

INGEKOMEN - 1 JAART 1996

716-31^{2e}
EPZ^{2/5}



**Milieu-effectrapport
Optimalisatie splijtstof
kernenergie-eenheid centrale Borssele**

KEMA

INHOUD

blz.

SAMENVATTING

S.1

VERKLARENDE LIJST VAN BEGRIPPEN, SYMBOLEN, VOORVOEGSELS
EN ELEMENTEN

V.1

1	Inleiding	1.1
1.1	Voorgeschiedenis en aanleiding tot toepassen optimalisatie in KCB	1.1
1.2	Reikwijdte en procedure m.e.r. Optimalisatie-KCB	1.1
1.3	Inhoud MER	1.2
2	Probleemstelling en doel	2.1
2.1	KCB en het energiebeleid	2.1
2.1.1	Beleidsdoelstellingen elektriciteitsproductie	2.1
2.1.2	Elektriciteitsplan	2.2
2.1.3	Levensduur KCB	2.3
2.2	Internationale ontwikkelingen inzake splijtstoffen	2.4
2.3	Economische aspecten	2.8
2.4	Doelstelling van de voorgenomen activiteit	2.11
3	Besluitvorming en randvoorwaarden	3.1
3.1	Inleiding	3.1
3.2	Randvoorwaarden	3.1
3.2.1	Wet- en regelgeving	3.1
3.2.2	Geldende vergunningen	3.3
3.2.3	Nota's inzake risicobeleid	3.3
3.2.4	Verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens	3.7
3.2.5	Overige overheidsplannen en -regelingen	3.7
3.2.6	Veiligheidsrapport	3.8
3.2.7	Beleid inzake radioactief afval	3.8
3.3	Besluitvorming	3.9
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

INHOUD (vervolg)

	blz.
4.2.3	Kernsplijtingsproces 4.8
4.2.4	Splijstofelementen 4.10
4.2.5	Opslag splijstofelementen 4.15
4.2.6	Veiligheidsvoorzieningen 4.18
4.2.7	Overige relevante systemen en voorzieningen 4.21
4.2.8	Bedrijfservaringen 4.22
4.3	Voorgenomen optimalisatie splijstof 4.22
4.4	Alternatieven 4.28
5	Bestaande toestand van het milieu 5.1
5.1	Inleiding 5.1
5.2	Lozingen bij normaal bedrijf 5.1
5.3	Grondgebruik 5.2
5.4	Veiligheid 5.5
5.4.1	Inleiding 5.5
5.4.2	Beschouwde ongevallen 5.7
5.4.3	Ongevalsanalyses 5.7
5.4.3.1	Inleiding 5.7
5.4.3.2	Kerninventaris 5.8
5.4.3.3	Thermohydraulische analyses 5.8
5.4.3.4	Radiologische analyses 5.10
5.4.4	Probabilistic Safety Assessment (PSA) 5.14
5.4.4.1	Inleiding 5.14
5.4.4.2	Werkwijze PSA 5.16
5.4.4.3	Resultaten PSA 5.17
5.4.5	Onderkriticaliteit in het splijstofopslagbassin 5.23
5.5	Luchtkwaliteit 5.23
5.5.1	Achtergrondconcentraties radioactieve nucliden en straling 5.23
5.5.2	Bijdragen KCB aan luchtkwaliteit 5.25
5.5.2.1	Omgevingsmetingen 5.25
5.5.2.2	Verspreidingsberekeningen 5.28
5.5.2.3	Directe straling vanuit KCB 5.31
5.6	Waterkwaliteit 5.34
5.6.1	Algemene beschrijving waterlopen 5.34
5.6.2	Biologische waterkwaliteit 5.35
5.6.3	Radiologische waterkwaliteit 5.35

INHOUD (vervolg)

	blz.
5.6.4	Radiologische bijdragen 5.37
5.6.5	Radioactieve nucliden in aquatisch biologisch materiaal 5.38
5.6.6	Autonome ontwikkelingen van het watermilieu 5.39
5.7	Bodem: depositie van radioactieve stoffen 5.40
5.8	Bijdragen KCB aan de totale stralingsbelasting 5.42
5.8.1	Dosisbijdragen 5.42
5.8.2	Effecten en toetsing aan risicocriteria 5.44
5.9	Radioactief afval en gebruikte splijtstofelementen 5.45
5.10	Verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens 5.48
6	Milieugevolgen van de beoogde situatie en de alternatieven 6.1
6.1	Inleiding 6.1
6.2	Lozingen en stralingbelasting bij normaal bedrijf 6.1
6.3	Aanvullende veiligheidsmaatregelen 6.3
6.3.1	Algemeen 6.3
6.3.2	Onderkriticaliteit in het splijtstofopslagbassin 6.4
6.3.3	Benodigde ruimte in het splijtstofopslagbassin 6.5
6.4	Veiligheid 6.5
6.4.1	Inleiding 6.5
6.4.2	Beschouwde ongevallen 6.5
6.4.3	Ongevalsanalyses 6.6
6.4.3.1	Inleiding 6.6
6.4.3.2	Kerninventaris 6.6
6.4.3.3	Thermohydraulische analyses 6.6
6.4.3.4	Radiologische analyses 6.9
6.4.4	Probabilistic Safety Assessment (PSA) 6.13
6.4.4.1	Inleiding 6.13
6.4.4.2	Resultaten 6.13
6.5	Radioactief afval en gebruikte splijtstofelementen 6.16
6.6	Verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens 6.19
7	Vergelijking van de milieugevolgen van de voorgenomen activiteit 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 7.3
7.4	Conclusies 7.6

INHOUD (vervolg)

	blz.
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
Bijlage A Veronderstelde begingebourtenissen voor analyse ontwerpgevallen	A.1
Bijlage B Nuclideninventaris van gebruikte splijtstofelementen met een beginverrijking van 3,3% U-235, per radioactiviteit en per gewicht	B.1
Bijlage C Kerninventaris van een evenwichtskern met gemiddelde opbrand bij de huidige verrijkingsgraad (maximaal 3,3%)	C.1
Bijlage D Kerninventaris van een evenwichtskern met gemiddelde opbrand bij een verrijkingsgraad van 3,8%	D.1
Bijlage E Kerninventaris van een evenwichtskern met gemiddelde opbrand bij een verrijkingsgraad van 4,0%	E.1
Bijlage F Kerninventaris van een evenwichtskern met gemiddelde opbrand bij een verrijkingsgraad van 4,2%	F.1
Bijlage G Nuclideninventaris, activiteit en gewicht, van gebruikte splijtstofelementen met een beginverrijking van 3,8% U-235 na 3 en 500 dagen	G.1
Bijlage H Nuclideninventaris, activiteit en gewicht, van gebruikte splijtstofelementen met een beginverrijking van 4,0% U-235 na 3 en 500 dagen	H.1
Bijlage I Nuclideninventaris, activiteit en gewicht, van gebruikte splijtstofelementen met een beginverrijking van 4,2% U-235 na 3 en 500 dagen	I.1
Bijlage K Toelichting op de PSA niveaus 1, 2 en 3 en de analysemethoden	K.1
Bijlage L Toelichting op de resultaten van de nieuwe analyses van de ontwerpgevallen	L.1

SAMENVATTING VAN HET MER
" OPTIMALISATIE SPLIJTSTOF KERNENERGIE-EENHEID CENTRALE BORSSELE"

INHOUD

	Blz.
1 Doel en achtergrond van de splijtstofoptimalisatie	S.2
2 Huidige splijtstofcyclus en installatie KCB	S.3
2.1 De huidige splijtstofcyclus van de KCB	S.3
2.2 De installatie van de KCB	S.6
3 Voorgenomen activiteit en alternatieven	S.8
4 Bestaande en toekomstige toestand van het milieu	S.10
4.1 Algemeen	S.10
4.2 Veiligheid	S.10
4.3 Radioactief afval en gebruikte splijtstofelementen	S.12
4.4 Stralingsbelasting bij normaal bedrijf	S.13
5 Vergelijking milieugevolgen van de beoogde situatie en de alternatieven	S.14
6 Conclusies	S.17

1 ACHTERGROND EN DOEL

Sinds 1973 is in Borssele een kernenergie-eenheid (KCB) met een vermogen van 449 MW_e in bedrijf. Sedert de inbedrijfstelling wordt er op veilige, betrouwbare en economische wijze elektriciteit mee geproduceerd en wordt aldus tevens een bijdrage geleverd aan het in stand houden en uitbreiden van de Nederlandse kennis inzake kernenergietechnologie en -exploitatie.

In 1993 heeft N.V. Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland EPZ, de huidige eigenares van de KCB, een vergunningaanvraag ingediend voor een aantal veiligheidsverhogende maatregelen. Deze vergunning werd in 1994 verleend. Het aanbrengen van deze verbeteringen zal in 1997 zijn voltooid.

EPZ studeert om bedrijfsmatige redenen al lang op mogelijkheden om de exploitatiekosten van de KCB te verlagen. Maatregelen daartoe zijn in de vorige vergunningaanvraag echter niet meegenomen omdat EPZ de veiligheidsverhoging onder geen beding wilde beperken of vertragen door discussies over andere zaken dan de veiligheid. Daarom wordt thans separaat vergunning aangevraagd voor een tweetal maatregelen die de kosten verlagen zonder de veiligheid aan te tasten. Deze maatregelen bestaan uit de toepassing van energierijkere en een enigszins grotere hoeveelheid splijtstof (de "brandstof") in de KCB zonder het vermogen van de installatie te vergroten. Voor dergelijke wijzigingen moet krachtens het Besluit Milieu-effectrapportage een Milieu-effectrapport (MER) opgesteld worden.

Dit MER maakt onderdeel uit van de vergunningaanvraag voor de wijzigingen aan de splijtstof en is opgesteld op basis van de richtlijnen, die het bevoegd gezag - de ministers van Economische Zaken, van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, van Sociale Zaken en Werkgelegenheid en van Volksgezondheid, Welzijn en Sport daarvoor in november 1995 heeft vastgesteld. Bij het samenstellen van deze richtlijnen heeft het bevoegd gezag zich laten adviseren door onder andere de Commissie voor de milieu-effectrapportage. Met betrekking tot de richtlijnen is iedereen de mogelijkheid van inspraak geboden. Het beoogde tijdpad voor de wijzigingen aan de splijtstof ziet er als volgt uit:

- februari 1996	indiening vergunningaanvraag en MER
- beschikking	september 1996
- toepassing eerste extra verrijkte splijtstof	bij splijtstofwisseling 1998
- volledige toepassing hogere verrijking	bij splijtstofwisseling 2002

Het doel van de activiteit waarvoor vergunning wordt aangevraagd kan samengevat worden tot: "het gebruik van de splijtstof in de KCB te optimaliseren door in nieuwe splijtstofelementen splijtstof met een verrijkingsgraad van maximaal 4,0% toe te passen en de hoeveelheid splijtstof per splijtstofstaaf met maximaal 2% te verhogen met het doel een aanzienlijke besparing op de splijtstofkosten te realiseren zonder daarbij het vermogen te vergroten."

2 HUIDIGE SPLITSTOF CYCLUS EN INSTALLATIE KCB

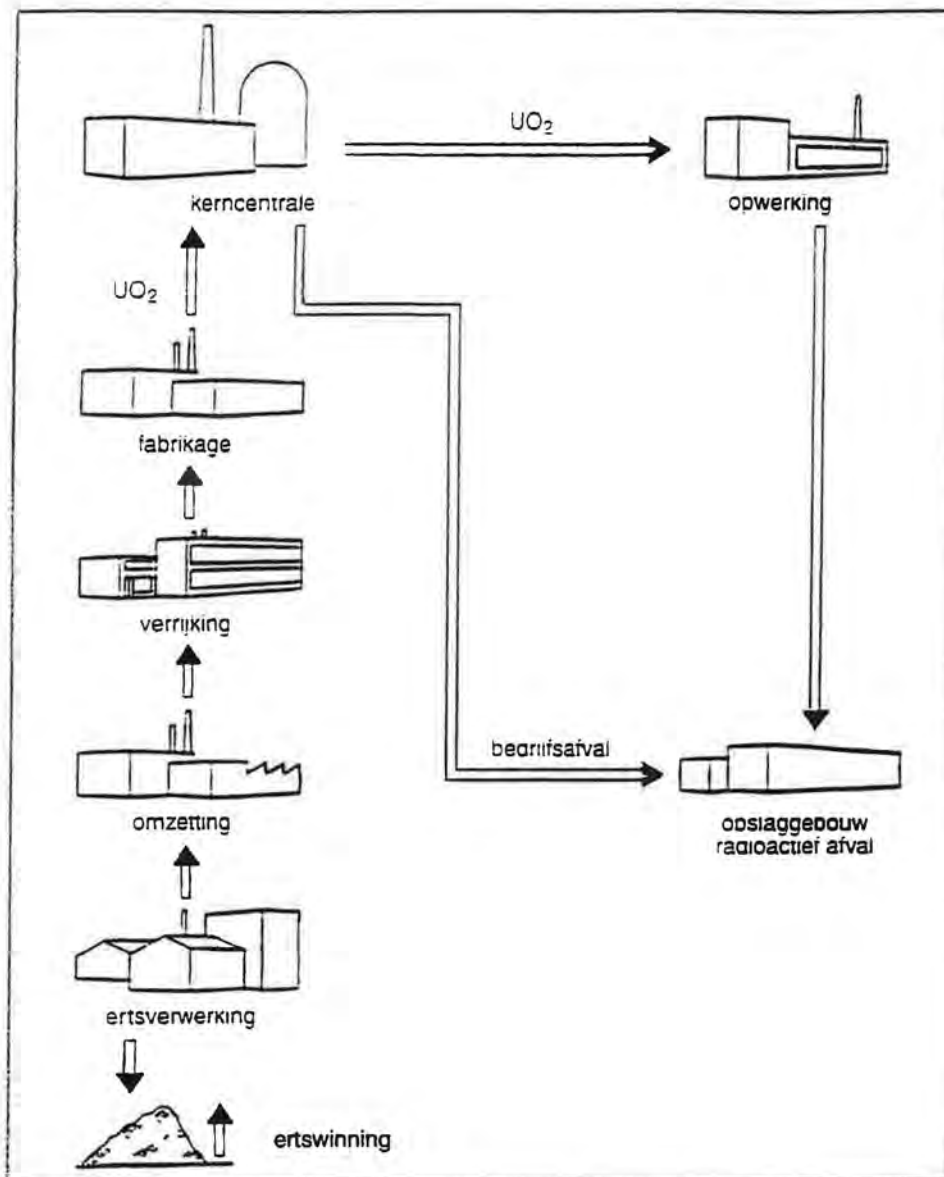
2.1 De huidige splijstofcyclus van de KCB

De opeenvolging van de verschillende bewerkingen van de materialen die nodig zijn voor kernsplijting wordt de splijstofcyclus genoemd.

De splijstofcyclus voor de in West-Europa gebruikelijke kernenergiecentrales kan in de volgende fasen onderscheiden worden:

- 1 de winning van uranium uit erts en de omzetting van uraniumconcentraat in uraniumoxide (U_3O_8)
- 2 de omzetting van het vaste U_3O_8 in het gasvormige uraniumhexafluoride (UF_6)
- 3 de verrijking, waarbij de concentratie van het splijtbaar isotoop uranium-235 van 0,7% verhoogd wordt tot 2 à 5%, voor de KCB thans tot 3,3%
- 4 de omzetting van uraniumhexafluoride in vast uraniumdioxide (UO_2) in de splijstofabriek
- 5 de fabricage van splijstofelementen. Het uraniumdioxide wordt tot tabletten geperst en gesinterd. De tabletten worden verpakt in metalen staven (splijstofstaven) die vervolgens worden gebundeld tot splijstofelementen
- 6 de versplijting van het uranium in kernenergiereactoren: hierbij neemt de concentratie van het splijtbaar uraniumisotoop uranium-235 af van 3,3% tot ongeveer 0,7 gewichtsprocent en worden radioactieve splijtings- en activeringsprodukten gevormd
- 7 de opwerking: in deze fase wordt na gebruik in de reactor de splijstof langs chemische weg in drie fracties gescheiden: uranium, plutonium en splijtingsprodukten
- 8 de verwerking en opslag van de splijtingsprodukten.

Aangezien de diverse activiteiten veelal op verschillende plaatsen gebeuren, zijn materiaaltransporten nodig. Een schema van deze splijstofcyclus is weergegeven in figuur S.1.



Figuur S.1 De splijtstofcyclus van de KCB



Figuur S.2 Ligging van de kernenergiecentrale Borssele (schaal 1:200.000)
96-01-31

2.2 De installatie van de KCB

De ligging van de KCB is te zien in figuur S.2. Voorts zijn enkele karakteristieke gegevens in tabel S.1 vermeld.

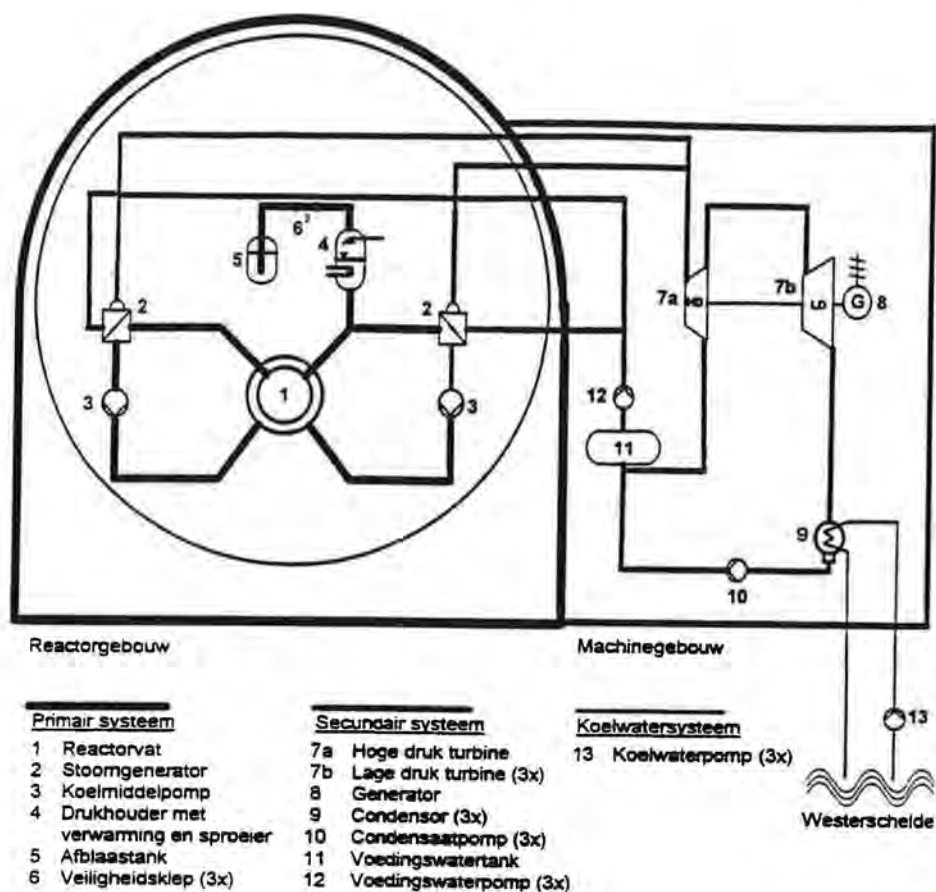
Tabel S.1 Karakteristieke gegevens van de kernenergiecentrale

Netto elektrische vermogen	449	MW _e
Thermisch vermogen van de reactor	1.366	MW _{th}
Netto rendement	33	%
Primair systeem		
Systeemdruk	155	bar
Gemiddelde temperatuur	305	°C
Secundair systeem		
Stoomdruk	58	bar
Stoomtemperatuur	260	°C

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 S.3). Deze splijting vindt plaats in de splijtstoftabletten die op elkaar gestapeld zijn in splijtstofstaven. De splijtstofstaven zijn samengebundeld tot splijtstofelementen. De in de staven geproduceerde warmte wordt overgedragen aan het koelmiddel, dat bestaat uit water waaraan borium is toegevoegd. Dit koelmiddel wordt in een kringloop, de primaire kringloop genoemd, rondgepompt. Het staat daarbij onder hoge druk, zodat het bij het opnemen van de geproduceerde warmte niet gaat koken. Het koelmiddel staat de warmte weer af aan een tweede (secundaire) kringloop. Dit vindt plaats in stoomgeneratoren (2), waar het water uit de secundaire kringloop in stoom wordt omgezet. Na afschakeling van de reactor blijft de kern door de aanwezigheid van radioactieve splijtingsprodukten nog warmte produceren. Ook na stoppen van de reactor dient deze warmte (restwarmte), die enkele procenten van de hoeveelheid bij volle belasting bedraagt, nog te worden afgevoerd.

Nadat in de reactor de splijtstof van de elementen grotendeels is verbruikt, worden de elementen in een splijtstofopslagbassin geplaatst en na een afkoelperiode van minimaal een jaar, waarin een deel van de radioactiviteit is vervallen, in een speciaal daarvoor ontworpen container verzonden naar een opwerkingsfabriek. Ook het opslagbassin is voorzien van een koelsysteem.

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



Figuur S.3 Overzichtsschema van de installatie

Aan de primaire kringloop is een drukhouder aangesloten (4), waarmee door sproeien of door elektrisch verwarmen de optredende druk- en volumevariaties worden gecompenseerd. Op de drukhouder bevinden zich afblaas- en veiligheidskleppen (6).

De centrale is uitgerust met een nucleair ventilatiesysteem. Met behulp van ventilatoren wordt in de verschillende ruimten binnen het reactorgebouw een van buiten naar binnen toenemende onderdruk in stand gehouden. Daardoor kunnen 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 naar de omgeving wordt gevoerd. De afgevoerde lucht uit bovengenoemde ruimten alsmede de luchtafvoer door de ventilatieschacht worden bewaakt op radioactiviteit. Tevens wordt in de ventilatieschacht de doorstromende hoeveelheid gemeten. Bij een te grote toename van de activiteit in de lucht binnen de veiligheidsomhulling wordt de toe- en afvoer van de lucht bij de doorvoeringen van de veiligheidsomhulling direct, automatisch afgesloten. Ook de lozing van radioactieve stoffen op de Westerschelde wordt bewaakt en zonodig automatisch stop gezet.

Bij de KCB is een omvangrijk pakket veiligheidsvoorzieningen geïnstalleerd. De belangrijkste worden hierna vermeld. Het reactorsnelafschakelsysteem dient om de reactor binnen enkele seconden te kunnen uitschakelen. De reactor dient te allen tijde gekoeld te kunnen worden. Daartoe dienen de volgende systemen:

- kerninundatie- en nakoelsysteem
- primair reservesuppletiesysteem
- noodvoedingswatersysteem
- secundair reservesuppletiesysteem

Voorts kunnen als veiligheidssysteem het reactorbeveiligingssysteem en de noodstroomvoorziening genoemd worden die er toe dienen dat de reactor altijd bestuurbaar blijft. Tot slot wordt het drukontlastsysteem van de veiligheidsomhulling vermeld dat dient om bezwijken van de veiligheidsomhulling te voorkomen als bij een zeer ernstig ongeval de druk te hoog oploopt.

Voor brandbestrijding zijn diverse blussystemen aanwezig.

Voor de zorg betreffende de niet-nucleaire milieu-aspecten is een milieuzorgsysteem opgezet.

3 VOORGENOMEN ACTIVITEIT EN DE ALTERNATIEVEN

De mogelijkheden kosten te besparen bij een bestaande kernenergiecentrale zonder de veiligheid aan te tasten zijn beperkt. De kosten van een kernenergiecentrale kunnen opgesplitst worden in investerings-, splijtstof- en bediening- en onderhoudskosten. De investeringskosten bij de KCB zijn besteed en kunnen slechts verlaagd worden door de KCB langer in bedrijf te houden. In het laatste Elektriciteitsplan 1995-2004 is als voorziene datum voor de uitbedrijfstelling van de KCB 1 januari 2004 opgenomen. Ook op bedienings- en onderhoudskosten kan niet wezenlijk worden bespaard zonder de veiligheid in het geding te brengen. De splijtstofkosten, die in doorsnee 25 à 30 procent van de opwekkingskosten vormen, kunnen in principe wel verminderd worden. EPZ heeft de mogelijkheden daartoe geïnventariseerd. Deze zijn:

- optimalisatie herlading
- andere constructiematerialen voor de splijtstofelementen
- andere vorm splijtstoftabletten
- hogere verrijkingsgraad
- andere samenstelling splijtstoffen
- toevoegen neutronenabsorber

Daadwerkelijke toepassing van deze opties is wat EPZ betreft beperkt door de volgende uitgangspunten:

- wijzigingen mogen geen experimenteel karakter hebben
- de veiligheid en de bedrijfsvoering mogen er niet nadelig door beïnvloed worden
- omvangrijke wijzigingen aan het splijtstofopslagbassin en andere systemen, zoals het boringssysteem zijn niet acceptabel. Dergelijke grote wijzigingen zijn namelijk gezien de nog voorziene resterende bedrijfsduur economisch niet verantwoord.

Evaluatie van genoemde opties op grond van deze uitgangspunten heeft opgeleverd dat slechts de toepassing van splijtstof met een hogere verrijkingsgraad en een enigszins andere vorm van de splijtstoftabletten reële opties zijn. De kern van de voorgenomen activiteit bestaat dan ook uit een hogere beginverrijking (4,0%) van nieuwe elementen en toepassing van een andere vorm van de splijtstoftabletten, waardoor de hoeveelheid splijtstof in de kern maximaal 2% toeneemt. Met deze wijzigingen zijn besparingen van enkele miljoenen gulden per jaar mogelijk. De situatie inclusief de voorgenomen activiteit wordt in dit MER de beoogde situatie genoemd. Reële alternatieven zijn slechts te vinden in varianten op de voorgenomen hogere beginverrijking. Van deze alternatieven zullen dan ook de milieu-effecten worden vergeleken. De belangrijkste aspecten van de bestaande en de beoogde situatie van deze alternatieven zijn weergegeven in tabel S2.

Tabel S2 Verschillen tussen de bestaande situatie, de beoogde situatie en de uitvoeringsalternatieven

	bestaande situatie	beoogde situatie	alternatief 3,8%	alternatief 4,2%
beginverrijking (%U-235)	3,3	4,0	3,8	4,2
hoeveelheid splijtstof in de kern (1000 kg)	38	39	39	39

De hogere verrijking heeft wel tot gevolg dat de elementen langer in de kern blijven en verder opbranden.

Opgemerkt wordt nog dat om technische redenen vooralsnog afgezien wordt van de toepassing van gadolinium terwijl de mogelijkheid daartoe in de startnotitie nog open gehouden was.

4 BESTAANDE EN TOEKOMSTIGE TOESTAND VAN HET MILIEU

4.1 Algemeen

De voorgenomen activiteit en de alternatieven hebben geen enkele invloed op de normale bedrijfsvoering en op de niet-nucleaire milieu-aspecten, zoals thermische lozing van koelwater, geluid, landschappelijke aspecten etcetera. Deze aspecten worden dan ook niet beschreven.

De veiligheid en het radioactief afval van kernenergiecentrales zijn de belangrijkste milieu-aspecten. Deze aspecten zullen dan ook in de volgende paragrafen uitvoerig worden belicht. De stralingsbelasting ten gevolge van kernenergiecentrales bij normaal bedrijf is zeer klein in verhouding tot de natuurlijke stralingsbelasting. De voorgenomen activiteit en de alternatieven hebben daar enige invloed op. Deze invloed wordt beknopt in paragraaf 4.4 behandeld.

Ten aanzien van splijtstoffen die toegepast worden in kernenergiecentrales leeft bij menigeen de gedachte dat deze benut zouden kunnen worden voor kernwapens. Deze splijtstoffen zijn daarvoor echter niet direct bruikbaar. Dankzij naleving binnen Nederland van het verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens is een bijdrage van de KCB aan de verspreiding van kernwapens praktisch uit te sluiten. Ook de Tweede Kamer heeft geconcludeerd dat er uit non-proliferatie-oogpunt geen argumenten zijn tegen de verder toepassing van kernenergie in ons land.

4.2 Veiligheid

Het toepassen van een hogere beginverrijking vraagt een aanpassing aan het splijtstof-opslagbassin. In dit bassin worden de verse splijtstofelementen bewaard tot ze in de kern worden geplaatst en de opgebrande elementen tot ze naar de opwerkingsfabriek kunnen worden gezonden. Zonder maatregelen zouden de veiligheidsmarges ten opzichte van de situatie waarbij kernreacties zouden kunnen optreden, kleiner worden. Om dit te voorkomen wordt een aantal plaatsen in dit opslagbassin ontoegankelijk gemaakt voor splijtstofelementen. De wijze waarop dit gebeuren zal, wordt nog uitgewerkt.

In het kader van de nucleaire veiligheid worden storingen en ongevallen onderscheiden. Bij ongevallen kan er forse schade aan veiligheidsrelevante onderdelen van de installatie ontstaan of kan er sprake zijn van abnormale lozingen van radioactiviteit. Ongevallen worden onderscheiden in:

- ontwerp-ongevallen: ongevallen waartegen de installatie is ontworpen
- buiten-ontwerp-ongevallen: ongevallen, waartegen de installatie niet is ontworpen en waarbij de veiligheidssystemen falen, de reactorkern onvoldoende gekoeld wordt en grote lozingen kunnen plaatsvinden.

Beide typen ongevallen worden met steeds betere technieken geanalyseerd. Deze analyses zijn en worden ook voor de KCB uitgevoerd. Ook in het kader van de onderhavige splijtstof-optimalisatie heeft EPZ diverse ongevals- en veiligheidsanalyses uitgevoerd. De aanpak en de resultaten van deze analyses worden in het navolgende besproken.

Ontwerpongevallen

In studies aangaande de toepassing van hogere verrijking is aangetoond dat de ontwerpongevallen ook dan adequaat beheerst worden. Uit stralingsberekeningen betreffende die ongevallen blijkt dat de stralingsdoses die omwonenden kunnen oplopen ruim onder de daarvoor geldende criteria blijven. Ten opzichte van de bestaande situatie nemen deze stralingsdoses licht af.

Buiten-ontwerpongevallen

De invloed van de verrijkingsgraad op de verschillende aspecten van buiten-ontwerpongevallen is weergegeven in tabel S3.

Tabel S3 Invloed van de verrijkingsgraad op de buiten-ontwerpongevallen vergeleken met de bestaande situatie

	situaties met verrijkingsgraden			
	bestaand 3,3%	alternatief 3,8%	beoogd 4,0%	alternatief 4,2%
buiten-ontwerpongevallen				
- kans op kernsmelten	$4,3 \cdot 10^{-5}$	0%	0%	0%
- individueel risico (per jaar)	$3 \cdot 10^{-8}$	+4%	+5%	+6%
- groepsrisico	n.v.t. ¹⁾	n.v.t. ¹⁾	n.v.t. ¹⁾	n.v.t. ¹⁾

¹⁾ kans op 10 directe dodelijke slachtoffers kleiner dan 10^{-10} per jaar en daarom niet van toepassing

Ter toelichting daarop dient het volgende. Aangezien de installatie en de veiligheidssystemen gelijk blijven, blijkt de kans op zeer ernstige ongevallen, waarbij kernsmelten optreedt, verwaarloosbaar te veranderen ten opzichte van de bestaande situatie.

Het belangrijkste effect van de voorgenomen activiteit en de alternatieven wordt veroorzaakt door de verandering in de kemsamenstelling bij het toepassen van hogere verrijkingsgraden. Berekeningen van de kansen op overlijden van omwonenden hebben aangetoond dat als gevolg van de voorgenomen activiteit het individueel risico (de kans dat een omwonende door een ongeval met de KCB overlijdt) met 5% toeneemt.

