemeten waarden worden door het systeem vergeleken met ingestelde en toelaatbaar geachte grenswaarden. Bij overschrijding van de grenswaarden worden beveiligingssignalen geïnitieerd, die leiden tot acties, zoals het afschakelen van de reactor en/of de turbine en het inschakelen van veiligheidssystemen. Als gevolg van deze acties wordt ervoor gezorgd dat de toestand van de reactorinstallatie binnen veilige grenzen blijft. De diverse delen van het reactorbeveiligingssysteem zijn zekerheidshalve ondergebracht in drie verschillende gebouwen: het reservesuppletie-gebouw, het reserveregelzaalgebouw en in het schakelgebouw.

De **noodstroomvoorziening**, die uit twee noodstroomnetten met dieselgeneratoren bestaat, dient om in geval de externe 150 kV-stroomvoorziening uitvalt, de apparatuur die nodig is voor het veilig uit bedrijf nemen en in een veilige toestand houden van de installatie, van spanning te voorzien.

De **veiligheidsomhulling** is voorzien van een handbediende **ontlastklep**, die gebruikt kan worden ter bescherming tegen te hoge druk. Door toepassing van een filter wordt bereikt dat bij afblazen de lucht uit de veiligheidsomhulling in belangrijke mate wordt ontdaan van radioactieve stoffen voordat deze worden afgevoerd naar de buitenlucht. Alleen na het doorlopen van een procedure mag deze worden geopend.

4.2.7 Overige relevante systemen en voorzieningen

De KCB is uitgerust met meetapparatuur om de lozing van radioactieve stoffen via de ventilatieschacht en het koelwater te kunnen bewaken, kwantificeren en registreren. In de tabellen 4.2.2 en 4.2.3 worden respectievelijk de gemeten jaarlijkse emissies naar de lucht en naar de Westerschelde over de periode 1993-2002 gegeven.

Tabel 4.2.2 Emissies naar de atmosfeer (1993-2002) in GBq per jaar

	Gemiddelde emissie 1993-2002 [GBq/a]	Maximale emissie 1993-2002 [GBq/a]	Vergunningswaarde [GBq/a]
Edelgassen	7600	28.000	500.000
Aërosolen	0,0001	0,001	0,5
¹³¹ I	0,037	0,20	5
Overige halogenen	0,022	0,16	45
Tritium (als HTO)	324	565	2000
¹⁴ C	65*	123*	300

* Gemiddelde en maximum van 1994 - 2002

Tabel 4.2.3 Emissies naar de Westerschelde (1993-2002) in GBq per jaar

	Gemiddelde emissie 1993-2002 [GBq/a]	Maximale emissie 1993-2002 [GBq/a]	Vergunningswaarde [GBq/a]
tritium	6400	7700	30.000
β- en γ-activiteit	0,57	1,32	200
α-activiteit	0,00005	0,0003	0,2

De verwachting is dat in de komende jaren ongeveer dezelfde emissies of lager zullen voorkomen.

Voorts is op het terrein en in de omgeving van de KCB meetapparatuur geïnstalleerd om de stralingsniveaus te kunnen vaststellen. Thans worden op 17 punten de exposietempo's (een maat voor de hoeveelheid straling in een bepaalde periode ten gevolge van radioactieve stoffen) gemeten en op vijf punten de activiteitsconcentratie van de lucht en van het gras. De activiteit in het water en in wier in de Westerschelde worden op vier punten bepaald.

Voor de brandbestrijding zijn er diverse branddetectie- en brandblussystemen aanwezig.

4.2.8 Bedrijfservaringen

Momenteel worden in het kader van de 10-jaarlijkse evaluatie afwijkingen en storingen uit de afgelopen 10 jaren opnieuw geïnventariseerd en geëvalueerd, met als doel na te gaan of hieruit de noodzaak zou blijken tot wijziging van de installatie.

De resultaten van deze evaluatie vallen buiten het bestek van de nu voorgenomen activiteit en zullen, indien nodig, in het vervolgtraject van het evaluatieproject worden meegenomen.

Vooruitlopend hierop kan, zonder de pretentie volledig te zijn, worden aangegeven dat de laatste jaren een aantal gevallen van splijtstofschaade is geconstateerd. Als oorzaak worden restdeeltjes gezien die in het primaire systeem zijn achtergebleven na het grote modificatieproject, alsmede organische vervuiling tijdens het fabricageproces van 2 splijtstofstaven. Deze deeltjes kunnen, onder invloed van het turbulente koelmiddel, schade veroorzaken aan de bekleding van de splijtstofstaafjes. Daardoor zijn de laatste jaren hogere lozingswaarden gemeten. Deze waarden zijn echter steeds ordegrootte(s) onder de vergunde lozingslimieten gebleven.

Om herhaling te vermijden worden als preventieve maatregel de HTP-splijtstofelementen, die vanaf 2004 zullen worden ingezet, standaard voorzien van een filter in de voetstukken, waarmee losse deeltjes in het reactorkoelmiddel worden afgevangen voordat ze schade aan de splijtstofstaven kunnen veroorzaken.

Andere gebeurtenissen leidden in het geheel niet tot vrijkomen van radioactieve materialen binnen en/of buiten de installatie.

4.3 Voorgenomen verhoging van de verrijkingsgraad

4.3.1 Hoofdpijnen van de wijzigingen

Bij eerdere gelegenheden is door EPZ een studie uitgevoerd naar de mogelijkheden om efficiënter gebruik te maken van de splijtstof. Uitgangspunten van EPZ bij de keuze uit de optimalisatiemogelijkheden waren:

- de optimalisatie mocht geen experimenteel karakter hebben
- de veiligheid en de bedrijfsvoering mochten niet nadelig beïnvloed worden en
- de optimalisatie mocht geen omvangrijke wijziging inhouden aan het splijtstofopslagbassin en andere systemen, zoals het boringssysteem.

Als resultaat van deze studie heeft EPZ in 1996 het project "Optimalisatie splijtstof" uitgevoerd. Daarbij is overgegaan op toepassing van splijtstof met een gewijzigde tabletvorm en met een verrijkingsgraad van 4,0%, waarvoor toentertijd vergunning is verleend.

In het verlengde van deze optimalisatie heeft EPZ nu besloten om vergunning aan te vragen voor toepassing van splijtstof met een verrijkingsgraad tot maximaal 4,4 ($\pm 0,05$)%¹. Daarbij gelden als argumenten dat een voortschrijden van de techniek en vooral de toepassing van andere materialen hogere materiaalbelastingen, een gevolg van de hogere verrijkingsgraad, mogelijk maakt dan dat bij het vorige optimalisatie project uit 1997 het geval was. Voorts wordt opgemerkt, dat blijkens figuur 2.2.2 toepassing van een verrijkingsgraad tot (ruim) 4,4% inmiddels beschouwd kan worden als "stand der techniek" bij westerse kerncentrales.

Bij deze voorgenomen verrijkingsgraad (van maximaal 4,4%) behoeven - bij gelijkblijvende elektriciteitsproductie en de jaarlijkse bedrijfsperiode - jaarlijks minder nieuwe elementen geplaatst en dus ook afgevoerd te worden dan bij de huidige verrijkingsgraad van 4,0%. De jaarlijkse splijtstofcycluskosten verminderen daardoor met ongeveer 7% hetgeen jaarlijks een aanzienlijke besparing oplevert. Overigens zal door de hogere verrijking het vermogen van de reactor niet worden vergroot.

In tabel 4.3.1 is een overzicht gegeven van de belangrijkste gevolgen van de voorgenomen activiteit.

¹ Een onzekerheid van 0,05% in de verrijkingsgraad is de industriestandaard.

Tabel 4.3.1 De voorgenomen activiteit

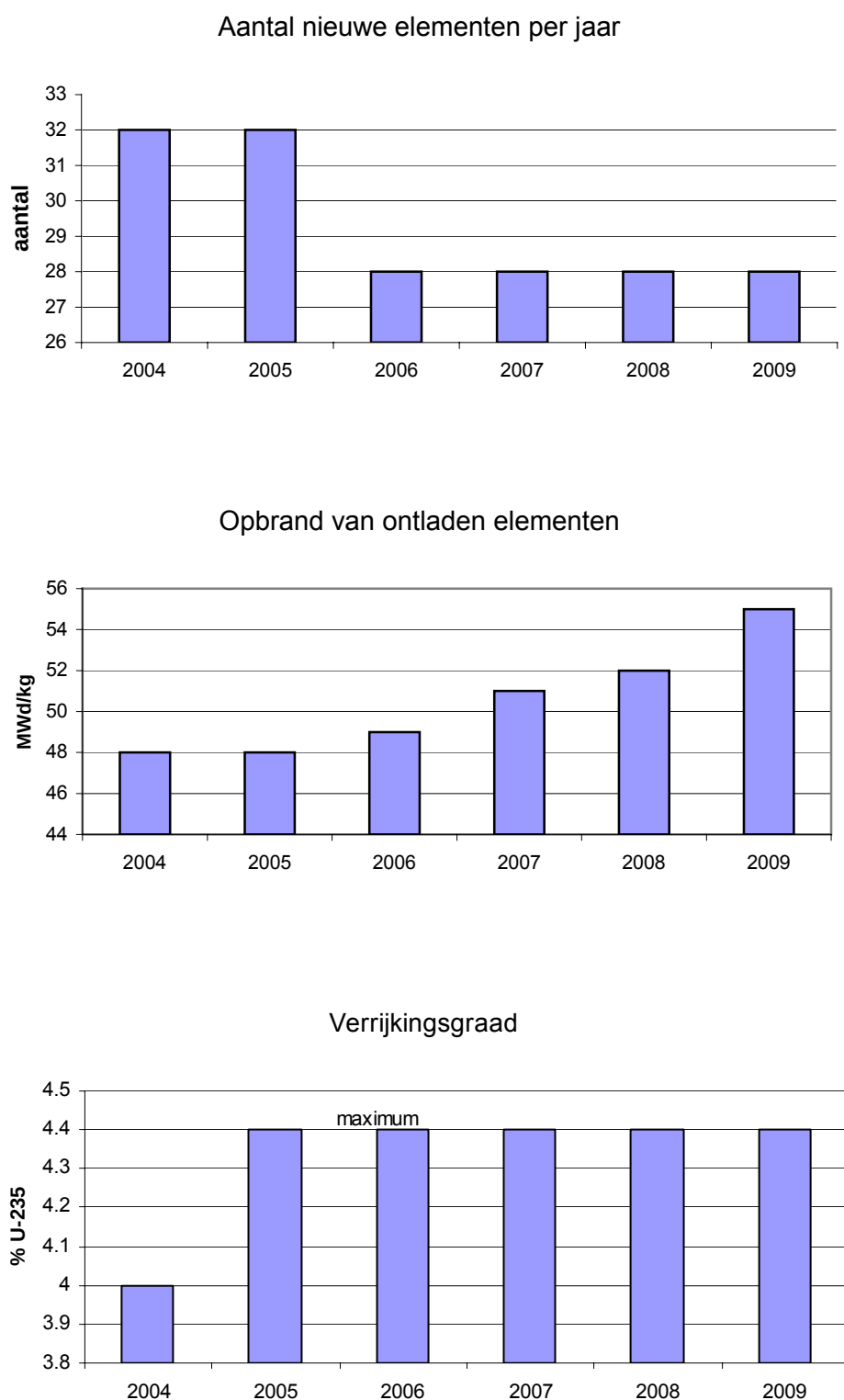
	huidige situatie	voorgenomen activiteit	eenheid
beginverrijking (maximaal)	4,0	4,4	%U-235
gemiddelde opbrand van ontladen elementen (circa)	48 ¹⁾	55	MWd/kgU
Maximum elementgemiddelde opbrand	55	65	MWd/kgU
Maximum staafgemiddelde opbrand	59	68	MWd/kgU
gemiddeld aantal ontladen elementen (circa)	32	28	aantal/jaar
hoeveelheid U in kern (circa)	39	39	1000 kg

¹⁾ verwachte waarde voor 2004 bij een verrijking van 4,0%

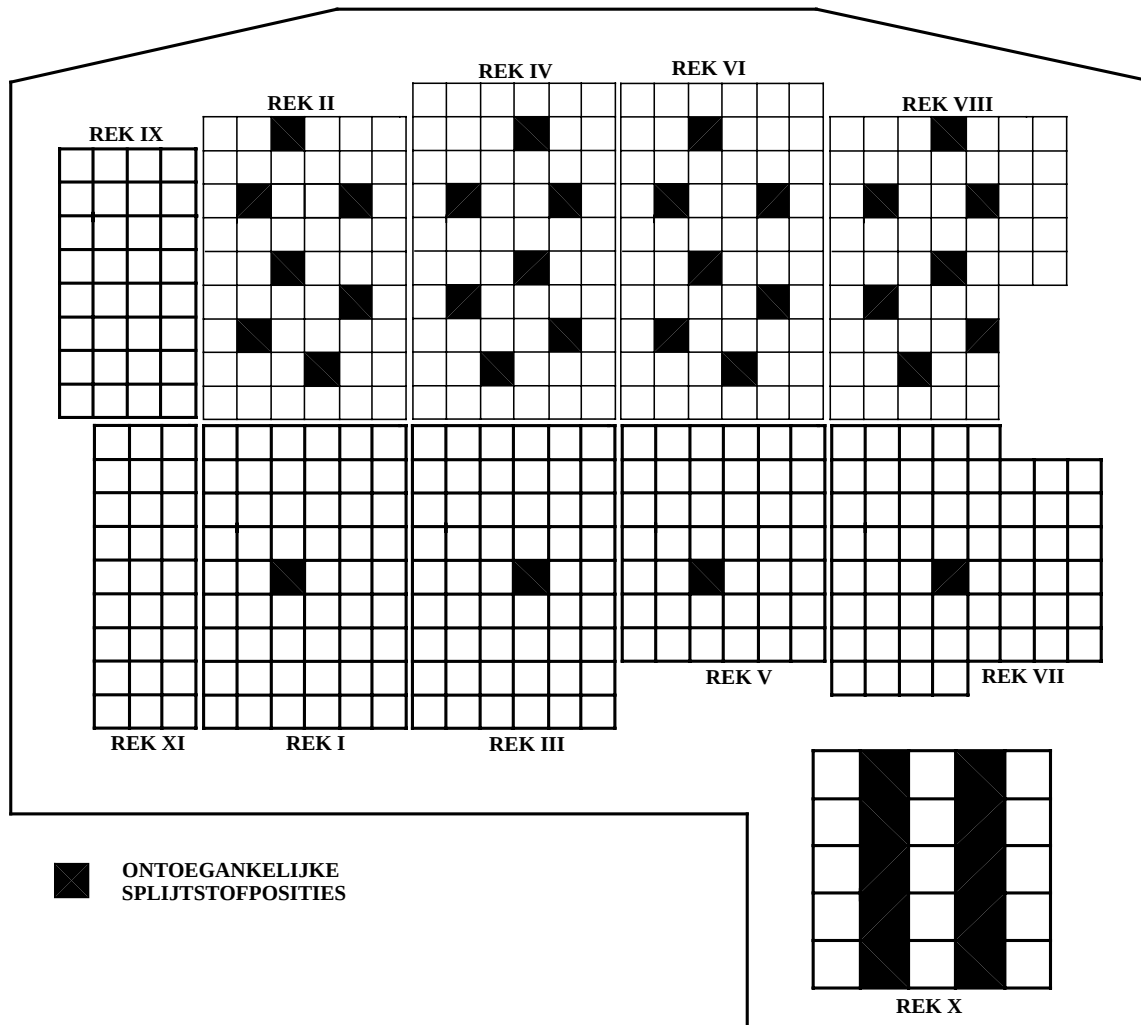
In figuur 4.3.1 is een indicatie gegeven hoe de overgang van de huidige situatie naar de nieuwe situatie zou kunnen verlopen. Daarbij wordt opgemerkt dat de jaarlijkse inzet van nieuwe splijtstofelementen en het ontladen van gebruikte elementen ieder jaar geëvalueerd wordt en dat deze evaluatie ter beoordeling wordt voorgelegd aan de Kernfysische Dienst, conform de bepalingen in de vergunning. Bij die evaluatie worden ook het aantal te laden elementen, de verrijkingsgraad, de plaats in de reactorkern en de te ontladen elementen wat betreft aantallen en opbrand gezien. De gegevens in figuur 4.3.1 zijn dan ook indicatief. De werkelijke kentallen worden jaarlijks vastgesteld mede op grond van de resultaten van de afgelopen bedrijfsperiode.

Door de introductie van de splijtstofelementen met een hogere verrijkingsgraad zou de onderkritikaliteit van de elementen in het opslagbassin kunnen verminderen. Om zeker te stellen dat ook in de nieuwe situatie te allen tijde aan de voorwaarden voor onderkritikaliteit voldaan wordt, worden compenserende maatregelen genomen. Zo zal het, door het afsluiten van een aantal posities in de opslagrekken, mogelijk gemaakt worden splijtstofelementen met een verrijkingsgraad tot 4,4% in alle rekken te plaatsen. In figuur 4.3.2 is een mogelijkheid

aangegeven hoe posities in het opslagbassin afgesloten kunnen worden waarbij aan de voorwaarden voor onderkriticaliteit wordt voldaan. Behalve deze afsluiting zijn voor de voorbereiding, omschakeling en verdere activiteiten (inclusief ontmanteling) geen extra voorzieningen nodig.



Figuur 4.3.1 Geleidelijke overgang naar de voorgenomen verrijkingsgraad qua aantal ontladen splijtstofelementen per jaar, gemiddelde opbrand van ontladen elementen en gemiddelde verrijkingsgraad van nieuwe elementen



Figuur 4.3.2 Schematisch bovenaanzicht van het splijtstofopslagbassin met de af te sluiten posities bij 4,4% verrijking

4.3.2 De nieuwe splijstofelementen en hun veiligheidsaspecten

De hoofdzaken

De huidige splijstofelementen van de KCB (FOCUS-elementen) zullen vanaf 2004 vervangen worden door een nieuwer type (HTP-elementen). In deze nieuwe elementen zijn de hulzen van de splijstofstaven van een ander materiaal, "M5", vervaardigd dat een hogere belasting ten gevolge van warmte, straling en corrosie kan verduren. Deze verandering wordt los van de hogere verrijking doorgevoerd, dat wil zeggen dat ze ook voor de nieuwe elementen met een verrijking van 4,0% zullen worden toegepast. Zij is wel noodzakelijk om de hogere opbrand die met de hogere verrijking gepaard gaat, veilig mogelijk te maken. In het navolgende wordt toegelicht dat de toepassing van de hogere verrijking in combinatie met het nieuwe materiaal voor de splijstofstaven, grotere veiligheidsmarges biedt. Technisch meer diepgaande informatie is opgenomen in hoofdstuk 4 van bijlage 1 bij de aanvraag.

De belangrijkste verschillen met de huidige elementen zijn:

1. Alle afstandhouders, met uitzondering van de onderste, die van gelijk materiaal blijft (Inconel), zijn van een andere zirkoniumlegering dan het bij de FOCUS-elementen toegepaste materiaal. Het nieuwe materiaal is beter bestand tegen corrosie en waterstofopname.
2. Alle afstandhouders van de nieuwe HTP-elementen hebben een lijncontact met de splijststofomhullingsbuizen in plaats van puntcontact, zoals bij FOCUS-elementen. Hierdoor wordt beschadiging ten gevolge van contact tussen beide voorkomen;
3. De regelstaafgeleidebuizen van de HTP-elementen zijn vervaardigd van een andere zirkoniumlegering. De nieuwe legering is beter bestand tegen corrosie en waterstofopname;
4. Het omhullingsmateriaal van de splijstofstaven van de HTP-elementen is van een Zirkonium-Niobium-legering (Type M5) gemaakt. Dit M5-materiaal heeft in vergelijking met de bij de FOCUS-elementen gebruikte Zircaloy-4 legering betere eigenschappen op het gebied van corrosie, waterstofopname, kruipen en zwellen;
5. In de voet van het HTP-splijstofelement bevindt zich een geïntegreerd filter. Dit filter fungeert als een zeef voor het afvangen van kleine deeltjes om daarmee mechanische beschadiging te voorkomen. De FOCUS-elementen zijn niet van een dergelijk filter voorzien;
6. De afmetingen van de splijstofstaven is bij de HTP-elementen iets gewijzigd

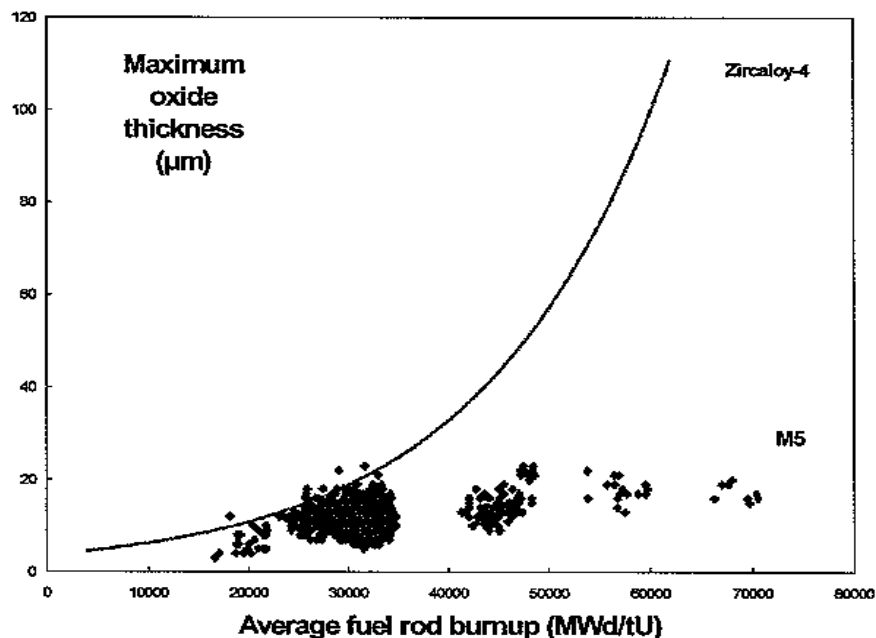
Het ontwerp van de nieuwe HTP-elementen is gebaseerd op een elementgemiddelde opbrand van 65 MWd/kgU en een staafgemiddelde opbrand van 70 MWd/kgU. Voor de bepaling van de corrosielaagdikte en de waterstofopname is (conservatief) gerekend met

een inzet gedurende zes jaar. Er is aangetoond dat onder deze randvoorwaarden geen van de ontwerpgrenzen wordt overschreden.

Toelichting op betere corrosiebestendigheid dankzij nieuwe materialen

In maart 2003 waren wereldwijd reeds meer dan 400.000 splijtstofstaven, voorzien van M5-bekleding, ingezet in of reeds ontladen uit 35 drukwaterreactoren.

Oxidelaaagdiktemetingen aan ontladen splijtstofstaven laten tot opbrandwaarden van 71 MWd/kgU een uitstekend corrosiegedrag van het M5-bekledingsmateriaal zien vergeleken met Zircaloy-4. Figuur 4.3.3 illustreert de veel betere corrosiebestendigheid van M5.

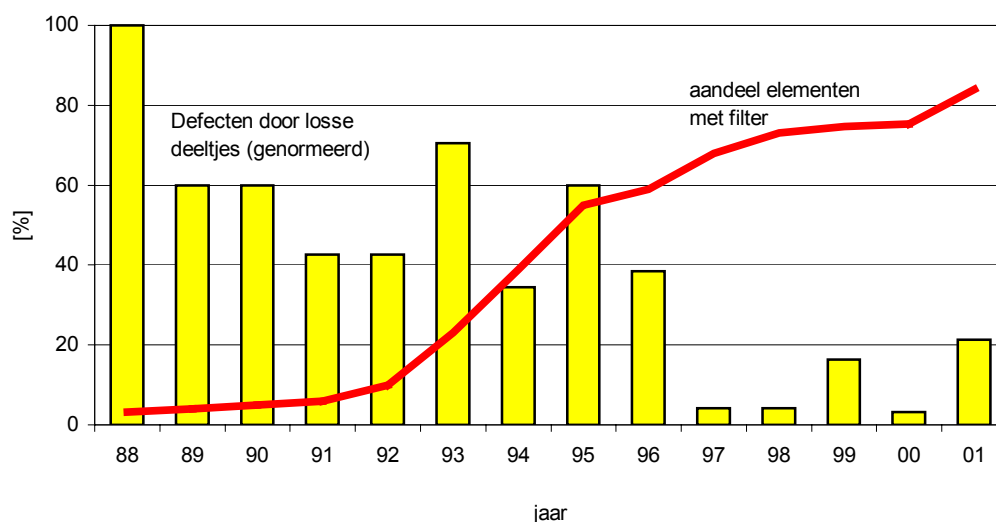


Figuur 4.3.3 Corrosiegedrag van M5 (nieuwe elementen) en Zircaloy-4 in drukwaterreactoren, zoals af te leiden uit de dikte van de oxidehuid als functie van de opbrand.

Toelichting op het effect van het filter

Debrisfilters worden sinds het einde van de 80-er jaren ingezet, splijtstofelementen met het geïntegreerde (debris)filter vanaf 1995. Tot op heden is ervaring opgedaan met 2635 elementen in 16 installaties, waarbij opbrandwaarden tot 66 MWd/kgU bereikt werden. In slechts één splijtstofstaaf werd nog frettingschade als gevolg van deeltjes in het hoofdkoelmiddel vastgesteld. De positieve invloed van de filters op het totaal aantal splijtstofschades is zichtbaar in figuur 4.3.5. Het genormeerde aantal schades (jaarlijks totaal van alle installaties, waarin deze filters werden ingezet, waarbij het aantal schades in 1988

op 100% gesteld werd) is sinds de invoering sterk afgenomen. Hierbij moet worden opgemerkt dat de geconstateerde verbetering niet alleen veroorzaakt wordt door de inzet van debrisfilters.



Figuur 4.3.5 Effect van de inzet van filters (opgaande lijn) op het aantal splijstofschaades (staafdiagram) als gevolg van losse deeltjes in het primaire systeem van Duitse kerncentrales

Gedrag onder ongevalscondities

Toen aan het begin van de 80-er jaren duidelijk werd, dat in ongevalsanalyses onvoldoende rekening gehouden werd met degradatie van splijstofelementen als gevolg van opbrand, met name met betrekking tot het RIA-ongeval (Reactivity Initiated Accident), maar ook wel met betrekking tot LOCA-ongevallen (Loss Of Coolant Accident) werd onder auspiciën van de NEA-OECD een speciale internationale werkgroep in het leven geroepen, de SEGFSM (Special Expert Group on Fuel Safety Margins). Door deze werkgroep wordt internationaal veel onderzoek verricht op het gebied van splijstofgedrag. De resultaten van dit onderzoek zijn inmiddels verwerkt in ontwerpcodes en –methoden en ook ten behoeve van de voorliggende ontwerpwijziging toegepast.

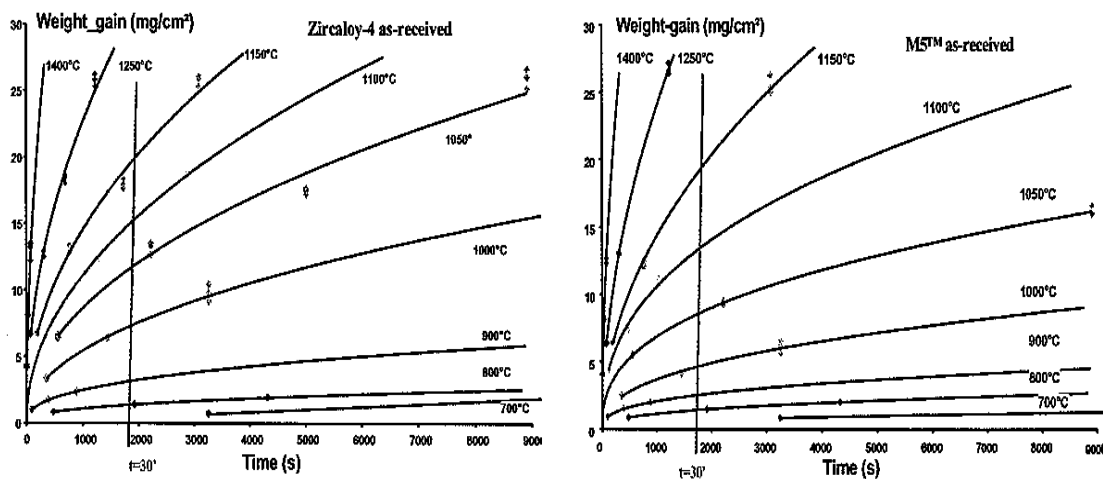
Momenteel is het onderzoek geconcentreerd op het bereiken van zeer hoge opbrandwaarden, boven de 65 MWd/kgU, elementgemiddeld.