Het groepsrisico is gedefinieerd als de kans per jaar dat gelijktijdig een groep van tenminste 10 personen het dodelijk slachtoffer is van een bepaald ongeval. Daarbij worden bij grotere aantallen slachtoffers lagere kansen geaccepteerd. In de bestaande situaties is het groepsrisico niet van toepassing en dit blijft in de beoogde situatie het geval omdat minder dan 10

directe dodelijke slachtoffers verwacht worden, terwijl het groepsrisico tenminste 10 directe dodelijke slachtoffers veronderstelt.

Berekeningen betreffende de alternatieven hebben aangetoond dat het individueel risico licht toeneemt met toenemende verrijking. Deze toename is evenwel niet significant te noemen. Het risico blijft in alle situaties 30 maal kleiner dan het maximaal toelaatbare risico. Het groepsrisico blijft niet van toepassing.

Aangezien in Nederland reeds ruim tot zeer ruim aan de veiligheidscriteria wordt voldaan geldt dit zeker voor het buitenland (de Belgische grens is op minstens 15 km van de KCB verwijderd).

Opgemerkt wordt nog dat de waarden van de risico's zoals hier gepresenteerd voor de bestaande situatie ten gevolge van meer gedetailleerde analyses en extra maatregelen bij ongevallen in het algemeen lager zijn dan de waarden in het MER Modificaties kernenergie-eenheid Borssele (1993), waarin de effecten van veiligheidsverhogende wijzigingen zijn beschreven.

4.3 Radioactief afval en gebruikte splijtstofelementen

Een kernenergiecentrale produceert tijdens 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. Door de voorgenomen activiteit vinden geen veranderingen van betekenis plaats in aard en hoeveelheid van de gasvormige en vloeibare afvalstoffen. Dit geldt ook voor het laagradioactieve vaste afval. Deze afvalstoffen worden daarom niet besproken. De hoeveelheid verbruikte splijtstofelementen verandert echter wezenlijk. Daarom wordt dit soort afval nader onder de loep genomen.

De splijtstofelementen worden na gebruik verwijderd uit het reactorvat en gedurende een bepaalde tijd opgeslagen in het splijtstofopslagbassin. In deze tijd neemt de activiteit van de elementen door radioactief verval af. Na deze opslag worden ze afgevoerd voor opwerking elders. Het transport vindt plaats in speciaal voor dit doel ontworpen splijtstoftransportcontainers. De splijtstofelementen worden getransporteerd naar de opwerkingsfabriek van Cogema in La Hague (Frankrijk) waar de gebruikte splijtstof wordt gescheiden in opnieuw bruikbare splijtstof en radioactief afval. Jaarlijks wordt thans globaal 1/3 deel van de uit 121 splijtstofelementen bestaande kern afgevoerd. Voor de opwerking zijn langlopende contracten afgesloten tussen Cogema en EPZ. Het radioactieve afval, dat bij de opwerking vrij komt, wordt vanaf het jaar 2000 geretourneerd naar Nederland en zal worden opgeslagen bij COVRA te Borssele.

Het aantal gebruikte splijtstofelementen dat bij de verschillende alternatieven jaarlijks uit de kern zal worden ontladen, is weergegeven in tabel S4. Uit deze tabel blijkt dat ook de totale activiteit van de verbruikte splijtstofelementen op het moment van transport naar de opwerkingsfabriek en de hoeveelheid plutonium daarin dalen met toenemende verrijking. De

afname van de hoeveelheid plutonium komt doordat door de langere verblijftijd van de elementen in de kern, het gevormde plutonium weer afgebroken wordt.

Tabel S4 Invloed van de verrijkingsgraad op het gemiddeld aantal te ontladen elementen per jaar, de radioactieve inhoud en de hoeveelheid plutonium

	situatie met verrijkingsgraad			
	bestaand 3,3%	alternatief 3,8%	beoogd 4,0%	alternatief 4,2%
radioactief afval:				
- aantal gebruikte spleitstofelementen per jaar	40	34	32	30
- totale activiteit (PBq na 500 dagen)	911	805	760	730
- totale hoeveelheid plutonium (kg)	110	103	98	93

4.4 Stralingsbelasting bij normaal bedrijf

Bij hogere verrijking is het noodzakelijk om direct na de spleitstofwisseling meer borium in het koelwater van de reactor te doseren dan in de bestaande situatie. Gevolg hiervan is dat er circa 20 % meer tritium in het reactorsysteem ontstaat en de tritium-lozingen naar water en lucht ook met circa 20% toenemen. De totale stralingsbelasting door de KCB (maximale individuele dosis) zal door deze verhoogde tritiumlozingen met circa 3% toenemen voor zowel de beoogde situatie als de alternatieven.

Hierbij moet worden opgemerkt dat de stralingsbelasting bij normaal bedrijf minder dan 0,0005% van de gemiddelde stralingsbelasting van een lid van de Nederlandse bevolking bedraagt, zodat de aangegeven verschillen geen enkele praktische betekenis hebben.

De directe straling veroorzaakt door de KCB aan het hek wordt niet bepaald door de samenstelling van de kern noch door de inhoud van het spleitstofopslagbassin maar voornamelijk door radioactieve stikstof in het hoofdkoelmiddel. De directe straling verandert dan ook niet door de voorgenomen activiteit of de alternatieven.

5 VERGELIJKING MILIEUGEVOLGEN VAN DE BEOOGDE SITUATIE EN DE ALTERNATIEVEN

In dit hoofdstuk worden de milieu-effecten van de voorgenomen activiteit en de alternatieven met elkaar vergeleken. Het alternatief met de minste milieu-effecten is het meest milieuvriendelijke alternatief.

Voor de duidelijkheid worden de alternatieven nogmaals opgesomd:

- de bestaande situatie is de situatie inclusief de extra veiligheidsvoorzieningen waarvoor EPZ in 1994 vergunning kreeg. De situatie treedt in 1997 in en is tevens het nulalternatief
- de beoogde situatie is de bestaande situatie inclusief de voorgenomen activiteit, die bestaat uit een beginverrijking van 4,0% en een maximaal 2% grotere hoeveelheid splijtstof
- het 3,8% alternatief is gelijk aan de beoogde situatie, echter in plaats van maximaal 4,0% bedraagt de verrijking maximaal 3,8%
- het 4,2% alternatief is gelijk aan de beoogde situatie, echter in plaats van maximaal 4,0% bedraagt de verrijking maximaal 4,2%.

De milieu-effecten zijn samengevat weergegeven in tabel S.5

Tabel S.5 Vergelijking van de beoogde situatie (4,0% verrijking) en de alternatieven (3,8 respectievelijk 4,2% verrijking) met de bestaande situatie (3,3% verrijking)

milieu-effect c.q. bedrijfsaspect	situatie			
	bestaande 3,3%	alternatief 3,8%	beoogd 4,0%	alternatief 4,2%
stralingsbelasting bij normaal bedrijf (per jaar):				
- maximale individuele dosis bij gemiddelde lozingen	$6,7 \cdot 10^{-9}$ Sv	+3%	+3%	+3%
- maximale individuele dosis bij maximale lozingen	$34 \cdot 10^{-9}$ Sv	+1%	+1%	+1%
- directe straling	$1,3 \cdot 10^{-7}$ Sv	0%	0%	0%
ontwerpongevallen:				
- meest kritische dosis ¹⁾	$1 \cdot 10^{-3}$ Sv	0%	0%	0%
buiten-ontwerpongevallen				
- kans op kernsmelten	$4,3 \cdot 10^{-6}$	0%	0%	0%
- individueel risico (per jaar)	$3 \cdot 10^{-8}$	+4%	+5%	+6%
- groepsrisico (per jaar)	n.v.t. ²⁾	n.v.t. ²⁾	n.v.t. ²⁾	n.v.t. ²⁾
- aantal verbruikte splijtstofelementen per jaar	40	-15%	-20%	-25%
- totale activiteit radioactief afval (PBq per jaar)	911	-12%	-17%	-20%
- hoeveelheid plutonium (kg/jaar)	110	-6%	-11%	-15%

¹⁾ de hoogste dosis in verhouding tot het daarvoor geldende criterium

²⁾ omdat de kans op 10 directe dodelijke slachtoffers kleiner is dan 10^{-10} per jaar is het groepsrisico niet van toepassing

Op basis van tabel S.5 kan ten aanzien van de alternatieven het volgende geconcludeerd worden.

De stralingsbelasting bij normaal bedrijf neemt in alle gevallen licht toe ten opzichte van de bestaande situatie.

De meest kritische dosis (H_{eff}) bij de ontwerpongevallen blijft met toenemende verrijking gelijk.

De kans op kernsmelten is onafhankelijk van de verrijkingsgraad. Het individueel risico neemt met toenemende verrijking niet significant toe. De toename bedraagt maximaal zes procent

bij 4,2% verrijking. Het maximale individuele risico blijft in alle gevallen een factor 30 of meer onder het maximaal toegestane individuele risico van 10^{-6} per jaar. Het groepsrisico is in alle situaties niet van toepassing.

Het aantal verbruikte splijtstofelementen per jaar (en dus de hoeveelheid radioactief afval) neemt met toenemende verrijking substantieel af. Dit geldt ook, zij het in mindere mate, voor de radioactiviteit verbonden met de gebruikte splijtstofelementen. De jaarlijks geproduceerde hoeveelheid plutonium wordt met toenemende verrijking beduidend minder.

De gemiddelde opbrand van de groep definitief ontladen splijtstofelementen neemt met toenemende verrijking toe van 34 (bij 3,3% verrijking) naar 54 MWd/kgU (bij 4,2% verrijking). Opbrandwaarden tot circa 50 MWd/kgU kunnen worden beschouwd als stand der techniek. Dit is echter niet het geval voor gemiddelde opbrandwaarden ruim boven 50 MWd/kgU omdat met dergelijke waarden tot nu toe onvoldoende ervaring is opgedaan om met zeer grote zekerheid te kunnen stellen dat alle ontwerpongevallen beheerst worden. Het alternatief van 4,2% verrijking is derhalve strijdig met het uitgangspunt van EPZ dat de wijzigingen geen experimenteel karakter zouden mogen hebben. Gesteld moet dan ook worden dat dit aspect tot gevolg heeft dat het alternatief 4,2% verrijking met de huidige beschikbare kennis voor EPZ onaanvaardbaar is.

De beschikbare reserveruimte in het splijtstofopslagbassin zal bij de voorgenomen activiteit en de alternatieven sterk teruggelopen ten opzichte van de bestaande situatie. Echter in alle onderzochte situaties resteert voldoende opslagruimte voor het zonodig opslaan van een complete kerninhoud.

Het meest milieuvriendelijke alternatief is het alternatief met de minste milieubelasting. Uit tabel S.5 blijkt dat met toenemende verrijking de stralingsbelasting bij normaal bedrijf en de risico's bij buiten-ontwerpongevallen licht toenemen. De doses bij de ontwerpongevallen blijven gelijk. De hoeveelheden radioactief afval en plutonium nemen substantieel af. Overwegende dat de stralingsbelasting en de risico's ruim blijven voldoen aan de daarvoor geldende criteria en de hoeveelheden radioactief afval en plutonium wezenlijk afnemen, kan in het algemeen gesteld worden dat de integrale milieubelasting afneemt met toenemende verrijking.

De hogere verrijking heeft echter wel tot gevolg dat de elementen langer in de kern blijven en verder opbranden en dat de splijtstofomhulling zwaarder belast wordt. Zoals al eerder vermeld bestaat op dit ogenblik onvoldoende ervaring met elementen met opbrandwaarden ruim boven 50 MWd/kgU. Derhalve valt vanwege de veiligheid het alternatief 4,2% verrijking af als meest milieuvriendelijke alternatief en wordt de voorgenomen activiteit tevens als het meest milieuvriendelijke alternatief beschouwd.

6 CONCLUSIES

Op basis van de voorgaande hoofdstukken kan geconcludeerd worden dat:

- 1 de voorgenomen activiteit de veiligheid op sommige punten licht positief en op andere punten licht negatief beïnvloedt. De KCB blijft echter aan alle veiligheidscriteria ruim tot zeer ruim voldoen
- 2 de voorgenomen activiteit de hoeveelheid gebruikte elementen (radioactief afval) met circa 20% zal verminderen en ook de totale activiteit van dit afval bij verzending naar de opwerkingsfabriek zal teruglopen
- 3 dankzij de voorgenomen activiteit de jaarlijks geproduceerde hoeveelheid plutonium met circa 11% daalt
- 4 het alternatief 4,2% verrijking op de belangrijkste milieu-aspecten nog beter scoort dan de voorgenomen activiteit, maar niet realistisch is omdat dan bij een jaarlijkse cyclus te hoge waarden voor de gemiddelde opbrand van de ontladen splijtstofelementen (te weten ruim boven 50 MWd/kgU) zouden optreden. Bij dergelijke waarden is op grond van de huidige kennis onvoldoende verzekerd dat alle ontwerpgevallen worden beheerst
- 5 het alternatief 3,8% verrijking op de belangrijkste milieu-aspecten minder scoort dan de voorgenomen activiteit, maar op ondergeschikte punten, zoals lozingen bij normaal bedrijf, enigszins beter
- 6 de voorgenomen activiteit als het meest milieuvriendelijke alternatief beschouwd kan worden.

De leemten in kennis blijken niet zodanig dat deze conclusies daardoor beïnvloed worden.

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

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 (radiologisch)	Verschijsel, dat stoffen radioactief zijn (eenheid: becquerel, Bq)
Afstandhouder	Onderdeel splijstofelement dat splijstofstaven 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
Begingebuurtenis	(Veronderstelde) gebeurtenis, die het begin kan zijn van een ongeval, waarbij een verhoogde emissie van radioactieve stoffen kan optreden
Beginverrijking	Verrijking van verse splijstofelementen
Beladingsplan	Plan dat aangeeft hoe de reactor voor een bepaalde cyclus beladen zal worden
Boringssystemen	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, warmteinhoud, 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
Detritus	Dood organisch materiaal
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) via een warmtewisselaar 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	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

Fytoplankton	Plantaardig plankton, algen
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	Verschijsel, 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
Instantaan	Onmiddellijk, plotseling optredend
Ioniserende straling	Straling, uitgezonden door radioactief materiaal (o.a. α , β of γ), die verplaatsing van electronen tussen atomen teweeg kan brengen
Isotopen	Verschillende atomen van eenzelfde element met dezelfde chemische eigenschappen, echter met verschillend kerngewicht

Kernbeschadigings-frequentie	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
Kokendwaterreactor	Reactor die water direct omzet in stoom
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
(Meest) milieu-vriendelijke alternatief	Het alternatief voor de voorgenomen activiteit met minder (de minste) milieubelasting
Mengoxide-element	Element waarin splijtbaar uranium gedeeltelijk door plutonium is vervangen
Modereren	Vertragen (van neutronen)
Natuurlijk verval	Zie radioactief verval
Neutron	Ongeladen deeltje uit atoomkernen
Neutronenabsorber	Materiaal dat neutronen effectief absorbeert
Nuclide	Soort atoomkern
Nulalternatief	Het alternatief waarbij de voorgenomen activiteit niet wordt uitgevoerd
Nutriënten	Voedingsstoffen

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 KCB 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 splijtstof- element dan wel voor de gehele kern
Probabilistische veiligheidsanalyse	Veiligheidsanalyse op basis van waarschijnlijkheidsrekening; 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 over- gaat in een andere kern(-toestand)
Radioactieve (afval)stoffen	(Afval)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/blad	Onderdeel in kernreactor om aantal splijtingen per tijdseenheid te regelen
Regelstaafgeleidingsbuis	Onderdeel splijstofelement 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
Snelle reactor	Reactor waarin de kernsplijtingen veroorzaakt worden door snelle neutronen
Splijststof	Stoffen waarmee in een kernreactor een kettingreactie van kernsplijtingen in stand kan worden gehouden
Splijststofcyclus	De kringloop van splijtbaar materiaal vanaf ertswinning tot en met de opberging van het radioactief afval
Splijststofelement	Constructie van aan elkaar gemonteerde splijststofstaven
Splijststofopslagbassin	Met geboreerd water gevuld bassin waarin gebruikte en nieuwe splijststofelementen tijdelijk worden opgeslagen

Splijfstofstaaf	Buis waarin de splijfstof zich bevindt, gewoonlijk in de vorm van een stapel tabletten uraniumdioxide
Splijfstoftabletten	Tabletten van splijfstof (verrijkt uraniumdioxide) waarmee, in een kolom gestapeld, splijfstofstaven gevuld worden
Splijfstofwisseling	Verwisseling van gebruikte splijstofelementen onderling of door verse elementen
Standtijd	Inzettijd van een element in de reactor gedurende een cyclus
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 splijstofelementen) 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 splijtbare uranium-235 in het natuurlijke uranium
Verrijkingsgraad	Percentage splijtbaar materiaal (meestal uranium-235) in een splijfstof
Versplijtingsgraad	Zie opbrand
Vervalwarmte	Warmte die vrijkomt uit splijfstof nadat de reactor is uitgeschakeld

Voorziening (financieel)	Financiële reservering (bijvoorbeeld voor ontmanteling of verwerking en opslag radioactief afval)
Zircaloy	Legering waarin onder meer het element zirkonium wordt toegepast
Zoöplankton	Dierlijk plankton
Zwaar waterreactor	Reactor waarin zwaar water wordt toegepast als koelmiddel en moderator

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
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
PZEM	N.V. Provinciale Zeeuwse Energie Maatschappij
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
Gy	gray; eenheid van geabsorbeerde dosis (1 Gy = 1 J/kg)
H_{eff}/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	uraniumdioxide

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

Ag	argentum (zilver)
Ar	Argon
Ba	barium
Bi	bismut
C	koolstof
Ce	cerium
Cl	chloor
Co	kobalt
Cs	cesium
F	fluor
Ge	germanium
H	waterstof
He	helium
I	jodium
K	kalium
Kr	krypton
Mn	mangaan
Na	natrium
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
Zr	zirkonium

1 INLEIDING

1.1 Voorgeschiedenis en aanleiding tot toepassen optimalisatie in KCB

De N.V. Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland EPZ bedrijft sinds 1973 in Borssele een kernenergiecentrale-eenheid (KCB) met een netto vermogen van 449 MW_e (1366 MW_{th}). Deze eenheid is indertijd gebouwd en in bedrijf gesteld in het kader van het diversificatiebeleid inzake elektriciteitsopwekking. Bij de kernenergiecentrale Borssele zijn na de inbedrijfstelling regelmatig, in overleg met en na goedkeuring door de toezichthoudende autoriteiten, aanpassingen doorgevoerd om de veiligheid van de installatie en het bedrijven ervan te verhogen. In dit kader past ook een aantal momenteel in uitvoering zijnde veiligheidsverhogende maatregelen, waarvoor door het Bevoegd Gezag op 2 augustus 1994 een (wijzigings)vergunning is verleend. Deze "Modificatie" van de KCB zal tot gevolg hebben dat de kernenergiecentrale in de loop van 1997 zo veel als redelijkerwijs mogelijk voldoet aan de laatste internationaal erkende inzichten op het gebied van de nucleaire veiligheid en de stralenbescherming.

Thans heeft EPZ het voornemen om in de KCB de inzet van splijtstof te optimaliseren. EPZ heeft dit voornemen bewust ontkoppeld van de veiligheidsverhogende maatregelen omdat deze maatregelen de hoogste prioriteit verdienen en discussies over andere voornemens verdere verhoging van de veiligheid zouden kunnen hebben belemmerd. De splijtstofoptimalisatie is het onderwerp van het voorliggende Milieueffectrapport (MER), dat is opgesteld ten behoeve van de besluitvorming over de aanvraag voor een (wijzigings)vergunning ingevolge de Kernenergiewet.

De aanleiding tot het voornemen is gelegen in bedrijfsmatige overwegingen. Met de optimalisatie kan namelijk qua splijtstofkosten een aanzienlijke efficiency-verbetering worden gerealiseerd en tegelijkertijd de hoeveelheid kernsplijttingsafval worden verminderd. De optimalisatie wordt bereikt door het toepassen in de KCB van een hogere verrijkingsgraad van de splijtstof, en het licht wijzigen van de hoeveelheid splijtstof per splijtstofstaaf.

Het voornemen is niet gericht op het verhogen van de veiligheid en houdt dus ook geen verband met het eerdergenoemde modificatieprogramma. De optimalisatie zal geen vergroting van het bestaande vermogen van de KCB opleveren.

1.2 Reikwijdte en procedure m.e.r. Optimalisaties-KCB

Uit het Besluit Milieueffectrapportage 1994 blijkt dat de voorgenomen activiteit m.e.r.-plichtig is. De m.e.r.-plicht vloeit voort uit de in categorie C 22.6 van dit besluit omschreven "verandering van de soort, de hoeveelheid of de verrijkingsgraad van de brandstof". Het onderhavige rapport is het MER dat aan deze m.e.r.-plicht invulling geeft. Het betreft een zogenaamd "uitvoerings-MER" waarin wordt ingegaan op de wijze waarop de milieubelasting zoveel mogelijk wordt

beperkt en op de milieubelasting die daarna nog resteert. Om voor de hand liggende redenen zal in dit MER het onderwerp veiligheid uitgebreid worden behandeld.

Als bevoegd gezag in de m.e.r.-procedure treden op de Ministers van Economische Zaken, van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, van Sociale Zaken en Werkgelegenheid en Volksgezondheid, Welzijn en Sport. Het Ministerie van Economische Zaken zal hierbij als coördinerende instantie optreden.

De m.e.r.-procedure werd gestart met de bekendmaking van de door EPZ ingediende Startnotitie in de Staatscourant en in de landelijke en regionale pers op 3 augustus 1995. Daarna volgde een periode van terinzagelegging ten behoeve van inspraak. Met inachtneming van onder andere het advies van de Commissie voor de milieu-effectrapportage en de resultaten van inspraak, heeft het bevoegd gezag in november 1995 de richtlijnen voor het MER "Optimalisatie splijtstof KCB" vastgesteld. Het onderhavige MER is opgesteld op basis van deze richtlijnen. De procedure m.e.r. en de vergunningprocedure zijn gekoppeld (zie hoofdstuk 3, figuur 3.3.1).

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 KCB. Ook de relatie met de elektriciteitsplannen van N.V. Samenwerkende elektriciteits-produktiebedrijven (Sep) zal worden aangegeven.

In hoofdstuk 4 wordt eerst in grote lijnen een beschrijving van de bestaande kernenergiecentrale gegeven. Hierbij zijn inbegrepen de veiligheidsverhogende modificaties aan de centrale die momenteel in uitvoering zijn. Deze wijzigingen zullen op het moment dat de optimalisatie wordt toegepast, gerealiseerd zijn. Vervolgens worden de voorgestelde wijzigingen, 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, waarbij het onderwerp veiligheid uitgebreid aan de orde komt. Ook hierbij vormt de situatie die intreedt met de feitelijke realisatie van het lopende modificatieprogramma, uitgangspunt voor de behandeling.

De beschrijving van de invloed van KCB, inclusief de voorgenomen optimalisatie, op het milieu is in hoofdstuk 6 opgenomen. Met name de wijzigingen in de veiligheidssituatie en het radioactief afval als gevolg van de voorgenomen activiteit en de alternatieven worden hier beschouwd.

In hoofdstuk 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 en 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 advieswerkzaamheden van N.V. KEMA.

2 PROBLEEMSTELLING EN DOEL

2.1 KCB en het energiebeleid

2.1.1 BELEIDSDOELSTELLINGEN ELEKTRICITEITSPRODUKTIE

De taak die de Elektriciteitswet 1989 stelt aan de elektriciteitssector moet worden uitgevoerd binnen de doelstellingen van het algemene energiebeleid van de rijksoverheid. De doelstelling van het energiebeleid is in eerste instantie een betaalbare, betrouwbare en schone energievoorziening. Het energiebeleid richt zich daartoe op drie hoofdlijnen: een zo efficiënt mogelijk gebruik van energie (besparing), een evenwichtige spreiding van brandstoffen (diversificatie) en ontwikkeling van eigen energiebronnen.

Het diversificatiestreven vormde een aantal jaren een belangrijke drijfveer voor het ontwikkelen van plannen voor de uitbreiding van kernenergievermogen in Nederland. Diversificatie kan worden omschreven als een evenwichtige spreiding, zowel naar soort als naar herkomstgebied, van de inzet van de energiedragers gas, kolen en uranium, om de risico's van fysieke uitputting van de voorraden, van onregelmatige aanvoer en van fluctuerende prijzen te verminderen. Deze beleidsdoelstelling heeft vooral onder invloed van de oliecrisis een zwaar accent gekregen en is uitdrukkelijk neergelegd in een aantal energienota's.

Kort na het ongeval met de kernenergiecentrale in Tsjernobyl in 1986 werd door regering en Tweede Kamer besloten de verdere besluitvorming over kernenergie op te schorten. De laatst verschenen nota over energie, de Nota "Het energiebeleid nader bezien" (Tweede Kamer, 1989a) heeft ten aanzien van kernenergie gesteld, dat het wenselijk is het vergroten van het aandeel hiervan in de energievoorziening open te houden. In 1990 heeft de regering te kennen gegeven, dat nadere studies en onderzoeken naar de nucleaire veiligheid noodzakelijk zijn, alvorens tot nadere besluitvorming over nieuw kernenergievermogen kan worden overgegaan. In dit verband heeft de regering in november 1993 het "Dossier kernenergie" aan de Tweede Kamer doen toekomen. Dit dossier bevat een overzicht van de stand van zaken over met kernenergie samenhangende vragen, die de overheid direct aangaan. Daarbij gaat het om veiligheid, afval, milieu, non-proliferatie en over de in onze maatschappij levende opvattingen over kernenergie. Besluitvorming inzake kernenergie is momenteel (1995) niet aan de orde.

Tweede Structuurschema Elektriciteitsvoorziening (SEV)

Het SEV vormt het ruimtelijk en het milieu-hygiënische toetsingskader voor de planning van de elektriciteitswerken in het Elektriciteitsplan. In lijn met de bepalingen van de Elektriciteitswet, geeft het SEV als hoofddoelstelling van het elektriciteitsbeleid aan: het zorgen voor een betrouwbare voorziening tegen zo laag mogelijke kosten en op maatschappelijk verantwoorde wijze.

Het SEV geeft aan dat spreiding van de brandstofinzet bij centrales onverminderd van belang is. Naast de hiervoor reeds genoemde argumenten, speelt hierbij volgens het SEV ook een ander aspect een rol. Een brandstofinzet-patroon dat sterk afwijkt van dat in andere landen brengt het risico met zich mee dat de kosten van elektriciteitsproductie in Nederland afwijken van die in andere landen, waardoor ook de elektriciteitsprijzen aanmerkelijk kunnen verschillen. Vandaar dat ook afstemming in dit opzicht van belang is.

Het SEV bevat geen uitspraken over de bouw van nieuwe kernenergiecentrales of over nieuwe vestigingsplaatsen voor kernenergiecentrales, daar een regeringsbesluit over de toekomst van kernenergie in Nederland nog niet is genomen. Het aandeel kernenergie in het totaal van de openbare elektriciteitsproductie blijft in het Tweede SEV dan ook beperkt tot de productie van de bestaande eenheden in Borssele en Dodewaard.

Overige uitgangspunten

Een aantal uitgangspunten van milieubeleid en van ruimtelijk en natuur- en landschapsbeleid levert randvoorwaarden aan de elektriciteitsproductie. Een deel van de eisen vanuit het milieubeleid is rechtstreeks van invloed op besluiten in het kader van de openbare elektriciteitsvoorziening. Van bijzonder belang in het onderhavige kader is het beleid ten aanzien van de veiligheidsaspecten, de stralingsbescherming en het radioactief afval. Deze worden in het vervolg van dit MER diepgaand beschouwd. Andere randvoorwaarden die de schade aan natuur, landschap, landbouw en recreatie zoveel mogelijk moeten beperken zijn voor de voorgenomen optimalisatie niet relevant, en komen in het vervolg niet aan de orde.

2.1.2 ELEKTRICITEITSPLAN

Concrete besluiten over nieuw te bouwen en in te zetten produktiemiddelen vinden plaats in de tweejaarlijks voortschrijdende elektriciteitsplannen van de N.V. Sep. Met betrekking tot de inhoud van het Elektriciteitsplan schrijft de Elektriciteitswet voor dat onder andere een omschrijving van de in werking gehouden en op te richten centrales moet worden gegeven, onder opgave van de plaats van vestiging, het elektrisch vermogen, het type, de brandstoffen of splijtstoffen waarvoor zij geschikt zijn, alsmede de tijdstippen van in- en buitenbedrijfstelling. Zodanige wijzigingen in deze centrales dat daardoor het elektrisch vermogen dan wel de brandstoffen waarvoor deze geschikt zijn, worden veranderd moeten eveneens worden omschreven (Elektriciteitswet 1989, artikel 15; vierde lid onder a en b). De optimalisatie van de splijtstof is niet een zodanige wijziging van de brandstofinzet dat dit voornemen in het Elektriciteitsplan dient te worden opgenomen.

Het Elektriciteitsplan behoeft goedkeuring van de Minister van Economische Zaken, die het daartoe onder meer toetst aan het SEV. In het laatste Elektriciteitsplan 1995-2004 is verlenging van de bedrijfstijd van de KCB van 2004 naar 2007 voorgesteld. Na overleg met de Tweede

Kamer heeft de Minister aan dit onderdeel van het Plan zijn goedkeuring onthouden. De dienovereenkomstige aanpassing van het Plan waarin als voorziene datum van uitbedrijfstelling van de KCB 1 januari 2004 is opgenomen, is door de Minister goedgekeurd op 3 juli 1995.

De naast de KCB gelegen kolen-(gas)gestookte eenheid van 403 MW_e is eveneens in het Elektriciteitsplan 1995-2004 opgenomen. Borssele zal volgens dit plan mogelijk tevens plaats bieden aan een in 2002 in bedrijf te stellen kolenvergassing/STEG-centrale van 600 MW_e.

2.1.3 LEVENSDUUR

Bij beschouwingen over levensduur is het van belang onderscheid te maken tussen de technische levensduur en de voorziene bedrijfsperiode.

De technische levensduur wordt bepaald door het verouderingsproces dat een installatie ondergaat. Het einde van deze levensduur is het moment, dat één of meer hoofdcomponenten of -systemen op technische gronden niet meer bruikbaar zijn. De KCB is in 1973 in bedrijf gegaan. Het ontwerp van de KCB is gebaseerd op een technische levensduur van 40 jaar. Momenteel zijn er geen componenten, waarbij slijtage of veroudering (verbrossing, erosie, corrosie) en andere factoren aanleiding zouden kunnen zijn, dat de oorspronkelijke technische levensduur van 40 jaar, niet zou kunnen worden gerealiseerd. In een recentelijk uitgevoerde controle is dit opnieuw bevestigd. De optimalisatie van de splijtstof heeft geen invloed op de technische levensduur van de KCB.

De geplande bedrijfsperiode is vooral afhankelijk van economische overwegingen. Bij wat oudere eenheden wordt regelmatig nagegaan of de elektriciteitsopwekkosten, die veranderingen ondergaan als gevolg van zich wijzigende brandstof-, onderhouds- en bedieningskosten of door benodigde aanvullende investeringen voor bijvoorbeeld milieu- of veiligheidsvoorzieningen, nog concurrerend zijn met die van andere produktie-eenheden. De geplande bedrijfsperiode wordt voor elektriciteitsproduktie-eenheden in overleg met de N.V. Sep bepaald en in het Elektriciteitsplan (zie paragraaf 2.1.2) vermeld. De in dit plan opgenomen uitbedrijfstellingsdatums worden als uitgangspunt genomen bij de totaalplanning voor de elektriciteitsproduktie. De bedrijfsperiode werd in 1973 (voorlopig) vastgesteld op 30 jaar. Zoals in paragraaf 2.1.2 reeds aangegeven is, is besloten de oorspronkelijke datum van voorziene uitbedrijfstelling te handhaven op 1 januari 2004.