De leverancier van splijstofelementen voor de KCB (Framatome ANP) neemt deel aan deze werkgroep en is dus voortdurend op de hoogte van de laatste ontwikkelingen op dit gebied.

Op basis van de inzichten van de SEGFSM zijn in het kader van het invoeren van de HTP-splijstofelementen nieuwe LOCA-analyses uitgevoerd. In deze analyses is rekening gehouden met een verrijkingsgraad van 4,4% en dus met een hogere opbrandwaarde.

Hierbij is onder meer gekeken naar een verslechterde warmte-overdracht in de splijtstoftabletten door een hogere mate van scheurvorming (vanwege extra gasvorming) en naar het oxidatiegedrag, veroorzaakt door de hogere temperaturen gedurende de eerste minuten van een grote LOCA.

Uitvoerige tests hebben aangetoond dat onder LOCA-omstandigheden het oxidatiegedrag van het M5-bekledingsmateriaal tenminste gelijkwaardig is aan dat van Zircaloy-4 (zie figuur 4.3.4).



Figuur 4.3.4 Hoge-temperatuur oxidatiegedrag van M5 en Zircaloy-4

Uit deze figuur blijkt, dat M5 en Zircaloy-4 in het algemeen een vergelijkbare oxidatiesnelheid hebben. In het temperatuurgebied tussen 950 en 1050 °C, vertoont M5 echter een duidelijk lagere oxidatiesnelheid. Ook aansluitende tests van mechanische eigenschappen leverden tenminste vergelijkbare resultaten op voor M5- en Zircaloy-4-bekledingsmateriaal.

Voor wat betreft het gedrag onder RIA-condities worden test- en analyseprogramma's uitgevoerd in Frankrijk, Japan, Rusland en de V.S. Uitgevoerde tests in Frankrijk (in de experimentele "Cabri"-reactor te Cadarache, het zogenaamde REP-Na testprogramma) toonden aan, dat er veel schade optrad aan bestraalde splijtstofstaven onder (gesimuleerde) RIA-omstandigheden. Deze tests hadden betrekking op splijtstofstaven met Zircaloy-4 bekledingsmateriaal, op reactiviteitstransiënten met enthalpietoeenames van 397 tot 974 J/g en pulsbreedtes van 8,8 tot 75 ms. De genoteerde schade trad op aan splijtstofstaven met grote corrosielaagdiktes (50 tot 126 μm) en/of staven, die aan zeer grote transiënten onderworpen werden. Een meer recentelijk uitgevoerde test (CIP0-2) heeft laten zien dat er

geen schade optreedt aan een splijtstofstaaf met M5-omhullingsmateriaal (met een opbrand 77 MWd/kgU en een oxydelaagdikte 20 μm), wanneer deze wordt onderworpen aan een reactiviteitstransiënt met een pulsbreedte van 28 ms en een enthalpietoeename in de splijtstof van 373 J/g.

Een eerder voor de KCB uitgevoerde RIA-analyse, die ook voor 4,4 % verrijking afdekkend is, heeft aangetoond, dat de maximaal te verwachten enthalpietoeename (conservatief gerekend) 92 J/g bedraagt, slechts een kwart van de in voornoemde test toegepaste waarde.

In de uitgevoerde analyses ten behoeve van de nieuwe HTP-elementen met betrekking tot LOCA- en RIA-condities zijn de resultaten van internationaal onderzoek op het gebied van splijtstofgedrag bij hogere opbrandwaarden meegenomen. Op grond van deze internationale ervaringen is de door EPZ gewenste maximale staafgemiddelde opbrand van 68 MWd/kgU acceptabel.

Internationaal vindt er nog nader onderzoek plaats met betrekking tot nog hogere opbrandwaarden. Dit onderzoek kan ook een terugwerking hebben op de opbrandwaarden, zoals nu door EPZ gewenst. EPZ zal, samen met zijn leverancier, deze ontwikkelingen blijven vervolgen.

Bedrijfservaringen met de HTP-elementen

HTP-splijtstofelementen zijn vanaf 1988 ingezet. Per december 2002 betrof dit in totaal 4.048 elementen met 1.041.128 splijtstofstaven in 25 kerncentrales.

In totaal werden slechts zeven defecte splijtstofstaven geconstateerd. Bij vijf van deze staven kon het defect teruggevoerd worden op op fretting tussen de afstandhouders en de splijtstofstaven. Nadat de afstandhouders in 1998 vervangen waren door afstandhouders van een ander type zijn dergelijke schades niet meer opgetreden. Van de overige twee defecten werd er één veroorzaakt door fretting tengevolge van een los deeltje in het hoofdkoelmiddelsysteem. Het laatste schadegeval is nog in onderzoek.

De tot op heden opgedane bedrijfservaringen met HTP-elementen laten zien, dat deze elementen aanzienlijk beter presteren dan de MCW- en FOCUS-elementen, die tot nu toe in de KCB toegepast worden. Met name op de gebieden van corrosie en splijtstofschades is een sterke verbetering te constateren.

De bedrijfsomstandigheden, waaronder deze ervaringen zijn opgedaan, zijn vergelijkbaar met de omstandigheden, waaronder de KCB bedreven wordt, waarbij opgemerkt wordt, dat

de omstandigheden in Borssele met name qua temperatuur van het hoofdkoelmiddel nog minder belastend voor de splijtstofelementen zijn.

Conclusie nieuwe HTP-elementen

Er is reeds ruime praktijkervaring met HTP-elementen. Op grond van alle uitgevoerde analyses en tests, almede de tot op heden opgedane ervaringen met het HTP-splijtstofelement kan geconcludeerd worden dat dit element tenminste gelijke, maar op vele gebieden grotere veiligheidsmarges biedt wat betreft onder meer mechanische integriteit, stroming, groei, kruip en waterstofopname dan het nog toe gebruikte FOCUS-element. Dit geldt niet alleen voor de normale bedrijfs- en storingscondities, maar evenzeer voor ongevalsomstandigheden.

Voortdurend worden er intensieve analyse-, test- en ervaringsevaluatieprogramma's uitgevoerd, onder meer in de Verenigde Staten, Frankrijk en Japan. Deze programma's houden gelijke tred met de ontwikkelingen op het gebied van constructie en materialen voor splijtstofelementen. Tot dusverre hebben de resultaten hiervan aangetoond, dat de mechanische en thermische belastingen van het splijtstofomhullingmateriaal M5 ruimschoots onder de toelaatbare waarden blijven.

De door Framatome reeds uitgevoerde analyses voor LOCA- en RIA-condities voor een verrijkingsgraad van 4,0% gingen uit van dusdanig conservatieve aannames, dat deze ook van toepassing zijn voor een verrijkingsgraad van 4,4% en de daarmee gepaard gaande hogere opbrand.

De in de kerncentrale Borssele maximaal te bereiken opbrandwaarden van 68 MWd/kgU gemiddeld over een splijtstofstaaf zijn daarom alleszins toelaatbaar. EPZ vervolgt overigens nauwgezet alle lopende LOCA- en RIA-testprogramma's.

4.4 Alternatieven

In het MER dienen ook alternatieven van de voorgenomen activiteit, die redelijkerwijs in beschouwing dienen te worden genomen, te worden beschreven. In dit geval kan aan de volgende alternatieven worden gedacht:

- nulalternatief
- milieuvriendelijke alternatieven (uitvoeringsalternatieven)
- het meest milieuvriendelijk alternatief.

Het nulalternatief is het alternatief, waarbij de voorgestelde verhoogde verrijking niet wordt uitgevoerd.

Milieuvriendelijke alternatieven zijn volgens Nederlands m.e.r.-gebruik realistische alternatieven, die hetzelfde doel beogen, maar een geringere belasting voor het milieu betekenen.

Als alternatieven voor de voorgenomen activiteit komen activiteiten in aanmerking, waarmee evenals met de voorgenomen activiteit een efficiënter gebruik gemaakt wordt van de splijtstof. In hoofdstuk 2 is een beschrijving gegeven van de opbouw van de splijtstofkosten. Daaruit bleek dat de kosten van de splijtstofcyclus voornamelijk bestaan uit de aanschaf- en opwerkingskosten. De aanschafkosten worden in hoge mate bepaald door de hoeveelheid splijtbaar uranium-235 in de elementen. Omdat deze hoeveelheid bepalend is voor de ermee te produceren elektriciteit, is vermindering daarvan niet zinvol. De opwerkingskosten daarentegen, zijn in sterke mate afhankelijk van het aantal elementen dat opgewerkt moet worden. Daarom zal een verlaging van de splijtstofcycluskosten gezocht moeten worden in een verlaging van het aantal splijtstofelementen dat jaarlijks gebruikt wordt. Dat betekent een verhoging van de verrijkingsgraad. Deze verrijkingsgraad kan echter niet willekeurig hoog gekozen worden. Limiteringen worden ten eerste gevormd door de wens om bij de te kiezen verrijking en versplijtingsgraad binnen de grenzen van de "stand der techniek" te blijven en ten tweede door de eis dat de splijtstof in het splijtstofopslagbassin niet kritisch mag worden. Bij het laatste wordt nog opgemerkt dat omvangrijke constructieve wijzigingen van het opslagbassin vanuit economisch perspectief niet realistisch zijn. Bij de voorgenomen activiteit kan worden volstaan met het ontoegankelijk maken van een aantal opslagposities.

Om na te gaan of de gemaakte keuze van een verrijkingsgraad van 4,4 gewichtsprocent uranium-235 een optimale keuze is, zullen de volgende twee alternatieven onderzocht worden:

- alternatief 4,2%: een verhoging van de verrijking tot 4,2% in plaats van 4,4%
- alternatief 4,8%: een verhoging van de verrijking tot 4,8% in plaats van 4,4%.

Het alternatief "4,2%" is gekozen omdat in verband met de met deze verhoging gepaard gaande investeringen een marginale verhoging boven de 4,0% om bedrijfseconomische redenen niet gewenst is. Een alternatief hoger dan 4,8% heeft weinig zin gezien het uitgangspunt dat EPZ "stand der techniek" wenst toe te passen en omvangrijke wijzigingen aan het splijtstofopslagbassin en andere systemen niet acceptabel zijn.

In tabel 4.4.1 is een overzicht gegeven van de belangrijkste verschillen tussen de huidige situatie, de voorgenomen wijziging en de genoemde uitvoeringsalternatieven.

Tabel 4.4.1 Verschillen tussen de huidige situatie, de voorgenomen wijziging en de uitvoeringsalternatieven

	huidige situatie	voorgenomen wijziging	alternatief 4,2%	alternatief 4,8%
beginverrijking (%U-235) (maximaal)	4,0	4,4	4,2	4,8
gemiddelde opbrand van ontladen elementen (MWd/kgU) (circa)	48	55	52	64
maximum staafgemiddelde opbrand (MWd/kg)	59	68	63	74
aantal ontladen elementen (circa)	32	28	30	24

Zoals beschreven in paragraaf 4.3 zijn de cijfers voor opbrand en aantal elementen in tabel 4.4.1 gemiddelden en zullen bij het uitvoeren van de voorgenomen activiteit jaarlijks vastgesteld worden.

Voor beschouwingen over de afwegingen inzake de voorgenomen activiteit en de uitvoeringsalternatieven en betreffende het meest milieuvriendelijke alternatief wordt verwezen naar hoofdstuk 6.

4	Huidig bedrijf, voorgenomen activiteit en alternatieven	4.1
4.1	Inleiding	4.1
4.2	Huidige installatie.....	4.1
4.2.1	Algemene beschrijving en bedrijfservaringen	4.1
4.2.2	Splijtstofcyclus	4.6
4.2.3	Het kernsplijtingsproces.....	4.9
4.2.4	Splijtstofelementen	4.10
4.2.5	Opslag splijtstofelementen.....	4.15
4.2.6	Veiligheidsvoorzieningen	4.19
4.2.7	Overige relevante systemen en voorzieningen.....	4.22
4.2.8	Bedrijfservaringen	4.24
4.3	Voorgenomen verhoging van de verrijkingsgraad	4.24
4.3.1	Hoofdpijnen van de wijzigingen	4.24
4.3.2	De nieuwe splijtstofelementen en hun veiligheidsaspecten.....	4.30
4.4	Alternatieven	4.35

5 BESTAANDE TOESTAND VAN HET MILIEU

5.1 Inleiding

De bestaande toestand van het milieu in een gebied met een straal van 10 km rond de KCB wordt beschreven voor de onderwerpen grondgebruik, veiligheid, luchtkwaliteit, waterkwaliteit en bodem. De onderwerpen geluid en landschap worden niet beschreven omdat op voorhand duidelijk is dat de voorgenomen activiteit daar geen enkele invloed op heeft. Vooraf worden enkele relevante bedrijfsgegevens vermeld. Het onderwerp "veiligheid" neemt in dit hoofdstuk en ook in de hoofdstukken 6 en 7 een centrale plaats in. Dit is onlosmakelijk verbonden met het feit dat de belangrijkste beïnvloeding van het milieu bij kernenergiecentrales alleen in ongevalssituaties ontstaat.

In de paragrafen 5.5, 5.6 en 5.7 worden de radiologische dosisbijdragen gegeven, die via lucht, water en bodem als gevolg van het bedrijven van de KCB ontstaan. In paragraaf 5.8 worden deze bijdragen gezamenlijk beschouwd en worden de effecten daarvan beoordeeld.

Voor zover mogelijk en zinvol is ook aandacht besteed aan de te verwachten ontwikkelingen in het bestaande milieu, zonder rekening te houden met de voorgenomen activiteit.

5.2 Lozingen bij normaal bedrijf

De emissies van radioactiviteit naar de atmosfeer en de Westerschelde over de periode 1993-2002 zijn vermeld in de tabellen 5.2.1 en 5.2.2. Tevens zijn de vergunningswaarden volgens de vigerende vergunning opgenomen. De vergunningswaarden, omgerekend naar radiotoxiciteit-equivalenten Re_{inh} respectievelijk Re_{ing}) zijn vermeld in de laatste kolommen van tabel 5.2.1 en tabel 5.2.2. Aangezien de edelgaslozingen geen inhalatiedosis geven, zijn de externe stralingsbijdragen van deze lozingen uitgedrukt in inhalatie-equivalenten.

Tabel 5.2.1 Emissies van radioactiviteit naar de atmosfeer in GBq per jaar

	Gemiddelde emissie 1993-2002 [GBq/a]	Maximale emissie 1993-2002 [GBq/a]	Vergunningswaarde per 02-08-1994	
			[GBq/a]	[Re _{inh} /a]
Edelgassen	7600	28.000	500.000	5500**
Aërosolen	0,0001	0,001	0,5	15,5
¹³¹ I	0,037	0,20	5	37,0
Overige halogenen	0,022	0,16	45	67,5
Tritium (als HTO)	324	565	2000	12,4
¹⁴ C (als ¹⁴ CO ₂)	65*	123*	300	60,0
Totaal (afgerond)				5700

* Gemiddelde en maximum van 1994 - 2002

** Inhalatie-equivalenten

Tabel 5.2.2 Emissies van radioactiviteit naar de Westerschelde in GBq per jaar

	Gemiddelde emissie 1993-2002 [GBq/a]	Maximale emissie 1993-2002 [GBq/a]	Vergunningswaarde per 02-08-1994	
			[GBq/a]	[Re _{ing} /a]
tritium (als HTO)	6400	7700	30.000	186
β- en γ-activiteit	0,57	1,3	200	500
α-activiteit	0,00005	0,0003	0,2	2,4
Totaal (afgerond)				700

5.3 Situering en grondgebruik

Het beschouwde gebied omvat in hoofdlijnen het westelijk deel van Zuid-Beveland, het zuid-oostelijk deel van Walcheren, een deel van de Westerschelde en een klein deel van Zeeuws-Vlaanderen. De KCB-locatie is gelegen aan de zuid-oostzijde van het haven- en

industriegebied Vlissingen-Oost ("Sloegebied"). Kenmerkend is daarbij verder de ligging aan de Westerschelde (zie verder par. 5.6).

Op 9 à 10 km afstand van de centrale liggen de steden Vlissingen en Middelburg. De dichtstbijzijnde woonkern, gelegen op 1,4 km afstand van de centrale, is het dorp Borssele. Binnen een straal van 5 km liggen de dorpskernen 's-Heerenhoek en Nieuwdorp. Het totale aantal inwoners in het beschouwde gebied bedraagt circa 65000. In het beschouwde gebied is akkerbouw de meest voorkomende vorm van grondgebruik.

De internationale luchtverkeersroutes boven Zeeland liggen op voldoende hoogte en afstand van de KCB en leveren een minimaal risico voor de centrale. Ook is er lokaal vliegverkeer, afkomstig van het vliegveld Midden-Zeeland, dat circa 10 km ten noorden van de centrale ligt. Voor dit vliegveld geldt een maximaal toelaatbaar vliegtuiggewicht van 6 ton. De dichtstbij gelegen militaire vliegbasis is Woensdrecht, gelegen in de provincie Noord-Brabant op een afstand van circa 40 km in oost-noordoostelijke richting. Er lopen echter geen militaire vliegroutes boven de locatie Borssele. Zowel voor het burger- als voor het militaire vliegverkeer is er geen vliegverbod; wel geldt er het verbod om lager te vliegen dan 1500 voet (450 m).

Per 2003 is de vaste oeververbinding onder de Westerschelde gerealiseerd en operationeel. De aan- en afvoerroute, evenals de tunnel zelf bevinden zich in het beschouwde gebied.

5.4 Veiligheid

5.4.1 INLEIDING

Veiligheid bij normaal bedrijf

Ten aanzien van de veiligheid gedurende normaal bedrijf is het van belang dat de splijtstofelementen bestand zijn tegen de mogelijk optredende mechanische en thermische belastingen. Daartoe worden aan de toegepaste materialen en de constructie van het splijtstofelement en het gedrag hiervan tijdens normaal bedrijf en storingen eisen gesteld, die geformuleerd zijn in het "Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele" (EPZ, 2002). Volgens deze eisen dient het element bestand te zijn tegen de belastingen, zoals die kunnen optreden tijdens normaal bedrijf en storingen. Daarnaast wordt, conform een vergunningseis, na iedere splijtstofwisselperiode, voordat de reactor wordt opgestart, een overzicht van de uitgevoerde beproevingen, onderzoeken en herladingsberekeningen voorgelegd aan de overheid.

Veiligheid met betrekking tot ongevallen

Het veiligheidsniveau van een (kernenergie)installatie wordt bepaald door de veiligheidstechnische eisen die aan het ontwerp ten grondslag hebben gelegen (de zogenaamde ontwerpbasis) en de wijze van bedrijfsvoering. Vanwege het specifieke karakter van een kernenergie-installatie moet aan het ontwerp de eis ten grondslag worden gelegd, dat de veiligheid voor de omgeving onder alle redelijkerwijs denkbare omstandigheden gewaarborgd moet zijn.

In de nucleaire praktijk betekent dit, dat een aantal begingebourtenissen moet worden verondersteld, bijvoorbeeld het breken van een leiding of het optreden van een aardbeving. Vervolgens wordt met behulp van berekeningen (ongevalsanalyses) aangetoond dat het ontwerp van de installatie zodanig is dat de gevolgen van de veronderstelde begingebourtenissen worden beheerst. Onder "beheerst" dient daarbij te worden verstaan, dat de essentiële veiligheidsdoelen: afschakelen van de reactor, handhaven insluitfunctie en afvoeren van de vervalwarmte, zijn gewaarborgd. De ongevalsverlopen, die worden beheerst, worden de ontwerpongevallen genoemd. Voor deze ontwerpongevallen geldt voorts dat aan de in de Bkse (art 18.2) gestelde voorwaarden moet worden voldaan.

Het ontwerp van een moderne kernenergiecentrale dient te zijn gebaseerd op veronderstelde begingebourtenissen, die van buitenaf op de installatie inwerken (externe invloeden) en op mogelijke gebeurtenissen vanuit de installatie zelf (interne invloeden).

Naast beheersing van de ontwerpongevallen is het van belang in hoeverre de gevolgen voor de omgeving van ontwerpoverschrijdende gebeurtenissen (buiten-ontwerpongevallen) kunnen worden beperkt. Bij de buiten-ontwerpongevallen moet worden voldaan aan de in de Bkse (art 18.3) gestelde voorwaarden.

Het veiligheidsrapport is de aangewezen plaats voor het beschrijven van de veronderstelde begingebourtenissen met de bijbehorende uitgangspunten en randvoorwaarden, de reactie van de installatie (met andere woorden het ongevalsverloop), en de bewijsvoering dat de veiligheid inderdaad gewaarborgd is. De huidige ontwerpbasis van de kernenergiecentrale Borssele is beschreven in het Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele (EPZ, 2002). Het veiligheidsrapport is naar aanleiding van de voorgenomen activiteit geactualiseerd.

Voor het beoordelen van de mate van beheersing van buiten-ontwerpongevallen en van beperking van de gevolgen ervan is de Probabilistic Safety Assessment (PSA) het aangewezen hulpmiddel. Daarin wordt namelijk uitgaande van kernschade bepaald of, en zo ja in hoeverre, radiologische beïnvloeding van de omgeving plaatsvindt.

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de analytische onderbouwing (ongevalsanalyses) van de bescherming van de installatie tegen externe/interne invloeden, alsmede op de resultaten van de PSA voor de bestaande installatie.

In onderstaand schema is te zien, in welke paragrafen de lozingen, die kunnen optreden bij bepaalde situaties, worden behandeld.

Bedrijfssituatie	Beheersingsmethodiek	Beoordelingswijze	Paragraaf-behandeling
Normaal bedrijf	Bedrijfssystemen	Beschouwing effecten reguliere lozingen	5.5 5.6 5.7 5.8
Storingen en ontwerp- ongevallen	Veiligheidssystemen	Ongevalsanalyses ontwerpongevallen	5.4.3 6.4.2
Buitenontwerp- ongevallen	Ongevals-management en speciale systemen	PSA	5.4.4 6.4.3

Tenslotte wordt in paragraaf 5.4.5 de onder alle omstandigheden vereiste onder-kriticaliteit van de opgeslagen splijtstofelementen in het splijtstofopslagbassin besproken.

5.4.2 BESCHOUWDE ONGEVALLLEN

In het ontwerp van de installatie zijn maatregelen voorzien ter voorkoming van ongevallen. Daarnaast is de installatie ontworpen voor de beheersing van de gevolgen van een aantal veronderstelde begingebourtenissen, die eventueel tot een ongeval zouden kunnen leiden. Om aan te tonen dat de installatie bestand is tegen deze zogenaamde ontwerpongevallen worden thermohydraulische analyses uitgevoerd, waarbij de temperaturen en drukken worden bepaald die dan kunnen optreden.

De veronderstelde begingebourtenissen, waarvan de gevolgen beheerst worden, representeren grotendeels de huidige inzichten ten aanzien van de relevante gebeurtenissen met mogelijke (radiologische) consequenties voor de omgeving. Voor de bewijsvoering dat de

gevolgen van de veronderstelde begingebourtenissen door het ontwerp worden beheerst, zijn de uitgevoerde thermohydraulische en radiologische analyses bepalend.

Deze analyses zijn beschreven in het Veiligheidsrapport (EPZ, 2002)

Zoals daarin aangegeven zijn van de 78 generiek door de IAEA gedefinieerde gebeurtenissen er 21 geselecteerd als representatief voor de KCB. Deze gebeurtenissen zijn opgenomen in bijlage A. De gevolgen van de begingebourtenissen zijn voor zowel de reactorinstallatie zelf als voor de omgeving geanalyseerd.

5.4.3 ONGEVALSANALYSES

5.4.3.1 Inleiding

Aan het ontwerp van een kernenergie-installatie ligt een groot aantal analyses ten grondslag. Dit betreft onder meer sterktechnische berekeningen en beschouwingen van het neutronenfysische gedrag van de kern. Met behulp van ongevalsanalyses wordt aangetoond dat door het ontwerp de gevolgen van veronderstelde begingebourtenissen adequaat worden beheerst. De ongevalsanalyses worden veelal onderscheiden in thermohydraulische analyses (gedrag van de installatie) en radiologische analyses (gevolgen voor de omgeving).

5.4.3.2 Kerninventaris

De grootste hoeveelheid in de installatie aanwezige radioactiviteit bevindt zich in de reactorkern. De onbestraalde splijtstof bevat slechts een geringe hoeveelheid radioactiviteit. Tijdens het bedrijf van de reactor wordt in de splijtstof een grote hoeveelheid radioactiviteit gevormd. Deze radioactiviteit blijft in principe binnen de splijtstofelementen opgesloten. Daarnaast bevinden zich in de constructiematerialen van de kern activeringsprodukten van in deze constructiematerialen aanwezige stoffen.

In bijlage C is een overzicht gegeven van de belangrijkste nucliden die aanwezig zijn in de in bedrijf zijnde evenwichtskern met een gemiddelde opbrand bij de huidige verrijkingsgraad van maximaal 4,0 %. De activiteit direct na afschakelen is gegeven. De gegeven nucliden zijn gekozen op basis van hun halveringstijd en hoeveelheid radioactiviteit. De kerninventaris is berekend met het computerprogramma ORIGEN.

5.4.3.3 Thermohydraulische analyses

Bij een thermohydraulische analyse wordt de reactorinstallatie in een computermodel "vertaald", waarmee vervolgens wordt berekend hoe de respons van de installatie op de veronderstelde begingebourtenis zal zijn. Doel van dergelijke analyses is aan te tonen dat de gevolgen van veronderstelde begingebourtenissen worden beheerst.

De thermohydraulische analyses zijn uitgevoerd voor de begingebourtenissen uit bijlage A en wel volgens geldende voorschriften en met behulp van moderne, voor dat doel geschikte rekenprogramma's. Conservatieve aannames en uitgangspunten alsmede theoretische modellering van de installatie en processen vormen hierbij de basis. Conservatieve aannames en uitgangspunten zijn bijvoorbeeld:

- bedrijf met verhoogd vermogen
- negeren van het eerste afschakelsignaal van de reactor
- meest effectieve regelement blijft in uitgetrokken positie steken in de reactor
- verhoogd of verlaagd vervalvermogen
- falen van het systeem dat de meest gunstige invloed op het ongevalsverloop heeft
- additioneel enkelvoudig falen van een component, die een functie vervult bij het beheersen van het ongeval
- het niet beschikbaar zijn van bedrijfssystemen
- noodstroomsituatie.

Waar relevant zijn de ongevalssituaties naast vermogensbedrijf ook beschouwd voor niet-vermogensbedrijf van de installatie.

Met de thermohydraulische analyses is aangetoond dat de installatie na alle genoemde veronderstelde begingebourtenissen in een veilige toestand kan worden gebracht en gehouden. Voor de behandeling van de analyses en de resultaten wordt verwezen naar het "Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele" (EPZ, 2002).

5.4.3.4 Radiologische analyses

Aanpak

In het algemeen leiden ontwerpongevallen niet tot lozingen van radioactiviteit naar de omgeving, omdat immers het ontwerp is gebaseerd op het beheersen van ontwerpongevallen en dus het insluiten van de radioactiviteit. Toch kunnen bepaalde ontwerpongevallen een lozing tot gevolg hebben, die uitgaat boven de emissies als gevolg van de normale bedrijfsvoering. Met behulp van een radiologische analyse moet worden aangetoond dat de gevolgen van een dergelijke lozing beneden aanvaardbare grenzen blijven.

In een radiologische analyse worden de consequenties van een lozing voor de omgeving van de KCB berekend en van de dosis die het gevolg is van externe bestraling door radioactiviteit die zich in het reactorgebouw bevindt,. Daarbij wordt bepaald hoeveel radioactiviteit wordt geloosd en met behulp van een computermodel wordt berekend hoe deze radioactiviteit zich in de omgeving verspreidt. Afhankelijk van de verspreiding van de radioactiviteit worden de gevolgen voor de mensen in de omgeving berekend. Deze gevolgen worden uitgedrukt in de effectieve dosis E , die een maat is voor het effect van de totale hoeveelheid straling die het menselijk lichaam over een bepaalde periode ontvangt, en de schildklierdosis (H_{th}), die specifiek betrekking heeft op de hoeveelheid door de schildklier ontvangen straling voornamelijk als gevolg van de opname van radioactief jodium.

Representatieve begingebourtenissen die een radioactieve lozing tot gevolg kunnen hebben, zijn gegeven in tabel 5.4.1. Deze begingebourtenissen zijn verder geanalyseerd.