2.2 Internationale ontwikkelingen inzake splijtstoffen

Inleiding

In deze paragraaf wordt uiteengezet hoe het voornemen van EPZ ten aanzien van de splijtstoffen van de KCB past in de internationale ontwikkelingen. De splijtstofcyclus en het kernsplijtingsproces in het algemeen respectievelijk de werking van de reactor van de KCB worden in hoofdstuk 4 beschreven. In deze paragraaf worden slechts enkele begrippen summier toegelicht.

Kernreactoren kunnen onderscheiden worden in thermische reactoren, zoals de KCB, waarin de neutronen vertraagd (gemodereerd) worden en waarbij gebruik gemaakt wordt van splijtingen van uranium-233 of uranium-235 door langzame neutronen en in snelle reactoren, waarin de splijting teweeg gebracht wordt door snelle neutronen. In snelle reactoren wordt plutonium als splijtstof gebruikt en uranium-238 omgezet in plutonium.

In sommige thermische reactoren, met name als voor de moderator "zwaar" water wordt gebruikt, heeft men lange tijd een zodanige neutroneneconomie gerealiseerd dat toepassing van natuurlijk uranium als splijtstof goed genoeg was. In de zogenaamde lichtwaterreactoren, zoals de KCB, waar normaal water voor de koeling en het modereren van neutronen wordt gebruikt, moet echter de splijtstof, die in nieuwe splijtstofelementen wordt verwerkt, verrijkt worden tot minimaal 2,5% uranium-235. In de circa 350 lichtwaterreactoren, die nu wereldwijd in bedrijf zijn, wordt voor dit verrijgingspercentage een waarde van 3 à 5% uranium-235 gekozen.

De wijze, waarop uranium als splijtstof in 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 (UO_2) tabletten binnen een metalen buis. Deze buizen of splijtstofstaven worden tot bundels, de zogenaamde splijtstofelementen, samengevoegd. De kwaliteit van deze splijtstofstaven is zodanig hoog, dat lekkage uiterst zelden voorkomt (minder dan één keer op de tienduizend). Veranderingen in de samenstelling en opbouw van splijtstofelementen hebben dan ook doorgaans economische motieven.

De laatste jaren zijn er wat betreft het optimaal gebruiken van de splijtstof enkele belangrijke internationale ontwikkelingen te constateren. De belangrijkste daarvan zijn :

Verhoging van de verrijkingsgraad

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 in de reactorkern te laten blijven. Dat kan tot gevolg hebben, dat de

splijfstofcyclus langer wordt en/of dat het aantal splijstofelementen dat jaarlijks geladen moet worden, minder wordt. Daarbij komt dat de opbrand of versplijting van af te voeren elementen zal toenemen. Bij het ontwerp van de elementen zal daarmee rekening moeten worden gehouden.

In figuur 2.2.1 is een overzicht gegeven van toegepaste verrijkingsgraden in een aantal westerse kernenergiecentrales. De huidige tendens is duidelijk om naar hogere verrijkingsgraden te gaan. In samenhang met deze hogere verrijkingsgraad wordt ook de maximale opbrand van de splijstof beschouwd. Hogere verrijkingsgraden kunnen tot hogere opbranden leiden. De opbrand of versplijting is een maat voor de mate waarin de splijtbare isotopen zijn afgenomen of - wat daarmee samenhangt - voor de energie die met het element is geproduceerd. De opbrand of versplijting wordt meestal uitgedrukt als de hoeveelheid energie (Megawatt * aantal dagen) die per kg uranium is opgewekt (MWd/kgU). De momenteel gebruikelijke maximale opbrand van de splijstof, gemiddeld over een splijstofelement bedraagt ongeveer 35 tot 55 MWd/kgU. De ervaringen met dergelijke opbranden boven 50 MWd/kgU zijn nog beperkt maar zullen de komende jaren snel toenemen. Voorbeelden van relatief hoge opbrand zijn drukwaterreactoren in België met een maximale toegestane opbrand van 55 MWd/kgU (huidige praktijk: 46-47 MWd/kgU) en in Japan met een opbrand van 48-55 MWd/kgU. Op dit gebied zijn studies uitgevoerd om de maximale gemiddelde elementopbrand, te verhogen naar 65 à 75 MWd/kgU [IAEA, 1989].

Slijtend (neutronen)gif

Een hogere "verrijkingsgraad", in nieuwe elementen geeft in principe een hogere neutronenproductie, die gecompenseerd kan worden door neutronenabsorbers, die tijdens het verblijf in de reactor opgebrand ("versleten") worden, in de splijstof(staven) op te nemen. Hiervoor wordt veelal Gadolinium toegepast. De toepassing van Gadolinium bij kokend-waterreactoren is algemeen gebruikelijk (met name om de vermogensverdeling over de kern af te vlakken), maar is tegenwoordig ook bij drukwaterreactoren een punt van overweging. De belangrijkste reden daarvoor is de gewenste beperking van de reactiviteit en de boriumconcentratie in het koelmiddel bij toepassing van lange cycli (18-24 maanden).

Gunstiger materialen

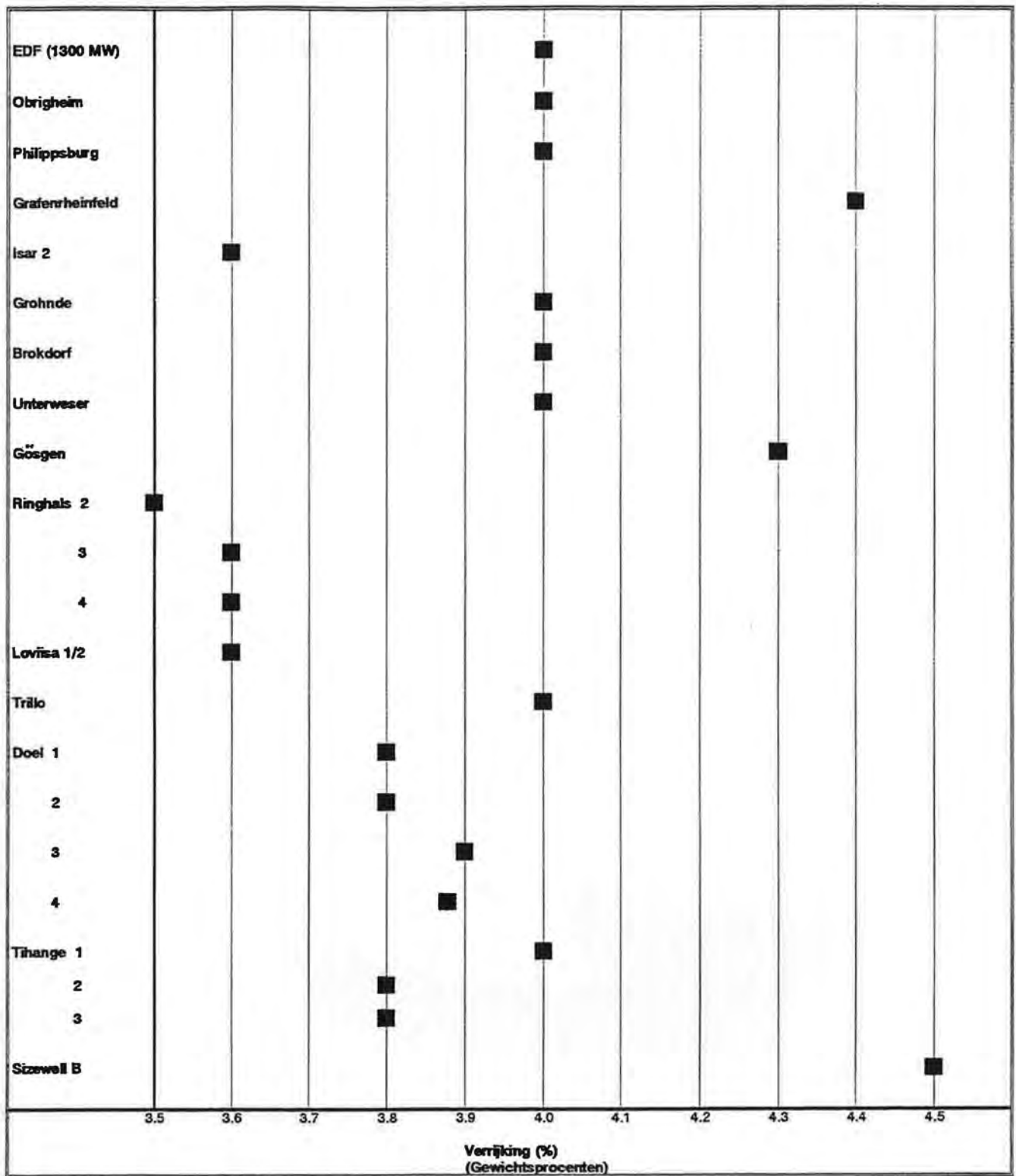
In het verleden werden voor de constructiematerialen van de splijstofelementen vaak materialen gebruikt die in aanzienlijke mate neutronen absorberen, bijvoorbeeld roestvrijstaal en de legering Inconel voor de regelstaafgeleidingsbuizen en de afstandhouders. Het bleek echter dat deze materialen ook vervangen konden worden door materialen, die niet of nauwelijks neutronen absorberen, zoals Zirconium. De meeste exploitanten van drukwaterreactoren zijn daarom reeds overgegaan op een legering van Zirconium (Zircaloy) voor de constructie van bepaalde onderdelen van de splijstofelementen.

MOX-elementen

Een standaard splijtstofelement, zoals toegepast bij de KCB, bevat geen plutonium op het ogenblik dat het voor het eerst in de reactor wordt geladen. Bij een mengoxide-element (MOX-element) wordt echter een gedeelte van het verrijkte uranium vervangen door plutonium. Op die manier wordt het plutonium ook verspleten en gebruikt voor de elektriciteitsproductie en is er in totaal minder uranium nodig voor de productie van dezelfde hoeveelheid elektriciteit.

MOX-elementen werden ruim 30 jaar geleden voor het eerst toegepast in de Belgische BR3 drukwaterreactor. Op dit moment worden MOX-elementen in veel landen, waaronder Frankrijk, Duitsland, Zwitserland, België en Japan toegepast. Uit ervaring met MOX-elementen is gebleken dat er in het gebruik geen belangrijke verschillen zijn tussen MOX- en UO_2 -splijtstof-elementen.

Voor alle duidelijkheid zij vermeld dat toepassing van MOX-elementen bij de KCB niet overwogen wordt.



Figuur 2.2.1 Overzicht van toegepaste verrijkingsgraden in een aantal westerse kernenergiecentrales

2.3 Economische aspecten

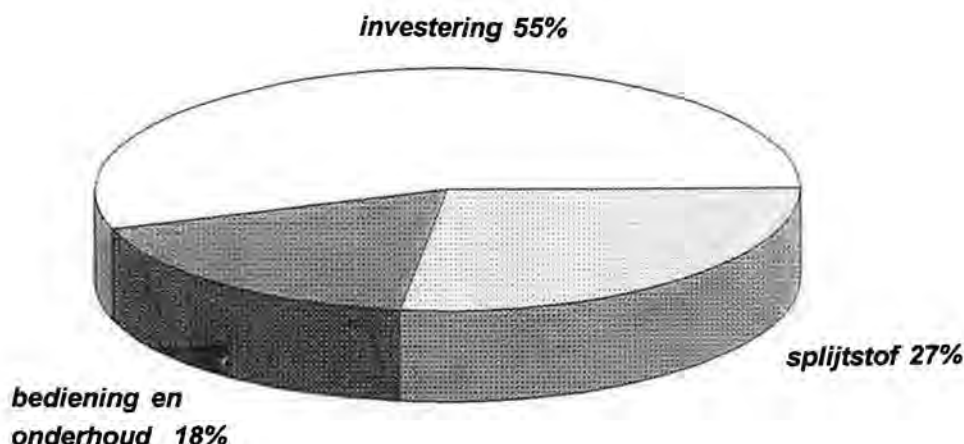
In deze paragraaf worden de economische achtergronden voor de voorgenomen verhoging van de verrijkingsgraad toegelicht.

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

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

Van enkele kostenposten is het niet zonder meer duidelijk tot welke groep ze gerekend moeten worden. Voorbeelden daarvan zijn de ontmantelingskosten (die meestal tot de investeringskosten gerekend worden), de kosten van de eerste kernen en andere kleinere posten.

In het algemeen kan echter gesteld worden dat de kapitaalskosten van kernenergiecentrales de helft of iets meer dan de helft van de totale kosten bedragen. De onderhoudskosten nemen 15 à 20% in beslag en de splijtstofkosten de rest. Figuur 2.3.1 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)



Figuur 2.3.1 Typische verdeling van opwekkingskosten bij een kernenergiecentrale (OECD, 1992)

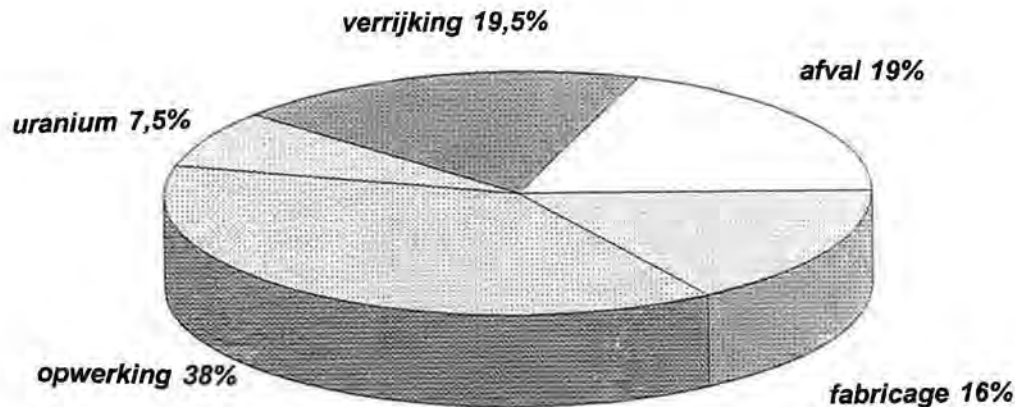
De absolute hoogte van de totale kosten van een bepaalde kernenergiecentrale en de daarvan afgeleide procentuele onderverdeling van de drie genoemde kostencategorieën, hangen af van een groot aantal factoren. Zo zijn bijvoorbeeld de investeringskosten voor kernenergiecentrales die thans gebouwd worden 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, waar relatief veel kernenergiecentrales staan, zijn deze opslagkosten per kernenergiecentrale bijvoorbeeld aanzienlijk lager dan in Nederland.

Voor een in bedrijf zijnde centrale, zoals de kernenergiecentrale Borssele, kan nog slechts op een gedeelte van deze kosten invloed uitgeoefend worden. De investeringskosten van de KCB zijn, gegeven de veronderstelde restlevensduur, 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 zeer beperkt. Op de splijtstofkosten, die wel beperkt beïnvloedbaar zijn, wordt hieronder nader ingegaan.

De kosten voor de splijtstofcyclus zijn opgebouwd uit de kosten voor:

- a natuurlijk uranium en omzetting naar UF_6
- b verrijking (van 0,7 naar 3 à 5% uranium-235)
- c fabricage van de splijtstof(elementen)
- d opwerking van gebruikte splijtstof(elementen)
- e transport, verwerking en opslag van het kernsplijttingsafval.

Figuur 2.3.2 geeft een indicatie hoe de totale splijtstofcycluskosten - voor de kernenergiecentrale Borssele - verder onder te verdelen zijn over de hierboven weergegeven vijf kostencategorieën. De kosten voor uranium, fabricage en verrijking zijn berekend op basis van de werkelijke kosten inclusief rente. De kosten van opwerking en afval bestaan uit een financiële reservering voor opwerking bij Cogema en voor opslag van het vrijkomende afval bij COVRA. Het daarmee gemoeide bedrag is gebaseerd op de geraamde opwerkings- en afvalkosten.



Figuur 2.3.2 Verdeling van de jaarlijkse kosten van de splijtstofcyclus voor de KCB.

De splijtstofkosten zijn door de exploitant van een kernenergiecentrale op korte termijn nauwelijks beïnvloedbaar, omdat de onderscheiden delen bepaald worden door langlopende contracten. Ten aanzien van de onder a en b genoemde kosten wordt opgemerkt dat de kosten van het uranium-235 en van de verrijking voornamelijk bepaald worden door de 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 en het opwerken (zie c en d) 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 behoorlijke besparing mogelijk.

Ten aanzien van de kosten genoemd onder e zijn met name de contracten met de COVRA voor de opslag van hoog radioactief afval, afkomstig van het opwerkingsproces, van belang. Dit hoog radioactieve afval, waaronder verglaasd kernsplijtingsafval (KSA), zal waarschijnlijk vanaf het jaar 2000, naar Nederland geretourneerd worden. Daartoe wordt momenteel door COVRA één centraal opslaggebouw geconstrueerd. Bij het ontwerp van dit opslaggebouw is rekening gehouden met het van KCB afkomstige KSA. Het kostenaandeel van EPZ in dit opslaggebouw staat nagenoeg vast. De kosten voor de opslag van het KSA kunnen dan ook nauwelijks beïnvloed worden door minder KSA te sturen. Geconcludeerd moet dan ook worden dat de kosten onder e vrijwel niet beïnvloedbaar zijn.

In principe zouden de gebruikte splijtstofelementen ook direct als afval voorlopig opgeslagen kunnen worden. In het verleden is echter in Nederland gekozen voor opwerking o.a. om de volgende redenen:

- opwerking werd algemeen gezien als de enige acceptabele verwerking van het geproduceerde plutonium ("hergebruik reststoffen/afvalstoffen")
- opwerking werd gezien als een noodzakelijke stap om in de toekomst ook het uranium-238 effectief te kunnen gebruiken
- de geschatte splijtstofkosten bij opwerking waren lager dan de kosten, waarbij de splijtstofelementen langdurig opgeslagen zouden worden
- voldoende opslagruimte voor oude splijtstofelementen was (nog) niet beschikbaar.

Ook in het regeringsstandpunt met betrekking tot het Eindrapport van de Maatschappelijke Discussie Energiebeleid (Tweede Kamer, 1984-1985, 188330, nrs. 1-4) is dit beleid verwoord.

EPZ (voorheen PZEM) heeft evenals GKN (Dodewaard) op grond van dit beleid langlopende contracten voor de splijtstofcyclus afgesloten. Met de opwerkingscontracten is ingestemd door het parlement. Annulering is slechts tegen zeer hoge kosten mogelijk. Verder is COVRA niet toegerust voor de opslag van gebruikte splijtstofelementen van de KCB. Om deze reden is het niet opwerken van splijtstofelementen voor EPZ geen reële optie.

Geconcludeerd moet worden 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 splijtstofelementen langer in de reactorkern te laten. Bij de kernenergiecentrale Borssele worden bij de huidige herladingen de splijtstofelementen over het algemeen na 3 jaar uit de kern genomen. Een langere verblijftijd van bijvoorbeeld vier splijtstofcycli zal leiden tot een hogere opbrand of versplijting. Dit kan om technische redenen alleen met een hogere beginverrijking van de nieuwe elementen. Het toepassen van een hogere beginverrijking kan geen directe invloeden hebben op het besluit om de splijtstofelementen al of niet op te werken omdat verandering in opwerking vooral beperkt wordt door de afgesloten opwerkingscontracten. Een indirect effect is dat door het toepassen van een hogere beginverrijking het aantal op te werken splijtstofelementen zal afnemen. Dit effect wordt in de hoofdstukken 4 en volgende nader beschreven.

Gebleken is dat door een hogere verrijking toe te passen op met name de opwerkingskosten enkele miljoenen guldens per jaar bespaard kan worden.

2.4 Doelstelling van de voorgenomen activiteit

Het doel van de voorgenomen activiteit is het efficiënter gebruiken van de splijtstof in de kernenergiecentrale Borssele .

EPZ wil dat doel bereiken door voor de verrijking van nieuwe splijtstofelementen een verrijking van maximaal 4,0 gewichtsprocent uranium-235 in plaats van 3,3 procent te gebruiken. Tegelijkertijd zal de hoeveelheid splijtstof per splijtstofstaaf met maximaal 2 procent verhoogd worden, doordat de vormgeving van de splijtstoftabletten aangepast wordt aan de ook voor andere landen gebruikelijke standaard. Door met name de verhoogde verrijkingsgraad zal het aantal jaarlijks benodigde nieuwe splijtstofelementen en daarmee de splijtstofkosten in belangrijke mate afnemen.

Dat het voornemen leidt tot vermindering van de jaarlijkse hoeveelheden hoog radioactief afval en plutonium is milieuhygiënisch gunstig maar het zijn geen primaire doelstellingen van het voornemen.

Op grond van nadere overwegingen (zie paragraaf 4.3) wordt van de in de startnotitie opengehouden mogelijkheid om Gadolinium in de splijtstofstaven toe te gaan passen, vooralsnog afgezien.

3 BESLUITVORMING EN RANDVOORWAARDEN

3.1 Inleiding

De optimalisatie van splijtstof dient plaats te vinden met inachtneming van eisen vanuit overheidsbeleid en wetgeving inzake de elektriciteitsvoorziening, het milieu en met inachtneming van technisch-economische eisen vanuit de elektriciteitssector. Deze eisen kunnen beperkingen opleggen of randvoorwaarden stellen aan de besluiten over de vergunning waarvoor dit MER is opgesteld.

In dit hoofdstuk zullen de documenten worden behandeld, die van invloed (kunnen) zijn op de voorgenomen wijzigingen, op de beschrijving van de milieubeïnvloeding en, uiteindelijk, op de besluitvorming.

Als zodanig kunnen de volgende documenten genoemd worden:

- de vergunning ingevolge de Kernenergiewet d.d. 2 augustus 1994, verleend naar aanleiding van het uit te voeren modificatieprogramma
- Kernenergiewet (KEW) met bijbehorende besluiten
- Wet milieubeheer en bijbehorende besluiten
- Algemene wet bestuursrecht
- nota en plan/rapportage "Kernongevallenbestrijding"
- nota's betreffende risico's van straling
- Verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens
- beveiligingsrichtlijnen kerninstallaties
- de Nederlandse Nucleaire Veiligheidsregels en richtlijnen (NVR's)
- Elektriciteitsplan 1995-2004 en de besluiten van de Minister van Economische Zaken hierover
- nota Radioactief afval.

De voorgenomen activiteit houdt geen veranderingen in voor (koel)wateraspecten en voor de gebouwensituatie. Wetten en plannen op het gebied van water en ruimtelijke ordening zijn daarom niet relevant en worden derhalve in het vervolg niet aan de orde gesteld.

3.2 Randvoorwaarden

3.2.1 WET- EN REGELGEVING

In het kader van dit MER is met name het wettelijke kader rond kernenergie van belang te achten. Dit wordt hierna in het kort belicht.

Kernenergiewet

De Kernenergiewet is een raamwet die betrekking heeft op activiteiten waarbij met ioniserende straling wordt gewerkt of waarbij deze straling vrijkomt. De overwegingen voor deze wet zijn:

- de bevordering van een goede ontwikkeling betreffende het vrijmaken van kernenergie 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 Kernenergiewet kent vergunningstelsels die in de volgende besluiten zijn uitgewerkt:

- Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen
- Besluit vervoer splijtstoffen, ertsen en radioactieve stoffen
- Besluit stralenbescherming Kernenergiewet.

Een document dat bij een kernenergiewet-vergunningsaanvraag moet worden ingediend is (een wijziging van) het veiligheidsrapport. Welke informatie in dit rapport dient te worden opgenomen is vastgelegd in het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen. Dit betreft ondermeer een beschrijving van de installatie en van de maatregelen die zijn genomen ter bescherming van mensen, planten, dieren en goederen en tegen gevaren die voortvloeien uit redelijkerwijs mogelijk te achten ongevallen die een besmetting van de omgeving tot gevolg zouden kunnen hebben (zie verder paragraaf 3.2.6).

Internationaal wordt een expliciete en uniforme regelgeving op het gebied van de veiligheid en de stralenbescherming bij nucleaire installaties nagestreefd. De organisatie die het verst gevorderd is met het opstellen van een samenhangend stelsel van veiligheidsregels is het Internationale Atoom Energie Agentschap (IAEA). In het kader van het "Nuclear Safety Standards (NUSS)"-programma werkt het IAEA sinds 1974 aan een stelsel van veiligheidsnormen en richtlijnen voor kernenergiecentrales, de zogenaamde Codes en 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 betreffende de onderwerpen ontwerp, bedrijfsvoering en kwaliteitsborging beoordeeld en, waar nodig, geamendeerd. Deze geamendeerde Codes zijn door de Ministers van Sociale Zaken en Werkgelegenheid en van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer vastgesteld en gepubliceerd in de reeks Nucleaire Veiligheidsregels. Ook de Safety Guides worden op dezelfde wijze bewerkt en omgezet in Nucleaire Veiligheidsrichtlijnen.

De vastgestelde NVR's zijn van toepassing verklaard in de KEW-vergunning van de KCB d.d. 2 augustus 1994. Met betrekking tot "ontwerp" gelden thans de Safety Guides van de IAEA. Op

het moment dat hiervoor NVR's door de bevoegde ministers zijn vastgesteld, zullen deze voor de KCB gelden.

3.2.2 GELDENDE VERGUNNING

Bij beschikking van 2 augustus 1994, kenmerk E/EK/KK/94053428, is voor de KCB de thans vigerende KEW-vergunning verleend. De vergunning behelst:

- het voorhanden hebben van splijtstoffen (artikel 15 KEW, onder a)
- het in werking brengen en houden van de inrichting (artikel 15, onder b)
- het voorhanden hebben en zich ontdoen (lozen) van radioactieve stoffen (artikel 29, eerste lid).

De optimalisatie behoeft wijziging van de hierna vermelde vergunningsvoorschriften:

"A2 De verrijkingsgraad van de voor herladingen toegepaste splijtstof mag niet meer bedragen dan 3,3 gewichtsprocent uranium-235.

A4 Indien alle opslagrekken in het splijtstofbassin als compactrekken zijn uitgevoerd, is opslag tot ten hoogste 540 splijtstofelementen toegestaan."

Uit voorschrift A2 blijkt dat voor de optimalisatie van de splijtstof, met name het toepassen van de hogere verrijking, een wijzigingsvergunning ex artikel 15, onder a en b van de KEW, dient te worden aangevraagd.

Verder dient het veiligheidsrapport op die punten waarop de voorgenomen wijziging van invloed is, aangepast te worden.

Een behandeling van de overige vergunningsvoorschriften is voor dit MER niet zinvol, daar de voorgenomen wijzigingen binnen de voorschriften van deze verleende vergunning blijven.

3.2.3 NOTA'S INZAKE RISICOBELID

In de Nota "Omgaan met risico's" (Tweede Kamer, 1989b) wordt onder het begrip risico verstaan: "ongewenste gevolgen van een bepaalde activiteit verbonden met de kans dat deze zich zal voordoen". De risicobenadering is de grondslag van het effectgerichte beleid en dient ertoe om de vanuit het milieubeleid gewenste beschermingsniveaus aan te geven voor mensen, ecosystemen, dieren, etc. en daarmee de milieukwaliteit en de ontwikkeling daarvan in de tijd te kunnen beoordelen. De vertaling hiervan naar bronnen leidt tevens tot een zoveel

mogelijk vergelijkbare aanpak van die bronnen. De effecten die in ogenschouw moeten worden genoemd zijn:

- effecten op de gezondheid
- effecten uitgedrukt in geld
- effecten op welzijn.

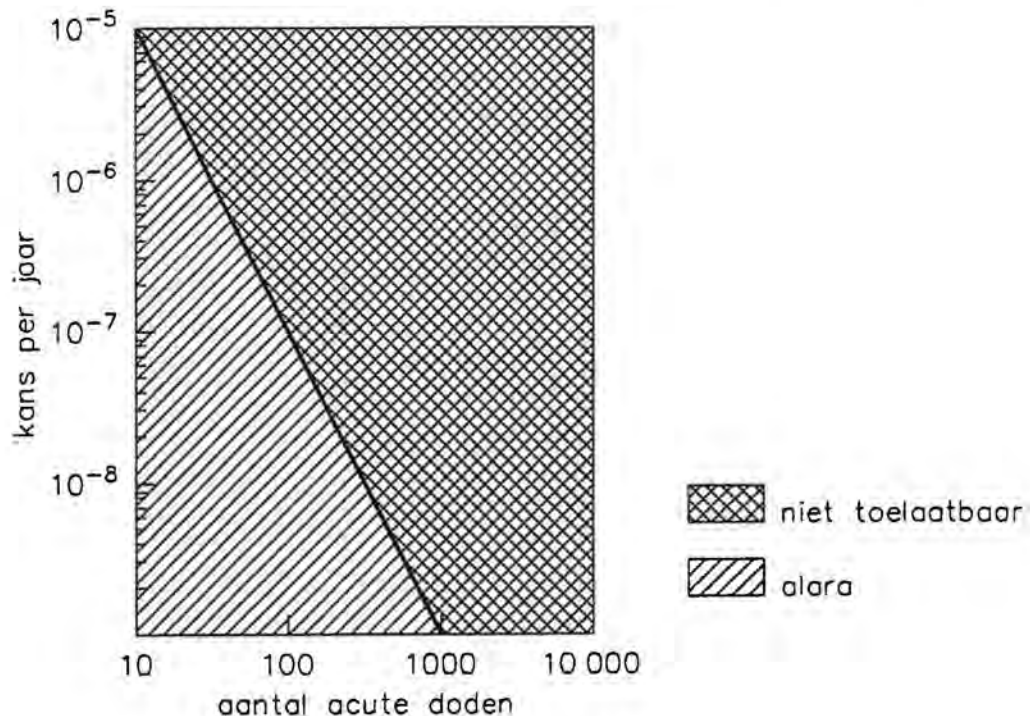
Met de risicobenadering wordt een aantal doelstellingen nagestreefd, zoals een normstelling en een "meetlat" voor risico's van verschillende agentia op mensen, ecosystemen, milieufuncties, goederen. Daarnaast kan tot een prioriteitsstelling worden gekomen en wordt gepoogd het milieurendement van beleidsopties te bepalen en de ontwikkelingen in de milieukwaliteit op basis van kwantitatieve risicoschattingen te voorspellen.

In het stralenbeschermingsbeleid zal bij elke toepassing expliciet getoetst moeten worden of de voordelen van de toepassing groter zijn dan de nadelen (het rechtvaardigingsprincipe). Verder zullen de te verwachten ontwikkelingen in aantal en aard van toepassingen reeds betrokken moeten worden bij de vaststelling van emissie- en produktnormen.

Ten aanzien van stralingsrisico's wordt in de Nota volstaan met het aangeven van het maximaal toelaatbare niveau van 10^{-5} per jaar betreffende het individueel risico voor overlijden voor alle straling afkomstig van menselijke activiteiten. Dit wil zeggen dat de kans dat een bepaald persoon in een gegeven jaar als gevolg van deze stralingsbronnen overlijdt in ieder geval kleiner dan 1 op de 100.000 moet zijn.

De voorwaarden met betrekking tot de toelaatbare en niet-toelaatbare risico's van straling zijn vastgelegd in de Nota "Omgaan met risico's van straling" (Tweede Kamer, 1990b). Per bron, zowel met betrekking tot de normale bedrijfsvoering als met betrekking tot ongevalssituaties wordt een maximaal toelaatbaar individueel risico van 10^{-6} per jaar gehanteerd. Dit wil zeggen dat de kans op overlijden als gevolg van een gebeurtenis buiten de inrichting kleiner dan 1 op de miljoen moet zijn.

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 100 acute doden is de toelaatbare kans gesteld op 10^{-7} per jaar. Een factor 10 meer acute doden levert dus een toelaatbare kans die een factor 10^2 lager is (zie figuur 3.2.1).



Figuur 3.2.1 Grenzen aan het groepsrisico

In een brief van de Minister van VROM aan de Tweede Kamer van 10-11-92 (kenmerk DGM/SVS27092005) is ten aanzien van de risicobenadering opgemerkt, dat het in de eerste plaats gaat om het niet overschrijden van het maximaal toelaatbaar risico. Voor risico's beneden het maximaal toelaatbare risico geldt het ALARA-beginsel (zie vervolg). In december 1993 is na discussies met de Tweede Kamer door de Minister van VROM aangegeven, dat de waarde 10^{-8} /jaar voor het individuele risico voortaan in het beleid wordt aangeduid met het begrip "secundair niveau" (VROM, 1993). Dit is het risiconiveau waaronder van overheidswege in het kader van de vergunningaanvraag geen volledige risicoanalyse wordt gevraagd en waaronder in het kader van de invulling van het ALARA-beginsel kan worden uitgegaan van een meer globale afweging en een lagere prioriteit.

In een vervolgnootie op de Nota (Tweede Kamer, 1993b) is nader ingegaan op de uitwerking van het "rechtvaardigings-" en het "ALARA"-principe, de invulling van het begrip maatschappelijke ontwrichting en op de standaardisatie van risicomodellering:

- rechtvaardiging
 Rechtvaardiging houdt in, dat bij een voorgenomen toepassing van straling een afweging moet plaatsvinden waaruit blijkt dat de voordelen van de toepassing groter zijn dan de nadelen. De voor- en de nadelen zijn niet alleen gebaseerd op criteria vanuit het milieube-

leid, maar komen voort uit meerdere belangen (ook economische en sociale). De afweging is dientengevolge zeer complex.

- **ALARA**
ALARA (As Low As Reasonably Achievable) wil zeggen dat de overheid en de uitvoerder van een activiteit die kan leiden tot stralenbelasting de plicht hebben er voor te zorgen dat deze (potentiële) belasting zo laag is als redelijkerwijs mogelijk. Op basis van de specifieke omstandigheden van de activiteit moet worden vastgesteld in hoeverre de risico's verder kunnen worden beperkt. Er vindt daarbij een afweging plaats van alle relevante belangen. Vergunninghouders moeten steeds bezien of er nieuwe mogelijkheden zijn om, tegen redelijk geachte kosten, een beter beschermingsniveau te realiseren. ALARA is voor een vergunninghouder een inspanningsverplichting, die ook blijft bestaan beneden het secundaire niveau.
- **maatschappelijke ontwrichting**
In de vervolgnoot wordt ook uitvoerig ingegaan op de vraag of het tot nu toe gevoerde risicobeleid voor grote ongevallen voldoende bescherming biedt tegen maatschappelijke ontwrichting. Nagegaan is met name of aan de indicator "kans op meer dan een bepaald aantal directe doden" nog een criterium dient te worden toegevoegd die betrekking heeft op sterfgevallen gedurende vele jaren na een ongeval. Besloten is de "late doden" niet in het groepsrisico op te nemen.
Aangezien door een ernstig ongeval grote gebieden voor langere tijd onbruikbaar kunnen worden, wordt nader onderzoek ingesteld naar parameters voor een aanvullend criterium "grootschalige (langdurige) verontreiniging van gebieden". Dit onderzoek is thans nog niet afgerond.
- **standaardisatie risicomodellering**
Er bestaat behoefte aan standaardisatie op het gebied van kansenberekening voor verschillende soorten van ongelukken en de verspreiding van (chemische werkzame) stoffen in de omgeving rond bedrijven. In dit kader is aangekondigd, dat richtlijnen zullen worden gepubliceerd voor de beoordeling van stralingsrisico's per categorie van bedrijven. In het geval van kernenergiecentrales betreft het de zogeheten probabilistische veiligheidsanalyse (PSA).

Toekomstige regelgeving risicobeleid

Ter verdere uitwerking en formele vastlegging van het risicobeleid worden thans wijzigingen in de Kernenergiwet en -regelgeving voorbereid. Onder meer zal een wettelijke basis worden gegeven aan de risicocriteria en zullen nadere regels worden gesteld met betrekking tot risicoberekeningen, waaronder de analyses van ontwerp-ongevallen en de veiligheidsanalyses voor kernenergiecentrales (PSA).

3.2.4 VERDRAG INZAKE DE NIET-VERSPREIDING VAN KERNWAPENS

Door middel van dit verdrag is door een groot aantal staten - waaronder Nederland - een overeenkomst gesloten inzake het voorkomen van een verdere verspreiding van kernwapens. In het verdrag 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.

3.2.5 OVERIGE OVERHEIDSVOORSCHRIFTEN EN -REGELINGEN

Beveiligingsrichtlijnen kerninstallaties

Deze richtlijnen omvatten beveiligingsmaatregelen die dienen te worden getroffen ter voldoening aan de voorschriften, welke zijn verbonden aan de krachtens de Kernenergiewet voor de KCB verleende vergunning. De vergunninghouder (EPZ) is verplicht maatregelen te treffen die tegengaan dat processen, materialen en apparatuur van de inrichting onbevoegd kunnen worden beïnvloed.

Nota en Plan/Rapportage "Kernongevallenbestrijding" (VROM, 1989/1992)

De doelstelling van dit plan is:

- het beschrijven en in operationele vorm vastleggen van het overheidsoptreden bij ongevallen met radioactieve stoffen
- het aangeven van de voorzieningen en regelgeving die daarbij noodzakelijk zijn
- het opstellen van een nazorgprogramma.

Met betrekking tot de bestuurlijke coördinatie van de ongevalsbestrijding is besloten om het niveau waarop deze plaatsvindt afhankelijk te doen zijn van de (potentiële) omvang van de gevolgen van een ongeval. Tegen deze achtergrond zijn er twee typen nucleaire objecten in binnen- en buitenland te onderscheiden, te weten categorie A-objecten, waarbij de gevolgen van ongevallen verder dan de lokale omgeving kunnen reiken, en categorie B-objecten, waarbij de gevolgen in principe tot de directe omgeving beperkt blijven. KCB is ingedeeld als een categorie A-object. Dit heeft geleid tot het opstellen van het Ramp-bestrijdingsplan Kernenergiecentrale Borssele, dat op 20 september 1991 door de burgemeesters van de gemeenten Arnhem, Borssele, Goes, Middelburg, Oostburg, Terneuzen en Vlissingen is vastgesteld.

3.2.6 VEILIGHEIDSRAPPORT KERNENERGIE-EENHEID CENTRALE BORSSELE

Het "Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele" (EPZ, 1993) bevat een beschrijving van de installatie alsmede een beschrijving van de genomen maatregelen ter bescherming van mensen, dieren, planten en goederen. Hierin zijn zowel maatregelen ter voorkoming van gevaar, schade of hinder tijdens normaal bedrijf begrepen, alsook beschermende maatregelen tegen gevaren die voortvloeien uit redelijkerwijs mogelijk te achten ongevallen die een besmetting van de omgeving tot gevolg zouden kunnen hebben.

Van het bestaande Veiligheidsrapport 1993 van de KCB zijn in verband met de voorgenomen optimalisatie de hoofdstukken 4, 9, 11, 14 en 15 voor zover nodig aangepast. Voor het overige blijft het veiligheidsrapport ongewijzigd van toepassing.

3.2.7 BELEID INZAKE RADIOACTIEF AFVAL

Het radioactief afval van de KCB wordt na tussenopslag afgevoerd naar de COVRA (Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval). Gebruikte splijtstofelementen worden evenwel na tussenopslag bij de KCB afgevoerd naar een opwerkingsfabriek in het buitenland, waar de gebruikte splijtstof wordt gescheiden in opnieuw bruikbare splijtstof en radioactief afval. Het radioactief afval wordt na 2000 teruggezonden naar Nederland en eveneens opgeslagen door de COVRA. De voorgenomen optimalisatie van splijtstof zal een vermindering van de hoeveelheid radioactief afval tot gevolg hebben.

De afvoer naar en opslag bij COVRA geeft invulling aan het beleid dat de verwerking en opslag van uit Nederland afkomstig radioactief afval op één lokatie in Nederland door één centrale organisatie dient plaats te vinden (Tweede Kamer, 1984).

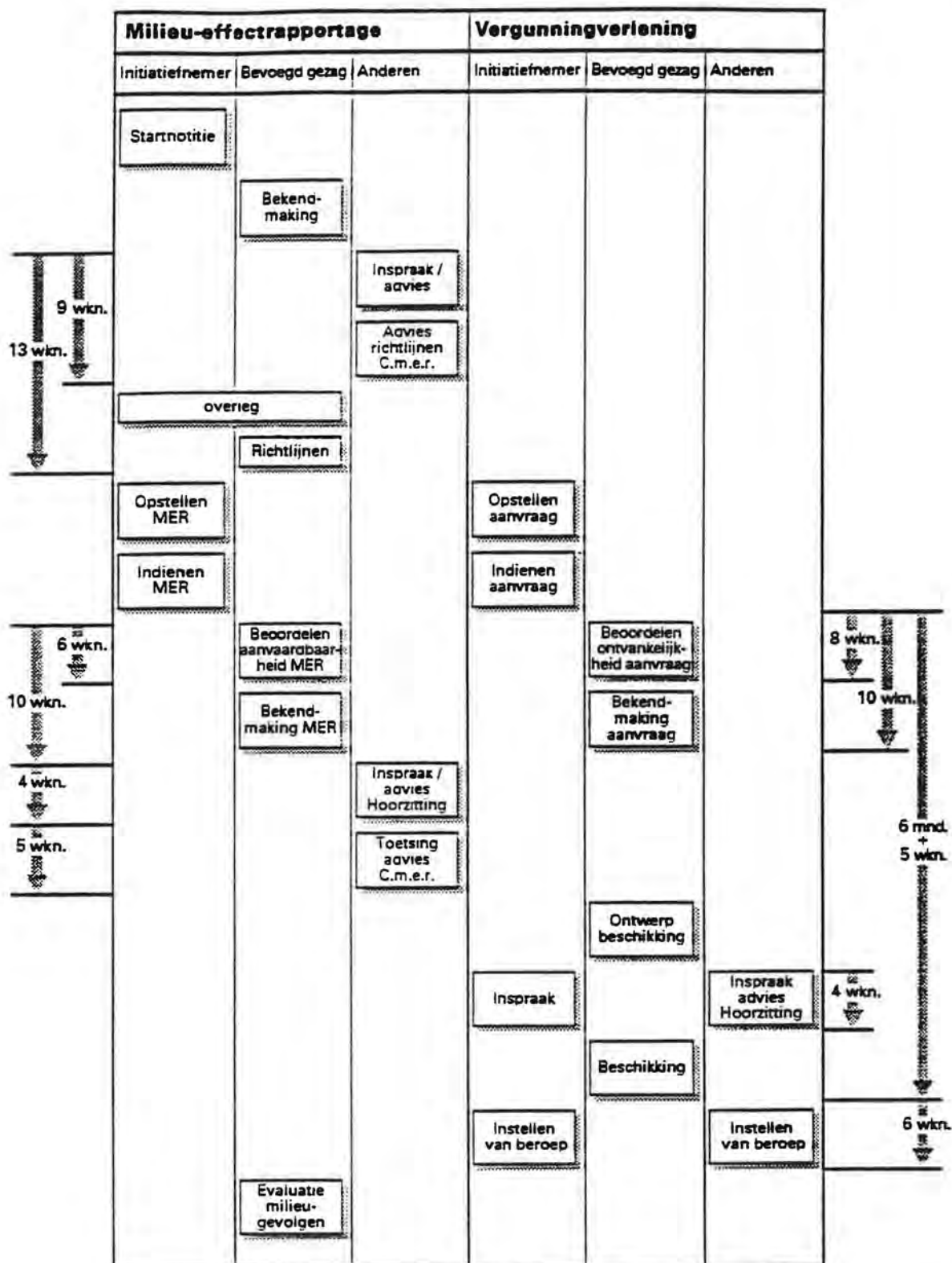
In het afvalbeleid en de Nationale Milieubeleids Plannen (NMP, NMPplus en NMP2) is daarnaast het uitgangspunt neergelegd dat de opslag en stort van niet-verwerkbaar afval moet voldoen aan de zogenaamde IBC-criteria (Isoleren, Beheersen en Controleren). Een bergingswijze, die niet aan deze criteria voldoet, wordt afgewezen. Voor de verwerking van afval wordt in Nederland de "ladder van Lansink" gehanteerd. Tweede Kamerlid Lansink heeft namelijk een voorkeursvolgorde gedefinieerd om afval zo hoogwaardig mogelijk toe te passen. Hergebruik is de hoogste trede en storten de laagste trede. Toegepast op kernsplijttingsafval behoort dit afval zoveel mogelijk te worden hergebruikt. Waar de mogelijkheden tot hergebruik niet nu bestaan maar in de toekomst wel, moet het afval herneembaar worden opgeborgen.

Uitgaande van de IBC-criteria en de terugneembaarheidseis heeft de regering in 1993 besloten dat opslag van afval in de diepe ondergrond alleen kan worden toegelaten mits terugneembaar (Tweede Kamer, 1993).

COVRA kan op het beschikbare terrein opslaggebouwen realiseren die volgens huidige inzichten en gebaseerd op de huidige praktijk en regelgeving en voor het nu bestaande kernenergieprogramma voldoende zijn om gedurende 100 jaar het verwachte aanbod van radioactief afval op te slaan.

3.3 Besluitvorming

Dit MER is opgesteld ten behoeve van de te nemen besluiten inzake bijgaande aanvraag om een wijziging van vergunning ingevolge artikel 15 onder a en b van de Kernenergiewet voor de voorgenomen activiteit. De vergunning wordt aangevraagd bij de Ministers van Economische Zaken, van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, en van Volksgezondheid, Welzijn en Sport. De vergunningprocedure is ingevolge art. 17, eerste lid, KEW onderworpen aan de paragrafen 3.5.2 t.e.m. 3.5.5 van de Algemene wet bestuursrecht alsmede de paragrafen 8.1.3.2 en 8.1.3.3 en afdeling 13.2 van de Wet milieubeheer. Omdat de voorgenomen activiteit m.e.r.-plichtig is, is tevens hoofdstuk 7 van de Wet milieubeheer van toepassing (zie figuur 3.3.1)



Figuur 3.3.1 Procedures m.e.r. en vergunningverlening Optimalisatie splijtstof KCB

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 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
- voorkeursalternatief
- milieu-vriendelijke alternatieven (uitvoeringsalternatieven)
- het meest milieu-vriendelijk 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 maakt onderdeel uit van de locatie Zeeland van EPZ, waarop zich ook een kolen/gestookte eenheid bevindt. De belangrijkste gebouwen 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	1.366	MW _{th}
Netto rendement	33	%
Primair systeem		
Systeemdruk	155	bar
Gemiddelde temperatuur	305	°C
Secundair systeem		
Stoomdruk	58	bar
Stoomtemperatuur	260	°C

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). Deze warmte wordt overgedragen aan het koelmiddel, dat uit water, waaraan borium is toegevoegd, bestaat. Dit koelmiddel wordt in een kringloop, de primaire kringloop genoemd, rondgepompt. Het staat daarbij onder hoge druk, zodat 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 stoomgeneratoren (2), waar het water uit de secundaire kringloop in stoom wordt omgezet. Na afschakeling van de reactor blijft de kern door de aanwezigheid van radioactieve splijtingsprodukten 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.

Nadat in de reactor de splijtstof van de elementen grotendeels is verbruikt, worden de elementen in een splijtstofopslagbassin geplaatst. Op grond van contractuele eisen van de opwerkingsfabriek wordt de gebruikte splijtstof na een afkoelperiode van minimaal 270 dagen, 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 en het kernsplijtingsproces worden in de paragrafen 4.2.2 en 4.2.3 beschreven.

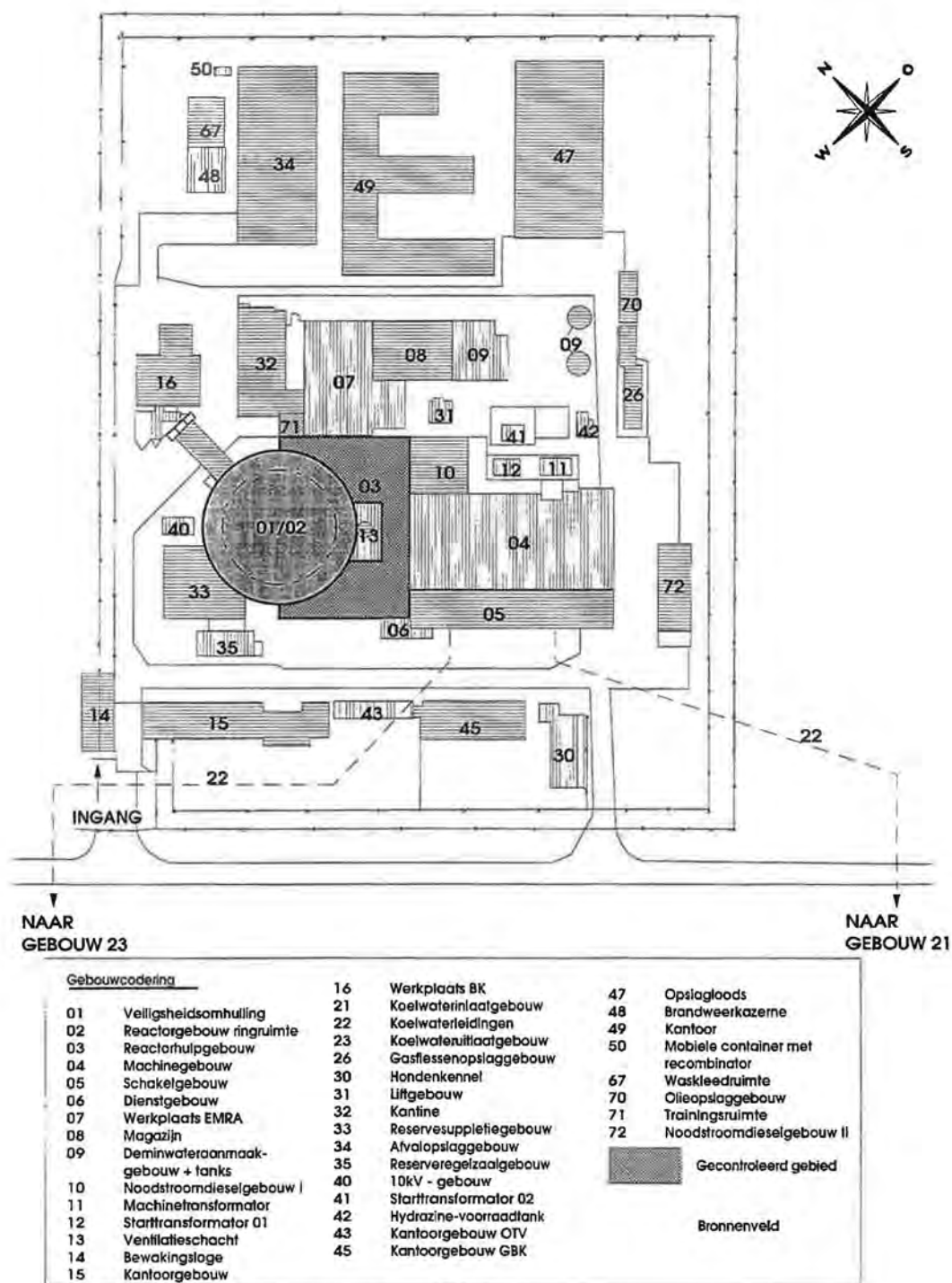
De in de stoomgeneratoren geproduceerde stoom drijft een stoomturbine (7) aan, die op haar beurt een elektriciteitsgenerator (8) aandrijft, die de elektriciteit produceert.

Aan de primaire kringloop is een drukhouder aangesloten (4), waarmee door sproeien of door elektrisch verwarmen de optredende druk- en volumevariaties worden gecompenseerd. Op de drukhouder bevinden zich afblaas- en veiligheidskleppen (6).



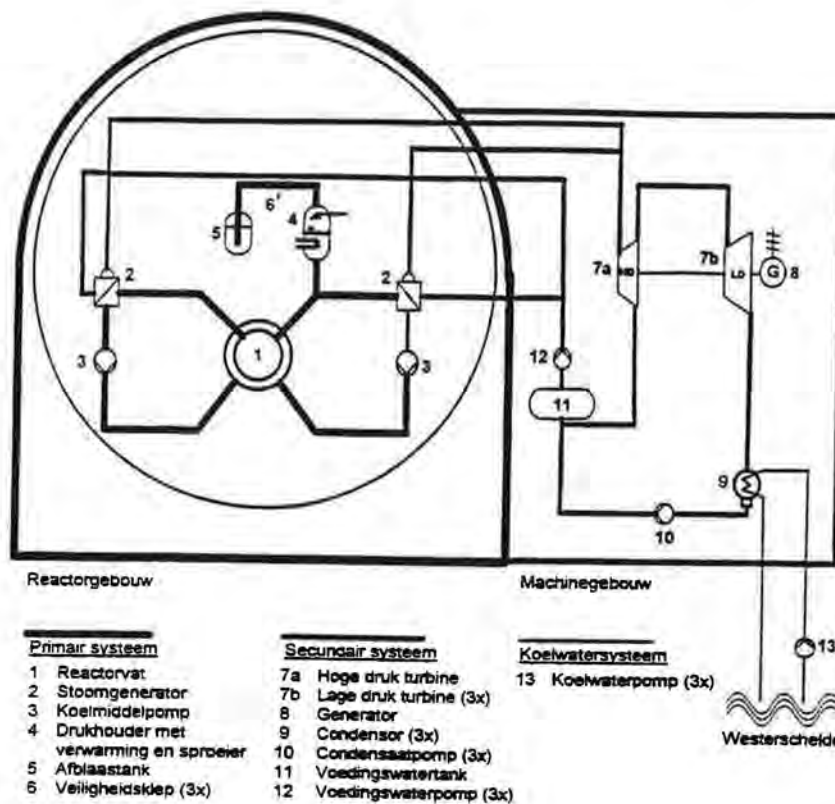
Figuur 4.2.1 Ligging van de kernenergiecentrale Borssele (schaal 1:200.000)
96-01-31

VR-KCB93



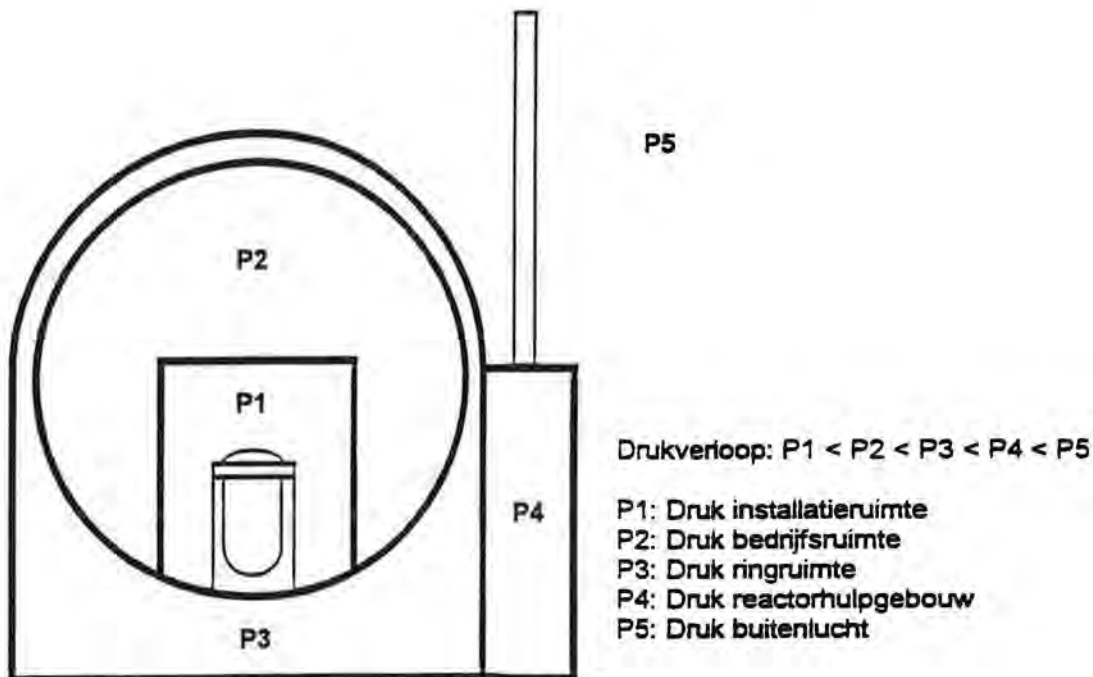
Gebouwoverzicht, -situatieschets-

Figuur 4.2.2 De belangrijkste gebouwen van de KCB



Figuur 4.2.3 Overzichtsschema van de installatie

De centrale is uitgerust met een nucleair ventilatiesysteem (zie figuur 4.2.4). Met behulp van ventilatoren wordt in de verschillende ruimten binnen het reactorgebouw een van buiten naar binnen toenemende onderdruk in stand gehouden. 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 gevoerd. De afgevoerde lucht uit bovengenoemde ruimten alsmede de luchtafvoer door de ventilatieschacht worden bewaakt op radioactiviteit. Tevens wordt in de ventilatieschacht de doorstromende hoeveelheid gemeten. Bij een te grote toename van de activiteit 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 SPLIJTSTOF CYCLUS

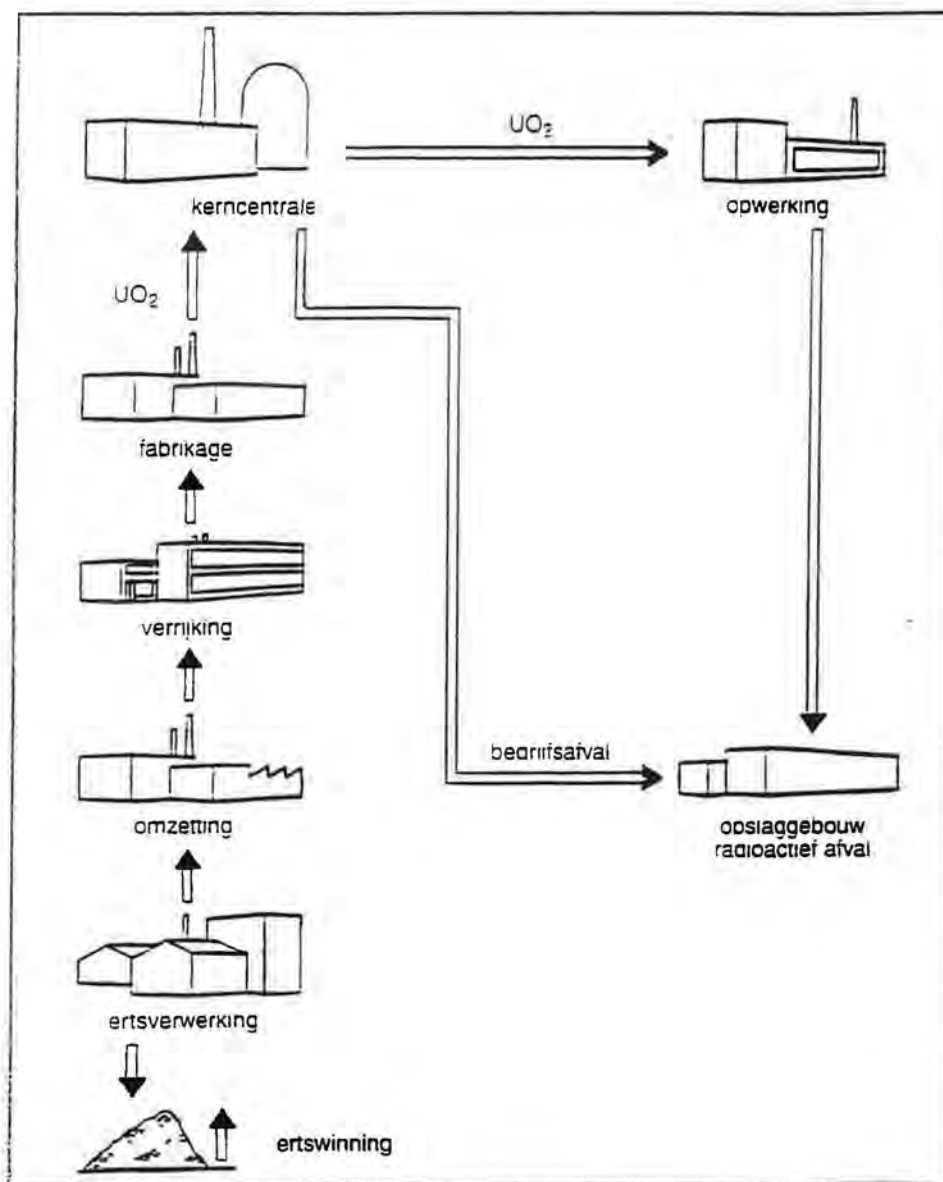
De opeenvolging van de verschillende bewerkings- en verwerkingsstadia van de materialen die nodig zijn voor de kernsplijting wordt de splijtstofcyclus genoemd.

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

- 1 de winning van uranium uit erts 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 gewichtsprocenten (0,2%) 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"
- 2 de omzetting van het vaste U_3O_8 in het gasvormige uraniumhexafluoride (UF_6)
- 3 de verrijking, waarbij de concentratie van het splijtbaar isotoop uranium-235 van 0,7% verhoogd wordt tot 2 à 5%. Nederland is voor de toelevering van uranium afhankelijk van het buitenland. De enige bewerking die in Nederland kan plaatsvinden is die van het verrijken van uranium. Het natuurlijk uranium wordt daarbij als UF_6 naar de verrijkingsfabrieken aangevoerd. Het verrijkt uranium wordt in de vorm van UF_6 naar de splijtstoffabrieken in

- het buitenland getransporteerd. Afhankelijk van het land waar het UF_6 vandaan komt, vindt de aanvoer naar Nederland plaats per schip, per trein of over de weg
- 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) die vervolgens worden gebundeld tot splijtstofelementen
 - 6 de versplijting van het uranium in kernenergiereactoren: hierbij neemt de concentratie van het splijtbare uraniumisotoop uranium-235 af van 2 à 5% tot ongeveer 0,7 gewichtsprocent en worden radioactieve splijtings- en activeringsprodukten 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 splijtingsprodukten
 - 8 de verwerking en opslag van de splijtingsprodukten.

Aangezien de diverse activiteiten veelal op verschillende plaatsen gebeuren, zijn materiaaltransporten nodig. Een schema van de splijtstofcyclus voor de kernenergiecentrale Borssele is weergegeven in figuur 4.2.5.



Figuur 4.2.5 De splijtstofcyclus 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 bewerk-

stelligen en wordt daarom kunstmatig verhoogd. Dit wordt het verrijken van de splijtstof genoemd. Het percentage uranium-235 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 3,3%).

De warmte-ontwikkeling in een kernenergiecentrale 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 splijtingsprodukten. Deze zijn radioactief.

Bij het splijten van een kern komen naast de splijtingsprodukten 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. Dit gebeurt bij de kernenergiecentrale Borssele met behulp van (licht) water. Dit water dient tevens voor de afvoer van de opgewekte warmte. De gevormde activerings- en splijtingsprodukten 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 hoge druk zodat 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 worden zoveel 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 activeringsprodukten 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.