Tabel 5.4.1 Veronderstelde begingebourtenissen voor de radiologische analyses

nummer	veronderstelde begingebourtenis
1.5.1	Langdurige uitval van de secundaire hoofdkoeling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen
7.1.2/7.2.2	Lekkages van het primaire systeem
7.2.3	Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding
7.3.2.2	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie
7.4.2	Lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling
8.2	Lekkage in een leiding van het afgassysteem
8.4.1	Beschadigingen van splijtstofelementen tijdens het hanteren
9.1.2	Gevolgen van een aardbeving op het reactorhulpgebouw

Berekening risico's en toetsing aan dosiscriteria

De resultaten van de bovengenoemde radiologische analyses van de representatieve veronderstelde begingebourtenissen zijn gegeven in tabel 5.4.2. Zowel de effectieve dosis E als de schildklierdosis (H_{th}) zijn gegeven. Het betreft de doses op een afstand van 350 m van de centrale. Zoals hiervoor vermeld, is het dosiscriterium E afhankelijk van de kans van optreden van de veronderstelde begingebourtenis (zie tabel 3.2.1). Ter vermindering van deterministische effecten geldt in alle gevallen een dosiscriterium van 500 mSv voor de schildklier (H_{th}).

Tabel 5.4.2 Toetsing aan de dosiscriteria

Veronderstelde begingebourtenis (zie tabel 5.4.2)	Berekende dosis bestaande situatie		Dosiscriteria	
	E(mSv)	H _{th} (mSv)	E(mSv)	H _{th} (mSv)
1.5.1	0,002	0,06	0,4	500
7.2.3	1*	5,2*	40	500
7.1.2/7.2.2	<< 1**	< 5,2**	4	500
7.3.2.2	0,06	1,4	4	500
7.4.2	0,0002	0,001	4	500
8.2	0,001	0,001	0,04	500
8.4.1	0,0005	0,001	0,4	500
9.1.2	0,007	0,008	4	500

* inclusief $900 \cdot 10^{-3}$ mSv door directe straling

** de mogelijke gevolgen van begingebourtenis 7.1.2 en 7.2.2 zijn vastgesteld op basis van de berekende gevolgen van begingebourtenis 7.2.3

Uit de tabel blijkt dat bij alle representatieve begingebourtenissen in ruime mate wordt voldaan aan de eisen met betrekking tot de betreffende dosiscriteria. Voor een gedetailleerde behandeling van de analyses wordt verwezen naar het "Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele" (EPZ, 2002).

5.4.4 PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT (PSA)

5.4.4.1 Inleiding

Een probabilistische veiligheidsanalyse van een kernenergiecentrale is een systematisch onderzoek naar de kans van optreden van kernbeschadiging en naar de gevolgen voor de omgeving. Daarbij behoren ook de reactiviteitsongevallen. In het algemeen wordt een dergelijke veiligheidsanalyse aangeduid met de Engelse term PSA hetgeen de afkorting is van Probabilistic Safety Assessment.

In een PSA worden de ongevallen behandeld, die leiden tot beschadiging (waaronder smelten) van de reactorkern alsmede tot lekkage of falen van de veiligheidsomhulling. Voor dergelijke ongevallen worden de consequenties van de radioactieve lozingen, die bij deze ongevallen optreden, berekend. Omdat deze ongevallen een zeer lage kans van optreden hebben, wordt

de installatie hier niet op ontworpen. Deze ongevallen worden daarom buiten-ontwerpongevallen genoemd. Dit in tegenstelling tot ontwerpongevallen, waartegen de installatie bestand is (zie paragraaf 5.4.3).

Als doelstellingen voor de ten behoeve van de KCB uitgevoerde PSA kunnen worden genoemd:

- het bepalen van de kans op beschadiging van de kern
- het vaststellen van de dominante ongevalsscenario's
- het nagaan in hoeverre de veiligheidsomhulling tijdens een ernstig ongeval voldoet aan zijn taak om de bij kernsmelten vrijkomende radioactieve stoffen te verhinderen tot buiten het reactorgebouw door te dringen
- het bepalen van de risico's voor de omgeving.

Sinds 1990 beschikt EPZ voor de KCB over een PSA als ontwerp- en analysemethode. Omdat zowel de analysetechniek zich verder ontwikkelt als ook aanpassingen van de installatie plaatsvinden wordt deze PSA voortdurend overeenkomstig aangepast ("levend" gehouden). Door toepassing van dit "levend" KCB model blijven de resultaten die regelmatig worden gepresenteerd ook "levend" d.w.z. actueel. Dit betreft dan verbetering van de analysemodellen zelf, van de methodiek of aanpassing van het model aan wijzigingen van de installatie die binnen de vigerende vergunning mogen worden doorgevoerd.

Als een consequentie hiervan kunnen resultaten van dit MER enige verschillen vertonen met de resultaten van het vorig MER (EPZ, 1996), ook al wordt in principe dezelfde situatie beschouwd. Toch zullen om effecten van bepaalde wijzigingen zo zuiver mogelijk in beeld te kunnen krijgen, de situaties steeds met identieke modellen worden geanalyseerd.

In aansluiting hierop zij vermeld dat ten gevolge van wijzigingen in de regelgeving onder andere inzake conversiefactoren en het feit dat verbeteringen in het model ophanden zijn, berekende doses zullen gaan wijzigen. Verwacht mag worden dat, gelet op de trend dat in de regelgeving meer nadruk wordt gelegd op korte termijneffecten, dit ook in de resultaten tot uitdrukking komt. Een eerste schatting geeft een toename in bijdrage van deze korte termijneffecten te zien. Omdat de bijdrage van de lange termijneffecten vermindert wordt de totale dosis toch lager.

De nu uitgevoerde berekeningen, met de modellen waarin deze effecten nog niet zijn meegenomen, worden daarom als omhullende gehandhaafd.

In paragraaf 5.4.4.2 wordt kort ingegaan op de werkwijze bij het uitvoeren van een PSA.

5.4.4.2 Werkwijze PSA

Een PSA begint met inventariseren van de mogelijke procesverstoringen. Net als bij de eerder beschreven ongevalsanalyses van de ontwerpgegevens (zie paragraaf 5.4.3) gebeurt dat door begingebourtenissen te veronderstellen. Hier gaat het dan echter uitsluitend om de begingebourtenissen die leiden tot kernschade. Uitgaande van deze begingebourtenissen worden alle mogelijke ongevalsverlopen bepaald die tot lozing van radioactieve stoffen kunnen leiden. Bij het bepalen van deze ongevalsverlopen spelen de in de kernenergiecentrale aanwezige veiligheidssystemen, de mate van automatisering en het menselijk handelen een essentiële rol.

De probabilistische analyse van incidenten en processen die leiden tot ongevallen met consequenties voor het milieu is onderverdeeld in 3 niveaus:

- Niveau 1: systeem georiënteerde analyse
Hierbij wordt de totale kans op ernstige beschadiging of smelten van de reactorkern bepaald.
- Niveau 2: proces georiënteerde analyse
De niveau 2 analyse is er vooral op gericht te bepalen hoe groot de belasting op de veiligheidssomhulling wordt en wanneer de functie ervan verloren gaat. Belangrijk is dat de kenmerken van de ongevalslozingen nauwkeurig worden bepaald.
- Niveau 3: omgevingsgeoriënteerde analyse
Uitgaande van de in de niveau 2 analyse bepaalde ongevalslozingen worden de radiologische gevolgen voor mens en milieu bepaald aan de hand van de verspreiding en depositie van radioactieve stoffen in de omgeving. Bij de mens worden de gevolgen onderscheiden in acute en late gezondheidseffecten. Samen met de kans van optreden resulteert dit in het risico.

5.4.4.3 Resultaten PSA niveau 3

Zoals aangegeven in de documentatie voor de in 1997 doorgevoerde verhoging van de verrijkingsgraad van de splijtstof van 3,3% naar 4,0% (EPZ, 1996) geldt ook nu dat zowel niveau 1, niveau 2 als niveau 3 analyses en resultaten niet anders worden beïnvloed dan door een wijziging van de kerninventaris en de daaraan gerelateerde lozingen. Dit betekent dat alleen de niveau 3 analyses nader dienen te worden beschouwd met als resultaat een te verwachten wijziging in individueel en groepsrisico.

Voor nadere gegevens met betrekking tot de niveau 1 en 2 analyses en resultaten wordt verwezen naar de “MER Optimalisatie splijtstof kernenergie-eenheid centrale Borssele “ (EPZ, 1996).

In het Nederlandse risicobeleid zijn, zoals in paragraaf 3.2.3 is aangegeven, twee uitgangspunten van belang. Ten eerste dienen individuele leden van de bevolking te worden beschermd tot een aanvaardbaar niveau tegen het risico van fatale gezondheidseffecten als gevolg van straling (het criterium voor het individuele risico). Het maximaal toelaatbare individuele risico voor overlijden als gevolg van het bedrijven van een bepaalde installatie bedraagt 10^{-6} per jaar.

Ten behoeve van de bepaling van het individueel risico wordt in overeenstemming met het Nederlandse risicobeleid als te beschouwen, meest kwetsbare groep, de groep 1-jarige kinderen genomen.

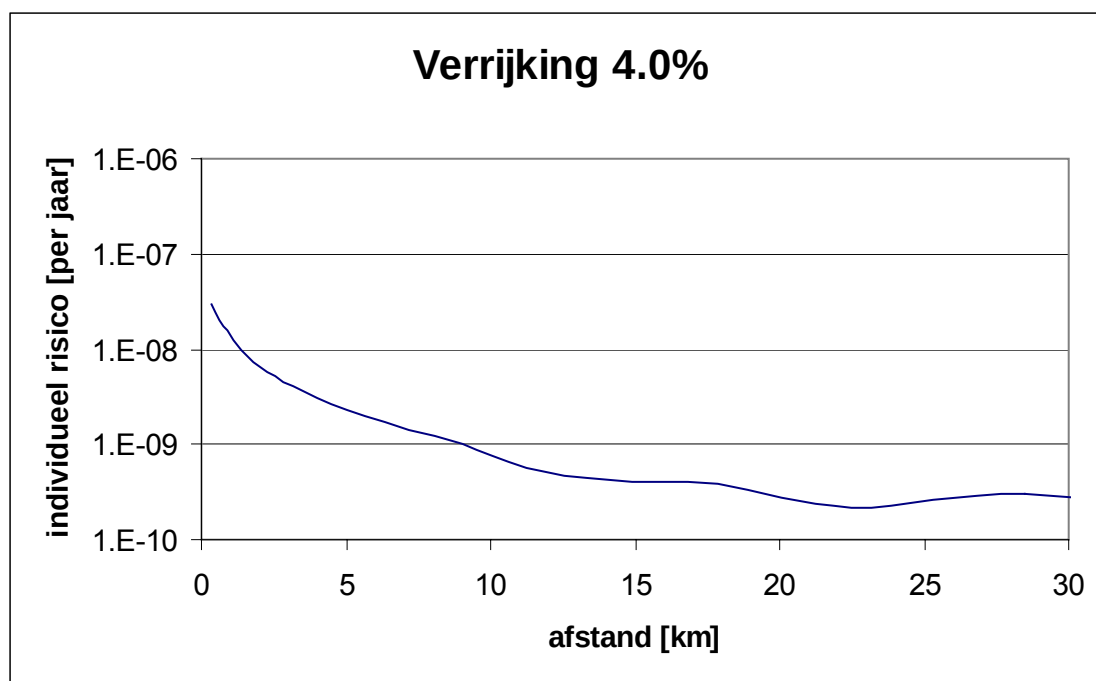
Als tweede uitgangspunt dient de bevolking als geheel te worden beschermd tot een aanvaardbaar niveau tegen het risico van maatschappelijke ontwrichting als gevolg van een ongeval (het maatschappelijk-risicocriterium ofwel groepsrisico). Het groepsrisico is gedefinieerd als de kans op 10 of meer slachtoffers dat direct toegeschreven kan worden aan het ongeval. De kans moet lager zijn dan 10^{-5} per jaar voor 10 slachtoffers, lager dan 10^{-7} per jaar voor 100 slachtoffers, lager dan 10^{-9} per jaar voor 1000 slachtoffers, etc. (zie ook paragraaf 3.2.3).

Berekende individuele risico's

Het individuele risico wordt berekend door het overlijdensrisico ten gevolge van korte- en lange-termijn effecten bij elkaar op te tellen. Het individuele risico is voor de referentiegroep bepaald als functie van de afstand. Hierbij zijn de maximale, weersgewogen gemiddelden van de segmenten gehanteerd. Het totale individuele risico is voor ieder segment berekend door het korte termijn risico op te tellen bij het resterende lange termijn risico.

De analyse is uitgevoerd voor het gebied buiten de terreingrens, vanaf 350 meter van de ventilatieschacht. Uit de analyse blijkt dat het individuele risico voor de omgeving van de kernenergiecentrale lager is naarmate de afstand tot het lozingspunt toeneemt.

In figuur 5.4.1 wordt het totale maximale individuele risico per jaar (voor 1-jarige kinderen) gepresenteerd als functie van de afstand van alle brontermen tezamen. De maximale waarde betreft de hoogste waarde van de segmenten op een bepaalde afstand.



Figuur 5.4.1 Totaal maximaal individueel risico voor eenjarige kinderen per jaar in de huidige situatie zonder tegenmaatregelen zoals evacuatie en jodiumverstrekking

Het totale maximale individuele risico (op 350 m, zie figuur 5.4.1) als gevolg van zowel vroege als late gezondheidseffecten voor alle brontermen tezamen is $3,4 \cdot 10^{-8}$ /jaar (gebaseerd op 1-jarige kinderen), dat wil zeggen ruim beneden de maximaal toelaatbare waarde van 10^{-6} /jaar.

De toepassing van tegenmaatregelen bij de bevolking, zoals evacuatie en jodiumverstrekking leidt tot een sterke reductie van het risico. Het totale maximale individuele risico bedraagt in dat geval ten hoogste $5 \cdot 10^{-10}$ per jaar.

Berekende groepsrisico's

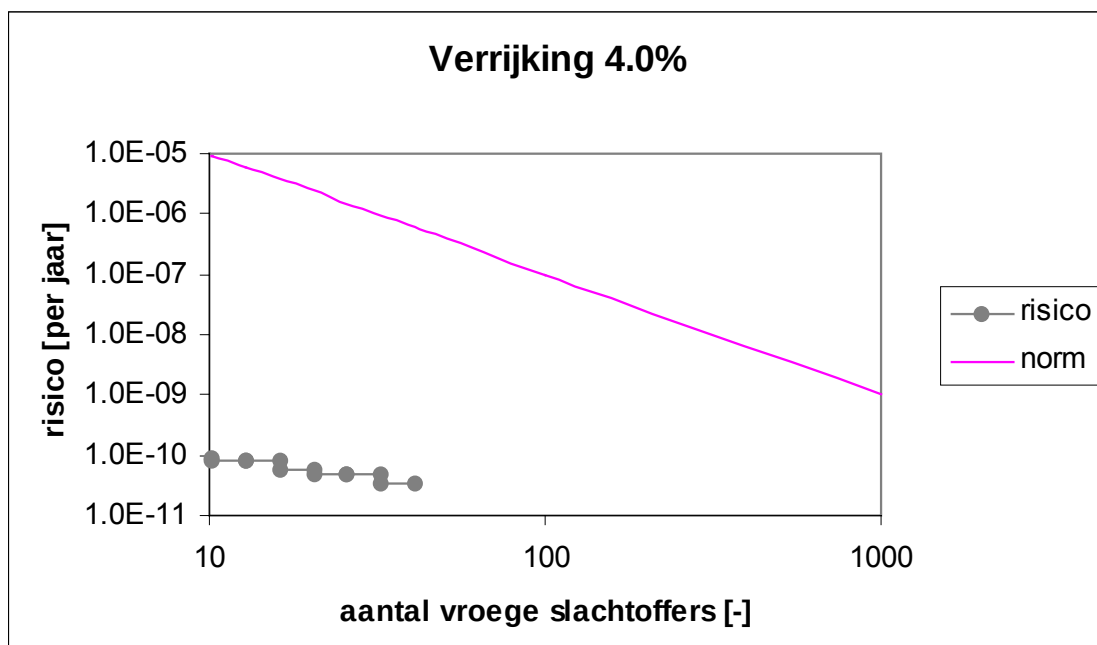
De omgeving van de centrale is ingedeeld in segmenten. Een segment bestaat uit een grondstuk, dat gelegen is in een windroossector van 5° en begrensd is door 2 afstanden, bijvoorbeeld 350 en 500 m. Voor alle segmenten is voor elk van de bronterm-groepen, die bepaalde begingebourtenissen vertegenwoordigen, voor een groot aantal representatieve weerssituaties het overlijdensrisico als gevolg van korte-termijn effecten in verschillende maatgevende organen bepaald.

Door de overlijdenskans als gevolg van een bepaalde aandoening per segment te vermenigvuldigen met het aantal mensen, dat in dat segment woont, krijgt men het aantal korte-termijn sterftegevallen per bronterm en per segment bij een bepaalde weerssituatie als gevolg van die aandoening. Zowel aan de bronterm-groepen als aan de weerssituaties zijn kansen van optreden verbonden.

De totaal-resultaten van de berekeningen van het groepsrisico worden gepresenteerd als een "complementaire cumulatieve frequentie verdeling" (CCFD). In een dergelijke grafiek kan de kans worden afgelezen, dat het daarbij behorende effect wordt overschreden. In dit geval geeft de figuur weer hoe groot de kans (per jaar) is, dat een bepaald aantal personen van de bevolking als gevolg van de mogelijke beschouwde ongevalsverlopen slachtoffer wordt.

In figuur 5.4.2 wordt het groepsrisico zoals berekend in de niveau 3 analyse voor interne en externe invloeden en voor niet-vermogensbedrijf en vermogensbedrijf samen weergegeven. Ook is het maximaal toelaatbare groepsrisico in de vorm van een schuine lijn in de figuur aangebracht.

Uit figuur 5.4.2 blijkt dat het groepsrisico bij geen enkel risiconiveau de grenswaarde lijn van het toelaatbare groepsrisico-criterium overschrijdt.



Figuur 5.4.2 Groepsrisico (geen tegenmaatregelen) in de huidige situatie

Uit de analyse blijkt verder dat door de toepassing van tegenmaatregelen ter beperking van de gevolgen van het ongeval, te weten schuilen, jodiumverstrekking en evacuatie (zie het Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding (VROM, 1989)), er geen korte-termijn slachtoffers zullen zijn.

5.4.5 ONDERKRITICALITEIT IN HET SPLIJTSTOFOPSLAGBASSIN

In de splijtstofelementen in het splijtstofopslagbassin mag onder geen beding een kernsplijtingsproces op gang komen. Daartoe dient aangetoond te worden dat te allen tijde de onderkriticaliteit van de splijtstofelementen in het bassin is gewaarborgd. Er moet worden aangetoond dat de vermenigvuldigingsfactor van de neutronen (k_{eff} , zie paragraaf 4.2.5) kleiner of gelijk is aan 0,95. Als verzwarende omstandigheden wordt daarbij aangenomen dat alle posities in het bassin worden ingenomen door nieuwe splijtstofelementen met de maximale verrijkingsgraad, en dat geen neutronenabsorberend boorzuur in het bassin aanwezig is.

Voor de huidige maximale verrijkingsgraad van 4,0% is voor de genoemde omstandigheden aangetoond (zie EPZ, 1996) dat de onderkriticaliteit in het splijtstofopslagbassin voldoende is gewaarborgd.

Dit is het gevolg van de verdeling in twee zones waarbij de opslagrekken zijn ontworpen voor de opslag van elementen met een maximale verrijkingsgraad van 3,8 %. Om ook elementen met een maximale verrijkingsgraad van 4,0 % op te kunnen slaan werden in deze rekken enkele posities afgesloten om de vereiste ondercriticaliteit te garanderen. In de andere zone zijn de opslagrekken zelf ontworpen voor de opslag van elementen met een verrijkingsgraad van 4,0 %.

5.5 Luchtkwaliteit

5.5.1 ACHTERGRONDCONCENTRATIES RADIOACTIEVE NUCLIDEN EN STRALING

Vanaf 1972, een jaar voordat de kernenergiecentrale Borssele in gebruik is genomen, zijn door KEMA maandelijks metingen verricht van de activiteitsconcentraties in de lucht en de stralingsniveaus in de omgeving van de centrale.

De luchtkwaliteit wordt bewaakt door het meten van luchtstofmonsters op totaal- α en totaal- β activiteit en de radionucliden ^{131}I , ^{60}Co en ^{137}Cs . In de afgelopen 10 jaar zijn geen verhogingen door het bedrijven van de installatie ten opzicht van de natuurlijke achtergrondconcentraties geconstateerd (zie bijlage B).

Het gemiddelde dosisequivalent afkomstig van natuurlijke terrestrische straling bedraagt in Nederland ongeveer 40 nSv/h (RIVM, 2003) met een variatie tussen 10 - 70 nSv/h. De hoogste waarden worden gevonden boven plaatsen waar rivierklei of zeeklei is afgezet; de lagere waarden boven zandgronden.

Daarboven op komt een bijdrage als gevolg van de kosmische straling, die door het RIVM eveneens op 40 nSv/h wordt geschat. Het van nature aanwezige dosisequivalent bedraagt in Nederland derhalve 50 - 110 nSv/h. De doses in de omgeving van de KCB vallen binnen deze range.

5.5.2 BIJDAGEN KCB AAN DE LUCHTKWALITEIT

5.5.2.1 Lozingen naar de lucht

In tabel 5.2.1 zijn de gemiddelde lozingen en de maximale gemeten lozingen in de periode 1993-2002 vermeld, alsmede de in de bedrijfsvergunning opgegeven limietwaarden. Op basis hiervan is de gemiddelde en maximale dosisbijdrage via luchtgedragen activiteit berekend (zie bijlage B). De resultaten zijn samengevat in tabel 5.5.1. De laatste kolom geeft de omgerekende dosis op basis van de vergunningslimiet. De vergunningslimieten van de lozingen uit tabel 5.2.1 zijn hierbij via verspreidingsberekeningen omgerekend naar dosisbijdragen.

Tabel 5.5.1 Dosisbijdragen per jaar via luchtgedragen activiteit gemiddeld over 1993-2002

Nuclide	Gemiddelde lozing [10 ⁻⁶ mSv/a]	Maximale lozing [10 ⁻⁶ mSv/a]	Omgerekende dosis o.b.v. vergunningslimiet [10 ⁻⁶ mSv/a]
Edelgassen:	5,5	21,4	393
Aërosolen:	< 0,001	< 0,001	1,0
³ H	0,13	0,23	0,8
¹⁴ C	0,88	1,7	4,1
¹³¹ I	0,02	0,10	2,5
Overige halogenen:	0,002	0,02	4,7
Totaal	6,5	23,4	406

5.5.2.2 Directe straling vanuit KCB

Naast de dosisbijdragen als gevolg van emissies via de ventilatieschacht kunnen personen ook aan straling rechtstreeks uit de centrale blootstaan. Het maximum van de hiermee gepaard gaande dosisbijdrage treedt op bij het hek van de centrale. Verder weg, waar het maximum van de bijdrage via pluimverspreiding optreedt, is deze bijdrage verwaarloosbaar. Er hoeft daarom geen sommatie van doses uitgevoerd te worden.

De belangrijkste bronnen die bijdragen aan de externe stralingsdosis aan het hek zijn:

- reactorgebouw: inventaris van de reactorkern, activiteit in het hoofdkoelmiddel, activiteit in het splijtstofopslagbassin en activiteit in de lucht van de installatieruimte
- afvalopslaggebouw: activiteit in opgeslagen en geconditioneerd afval
- de transportcontainer, indien beladen met gebruikte splijtstofelementen voor vervoer naar Cogema.

Tabel 5.5.2 geeft de met behulp van afschermingsberekeningen geschatte maximale dosisbijdragen aan de terreingrens.

Tabel 5.5.2 Actuele dosisbijdragen aan het hek als gevolg van externe bestraling door in de centrale aanwezige radioactieve stoffen.

	Dosisbijdrage (mSv/jaar)
Reactorgebouw: - kerninventaris - splijtstofopslagbassin - hoofdkoelmiddel (^{16}N) - lucht installatieruimte	$3 \cdot 10^{-16}$ $< 1 \cdot 10^{-18}$ $1 \cdot 10^{-4}$ $1 \cdot 10^{-10}$
Afvalopslaggebouw: - geconditioneerd radioactief afval	$5 \cdot 10^{-6}$

Er wordt geconcludeerd dat de dosisbijdrage bij het hek van de centrale voor de meest beperkende gebruiksoptie (wonen) maximaal ca. $1 \cdot 10^{-4}$ mSv/jaar bedraagt.

Met betrekking tot de beladen transportcontainer kan worden gesteld dat deze doorgaans direct na beladen wordt afgevoerd zodat een bijdrage aan de dosis aan het hek beneden het secundaire niveau blijft. In het geval dat directe afvoer niet mogelijk is, vindt opslag plaats in het afvalgebouw. Aangezien het maximaal toegestaan dosistempo aan het oppervlak van de container 2 mSv/h is, een factor 5 lager dan het toegestane maximum voor het opgeslagen

geconditioneerd afval, is de dosisbijdrage van de container aan de terreingrens evenredig lager. Voeg daarbij de korte verblijftijd (onder normale omstandigheden maximaal enkele dagen) en de totale bijdrage is verwaarloosbaar ten opzichte van de in tabel 5.5.2 opgegeven waarde van $5 \cdot 10^{-6}$ mSv/jaar.

5.6 Waterkwaliteit (Westerschelde)

5.6.1 ALGEMENE BESCHRIJVING

De Westerschelde is één van de laatste Nederlandse estuaria die niet door afsluitwerken zijn beïnvloed en daarmee, ondanks de drukke scheepvaart en een zware belasting met verontreinigende stoffen, een hoge mate van natuurlijkheid heeft. Met name voor watervogels is de Westerschelde van internationaal belang, vooral omdat het estuarium dient als doortrek- en overwinteringsgebied. Daarnaast heeft de Westerschelde een belangrijke functie als kraamkamer voor vis, met name tong, en garnalen. Door de getijdewerking zijn in het estuarium schorren, slikken en platen ontstaan, afgewisseld door diepe getijdegeulen.

De Westerschelde heeft in een groot aantal functies, met name: waterkeren, afvoer, hoofdtransportweg (het aantal scheepsbewegingen wordt geschat op circa 40.000 per jaar!), recreatievaart, oeverrecreatie, zwemwater, visserij, koelwater (onder ander voor de KCB) en "waterkwaliteit en ecologie" (RWS, 2001).

Eerder (zie par. 3.2.4) is al gewezen op de kwalificatie van de Westerschelde als Ecologische Hoofdstructuur en de aanmelding c.q. aanwijzing als beschermd gebied ingevolge, de Habitatrichtlijn, respectievelijk Vogelrichtlijn. Voor de toetsing van de gevolgen van de voorgenomen activiteit aan de beschermde status van de Westerschelde wordt verwezen naar par. 6.7.

Aangezien het voornemen niets wijzigt aan de bestaande situatie met betrekking tot de conventionele lozingen, met name waar het koelwater betreft, wordt verder niet ingegaan op de biologische waterkwaliteit en de invloed hierop door de KCB. Hiervoor wordt verwezen naar het voorgaande MER dat voor de KCB is uitgevoerd (EPZ, 1996). Op de geactualiseerde gegevens met betrekking tot de radiologische waterkwaliteit gaat de volgende paragraaf in.

5.6.2 RADIOLOGISCHE WATERKWALITEIT

De radiologische waterkwaliteit bij de KCB wordt continu bewaakt door middel van de maandelijkse omgevingsmetingen. Hierbij worden de volgende compartimenten en radionucliden bemonsterd:

- Westerscheldewater op vier lokaties: totaal- β activiteit in water en zwevend slib en tritiumactiviteit
- Wieren: ^{60}Co , ^{137}Cs en ^{131}I activiteit
- Onderwatersediment: ^{60}Co , ^{137}Cs en ^{131}I .

In bijlage B wordt een overzicht gegeven van de meetwaarden over de afgelopen 10 jaar. De gemeten concentraties zijn normale waarden voor Nederlands oppervlaktewater (RWS,1996).

De op basis van de gemiddelde en maximale lozingen van radioactieve stoffen op de Westerschelde (zie tabel 5.2.2) berekende dosisbijdragen door KCB zijn gegeven in tabel 5.6.1. De laatste kolom geeft de omgerekende dosis op basis van de vergunningslimiet. De vergunningslimieten van de lozingen uit tabel 5.6.1 zijn hierbij via verspreidingsberekeningen omgerekend naar dosisbijdragen.

Tabel 5.6.1 Individuele jaardosis ten gevolge van de gemiddelde en maximale lozingen van radioactiviteit met het afvalwater en op basis van de gemiddelde consumptie van zeevoedsel uit de Zeeuwse kustwateren in de periode 1993-2002.