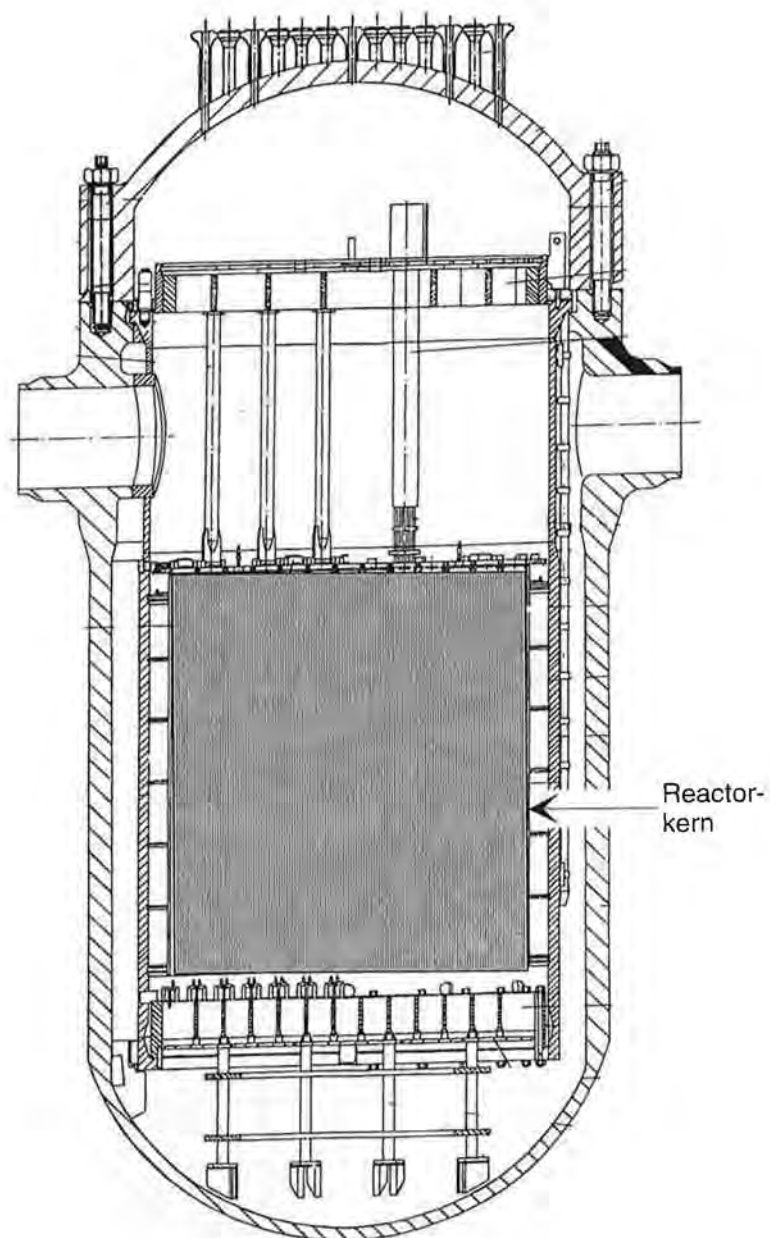
Onbestraalde splijtstof bevat slechts een geringe hoeveelheid radioactiviteit. Tijdens het bedrijf van de reactor wordt in de splijtstof een grote hoeveelheid radioactiviteit gevormd. Het betreft splijtingsprodukten met massagetalen onder circa 160 en activeringsprodukten met massagetalen boven circa 230. Deze produkten blijven binnen de splijstofelementen opgesloten.

4.2.4 SPLIJTSTOFELEMENTEN

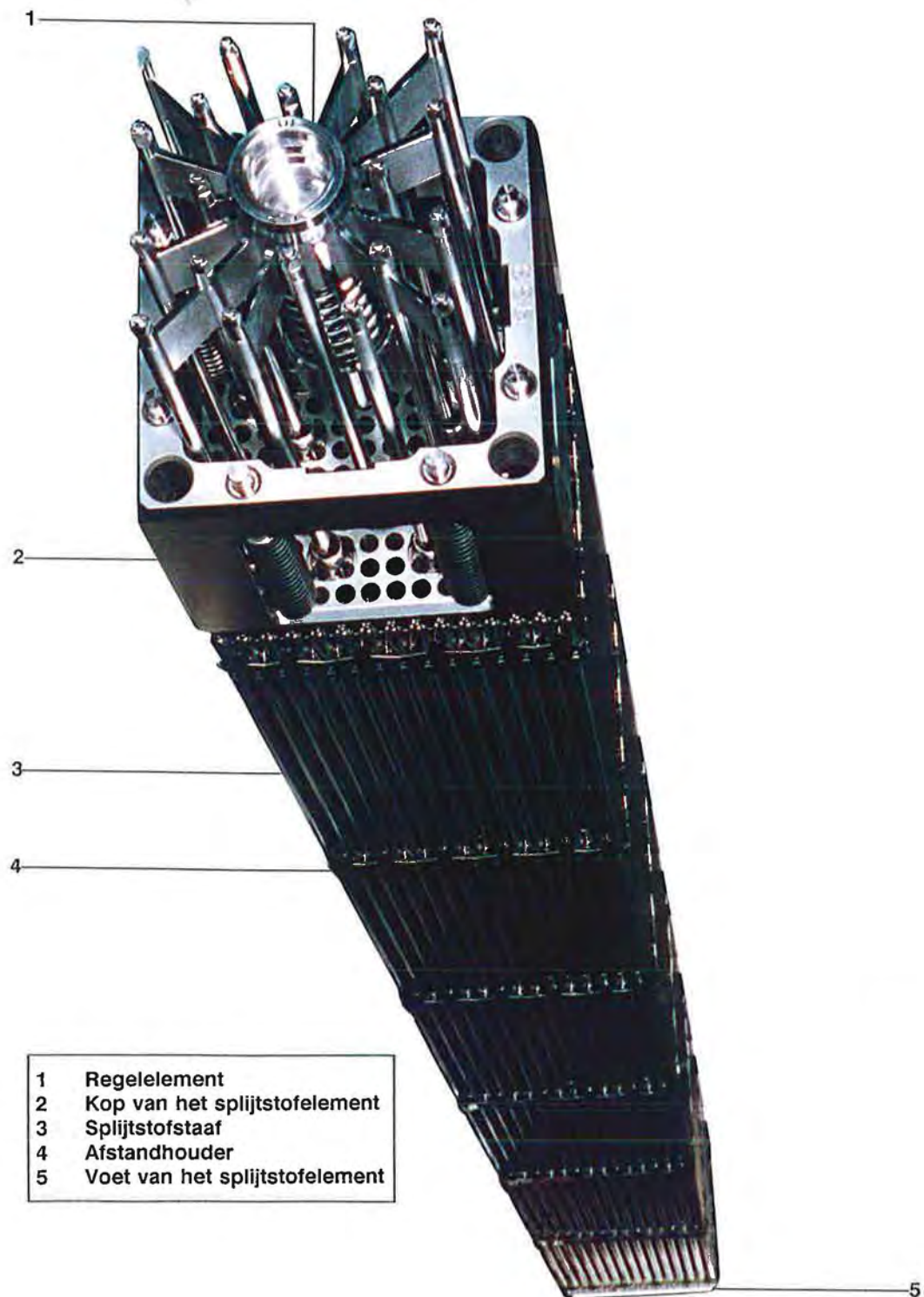
Kernsamenstelling

De reactorkern van de KCB bevat thans ongeveer 38 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 splijtstofelementen (zie figuur 4.2.7). Op 28 posities van de kern kan een regelement in het splijtstofelement op en neer worden bewogen.

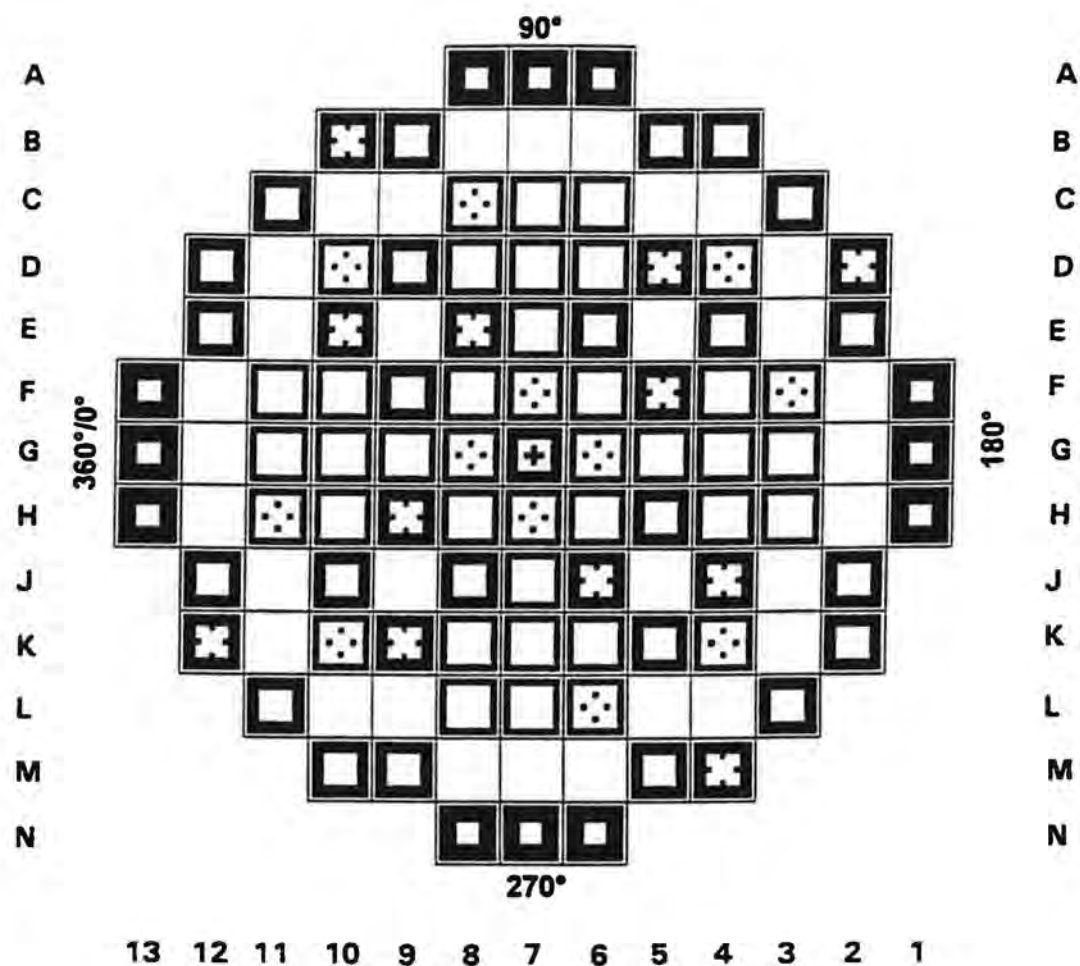
Alle splijtstofelementen zijn in principe identiek geconstrueerd maar kunnen van elkaar verschillen wat de verrijkingsgraad betreft. Binnen elk element is de verrijkingsgraad constant. De verrijkingsgraad van nieuwe elementen bedraagt thans maximaal 3,3% uranium-235. Gedurende het bedrijf neemt de verrijking van de splijtstofelementen 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 Splijstofelement met regelement
96-01-31



	32 SE, 1e standtijd 3.28 % ^{235}U		12 SE, 3e standtijd 3.29 % ^{235}U
	28 SE, 2e standtijd 3.28 % ^{235}U		1 SE, 3e standtijd 3.30 % ^{235}U
	12 SE, 2e standtijd 3.27 % ^{235}U		12 SE, 4e Standtijd 3.30 % ^{235}U
	24 SE, 3e standtijd 3.27 % ^{235}U	SE	Splijststofelement(en)

Figuur 4.2.8 Voorbeeld van een kern na verschillende splijfstofwisselingen
96-01-31

Ter illustratie is een karakteristieke kern, zoals deze in een bepaalde splijfstofcyclus was opgebouwd, weergegeven in figuur 4.2.8. Deze bevat splijstofelementen tot aan de vierde standtijd met beginverrijkingen kleiner of gelijk aan 3,3% uranium-235. Na een splijfstofcyclus van circa 12 maanden, wordt telkens een deel van de in de kern aanwezige splijstofelementen vervangen door nieuwe elementen. Dit gebeurt tijdens een zogenaamde splijstofwisseling waarbij de reactor uit bedrijf is.

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 eindroppen 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.

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 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 elementen bestaan uit een bodemplaat met korte smoorvingers die de geleidingsbuizen afsluiten.

Splijststofwisseling

Na iedere cyclus van ongeveer een jaar wordt een deel van de splijststofelementen uit de kern verwijderd en vervangen door nieuwe elementen. Hiertoe wordt de reactorkern na iedere cyclus opnieuw beladen. De elementen waarvan de splijststof zo goed als geheel is opgebrand worden definitief verwijderd. De mogelijkheid bestaat dat een aantal splijststofelementen, die nog slechts deels zijn opgebrand, niet direct wordt teruggeplaatst in de kern maar pas bij een latere cyclus wordt toegepast. Dit is afhankelijk van de optimale toepassing van de splijststofelementen. Het zo optimaal mogelijk beladen van de reactorkern vindt plaats volgens een vooraf vastgesteld beladingsplan waarbij een deel van de splijststofelementen op andere plaatsen wordt gezet en ongeveer een derde deel wordt ontladen en vervangen door nieuwe elementen. De elementen die definitief worden ontladen zijn elementen die gedurende drie of vier cycli zijn gebruikt. Bij een splijststofwisseling worden de nieuwe splijststofelementen vanuit het splijststofopslagbassin in het reactorvat geplaatst en worden de opgebrande elementen vanuit de kern in het splijststofopslagbassin 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 door de Kernfysische Dienst van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid beoordeeld.

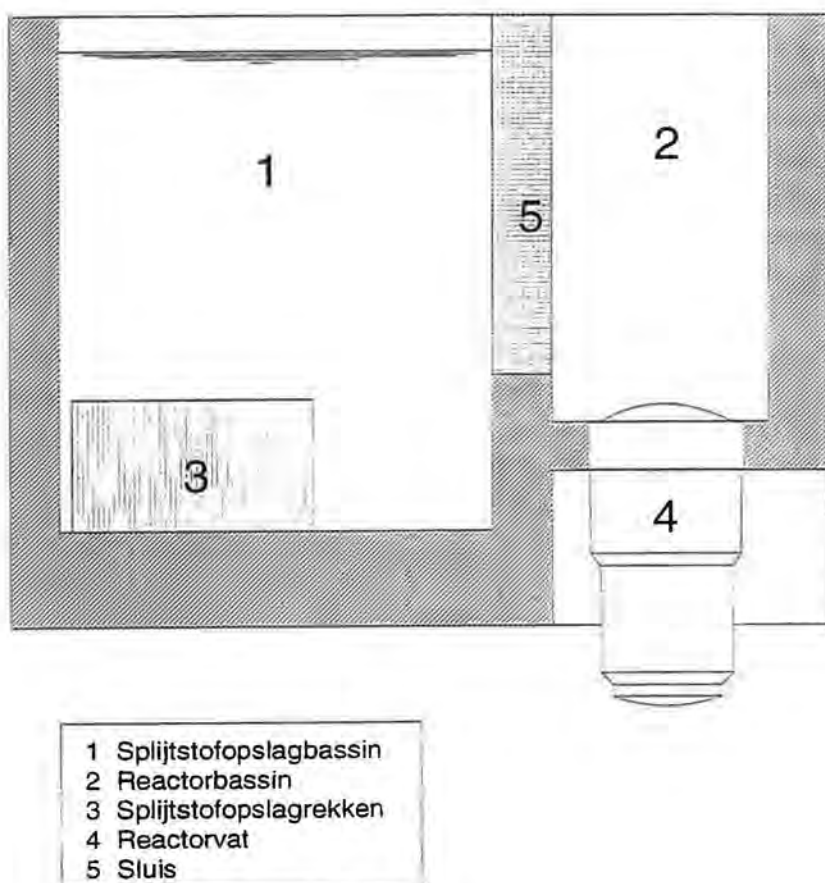
4.2.5 OPSLAG SPLIJSTSTOFELEMENTEN

Opslag van nieuwe splijststofelementen

Nieuwe splijststofelementen zijn nauwelijks radioactief en produceren geen warmte. Opslag, afscherming en koeling vragen dan ook veel minder aandacht dan bij gebruikte elementen. Nieuwe splijststofelementen worden in principe bij aankomst in de centrale in het splijststofopslagbassin (zie figuur 4.2.9) geplaatst. De afstand tussen de splijststofelementen in het splijststofopslagbassin is zo gekozen, dat zelfs wanneer alle plaatsen bezet zijn door nieuwe splijststofelementen, en het water in het bassin per ongeluk geen neutronenabsorberend boorzuur zou bevatten, geen kernsplijtingsproces op gang kan komen. De zogenaamde onderkriticaliteit van de splijststofelementen 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 splijststofelementen bezet, zodat de onderkriticaliteit met een zeer ruime marge is gewaarborgd.

Ook bestaat de mogelijkheid de nieuwe splijtstofelementen droog op te slaan in een daarvoor geschikte ruimte in het reactorhulpgebouw. Deze ruimte is tegen overstroming beveiligd en de opslagrekken zijn zo geconstrueerd, dat zelfs als de splijtstofelementen onder water zouden komen te staan het splijtingsproces niet kan optreden.

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



Figuur 4.2.9 Situering splijtstofopslagbassin

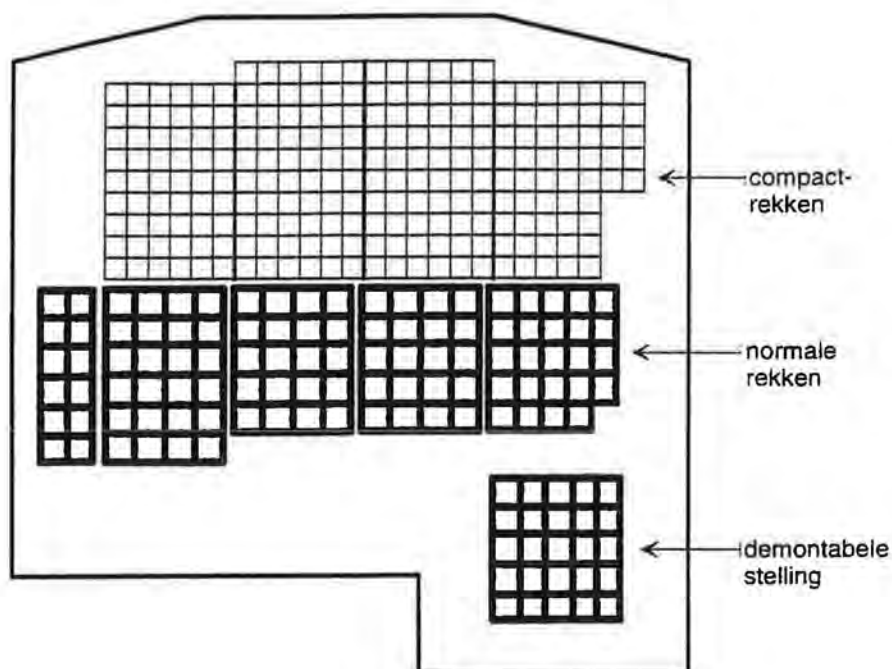
Opslag van gebruikte splijtstofelementen

Gebruikte splijtstofelementen worden in het splijtstofopslagbassin bewaard totdat ze opnieuw in de reactorkern gebruikt worden of afgevoerd worden uit de centrale. Het splijtstofopslagbassin bevindt zich binnen de veiligheidsomhulling (zie figuur 4.2.11) en is door middel van een afsluitbare sluis verbonden met het reactorbassin (het bassin boven het reactorvat). Het gebo-reerde water in het splijtstofopslagbassin dient om de gebruikte splijtstofelementen te koelen.

Verder dient het ter afscherming van de ioniserende straling van de gebruikte splijtstofelementen en van de eventueel in het bassin opgeslagen geactiveerde of besmette constructiedelen.

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

In het splijtstofopslagbassin bevinden zich opslagrekken waarin ongeveer 350 splijtstofelementen kunnen worden opgeslagen (zie figuur 4.2.10). Circa een derde deel van de opslagrekken is uitgevoerd als normale rekken, waarbij de afstand tussen de elementen zodanig is dat geen kritikaliteit kan optreden. De overige rekken zijn als compactrekken geconstrueerd, waarbij een kleinere afstand mogelijk is doordat tussen de posities voor de splijtstofelementen platen met neutronenabsorberend materiaal zijn aangebracht. Een klein deel van de normale rekken is demontabel uitgevoerd. Ter plaatse van deze demontabele stelling kan, in de periodes tussen de splijtstofwisselingen, de transportcontainer voor de afvoer van splijtstofelementen worden geplaatst. Naast opslagrekken is er ook plaats voor de opslag van de aandrijfstangen van de regелеlementen. Tevens zijn er voorzieningen voor het inspecteren van splijtstofelementen.



Figuur 4.2.10 Schematisch bovenaanzicht van het splijstofopslagbassin

4.2.6 VEILIGHEIDSVORZIENINGEN

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 voorraadtanks 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 gedurende 10 uur 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. Het reactorbeveiligingssysteem is ondergebracht in het reservesuppletiegebouw, het reserveregelzaalgebouw en in het schakelgebouw.

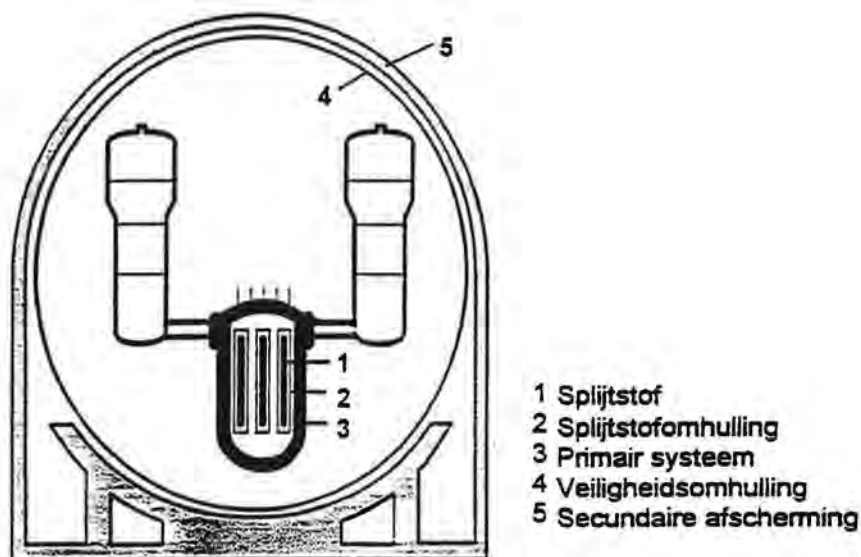
De **noodstroomvoorziening**, die uit 2 noodstroomnetten met dieselgeneratoren bestaat, dient om ingeval de externe 150 kV-stroomvoorziening uitvalt, de apparatuur die nodig is voor het veilig uit bedrijf nemen en in een veilige toestand houden van de installatie, van spanning te voorzien.

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 goedkeuringsprocedure mag deze worden geopend.

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 hoeveelheid ioniserende straling op zo laag als redelijkerwijs mogelijke waarden 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 4.2.11.

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



Figuur 4.2.11 Activiteitsbarrières

Indien een van deze barrières wordt bedreigd of doorbroken wordt, treden automatisch actieve veiligheidssystemen in werking. Deze dienen om te voorkomen dat er 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 eerdergenoemde reactorsnelafschakelsysteem. 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 onder andere worden gevoed door de eerder genoemde secundaire veiligheidssystemen. De gevormde stoom wordt eventueel afgeblazen. Is warmteafvoer via de stoomgeneratoren niet mogelijk, dan wordt het kerninundatie- en nakoelsysteem ingeschakeld.

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 1985-1994 gegeven.

Tabel 4.2.2 Emissies naar de atmosfeer (1985-1994), 1 TBq = 10^{12} Bq

Nuclide	Gemiddelde emissie (TBq/a)	Maximale emissie (TBq/a)
Edelgassen	5	$3 \cdot 10^1$
Aërosolen	$3 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$
^{131}I	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$
Overige halogenen	$4 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-6}$
Tritium (als HTO)	$4 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{14}C (als $^{14}\text{CO}_2$)	$9 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$

Tabel 4.2.3 Emissies naar de Westerschelde (1985-1994), 1 TBq = 10^{12} Bq

Nuclide	Gemiddelde emissie (TBq/a)	Maximale emissie (TBq/a)
Tritium	5	7
β - en γ -activiteit	$2 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$
α -activiteit	$7 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-7}$

De verwachting is dat in de komende jaren ongeveer dezelfde emissies 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 zogenaamde exposietempo's (een maat voor de hoeveelheid straling ten gevolge van radioactieve stoffen) gemeten en op 5 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 brandblussystemen aanwezig.

Om de milieuzorg binnen EPZ als onderdeel van de bedrijfsactiviteiten op structurele en systematische wijze te kunnen realiseren, zal een bedrijfsintern milieuzorgsysteem in de loop van 1996 volledig operationeel worden met als uitgangspunt de in februari 1991 door de directie van EPZ vastgestelde milieubeleidsverklaring.

4.2.8 BEDRIJFSERVARINGEN

Enkele jaren geleden zijn in het kader van de 10-jaarlijkse evaluatie de afwijkingen en storingen uit de periode 1982 tot en met 1991 opnieuw geïnventariseerd en geëvalueerd, met het doel na te gaan of hieruit de noodzaak zou blijken tot wijziging van de installatie.

Gebleken is, dat bij alle storingen de installatie òfwel automatisch of door bedieningshandelingen in bedrijf kon worden gehouden òfwel op veilige wijze uit bedrijf is genomen of gegaan. In sommige gevallen zijn verbeteringen in de installatie aangebracht om de storingsoorzaak weg te nemen.

In twee gevallen heeft zich als gevolg van een storing een verhoogde lozing van radioactieve stoffen naar de lucht voorgedaan. Het betrof een storing in het nucleair afgassysteem in 1986 en een lekkage in één van de pijpen van een stoomgenerator in 1991. De opgetreden lozingen waren echter minder dan respectievelijk een tiende van de vergunde daglimiet en minder dan een vijfduizendste van de vergunde jaarlimiet.

4.3 Voorgenomen optimalisatie van de splijtstof

In tabel 4.3.1 is een overzicht gegeven van de verschillende mogelijkheden om efficiënter gebruik te maken van de splijtstof. Uitgangspunten van EPZ bij de keuze uit de optimalisatiemogelijkheden zijn geweest dat de optimalisatie geen experimenteel karakter zou mogen hebben, de veiligheid en de bedrijfsvoering niet nadelig zou mogen beïnvloeden en geen omvangrijke wijzigingen aan het splijtstofopslagbassin en andere systemen, zoals het boringssysteem, zou mogen inhouden. Dergelijke grote wijzigingen zijn gezien de beperkte resterende bedrijfsduur economisch niet verantwoord. De keuze van de voorgenomen optimalisatie uit de mogelijkheden zoals vermeld in tabel 4.3.1 berust op het volgende.

De eerste twee opties (a en b) zijn mogelijk binnen de reeds verleende vergunningen en worden ook reeds zoveel mogelijk toegepast.

De toepassing van mengoxide (mogelijkheid e) vergt ingrijpende veiligheidsanalyses en stuit daarom op problemen.

De mogelijkheid genoemd onder f (toevoegen van een neutronenabsorber, zoals Gadolinium, aan de splijtstof) heeft ingrijpende gevolgen voor de met betrekking tot de kern uit te voeren ongevalsanalyses en is daarom minder interessant. De in de startnotitie nog open gehouden mogelijkheid om Gadolinium toe te passen was met name interessant in combinatie met langere splijtstofcycli. Van dergelijke lange cycli is evenwel om bedrijfsmatige redenen afgezien, waarmee ook de reden om Gadolinium toe te passen vooralsnog vervalst.

Tabel 4.3.1 Mogelijkheden voor efficiënter gebruik van de splijtstof bij de KCB
SE = splijtstofelement(en)

methode	primair(e) gevolg(en)	restrictie(s) ¹⁾	uiteindelijke effect
a optimalisatie herlading	- minder verlies neutronen - gelijkmatige versplijting over de SE	- fysische en thermohydraulische randvoorwaarden voor de reactorkern	- langere cyclusduur en/of minder nieuwe SE
b andere constructiematerialen SE (b.v. Zircaloy)	- minder verlies neutronen	- randvoorwaarden t.a.v. sterkte en corrosie	- langere cyclusduur en/of minder nieuwe SE
c andere vorm splijtstoftabletten	- toename splijtstof per SE	- fysische randvoorwaarden voor de splijtstofstaven	- standaardisatie van de splijtstoftabletten - effecten te verwaarlozen
d hogere verrijkingsgraad	- langere levensduur SE - hogere opbrand SE	- fysische randvoorwaarden in de kern - kritikaliteit opslagbasin	- minder nieuwe SE en/of langere cyclusduur, alleen in combinatie met f
e andere samenstelling splijtstoffen (b.v. MOX)	- minder grondstoffen (niet verrijkt uranium) nodig	- ingrijpende veiligheidsanalyses	- diverse effecten op de splijtstofcyclus en de splijtstofeconomie
f toevoegen neutronenabsorber aan de splijtstof (b.v. Gadolinium)	- afname borium in het koelmiddel	- omvangrijke ongevalsanalyses i.v.m. reactiviteitsgedrag reactor	- extra marge t.o.v. randvoorwaarden - langere cyclusduur in combinatie met d

¹⁾ voor een aantal wijzigingen is een nieuwe wijziging van de KEW vergunning nodig

De overblijvende mogelijkheden c en d (hogere verrijkingsgraad en aanpassing van de vorm van de splijtstoftabletten) zijn betrekkelijk eenvoudige wijzigingen met weinig gevolgen voor de met betrekking tot de reactorkern uit te voeren ongevalsanalyses. Gezien de aanzienlijke economische voordelen van deze mogelijkheden (zie ook paragraaf 2.3) heeft EPZ besloten om hier vergunning voor aan te vragen.

Bij de voorgenomen verrijkingsgraad van maximaal 4,0% behoeven - bij gelijkblijvende elektriciteitsproductie en de jaarlijkse bedrijfsperiode - jaarlijks minder nieuwe elementen geplaatst te worden dan bij de huidige verrijkingsgraad van 3,3%. De jaarlijkse opwerkingskosten verminderen daardoor met ruim 20% hetgeen jaarlijks een besparing van een aantal miljoenen guldens oplevert. Overigens zal door de hogere verrijking het vermogen van de reactor niet worden vergroot.

Opgemerkt wordt voorts, dat blijkens figuur 2.2.1 toepassing van een verrijkingsgraad tot ruim 4% beschouwd kan worden als "stand der techniek" bij westerse kernenergiecentrales.

Als gevolg van een standaardisatie van de produktiemethode van splijtstoftabletten bij de leverancier zal de hoeveelheid splijtstof in de splijtstofstaaf licht verhoogd worden. Deze verhoging is het gevolg van een iets andere vorm van de splijtstoftabletten, waarbij de randen van de tabletten in de toekomst iets minder afgeschuind worden. De verhoging bedraagt circa 1%. Voor de ontwerpberekeningen wordt rekening gehouden met een maximale verhoging van 2%. De dichtheid van het UO_2 zelf blijft ongewijzigd evenals de diameter van de UO_2 -tabletten. Opgemerkt zij dat de verhoging van de verrijkingsgraad direct verband houdt met en noodzakelijk is voor het doel van de voorgenomen activiteit: het effectiever gebruiken van de splijtstof in de kernenergiecentrale Borssele. De iets gewijzigde vorm van de splijtstoftabletten staat daar los van en is uitsluitend een gevolg van de gewenste standaardisatie van het fabricageproces.

In tabel 4.3.2 is een overzicht gegeven van de belangrijkste gevolgen van de voorgenomen activiteit.