Nuclide	Gemiddelde lozing [10^{-6} mSv/a]	Maximale lozing [10^{-6} mSv/a]	Omgerekende dosis o.b.v. vergunningslimiet [10^{-6} mSv/a]
^3H	0,006	0,007	0,03
β/γ -activiteit			9,7
^{55}Fe	0,001	0,003	
^{63}Ni	0,0001	0,0003	
^{60}Co	0,028	0,060	
α -activiteit	< 0,0001	< 0,0001	0,07
Totaal	0,035	0,070	9,8

5.6.3 RADIOLOGISCHE BIJDAGEN KCB

In bijlage B zijn enige activiteitsniveaus in wieren uit de Westerschelde vermeld. Het betreft ^{131}I , ^{137}Cs en ^{60}Co in de wiersoorten *Fucus vesiculosus*, *F. serratus* en *Ascophyllum nodosum*. De wieren zijn verzameld in het uitlaatgebied van de kernenergiecentrale Borssele in de jaren 1993-2002. Alleen het activiteitsniveau van ^{137}Cs komt net boven de detectiegrens. Deze gemeten activiteitsniveaus in biologisch materiaal hebben geen biologische consequenties voor de betreffende organismen en zijn te laag om via verdere opname in voedselketens concentraties te bereiken met biologische of ecologische consequenties.

5.7 Bodem: depositie van radioactieve stoffen

De belangrijkste weg waarlangs eventuele besmetting van de bodem kan plaatsvinden is door depositie (op de bodem neerkomen) van radioactiviteit, die via de ventilatieschacht wordt geloosd en vervolgens via de lucht wordt verspreid. Andere mogelijke besmettingspaden zijn irrigatie van landbouwgebieden met via lozingen op het oppervlaktewater besmet water of via overstroming van buitendijks gelegen gronden. Aangezien het water van de Westerschelde brak is, en dus niet voor irrigatie wordt toegepast, en de buitendijkse gebieden niet voor landbouwdoeleinden worden gebruikt, kunnen de twee laatstgenoemde besmettingspaden buiten beschouwing worden gelaten.

In tabel 5.7.1 zijn voor de gemiddelde en de maximale waarden van de luchtlozingen in de periode 1993-2002 de dosisbijdragen ten gevolge van de gedeponeerde radioactiviteit vermeld. De vergunningslimieten van de lozingen uit tabel 5.7.1 zijn hierbij via verspreidingsberekeningen omgerekend naar dosisbijdragen.

Tabel 5.7.1 Dosisbijdragen KCB als gevolg van ingestie en externe bestraling van gedeponeerde aerosolen inclusief direct door de vegetatie opgenomen ^3H - en ^{14}C -activiteit bij een over 1993-2001 gemiddelde jaaremissie.

Nuclide	Gemiddelde lozing [10^{-6} mSv/a]	Maximale lozing [10^{-6} mSv/a]	Verguningslimiet [10^{-6} mSv/a]
Aërosolen			
$^{60}\text{Co}^*$	0,06	0,52	235
^3H	0,32	0,57	2
^{14}C	2,41	4,44	11
^{131}I	0,14	0,76	19
Overige halogenen	0,005	0,04	11
Totaal	2,9	6,3	278

* ^{60}Co representatief voor aerosolen

NB. Vanwege wijzigingen in het Besluit stralingsbescherming [Bs, 2001] met betrekking tot methodieken en toe te passen coëfficiënten (nader uitgewerkt in de ministeriële regeling “Analyse Gevolgen Ioniserende Straling” (Stcrt, 2002) verschillen de hier gegeven resultaten met de waarden uit de vorige MER (EPZ, 1996)

5.8 Bijdragen KCB aan de totale stralingsbelasting

5.8.1 DOSISBIJDRAGEN

Tabel 5.8.1 geeft een samenvatting van de in bijlage B berekende bijdragen aan de stralingsbelasting van de referentiegroep, zijnde die groep uit de bevolking die de hoogste maximale individuele dosis ontvangt, als gevolg van de gemeten lucht- en waterlozingen door de kernenergiecentrale Borssele.

De totale dosisbijdrage op basis van de gemiddelde lozingen in de periode 1993-2002 is circa $10 \cdot 10^{-6}$ mSv/jaar. De dosisbijdrage is maximaal $30 \cdot 10^{-6}$ mSv/jaar, indien de piekwaarden in de lozingsgegevens van die periode als uitgangspunt voor de berekeningen worden genomen.

Indien uitgegaan wordt van de vergunde lozingslimieten, wordt een maximale dosis berekend van ca. $700 \cdot 10^{-6}$ mSv/jaar. De maximale individuele dosis is derhalve minder dan het Secundaire Niveau (SN) van 1 μ Sv per jaar voor lozingen.

Tabel 5.8.1 Dosisbijdragen via de diverse belastingspaden als gevolg van lozingen door KCB

Blootstellingspad	Dosis (10^{-6} mSv/a)			Meest belastende nucliden
	Gemiddelde lozing 1993-2002	Maximale lozing 1993-2002	Vergunninglimiet*	
A LUCHTLOZINGEN				
Extern pluim	5,5	21,4	393	edelgassen aërosolen, ^{60}Co ^{14}C ^{14}C , ^{131}I
Extern bodem	0,1	0,8	252	
Inwendig inhalatie	1,0	2,0	13	
Inwendig ingestie	2,8	5,5	26	
B WATERLOZINGEN				
Inwendig ingestie	0,035	0,07	10	^{60}Co
TOTAAL (afgerond)	10	30	700	

*waarde o.b.v. vergunninglimiet

De dosisbijdragen aan het hek als gevolg van directe straling vanuit de kernenergiecentrale zijn aangegeven in paragraaf 5.5.2.2. De maximale individuele doses aan het hek bedragen $0,1 \cdot 10^{-3}$ mSv/jaar als gevolg van ^{16}N in het hoofdkoelmiddel en $0,045 \cdot 10^{-3}$ mSv/jaar als gevolg van radioactief afval opgeslagen in het afvalopslaggebouw. Eerstgenoemde dosis is berekend aan het hek ter hoogte van het kantoorgebouw; laatstgenoemde dosis ter hoogte van de westelijke ingang van het kolencentralecomplex.

In tabel 5.8.2 is een opsomming gegeven van alle bronnen die een bijdrage leveren aan de gemiddelde stralingsbelasting van een lid van de Nederlandse bevolking. De gegevens zijn afkomstig uit het RIVM-rapport "Ionising Radiation Exposure in the Netherlands" (RIVM, 2002). Voor de bijdrage van de kernenergiecentrale Borssele is de in tabel 5.8.1 gegeven dosisbijdrage ten gevolge van de gemiddelde jaarlijkse lozingen over de periode 1993-2002 genomen.

Tabel 5.8.2 Gemiddelde stralingsbelasting in Nederland (RIVM, 2002) en bijdrage in de woonomgeving nabij de kernenergiecentrale Borssele

Bron	Dosisbijdrage [mSv/a]
Radon en thoron in het binnenmilieu	0,82
Medische diagnostiek	0,59
Inwendige bestraling door nat. radionucliden	0,37
Technologisch verhoogde natuurlijke straling *	0,36
Kosmische straling	0,27
Terrestrische straling	0,04
Fall out (Chernobyl)	0,02
Kernenergiecentrale Borssele (jaargemiddeld)	0,00001
Totaal	2,5

* Omvat bijdragen van conventionele elektriciteitsproductie (0,0008 mSv), de procesindustrie (0,02 mSv), bouwmaterialen (0,34 mSv) en vliegverkeer (0,005 mSv).

De totale stralingsbelasting bedraagt 2,5 mSv/jaar, voornamelijk tengevolge van ioniserende straling van natuurlijke oorsprong, inclusief technologisch verhoogde straling. Bijdragen als gevolg van menselijk handelen zijn in het algemeen zeer laag, met uitzondering van de medische toepassingen. De bijdrage van de kernenergiecentrale Borssele in het geheel is uitermate gering (minder dan 0,001%).

5.8.2 EFFECTEN EN TOETSING AAN DOSISCRITERIA

Individuele dosis

Bij de lage doses en lage dosistempo's waarvan in het onderhavige geval bij normaal bedrijf sprake is, treden geen directe effecten op. Er kunnen echter wel gemuteerde cellen ontstaan, die later kunnen uitgroeien tot een tumor. De kans van optreden wordt gegeven door de risicofactor. Internationaal wordt aangenomen dat de kans op overlijden aan een door straling geïnduceerde tumor 0,05 per sievert effectieve dosis bedraagt (ICRP, 1990). Deze risicofactor is afgeleid voor relatief hoge doses en dosistempo's, maar wordt veiligheidshalve ook in het lage dosisgebied gehanteerd. Door de Nederlandse overheid is aangegeven dat doses beneden 0,001 mSv/jaar, vanwege het geringe risico als secundair mogen worden beschouwd. De maximale individuele doses afkomstig van reguliere lozingen door KCB liggen hier met 0,00002 mSv/jaar (gemiddeld in de periode 1993-2002)

ruimschoots onder. Het mogelijke overlijdensrisico ten gevolge van deze lozingen bedraagt minder dan 1.10^{-9} /jaar (kans van 1 op een miljard).

5.8.3 COLLECTIEVE DOSIS

De collectieve dosis is de som van alle effectieve doses die individuen oplopen ten gevolge van de reguliere lozingen. Aangezien de individuele dosis wordt uitgedrukt in sievert wordt de collectieve dosis uitgedrukt in mens-sievert.

In rapport (VROM, 1990) wordt de collectieve dosis berekend, geldig binnen Nederland, als gevolg van lucht en waterlozingen voor alle relevante belastingspaden. Gebruik makend van uit bovengenoemd rapport af te leiden dosisconversiefactoren (gecorrigeerd voor de nieuwe dosiscoëfficiënten uit het Bs) kan aan de hand van de jaarlijkse luchtlozingen voor de dominante nuclidengroepen, de collectieve dosis worden berekend. De aldus berekende collectieve dosis via luchtlozingen bedraagt 1.10^{-3} mensSv/jaar, gemiddeld over de periode 1993-2002.

Eenzelfde berekening kan worden uitgevoerd voor lozingen in het water. Naast een correctie voor de gewijzigde dosiscoëfficiënt voor ingestie dient tevens een correctie voor lagere gemiddelde visconsumptie te worden gemaakt (zie 5.6.2) Voor de berekening is alleen de dosisconversiefactor voor ^{60}Co gebruikt, aangezien dit nuclide grotendeels de totale collectieve dosis bepaalt. De collectieve dosis via het belastingspad ingestie als gevolg van consumptie van vis en schelpdieren bedraagt $5,3.10^{-6}$ mensSv/jaar. Deze dosis is verwaarloosbaar ten opzichte van de dosis ten gevolge van de luchtlozingen.

5.9 Radioactief afval en (gebruikte) splijtstoffen

Een kernenergiecentrale produceert gedurende het bedrijf een bepaalde hoeveelheid radioactief afval. Dit radioactieve afval kan onderverdeeld worden in gasvormige, vloeibare en vaste stoffen. De gebruikte splijtstofelementen worden meestal als een aparte categorie beschouwd.

De radioactieve stoffen in de gassen en de vloeistoffen worden zo goed als mogelijk door reiniging en filtering gereinigd verwijderd. De restanten gas of vloeistof worden afgevoerd naar de atmosfeer respectievelijk de Westerschelde. De hoeveelheden voldoen daarbij aan in de vergunning vastgestelde limieten. Het vaste afval wordt verpakt en afgevoerd naar een centrale opslag van de COVRA (Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval).

Ten behoeve van de electriciteitsproduktie van de KCB moet jaarlijks een aantal onbestraalde (nieuwe) splijstofelementen worden aangevoerd en ongeveer een gelijk aantal bestraalde (opgebruikte) splijstofelementen worden afgevoerd. Aanvoer vindt plaats over de weg, terwijl afvoer over de weg, (eerste deel) en over het spoor (tweede deel van het traject) plaats vindt, waarbij de splijstofelementen zich in type-goedgekeurde containers bevinden. Voor deze transporten worden vergunningen afgegeven door het ministerie van VROM.

Onbestraalde splijstofelementen vormen voor wat betreft de transporten een verwaarloosbaar radiologisch risico. Het ontwerp van de transportcontainers is er vooral op gericht voldoende onderkriticaliteit te garanderen. Daarnaast is ervoor gezorgd dat tijdens transport de effecten van een eventueel verkeersongeval op de structuur van de splijstofelementen worden beperkt (bedrijfseconomisch risico).

De splijstofelementen worden na gebruik verwijderd uit het reactorvat en gedurende een bepaalde tijd opgeslagen in het splijstofopslagbassin. In deze tijd neemt de radioactiviteit van de elementen door radioactief verval af. Na deze opslag worden ze afgevoerd voor verwerking elders. Het transport vindt plaats in speciaal voor dit doel ontworpen splijstoftransportcontainers. Deze containers zijn op basis van internationale normen ontworpen. Containers voor bestraalde splijstofelementen worden zodanig ontworpen, dat de straling wordt afgeschermd tot beneden het wettelijk vereiste niveau, dat de warmte-ontwikkeling van de elementen wordt afgevoerd en dat de onderkriticaliteit wordt gegarandeerd. Tevens dienen de containers bestand te zijn tegen een transportongeval, om uit te sluiten dat er radioactieve stoffen in het milieu terecht komen. Tijdens het transport komen op geen enkele wijze radioactieve stoffen vrij. Het stralingsniveau van de containers voldoet aan de daarvoor geldende wettelijke normen. De splijstofelementen worden afgevoerd naar de opwerkingsfabriek van Cogema in La Hague (Frankrijk) waar de gebruikte splijstof wordt gescheiden in opnieuw bruikbare splijstof en radioactief afval. Jaarlijks wordt globaal 1/4 deel van de uit 121 splijstofelementen bestaande kern afgevoerd. Voor de opwerking zijn langlopende raamcontracten afgesloten tussen Cogema en EPZ. Het hoog radioactieve afval, dat bij de opwerking vrij komt, zal worden geretourneerd naar Nederland en worden opgeslagen bij COVRA.

Bij iedere cyclus (ongeveer jaarlijks) worden dus ongeveer 30 splijstofelementen uit de kern verwijderd. De precieze hoeveelheid is afhankelijk van de cyclusduur en de opbrand van de elementen. De meeste gebruikte elementen hebben zich dan gedurende een verblijftijd van 4 jaar in de kern bevonden. Deze gebruikte splijstofelementen worden na de opslag in het splijstofopslagbassin afgevoerd voor opwerking.

De nuclideninventaris van de ontladen splijtstofelementen is gegeven in bijlage G. Hierin wordt per splijtstofelement aangegeven hoeveel van ieder nuclide aanwezig is (gewicht (kg) en hoeveelheid radioactiviteit (Bq)) deze vertegenwoordigt. Dit is gedaan voor de splijtstofelementen op het moment van ontladen uit de kern (na 3 dagen na afschakeling van de reactor) en op het moment dat de elementen kunnen worden afgevoerd uit het splijtstofopslagbassin (ca 500 dagen na afschakeling van de reactor). Hierbij zijn de belangrijkste nucliden met betrekking tot radioactiviteit en gewicht in de tabel opgenomen.

Het radioactieve afval dat bij de opwerking overblijft zal uiteindelijk worden opgeslagen bij COVRA.

Dit afval bestaat uit twee typen verpakkingen:

- 180 liter standaard canister gevuld met ca 160 liter verglaasd KSA
- 180 liter standaard canister voornamelijk gevuld met gecompacteerd resten van splijtstofelementen en gecompacteerd technologisch afval van het opwerkingsproces

Het KSA is warmte-producerend, het overige afval niet. Bij COVRA zijn de voorzieningen zodanig dat beide soorten afval opgeslagen kunnen worden.

Momenteel is de jaarproductie ca 8,5 KSA canisters en maximaal 15 canisters gecompacteerd overig afval.

5.10 Verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens

Op grond van het Euratomverdrag (1957) en het verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens (1968) is Nederland verplicht haar nucleaire activiteiten onder internationaal toezicht te plaatsen. In dit laatste "non-proliferatie" verdrag, dat in 1995 verlengd is, zijn procedures en waarborgen opgenomen ten aanzien van basismaterialen en bijzondere splijtbare materialen, ongeacht of deze worden vervaardigd, verwerkt of gebruikt in een kernenergie-installatie, dan wel zich buiten een zodanige installatie bevinden.

Voor EPZ betekent dit onder meer regelmatige inspecties bij de KCB door het Internationale Atoom Energie Agentschap te Wenen (IAEA) in samenwerking met EURATOM.

Voor de vraag of kernenergiecentrales voor de produktie van elektriciteit kunnen bijdragen aan de verspreiding van kernwapens is het van belang of de kernenergiecentrale gebruik maakt van hoog verrijkt uranium of van plutonium. Voor KCB is geen van beide het geval. Uranium, dat bruikbaar is voor kernwapens dient hoog verrijkt te zijn. Daaronder verstaat men in het algemeen dat de splijtstof verrijkt is tot meer dan 20% uranium-235. Zoals gesteld is de verrijking bij de voorgenomen nieuwe splijtstofelementen slechts 4,4%.

Plutonium is in de nieuwe elementen niet aanwezig. In de ontladen elementen is het plutonium in geringe hoeveelheden aanwezig. Tabel 5.10.1 geeft de betreffende hoeveelheden van de verschillende plutoniumisotopen.

Tabel 5.10.1 Gemiddelde hoeveelheden plutonium in jaarlijks te ontladen splijtstofelementen in de bestaande situatie in kg/jaar

Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Totaal
3,8	53,7	25,0	13,3	6,6	102,4

Dit plutonium is echter minder geschikt voor het gebruik in een kernwapen omdat het geen "weapon grade" plutonium is. Dat dient namelijk een concentratie van maximaal 7% plutonium-240 te hebben, terwijl bij de KCB die concentratie in de definitief uit de kern ontladen splijtstofelementen circa 25% bedraagt.

Er zijn geen gevallen bekend, waarbij plutoniumafval van lichtwaterreactoren gebruikt is voor het vervaardigen van nucleaire wapens.

Om deze en ook andere redenen kwam de Nederlandse regering in het verleden (Tweede Kamer, zitting 1979-1980, 15802, nrs. 11-12) tot de conclusie "dat er uit non-proliferatie-oogpunt géén argumenten zijn tegen de verdere toepassing van kernenergie in ons land".

5.11 Risico's splijtstofcyclus

5.11.1 ALGEMEEN

In paragraaf 4.2.2 zijn de verschillende stadia van de splijtstofcyclus behandeld. In de onderhavige paragraaf worden de risico's van de splijtstofcyclus kort beschreven.

In 2001 heeft NRG in opdracht van de elektriciteitsproductiebedrijven in Nederland het rapport "Risico's van de splijtstofcyclus" opgesteld, onder meer op basis van een studie van NEA-OECD uit 2000. Uit deze beschouwingen is gebleken dat winning (en extractie), reactorbedrijf en opwerking het overgrote deel van het totale risico opleveren.

Hierbij moet opgemerkt worden, dat deze risico's moeilijk vergelijkbaar zijn. Bij winning en extractie is vooral sprake van risico's voor de hierbij betrokken werkers. Bij opwerking betreft

het vooral het operationele risico voor omwonenden en bij reactorbedrijf wordt het risico veroorzaakt door ongevallen. Deze risico's zijn daardoor niet onder één noemer te brengen.

Aan- en aftransporten van splijtstofelementen leveren slechts een geringe risicobijdrage. Vanwege de publieke en politieke aandacht hiervoor wordt in paragraaf 5.11.2 van dit rapport hieraan aandacht besteed. In paragraaf 6.6 worden de veranderingen in de risico's van de transporten beschreven.

De winning (en extractie) en fabricage (inclusief raffinage, conversie en verrijking) kunnen door EPZ slechts in geringe mate beïnvloed worden en de voorgestelde wijziging heeft geen invloed op deze processen en de daaruit voortvloeiende risico's. Vandaar dat deze in dit rapport niet nader behandeld worden.

De invloed op het reactorbedrijf wordt in de hoofdstukken 4, 5 en 6 van dit MER beschreven en in hoofdstuk 7 wordt beschreven dat door de beoogde wijziging de plutoniumproductie en de radioactiviteit van het hoogradioactieve afval afnemen. Dit laatste houdt in dat bij het opwerkingsproces het risico evenredig verminderd wordt.

5.11.2 HUIDIG TRANSPORT VAN SPLIJTSTOFELEMENTEN BIJ KCB

5.11.2.1 Overzicht van de risico's

De risico's van het transport van de splijtstofelementen kunnen onderscheiden worden in risico's verbonden met de aanvoer van verse splijtstofelementen, de afvoer van gebruikte splijtstofelementen en het terugtransport van het kernsplijttingsafval voor tussen- of eindberging in Nederland. Emissies van niet-radioactieve, eventueel licht toxische stoffen worden voorkomen door het ontwerp van de transportcontainers. Hiervoor gelden stringente, internationaal aanvaarde eisen met betrekking tot het bestand zijn tegen externe belastingen. Door middel van testen, waaronder botsproeven en langdurige blootstelling aan brand, is aangetoond dat dergelijke situaties niet leiden tot het vrijkomen van stoffen uit de containers. Derhalve behoeven voor de transportrisico's uitsluitend stralingsrisico's beschouwd te worden.

Omdat de verse splijtstof nauwelijks radioactief is, zijn de stralingsrisico's van de aanvoer van verse splijtstofelementen verwaarloosbaar ten opzichte van die van de afvoer van gebruikte splijtstofelementen.

Onderstaande tekst (subparagraaf 5.11.2.2) over de risico's van de afvoer van gebruikte splijtstofelementen is ontleend aan de samenvatting van een studie van NRG (NRG, 2000) over dit onderwerp.

5.11.2.2 Risico's van de afvoer van gebruikte splijtstof

In het kader van de aanvraag van een vergunning voor een aantal transporten per spoor van bestraalde splijtstofelementen van de kerncentrale Borssele naar Frankrijk, heeft het Bevoegd Gezag de vervoerder Cogema uit Frankrijk gevraagd de risico's van deze transporten op het Nederlandse deel van de transportroute te berekenen en aan het Bevoegd Gezag te rapporteren.

Bij deze berekeningen zijn op alle onderdelen conservatieve aannamen gehanteerd, die leiden tot bovenschattingen van de werkelijk te verwachten risico's.

Aangenomen is dat per jaar maximaal 3 van deze transporten zullen plaatsvinden. De splijtstofelementen worden vervoerd in daarvoor gecertificeerde containers, type TN17/2, die maximaal 7 elementen per container zullen bevatten. Per transport zullen maximaal 3 containers worden vervoerd.

De risico's voor de omwonenden, personeel en de gebruikers van de wegen en spoorwegen waarover deze transporten zullen plaatsvinden, zijn berekend overeenkomstig een methodiek die door ECN in opdracht van de overheid is ontwikkeld. De resultaten van deze berekening kunnen als volgt worden samengevat:

Regulier transport

Het radiologisch risico van omwonenden en verkeersdeelnemers bij regulier transport is gekwantificeerd als de individuele effectieve dosis die jaarlijks door deze personen wordt ontvangen als een gevolg van de blootstelling aan ioniserende straling afkomstig van de transporten. De individuele effectieve dosis van de groep van meest blootgestelde omwonenden langs het grootste deel van het traject bedraagt maximaal 0,017 μSv per jaar. Voor omwonenden nabij het rangeerterrein bij station Roosendaal kan, als iedere trein met containers met gebruikte splijtstofelementen twee uur zou stilstaan, de jaarlijkse dosis oplopen tot 9,6 μSv .

Het radiologisch risico van reizigers is berekend voor zowel reizigers die op een perron wachten op een trein, terwijl de trein met containers met splijtstofelementen het station passeert, als voor reizigers in een trein die de trein met containers met splijtstofelementen

passert. Indien de reiziger aan alle transporten wordt blootgesteld, bedraagt de maximale dosis $0,57 \mu\text{Sv/jaar}$. Voor het deel van het transport dat over de weg plaatsvindt (van de kernenergiecentrale naar de haven), is berekend dat de meest blootgestelde weggebruiker (waarvan is verondersteld dat deze jaarlijks aan alle wegtransporten wordt blootgesteld) een dosis ontvangt van maximaal $0,88 \mu\text{Sv}$ per jaar.

Op basis van studies in Groot Brittannië en Duitsland is geconcludeerd dat medewerkers van het overslagbedrijf die de containers van de vrachtwagen op de trein plaatsen, een jaarlijkse dosis kunnen ontvangen van ten hoogste $3 \mu\text{Sv}$.

Ongevallen zonder lozing

Het individueel risico van sterfte door een stralingsdosis ontvangen als gevolg van ongevallen tijdens het transport over de weg is veel kleiner dan $10^{-8}/\text{jaar}$.

Het individueel risico van sterfte door een stralingsdosis ontvangen als gevolg van een ongeval tijdens het transport over de rails is berekend voor een werker die na een ongeval 8 uur in de directe nabijheid van de wagons met de containers moet werken om de schade te herstellen en de wagons vervoersgereed te maken. Het individueel risico is hierbij $9,4 \cdot 10^{-12}/\text{jaar}$. Indien eenzelfde beschouwing wordt gemaakt voor een ongeval op een rangeerterrein volgt een individueel risico op sterfte van $2,7 \cdot 10^{-9}/\text{jaar}$. Als de kans op val van een container uit de kraan tijdens overslag in ogenschouw wordt genomen, volgt een individueel risico op sterfte ten gevolge van de radiologische consequenties van het transport van $4,8 \cdot 10^{-10}/\text{jaar}$.

Ongevallen met lozing

Het jaarlijks individueel risico van sterfte voor omwonenden van de spoorlijn, als gevolg van een spoorwegongeval waarbij de container ten gevolge van buiten-ontwerp condities toch faalt en radioactieve stoffen in de omgeving vrijkomen, is maximaal $1,8 \cdot 10^{-12}$. Het individueel risico van sterfte voor omwonenden als gevolg van een dergelijk ongeval op een rangeerterrein is maximaal $1,8 \cdot 10^{-11}/\text{jaar}$. Bij deze ongevalsanalyses is verondersteld dat de container faalt met een kans van 10^{-3} tot 10^{-2} per ongeval afhankelijk van het type ongeval en de mate van falen, ondanks de aan container gestelde eisen (waaronder handhaving van de afscherming en insluiting na een val van 9 meter hoogte op een hard voorwerp bij willekeurige oriëntatie van de container en het bestendig zijn tegen een temperatuur van 800°C gedurende een half uur).

Eindconclusies

Er wordt geconcludeerd dat het radiologisch risico van omwonenden, medewerkers en verkeersdeelnemers bij regulier transport, in termen van ontvangen stralingsdosis, ruim lager

is dan de dosislimieten die in het Besluit Stralingsbescherming, te weten 0,1 mSv voor leden van de bevolking en 20 mSv voor betrokken werknemers, worden gesteld. De maximale waarde van de individuele effectieve dosis voor omwonenden is (met uitzondering van de omwonenden van het rangeerterrein in Roosendaal) zelfs lager dan het zogenoemde secundaire niveau van 0,4 μ Sv per jaar.

Het individueel risico van sterfte door een stralingsdosis ontvangen als gevolg van transportongevallen is minder dan het maximaal toelaatbare risico (10^{-6} per jaar) en zelfs kleiner dan 10^{-8} per jaar, een risico dat in dagelijks spraakgebruik verwaarloosbaar mag worden genoemd.

5.11.2.3 Risico's van het transport van kernsplijtingsafval

Te zijner tijd zal krachtens contracten die door de Nederlandse regering zijn goedgekeurd, het kernsplijtingsafval dat bij Cogema in Frankrijk is opgewerkt, naar Nederland worden teruggezonden. Dit afval zal bij de COVRA te Borssele worden opgeslagen. Ook aan deze transporten zijn in beginsel risico's verbonden. Per afvaltransport worden door het bevoegd gezag minimaal dezelfde eisen gesteld ten aanzien van het externe dosistempo. Uit logistiek oogpunt zijn afval- en splijtstoftransporten vergelijkbaar, maar het aantal afvaltransporten is wezenlijk lager.

Omdat de risico's van het transport van gebruikte splijtstof al verwaarloosbaar genoemd kunnen worden, zijn de risico's van de het transport van het kernsplijtingsafval zeker verwaarloosbaar.

5	Bestaande toestand van het milieu	5.1
5.1	Inleiding	5.1
5.2	Lozingen bij normaal bedrijf.....	5.1
5.3	Situering en grondgebruik.....	5.2
5.4	Veiligheid	5.3
5.4.1	Inleiding	5.3
5.4.2	Beschouwde ongevallen	5.5
5.4.3	Ongevalsanalyses.....	5.6
5.4.3.1	Inleiding	5.6
5.4.3.2	Kerninventaris.....	5.6
5.4.3.3	Thermohydraulische analyses	5.7
5.4.3.4	Radiologische analyses	5.8
5.4.4	Probabilistic Safety Assessment (PSA).....	5.10
5.4.4.1	Inleiding	5.10
5.4.4.2	Werkwijze PSA	5.12
5.4.4.3	Resultaten PSA niveau 3.....	5.12
5.4.5	Onderkriticaliteit in het splijtstofopslagbassin	5.16
5.5	Luchtkwaliteit	5.16
5.5.1	Achtergrondconcentraties radioactieve nucliden en straling.....	5.16
5.5.2	Bijdragen KCB aan de luchtkwaliteit	5.17
5.5.2.1	Lozingen naar de lucht.....	5.17
5.5.2.2	Directe straling vanuit KCB.....	5.18
5.6	Waterkwaliteit (Westerschelde)	5.19
5.6.1	Algemene beschrijving	5.19
5.6.2	Radiologische waterkwaliteit	5.20
5.6.3	Radiologische bijdragen KCB	5.21
5.7	Bodem: depositie van radioactieve stoffen	5.21
5.8	Bijdragen KCB aan de totale stralingsbelasting	5.22
5.8.1	Dosisbijdragen	5.22
5.8.2	Effecten en toetsing aan dosiscriteria	5.24
5.8.3	Collectieve dosis	5.25
5.9	Radioactief afval en (gebruikte) splijtstoffen	5.25
5.10	Verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens	5.27
5.11	Risico's splijtstofcyclus	5.28
5.11.1	Algemeen	5.28
5.11.2	Huidig transport van splijtstofelementen bij KCB	5.29
5.11.2.1	Overzicht van de risico's	5.29
5.11.2.2	Risico's van de afvoer van gebruikte splijtstof.....	5.30
5.11.2.3	Risico's van het transport van kernsplijttingsafval	5.32

6 VERGELIJKING VAN DE MILIEUGEVOLGEN VAN DE VOORGENOMEN ACTIVITEIT EN DE ALTERNATIEVEN

6.1 Inleiding

In hoofdstuk 5 is de bestaande toestand van het milieu beschreven, het zogenaamde nulalternatief, waarbij de voorgestelde wijzigingen niet worden uitgevoerd.

In dit hoofdstuk wordt de toestand van het milieu beschreven voor de situatie waar in de voorgenomen verhoogde verrijking van 4,4% uranium-235 wordt toegepast. Deze situatie wordt de beoogde situatie genoemd.

Evenals in hoofdstuk 5 komen de aspecten, lozingen bij normaal bedrijf, veiligheid bij ongevallen, radioactief afval en het verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens ter sprake. Bovendien zal ingegaan worden op de aanvullende veiligheidsmaatregelen die nodig geacht worden om te zorgen dat de nieuwe splijtstofelementen betrouwbaar en veilig opgeslagen kunnen worden in het splijtstofopslagbassin.

Waar dit relevant is, zal tevens de invloed van de in hoofdstuk 4 beschreven alternatieven, gekenmerkt door verrijkingsgraden van 4,2 en 4,8% uranium-235, worden aangegeven.

6.2 Lozingen en stralingsbelasting bij normaal bedrijf

6.2.1 BELASTING VIA LOZINGEN

De qua radioactiviteit belangrijkste lozing naar de omgevingslucht is de lozing van edelgassen, met name de Xe-isotopen. Zoals blijkt uit tabel 6.4.1 neemt bij overgang van 4,0% naar 4,4% verrijking de activiteit daarvan in de kern af, met gemiddeld ca. 1 %. Als gevolg daarvan zullen de edelgaslozingen in de nieuwe situatie vrijwel ongewijzigd blijven of zelfs iets af nemen.

De productie van tritium en de daaraan gerelateerde lozing naar de lucht en naar de Westerschelde zijn vrijwel evenredig met de gebruikte boorzuurconcentratie in de reactor. Bij toepassing van de verhoogde verrijkingsgraad van 4,4 % neemt de gemiddelde boorzuurconcentratie in geringe mate toe in vergelijking met de concentratie die wordt gebruikt onder de huidige (4,0 % verrijkingsgraad) omstandigheden. Dit resulteert in een toename van de tritiumproductie met circa 1,5 %. Deze toename van de tritiumproductie leidt tot een evenredige verhoging van de tritiumlozingen naar water en lucht. De totale stralingsbelasting

door de KCB (maximale individuele dosis) zal door deze verhoogde tritiumlozingen toenemen met circa 0,25 %. Deze toename is verwaarloosbaar, zeker in vergelijking met de normale variaties van de tritiumlozingen als gevolg van variaties in cycluslengten en kernbeladingen.

De belangrijkste bijdrage tot de totale stralingsdosis buiten het terrein wordt gevormd door de overigens geringe lozing bij ongestoord bedrijf van ^{14}C naar de lucht. Een hogere verrijkingsgraad is hierop niet of nauwelijks van invloed.

6.2.2 DIRECTE EXTERNE STRALING

De externe stralingsbelasting als gevolg van directe straling vanuit de centrale (zie paragraaf 5.5.2.3) kent twee bijdragen van enig belang, te weten:

- gammastraling vanuit het hoofdkoelmiddel, voornamelijk afkomstig van ^{16}N
- gammastraling vanuit het afvalopslaggebouw, afkomstig van geconditioneerd en tijdelijk opgeslagen radioactief afval.

Deze bronnen wijzigen niet ten gevolge van de voorgenomen activiteit.

De overige bijdragen tot de externe stralingsbelasting, waaronder die vanuit de reactorkern en het splijtstofopslagbassin, zijn verwaarloosbaar klein. Een hogere verrijkingsgraad van de splijtstofstaven zal derhalve niet van invloed zijn op de externe stralingsbelasting aan het hek van de centrale.

Er wordt geconcludeerd dat de stralingsbelasting bij normaal bedrijf bij uitvoering van de voorgenomen activiteit of de alternatieven vrijwel ongewijzigd blijft en derhalve aan de daarvoor gehanteerde criteria zowel in Nederland als in België blijft voldoen.

6.3 Aanvullende veiligheidsmaatregelen

6.3.1 ALGEMEEN

De hogere opbrand, die bij de voorgenomen activiteit in de splijtstofstaven optreedt, betekent een hogere belasting van materialen en systemen ten gevolge van warmte, straling en corrosie. Vanaf 2004 worden bij KCB de huidige splijtstofelementen vervangen door een nieuw type (HTP elementen), waarin al materialen zijn toegepast die deze hogere belastingen kunnen weerstaan. De verrijking blijft dan in eerste instantie nog 4,0%.

Ten aanzien van deze mogelijke belastingen is gekeken of een verrijking tot 4,4% realiseerbaar is. Hierbij zijn fictieve beladingsplannen opgesteld voor de eerste 4 jaar na invoering van de hogere verrijking. Met een successieve vervanging van 32 elementen van 4,0% door 32 elementen van 4,4% in het eerste jaar, gevolgd door 3 jaren met een uitwisseling van 28 elementen per jaar, wordt na 4 jaar een evenwichtskern bereikt met alleen splijtstofelementen die een beginverrijking hadden van 4,4%. Onder andere zijn het reactiviteitsgedrag en de vereiste boorzuurconcentraties bezien om te garanderen dat de ontwerpgevallen beheersbaar blijven en de tritiumlozingen niet te zeer oplopen.

Verder geldt dat voor deze vier cycli na de invoering van hogere verrijking aan alle in het "Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele" (EPZ, 1997) genoemde veiligheidscriteria wordt voldaan en dat de reactor tijdens normaal bedrijf en storingen voor deze cycli (dus ook de overgangscycli) veilig kan worden bedreven. Hierbij dient te worden opgemerkt dat na iedere splijtstofwisselperiode, voor het opstarten van de reactor, opnieuw aangetoond wordt dat voldaan wordt aan de veiligheidscriteria en dat de resultaten hiervan aan het toezichthoudende gezag ter beoordeling worden voorgelegd.

6.3.2 ONDERKRITICALITEIT IN HET SPLIJTSTOFOPSLAGBASSIN

In de splijtstofelementen in het splijtstofopslagbassin (SOB) mag onder geen beding een kernsplijtingsproces op gang komen. Daarom dient aangetoond te worden dat zelfs onder verzwarende omstandigheden (zie paragraaf 5.4.5) de onderkriticaliteit van de splijtstofelementen in het bassin is gewaarborgd. De vermenigvuldigingsfactor van de neutronen (K_{eff}) dient daartoe kleiner dan of gelijk aan 0,95 te zijn. Het SOB kan op deze wijze als 'inherent veilig' worden gekwalificeerd.

Bij hogere verrijkingsgraden is bij een gelijke vulling van het opslagbassin met nieuwe splijtstofelementen de aanwezige hoeveelheid splijtbaar materiaal groter dan bij lagere verrijkingsgraden en daardoor kan er in principe eerder een kritische situatie ontstaan. Het voorkomen van kriticaliteit in het splijtstofopslagbassin wordt bij toepassing van een hogere verrijkingsgraad van 4,4% (voorgenomen activiteit) gewaarborgd door het afsluiten van een aantal posities (inclusief een aantal posities in de demontabele stelling) in de opslagrekken, zodat de gemiddelde onderlinge afstand tussen de splijtstofelementen groter wordt dan in de huidige situatie. Hiermee wordt bewerkstelligd dat ook bij toepassing van de hogere verrijkingsgraad de gewenste 'inherent veilige' onderkriticaliteit gewaarborgd blijft. In figuur 4.3.2 is een mogelijke configuratie van afgesloten posities gegeven.

In het geval van de alternatieven geldt voor opslag van elementen met verrijkingsgraden van 4,2% en 4,8% dat daarvoor ook configuraties van afgesloten posities kunnen worden bepaald, waarmee aan de kriticaliteitseis wordt voldaan.

6.3.3 BENODIGDE RUIMTE IN HET SPLIJTSTOFOPSLAGBASSIN

Gedacht zou kunnen worden dat bij toepassing van hogere verrijkingen knelpunten zouden kunnen ontstaan in de opslagcapaciteit van het splijtstofopslagbassin (SOB) doordat elementen met een hogere verrijking langer in het SOB moeten verblijven om te koelen voordat ze getransporteerd kunnen worden en doordat een aantal posities afgesloten wordt om aldus de onderkriticaliteit te allen tijde te waarborgen (zie paragraaf 6.3.2). Dit blijkt niet het geval.

Het benodigde aantal posities in het SOB wordt namelijk bepaald door:

- het aantal elementen in de reactorkern (totaal 121 stuks)
- het aantal te ontladen opgebrande elementen bij een splijtstofwisseling. Het aantal daarvan neemt af bij toepassing van een hogere verrijking
- het aantal opgebrande elementen uit (een) vorige splijtstofwisseling(en). Thans is bij een splijtstofwisseling 50 à 75 procent van de opgebrande elementen uit de vorige splijtstofwisseling nog aanwezig. Bij hogere verrijkingen dan in de bestaande situatie dienen opgebrande elementen langer in het SOB te blijven voordat ze naar de opwerkingsfabriek getransporteerd kunnen worden, zodat daardoor het aantal benodigde posities toeneemt.
- het aantal verse elementen dat geplaatst moeten worden. Bij hogere verrijking zijn minder verse elementen nodig dan bij lagere verrijking
- opslagruimte voor (besmette) constructiematerialen.

Uit globale beschouwingen ten aanzien van de benodigde opslagcapaciteit en de beschikbare capaciteit, inclusief afsluiting van het vereiste aantal posities, blijkt dat dit geen belemmering is om de voorgenomen activiteit of één van de alternatieven binnen de vergunde 500 posities uit te voeren.

6.4 Veiligheid

6.4.1 INLEIDING

Als gevolg van de toepassing van de splijtstof met verhoogde verrijkingsgraad (de voorgenomen activiteit) veranderen met name de neutronen- en warmtehuishouding van de reactorkern. Hierdoor is het mogelijk dat de optredende belastingen van de splijtstofelementen gedurende het verloop van de in paragraaf 5.4 beschouwde ongevallen en de radiologische gevolgen ervan wijzigen. In de volgende paragrafen wordt ten aanzien van de ontwerpongevallen de invloed op de resultaten van de thermohydraulische en radiologische analyses besproken. Ten aanzien van de buiten-ontwerp-ongevallen wordt de invloed op de verschillende niveaus van de PSA behandeld.

De representatieve begingebourtenissen die voor de installatie inclusief de voorgenomen activiteit moeten worden beheerst zijn dezelfde als bij de bestaande situatie. Voor de begingebourtenissen die thermohydraulisch en radiologisch dienen te worden beschouwd, wordt daarom verwezen naar tabel 5.4.1.

6.4.2 ONGEVALSANALYSES

6.4.2.1 Kerninventaris

In de volgende paragrafen wordt de invloed van de verhoogde verrijking en de alternatieven op de kerninventaris en op de thermohydraulische en radiologische ongevalsanalyses van de ontwerpongevallen beschreven.

De kerninventaris met verhoogde beginverrijking verschilt aan het eind van een cyclus, als gevolg van de hogere opbrand per element van de kerninventaris, met de huidige verrijking. De invloed hiervan op de totale radioactiviteit is kort na het afschakelen (0-3 dagen) echter vrijwel verwaarloosbaar. Na langere vervaltijden ontstaan wel activiteitsverschillen omdat de hoeveelheid langlevende nucliden toeneemt met de hogere opbrand die bij de splijtstofelementen met een hogere beginverrijking wordt toegepast. De kerninventarissen bij de beginverrijking van 4,4% (voorgenomen activiteit) en van 4,2% en 4,8% (alternatieven) zijn opgenomen in de bijlagen D tot en met F. Het betreft de kerninventarissen van een evenwichtskern direct na afschakelen met een over de kern gemiddelde opbrand. Hierbij zijn alleen de belangrijkste nucliden weergegeven waarbij geselecteerd is op radioactiviteit, gewicht en halveringstijd.

Deze kerninventarissen geven de hoeveelheden van de verschillende radioactieve stoffen in de kern weer. Deze hoeveelheden worden gebruikt als invoergegevens bij de bepaling van de invloed van ongevallen op het milieu. Dit gebeurt bij de radiologische analyses in paragraaf 6.4.2.3 en bij de PSA in paragraaf 6.4.3.2.

6.4.2.2 Thermohydraulische analyses

De verhoging van de verrijkingsgraad heeft invloed op de volgende parameters van de reactorkern:

- snelheidsparameters van de neutronen (onder andere levensduur van de snelle neutronen, het aandeel van de vertraagde neutronen, de vervalwarmte)
- reactiviteitscoëfficiënten (factoren die de invloed van grootheden als temperatuur en druk op de reactiviteit aangeven)
- werkzaamheid van de regelementen
- parameters van de splijtstofstaven (warmteoverdracht, druk in de splijtstofstaaf, ontwikkeling oxidelaag op de splijtstofomhulling e.d.).

Deze parameters zouden van invloed kunnen zijn op het verloop en de beheersing van de ongevallen. Om deze invloed vast te stellen zijn alle begingebourtenissen uit tabel 5.4.1 opnieuw beschouwd.

De verandering van de parameters van de splijtstofstaven heeft met name invloed op de ontwerpgevallen waarbij koelmiddelverlies optreedt. Voor de bestudering van het verloop van ontwerpgevallen waarbij geen verlies van koelmiddel optreedt, spelen de snelheidsparameters van de neutronen en de reactiviteitscoëfficiënten (met name koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt, splijtstoftemperatuurcoëfficiënt) een belangrijke rol.

Om aan te tonen dat de ontwerpgevallen worden beheerst bij hogere verrijking, is in eerste instantie nagegaan of de verandering van de kernparameters valt binnen de waarden die in de uitgevoerde analyses voor de bestaande situatie gebruikt zijn. Indien dit het geval is, blijven de bestaande analyses en de resultaten geldig. In de gevallen dat de bestaande analyses niet toepasbaar waren, zijn de betreffende ongevallen opnieuw geëvalueerd.

Er is aangetoond dat voor alle te beschouwen ontwerpgevallen de installatie in een veilige toestand kan worden gebracht en gehouden. Voor deze analyses en hun resultaten wordt verwezen naar de “Aanvulling op het Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele” (EPZ, 2004) en voor wat betreft de onderkritikaliteit van het SOB naar paragraaf 5.2.3 van bijlage 1 “Beschrijving van de voorgenomen hogere verrijking naar 4,4% ten behoeve van de aanvraag om een wijzigingsvergunning ingevolge de Kernenergiewet ...”

6.4.2.3 Radiologische analyses

Uit de hiervoor beschreven studies is gebleken dat slechts enkele ontwerpongevallen beïnvloed zouden kunnen worden door het toepassen van een hogere verrijkingsgraad. Deze ontwerpongevallen behoren niet tot de categorie ongevallen die een lozing van radioactiviteit naar de omgeving tot gevolg hebben. Dat betekent dat de ontwerpongevallen waarvan aangenomen is dat ze wel een lozing van radioactieve stoffen tot gevolg hebben in hun verloop niet worden beïnvloed door de toepassing van een hogere verrijkingsgraad en dus nog steeds representatief zijn.

De voorgenomen wijziging van de verrijkingsgraad van 4,0% naar 4,4% en de daarbij behorende verandering van de over de kern gemiddelde opbrand leiden wel tot veranderingen in de radioactiviteit van de verschillende nucliden in de kerninventaris. In tabel 6.4.1 worden de verschillen in de voor de radiologische analyses belangrijke nucliden procentueel uitgedrukt ten opzichte van de radioactiviteit bij de thans toegepaste verrijkingsgraad.

Tabel 6.4.1 Verandering van activiteit voor relevante nucliden bij beginverrijking 4,0% respectievelijk 4,4%

nuclide	verschil ¹⁾ % 4,4%-4,0%	nuclide	verschil ¹⁾ % 4,4%-4,0%	nuclide	verschil ¹⁾ % 4,4%-4,0%
Np-239	-3,5%	Sr-93	-1,0%	I-134	-1,0%
Pu-239	-0,2%	Y-91	-0,6%	I-135	-1,2%
Pu-241	+5,4%	Zr-95	-0,9%	Xe-133	-1,1%
Cm-242	+15,8%	Nb-95	-0,8%	Xe-135	+1,0%
Kr-85m	-0,8%	Ru-106	+3,2%	Xe-135m	-1,1%
Kr-87	-0,8%	Sb-131	-1,0%	Xe-138	-1,4%
Kr-88	-0,9%	Te-132	-1,6%	Cs-134	+15,5%
Rb-88	-0,6%	Te-133	-1,3%	Cs-137	+11,6%
Rb-89	-0,8%	Te-133m	-0,9%	Cs-138	-0,9%
Sr-89	-0,8%	Te-134	-1,5%	Ba-140	-1,3%
Sr-90	+12,3%	I-131	-0,8%	Ce-144	+1,7%
Sr-91	-0,6%	I-132	-1,1%		
Sr-92	-1,2%	I-133	-1,1%		

¹⁾ (nieuwe activiteit - bestaande activiteit)/bestaande activiteit

Uit de tabel is af te lezen dat voor de meeste nucliden de radioactiviteit met enkele procenten is afgenomen. Uitzondering hierop vormen onder andere de nucliden Cm-242, Sr-90, Cs-134, Cs-137, Pu-241, Ru-106 (zie tabel)

De veranderingen leiden ertoe dat ook de lozingen naar de omgeving als gevolg van de beschouwde ontwerpgegevens zullen wijzigen. In tabel 6.4.2 is aangegeven hoe dit uitwerkt in de dosiswaarden uit tabel 5.4.4.

Tabel 6.4.2 Berekende relatieve verschillen in effectieve en schildklierdosis bij verrijkingsgraden 4,0% (bestaand) en 4,4% (voorgenomen)

veronderstelde begoingbeurtenis	verschil ¹⁾ in effectieve dosis %	verschil ¹⁾ in schildklierdosis %
1.5.1	-0,3%	-0,8%
7.1.2/7.2.2 niet apart berekend; vergelijkbaar met 7.2.3		
7.2.3	+0,1%	-0,6%
7.3.2.2	-0,8%	-0,8%
7.4.2	-0,8%	-0,8%
8.2	-0,6%	-0,6%
8.4.1	-1,1%	-1,0%
9.1.2	+0,0%	-0,1%

¹⁾ (nieuwe dosis - bestaande dosis)/bestaande dosis

In de tabel is duidelijk te zien dat de wijzigingen in de radioactiviteit van de radionucliden marginaal doorwerken in de dosiswaarden van de beschouwde ongevallen. Bovengenoemde relevante nucliden die significant verhoogd zijn, hebben geen groot aandeel in de doses van de ontwerpgevallen. Derhalve is de doorwerking in de eindwaarden van de dosis gering. De dosiswaarden van alle beschouwde ongevallen wijzigen enkele tienden van procenten.

In de tabellen 6.4.3 en 6.4.4 zijn de resultaten weergegeven voor soortgelijke berekeningen uitgevoerd voor de alternatieven 4,2% en 4,8%.

Tabel 6.4.3 Berekende relatieve verschillen in effectieve en schildklierdosis bij verrijkingsgraden 4,0% (bestaand) en 4,2% (alternatief 4,2%)

veronderstelde begoeding	verschil ¹⁾ in effectieve dosis %	verschil ¹⁾ in schildklier dosis %
1.5.1	-0,2%	0,0%
7.1.2/7.2.2 niet apart berekend; vergelijkbaar met 7.2.3		
7.2.3	+0,6%	-1,0%
7.3.2.2	-1,7%	-1,6%
7.4.2	-3,0%	-2,0%
8.2	-3,2%	-3,2%
8.4.1	-1,5%	-1,5%
9.1.2	0,0%	-0,2%

¹⁾ (nieuwe dosis - bestaande dosis)/bestaande dosis

Tabel 6.4.4 Berekende relatieve verschillen in effectieve en schildklierdosis bij verrijkingsgraden 4,0% (bestaand) en 4,8% (alternatief 4,8%)

veronderstelde begoeding	verschil ¹⁾ in effectieve dosis %	verschil ¹⁾ in schildklier dosis %
1.5.1	+0,2%	-1,5%
7.1.2/7.2.2 niet apart berekend; vergelijkbaar met 7.2.3		
7.2.3	+0,2%	0,0%
7.3.2.2	-0,1%	0,0%
7.4.2	-0,3%	-0,2%
8.2	-0,3%	-0,3%
8.4.1	-0,4%	-0,2%
9.1.2	0,0%	0,0%

¹⁾ (nieuwe dosis - bestaande dosis)/bestaande dosis

De algemene conclusie uit de tabellen 6.4.2 tot en met 6.4.4 is dat de meest kritische dosis bij de ontwerpongevallen met toenemende verrijking ongeveer gelijk blijft (begingebourtenis 7.2.3). Bij alle beschouwde situaties wordt, evenals reeds in de bestaande situatie, in ruime mate voldaan aan de geldende dosiscriteria.

6.4.3 PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT (PSA)

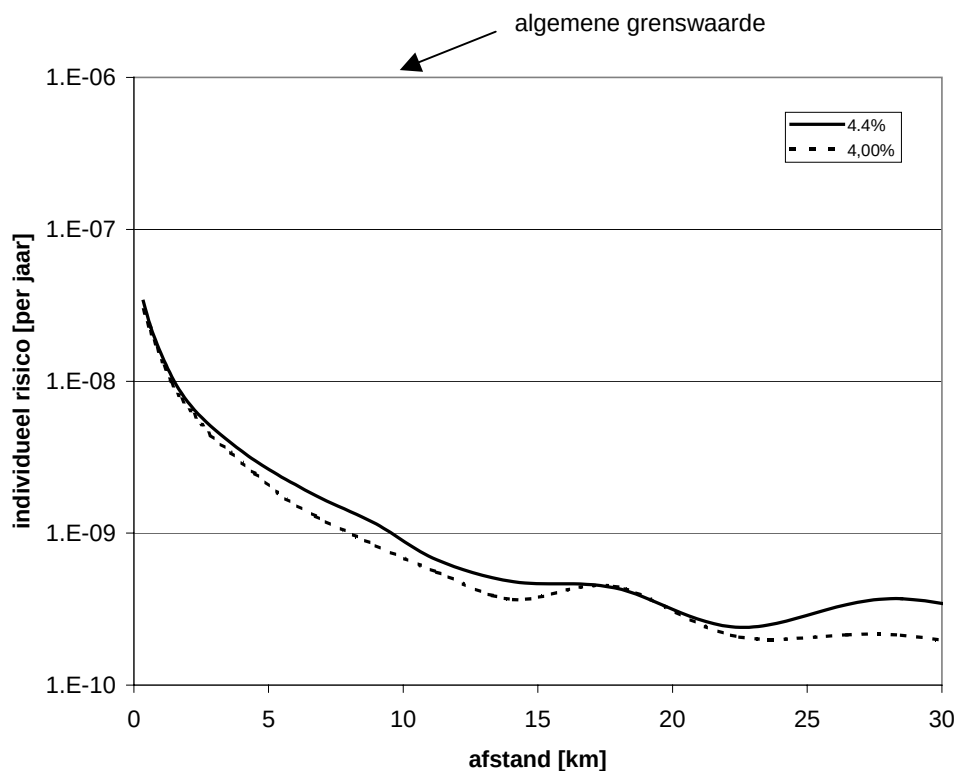
6.4.3.1 Inleiding

De voor de kernenergiecentrale Borssele uitgevoerde veiligheidsanalyses zoals beschreven in paragraaf 5.4.4, hadden tot doel de bestaande situatie te toetsen aan de geldende risicocriteria. Door de invloed van de voorgenomen activiteit op de PSA aan te geven, wordt in dit hoofdstuk bepaald wat de invloed van de voorgenomen activiteit op de veiligheid bij zeer ernstige ongevallen is. Er wordt volstaan met een bespreking van de verschillen van de resultaten ten opzichte van de bestaande situatie waarbij, zoals is aangegeven in hoofdstuk 5.4.4, deze vergelijking beperkt kan blijven tot de niveau 3 resultaten.

6.4.3.2 Resultaten

Als gevolg van de wijziging in kernsamenstelling zullen de lozingen in alle brontermgroepen qua radioactiviteit enigszins veranderen.

In de figuur 6.4.1 is het totale individuele risico als functie van de afstand aangegeven voor de beoogde situatie. Uit vergelijking van deze figuur met figuur 5.4.2 is geen verschil af te lezen. Voor de beschouwde minimale afstand van 350 m is dit enkele procenten hoger dan de overeenkomstige waarde voor de situatie met de beginverrijking van 4,0%. De gewijzigde kerninventaris als gevolg van de hogere verrijking en hogere opbrand is daar debet aan. Ook de alternatieven met 4,2% en 4,8% verrijking vertonen een vergelijkbare toename van het individueel risico in relatie tot hun verrijkingsgraad. De kwantitatieve vergelijking staat in hoofdstuk 7.



Figuur 6.4.1 Totaal maximaal individueel risico per jaar in de huidige situatie bij de voorgenomen activiteit (geen tegenmaatregelen, zoals evacuatie en jodiumverstrekking) als functie van de afstand

Het groepsrisico is niet significant veranderd ten opzichte van de bestaande situatie en ligt zeer ruim onder het maximaal toelaatbare risico.

Het gestelde ten aanzien van individueel en groepsrisico binnen Nederland bij uitvoering van de voorgenomen activiteit of de alternatieven geldt ook voor het grondgebied van België.

6.5 Radioactief afval en gebruikte splijtstofelementen

De voornaamste wijziging ten aanzien van radioactief afval treedt op bij de gebruikte splijtstofelementen. In tabel 6.5.1 is voor de beschouwde verrijkingsgraden het aantal jaarlijks definitief te ontladen splijtstofelementen en de gemiddelde opbrand van deze elementen gegeven. In de tabel is aangegeven dat de hoeveelheid te ontladen elementen afneemt met

toenemende verrijkingsgraad en dat de opbrand toeneemt. Dit laatste is een gevolg van het feit dat dezelfde hoeveelheid energie met minder elementen opgewekt wordt. Voor de nuclideninventaris van de splijtstofelementen heeft de hogere opbrand tot gevolg dat de langlevende nucliden in iets grotere hoeveelheden aanwezig zijn. De hogere opbrand heeft weinig invloed op de hoeveelheid van de kortlevende nucliden.

De trend dat de totale radioactiviteit in de jaarlijks ontladen splijtstofelementen iets verder afneemt bij toename van de verrijkingsgraad, zoals ook bij de vorige verrijkingsschap bleek [EPZ, 1996] zet zich hier verder door. De transportrisico's ten gevolge van straling blijven per transport praktisch ongewijzigd.