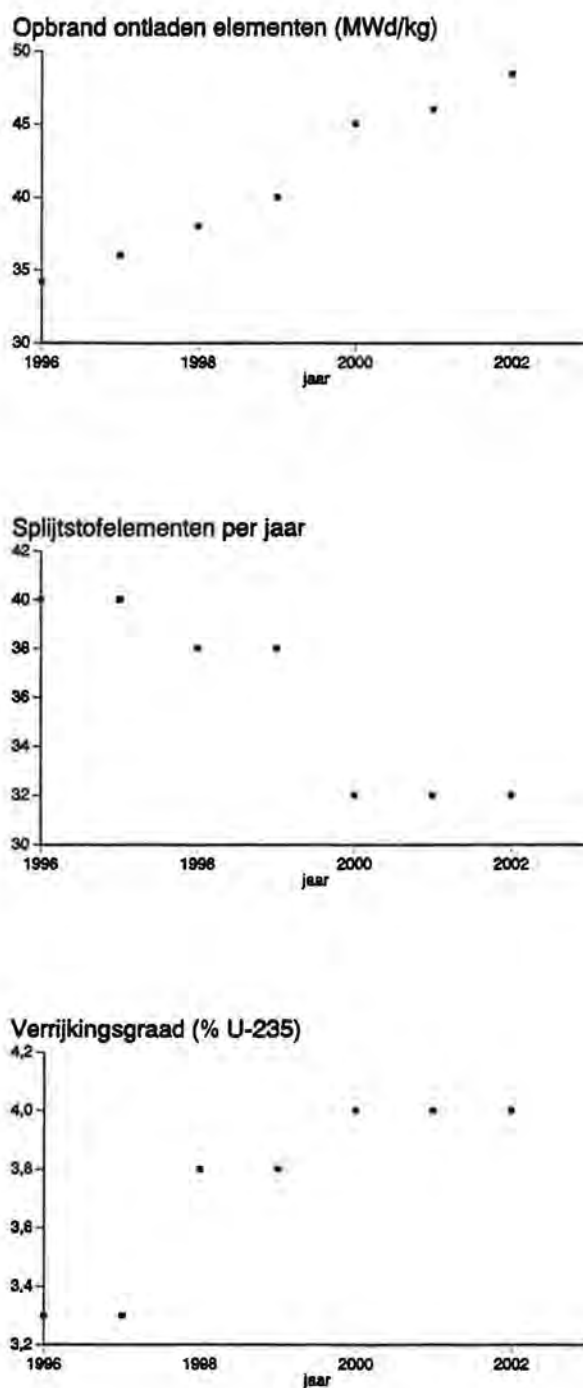
Tabel 4.3.2 De voorgenomen activiteit

	huidige situatie	voorgenomen activiteit	eenheid
beginverrijking (maximaal)	3,3	4,0	%U-235
gemiddelde opbrand van ontladen elementen (circa)	34	50	MWd/kgU
gemiddeld aantal ontladen elementen (circa)	40	32	aantal/jaar
hoeveelheid U in kern (circa)	38	39	1000 kg

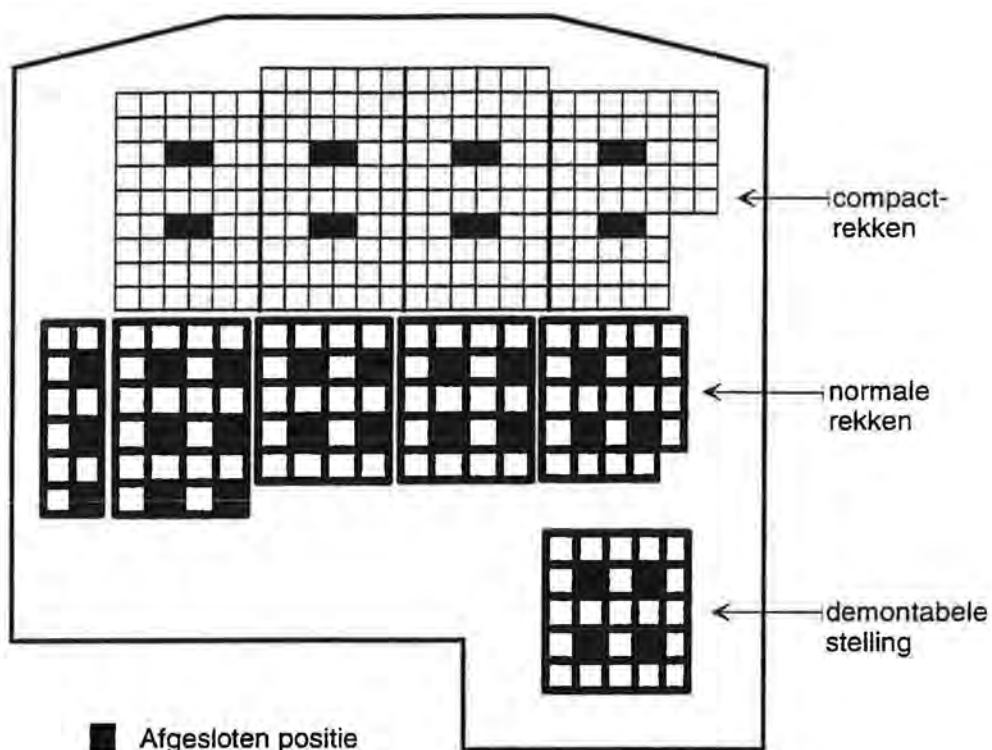
In figuur 4.3.1 is een indicatie gegeven hoe de overgang van de huidige situatie naar de nieuwe situatie zou kunnen verlopen. Daarbij dient opgemerkt te worden dat de jaarlijkse inzet van nieuwe splijtstofelementen en het ontladen van gebruikte elementen ieder jaar geëvalueerd wordt en ter beoordeling voorgelegd aan de Kernfysische Dienst. 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 en 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 het opslagbassin kunnen verminderen. Om zeker te stellen dat ook in de nieuwe situatie te allen tijde aan de voorwaarden voor onderkritikaliteit voldaan wordt, wordt het wenselijk geacht een extra voorziening in het opslagbassin aan te brengen. Door het afsluiten van een aantal posities van de opslagrekken wordt uitgesloten dat nieuwe elementen met een hogere verrijkingsgraad te dicht bij elkaar geplaatst kunnen worden. In figuur 4.3.2 is een mogelijkheid aangegeven hoe posities in het opslagbassin afgesloten kunnen worden waarbij aan de voorwaarden voor onderkritikaliteit wordt voldaan. Behalve deze afsluiting zijn voor de voorbereiding, omschakeling en verdere activiteiten (zoals ontmanteling) geen extra voorzieningen nodig.



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



Figuur 4.3.2 Schematisch bovenaanzicht van het splijtstofopslagbassin met de afgesloten posities

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
- milieu-vriendelijke alternatieven (uitvoeringsalternatieven)
- het meest milieu-vriendelijk alternatief.

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

Milieu-vriendelijke 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 daarmee 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 variatie van het aantal splijtstofelementen dat jaarlijks gebruikt wordt. Dat betekent een variatie 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 nimmer kritisch mag worden. Bij het laatste wordt nog opgemerkt dat omvangrijke constructieve wijzigingen van het opslagbassin niet realistisch zijn gezien de voorziene resterende bedrijfstijd. 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 4,0 gewichtsprocent uranium-235 een optimale keuze is, zullen de volgende twee alternatieven onderzocht worden:

alternatief 3,8%: een verhoging van de verrijking tot 3,8% in plaats van 4,0%

alternatief 4,2%: een verhoging van de verrijking tot 4,2% in plaats van 4,0%.

Het alternatief "3,8%" is gekozen omdat in verband met de met deze verhoging gepaard gaande investeringen een marginale verhoging boven de 3,3% om bedrijfseconomische redenen niet gewenst is. Een alternatief hoger dan 4,2% heeft weinig zin gezien het uitgangspunt dat EPZ "stand der techniek" wenst toe te passen en omvangrijke wijzigingen aan het splijtstofopslagbassin 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 3,8%	alternatief 4,2%
beginverrijking (%U-235) (maximaal)	3,3	4,0	3,8	4,2
gemiddelde opbrand van ontladen elementen (MWd/kgU) (circa)	34	50	47	54
aantal ontladen elementen (circa)	40	32	34	30

Zoals beschreven in paragraaf 4.3 zijn de getallen in tabel 4.4.1 indicatief en zullen bij het uitvoeren van de voorgenomen activiteit jaarlijks vastgesteld worden.

Voor beschouwingen over afwegingen inzake de voorgenomen activiteit versus uitvoeringsalternatieven en betreffende het meest milieu-vriendelijke alternatief wordt verwezen naar hoofdstuk 7.

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 (zie figuur 5.3.1) 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. Het zij benadrukt dat door de voorgenomen activiteit de normale bedrijfsvoering, en dus ook de invloed daarvan op het milieu, niet wordt veranderd. Ook zij nog eens herhaald dat de situatie, die intreedt met de feitelijke realisatie van het momenteel in uitvoering zijnde modificatieprogramma, het uitgangspunt voor de bestaande toestand dient te zijn.

Aangaande de milieubeïnvloeding door radioactiviteit zullen voor de bestaande toestand de resultaten van de metingen van de stralingsniveaus (activiteitsconcentraties en dosistempo's) van de laatste jaren worden genomen, aangezien redelijkerwijs niet te verwachten is dat deze gegevens door het modificatieprogramma wezenlijk veranderen. Daarnaast worden de berekende dosisbijdragen (de hoeveelheid straling, die een individu ontvangt) gegeven, gebaseerd op het gemiddelde van de gemeten lozingen van de KCB over een periode van 10 jaar (1985-1994) en op de maximale emissies in die periode. De dosisbijdragen die zouden resulteren wanneer de thans "vergunde lozingen" daadwerkelijk zouden plaatsvinden zijn niet relevant omdat de vergunde lozingen niet zullen veranderen en worden derhalve niet vermeld.

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

Voor zover mogelijk 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 gemiddelde netto jaarproductie van de KCB aan elektriciteit bedraagt 3,2 TWh. De emissies van radioactiviteit naar de atmosfeer en de Westerschelde over de periode 1985-1994 zijn vermeld in de tabellen 5.2.1 en 5.2.2. De weergegeven emissies zijn ook voor de situatie na realisatie van de modificaties representatief te achten. Tevens zijn de vergunningswaarden volgens de nieuwe vergunning van 2 augustus 1994 opgenomen.

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

	Gemiddelde emissie 1985-1994 [TBq/a]	Maximale emissie 1985-1994 [TBq/a]	Vergunningswaarde per 02-08-1994 [TBq/a]
Edelgassen	$5 \cdot 10^0$	$3 \cdot 10^1$	500
Aërosolen	$3 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-4}$
^{131}I	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$ **	$5 \cdot 10^{-3}$
Overige halogenen	$4 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$45 \cdot 10^{-3}$
Tritium (als HTO)	$4 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$	2
^{14}C (als $^{14}\text{CO}_2$)	$9 \cdot 10^{-3}$ *	$1 \cdot 10^{-2}$ *	$300 \cdot 10^{-3}$

* Gemiddelde en maximum van 1991 - 1994

** Ten gevolge van testen filterinstallaties

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

	Gemiddelde emissie 1985-1994 [TBq/a]	Maximale emissie 1985-1994 [TBq/a]	Vergunningswaarde per 02-08-1994 [TBq/a]
tritium	5	7	30
β - en γ -activiteit	$2 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$200 \cdot 10^{-3}$
α -activiteit	$7 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$200 \cdot 10^{-6}$

5.3 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 locatie van de KCB sluit aan op de zuid-oostzijde van het Sloegebied met het daarom gelegen haven- en industriegebied Vlissingen Oost.

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 65 000.

Er bevinden zich geen luchtverkeersroutes boven de KCB. Wel 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 het militaire vliegverkeer is er geen vliegverbod; wel geldt er het verbod om lager te vliegen dan 1500 voet (450 m).

In het beschouwde gebied bevinden zich diverse polders, waarin akkerbouw de meest voorkomende vorm van grondgebruik is. De oppervlakte van beheerd natuurgebied is ongeveer 1500 ha, waarvan driekwart gedeelte in het buitendijks kustgebied en de Westerschelde.

De Westerschelde, het belangrijkste oppervlaktewater binnen het beschouwde gebied, is een grootschalig en waardevol estuarium met, ondanks de drukke scheepvaart en een zware belasting met verontreinigende stoffen, een hoge mate van natuurlijkheid. 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 kinderkamer voor vis, met name tong, en garnalen. Door de getijdewerking zijn in het estuarium schorren, slikken en platen ontstaan, afgewisseld door diepe getijdegeulen.

Met betrekking tot de autonome ontwikkeling van het gebied rondom de locatie van de KCB zijn de volgende projecten van belang:

- de aan te leggen Westerschelde-Oever-Verbinding
- de verdere invulling van het Sloegebied met industrie
- uitbreiding van de glastuinbouw op Zuid-Beveland.



Figuur 5.3.1 Beschouwd gebied rond de KCB (schaal 1:200.000)
96-01-31

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 splijtstof-elementen bestand zijn tegen de mogelijk optredende mechanische en thermische belastingen. Daartoe worden aan de toegepaste materialen en de constructie van de staaf en het gedrag hiervan tijdens normaal bedrijf en storingen eisen gesteld. Bij het ontwerp van de splijtstofstaaf is één van de eisen dat tijdens een volledige bedrijfscyclus gemiddeld maximaal één splijtstofstaaf lek mag raken. De overige eisen aan het ontwerp van de splijtstofstaaf zijn geformuleerd in het "Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele" (EPZ, 1993). Volgens deze eisen dient de staaf 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 overlegd 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 heel scala begingebourtenissen moet worden verondersteld, bijvoorbeeld dat een leiding breekt of dat een aardbeving optreedt. 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 verwalwarmte, zijn gewaarborgd. De ongevalsverlopen, die worden beheerst, worden de ontwerpongevallen genoemd. Voor deze ontwerpongevallen geldt voorts dat aan de uit het Nederlandse risicobeleid afgeleide dosiscriteria 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 van belang in hoeverre de gevolgen voor de omgeving van ontwerp-

overschrijdende gebeurtenissen (buiten-ontwerpongevallen) kunnen worden beperkt. Bij de buiten-ontwerpongevallen moet worden voldaan aan de hiervoor geldende risico-criteria.

De geëigende plaats voor het beschrijven van de veronderstelde begingebuurtenissen 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, is het veiligheidsrapport. De huidige ontwerpbasis van de kernenergiecentrale Borssele is beschreven in het Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele (EPZ, 1993).

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. Voor de KCB is een PSA van de huidige installatie uitgevoerd.

In de navolgende 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	Paragraafbehandeling
Normaal bedrijf	Bedrijfssystemen	Beschouwing effecten reguliere lozingen	5.5 5.6 5.7 5.8
Storingen en ontwerpongevallen	Veiligheidssystemen	Ongevalsanalyses ontwerpongevallen	5.4.3 6.4.3
Buitenontwerp-ongevallen	Ongevals-management en speciale systemen	PSA	5.4.4 6.4.4

Tenslotte wordt in paragraaf 5.4.5 de onderkriticaliteit van de opgeslagen splijtstofelementen in het splijtstofopslagbassin besproken.

5.4.2 BESCHOUWDE ONGEVALLen

In het ontwerp van de installatie zijn maatregelen voorzien ter voorkoming van ongevallen. Daarnaast is de installatie ontworpen op 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 ontwerp ongevallen worden thermohydraulische analyses uitgevoerd.

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.

Zoals internationaal gebruikelijk zijn de veronderstelde begingebourtenissen in de volgende categorieën onderverdeeld:

- 1 verhoogde warmteafvoer door het secundaire systeem
- 2 verminderde warmteafvoer door het secundaire systeem
- 3 vermindering van het debiet in het primaire systeem
- 4 verandering van de druk in het primaire systeem
- 5 onbedoelde verandering van de reactiviteit en de vermogensverdeling
- 6 toename van de hoeveelheid hoofdkoelmiddel
- 7 lekkages van hoofdkoelmiddel
- 8 ontsnappen van radioactieve stoffen uit subsystemen of componenten
- 9 externe invloeden
- 10 diversen.

De voor de KCB relevante begingebourtenissen voor de ontwerp ongevalsscenario's zijn in de bovenstaande categorieën ingedeeld. Uit het hele spectrum van 78 begingebourtenissen (zie bijlage A) zijn vervolgens 21 begingebourtenissen geselecteerd die tezamen representatief zijn voor alle begingebourtenissen. Deze zijn opgenomen in tabel 5.4.1. De gevolgen van deze 21 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 sterk tetechnische 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 reactor-kern. 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 3,3%. De activiteit direct na afschakelen is gegeven. De gegeven nucliden zijn gekozen op basis van hun halveringstijd (groter dan ½ uur) en hoeveelheid radioactiviteit (groter dan 10^{12} Bq). 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 tabel 5.4.1 en wel volgens de huidige regelgeving en met behulp van moderne, voor dat doel geschikte rekenprogramma's (EPZ, 1993B). 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 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.

Tabel 5.4.1 Representatieve begingebourtenissen

nummer	veronderstelde begingebourtenis
1.4	Onbedoeld openen van appendages (bijvoorbeeld omloopafsluiters, afblaas-regelkleppen, 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	Blokkeren van een hoofdkoelmiddelpomp of breuk van een hoofdkoelmiddelpompas
5.2	Uitworp van het meest effectieve regelelement
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

Met de thermohydraulische analyses is aangetoond dat de installatie na alle genoemde veronderstelde begingebourtenissen in een veilige toestand kan worden gebracbt en gebouden. Voor de behandeling van de analyses en de resultaten wordt verwezen naar het "Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele" (EPZ, 1993).

5.4.3.4 Radiologische analyses

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 dan 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 en van de dosis die het gevolg is van externe bestraling door radioactiviteit die zich in het reactorgebouw bevindt, berekend. 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 (H_{eff})¹⁾, 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 voorname-lijk als gevolg van de opname van radioactief jodium.

De radiologische analyses zijn uitgevoerd volgens de huidige regelgeving en met behulp van moderne, voor dat doel geschikte rekenprogramma's (EPZ, 1993JK).

De representatieve begingebourtenissen uit tabel 5.4.1, die een radioactieve lozing tot gevolg kunnen hebben, zijn gegeven in tabel 5.4.2. Deze begingebourtenissen zijn verder geanalyseerd.

¹⁾ voor H_{eff} wordt ook wel het symbool E gebruikt

Tabel 5.4.2 Veronderstelde begingebourtenissen voor de radiologische analyses

nummer	veronderstelde begingebourtenis
1.5.1	Langdurige uitval van de secundaire hoofdkoeling bij bedrijfslekke van stoomgeneratorpijpen
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 veiligheids-omhulling
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

Voor de berekening van de gevolgen is voor iedere nuclide (of groep van nucliden) de geloosde activiteit naar tijd en plaats, alsmede de energie-inhoud van de lozing bepaald. De gevolgen van de lozing zijn geanalyseerd met een rekenprogramma waarin achtereenvolgens verspreidingsberekeningen en dosisberekeningen worden uitgevoerd, rekening houdend met de verschillende wegen, waarlangs mensen in de nabijheid in contact kunnen komen met radioactiviteit en dan een stralingsdosis ontvangen.

De gevolgen zijn geanalyseerd op probabilistische basis. Dit houdt in dat rekening is gehouden met het feit dat in principe een ongeval op ieder moment kan plaats vinden. De lokale weersomstandigheden, die bepalend zijn voor de verspreiding van de atmosferische lozing, zijn echter over de tijd sterk verschillend. In het rekenmodel wordt rekening gehouden met de waarschijnlijkheid van voorkomen van een bepaald weertype. Bij de berekening van de dosisconsequenties zijn de maximale gevolgen bepaald. Hiervoor zijn de 95-percentielwaarden van de dosisverdelingen gekozen, dat wil zeggen dat in 95 procent van de weersituaties de berekende dosis niet wordt overschreden. De dosis ten gevolge van externe bestraling door radioactiviteit die zich in het reactorgebouw bevindt, is uiteraard onafhankelijk van de buiten heersende weersomstandigheden.

In het Nederlandse risicobeleid staan twee elementen centraal: er wordt uitgegaan van de bescherming van de meest kwetsbare groep en van het uitgangspunt dat het gebied grenzend aan het beschouwde industrieterrein multifunctioneel beschikbaar dient te zijn. Dit betekent dat het gebied te allen tijde voor elke functie of combinatie van functies beschikbaar moet blijven. Ten aanzien van stralingsrisico's vormen over het algemeen kinderen de meest kwetsbare groep. De dosiscriteria worden dan ook veelal op doses voor kinderen gebaseerd.

Vergelijking met dosiscriteria

Hoewel er formeel in Nederland geen dosiscriteria voor ontwerpgevallen zijn vastgesteld, wordt in de praktijk een internationaal veel toegepaste benadering gevolgd, die ook aansluit op het Nederlandse risicobeleid. Daarbij wordt, afhankelijk van de kans van optreden van een ontwerpgeval, het dosiscriterium vastgesteld via een getrapte schaal: hoe kleiner de kans, hoe groter de toegestane dosis.

In tabel 5.4.3 zijn de kansgebieden met de bijbehorende maximale dosiswaarden aangegeven (het kansgebied $F \geq 10^{-1}$ heeft feitelijk 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 bedoeld, ziekten 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. De effecten treden op binnen enkele uren of weken. Deze verschijnselen worden echter alleen waargenomen indien een zekere hoge drempelwaarde wordt overschreden. Ter vermijding van laatstgenoemde korte-termijn effecten ten gevolge van jodiumopname door de schildklier is in een aanvullend criterium de maximale schildklierdosis gesteld op 500 mSv.

Tabel 5.4.3 Dosiscriteria voor kinderen en volwassenen als functie van het kansgebied

Gebeurtenis frequentie F (per jaar)	Effectieve dosis H_{eff} (mSv) ¹⁾	
	Volwassene	Kind
$F \geq 10^{-1}$	0,04	0,015
$10^{-1} > F \geq 10^{-2}$	0,4	0,15
$10^{-2} > F \geq 10^{-4}$	4	1,5
$10^{-4} > F \geq 10^{-6}$	40	15

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

Voor de gevolgen van lozingen is de potentiële dosis berekend voor een periode van 70 jaar na het ongeval, aangezien een lozing een onomkeerbare verspreiding in het milieu met zich meebrengt. Voor de directe straling is de dosis eveneens over 70 jaar berekend, hetgeen de zeer conservatieve veronderstelling impliceert dat de in de veiligheidsomhulling zwevende aerosolen niet uitzakken en dat geen reinigungsacties worden ondernomen.

Toetsing aan de dosiscriteria vindt plaats op de terreingrens van de Locatie Zeeland van de N.V. EPZ, dat wil zeggen op een afstand van 350 m van het lozingspunt. (Opmerking: de weg langs de Westerschelde blijft buiten beschouwing, omdat die in een ongevalssituatie wordt afgesloten). Vanwege het multifunctionaliteitsprincipe wordt uitgegaan van het hypothetische geval dat het gebied grenzend aan het terrein van de centrale een woonbestemming heeft, waar zich ten tijde van het ongeval de referentiegroep eenjarige kinderen bevindt, die vervolgens daar ter plaatse gedurende het gehele leven (70 jaar) worden blootgesteld aan de gevolgen van het ongeval.

Bij de berekeningen is uitgegaan van conservatieve aannames voor de vaststelling van de geloosde activiteiten (zie "Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele" (EPZ, 1993)). Gezien deze werkwijze moeten de vermelde waarden gezien worden als een zo goed mogelijke schatting van de maximaal denkbare doses.

Overzicht toetsing aan de dosiscriteria

De resultaten van de bovengenoemde radiologische analyses van de representatieve veronderstelde begingebourtenissen zijn gegeven in tabel 5.4.4. Zowel de effectieve dosis (H_{eff}) als de schildklierdosis (H_{th}) zijn gegeven. Het betreft de doses op een afstand van 350 m. Zoals hiervoor vermeld is het dosiscriterium H_{eff} afhankelijk van de kans van optreden van de veronderstelde begingebourtenis (zie tabel 5.4.3). Ter vermiyding van deterministische effecten geldt in alle gevallen een dosiscriterium van 500 mSv voor de schildklier (H_{th}). Aangezien toetsing plaatsvindt aan het criterium voor de referentiegroep kinderen, te weten een maximale effectieve dosis van 15 mSv, heeft de restrictie ten aanzien van de maximale schildklierdosis geen betekenis; een schildklierdosis van 500 mSv komt namelijk overeen met een effectieve dosis van 25 mSv.

Tabel 5.4.4 Toetsing aan de dosiscriteria

Veronderstelde begingebourtenis (zie tabel 5.4.2)	Berekende dosis (EPZ, 1993)		Dosiscriteria
	H _{eff} (10 ⁻³ mSv)	H _{th} (10 ⁻³ mSv)	H _{eff} (10 ⁻³ mSv)
1.5.1	2	60	150
7.2.3	1.033 *	4.010 *	1.500 **
7.3.2.2	60	1.000	1.500
7.4.2	0,2	1	1.500
8.2	1	1	15
8.4.1	0,5	1	150
9.1.2	7	8	1.500

* inclusief 900.10⁻³ mSv door directe straling

** de begingebourtenis 7.2.3 dekt ook 7.2.1 en 7.2.2 af (zie bijlage A). Het dosiscriterium is de laagste van de waarden, die gelden voor de bijbehorende kansen van optreden

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, 1993).

5.4.4 PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT (PSA), HUIDIGE SITUATIE

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 zogenoemde 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 die 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.

In 1989 werd EPZ (de toenmalige PZEM) door de Kernfysische Dienst (KFD) verzocht een PSA uit te voeren van de KCB, met het doel eventuele zwakke plekken in het ontwerp op te sporen. De studie werd in de jaren 1990-1992 uitgevoerd. Het betreft hier een zogenaamde niveau 2 studie (zie paragraaf 5.4.4.2) voor vermogensbedrijfssituaties. Besloten werd de studie "levend" te houden. Dit wil zeggen dat het in de PSA gebruikte model en het PSA-rapport jaarlijks aangepast worden aan uitgevoerde wijzigingen in het ontwerp en de bedrijfsvoering van de centrale. Na overleg tussen de vergunningverlenende instanties en EPZ werd in 1992 besloten het model uit te breiden tot een niveau 3-analyse voor interne en externe invloeden voor vermogens-, en niet vermogensbedrijfssituaties. Door toepassing van dit "levende" KCB-model verschillen de resultaten zoals gepresenteerd in dit MER, van de resultaten zoals gepresenteerd in het MER modificaties (EPZ-MER, 1993).

Tabel 5.4.5 geeft een overzicht van de belangrijkste verschillen tussen de PSA voor het MER modificaties en het huidige MER voor de splijststofoptimalisatie.

Tabel 5.4.5 Overzicht van de verschillen tussen de PSA's in het vorige MER (MER-modificaties) en in het huidige MER (MER-optimalisatie)

aspect	MER-modificaties	MER-optimalisatie
interne gebeurtenissen	ja	ja
vermogensbedrijf	ja	ja
externe gebeurtenissen	kwalitatief	kwantitatief
niet-vermogensbedrijf	kwalitatief	kwantitatief
ongevalsmanagementmaatregelen	nee	ja
aantal brontermgroepen	6	16

De belangrijkste verschillen met de resultaten gepresenteerd in het vorige MER zijn een gevolg van meer gedetailleerde analyses van niveau 2, waaronder het rekening houden met interne ongevalsmanagementmaatregelen, en van de niet in het vorige MER aangegeven kwantitatieve resultaten van de analyses van de externe invloeden en bij niet-vermogensbedrijf. De verdere

detaillering heeft geleid tot het aantal van 16 brontermgroepen in plaats van 6 in het vorige MER. De resultaten wijken daardoor soms af van de resultaten zoals gepresenteerd in het vorige MER-Modificaties.

Voordat de uitkomsten van de PSA worden besproken, wordt in paragraaf 5.4.4.2 eerst kort ingegaan op de werkwijze bij het uitvoeren van een PSA.

5.4.4.2 Werkwijze PSA

Een PSA begint met een inventariseren van alle mogelijke procesverstoringen. Net als bij de eerder beschreven ongevalsanalyses van de ontwerpongevallen (zie paragraaf 5.4.3) gebeurt dat door begingebourtenissen te veronderstellen. Hier gaat het dan echter uitsluitend om die 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.

Voor een toelichting op de verschillende niveaus en de daarbij gehanteerde analysetechnieken wordt verwezen naar bijlage K.

5.4.4.3 Resultaten PSA

Niveau 1

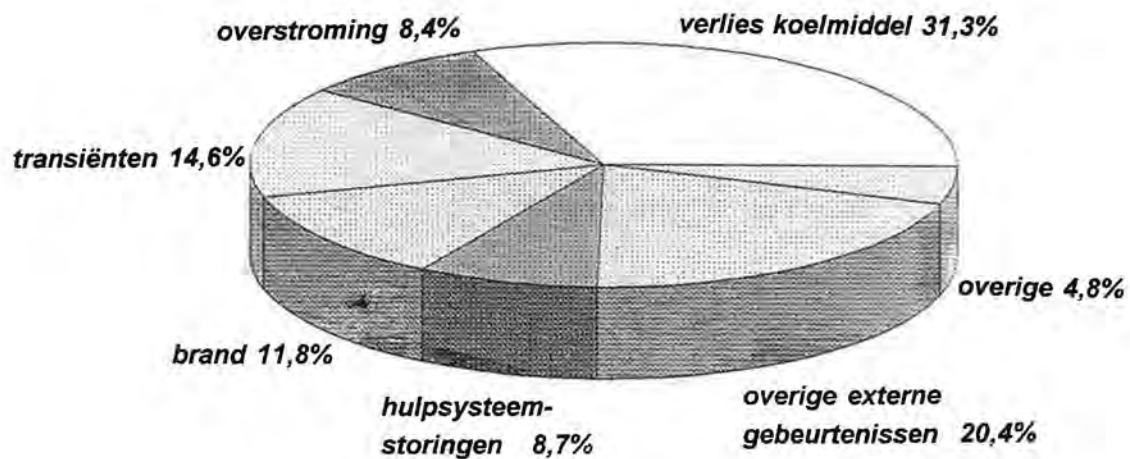
Hier worden de resultaten behandeld van de niveau 1 analyse voor alle bedrijfstoestanden en voor interne en externe invloeden die zijn verkregen met behulp van de methoden beschreven in paragraaf 5.4.4.2.

In de niveau 1 analyse zijn 97 (groepen) begingebourtenissen bepaald die een reactorafschakeling danwel een vermogensreductie of verlies van koeling kunnen veroorzaken en mogelijk leiden tot een kernbeschadiging. De reactie van de bedrijfs- en veiligheidssystemen op deze begingebourtenissen is door middel van allerlei combinaties van gebeurtenissen en falen van de systemen gemodelleerd tot 1385 ongevalsscenario's. De uiteindelijke waarde van de kans van optreden van kernbeschadiging, hierna totale kernbeschadigingsfrequentie genoemd, als gevolg van interne en externe gebeurtenissen is berekend op $4,3 \cdot 10^{-6}$ per jaar (MER Modificaties: $1,7 \cdot 10^{-6}$ per jaar). Dit komt overeen met één kernbeschadiging in 230.000 jaar.

Het groeperen van de begingebourtenissen naar hun bijdrage in de totale kernbeschadigingsfrequentie levert het volgende beeld op:

- zeer gering verlies van koelmiddel	17,1%
- gering verlies van koelmiddel	8,9%
- groot verlies van koelmiddel	4,7%
- middelgroot verlies van koelmiddel	0,6%
- hulpsysteemstoringen	8,7%
- extreme verstoring en falen reactorafschakeling	2,5%
- stoomgeneratorpijpbreuk	1,4%
- koelmiddelverlies buiten omhulling	0,9%
- brand	11,8%
- overstroming	8,4%
- overige externe gebeurtenissen	20,4%
- transiënten (systeemstoring met behoud van koeling)	14,6%

De bijdrage van de verschillende begingebourtenisgroepen wordt getoond in figuur 5.4.1.



Figuur 5.4.1 Procentuele bijdrage van de diverse begingebuurtenisgroepen in de totale kernbeschadigingsfrequentie, niveau 1

Niveau 2

Bij de berekeningen van lozingen in ongevalssituaties is een indeling gemaakt in vier "lozingssoorten" namelijk:

- vroege lozing: lozing binnen circa 12 uur
- lozing op middellange termijn: tussen 12 en 72 uur
- late lozing: lozing later dan na circa 72 uur
- geringe lozing: de veiligheidsomhulling blijft intact, echter continue lozing via normale ondichtheden (bijvoorbeeld sluisafdichtingen).

De totale kernbeschadigingsfrequentie van $4,3 \cdot 10^{-6}$ per jaar is globaal als volgt onder te verdelen in de lozingsoorten:

- 1% leidt tot vroege lozingen (< 12 uur)
- 3% leidt tot lozingen in de periode 12-72 uur
- 75% leidt tot late lozingen (> 72 uur)
- 21% leidt tot geringe lozingen.