Tabel 6.5.1 Aantal definitief uit de kern te ontladen gebruikte splijtstofelementen per jaar en hun gemiddelde opbrand afhankelijk van de initiële verrijkingsgraad

Initiële verrijkingsgraad (% U-235)	Aantal ontladen splijtstofelementen (gemiddeld per jaar)	Gemiddelde opbrand (MWd/kgU)
4,0 (referentiewaarden)	32	48
4,2	30	52
4,4	28	55
4,8	24	64

De vermindering van het jaarlijks aantal te ontladen splijtstofelementen heeft ook tot gevolg dat jaarlijks minder splijtstofelementen hoeven te worden getransporteerd naar de opwerkingsfabriek. Hierdoor zal het aantal transportbewegingen evenredig verminderen, met als gevolg een verlaging van de - overigens zeer kleine - transportrisico's. Voor het transport van de gebruikte splijtstofelementen van de kernenergiecentrale Borssele naar de opwerkingsfabriek wordt jaarlijks door de transporteur een vergunning aangevraagd ingevolge het Besluit vervoer splijtstoffen, ertsen en radioactieve stoffen. Bij deze aanvraag dient bij de voorgenomen activiteit rekening gehouden te worden met de gewijzigde gegevens van de bestraalde splijtstof.

De jaarlijkse hoeveelheden kernsplijtingsafval die, afhankelijk van de verschillende verrijkingsgraden, na opwerking van de splijtstof overblijven zijn gegeven in tabel 6.5.2. Hierbij

zijn de hoeveelheden als relatieve waarden gegeven ten opzichte van de hoeveelheden kernsplijtingsafval die bij de huidige verrijkingsgraad van 4,0% worden geproduceerd.

Tabel 6.5.2 Jaarlijkse relatieve hoeveelheid radioactiviteit (Bq) kernsplijtingsafval ten opzichte van de hoeveelheden bij de huidige verrijking van 4,0% (voor de absolute hoeveelheden zie tabel 5.9.2)

Afvalcategorie	Initiële verrijking (% uranium-235)			
	4,0	4,2	4,4	4,8
Kernsplijtingsafval	1	1	1	1
Overig opwerkingsafval	1	0,94	0,88	0,75

Zoals aangegeven in tabel 6.5.2 is de hoeveelheid splijtingsproducten in het kernsplijtingsafval onafhankelijk van de verrijkingsgraad. Dit is een gevolg van het feit dat de hoeveelheid splijtingsproducten evenredig is met de geproduceerde energie. Aangezien de jaarlijks geproduceerde energie gelijk blijft bij toepassing van de voorgenomen activiteit (of de alternatieven), blijft de hoeveelheid jaarlijks af te voeren splijtingsproducten eveneens gelijk. Alleen door de langere verblijftijd in het opslagbassin zal deze activiteit bij elementen met een hogere beginverrijking afnemen. De hoeveelheid overig afval is recht evenredig met het aantal afgevoerde splijstofelementen en neemt dus af met toenemende verrijking.

Een belangrijk deel van de stoffen die zich in de ontladen splijstofelementen bevinden wordt gevormd door plutonium. Dit plutonium komt door de opwerking van splijstof beschikbaar voor hergebruik, waarbij het als plutoniumoxide (PuO_2) wordt vermengd met verarmd uraniumoxide (UO_2). Dit mengsel wordt als Mixed Oxide (MOX) splijstof opnieuw in kerncentrales gebruikt voor de energieproductie. In tabel 6.5.3 zijn de hoeveelheden gegeven van de verschillende plutonium isotopen zoals die zich gemiddeld in de jaarlijks ontladen splijstofelementen bij afvoer bevinden als functie van de verschillende beginverrijkingen van de splijstof.

Tabel 6.5.3 Jaargemiddelde hoeveelheden plutonium in de te ontladen splijtstofelementen bij afvoer als functie van de beginverrijking

beginverrijking	hoeveelheid per plutoniumisotoop (kg/jaar)					
	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Totaal
4,0%	3,8	53,7	25,0	13,3	6,6	102,4
4,2%	4,1	50,1	23,7	12,7	6,7	97,3
4,4%	4,4	46,9	22,3	12,1	6,7	92,4
4,8%	5,1	40,3	19,5	10,8	6,8	82,5

De totale jaarlijks geproduceerde hoeveelheid plutonium neemt ten gevolge van de voorgenomen activiteit gemiddeld af van 102 tot 92 kg.

Met betrekking tot de overige stappen (het voortraject tot fabricage) in de splijtstofcyclus, zoals deze in 4.2.2 is omschreven, geldt dat een hogere verrijkingsgraad nauwelijks invloed heeft op de daaruit voortkomende afvalstromen. Ook hier geldt dat de hoeveelheid U-235 bepalend is en deze blijft gelijk voor het te produceren van dezelfde hoeveelheid energie.

Tenslotte zij nog vermeld dat de voorgenomen verhoging van de verrijking geen invloed zal hebben op het ontmantelen (afbreken) van de centrale. De constructieve aanpassingen in het opslagbassin hebben een te verwaarlozen invloed op de bij het ontmantelen te verwerken radioactieve materialen.

6.6 Verandering transportrisico's door het voornemen

6.6.1 OVERZICHT VAN DE RISICO'S

Door de toepassing van een hogere verrijkingsgraad zouden de transportrisico's beïnvloed kunnen worden. In paragraaf 5.11 is reeds aangetoond dat de aanvoer van verse splijtstof niet relevant is omdat de splijtstof dan nog nauwelijks radioactief is. Het belangrijkste transportrisico bij hogere verrijking is ook dan verbonden met de af te voeren splijtstof.

6.6.2 RISICO'S VAN DE AFVOER VAN GEBRUIKTE SPLIJTSTOFELEMENTEN

Deze risico's kunnen bij gelijkblijvende elektriciteitsproductie (dus per MW_e.jaar) beïnvloed worden door:

- het aantal transporten
- de radioactiviteit van de lading per transport

Zoals uit tabel 4.3.1 blijkt zal het aantal elementen verminderen van 32 naar 28 per jaar. Het aantal transporten zal daarom op termijn met circa 12% verminderen.

De invloed op de radioactiviteit per lading wordt gecompliceerd doordat niet alleen de activiteit van de ontladen elementen wijzigt, maar ook de vereiste tussenopslagtermijn bij de KCB ten gevolge van de warmte-ontwikkeling. Onderstaande tabel geeft de eisen van de fabrikant van de splijfstofcontainer voor de afkoeltijd in dagen als functie van de element-gemiddelde opbrand.

Tabel 6.6.1 Vereiste minimale opslagduur (dagen) in het splijfstofopslagbassin als functie van de elementgemiddelde opbrand.

opbrand (MWd/kg U)	< 35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60
afkoeltijd (dagen)	270	330	390	450	500	550

Omdat de elementgemiddelde opbrand zal toenemen van thans 45 (zie figuur 2.2.1) naar mogelijk boven de 60 neemt de opslagduur evenredig toe; daarmee wordt de warmtebelasting van de container bij belading vrijwel gelijk gehouden.

Uit vergelijking van bijlage C en D bij een vervaltijd van 500 dagen blijkt dat de activiteit toeneemt met 4%; een toename die gelet op het feit dat nog verder verval optreedt gedurende de langere opslagperiode een nog minder effect op het risico zal hebben.

Tot slot, het aantal transporten vermindert met 12%, het risico evenredig. Deze risico-vermindering geldt zowel voor reguliere transporten als voor mogelijke ongevallen tijdens de transporten. De grootte van de risico's is als verwaarloosbaar te kwalificeren.

6.6.3 RISICO'S VAN HET OPGEWERKTE KERNSPLIJTINGSAFVAL

In paragraaf 5.11.2.3 is al aangetoond dat de risico's van het retourtransport van de opgewerkte splijfstof kleiner zijn dan de risico's van het transport van de gebruikte splijstofelementen. Dit geldt ook bij hogere verrijking.

6.7 Verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens

Volgens de voorgenomen activiteit zal de verrijkingsgraad van het isotoop uranium-235 in nieuwe splijtstofelementen verhoogd worden van 4,0% naar 4,4%. De gevolgen daarvan voor de samenstelling van de splijtstof na gebruik in de reactorkern en bij de opslag in het opslagbassin zijn beschreven in paragraaf 6.4.3.

Uit tabel 6.5.3 blijkt dat in de nieuwe situatie met 4,4% verrijkt uranium-235 de hoeveelheid splijtbaar plutonium-239, die jaarlijks met de splijtstofelementen wordt ontladen, afneemt met 12%. Voor een verrijking van 4,2 of 4,8% geldt een gelijksoortige trend. Het percentage Pu-240, dat voor gebruik in kernwapens maximaal 7% mag bedragen, neemt iets af in de beoogde situatie, maar blijft nog dusdanig hoog (22,3%), dat de kwaliteit van het plutonium nog steeds ongeschikt is voor de vervaardiging van kernwapens. Overigens blijft, ook in de nieuwe situatie, het plutonium van EPZ ongewijzigd onder controle en toezicht van de Euratom veiligheidsinspectie..

De effecten van de voorgenomen activiteit en de alternatieven zijn uit het oogpunt van het verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens dus weliswaar positief, maar niet van werkelijk belang (zie paragraaf 5.10). De regelmatig bij KCB en bij de opwerkingsfabriek uitgevoerde inspecties door Euratom en de IAEA in verband met dit verdrag zullen dan ook niet beïnvloed worden door de voorgenomen wijziging of door één van de alternatieven.

6.8 Toetsing aan beschermingsbepalingen Westerschelde

6.8.1 STRUCTUURSCHEMA GROENE RUIMTE (SGR)

Centraal in het SGR staat de basisbescherming van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS). Deze basisbescherming richt zich op het handhaven van bestaande kenmerken als bodemopbouw, -structuur en -reliëf, waterhuishouding, natuurlijke processen, sedimentatie- en erosieprocessen, landschapsstructuur en de ontsluiting en rust. Ook de kwaliteit van bodem, water en lucht moet gehandhaafd worden. In met name bijlage B is aangetoond dat noch in de bestaande situatie, noch in relatie tot de voorgenomen hogere verrijking sprake is van een wezenlijke radiologische aantasting van de bestaande kenmerken en waarden van de Westerschelde.

6.8.2 VOGEL- EN HABITAT-RICHTLIJN

Grote delen van de Westerschelde zijn door de Nederlandse overheid aangewezen als speciale beschermingszone (SBZ) in het kader van de Europese Habitatrichtlijn en de Vogelrichtlijn. Toepassing van het afwegingskader houdt in dat voor de besluitvorming over nieuwe activiteiten die significante gevolgen kunnen hebben voor te beschermen flora en fauna, een passende beoordeling plaats vindt. Er kan slechts toestemming worden gegeven indien zekerheid is verkregen dat de natuurlijke kenmerken van het gebied niet worden aangetast. Alleen bij een dringende maatschappelijke noodzaak en bij afwezigheid van alternatieven, mag aantasting van de natuurlijke kenmerken plaatsvinden, waarbij alle nodige compenserende maatregelen dienen te worden genomen. Samengevat komen de richtlijnbeoordelingen dus neer op bescherming van de leefgebieden van vogels en bepaalde aangewezen faunasoorten, alsmede van gebieden met bijzondere types natuurlijke habitats.

Gezien het feit dat de voorgenomen hogere verrijking geen wijziging van de bestaande milieusituatie met zich meebrengt, kan de conclusie geen andere zijn dan dat het voornemen geen significant effect heeft voor vogels, zeehonden en andere faunasoorten, alsmede voor de habitattypes waarvoor de Westerschelde als SBZ is aangewezen.

6	Vergelijking van de milieugevolgen van de voorgenomen activiteit en de alternatieven	6.1
6.1	Inleiding	6.1
6.2	Lozingen en stralingsbelasting bij normaal bedrijf	6.1
6.2.1	Belasting via lozingen	6.1
6.2.2	Directe externe straling	6.2
6.3	Aanvullende veiligheidsmaatregelen	6.2
6.3.1	Algemeen	6.2
6.3.2	Onderkriticaliteit in het splijtstofopslagbassin	6.3
6.3.3	Benodigde ruimte in het splijtstofopslagbassin	6.4
6.4	Veiligheid	6.5
6.4.1	Inleiding	6.5
6.4.2	Ongevalsanalyses	6.5
6.4.2.1	Kerninventaris	6.5
6.4.2.2	Thermohydraulische analyses	6.6
6.4.2.3	Radiologische analyses	6.7
6.4.3	Probabilistic safety assessment (PSA)	6.11
6.4.3.1	Inleiding	6.11
6.4.3.2	Resultaten	6.11
6.5	Radioactief afval en gebruikte splijtstofelementen	6.12
6.6	Verandering transportrisico's door het voornemen	6.15
6.6.1	Overzicht van de risico's	6.15
6.6.2	Risico's van de afvoer van gebruikte splijtstofelementen	6.16
6.6.3	Risico's van het opgewerkte kernsplijttingsafval	6.16
6.7	Verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens	6.17
6.8	Toetsing aan beschermingsbepalingen Westerschelde	6.17
6.8.1	Structuurschema Groene Ruimte (SGR)	6.17
6.8.2	Vogel- en Habitat-richtlijn	6.18

7 VERGELIJKING VAN DE MILIEUGEVOLGEN VAN DE BEOOGDE SITUATIE EN DE ALTERNATIEVEN

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de milieu-effecten van de voorgenomen activiteit en de alternatieven vergeleken met de bestaande situatie. Daarbij worden alleen de milieu-effecten behandeld die door de voorgenomen activiteit of de alternatieven worden beïnvloed. Dit is zoals al eerder gesteld bijvoorbeeld niet het geval voor alle milieu-effecten die samenhangen met de niet-nucleaire aspecten van de KCB, zoals thermische en chemische lozingen, geluid en landschap.

De proliferatie-aspecten zijn bij de bedrijfsvoering van de KCB van ondergeschikt belang en worden door het voornemen niet wezenlijk beïnvloed. Om die reden worden deze aspecten in dit hoofdstuk ook niet behandeld.

Wellicht ten overvloede wordt herhaald dat in dit MER onder de bestaande situatie wordt verstaan de situatie, die sinds 1997 in fasen is gerealiseerd. Dit omvat de invoering van voorgestelde veiligheidsverhogende maatregelen en het gebruik van splijtstof met een verrijkingsgraad van 4,0%. De bestaande situatie is tevens het nulalternatief.

Onder de beoogde situatie wordt verstaan de situatie inclusief de voorgenomen activiteit, te weten maximaal 4,4% beginverrijking van nieuwe splijtstof.

De alternatieven met 4,2% en 4,8% beginverrijking verschillen slechts qua beginverrijking van de beoogde situatie (beginverrijking 4,4%).

Ter wille van het overzicht zal de vergelijking in twee stappen gemaakt worden. In paragraaf 7.2 worden de bestaande situatie en de beoogde situatie behandeld. In paragraaf 7.3 worden de alternatieven vooral met de voorgenomen activiteit vergeleken.

7.2 Vergelijking van de bestaande situatie met de beoogde situatie

In tabel 7.2.1 is een overzicht gegeven van de milieu-effecten van de beide situaties die in deze paragraaf met elkaar vergeleken worden. Ter toelichting op de tabel dient het volgende.

De lozingen bij normaal bedrijf naar lucht en water wijzigen nauwelijks bij de hogere verrijking en dus de stralingsbelasting bij normaal bedrijf evenmin. De belasting ten gevolge van directe straling uit de KCB en de collectieve dosis veranderen ook niet.

De ontwerpongevallen worden in de beoogde situatie even goed beheerst als in de bestaande situatie. De hoogste dosis in verhouding tot het daarvoor geldende criterium blijft gelijk.

De kans op kernsmelting bij buiten-ontwerpongevallen blijft ongewijzigd. Het maximale individuele risico bij deze zeer ernstige ongevallen stijgt met ca 3%. Het groepsrisico blijft niet relevant, omdat de kans dat 10 directe dodelijke slachtoffers vallen lager is dan 10^{-10} per jaar.

Tabel 7.2.1 Vergelijking van de beoogde situatie met de bestaande situatie

milieu-effect c.q. bedrijfsaspect	situatie	
	bestaand	beoogd t.o.v. bestaand (%) ¹⁾
toename stralingsbelasting bij normaal bedrijf (per jaar): - maximale individuele dosis bij gemiddelde lozing - maximale individuele dosis bij maximale lozing - directe straling - collectieve dosis (mensSv)	10. 10^{-6} mSv 21. 10^{-6} mSv 100. 10^{-6} mSv 1,3. 10^{-3}	ca. 0% ca. 0% ca. 0% ca. 0%
ontwerpongevallen: - meest kritische dosis ²⁾ (H_{eff})	1 mSv	ca. 0%
buiten-ontwerpongevallen - kans op kernsmelten (per jaar) - individueel risico (per jaar) - groepsrisico	4,3. 10^{-6} 3,4. 10^{-8} niet relevant	ca. 0% +3% niet relevant
- aantal opgebrande splijtstofelementen per jaar - activiteit hoogradioactief afval (PBq per jaar na 500 dagen) - hoeveelheid plutonium (kg/jaar)	32 ³⁾ 774 102	-12,5% -10% -10%

¹⁾ (beoogd-bestaand)/bestaand (%)

²⁾ de dosis, die in verhouding tot het daarvoor geldende criterium de hoogste is (zie tabellen 5.4.4 en 6.4.2)

³⁾ gemiddelde waarde. De jaarlijkse inzet van nieuwe splijtstofelementen wordt ieder jaar opnieuw geanalyseerd en voorgelegd aan de overheid (KFD)

Ten aanzien van het radioactief afval wordt het gemiddelde aantal opgebrande splijtstofelementen door de hogere verrijking verminderd van 32 naar 28 stuks, hetgeen leidt tot een vermindering van de jaarlijkse hoeveelheid hoog-radioactief afval met 8%. De jaarlijks gevormde totale hoeveelheid plutonium neemt af van 102 tot 92 kg (circa 10%). Op de totale hoeveelheid laag- en middel-radioactief afval is er geen invloed.

De gemiddelde opbrand van de groep definitief ontladen elementen stijgt van circa 48 naar circa 55 MWd/kgU. Met deze toename blijft de opbrand binnen de grenzen van de bewezen "stand der techniek".

Door de voorgenomen activiteit zal de beschikbare ruimte in het splijtstofopslagbassin teruglopen. Dit is het gevolg van enerzijds de noodzaak om een aantal plaatsen af te sluiten om te allen tijde te voorkomen dat de elementen in het splijtstofopslagbassin een kernsplijtingsreactie op gang zouden kunnen brengen en anderzijds van de noodzaak elementen met een hogere opbrand langer te bewaren in afwachting van transport naar de opwerkingsfabriek. De resterende ruimte blijft echter voldoende om alle nieuwe en gebruikte elementen te bergen.

De belangrijkste milieueffecten van een kernenergiecentrale zijn de veiligheid en het radioactief afval. Er wordt geconcludeerd dat de veiligheid bij de ontwerp-ongevallen door de voorgenomen activiteit licht positief beïnvloed wordt. Het maximale individuele risico ten gevolge van buiten-ontwerp-ongevallen stijgt met 3 procent. Dit risico is echter nog steeds een factor 30 lager dan het maximaal toelaatbare risico ($10^{-6}/a$).

De hoeveelheid hoog-radioactief afval vermindert substantieel. De voorgenomen activiteit beïnvloedt de verdere verwerking van het afval niet. De afname van de jaarlijkse geproduceerde hoeveelheid plutonium is ook een milieuvoordeel van de voorgenomen activiteit. Van de overige stadia van de splijtstofcyclus is de invloed van veranderingen in deze stadia ten behoeve van de realisatie van de hogere verrijkingsgraad, op het risico marginaal.

7.3 Vergelijking van de beoogde situatie met de alternatieven

In deze paragraaf worden de alternatieven vergeleken met de beoogde situatie. Het alternatief met de minste milieueffecten is het meest milieuvriendelijke alternatief. Van de in tabel 7.2.1 aangegeven aspecten wijzigen alleen de effecten van de buiten-ontwerp-ongevallen en de hoeveelheid afval. De verschillen zijn weergegeven in tabel 7.3.1

Tabel 7.3.1 Vergelijking van de beoogde situatie (4,4% beginverrijking) en de alternatieven (4,2 respectievelijk 4,8% beginverrijking). De procentuele verschillen zijn ten opzichte van de bestaande situatie

milieu-effect c.q. bedrijfsaspect	situatie		
	alternatief 4,2%	beoogd 4,4%	alternatief 4,8%
buiten-ontwerpongevallen			
- kans op kernsmelten	0%	0%	0%
- individueel risico	+2%	+3%	+8%
- groepsrisico	n.r. ¹⁾	n.r. ¹⁾	n.r. ¹⁾
- aantal opgebrande splijtstofelementen per jaar	-6,7%	-12,5%	-25%
- activiteit hoogradioactief afval (PBq na 500 dagen)	-4%	-10%	-23%
- hoeveelheid plutonium (kg/jaar)	-5%	-10%	-20%

¹⁾ het groepsrisico is *niet relevant* (n.r.) omdat de kans op 10 of meer directe dodelijke slachtoffers kleiner is dan 10^{-10} per jaar

Ten aanzien van de alternatieven wordt dan ook het volgende geconcludeerd:

- de meest kritische dosis bij de ontwerpongevallen, dat wil zeggen de dosis die het dichtst bij de dosislimiet ligt, blijft met toenemende verrijking gelijk
- de kans op kernsmelten is onafhankelijk van de verrijkingsgraad. Het individueel risico neemt marginaal toe met toenemende verrijking. De risico's blijven in alle situaties circa een factor 30 onder het maximaal toelaatbare risico liggen. Het groepsrisico blijkt in alle gevallen niet relevant
- het aantal opgebrande splijtstofelementen per jaar neemt met toenemende verrijking af. Dit geldt ook voor de totale activiteit (in Bq) verbonden met de opgebrande splijtstofelementen, de hoeveelheid hoog-radioactief afval en de jaarlijkse geproduceerde hoeveelheid plutonium.

De gemiddelde opbrand van de groep definitief ontladen splijtstofelementen is 52 (bij 4,2% verrijking) en 64 MWd/kgU (bij 4,8% verrijking). Zoals al in paragraaf 7.2 is gesteld, kunnen gemiddelde ontladingsopbrandwaarden tot 55 MWd/kgU (overeenkomend met maximaal 70 MWd/kgU staafgemiddelde opbrand) beschouwd worden als "stand der techniek". Dit is echter niet het geval voor opbrandwaarden boven 60 MWd/kgU. Met dergelijke hoge waarden is tot nu toe naar de mening van EPZ onvoldoende ervaring opgedaan om met zeer grote zekerheid te kunnen stellen dat alle ontwerpongevallen beheerst worden. Het alternatief van 4,8% verrijking is derhalve strijdig met het EPZ-uitgangspunt dat de wijzigingen geen experimenteel karakter zouden mogen hebben. Er wordt daarom gesteld dat dit aspect tot gevolg heeft dat het alternatief 4,8% beginverrijking met de thans beschikbare kennis voor EPZ op dit moment niet aanvaardbaar is.

De beschikbare reserveruimte in het splijtstofopslagbassin zal bij de voorgenomen activiteit en de alternatieven met hogere verrijking enigszins teruglopen ten opzichte van de bestaande situatie. Een hogere verrijking betekent namelijk dat, om de onderkriticaliteit van het SOB te waarborgen, meer opslagposities in het SOB ontoegankelijk gemaakt moeten worden. Echter in alle situaties resteert voldoende ruimte.

Het meest milieuvriendelijke alternatief is het alternatief met de minste milieubelasting. Uit tabel 7.3.1 blijkt dat met toenemende verrijking de hoeveelheden opgebrande splijtstofelementen en plutonium substantieel afnemen. Dit zal indirect ook leiden tot een verlaging van de stralingsbelasting die een gevolg is van het transport naar de opwerkingsfabriek, de opwerking en daarna volgende transporten naar COVRA en definitieve opslag. Volgens het ALARA-principe (zie hoofdstuk 3) dient er gestreefd te worden naar een (potentiële) stralingsbelasting die zo laag is als redelijkerwijs mogelijk, waarbij zo mogelijk ook effecten op de langere termijn en buiten onze landsgrenzen in de beschouwing betrokken moeten worden (integrale milieubelasting). Het voornemen past derhalve binnen het ALARA-beginsel. Overwegende dat de risico's ruim blijven voldoen aan de daarvoor geldende criteria, kan gesteld worden dat de integrale milieubelasting afneemt met toenemende verrijking. Zoals ook uit figuur 2.2.2 blijkt, bestaat op dit ogenblik onvoldoende ervaring met verrijking boven 4,4% en de daarmee gepaard gaande hoge opbrandwaarden. Derhalve valt het alternatief 4,8% verrijking af als meest milieuvriendelijke alternatief en wordt de voorgenomen activiteit tevens als het meest milieuvriendelijke alternatief beschouwd.

7.4 Conclusies

Op basis van de voorgaande hoofdstukken wordt geconcludeerd dat:

1. de voorgenomen activiteit de veiligheid op sommige punten niet en op andere punten licht negatief beïnvloedt. De KCB blijft echter ruim tot zeer ruim aan alle veiligheidscriteria voldoen.
2. de voorgenomen activiteit de hoeveelheid hoogradioactief afval met circa 12% zal doen verminderen en ook de totale activiteit van dit afval met circa 10% zal afnemen
3. dankzij de voorgenomen activiteit de jaarlijks geproduceerde hoeveelheid plutonium met circa 10% daalt
4. het alternatief 4,8% verrijking op de belangrijkste milieuaspecten nog beter scoort dan de voorgenomen activiteit, maar niet realistisch is omdat er op dit ogenblik onvoldoende ervaring is met verrijking boven 4,4% en de daarmee gepaard gaande hoge waarden voor de opbrand.
5. het alternatief 4,2% verrijking op de belangrijkste milieuaspecten minder scoort dan de voorgenomen activiteit.
6. de voorgenomen activiteit als meest milieuvriendelijke alternatief beschouwd kan worden.

De leemten in kennis (zie hoofdstuk 8) blijken niet zodanig dat deze conclusies daardoor beïnvloed worden.

Mede op grond van de voorgaande conclusies vraagt EPZ vergunning aan voor de voorgenomen activiteit.

7	Vergelijking van de milieugevolgen van de beoogde situatie en de alternatieven	7.1
7.1	Inleiding	7.1
7.2	Vergelijking van de bestaande situatie met de beoogde situatie	7.1
7.3	Vergelijking van de beoogde situatie met de alternatieven	7.4
7.4	Conclusies.....	7.6

8 LEEMTEN IN KENNIS EN EVALUATIEPROGRAMMA

8.1 Inleiding

Ten behoeve van de voorgenomen wijziging in de kernenergiecentrale Borssele zijn de van belang zijnde aspecten in het algemeen voldoende uitgebreid onderzocht om de milieueffecten van de voorgenomen activiteit te kunnen beschrijven. Daarbij is steeds gewerkt met modellen en methodieken zoals die anno 2003 in brede kring zijn aanvaard als "stand van de techniek".

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op die onderdelen waarvoor de invloeden en gevolgen voor het milieu (nog) niet of niet voldoende zeker kunnen worden vastgesteld. De reden hiervoor kan bijvoorbeeld liggen in het ontbreken van kennis of in de mogelijkheid dat nog geen definitieve keuze is gemaakt met betrekking tot de technische uitwerking van de voorgenomen wijziging.

Slechts op een punt kon de in de MER gepresenteerde informatie niet geheel actueel zijn. Dit betreft de toepassing van het geactualiseerde COSYMA model.

Tenslotte wordt in dit hoofdstuk ingegaan op de uitgevoerde evaluatie van het vorige MER splijstofoptimalisatie, waarin de verrijkingsgraad eveneens verhoogd werd, en op het evaluatieprogramma van de onderhavige milieu-effectrapportage.

8.2 Leemten in kennis

De voor de ongevalsconsequenties gehanteerde Cosyma-rekencode is inmiddels gewijzigd als gevolg van internationaal voorgestelde verbeteringen van het model en wijzigingen in de regelgeving, onder andere inzake de toepassing van conversiefactoren (MR AGIS). Deze wijzigingen leiden tot enigszins andere waarden van de berekende doses. Een eerste berekening geeft een toename in bijdrage van de korte termijneffecten te zien. Omdat de bijdrage van de lange termijneffecten vermindert, wordt de berekende totale dosis toch lager. De gepresenteerde waarden kunnen daarom als bovenschattingen van de waarden beschouwd worden die berekend zouden worden als met de actuele Cosyma-code gerekend zou worden. Vastgesteld kan worden, dat de wijzigingen in de Cosyma-code van dien aard zijn, dat de voorgestelde maatregelen qua effect goed te beoordelen zijn. Van een leemte in kennis in de zin dat onvoldoende of onvoldoende nauwkeurige informatie beschikbaar is voor de besluitvorming, is echter geen sprake.

8.3 Evaluatieprogramma milieu-effect-rapportage

8.3.1 OPZET EVALUATIE MER'S

Het bevoegd gezag dient een evaluatie uit te voeren wanneer een activiteit waarover een milieueffectrapport is geschreven wordt ondernomen. De initiatiefnemer moet daaraan medewerking verlenen. Het doel van de evaluatie is de daadwerkelijk optredende milieueffecten te vergelijken met de in het MER voorspelde effecten. Om een aantal redenen kunnen verschillen optreden, bijvoorbeeld door:

- het tekortschieten van voorspellingsmethoden
- het niet voorzien van bepaalde effecten
- het optreden van leemten in kennis en informatie
- het elders optreden van onvoorziene, maar invloedrijke ontwikkelingen.

Conform de vigerende vergunningsvoorschriften zullen - los van de evaluatie van het MER - om de twee jaar de technische, organisatorische, personele en administratieve voorzieningen met betrekking tot de nucleaire veiligheid en de stralenbescherming worden beoordeeld in het licht van de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de van kracht zijnde vergunning. De resultaten van deze evaluatie dienen te worden verstrekt en eventuele voorgestelde maatregelen dienen ter goedkeuring te worden voorgelegd aan de Directeur van de Kernfysische Dienst en de Hoofdinspecteur van de Volksgezondheid belast met het toezicht op de Hygiëne van het Milieu van het Ministerie van VROM.

In het navolgende wordt een aanzet voor het evaluatieprogramma voor dit MER gegeven. Alvorens daartoe over te gaan wordt eerst kort stilgestaan bij de evaluatie van het MER "Optimalisatie splijtstof kernenergie-eenheid Centrale Borssele" d.d. 1996.

8.3.2 EVALUATIE MER "OPTIMALISATIE SPLIJTSTOF KERNENERGIE-EENHEID CENTRALE BORSSELE" VAN 1996

In opdracht van het Ministerie van VROM heeft OpdenKamp ADVIESGROEP BV een evaluatie uitgevoerd van het vorige MER, waarbij de verrijkingsgraad van de splijtstof werd verhoogd van 3,3% naar 4,0%. Uit deze evaluatie kwamen de volgende conclusies en aanbevelingen naar voren:

"De voorgenomen wijzigingen zijn uitgevoerd. De verrijkingsgraad is verhoogd van 3,3 naar 4,0%. De vorm van de splijtstoftabletten is gewijzigd waardoor de totale hoeveelheid brandstof in de reactorkern is toegenomen met circa 2%. De hogere opbrand van maximaal 50 MWd/kg uranium wordt gerealiseerd."

Voorts staat vast dat NV EPZ het programma voor de afsluitende kwalificatie van het splijtstofomhullingsmateriaal heeft uitgevoerd en dat de resultaten daarvan niet tot bedenkingen hebben geleid bij het bevoegd gezag.

De splijtstofopslagrekken zijn in een andere vorm gewijzigd dan was voorgenomen in het MER. En ook is de samenstelling van de vloeistof in het SOB niet gewijzigd zoals in het MER was aangegeven. Deze zijn echter na instemming van de toezichthouders uitgevoerd en zijn gelijkwaardig met de voorgenomen wijzigingen.

Geconcludeerd wordt verder dat, gezien de aard, het aantal en de ernst van de in paragraaf 4.2 opgesomde, aan de overheid gemelde gebeurtenissen, de veiligheid niet is afgenomen en dat de schades aan de splijtstofstaven die zijn opgetreden tijdens de overgangsperiode c.q. de evaluatieperiode niet in verband staan met de hogere verrijkingsgraad. De voorspelling in het MER dat de voorgenomen activiteit de veiligheid nauwelijks beïnvloedt terwijl de KCB ruim tot zeer ruim aan de veiligheidscriteria blijft voldoen, blijkt te corresponderen met de praktijk.

De dosislimieten voor emissies naar de atmosfeer en de Westerschelde worden op geen enkel moment overschreden. Zelfs worden de trends van de gemeten doses niet onderbroken. De lichte verhoging in de emissies van Tritium naar het oppervlaktewater en van de stralingsbelasting is conform de voorspellingen in het MER.

Uit het onderzoek door NV EPZ naar methodes om schades in de toekomst te voorkomen spreekt een pro-actieve houding die mag worden verwacht van de bedrijver van de inrichting. Het ALARA-beginsel wordt in voldoende mate gehanteerd.

De afhandeling van de inspraakreacties is consciëntieus uitgevoerd. Nog de inspraak in verband met de MER-procedure als met die van de vergunning en de beroepsprocedure hebben punten onbehandeld gelaten.

Het project laat weinig ruimte voor aanbevelingen. De aanbeveling om in de toekomst in de voeten van de splijtstofelementen debrisfilters op te nemen wordt hier evenwel overgenomen."

Met betrekking tot de laatste aanbeveling wordt opgemerkt, dat EPZ voornemens is om met ingang van de splijtstofwisseling 2004 de in dit MER (zie paragraaf 4.3.2) besproken HTP-splijtstofelementen in te zetten. Deze elementen zijn voorzien van een in de voet geïntegreerd debrisfilter.

Omdat de inhoud van deze overige conclusies en aanbevelingen voor zichzelf spreekt, wordt hier niet nader op ingegaan.

8.3.3 EVALUATIEPROGRAMMA VAN HET ONDERHAVIGE MER

Teneinde de verwachte effecten zoals in het onderhavige MER omschreven, te verifiëren is EPZ van plan de volgende activiteiten uit te (blijven) voeren:

- 1 De bestaande (emissie)meetprogramma's worden onverkort voortgezet. Dit betreft de radioactieve emissies naar lucht en water (van met name tritium) en de afvoer van radioactief afval en splijtstofelementen. Rapportage van deze metingen dient maandelijks plaats te vinden.
- 2 Eventueel optredende storingen en afwijkingen bij de KCB en bij andere centrales zullen ook in de toekomst systematisch worden vastgelegd en geanalyseerd op mogelijke verbanden met de voorgenomen activiteit. Conform de daarvoor geldende procedures zal melding aan de Kernfysische Dienst blijven plaatsvinden.
- 3 Het bestaande meetprogramma in de omgeving van de KCB moet gecontinueerd worden. Rapportage van deze metingen dient jaarlijks plaats te vinden.
- 4 De kennis inzake het gebruik van splijtstofelementen met een hogere verrijkingsgraad bij andere centrales moet bijgehouden worden.

8	Leemten in kennis en evaluatieprogramma.....	8.1
8.1	Inleiding.....	8.1
8.2	Leemten in kennis.....	8.1
8.3	Evaluatieprogramma milieu-effect-rapportage.....	8.2
8.3.1	Opzet evaluatie MER's	8.2
8.3.2	Evaluatie MER "Optimalisatie splijtstof kernenergie-eenheid Centrale Borssele" van 1996	8.2
8.3.3	Evaluatieprogramma van het onderhavige MER.....	8.4

LITERATUUR

Bs, 2001. Besluit stralingsbescherming d.d. 16 juli 2001, Staatsblad 397 (2001).

CCRX, 1993. Jaarverslag 1991 van de CCRX werkgroep Meettechnieken Radioactiviteit, MR 93-01

CORA, 2001. Terugneembare berging, een begaanbaar pad? Commissie Opberging Radioactief Afval. Min van EZ, februari 2001

Eckerman, 1993, zie EPA 1993

EPA, 1993. federal Guidance Report No. 12: External Exposures to Radionuclides in Air, Water and Soil

EPZ, 1993JK. Milieu-effectrapport Modificaties kernenergie-eenheid centrale Borssele, december 1993, bijlagen J en K.

EPZ, 1993K. Milieu-effectrapport Modificaties kernenergie-eenheid centrale Borssele, december 1993, bijlage K.

EPZ, 1993M. Milieu-effectrapport Modificaties kernenergie-eenheid centrale Borssele, december 1993, bijlage M.

EPZ, 1996. Milieu-effectrapport Optimalisatie splijtstof kernenergie-eenheid centrale Borssele

EPZ, 1997. Aanvulling op het Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid Centrale Borssele. Moddoc nr. 063-007 rev. 2, N.V EPZ, 1997.

EPZ, 1999, zie EPZ 2002

EPZ, 2002 veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele rev. 3 (2002)

EPZ, 2004. Aanvulling op het Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele" (EPZ, 2004)

NEA, 2001. "Radiological Impacts of Spent Nuclear Fuel management Options, a comparative study"

NEA, 2001. G. Pauluis, L v.d. Durpel, Trends in the nuclear fuel cycle. NEA News No 19.2, 2001

NRG, 1999. F. van Hemert, J.F.A. van Hienen "Risicoberekening transport per spoor van KCB splijtstofelementen", NRG 910161/99.30300/C; Petten december 1999.

NRG, 2001. E. van Wonderen, M.L.F. Sloodman "Risico's van de splijtstofcyclus", NRG 20328/00.52222/C; Arnhem november 2001

OECD, 1992, zie NEA 2001

OpdenKamp, 2003. Evaluatie MER Optimalisatie splijstof KCB. Zaaknummer 200309108, 19 november 2003.

RWS, 1996. Watersysteemverkenningen: Radionuclides in Dutch Watersystems Research Project. DG Rijkswaterstaat, 1996

RWS 2001. Waterkwaliteit en ecologie. DG Rijkswaterstaat, 2001

RIVM, 1996. Risicoberekeningen voor in het milieu geloosde radionucliden-Onderbouwing richtlijn voor vergunningen (RIBRON) Rapport nr 610053005, juni 1996

RIVM, 2002, zie RIVM 2003

RIVM, 2003. Ionising Radiation Exposure in the Netherlands. Rapport nr. RIVM 861020002/2003

SGR, 1993. Structuurschema Groene Ruimte

STAATSBLAD, 1999. Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen. STAATSBLAD, 1999-403

STAATSBLAD, 2001. Besluit stralingsbescherming. STAATSBLAD, 2001-397= BS 2001

AGIS, 2002. MR-AGIS, Regeling analyse gevolgen ioniserende straling voor het milieu, STC nr. 73, 16 april 2002

TWEEDE KAMER, 1984. Nota Radioactief afval, vergaderjaar 1983-1984, 18343, nrs. 1-2.

TWEEDE KAMER, 1993. Opbergen van afval in de diepe ondergrond. Vergaderjaar 1992-1993. 23 163, nr.1

TWEEDE KAMER, 2002. Beleidsstandpunt Radioactief afvalbeleid. Vergaderjaar 2002-2003, 28 674, nr. 1

TWEEDE KAMER, 2003. Opwerking van radioactief materiaal; Brief staatssecretaris over twee recent verschenen richtlijnvoorstellen van de Europese Commissie. Vergaderjaar 2002-2003, 25422, nr. 29.

UNSCEAR, 1993. "Sources and effects of ionizing radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation", Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, publicatie ISBN 92-1-142200-0, 1993

VROM, 1989. Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding, Tweede Kamerstuk, vergaderjaar 1988-1989, 21 015, nummer 3, VROM 90044/2-89 1174/26.

VROM, 1990. Gevolgen van lozingen bij normaal bedrijf van Nederlandse kerninstallaties. Publikatiereeks stralenbescherming, nr. 1990/45, augustus 1990.

Bijlage A Representatieve begingebourtenissen voor ongevallen bij de KCB

nummer	veronderstelde begingebourtenis
1.4	Onbedoeld openen van appendages (bijvoorbeeld omloopafsluiters, afblaasregelkleppen, veiligheidskleppen)
1.5.1	Langdurige uitval van de secundaire hoofdkoeling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen
1.5.4	Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters
2.3.2	Turbinesnelafschakeling zonder opening van de turbine-omloopleiding
2.5.2	Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten)
2.6.1	Uitval van de hoofd- en noodvoedingswaterpompen
3.2	Blokken van een hoofdkoelmiddelpomp of breuk van een hoofdkoelmiddelpompas
5.2	Uitworp van het meest effectieve regelement
7.1.1	Onbedoeld openen en weer sluiten van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder
7.1.2	Onbedoeld openen en open blijven van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder
7.2.2	Lekkage van het primaire systeem binnen de veiligheidsomhulling
7.2.3	Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding
7.3.2	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen
7.3.2.2	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig)
7.4.2	Lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling
8.2	Lekkage in een leiding van het afgassysteem
8.4.1	Beschadigingen van splijtstofelementen tijdens het hanteren
9.1.1	Lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving
9.1.2	Gevolgen van een aardbeving op het reactorhulpgebouw
10.2	Overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primaire systeem binnen de veiligheidsomhulling
10.5	Extreme verstoringen in het primaire systeem waarbij tevens uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld

Bijlage B BEPALING BIJDRAGEN VAN KCB AAN DE TOTALE STRALINGS-BELASTING

INHOUD

1	Inleiding	2
2	Luchtkwaliteit	2
2.1	Achtergrondconcentraties radioactiviteit en straling	2
2.2	Bijdragen KCB aan de luchtkwaliteit.....	3
2.2.1	Omgevingsmetingen.....	3
2.2.2	Verspreidingsberekeningen.....	5
2.2.3	Directe straling vanuit KCB.....	7
3	Waterkwaliteit (Westerschelde)	8
3.1	Radiologische waterkwaliteit	8
3.2	Radiologische bijdragen KCB.....	9
3.3	Radioactieve nucliden in aquatisch, biologisch materiaal	11
4	Bodem: depositie van radioactieve stoffen.....	12

1 INLEIDING

De bestaande toestand van het milieu in een gebied met een straal van 10 km rond de KCB wordt beschreven voor de onderwerpen luchtkwaliteit, waterkwaliteit en bodem. In de hoofdstukken 2, 3 en 4 worden de radiologische dosisbijdragen, die via lucht, water en bodem als gevolg van het bedrijven van de KCB ontstaan separaat afgeleid. In de tabellen 5.2.1 en 5.2.2 van het hoofdrapport zijn de meetgegevens zoals deze in deze bijlage worden gebruikt gegeven.

2 LUCHTKWALITEIT

2.1 Achtergrondconcentraties radioactiviteit en straling

Vanaf 1972, een jaar voordat de kernenergiecentrale Borssele in gebruik werd genomen, zijn door KEMA maandelijkse metingen verricht naar de activiteitsconcentraties en de stralingsniveaus in de omgeving van de centrale.

In de periode voor de inbedrijfname zijn vanaf april 1972 exposietempometingen uitgevoerd met behulp van Thermo-Luminescentie Dosimeters (TLD's). De meetpunten, tot begin 1995 een dertigtal in totaal, stonden verspreid over een groot gebied tot op een afstand van ongeveer 14 km van de centrale. In tabel 2.1 zijn de resultaten van de exposietempometingen gegeven. Om een vergelijking met latere metingen mogelijk te maken zijn de exposietempo's omgerekend naar dosistempo's in nSv/h.

Tabel 2.1 Resultaten van de metingen van de stralingsniveaus in de omgeving van de KCB, uitgevoerd in de periode april 1972 t/m juni 1973. KCB niet in bedrijf.

Locatie	Aantal meetpunten	Gemiddeld dosistempo (nSv/h)
Centrale	8	92
Omgeving	22	79

Als onderdeel van de huidige omgevingsmetingen wordt lucht bemonsterd op enkele meetpunten, die zodanig ver van de centrale zijn gelegen dat de invloed daarvan op de luchtkwaliteit minimaal mag worden geacht. Deze meetpunten zijn respectievelijk 8 en

10 km van de centrale gelegen en zijn representatief voor de achtergrond luchtactiviteitsconcentraties in de omgeving van de centrale. Tabel 2.2 geeft voor deze twee meetpunten de over de afgelopen 10 jaar gemiddelde activiteitsconcentratie in de omgevingslucht.

Tabel 2.2 Concentraties van luchtgedragen activiteit in de omgeving van de KCB; resultaten van metingen in de periode 1993-2002.

Meetpunt	Gemiddelde activiteitsconcentraties (mBq/m ³)			
	Totaal- α	Totaal- β	¹³¹ I elementair	¹³¹ I organisch
8 km ZW	0,05	0,29	< 0,2	< 0,3
10 km W	0,04	0,21	<0,2	< 0,3

2.2 Bijdragen KCB aan de luchtkwaliteit

2.2.1 Omgevingsmetingen

In tabel 2.3 is een overzicht gegeven van de gemiddelde activiteitsconcentraties in de omgevingslucht van een viertal luchtbemonsteringslocaties in de periode 1993-2002. In vergelijking met de metingen bij het opstarten van het omgevingsmeetnet in 1972 (zie paragraaf 2.1) zijn de metingen uitgebreid met bepaling van de ⁶⁰Co en ¹³⁷Cs activiteiten in de luchtstof en totaal- α tellingen. De ⁶⁰Co en ¹³⁷Cs metingen lopen vanaf 1980; de totaal- α metingen zijn in 1984 gestart.

De totaal- α activiteit en in mindere mate de totaal- β activiteit vertonen op 2 km ten noorden van de KCB een verhoging ten opzichte van de andere meetpunten. Deze verhoging wordt veroorzaakt door de ²¹⁰Po- en ²¹⁰Pb-lozingen van de nabij gelegen fosforfabriek van Thermphos International. Het betreffende meetpunt ligt op circa 1 km ONO van deze fabriek, dus in de overheersende windrichting.

De meetwaarden van ¹³¹I, ⁶⁰Co en ¹³⁷Cs liggen veelal beneden de detectielimiet.

Tabel 2.3 Resultaten van de metingen van de luchtactiviteitsconcentraties in de omgeving van de kernenergiecentrale Borssele, uitgevoerd in de periode 1993-2002.

Meetpunt	Jaargemiddelde activiteitsconcentraties (mBq/m ³)					
	Totaal- α aërosolen	Totaal- β aërosolen	¹³¹ I Elementair	¹³¹ I Organisch	⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs
1 km ZO	0,07	0,29				
1 km NO	0,09	0,30				
2 km N	0,20	0,34				
8 km ZW	0,05	0,29				
10 km W	0,04	0,21				
mengmonster			< 0,2	< 0,3	< 0,07	< 0,05

In 1996 is het omgevingsmeetnet rond de KCB aangepast. Hierbij is het aantal dosism Meetpunten teruggebracht van 33 naar 16. Aan het hek zijn acht meetpunten gehandhaafd op afstanden van minder dan 200 m van de centrale. De overige acht meetpunten staan in de omgeving op afstanden tot de centrale variërend van 4,5 km tot ca. 13,5 km. Tegelijkertijd is overgegaan op het elektronisch meten van de omgevingsdosis, in plaats van de tot dan toe gebruikte Thermo-Luminescentie Dosimeters (TLD's). In tabel 2.4 zijn de gemiddelde resultaten van de dosistempometingen vanaf 1996 gegeven.

Tabel 2.4 Resultaten van de metingen van de stralingsniveaus in de omgeving van de KCB, uitgevoerd in de periode 1996-2002

Locatie	Aantal meetpunten	Gemiddeld dosistempo (nSv/h)
Hek KCB	8	96
Omgeving	8	88

De spreiding in gemiddeld dosistempo op de buiten het centraal terrein gelegen meetpunten bedraagt circa 15 nSv/h (80 - 95 nSv/h). Het dosistempo is vooral afhankelijk van de situatie ter plaatse (zand- of kleigrond, aan- of afwezigheid van wegen, bebouwing, etc.).

Het gemiddelde dosisequivalent afkomstig van natuurlijke terrestrische straling bedraagt in Nederland ongeveer 40 nSv/h (RIVM, 2003) met een variatie tussen 10 - 70 nSv/h. De

hoogste waarden worden gevonden boven plaatsen waar rivierklei of zeeklei is afgezet; de lagere waarden boven zandgronden.

Daar bovenop komt een bijdrage als gevolg van de kosmische straling, welke door het RIVM eveneens op 40 nSv/h wordt geschat. Het van nature aanwezige stralingsniveau bedraagt in Nederland derhalve 50 - 110 nSv/h. De gemeten doses in de omgeving van de KCB vallen binnen deze range.

2.2.2 Verspreidingsberekeningen

In tabel 5.2.1 van het hoofdrapport zijn de gemiddelde lozingen en de maximale gemeten lozingen in de periode 1993-2002 vermeld, alsmede de in de bedrijfsvergunning opgegeven limietwaarden. De edelgaslozingen bestaan voornamelijk uit de splijtingsprodukten ^{133}Xe , $^{133\text{m}}\text{Xe}$ en ^{135}Xe met een gemiddelde onderlinge verhouding van 6:1:1 overeenkomstig de kerninventaris. Voor de lozing van aërosolen is als belangrijkste radionuclide ^{60}Co genomen. In de tabellen 2.5 en 2.6 zijn voor de maatgevende nucliden de berekende dosisbijdragen via luchtgedragen activiteit vermeld voor de gemiddelde en de maximale lozingen in de periode 1993-2002.

Voor de uitgevoerde verspreidingsberekeningen is conform de ministeriële regeling AGIS het door KEMA ontwikkelde korte termijnmodel STACKS gebruikt met weersgegevens op uurbasis voor de regio Vlissingen (EPZ, 1993J). De met dit model berekende maximale jaargemiddelde concentratie in de ademlucht op 1 m hoogte bedraagt $2,5 \cdot 10^{-7} \text{ Bq/m}^3$ voor een lozing van 1 Bq/s (EPZ, 1996). Dit komt overeen met een concentratie van $8 \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ voor een lozing van 1 GBq/jaar.

Tabel 2.7 geeft de voor de belangrijkste radionucliden gehanteerde dosiscoëfficiënten. De beschouwde belastingspaden zijn inhalatie en immersie (externe bestraling vanuit de pluim). De dosisfactoren voor immersie zijn overgenomen uit (Eckerman, 1993) en die voor inhalatie uit tabel 4.2 van bijlage 4 van het Besluit Stralingsbescherming, met een voor een referentiepersoon gemiddeld ademvolume van 8300 m^3 per jaar (STAATSCOURANT, 2002).

Tabel 2.5 Dosisbijdragen per jaar via luchtgedragen activiteit, gemiddeld over 1993-2002

Nuclide	Lozing [GBq/a]	Dosisbijdrage [10^{-6} mSv/a]	
		Extern	Inhalatie
Edelgassen:			
^{133}Xe	5700	2,2	
$^{133\text{m}}\text{Xe}$	900	0,3	
^{135}Xe	1000	3,0	
Aërosolen:			
^{60}Co	0,0001	< 0,0001	< 0,001
^3H (HTO)	320	< 0,0001	0,13
^{14}C (5% CO_2 , 95% CH_x)	65	< 0,0001	0,88
^{131}I	0,037	0,0002	0,02
Overige halogenen*	0,022	0,0002	0,002
Totaal		5,5	1,03

* gebaseerd op nuclidenmix in evenwichtskern

Tabel 2.6 Maximale dosisbijdragen via luchtgedragen activiteit, periode 1993-2002

Nuclide	Lozing [GBq/a]	Dosisbijdrage [10^{-6} mSv/a]	
		Extern	Inhalatie
Edelgassen:			
^{133}Xe	21.000	8,2	
$^{133\text{m}}\text{Xe}$	3000	1,0	
^{135}Xe	4000	12,2	
Aërosolen:			
^{60}Co	0,0011	0,0001	0,002
^3H (HTO)	565	< 0,0001	0,2
^{14}C (5% CO_2 , 95% CH_x)	123	< 0,0001	1,7
^{131}I	0,20	0,0009	0,1
Overige halogenen *	0,16	0,0012	0,02
Totaal		21,4	2,0

* gebaseerd op nuclidenmix in evenwichtskern

Tabel 2.7 Dosiscoëfficiënten voor blootstelling door externe straling (immersie) en inhalatie.

Nuclide	Extern (Sv/a per Bq/m ³)	Inhalatie		Totaal (Sv/a per Bq/m ³)
		(Sv/Bq)	(Sv/a per Bq/m ³)	
¹³³ Xe	$4,9 \cdot 10^{-8}$	-		$4,9 \cdot 10^{-8}$
^{133m} Xe	$4,3 \cdot 10^{-8}$	-		$4,3 \cdot 10^{-8}$
¹³⁵ Xe	$3,8 \cdot 10^{-7}$	-		$3,8 \cdot 10^{-7}$
⁶⁰ Co	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$3,1 \cdot 10^{-8}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$
³ H (HTO)	$1,0 \cdot 10^{-11}$	$6,2 \cdot 10^{-12}$	$5,1 \cdot 10^{-8}$	$5,1 \cdot 10^{-8}$
¹⁴ C (5%CO ₂ , 95%CH ₄)	$7,1 \cdot 10^{-12}$	$2,0 \cdot 10^{-10}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$
¹³¹ I	$5,7 \cdot 10^{-7}$	$7,4 \cdot 10^{-9}$	$6,1 \cdot 10^{-5}$	$6,2 \cdot 10^{-5}$
Overige halogenen*	$9,1 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$

* gebaseerd op nuclidenmix in evenwichtskern

Uit tabel 2.5 volgt dat de gemiddelde individuele dosis als gevolg van luchtgedragen activiteit ongeveer $6,5 \cdot 10^{-6}$ mSv/a bedraagt. Van deze dosis is ca 85% het gevolg van de lozing van edelgassen. In de periode 1993-2002 was de maximale jaardosis ongeveer $23 \cdot 10^{-6}$ mSv/a, waarvan 90% ten gevolge van de lozing van edelgassen

2.2.3 Directe straling vanuit KCB

Naast de hiervoor in paragraaf 2.2.2 behandelde dosisbijdragen als gevolg van emissies via de ventilatieschacht kunnen personen ook aan straling, rechtstreeks uit de centrale blootstaan. Het maximum van de hiermee gepaard gaande dosisbijdrage treedt op bij het hek van de centrale. Verder weg, waar het maximum van de bijdrage via pluimverspreiding optreedt, is de bijdrage van de directe straling bijna nul. Er hoeft daarom geen sommatie van doses uitgevoerd te worden.

De belangrijkste bronnen die bijdragen aan de externe stralingsdosis aan het hek zijn:

- reactorgebouw: inventaris van de reactorkern, activiteit in het hoofdkoelmiddel, activiteit in het splijtstofopslagbassin en activiteit in de lucht van de installatieruimte
- afvalopslaggebouw: activiteit in opgeslagen en geconditioneerd afval.

Tabel 2.8 geeft de met behulp van afschermingsberekeningen geschatte maximale dosisbijdragen aan de terreingrens, zoals berekend in de vorige MER t.b.v. de hogere

verrijking (EPZ, 1996). Hierin wordt tevens geconcludeerd dat als gevolg van de hogere verrijkingsgraad van de splijtstof de dosis aan de terreingrens niet noemenswaardig zal veranderen. Bijgevolg zijn de waarden van voor 1996 nog steeds geldig.

Tabel 2.8 Dosisbijdragen aan het hek als gevolg van externe bestraling door in de centrale aanwezige radioactieve stoffen.

	Dosisbijdrage (mSv/jaar)
Reactorgebouw:	
kerninventaris	$3 \cdot 10^{-16}$
splijtstofopslagbassin	$< 10^{-18}$
hoofdkoelmiddel (^{16}N)	$1 \cdot 10^{-4}$
lucht installatieruimte	$1 \cdot 10^{-10}$
Afvalopslaggebouw:	
geconditioneerd radioactief afval	$5 \cdot 10^{-6}$

Geconcludeerd wordt dat de dosisbijdrage bij het hek van de centrale voor de meest beperkende gebruiksoptie (wonen) maximaal ca. $1 \cdot 10^{-4}$ mSv/jaar bedraagt.

3 WATERKWALITEIT (WESTERSCHELDE)

3.1 Radiologische waterkwaliteit

De radiologische waterkwaliteit bij de KCB wordt continu bewaakt door middel van de maandelijkse omgevingsmetingen. Hierbij worden op vier locaties de volgende compartimenten en radionucliden bemonsterd:

Westerscheldewater: totaal- β activiteit in water en zwevend slib en tritiumactiviteit

Wieren: ^{60}Co , ^{137}Cs en ^{131}I activiteit

Onderwatersediment: ^{60}Co , ^{137}Cs en ^{131}I .

In tabel 3.1 is een overzicht gegeven van de gemiddelde activiteitsniveaus in de meetperiode 1993-2002. De gemeten concentraties zijn normale waarden voor Nederlands oppervlaktewater (RWS,1996). In de jaren 1970-1972, dus voor de inbedrijfstelling van de KCB, was de tritiumconcentratie in de Westerschelde aanzienlijk hoger, gemiddeld circa 23 Bq/l (CCR, 1993).