De analyse van het gedrag van de veiligheidsomhulling door middel van een beschouwing van alle mogelijke verlopen van elkaar opvolgende gebeurtenissen resulteert in 16 te beschouwen bronterm-groepen, die representatief zijn voor het spectrum van gevolgen (zie bijlage K, tabel K1).

Deze 16 bronterm-groepen zijn geanalyseerd met betrekking tot thermohydraulisch gedrag van het reactorkoelsysteem en de veiligheidsomhulling. Hieruit volgde het tijdsverloop van de belangrijkste gebeurtenissen. Uit de berekeningen blijkt dat in alle gevallen 2 à 3 uur beschikbaar is om acties te ondernemen om kernbeschadiging te voorkomen. Voorts treedt in alle gevallen, waarbij kernbeschadiging niet voorkomen wordt, het falen van het reactorvat niet eerder op dan 5 uur na de start van de begingeburtenis.

Niveau 3

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 aanzien van korte-termijn gezondheidseffecten van straling lopen kinderen ongeveer dezelfde risico's als volwassenen. Echter, het overlijdensrisico ten gevolge van lange-termijn effecten is voor kinderen in het algemeen drie keer zo hoog. Daarom wordt het individueel risico, in overeenstemming met het Nederlandse risicobeleid, berekend voor 1-jarige kinderen, aangezien dit in het algemeen de meest kwetsbare groep van de bevolking vormt.

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 het risico van 10 of meer slachtoffers welke direct toegeschreven kunnen 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 paragraaf 3.2.3).

Berekende groepsrisico's

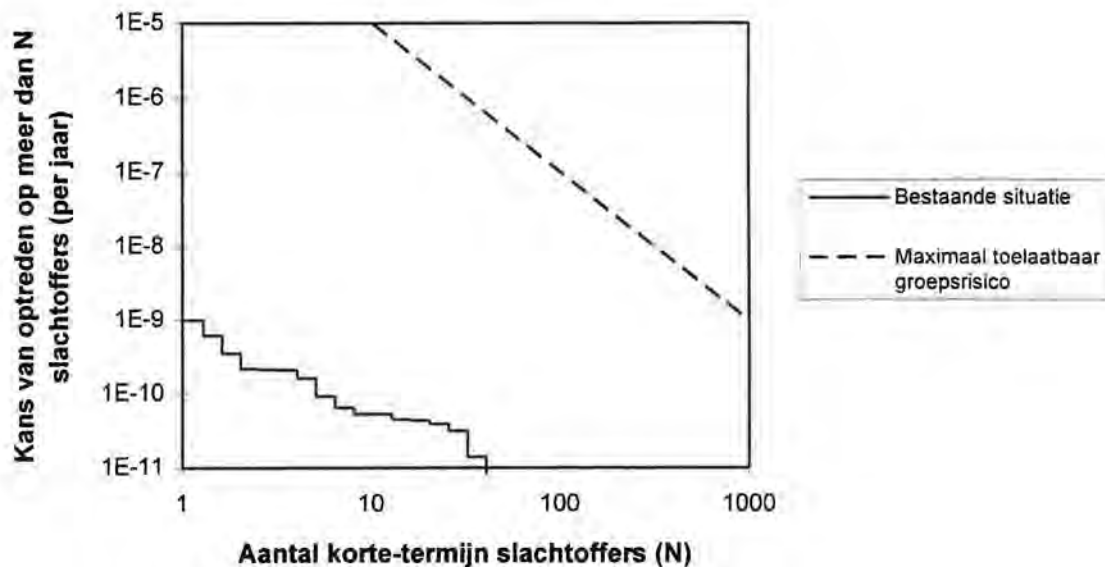
De omgeving van de centrale is ingedeeld in segmenten. Een segment bestaat uit een grondstuk, dat gelegen is in een windroossector van 5° en begrensd is door 2 afstanden, bijvoorbeeld 350 en 500 m. Voor alle segmenten is voor elk van de bronterm-groepen, die bepaalde begingebourtenissen vertegenwoordigen,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

Door de overljdenskans 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)

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.

Zoals reeds gezegd zijn deze risico's ruimschoots lager dan aangegeven in het MER-Modificaties (EPZ-MER, 1993) als gevolg van thans veronderstelde interne ongevalsmanagementmaatregelen bij ongevallen aan de KCB en als gevolg van meer gedetailleerde analyses.

Berekende individuele risico's

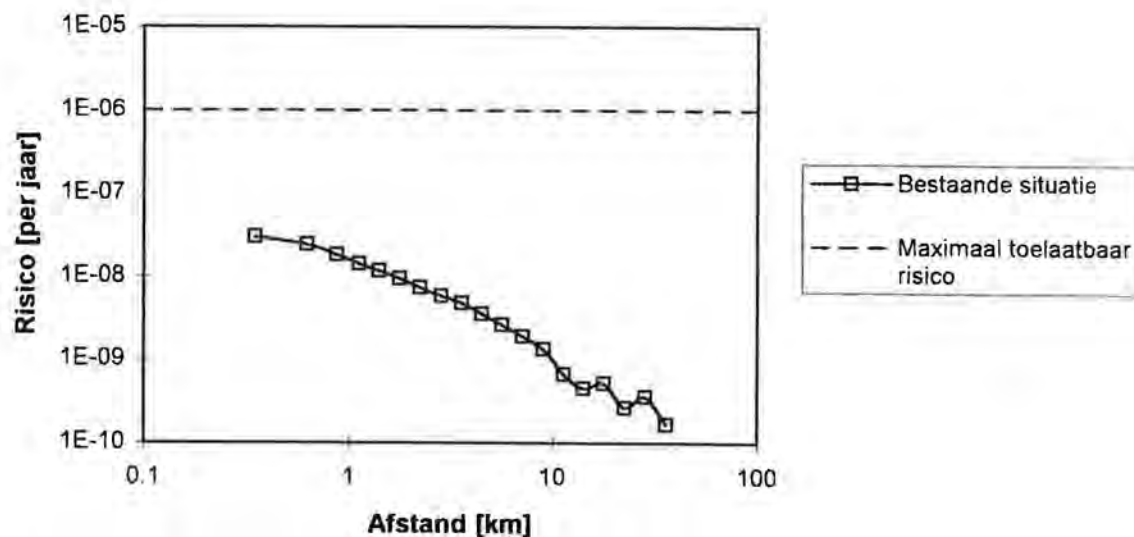
Het individueel risico wordt berekend door het overlijdensrisico ten gevolge van korte- en lange-termijn effecten bij elkaar op te tellen.

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 5.4.3 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. De horizontale streep bij het risiconiveau $10^{-6}/a$ geeft het maximaal toelaatbare risiconiveau aan.



Figuur 5.4.3 Totaal maximaal individueel risico per jaar zonder tegenmaatregelen zoals evacuatie en jodiumverstrekking

Het totale maximale individuele risico (op 350 m, zie figuur 5.4.3) als gevolg van zowel vroege als late gezondheidseffecten voor alle brontermen tezamen is $3.10^{-8}/a$ (gebaseerd op 1-jarige kinderen), dat wil zeggen ruim beneden de maximaal toelaatbare waarde van $10^{-6}/a$.

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 dit geval ten hoogste 5.10^{-10} per jaar.

Zoals reeds gezegd zijn deze risico's ruimschoots lager dan aangegeven in het MER-Modificaties (EPZ-MER, 1993) als gevolg van thans veronderstelde interne ongevalsmanagementmaatregelen bij ongevallen aan de KCB en als gevolg van meer gedetailleerde analyses.

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. Aangetoond moet worden dat de vermenigvuldigingsfactor van de neutronen (k_{eff} , zie paragraaf 4.2.5) kleiner of gelijk is aan 0,95. Als verzwarende omstandigheden moet daarbij worden 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 3,3% is voor de genoemde omstandigheden aangetoond (zie EPZ, 1993) dat de onderkriticaliteit in het splijtstofopslagbassin voldoende is gewaarborgd.

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 maandelijkse metingen verricht naar de activiteitsconcentraties en de stralingsniveaus in de omgeving van de centrale. Hoewel de toenmalige meetmethoden nog niet zo ontwikkeld waren als de huidige, wat zich vertaalt in vrij hoge detectielimieten, kunnen de resultaten van die metingen toch gebruikt worden ter bepaling van de achtergrond activiteitsconcentraties en stralingsniveaus.

In tabel 5.5.1 is een overzicht gegeven van de jaargemiddelde activiteitsconcentraties in de omgevingslucht van een viertal luchtbemonsteringslocaties gemeten in de periode januari 1972 tot en met juni 1973.

Tabel 5.5.1 Resultaten van de metingen naar de concentraties van luchtstofgedragen activiteit in de omgeving van de kernenergiecentrale Borssele, uitgevoerd in de periode januari 1972 tot en met juni 1973

Meetpunt	Jaargemiddelde activiteitsconcentraties (mBq/m ³)		
	Totaal- β aerosolen	¹³¹ I Elementair	¹³¹ I Organisch
1 km ZO	0,9	< 0,9	
1 km NO	1,0	< 0,8	
2 km N	1,7	< 0,9	
10 km W	1,1	< 0,8	
mengmonster			< 1,3

De metingen zijn beperkter van omvang geweest dan de huidige omgevingsmetingen. Er is gemeten op de totaal- β activiteit van aerosoldeeltjes, verzameld op een absoluutfilter, en nuclidespecifiek op ¹³¹I, verzameld op een koolfilter. De ¹³¹I metingen gaven waarden beneden de detectielimiet van circa 1 mBq/m³. De totaal- β activiteit in de lucht bedroeg in 1972/73 circa 1 mBq/m³. De verhoging op 2 kilometer ten noorden van de centrale is veroorzaakt door ²¹⁰Pb-emissies van de dichtbij dit meetpunt gelegen fosforfabriek van Hoechst Holland N.V.

In dezelfde periode 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 5.5.2 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 nGy/h. De meetpunten zijn op drie manieren gegroepeerd:

- op of buiten het terrein van de kernenergiecentrale Borssele
- naar sector
- naar afstand.

Tabel 5.5.2 Resultaten van de metingen van de stralingsniveaus in de omgeving van de kernenergiecentrale Borssele, uitgevoerd in de periode april 1972 t/m juni 1973

Lokatie	Aantal meetpunten	Gemiddeld dosistempo (nGy/h)
Centrale	8	92
Omgeving	22	79
Sector Noord-Oost	9	77
Sector Zuid-Oost	6	81
Sector Zuid-West	6	87
Sector Noord-West	9	83
Afstand < 1 km	15	85
Afstand 1 - 5 km	5	79
Afstand 5 - 10 km	5	75
Afstand > 10 km	5	80

Uit de resultaten blijkt, dat de waarden die zijn gemeten op het centrale terrein iets hoger zijn dan die erbuiten. Voorts wordt er geen aantoonbaar verband tussen de gemiddelde windrichting of de afstand en de gemeten dosistempo's geconstateerd.

5.5.2 BIJDRAGEN KCB AAN LUCHTKWALITEIT

5.5.2.1 Omgevingsmetingen

In tabel 5.5.3 is een overzicht gegeven van de gemiddelde activiteitsconcentraties in de omgevingslucht van een viertal luchtbemonsteringslocaties in de periode 1985-1994. De als gevolg van het reactorongeval in Tsjernobyl verhoogde totaal- β en nuclide-specifieke immissiewaarden in 1986 zijn in de middeling niet meegenomen. In vergelijking met de metingen bij het opstarten van het omgevingsmeetnet in 1972 (zie paragraaf 5.5.1) zijn de metingen uitgebreid met bepaling van de ^{60}Co en ^{137}Cs activiteiten in de luchtstof en totaal- α tellingen. De ^{60}Co en ^{137}Cs metingen lopen vanaf 1980; de totaal- α metingen zijn in 1984 gestart.

De gemeten waarden van ^{131}I , ^{60}Co en ^{137}Cs liggen beneden de detectielimiet. Doordat de meetmethoden sinds 1972 sterk verbeterd zijn (meting met Ge-detectors in plaats van NaI) liggen de detectielimieten thans ongeveer een factor 10 lager dan in 1972.

De totaal- β activiteitsconcentratie ligt een factor 3 lager dan in de periode voor de ingebruikname van de centrale.

De totaal- α activiteit vertoont op 2 km ten noorden van de KCB een verhoging ten opzichte van de andere meetpunten. Deze verhoging wordt veroorzaakt door de ^{210}Po -lozingen van de nabij gelegen fosforfabriek van Hoechst. Het betreffende meetpunt ligt op circa 1 km ten noordoosten van de betreffende fabriek, dus in de overheersende windrichting. Ook de lichte verhoging van de totaal- β activiteit op dit meetpunt en de hogere totaal- β activiteit uit de beginperiode van de metingen kunnen hierdoor worden verklaard (^{210}Pb -emissies door Hoechst, gevolgd door omzetting naar de radioactieve dochter ^{210}Bi).

Tabel 5.5.3 Resultaten van de metingen van de luchtactiviteitsconcentraties in de omgeving van de kernenergiecentrale Borssele, uitgevoerd in de periode 1985-1994

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	0,12	0,43				
1 km NO	0,16	0,49				
2 km N	0,36	0,55				
10 km W	0,10	0,47				
mengmonster			< 0,05	< 0,2	< 0,05	< 0,04

In tabel 5.5.4 zijn de resultaten van de dosistempometingen gegeven. In vergelijking met het omgevingsmeetnet van 1972 is er een drietal meetpunten bijgekomen, meest in de directe nabijheid van de centrale. Een aantal meetpunten is in de loop der tijd verplaatst, als gevolg van wegeaanleg of om de bereikbaarheid te verbeteren, waarbij de nieuwe positie zo dicht mogelijk bij de oorspronkelijke is gekozen.

Tabel 5.5.4 Resultaten van de metingen van de stralingsniveaus in de omgeving van de kern-energiecentrale Borssele, uitgevoerd in de periode 1985-1994

Locatie	Aantal meet-punten	Gemiddeld dosistempo (nGy/h)
Centrale	8	68
Hek KCB	8	62
Omgeving	17	64
Sector Noord-Oost	12	66
Sector Zuid-Oost	6	67
Sector Zuid-West	6	60
Sector Noord-West	9	64
Afstand < 1 km	18	64
Afstand 1 - 5 km	5	64
Afstand 5 - 10 km	5	66
Afstand > 10 km	5	65

De in de tabel gegeven dosistempo's zijn gemiddelde waarden over het opgegeven aantal meetpunten.

De spreiding in gemiddeld dosistempo op de buiten het centraleterrein gelegen meetpunten bedraagt circa 20 nGy/h (55...74 nGy/h). Het dosistempo is vooral afhankelijk van de situatie ter plaatse (zand- of kleigrond, aan- of afwezigheid van wegen, bebouwing, etc.).

De gemiddelde stralingsniveaus afkomstig van natuurlijke terrestrische straling variëren in Nederland tussen 1,1 en 7,2 $\mu\text{R/h}$ (RIVM, 1991), overeenkomend met 10...62 nGy/h. De hoogste waarden worden gevonden boven plaatsen waar rivierklei of zeeklei is afgezet.

Daar boven op komt een bijdrage als gevolg van kosmische straling, welke door UNSCEAR op 32 nGy/h wordt geschat (UNSC, 1982). Het van nature aanwezige stralingsniveau bedraagt in Nederland derhalve 42...94 nGy/h. De stralingsniveaus, die op het terrein en in de omgeving van de centrale zijn gemeten, liggen alle binnen deze range (zie ook paragraaf 5.8.1).

De gemeten dosistempo's liggen gemiddeld ruim 20% lager dan in de periode voor ingebruikname van de centrale. De oorzaak van de hogere achtergrond in de beginperiode van de omgevingsmetingen moet waarschijnlijk gezocht worden in de onnauwkeurigheid van de meetapparatuur die destijds is gebruikt. Tevens kan de fall-out van de bovengrondse kernproeven in de 60-er en begin 70-er jaren tot een verhoogd stralingsniveau hebben bijgedragen.

5.5.2.2 Verspreidingsberekeningen

Voor de uitgevoerde verspreidingsberekeningen is het door KEMA ontwikkelde korte termijn-model STACKS (EPZ, 1993J) gebruikt. Dit model maakt gebruik van een voor de regio Vlissingen specifiek databestand met exacte weersgegevens op uurbasis. Doordat de verspreidingsparameters rechtstreeks worden afgeleid uit de van uur tot uur gemeten waarden van de windrichting, windsnelheid, luchttemperatuur en neerslag ontstaat een meer met de werkelijkheid overeenkomend verspreidingspatroon dan wanneer wordt gebruikgemaakt van een gemiddelde klimatologie. De jaargemiddelde concentraties en deposities worden berekend uit de actuele uurgemiddelde waarden, hetgeen een nauwkeuriger resultaat oplevert dan wanneer vooraf via de klimatologische gegevens gemiddelden worden genomen.

Tabel 5.5.5 geeft voor een aantal nucliden, die mogelijk kunnen worden geloosd via de ventilatielucht, de dosisfactoren in Sv/a per Bq/m³ luchtactiviteitsconcentratie. De beschouwde belastingspaden zijn inhalatie en immersie (externe bestraling vanuit de pluim). De dosisfactoren voor immersie zijn overgenomen uit (Koch, 1983) en die voor inhalatie uit ICRP-publikatie 61 (ICRP, 1991)¹⁾, met een voor een referentiepersoon gemiddeld ademvolume van 26 m³ per dag.

De laatste kolom in tabel 5.5.5 geeft de berekende individuele totale dosis per eenheidslozing (1 Bq/s), waarbij rekening is gehouden met een verdunningsfactor $2,5 \cdot 10^{-7}$ Bq/m³ per Bq/s. Tevens is, indien van toepassing, rekening gehouden met verval en omzetting naar dochter-nucliden tijdens het transport in de pluim. Voor de transporttijd tot het maximum is 200 seconden aangenomen.

¹⁾ Toepassing van de recentere dosisfactoren uit ICRP 68 (ICRP, 1994) zou op de totale doses geen wezenlijke invloed hebben

Tabel 5.5.5 Dosisfactoren voor inhalatie en immersie en jaardoses per eenheidslozing

Nuclide	Fractie na 200 s	Dosisfactor [Sv/a] per [Bq/m³]		Dosis per eenheids- lozing [Sv/a] per [Bq/s]
		immersie	inhalatie	
Edelgassen				
⁴¹ Ar	4	1,82.10 ⁻⁶	-	4,46.10 ⁻¹³
⁸⁵ Kr	1	7,18.10 ⁻⁹	-	1,80.10 ⁻¹⁵
^{85m} Kr	0,99	2,28.10 ⁻⁷	-	5,64.10 ⁻¹⁴
⁸⁷ Kr	0,97	1,25.10 ⁻⁶	-	3,03.10 ⁻¹³
⁸⁸ Kr	0,99	3,11.10 ⁻⁶	-	8,08.10 ⁻¹³
⁸⁸ Rb	0,12	1,03.10 ⁻⁶	2,37.10 ⁻⁷	
¹³³ Xe	1	4,90.10 ⁻⁸	-	1,23.10 ⁻¹⁴
¹³⁵ Xe	1	3,48.10 ⁻⁷	-	8,70.10 ⁻¹⁴
¹³⁸ Xe	0,85	1,73.10 ⁻⁶	-	4,25.10 ⁻¹³
¹³⁸ Cs	0,06	3,51.10 ⁻⁶	3,16.10 ⁻⁷	
Aërosolen				
⁵⁴ Mn	1	1,20.10 ⁻⁶	1,90.10 ⁻⁵	5,05.10 ⁻¹²
⁶⁰ Co	1	3,55.10 ⁻⁶	4,75.10 ⁻⁴	1,20.10 ⁻¹⁰
¹³⁴ Cs	1	2,20.10 ⁻⁶	9,50.10 ⁻⁵	2,43.10 ⁻¹¹
¹³⁷ Cs	1	2,26.10 ⁻⁹	9,50.10 ⁻⁵	2,39.10 ⁻¹¹
^{137m} Ba	1 *	8,39.10 ⁻⁷	-	
³ H (HTO)	1	-	2,50.10 ⁻⁷	6,26.10 ⁻¹⁴
¹⁴ C	1	5,88.10 ⁻¹¹	4,75.10 ⁻⁶	1,19.10 ⁻¹²
¹³¹ I	1	4,26.10 ⁻⁷	1,90.10 ⁻⁴	4,76.10 ⁻¹¹

* evenwicht verondersteld bij lozing

In tabel 5.2.1 zijn de gemiddelde lozingen en de maximale gemeten lozingen in de periode 1985-1994 vermeld, alsmede de in de bedrijfsvergunning opgegeven limietwaarden. De edelgaslozingen hebben voornamelijk bestaan uit de splijttingsprodukten ¹³³Xe en ¹³⁵Xe met een gemiddelde onderlinge verhouding van 4:1 (VROM, 1990). In het jaar van de maximale lozing (1982) bedroeg deze verhouding 3:1. In de tabellen 5.5.6 en 5.5.7 zijn voor de maatgevende nucliden de berekende dosisbijdragen via luchtgedragen activiteit vermeld voor de gemiddelde en de maximale lozingen in de periode 1985-1994.

Tabel 5.5.6 Dosisbijdragen per jaar via luchtgedragen activiteit gemiddeld over 1985-1994

Nuclide	Lozing [TBq/a]	Dosisfactor [Sv/a] per [Bq/s]	Dosisbijdrage [10 ⁻⁶ mSv/a]
Edelgassen			
¹³³ Xe	4	1,23.10 ⁻¹⁴	1,6
¹³⁵ Xe	1	8,70.10 ⁻¹⁴	2,8
Aërosolen			
⁶⁰ Co	3.10 ⁻⁷	1,20.10 ⁻¹⁰	-
³ H	4.10 ⁻¹	6,26.10 ⁻¹⁴	0,80
¹⁴ C	9.10 ⁻³	1,19.10 ⁻¹²	0,34
¹³¹ I	1.10 ⁻⁵	4,76.10 ⁻¹¹	0,01
totaal			5,6

Tabel 5.5.7 Maximale dosisbijdragen via luchtgedragen activiteit, periode 1985-1994

Nuclide	Lozing [TBq/a]	Dosisfactor [Sv/a] per [Bq/s]	Dosisbijdrage [10 ⁻⁶ mSv/a]
Edelgassen			
¹³³ Xe	2,3.10 ⁺¹	1,23.10 ⁻¹⁴	9,0
¹³⁵ Xe	7,5	8,70.10 ⁻¹⁴	20,7
Aërosolen			
⁶⁰ Co	1.10 ⁻⁶	1,20.10 ⁻¹⁰	-
³ H	6.10 ⁻¹	6,26.10 ⁻¹⁴	1,2
¹⁴ C	1.10 ⁻²	1,19.10 ⁻¹²	0,4
¹³¹ I	5.10 ⁻⁵	4,76.10 ⁻¹¹	0,1
totaal			32

Uit tabel 5.5.6 volgt dat de gemiddelde individuele dosis als gevolg van luchtgedragen activiteit 5,6.10⁻⁶ mSv/a bedraagt. Van deze dosis is 4,4.10⁻⁶ mSv/a het gevolg van de lozing van edelgassen en 1,2.10⁻⁶ mSv/a van de lozing van tritium (³H), ¹⁴C en ¹³¹I. Eerstgenoemde bijdrage wordt ontvangen via externe bestraling vanuit de pluim; de tweede via inhalatie van genoemde radionucliden. De dosisbijdragen van aan aërosolen gebonden radioactiviteit is verwaarloosbaar. In de periode 1985-1994 was de maximale dosisbijdrage 32.10⁻⁶ mSv/a, waarvan 30.10⁻⁶ mSv/a via externe bestraling (edelgassen) en 2.10⁻⁶ mSv/a als gevolg van inhalatie van tritium (³H), ¹⁴C en ¹³¹I.

5.5.2.3 Directe straling vanuit KCB

Naast de hiervoor in paragraaf 5.5.2.2 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 deze bijdrage verwaarloosbaar. Er hoeft daarom geen sommatie van doses uitgevoerd te worden.

In het navolgende wordt voor een referentiegroep personen de dosisbijdrage berekend en wordt het individuele risico voor overlijden bepaald.

In de "Beleidsstandpunten Stralingshygiëne ten behoeve van vergunningverlening" (VROM, 1993) is de referentiegroep als volgt omschreven:

'De referentiegroep voor externe bestraling vanuit een vaste bron bestaat uit mensen die gedurende hun gehele leven 24 uur per dag in en direct rondom hun huis verblijven en relatief veel tijd in de tuin vlakbij "het hek" vertoeven.'

Voor een schatting van de bijdrage als gevolg van de directe externe straling door de KCB is in eerste instantie getracht uit te gaan van gemeten stralingsniveaus. Uit de resultaten van de maandelijkse omgevingsmetingen in de periode 1985-1994 (tabel 5.5.4) blijkt dat het gemiddelde dosistempo aan het hek (8 meetpunten) 62 nGy/h bedraagt. Het gemiddelde dosistempo in de omgeving (17 meetpunten) bedraagt 64 nGy/h. Het verschil valt binnen de natuurlijke variatie en is zelfs negatief ten opzichte van de achtergrond. De mogelijke verklaring hiervoor is dat de centrale gebouwd is op (opgespoten) zandgrond, terwijl het merendeel van de meetpunten in de omgeving geplaatst is boven kleigrond, dat van nature een iets hoger achtergrondstralingsniveau heeft dan zandgrond. Het bleek dus niet mogelijk op deze wijze de bijdrage van de KCB te bepalen. Teneinde toch inzicht te krijgen in de dosisbijdrage ten gevolge van de directe straling is daarom een berekening uitgevoerd.

De belangrijkste bronnen die bij kunnen dragen 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.

De belangrijkste radioactieve bron in het reactorgebouw is de reactorkern, waarin zich de grootste hoeveelheid van de in de installatie aanwezige radioactiviteit bevindt. Het betreft voornamelijk splijttingsprodukten en door neutroneninvangst gevormde activeringsprodukten. In 5.4.3.2 is de kerninventaris gegeven van een evenwichtskern met een gemiddelde opbrand.

Afscherming naar buiten wordt gevormd door:

- zelfabsorptie in de reactorkern (uraniumoxyde)
- hoofdkoelmiddel/moderator (water)
- kernhouder en thermisch schild (roestvrij staal)
- reactorvat (staal)
- biologisch schild (beton)
- afscherming primair systeem (beton)
- overige wanden reactorgebouw (beton).

De geschatte totale afscherming van de in de reactorkern aanwezige radioactiviteit bedraagt circa 110 cm water, 30 cm staal en 510 cm beton. Uitgaande van de genoemde kerninventaris bedraagt de dosis aan het hek (kleinste afstand 110 m) $3 \cdot 10^{-16}$ mSv/a. Dit is berekend met het programma MICROSHIELD. Hierbij is overigens geen rekening gehouden met de extra afscherming door het tussen het reactorgebouw en het hek gelegen kantoorgebouw.

In het splijststofopslagbassin wordt circa 1,7 maal de kerninhoud aan splijststofelementen bewaard. De activiteit van de opgeslagen elementen is bij benadering gelijk aan die van de elementen in de in werking zijnde reactor, zodat de totale activiteit in het splijststofopslagbassin 1,7 maal de kerninventaris bij over de kern gemiddelde opbrand bedraagt. De wanden van het splijststofopslagbassin zijn minder dik dan die van het biologisch schild (180 cm tegenover 200 cm), maar daar staat tegenover dat de hoeveelheid water aanmerkelijk groter is. Daarom kan gesteld worden dat de dosis aan het hek als gevolg van de activiteit in het splijststofopslagbassin evenals de bijdrage vanuit de reactorkern zelf verwaarloosbaar klein is.

Het hoofdkoelmiddel bevindt zich in het primaire circuit gedeeltelijk binnen het biologisch schild in het reactorvat (circa 120 m^3) en gedeeltelijk daarbuiten in de stoomgeneratoren (circa $2 \times 28 \text{ m}^3$). Het volume in de leidingen, en dus ook de activiteit hierin, wordt bij de berekening verwaarloosd. De activiteit in het hoofdkoelmiddel bestaat voornamelijk uit door activering van water gevormd ^{16}N , geactiveerde corrosieproducten en uit de reactorkern weggelekte edelgasen en jodiden. De totale activiteit van de geactiveerde corrosieproducten, edelgasen en jodiden is vele orden van grootte lager dan van de reactorkern, terwijl de totale afscherming slechts weinig minder is. Hieruit mag geconcludeerd worden dat hun bijdrage tot de externe stralingsbelasting van ondergeschikt belang is. Volgens het veiligheidsrapport "Sicherheidsbericht KCB, 1972" bedraagt de ^{16}N -activiteitsconcentratie in de toevoerleiding juist buiten het biologisch schild 130 Ci/m^3 ($4,8 \text{ TBq/m}^3$) en in de retourleiding 40 Ci/m^3 ($1,5 \text{ TBq/m}^3$). Voor de activiteit in de stoomgeneratoren wordt de gemiddelde waarde, dus $3,1 \text{ TBq/m}^3$, genomen. De afscherming wordt gevormd door circa 250 cm beton (inclusief de wanden van het tussen het reactorgebouw en het hek gelegen kantoorgebouw) en circa 5 cm staal. Het met het programma MICROSHIELD berekende dosistempo aan het hek bedraagt $0,05 \cdot 10^{-6}$ mSv/h overeenkomend met $440 \cdot 10^{-6}$ mSv/a zonder wooncorrectie. Voor directe straling mag volgend de Beleidsstandpunten van VROM (VROM, 1993) een wooncorrectie factor 0,25 worden gehanteerd, zodat de maximale individuele dosis aan het hek als gevolg van ^{16}N in het

hoofdkoelmiddel $0,11 \cdot 10^{-3}$ mSv/a bedraagt. De bijdrage als gevolg van ^{16}N in het reactorvat is als gevolg van de extra afscherming door het biologische schild verwaarloosbaar klein ($< 10^{-12}$ mSv/a).

Voor wat betreft de activiteit van de lucht in de installatieruimte wordt aangenomen dat de activiteit zich bevindt in een "blok" van $22 \times 12 \times 7 \text{ m}^3$. De afscherming naar buiten bestaat uit 210 cm beton en 2 cm staal (veiligheidsomhulling). De volumieke activiteit in de lucht van de installatieruimte bedraagt (EPZ, 1993):

- edelgassen $4,0 \cdot 10^5 \text{ Bq/m}^3$
- jodium $1,6 \cdot 10^{-1} \text{ Bq/m}^3$
- aërosolen $2,3 \cdot 10^{-1} \text{ Bq/m}^3$.

De met het programma MICROSHIELD berekende externe stralingsdosis aan het hek op 110 m afstand bedraagt maximaal $1 \cdot 10^{-10}$ mSv/a, uitgaande van de relatieve edelgas- en jodiumsamenstelling in het hoofdkoelmiddel en ^{60}Co als representant voor de aërosol-activiteit.

Het radioactief afval van KCB wordt in afwachting van transport naar COVRA geconditioneerd, dat wil zeggen ingestort in beton, opgeslagen in het afvalopslaggebouw. Aan de KCB-vergunning is het voorschrift verbonden om de vaten zodanig te vullen dat het dosistempo op het oppervlak van de vaten maximaal 10 mSv/h bedraagt. Wanneer het dosistempo door radioactief verval is afgenomen tot beneden 2 mSv/h worden de vaten afgevoerd naar COVRA. Het afvalopslaggebouw bevindt zich centraal op het terrein van de Locatie Zeeland van EPZ, waardoor het gebouw vrijwel aan alle zijden door omliggende bebouwing wordt afgeschermd. Alleen vanaf de westelijke ingang van het terrein van de kolencentrale is het afvalopslaggebouw gedeeltelijk zichtbaar (voor circa 25%). De afstand bedraagt ongeveer 275 m. De radioactiviteit in het afvalopslaggebouw wordt naar buiten toe afgeschermd door 102 cm beton.

Uitgaande van een volledig benutte opslag en een dosistempo op de buitenkant van de vaten van 10 mSv/h bedraagt de dosisbijdrage op het aangegeven punt circa $4,5 \cdot 10^{-6}$ mSv/a.