Tabel 3.1 Gemiddelde activiteitsniveaus in de Westerschelde, gebaseerd op omgevingsmetingen in de periode 1993-2002

	Westerscheldewater (Bq/l)		Wieren (Bq/kg)			Sediment (Bq/kg)		
	β - activiteit	^3H - activiteit	^{131}I	^{137}Cs	^{60}Co	^{131}I	^{137}Cs	^{60}Co
2,5 km NW	0,05	5,7						
0 km	0,05	5,9						
1,5 km ZO	0,04	5,9						
8,5 km ZO	0,04	5,7						
mengmonster			< 3	1,5	<3	< 0,3	1,5	0,5

3.2 Radiologische bijdragen KCB

Voor de berekening van de doses voor de mens tengevolge van lozing van radioactieve stoffen door de KCB op het oppervlaktewater (de Westerschelde) wordt een model gebruikt voor de modellering van verspreiding van nucliden in het aquatisch milieu. De uitgangspunten voor dit model en de berekening van de gemiddelde ingestie van radioactiviteit door de mens bij een eenheidslozing in de Westerschelde zijn beschreven in (EPZ, 1993M). De in het model toegepaste parameterwaarden voor ingestie van activiteit via consumptie van aquatische organismen zijn aangepast aan de nieuwe richtlijnen voor berekening van de doses in het milieu (Staatsblad, 2002). Tevens zijn de nieuwe dosisconversiecoëfficiënten voor ingestie gebruikt uit bijlage 4 van het Besluit stralingsbescherming (Staatsblad, 2001).

De resultaten van de dosisberekeningen voor de gemiddelde lozingen in de periode 1993-2002 zijn gegeven in tabel 3.2. De gemiddelde lozing met het afvalwater bedroeg in de periode 1993 - 2002 6,4 TBq tritium, 0,57 GBq aan β - en γ -activiteit en 50 kBq aan α -activiteit (tabel 5.2.2). Een opsplitsing van de β - en γ -activiteit in bijdragen van verschillende radioactieve nucliden is niet gegeven met uitzondering voor de radionucliden ^{55}Fe en ^{63}Ni . Aangezien de dosis hoofdzakelijk wordt bepaald door ^{60}Co in het geloosde water, wordt dit nuclide als referentie genomen voor de berekening van de

dosisbijdrage van de β - en γ -activiteit, exclusief ^{55}Fe en ^{63}Ni . Voor de lozing van α -activiteit is de verhouding van de nuclidenmix in de evenwichtkern aangenomen.

Tabel 3.2 Ingestie per eenheidslozing en individuele jaardosis ten gevolge van de gemiddelde lozingen van radioactiviteit met het afvalwater en op basis van de gemiddelde consumptie van zeevoedsel uit de Zeeuwse kustwateren in de periode 1993-2002

Nuclide	Dosiscoëfficiënt [Sv/Bq]	Gem. lozing [GBq/a]	Ingestie [Bq/a per GBq/a]	Dosisbijdrage [10^{-6} mSv/a]
^3H	$4,2 \cdot 10^{-11}$	6400	$2,1 \cdot 10^{-5}$	0,006
^{55}Fe	$3,3 \cdot 10^{-10}$	0,10	$3,3 \cdot 10^{-2}$	0,001
^{63}Ni	$1,5 \cdot 10^{-10}$	0,06	$1,3 \cdot 10^{-2}$	0,0001
^{60}Co	$3,4 \cdot 10^{-9}$	0,41	$2,0 \cdot 10^{-2}$	0,028
α -activiteit	$1,2 \cdot 10^{-8} *$	0,00005	$2,5 \cdot 10^{-3}$	< 0,0001
Totaal				0,035

* gebaseerd op de nuclidenmix in de evenwichtskern

Uitgaande van de gemiddelde lozingswaarden in de periode 1993-2002 bedroeg de individuele dosis $0,035 \cdot 10^{-6}$ mSv/a. Hiervan werd 80% veroorzaakt door lozing van het activeringsprodukt ^{60}Co op de Westerschelde.

De resultaten van de dosisberekeningen voor de maximale lozingen in de periode 1993-2002 zijn gegeven in tabel 3.3.

Tabel 3.3 Ingestie per eenheidslozing en individuele jaardosis ten gevolge van maximale jaargemiddelde lozingen van radioactiviteit met het afvalwater en op basis van de gemiddelde consumptie van zeevoedsel uit de Zeeuwse kustwateren in de periode 1993-2002

Nuclide	Dosiscoëfficiënt [Sv/Bq]	Gem. lozing [GBq/a]	Ingestie [Bq/a per GBq/a]	Dosisbijdrage [10 ⁻⁶ mSv/a]
³ H	4,2.10 ⁻¹¹	7700	2,1.10 ⁻⁵	0,007
⁵⁵ Fe	3,3.10 ⁻¹⁰	0,28	3,3.10 ⁻²	0,003
⁶³ Ni	1,5.10 ⁻¹⁰	0,16	1,3.10 ⁻²	0,0003
⁶⁰ Co	3,4.10 ⁻⁹	0,88	2,0.10 ⁻²	0,060
α-activiteit	1,2.10 ⁻⁸ *	0,0003	2,5.10 ⁻³	< 0,0001
totaal				0,070

* gebaseerd op de nuclidenmix in de evenwichtskern

Uitgaande van de maximale lozingswaarden in de periode 1993-2002 bedroeg de individuele dosis via het aquatische pad 0,07.10⁻⁶ mSv/a.

3.3 Radioactieve nucliden in aquatisch, biologisch materiaal

In paragraaf 5.6.3 zijn enige activiteitsniveaus in wieren uit de Westerschelde vermeld. Het betreft ¹³¹I, ¹³⁷Cs en ⁶⁰Co in de wiersoorten *Fucus vesiculosus*, *F. serratus* en *Ascophyllum nodosum*. De wieren zijn verzameld in het uitlaatgebied van de kernenergiecentrale Borssele in de jaren 1993-2002. Alleen het activiteitsniveau van ¹³⁷Cs komt net boven de detectiegrens. In de jaren tachtig zijn ook activiteitsniveaus van deze radioactieve nucliden in monsters mosselvlies bepaald. Mosselen voeden zich met plankton-organismen en detritus (dood organisch materiaal), dat uit het ademhalingswater wordt gefilterd. Naast eventueel direct uit het water opgenomen nucliden kunnen aan detritus en plankton geabsorbeerde of door plankton opgenomen nucliden door mosselen worden geconcentreerd. Door mosselen opgenomen ⁶⁰Co wordt voornamelijk in de schelpen opgeslagen en komt niet verder in de voedselketen. Het activiteitsniveau van radioactieve nucliden in mosselen uit het uitlaatgebied van de kernenergiecentrale Borssele kwam niet boven de detectiegrens. In 1987 zijn enkele

malen wieren bemonsterd en tegelijkertijd de alikruiken (*Littorina littorea*) tussen de wieren. Het activiteitsniveau van ^{137}Cs in de alikruiken op basis van natgewicht was ongeveer gelijk aan, of lager dan het niveau in de wieren op basis van natgewicht (KEMA, 1987).

Deze gemeten activiteitsniveaus in biologisch materiaal hebben geen biologische consequenties voor de betreffende organismen en zijn te laag om via verdere opname in voedselketens concentraties te bereiken met biologische of ecologische consequenties.

4 **BODEM: DEPOSITIE VAN RADIOACTIEVE STOFFEN**

De belangrijkste weg waarlangs eventuele besmetting van de bodem kan plaatsvinden is door depositie (op de bodem neerkomen) van radioactiviteit, die via de ventilatieschacht wordt geloosd en vervolgens via de lucht wordt verspreid. Andere mogelijke besmettingspaden zijn irrigatie van landbouwgebieden met via lozingen op het oppervlaktewater besmet water of via overstroming van buitendijks gelegen gronden. Aangezien het water van de Westerschelde brak is, en dus niet voor irrigatie wordt toegepast, en de buitendijkse gebieden niet voor landbouwdoeleinden worden gebruikt, kunnen de twee laatstgenoemde besmettingspaden buiten beschouwing worden gelaten.

Hoe de gedeponeerde activiteit zich opbouwt in de bodem en vanuit de bodem via gewassen naar mens en dier wordt overgedragen is afhankelijk van het soort nuclide. Het model van verspreiding via de terrestrische voedselketen en de uiteindelijke opname door de mens is beschreven in (EPZ, 1993K). Voor de in tabel 5.2.1 genoemde aerosol-gebonden nucliden en de gasvormige stoffen ^3H , ^{14}C en ^{131}I is dit model nader uitgewerkt. Hierbij is gebruik gemaakt van de in RIBRON voorgeschreven parameters (RIVM, 1996), de consumptiehoeveelheden uit MR-AGIS (Staatscourant, 2002) en de dosiscoëfficiënten voor ingestie uit het Besluit stralingsbescherming (Bs, 2001).

Naast inwendige besmetting via ingestie vormt externe bestraling vanaf de grond door de gedeponeerde radioactiviteit een tweede belastingspad. Dit treedt ment name op bij depositie van langlevende gammastralers, zoals ^{60}Co en ^{137}Cs .

Tabel 4.1 geeft een overzicht van de resultaten van de dosisberekeningen voor een eenheidslozing van 1 GBq/jaar.

Tabel 4.1 Jaardoses KCB ten gevolge van gedeponeerde radioactiviteit (inwendig + extern) bij een lozing naar de lucht van 1 GBq/a per nuclide

Nuclide	Bodem-activiteit*	Ingestie	Dosiscoëfficiënt		Dosisfactor [Sv/a per GBq/a]	
			Extern ¹ [Sv/a] per [Bq/m ²]	Ingestie ² [Sv/Bq]	Extern	Ingestie
	[Bq/m ²]	[Bq/a]				
Aërosolen						
⁶⁰ Co	6,5	1,4. 10 ⁻¹	7,25.10 ⁻⁸	3,4.10 ⁻⁹	4,7.10 ⁻⁷	4,9.10 ⁻¹⁰
³ H	-	2,4. 10 ⁻²	-	4,2.10 ⁻¹¹	-	1,0. 10 ⁻¹²
¹⁴ C	-	6,4. 10 ⁻²	-	5,8.10 ⁻¹⁰	-	3,7.10 ⁻¹¹
¹³¹ I	0,11	1,1. 10 ⁻¹	1,15.10 ⁻⁸	2,2.10 ⁻⁸	1,3.10 ⁻⁹	2,4.10 ⁻⁹
Ov.halog.**	0,01	8,8. 10 ⁻⁴	1,95.10 ⁻⁸	4,3. 10 ⁻⁹	2,3.10 ⁻¹⁰	3,8. 10 ⁻¹²

*Ter plaatse van de maximale luchtconcentratie na 25 jaar continue depositie

** gebaseerd op de nuclidemix in de evenwichtskern

¹ Uit: EPA, 1993

² Uit: Bs, 2001

In de tabellen 4.2 en 4.3. zijn voor de gemiddelde waarden respectievelijk voor de maxima in de periode 1993-2002 de dosisbijdragen ten gevolge van de gedeponeerde radioactiviteit vermeld.

Tabel 4.2 Dosisbijdragen KCB als gevolg van ingestie en externe bestraling van gedeponeerde aerosolen inclusief direct door de vegetatie opgenomen ^3H - en ^{14}C -activiteit bij een over 1993-2002 gemiddelde jaaremissie

Nuclide	Lozing [GBq/a]	Dosisbijdrage [10^{-6} mSv/a]	
		Extern	Ingestie
Aërosolen ^{60}Co *	0,00012	0,06	0,0001
^3H	320		0,32
^{14}C	65		2,41
^{131}I	0,037	0,05	0,09
Overige halogenen	0,022	0,005	0,0001
Totaal		0,11	2,82

* ^{60}Co representatief voor aerosolen

Uit tabel 4.2 volgt, dat op basis van de gemiddelde lozingen naar de lucht in de periode 1993-2002 de dosisbijdrage als gevolg van gedeponeerde activiteit maximaal $2,9 \cdot 10^{-6}$ mSv/a bedroeg, waarvan $0,1 \cdot 10^{-6}$ mSv/a door externe bestraling vanaf de bodem en $2,8 \cdot 10^{-6}$ mSv/a door ingestie van voedselprodukten.

Tabel 4.3 Dosisbijdragen KCB als gevolg van ingestie en externe bestraling van gedeponeerde aerosolen inclusief direct door de vegetatie opgenomen ^3H - en ^{14}C -activiteit bij de maximale jaaremissies uit de periode 1993-2002

Nuclide	Lozing [GBq/a]	Dosisbijdrage [10^{-6} mSv/a]	
		Extern	Ingestie
Aerosolen ^{60}Co *	0,001	0,52	0,001
^3H	570		0,57
^{14}C	120		4,55
^{131}I	0,2	0,26	0,50
Overige halogenen	0,16	0,04	0,001
Totaal		0,82	5,62

* ^{60}Co representatief voor aerosolen

Uit tabel 4.3 blijkt, dat op basis van maximale emissies naar de lucht in de periode 1993-2002 de dosisbijdrage maximaal $6,4 \cdot 10^{-6}$ mSv/a bedroeg, waarvan $0,8 \cdot 10^{-6}$ mSv/a door externe bestraling vanaf de bodem en $5,6 \cdot 10^{-6}$ mSv/a door ingestie van voedselprodukten.

NB. Vanwege wijzigingen in het Besluit Stralingsbescherming (Staatsblad, 2001) met betrekking tot methodieken en toe te passen coëfficiënten (nader uitgewerkt in de ministeriële regeling "Analyse Gevolgen Ioniserende Straling" (Staatsblad, 2002) verschillen de hier gegeven resultaten met de waarden uit de vorige MER (EPZ, 1996).

bijlage C Belangrijkste nucliden voor 4,0 % kern bij 34,7 MWd/kg

t=0 d		
Nuclide	PBq	kg
KR 85	14.800	.999
SR 89	1320.000	1.270
SR 90	122.000	23.400
SR 91	1590.000	.012
Y 90	127.000	.006
Y 91	1710.000	1.880
Y 91M	918.000	.001
Y 93	1960.000	.016
ZR 95	2310.000	3.010
ZR 97	2220.000	.031
NB 95	2360.000	1.640
NB 97	2250.000	.002
NB 97M	1920.000	.000
MO 99	2410.000	.135
TC 99M	2080.000	.011
RU103	2090.000	1.760
RU106	683.000	5.530
RH103M	2090.000	.002
RH105	1220.000	.039
RH106	771.000	.000
PD109	346.000	.004
AG109M	346.000	.000
AG110	122.000	.697
SB125	13.800	.353
SB127	123.000	.012
TE127	122.000	.001
TE129	397.000	.001
TE129M	109.000	.097
TE131M	196.000	.007
TE132	1850.000	.165
I131	1290.000	.281
I132	1880.000	.005
I133	2670.000	.064
I135	2470.000	.019
XE133	2670.000	.393
XE133M	381.000	.024
XE135	579.000	.006
CS134	393.000	8.180
CS136	76.600	.028
CS137	164.000	51.200
BA137M	156.000	.000
BA140	2310.000	.856
LA140	2370.000	.115
CE141	2180.000	2.050
CE143	2030.000	.083
CE144	1730.000	14.700
PR143	2020.000	.809
PR144	1750.000	.001
PR145	1370.000	.010
ND147	910.000	.304
PM147	151.000	4.400
PM148	283.000	.046
PM149	895.000	.061
PM151	249.000	.009
SM153	628.000	.038
EU154	18.500	1.830
EU156	309.000	.152
U234	.002	6.780
U235	.000	466.000
U236	.000	195.000
U237	1300.000	.429
U238	.000	36300.000
NP238	572.000	.059
NP239	25600.000	2.950
PU238	4.830	7.730
PU239	.433	191.000
PU240	.601	73.700
PU241	130.000	34.600
PU242	.002	13.800
CM242	40.500	.331
CM244	5.790	1.940
TOTAL	93377.852	37421.066

bijlage D Belangrijkste nucliden voor 4,4 % kern bij 39,1 MWd/kg

t=0 d		
Nuclide	PBq	kg
KR 85	16.300	1.120
SR 89	1310.000	1.260
SR 90	137.000	26.100
SR 91	1580.000	.012
Y 90	142.000	.007
Y 91	1700.000	1.870
Y 91M	912.000	.001
Y 93	1940.000	.016
ZR 95	2290.000	2.950
ZR 97	2200.000	.031
NB 95	2340.000	1.600
NB 97	2220.000	.002
NB 97M	1900.000	.000
MO 99	2380.000	.135
TC 99M	2060.000	.011
RU103	2060.000	1.740
RU106	705.000	5.690
RH103M	2060.000	.002
RH105	1200.000	.039
RH106	790.000	.000
PD109	345.000	.004
AG109M	345.000	.000
AG110	134.000	.764
SB125	14.800	.382
SB127	121.000	.012
TE127	120.000	.001
TE129	391.000	.001
TE129M	107.000	.096
TE131M	194.000	.007
TE132	1820.000	.161
I131	1280.000	.280
I132	1860.000	.005
I133	2640.000	.063
I135	2440.000	.019
XE133	2640.000	.385
XE133M	377.000	.023
XE135	585.000	.006
CS134	454.000	9.470
CS136	83.300	.031
CS137	183.000	57.000
BA137M	174.000	.000
BA140	2280.000	.843
LA140	2350.000	.115
CE141	2160.000	2.050
CE143	2010.000	.082
CE144	1760.000	14.900
PR143	2000.000	.802
PR144	1780.000	.001
PR145	1350.000	.010
ND147	907.000	.302
PM147	154.000	4.470
PM148	284.000	.046
PM149	888.000	.061
PM151	246.000	.009
SM153	655.000	.040
EU154	21.600	2.170
EU156	345.000	.169
U234	.002	7.160
U235	.000	484.000
U236	.001	217.000
U237	1400.000	.464
U238	.000	36100.000
NP238	660.000	.068
NP239	24700.002	2.880
PU238	6.170	9.870
PU239	.432	190.000
PU240	.613	75.100
PU241	137.000	36.300
PU242	.002	15.800
CM242	46.900	.381
CM244	8.020	2.680
TOTAL	92400.141	37279.070

bijlage E Belangrijkste nucliden voor 4,2 % kern bij 36,9 MWd/kg

t=0 d		
Nuclide	PBq	kg
KR 85	15.500	1.060
SR 89	1320.000	1.260
SR 90	130.000	24.800
SR 91	1590.000	.012
Y 90	134.000	.007
Y 91	1710.000	1.870
Y 91M	915.000	.001
Y 93	1950.000	.016
ZR 95	2300.000	2.980
ZR 97	2210.000	.031
NB 95	2350.000	1.620
NB 97	2230.000	.002
NB 97M	1910.000	.000
MO 99	2400.000	.135
TC 99M	2070.000	.011
RU103	2080.000	1.750
RU106	694.000	5.610
RH103M	2080.000	.002
RH105	1210.000	.039
RH106	781.000	.000
PD109	346.000	.004
AG109M	346.000	.000
AG110	128.000	.731
SB125	14.300	.368
SB127	122.000	.012
TE127	121.000	.001
TE129	394.000	.001
TE129M	108.000	.097
TE131M	195.000	.007
TE132	1840.000	.163
I131	1290.000	.280
I132	1870.000	.005
I133	2650.000	.063
I135	2460.000	.019
XE133	2660.000	.389
XE133M	379.000	.023
XE135	582.000	.006
CS134	424.000	8.820
CS136	79.900	.029
CS137	174.000	54.100
BA137M	165.000	.000
BA140	2290.000	.849
LA140	2360.000	.115
CE141	2170.000	2.050
CE143	2020.000	.082
CE144	1750.000	14.800
PR143	2010.000	.806
PR144	1760.000	.001
PR145	1360.000	.010
ND147	908.000	.303
PM147	153.000	4.430
PM148	284.000	.046
PM149	892.000	.061
PM151	248.000	.009
SM153	641.000	.039
EU154	20.000	2.000
EU156	327.000	.161
U234	.002	6.970
U235	.000	475.000
U236	.000	206.000
U237	1350.000	.446
U238	.000	36200.000
NP238	616.000	.064
NP239	25100.002	2.920
PU238	5.500	8.800
PU239	.433	191.000
PU240	.607	74.400
PU241	134.000	35.500
PU242	.002	14.800
CM242	43.700	.356
CM244	6.900	2.310
TOTAL	92877.844	37350.648

bijlage F Belangrijkste nucliden voor 4,8 % kern bij 46,3 MWd/kg

t=0 d		
Nuclide	PBq	kg
KR 85	18.800	1.290
SR 89	1290.000	1.220
SR 90	158.000	30.300
SR 91	1550.000	.011
Y 90	164.000	.008
Y 91	1670.000	1.860
Y 91M	895.000	.001
Y 93	1920.000	.016
ZR 95	2280.000	2.910
ZR 97	2180.000	.030
NB 95	2330.000	1.610
NB 97	2200.000	.002
NB 97M	1880.000	.000
MO 99	2370.000	.134
TC 99M	2050.000	.010
RU103	2080.000	1.760
RU106	770.000	6.220
RH103M	2080.000	.002
RH105	1210.000	.039
RH106	856.000	.000
PD109	361.000	.005
AG109M	361.000	.000
AG110	162.000	.915
SB125	17.000	.437
SB127	122.000	.012
TE127	121.000	.001
TE129	393.000	.001
TE129M	108.000	.096
TE131M	194.000	.007
TE132	1820.000	.160
I131	1270.000	.278
I132	1850.000	.005
I133	2620.000	.062
I135	2420.000	.018
XE133	2630.000	.380
XE133M	374.000	.023
XE135	571.000	.006
CS134	569.000	11.900
CS136	93.200	.034
CS137	215.000	67.100
BA137M	204.000	.000
BA140	2260.000	.828
LA140	2340.000	.115
CE141	2140.000	2.020
CE143	1990.000	.080
CE144	1810.000	15.400
PR143	1980.000	.791
PR144	1830.000	.001
PR145	1340.000	.010
ND147	910.000	.304
PM147	156.000	4.540
PM148	289.000	.047
PM149	901.000	.061
PM151	247.000	.009
SM153	718.000	.044
EU154	27.300	2.720
EU156	412.000	.201
U234	.002	7.040
U235	.000	447.000
U236	.001	243.000
U237	1560.000	.513
U238	.000	35800.000
NP238	809.000	.084
NP239	24500.000	2.870
PU238	8.740	14.000
PU239	.436	192.000
PU240	.648	79.500
PU241	150.000	39.900
PU242	.003	19.900
CM242	55.800	.457
CM244	13.800	4.580
TOTAL	92875.719	37006.875

Bijlage G: Nuclide-inventaris activiteit en gewicht, van ontladen splijtstofelementen met een beginverrijking van 4.0% U-235 na 3 en 500 dagen

t=3 d		
Nuclide	TBq	kg
KR 85	153.00	.010
SR 89	4350.00	.004
SR 90	1300.00	.248
SR 91	30.20	.000
Y 90	1310.00	.000
Y 91	5990.00	.007
Y 91M	19.00	.000
Y 93	59.10	.000
ZR 95	9260.00	.012
ZR 97	494.00	.000
NB 95	9990.00	.007
NB 97	500.00	.000
NB 97M	426.00	.000
MO 99	5020.00	.000
TC 99M	4760.00	.000
RU103	10100.00	.009
RU106	6420.00	.052
RH103M	10100.00	.000
RH105	1980.00	.000
RH106	6420.00	.000
PD109	55.60	.000
AG109M	55.60	.000
AG110	1420.00	.008
SB125	151.00	.004
SB127	390.00	.000
TE127	476.00	.000
TE129	333.00	.000
TE129M	525.00	.000
TE131M	183.00	.000
TE132	4470.00	.000
I131	4770.00	.001
I132	4600.00	.000
I133	1090.00	.000
I135	5.57	.000
XE133	9660.00	.001
XE133M	993.00	.000
XE135	121.00	.000
CS134	4830.00	.101
CS136	492.00	.000
CS137	1860.00	.578
BA137M	1760.00	.000
BA140	8410.00	.003
LA140	9380.00	.000
CE141	8900.00	.009
CE143	1880.00	.000
CE144	11000.00	.093
PR143	7840.00	.003
PR144	11000.00	.000
PR145	1.38	.000
ND147	3430.00	.001
PM147	1100.00	.032
PM148	1000.00	.000
PM149	1600.00	.000
PM151	217.00	.000
SM153	1480.00	.000
EU154	254.00	.025
EU156	2330.00	.001
U234	.01	.038
U235	.00	1.730
U236	.00	1.890
U237	6010.00	.002
U238	.00	297.000
NP238	1860.00	.000
NP239	56400.00	.007
PU238	74.90	.120
PU239	3.81	1.690
PU240	6.38	.782
PU241	1560.00	.415
PU242	.03	.207
CM242	576.00	.005
CM244	111.00	.037
TOTAL	253346.58	305.134

t=500 d

Nuclide	TBq	kg
KR 85	140.00	.010
SR 89	5.77	.000
SR 90	1250.00	.240
Y 90	1250.00	.000
Y 91	16.70	.000
ZR 95	48.20	.000
NB 95	103.00	.000
RU103	1.68	.000
RU106	2530.00	.021
RH103M	1.68	.000
RH106	2530.00	.000
AG110	361.00	.002
SB125	107.00	.003
TE127	4.83	.000
TE129	.01	.000
TE129M	.02	.000
CS134	3060.00	.064
CS137	1800.00	.560
BA137M	1700.00	.000
CE141	.22	.000
CE144	3260.00	.028
PR144	3260.00	.000
PM147	797.00	.023
PM148	.01	.000
EU154	227.00	.023
U234	.01	.039
U235	.00	1.730
U236	.00	1.890
U237	.04	.000
U238	.00	297.000
NP239	.55	.000
PU238	76.80	.123
PU239	3.85	1.690
PU240	6.38	.784
PU241	1460.00	.389
PU242	.03	.207
CM242	69.70	.001
CM244	105.00	.035
TOTAL	24176.48	304.861

bijlage H

Nuclide-inventaris activiteit en gewicht, van ontladen splijtstofelementen
met een beginverrijking van 4.4% U-235 na 3 en 500 dagen

t=3 d		
Nuclide	TBq	kg
KR 85	169.00	.012
SR 89	3910.00	.004
SR 90	1460.00	.279
SR 91	27.60	.000
Y 90	1480.00	.000
Y 91	5390.00	.006
Y 91M	17.40	.000
Y 93	54.60	.000
ZR 95	8510.00	.011
ZR 97	461.00	.000
NB 95	9130.00	.006
NB 97	467.00	.000
NB 97M	398.00	.000
MO 99	4700.00	.000
TC 99M	4470.00	.000
RU103	9650.00	.008
RU106	6410.00	.052
RH103M	9670.00	.000
RH105	1930.00	.000
RH106	6410.00	.000
PD109	55.20	.000
AG109M	55.40	.000
AG110	1530.00	.009
SB125	161.00	.004
SB127	372.00	.000
TE127	453.00	.000
TE129	317.00	.000
TE129M	500.00	.000
TE131M	173.00	.000
TE132	4210.00	.000
I131	4480.00	.001
I132	4310.00	.000
I133	1020.00	.000
I135	5.20	.000
XE133	9040.00	.001
XE133M	931.00	.000
XE135	115.00	.000
CS134	5580.00	.117
CS136	551.00	.000
CS137	2090.00	.652
BA137M	1980.00	.000
BA140	7850.00	.003
LA140	8780.00	.000
CE141	8310.00	.008
CE143	1750.00	.000
CE144	10200.00	.086
PR143	7320.00	.003
PR144	10200.00	.000
PR145	1.29	.000
ND147	3270.00	.001
PM147	1080.00	.032
PM148	971.00	.000
PM149	1470.00	.000
PM151	207.00	.000
SM153	1530.00	.000
EU154	298.00	.030
EU156	2660.00	.001
U234	.01	.038
U235	.00	1.530
U236	.00	2.090
U237	6350.00	.002
U238	.00	294.000
NP238	2140.00	.000
NP239	53800.00	.006
PU238	97.30	.156
PU239	3.81	1.680
PU240	6.50	.798
PU241	1630.00	.432
PU242	.03	.239
CM242	704.00	.006
CM244	159.00	.053
TOTAL	243431.36	302.359

t=500 d		
Nuclide	TBq	kg
KR 85	155.00	.011
SR 89	5.17	.000
SR 90	1410.00	.269
Y 90	1410.00	.000
Y 91	15.00	.000
ZR 95	44.10	.000
NB 95	94.70	.000
RU103	1.62	.000
RU106	2520.00	.020
RH103M	1.62	.000
RH106	2520.00	.000
AG110	391.00	.002
SB125	115.00	.003
TE127	4.55	.000
TE129	.01	.000
TE129M	.02	.000
CS134	3530.00	.073
CS137	2030.00	.632
BA137M	1920.00	.000
CE141	.21	.000
CE144	3030.00	.025
PR144	3030.00	.000
PM147	779.00	.023
PM148	.01	.000
EU154	267.00	.027
U234	.01	.039
U235	.00	1.530
U236	.00	2.090
U237	.04	.000
U238	.00	294.000
NP239	.71	.000
PU238	99.60	.160
PU239	3.84	1.690
PU240	6.52	.800
PU241	1530.00	.405
PU242	.03	.239
CM242	85.40	.001
CM244	151.00	.050
TOTAL	25151.17	302.089