Geconcludeerd kan worden dat de dosisbijdrage bij het hek van de centrale inclusief wooncorrectiefactor maximaal $0,11 \cdot 10^{-3}$ mSv/a bedraagt. Het hieruit berekende maximale individuele risico voor overlijden bedraagt $3 \cdot 10^{-9}$ /a.

5.6 Waterkwaliteit

5.6.1 ALGEMENE BESCHRIJVING WATERLOPEN

De Westerschelde is het belangrijkste oppervlaktewater binnen het beschouwde gebied waarvan de waterkwaliteit kan worden beïnvloed door het bedrijven van de kernenergiecentrale Borssele. De Westerschelde is één van de laatste Nederlandse estuaria die niet door afsluitwerken zijn beïnvloed. Het estuarium heeft tussen de Nederlands-Belgische grens waar de rivier de Schelde over gaat in het estuarium en Vlissingen een lengte van 56 km. De breedte bij Antwerpen is 0,5 km en bij Vlissingen 4,5 km met een maximale breedte van 7,8 km bij de Sloehaven. De grootste diepte is 57 m. Dit diepste punt ligt voor de kop van de Noordnol, direct naast de koelwaterinlaat van de kernenergiecentrale Borssele. Het geheel door dijken omgeven estuarium wordt aan de noordzijde begrensd door Zuid-Beveland en Walcheren en aan zuidzijde door Zeeuws Vlaanderen. Het estuarium kenmerkt zich door zandplaten met daartussen hoofdgeulen en vloed- en ebscharen. Daarnaast zijn de schorren, het buitendijkse moerasachtige met hogere planten begroeide land, karakteristiek. Zij vormen de groeiplaatsen voor de zeldzame zoutvegetaties en zijn van belang als broedplaats, hoogwatervluchtplaats en fourageergebied voor vogels.

Het estuarine karakter wordt bepaald door een verticaal getij van circa 4 m bij Vlissingen tot bijna 5 m bij Bath, met de daarmee gepaard gaande horizontale stromingen, turbulenties en menging van het door de Schelde en via de Bathse spuisluis afgevoerde zoete water (Schelde: gemiddeld $80 \text{ m}^3/\text{s}$, Bathse spuisluis: maximaal $22,5 \text{ m}^3/\text{s}$) en het met vloed binnendringende zeewater (circa $1,1 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ per getij). Bij vloed bedraagt het Westerschelde volume ruim $3 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ en bij eb ruim $2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$. Ter hoogte van Vlissingen bedraagt de gemiddelde water verplaatsing over het getij 40.000 tot 45.000 m^3/s . Ter hoogte van de KCB bedraagt de gemiddelde vloedweg circa 15 km. Bij vloed is de gemiddelde wateroppervlakte 29.000 ha met daarnaast nog circa 3.300 ha buitendijks land. Bij eb is de gemiddelde water oppervlakte 20.000 ha met ruim 12.000 ha buitendijks land (Rijkswaterstaat, 1983; Rijkswaterstaat, 1993a).

In de maritieme zone van de Westerschelde, tussen Vlissingen en Hansweert, is de menging van het water zeer goed en is er meestal geen stratificatie van saliniteit (zout) en stroming. Ten oosten van Hansweert is de menging tussen zoet water en zeewater slechts gedeeltelijk en vinden we meer salien water bij de bodem (Heip, 1988a).

De belangrijkste functie van de Westerschelde is water voor scheepvaart met circa 40.000 scheepsbewegingen per jaar. Andere functies zijn visserij, waterafvoer, industrieel koel- en proceswater, ontvangend water voor lozing van afvalstoffen en natuur en landschap.

5.6.2 BIOLOGISCHE WATERKWALITEIT

Bij de KCB verschilt de biologische waterkwaliteit weinig van die van het Zeeuwse kustwater met een goede zuurstofconcentratie, een fytoplankton (algen) diversiteit van circa 50 soorten per m² en een zoöplankton (dierlijk plankton) diversiteit van rond de 45 soorten per m². De afstand tussen de centrale en de monding van de Westerschelde bedraagt ongeveer 10 km, terwijl de vloedweg 15 km lang is. Bij eb passeert water de centrale dat bij vloed het midden-deel van de Westerschelde had bereikt. In dit gedeelte van het estuarium voldoet de zuurstofconcentratie in het algemeen aan de norm voor schelpdierwater (minimaal 7 mg/l), met jaargemiddelde concentraties in de jaren 1981-1990 tussen 8 en 9 mg/l en minimum concentraties van circa 6 mg/l (Rijkswaterstaat, 1992). Ten oosten van Hansweert voldoet de zuurstofconcentratie niet meer aan deze norm (Rijkswaterstaat, 1993b). Ondanks relatief hoge stikstof- en fosfaatconcentraties - beide parameters overschrijden zowel bij Vlissingen als bij Hansweert de norm bij toetsing aan de referentiewaarde voor zoute wateren (Rijkswaterstaat, 1993b) - neemt de biomassa van het fytoplankton in de Westerschelde in oostelijke richting maar weinig toe. Dit is het gevolg van afname van de doorzichtdiepte door gesuspendeerd materiaal waardoor licht limiterend wordt voor de algen. De zoöplankton-biomassa neemt sterker toe, er zijn voldoende algen als voedselbron. De soorten diversiteit van fyto- en zoöplankton neemt in oostelijke richting sterk af. Dit is echter een normaal verschijnsel in een estuarium. In de mengzone met wisselende zoutconcentraties verminderen de levenskansen voor veel gevoelige soorten. De meer resistente soorten komen dan in veel grotere dichtheden voor. De bentische biomassa in de Westerschelde is relatief laag en aanzienlijk lager dan in de Oosterschelde (Heip, 1988a, 1988b). De Westerschelde vervult verder een belangrijke functie als kinderkamer voor een aantal vissoorten (vooral tong) en garnalen.

De waterkwaliteitsdoelstelling voor de Westerschelde is water geschikt als schelpdierwater en zwemwater. Het niveau van de ecologische doelstelling is het middelste niveau: neigend naar de natuurlijke toestand maar nog niet gelijk hieraan.

5.6.3 RADIOLOGISCHE WATERKWALITEIT

Metingen met betrekking tot activiteitsniveaus in de Westerschelde en in aquatische organismen in de periode voor ingebruikname van de kernenergiecentrale Borssele zijn zeer summier. De omgevingsmetingen beperkten zich tot meting van ⁶⁰Co in mosselen en ¹³¹I in wieren. Voor beide organismen lagen de activiteitsniveaus lager dan de detectielimieten, respectievelijk < 2 Bq/kg en < 3 Bq/kg. De tritiumconcentratie in de Westerschelde bedroeg in de jaren 1970-1972 gemiddeld circa 23 Bq/l (CCRX, 1993).

Bij de huidige omgevingsmetingen worden naast de activiteitsbepalingen in aquatische organismen (wieren) ook metingen uitgevoerd met betrekking tot de β -activiteit en de tritium-activiteit in het water van de Westerschelde. In tabel 5.6.1 is een overzicht gegeven van de

gemiddelde activiteitsniveaus in de meetperiode 1985-1994. De activiteitsconcentratie in het zwevend slib in het Westerscheldewater bedraagt circa 1 Bq/kg.

Tabel 5.6.1 Gemiddelde activiteitsniveaus in de Westerschelde gebaseerd op omgevingsmetingen in de periode 1985-1994

	Westerscheldewater (Bq/l)			Wieren (Bq/kg)		
	β -activiteit water	β -activiteit zwevend slib	^3H -activiteit water	^{131}I	^{137}Cs	^{60}Co
2,5 km NW	$50 \cdot 10^{-3}$	0,05	4,9			
0 km	$50 \cdot 10^{-3}$	0,07	4,8			
1,5 km ZO	$40 \cdot 10^{-3}$	0,07	5,2			
8,5 km ZO	$50 \cdot 10^{-3}$	0,06	4,7			
mengmonster				< 0,4	< 0,5	< 0,4

De activiteitsniveaus in het Westerscheldewater ter hoogte van de KCB zijn ongeveer gelijk aan of lager dan die in andere Nederlandse oppervlaktewateren zoals Rijn, Maas en IJsselmeer (CCRX, 1993).

Door het Delta Instituut zijn metingen gedaan van de radioactieve nuclideconcentraties in het onderwatersediment in de Westerschelde. De onderverdeling naar radioactieve nuclide is gegeven in tabel 5.6.2.

Tabel 5.6.2 Concentraties van radioactieve nucliden in het onderwatersediment in de Westerschelde

Plaats	Concentratie [Bq/kg]								
	^{54}Mn	^{58}Co	^{60}Co	^{95}Zr	^{106}Ru	^{125}Sb	^{134}Cs	^{137}Cs	^{144}Ce
Nauw van Bath	0,6		11		6	2	0,8	12	3
Haven Hansweert	0,5		10		18	3	0,6	10	8
Haven Terneuzen	0,3	3	5	4	29	3	0,7	16	3
Inlaatpunt KCB	3	1	3	4	35	3	0,6	13	3
Lozingspunt KCB	0,3	1	0,7	3	23	0,8	0,3	3	1
Sloehaven	0,5	2	6		78	6	1	25	4
Hooge Platen	6	2	0,4	4	3	0,7	0,2	10	4
Haven Breskens	0,4	0,6	0,8	3	18	2	0,3	6	1

5.6.4 RADIOLOGISCHE BIJDRAGEN

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 resultaten van de dosisberekeningen voor de gemiddelde lozingen in de periode 1985-1994 zijn gegeven in de laatste kolom van tabel 5.6.3. In die periode bedroeg de gemiddelde lozing met het afvalwater 5 TBq tritium, 2 GBq aan β - en γ -activiteit en 70 kBq aan α -activiteit (tabel 5.2.2). De opsplitsing van de β - en γ -activiteit in bijdragen van verschillende radioactieve nucliden is overgenomen uit de VROM-publikatie (VROM, 1990); deze opsplitsing is ook van toepassing voor de hier beschouwde periode. De dosisfactoren voor ingestie zijn gebaseerd op ICRP-publikatie 61 (ICRP, 1991)¹⁾.

Tabel 5.6.3 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 1985-1994

Nuclide	Ingestie [Bq/a] per [Bq/s]	Gem. lozing [Bq/s]	Dosisfactor [Sv/Bq]	Dosisbijdrage [10 ⁻⁶ mSv/a]
³ H	4,3.10 ⁻⁷	159.000	2,0.10 ⁻¹¹	1,4.10 ⁻³
⁵⁸ Co	3,3.10 ⁻⁴	4,9	1,0.10 ⁻⁹	1,6.10 ⁻³
⁶⁰ Co	4,9.10 ⁻⁴	45,3	6,7.10 ⁻⁹	1,5.10 ⁻¹
^{110m} Ag	2,8.10 ⁻⁴	0,8	2,9.10 ⁻⁹	0,7.10 ⁻³
¹²⁴ Sb	1,2.10 ⁻⁴	6,1	3,3.10 ⁻⁹	2,4.10 ⁻³
¹³⁴ Cs	4,1.10 ⁻⁵	0,2	2,0.10 ⁻⁸	1,6.10 ⁻⁴
¹³⁷ Cs	4,2.10 ⁻⁵	2,3	2,0.10 ⁻⁸	2,0.10 ⁻³
overige radionucliden	2,0.10 ⁻⁴	4,7	2,2.10 ⁻¹⁰ *	2,1.10 ⁻⁴
* Gewogen gemiddelde dosisfactor voor de overige radionucliden				totaal 1,6.10 ⁻¹

¹⁾ Toepassing van de recentere dosisfactoren uit ICRP 68 (ICRP, 1994) zou op de totale doses geen wezenlijke invloed hebben

Uitgaande van de gemiddelde lozingswaarden in de periode 1985-1994 bedroeg de maximale individuele dosis $0,2 \cdot 10^{-6}$ mSv/a. Hiervan werd 95% veroorzaakt door lozing van het activeringsproduct ^{60}Co op de Westerschelde.

De resultaten van de dosisberekeningen voor de maximale lozingen in de periode 1985-1994 zijn gegeven in tabel 5.6.4.

Tabel 5.6.4 Ingestie per eenheidslozing en individuele jaardosis ten gevolge van maximale jaar-gemiddelde lozingen van radioactiviteit met het afvalwater en op basis van de gemiddelde consumptie van zeevoedsel uit de Zeeuwse kustwateren in de periode 1985-1994

Nuclide	Ingestie [Bq/a] per [Bq/s]	Max. lozing [Bq/s]	Dosisfactor [Sv/Bq]	Dosisbijdrage [10^{-6} mSv/a]
^3H	$4,3 \cdot 10^{-7}$	222.000	$2,0 \cdot 10^{-11}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$
^{58}Co	$3,3 \cdot 10^{-4}$	17,1	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$
^{60}Co	$4,9 \cdot 10^{-4}$	152	$6,7 \cdot 10^{-9}$	$5,1 \cdot 10^{-1}$
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	2,5	$2,9 \cdot 10^{-9}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$
^{124}Sb	$1,2 \cdot 10^{-4}$	16,1	$3,3 \cdot 10^{-9}$	$6,3 \cdot 10^{-3}$
^{134}Cs	$4,1 \cdot 10^{-5}$	1,1	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$
^{137}Cs	$4,2 \cdot 10^{-5}$	5,3	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
overige radionucliden	$2,0 \cdot 10^{-4}$	16,8	$4,5 \cdot 10^{-10} *$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
* Gewogen gemiddelde dosisfactor voor de overige radionucliden				totaal $5,3 \cdot 10^{-1}$

Uitgaande van de maximale lozingswaarden in de periode 1985-1994 bedroeg de individuele dosis via het aquatische pad $0,53 \cdot 10^{-6}$ mSv/a.

5.6.5 RADIOACTIEVE NUCLIDEN IN AQUATISCH BIOLOGISCH MATERIAAL

In paragraaf 5.6.3 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 1991-1992. Alleen het activiteitsniveau van ^{137}Cs komt net boven de detectiegrens. In de jaren tachtig zijn ook activiteitsniveaus van deze radioactieve nucliden in monsters mosselvlees bepaald. Mosselen voeden zich met plankton-organismen en detritus (dood orga-

nisch 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 ^{60}Co 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.

5.6.6 AUTONOME ONTWIKKELINGEN VAN HET WATERMILIEU

In het Beheersplan voor de Rijkswateren 1992-1996 (Rijkswaterstaat, 1993a) worden de volgende functies toegekend aan de Westerschelde:

- afvoer van water, ijs en sediment
- natuur en landschap
- hoofdtransportas
- zwemwater
- oeverrecreatie
- recreatievaart
- beroepvisserij
- koelwater voor energiecentrales
- oppervlakedelfstofwinning.

De waarde die aan deze functies wordt toegekend blijft binnen de planperiode voor het merendeel gelijk, behalve de hierna genoemde uitzonderingen.

De oppervlakedelfstofwinning (winning van zand, grind of schelpen) zal in de planperiode afnemen. De winning van oppervlakedelfstoffen heeft vaak negatieve effecten voor het betreffende water door de baggeractiviteiten, zoals verstoring of vernietiging van bodemorganismen en afname van doorzichtdiepte door opwoelen van slib. Deze negatieve effecten zullen in de toekomst afnemen.

Het belang van de Westerschelde voor natuur en landschap en het belang van dit water als hoofdtransportas zullen in de planperiode toenemen. Het verdrongen land van Saefingen, het schor bij Waarde en de Verdrongen Zwarte polder zijn reeds aangewezen als Beschermde - of Staats-natuurmonumenten. Hierbij moet worden opgemerkt dat de functie "hoofdtransportas" nadelig kan zijn voor de ontwikkeling van natuur en landschap door onderhoud en regulatie van vaarroutes.

Door het emissiebeleid voor de Zeeuwse rijkswateren zal de waterverontreiniging met zuurstofbindende stoffen, nutriënten en microverontreinigingen afnemen (Rijkswaterstaat, 1993b).

Deze autonome ontwikkelingen zullen niet worden beïnvloed door, of gevolgen hebben voor de bedrijfsvoering van de kernenergiecentrale Borssele. Door de zeer snelle menging van het geloosde water als gevolg van de sterke eb- en vloedstroom zal de waterlozing buiten de mengzone niet van invloed zijn op de ontwikkeling van natuur en landschap.

5.7 Bodem: depositie van radioactieve stoffen

De belangrijkste weg waarlangs eventuele besmetting van de bodem kan plaatsvinden wordt gevormd door de depositie (op de bodem neerkomen) van radioactiviteit, die via de ventilatieschacht wordt geloosd en vervolgens via de lucht wordt verspreid. Andere mogelijke besmettingspaden vormen 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. Voor de in tabel 5.5.5 genoemde aërosol-gebonden nucliden en de gasvormige stoffen ^3H , ^{14}C en ^{131}I is de gehele verspreiding via de terrestrische voedselketen en de uiteindelijke opname door de mens nader uitgewerkt in (EPZ, 1993K).

Naast inwendige besmetting via ingestie vormt externe bestraling vanaf de grond door de gedeponeerde radioactiviteit een tweede belastingspad.

Tabel 5.7.1 geeft een overzicht van de resultaten van de dosisberekeningen voor een eenheidslozing van 1 Bq/s. Voor de aërosolen geldt, dat de dosisfactoren voor ingestie aanmerkelijk lager zijn dan voor externe bestraling. Daardoor zijn de dosisbijdragen via het ingestiepad verwaarloosbaar ten opzichte van die via externe bestraling vanaf de grond.

Tabel 5.7.1 Jaardoses KCB ten gevolge van gedeponeerde radioactiviteit (inwendig + extern) bij een lozing naar de lucht van 1 Bq/s per nuclide

Nuclide	Bodem-activiteit [Bq/m ²]	Ingestie [Bq/a]	Dosiscoëfficiënt		Dosisfactor [Sv/a] per [Bq/s]	
			Extern [Sv/a] per [Bq/m ²]	Ingestie [Sv/Bq]	Extern	Ingestie
Aërosolen						
⁵⁴ Mn	$6,55 \cdot 10^{-2}$	$8,3 \cdot 10^{-4}$	$2,31 \cdot 10^{-8}$	$6,7 \cdot 10^{-10}$	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$5,6 \cdot 10^{-13}$
⁶⁰ Co	$3,26 \cdot 10^{-1}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$	$6,23 \cdot 10^{-8}$	$6,7 \cdot 10^{-9}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$6,0 \cdot 10^{-12}$
¹³⁴ Cs	$1,62 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$4,33 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$7,0 \cdot 10^{-9}$	$2,0 \cdot 10^{-11}$
¹³⁷ Cs	1,03	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,71 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-11}$
³ H	-	$3,0 \cdot 10^{-4}$	-	$2,0 \cdot 10^{-11}$	-	$6,0 \cdot 10^{-15}$
¹⁴ C	-	$4,2 \cdot 10^{-3}$	-	$5,0 \cdot 10^{-10}$	-	$2,1 \cdot 10^{-12}$
¹³¹ I	$1,71 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,11 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-11}$	$5,0 \cdot 10^{-12}$

In tabel 5.7.2 en 5.7.3. zijn voor de gemiddelde waarden respectievelijk voor de maxima in de periode 1985-1994 de dosisbijdragen ten gevolge van de gedeponeerde radioactiviteit vermeld.

Tabel 5.7.2 Dosisbijdragen KCB als gevolg van ingestie en externe bestraling van gedeponeerde aërosolen inclusief direct door de vegetatie opgenomen ³H- en ¹⁴C-activiteit bij een over 1985-1994 gemiddelde emissie

Nuclide	Lozing [TBq/a]	Dosisfactor [Sv/a] per [Bq/s]	Dosisbijdrage [10 ⁻⁶ mSv/a]
Aërosolen			
⁶⁰ Co*	$3 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	0,2
³ H	$4 \cdot 10^{-1}$	$6,0 \cdot 10^{-15}$	0,08
¹⁴ C	$9 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-12}$	0,60
¹³¹ I	$1 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-11}$	0,01
			totaal 0,9

* ⁶⁰Co representatief voor aërosolen

Uit tabel 5.7.2 volgt, dat op basis van de gemiddelde lozingen naar de lucht in de periode 1985-1994 de dosisbijdrage als gevolg van gedeponeerde activiteit maximaal $0,9 \cdot 10^{-6}$ mSv/a bedroeg, waarvan $0,2 \cdot 10^{-6}$ mSv/a door externe bestraling vanaf de bodem en $0,7 \cdot 10^{-6}$ mSv/a door ingestie van voedselproducten.

Tabel 5.7.3 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 emissies uit de periode 1985-1994

Nuclide	Lozing [TBq/a]	Dosisfactor [Sv/a] per [Bq/s]	Dosisbijdrage [10^{-6} mSv/a]
Aerosolen $^{60}\text{Co}^*$	$1 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	0,6
^3H	$6 \cdot 10^{-1}$	$6,0 \cdot 10^{-15}$	0,11
^{14}C	$1 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-12}$	0,67
^{131}I	$5 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-11}$	0,04
* ^{60}Co representatief voor aerosolen			totaal 1,4

Uit tabel 5.7.3 blijkt, dat op basis van maximale emissies naar de lucht in de periode 1985-1994 de dosisbijdrage maximaal $1,4 \cdot 10^{-6}$ mSv/a bedroeg, waarvan $0,6 \cdot 10^{-6}$ mSv/a door externe bestraling vanaf de bodem en $0,8 \cdot 10^{-6}$ mSv/a door ingestie van voedselproducten.

5.8 Bijdragen KCB aan de totale stralingsbelasting

5.8.1 DOSISBIJDRAGEN

Tabel 5.8.1 geeft een samenvatting van de in de paragrafen 5.5.2, 5.6.4 en 5.7 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 1985-1994 is circa $7 \cdot 10^{-6}$ mSv/a. De dosisbijdrage is maximaal $34 \cdot 10^{-6}$ mSv/a, indien de piekwaarden in de lozingsgegevens van die periode als uitgangspunt voor de berekeningen worden genomen. De meest belastende radioactieve nucliden zijn de xenon-isotopen ^{133}Xe en ^{135}Xe . Deze edelgaslozing levert via externe bestraling vanuit de pluim de grootste dosisbijdrage (50 - 70% van de totale dosis).

Tabel 5.8.1 Dosisbijdragen via de diverse belastingspaden als gevolg van gemeten lozingen door KCB in de periode 1985-1994

Blootstellingspad	Dosis (10^{-6} mSv/a)		Meest belastende nuclide
	Gemiddelde lozing 1985-1994	Maximale lozing 1985-1994	
A LUCHTLOZINGEN			
Extern pluim	4,4	30	^{133}Xe , ^{135}Xe
Extern bodem	0,2	0,6	^{60}Co
Inwendig inhalatie	1,2	2	^3H , ^{14}C
Inwendig ingestie	0,7	0,8	^{14}C
B WATERLOZINGEN			
Inwendig ingestie	0,2	0,6	^{60}Co
TOTAAL	6,7	34	^{133}Xe , ^{135}Xe

De dosisbijdragen aan het hek als gevolg van directe straling vanuit de kernenergiecentrale zijn aangegeven in paragraaf 5.5.2.3. De maximale individuele doses aan het hek bedragen $0,13 \cdot 10^{-3}$ mSv/a en $0,045 \cdot 10^{-3}$ mSv/a als gevolg van ^{16}N in het hoofdkoelmiddel respectievelijk 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 significante bijdrage leveren aan de totale stralingsbelasting van de bevolking in de omgeving van de kernenergiecentrale Borssele. De gegevens zijn grotendeels afkomstig uit het RIVM-rapport "Stralingsbelasting in Nederland in 1988" (RIVM, 1991). De natuurlijke achtergrondstraling wordt veroorzaakt door kosmische straling uitgezonden door de zon en sommige andere hemellichamen en door de aanwezigheid van radioactieve stoffen in de bodem, de terrestrische straling. De radioactieve stoffen in de bodem, die in dit verband de belangrijkste bijdragen leveren, zijn ^{40}K , ^{238}U en ^{232}Th en vervalprodukten van de twee laatstgenoemde stoffen. Voor de bijdrage van terrestrische en kosmische oorsprong zijn de resultaten van de omgevingsmetingen in de periode 1985-1994 gebruikt (zie tabel 5.5.4). 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 1985-1994 genomen.

Als stralingsbron leveren bouwmaterialen, die worden toegepast in woningen en gebouwen, op twee manieren een bijdrage aan de stralingsbelasting. Ten eerste bevatten de bouwmaterialen radioactieve stoffen, die een directe-stralingsbijdrage veroorzaken. Daarnaast komt uit de materialen een radioactief gas, te weten radon, vrij. Voorts komt ook radon in de woning uit de bodem.

Tabel 5.8.2 Gemiddelde stralingsbelasting ten gevolge van diverse bronnen in de woonomgeving nabij de kernenergiecentrale Borssele (RIVM, 1991 en COVRA, 1989)

Bron	Dosisbijdrage [mSv/a]
Terrestrisch + kosmisch	0,65
Bouwmaterialen	1
Radon in woningen	0,3
Medische toepassingen	0,5
Ertsverwerkende industrie	0,03
COVRA	0,001
Kolencentrale	0,0001
Kernenergiecentrale Borssele	0,00001
Totaal	2,5

De totale stralingsbelasting bedraagt 2,5 mSv/a, voornamelijk tengevolge van ioniserende straling van natuurlijke oorsprong. 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 (circa 0,0004%).

5.8.2 EFFECTEN EN TOETSING AAN RISICOCRITERIA

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. In de "Nota omgaan met risico's van straling" is aangegeven, dat per sievert effectieve dosis de kans op overlijden aan een door straling geïnduceerde tumor, 0,025 bedraagt (Tweede Kamer, 1990b). Voorts is aangegeven, dat additionele risico's (kans op overlijden) tengevolge van toepassing van radioactiviteit lager dan 10^{-6} per bron per jaar, als secundair mogen worden beschouwd. Uitgaande van de risicofactor 0,025 per sievert komt dit

overeen met een dosis van $400 \cdot 10^{-6}$ mSv/a. De maximale individuele doses afkomstig van reguliere lozingen door KCB liggen hier met $7 \cdot 10^{-6}$ mSv/a (gemiddeld in de periode 1985-1994) ruimschoots onder. Het risico ten gevolge van deze lozingen bedraagt $2 \cdot 10^{-10}$ /jaar. Het risico ten gevolge van de maximaal vergunde lozingen bedraagt circa $2 \cdot 10^{-6}$ per jaar (EZ, 1994).

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. De genoemde individuele dosis betreft de effectieve dosis die opgelopen wordt door diverse belastingspaden, geïntegreerd over 1 jaar. Deze dosis wordt berekend voor een gemiddeld persoon (gemiddeld over de bevolkingspiramide). Overigens zijn er nog geen criteria ontwikkeld waaraan deze collectieve dosis zou moeten voldoen.

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 kan aan de hand van de jaarlijkse luchtlozingen voor de dominante nuclidengroepen, de collectieve dosis worden berekend. De collectieve dosis via luchtlozingen blijkt $2,2 \cdot 10^{-3}$ mensSv/a te bedragen.

Eenzelfde berekening kan worden uitgevoerd voor lozingen in het water. Voor de berekening is alleen de dosisconversiefactor voor ^{60}Co nodig, aangezien dit nuclide voor 95% de totale collectieve dosis bepaalt. De waarde bedraagt $4,5 \cdot 10^{-1}$ mensSv/TBq ^{60}Co . De lozing gemiddeld over de jaren 1985-1994 bedraagt $1,43 \cdot 10^{-3}$ TBq ^{60}Co per jaar. De collectieve dosis via het belastingspad ingestie als gevolg van consumptie van vis en schelpdieren is derhalve $6,4 \cdot 10^{-4}$ mensSv/a.

De totale collectieve dosis als gevolg van reguliere lucht- en waterlozingen bedraagt aldus $2,8 \cdot 10^{-3}$ mensSv/a.

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 gasvormige en vloeibare radioactieve stoffen worden zoveel mogelijk gereinigd en gefilterd. De restanten 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 produktie van de KCB moet jaarlijks een aantal onbestraalde (nieuwe) splijtstofelementen worden aangevoerd en ongeveer een gelijk aantal bestraalde (opgebruikte) splijtstofelementen worden afgevoerd. In beide gevallen vinden deze transporten plaats over de weg, waarbij de splijtstofelementen zich in type-goedgekeurde containers bevinden. Voor deze transporten worden vergunningen afgegeven door het ministerie van VROM.

Onbestraalde splijtstofelementen vormen, afhankelijk van de verrijkingsgraad 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 splijtstofelementen worden beperkt (bedrijfseconomisch risico).

De splijtstofelementen worden na gebruik verwijderd uit het reactorvat en gedurende een bepaalde tijd opgeslagen in het splijtstofopslagbassin. In deze tijd neemt de activiteit 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 splijtstoftransportcontainers. Deze containers zijn op basis van internationale normen ontworpen. Containers voor bestraalde splijtstofelementen 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 splijtstofelementen worden afgevoerd naar de opwerkingsfabriek van Cogema in La Hague (Frankrijk) waar de gebruikte splijtstof wordt gescheiden in opnieuw bruikbare splijtstof en radioactief afval. Jaarlijks wordt globaal 1/3 deel van de uit 121 splijtstofelementen bestaande kern afgevoerd. Voor de opwerking zijn langlopende contracten afgesloten tussen Cogema en EPZ. Het hoog radioactieve afval, dat bij de opwerking vrij komt, wordt vanaf het jaar 2000 geretourneerd naar Nederland en zal worden opgeslagen bij COVRA.

Iedere cyclus (ongeveer jaarlijks) wordt globaal 1/3 deel van de uit 121 splijtstofelementen bestaande kern afgevoerd. 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 3 jaar in de kern bevonden, een klein deel gedurende een langere verblijftijd van 4 jaar. Het aantal gebruikte splijtstofelementen dat in de afgelopen tien jaar definitief uit de kern is ontladen, is weergegeven in tabel 5.9.1. Deze gebruikte splijtstofelementen worden na de opslag in het splijtstofopslagbassin afgevoerd voor opwerking. In de tabel is verder de gemiddelde opbrand van de ontladen splijtstofelementen gegeven.

De nuclideninventaris van de gebruikte splijtstofelementen is gegeven in bijlage B. Hierin wordt per splijtstofelement aangegeven hoeveel van ieder nuclide aanwezig is (per gewicht (kg) en per hoeveelheid radioactiviteit (Bq)). 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 op zijn vroegst zouden kunnen worden afgevoerd uit het splijtstofbassin (contractueel minimaal 270 dagen na afschakeling van de reactor). Hierbij zijn de belangrijkste nucliden met betrekking tot radioactiviteit en gewicht in de tabel opgenomen.

Tabel 5.9.1 Aantal definitief uit de kern ontladen gebruikte splijtstofelementen in de afgelopen tien jaar en hun gemiddelde opbrand

Jaar	Aantal ontladen splijtstofelementen	Gemiddelde opbrand (MWd/kgU)
1986	42	32,2
1987	41	32,8
1988	41	32,0
1989	37	32,2
1990	41	33,4
1991	45	33,1
1992	29	34,2
1993	41	33,2
1994	37	33,7
1995	41	35,0

Het radioactief afval dat bij de opwerking overblijft, zal uiteindelijk worden opgeslagen bij COVRA. De hoeveelheden van dit kernsplijtingsafval, die van de jaarlijks ontladen splijtstofelementen overblijven, zijn gegeven in tabel 5.9.2. Het afval is daarbij verdeeld in een aantal soorten die elk in de voor die soort meest geschikte vorm wordt opgeslagen.

Tabel 5.9.2 Radioactief afval (na behandeling in een opwerkingsfabriek) per jaar

Afvalcategorie (insluitmateriaal)	Aantal vaten en inhoud/vat	hoeveelheid/vat in Bq	
Splijtingsprodukten (glasmatrix in roestvast staal)	circa 8 160 l	^{137}Cs	$< 6,7 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$
		^{90}Sr	$< 4,6 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$
		U^{γ}	$< 4.500 \text{ g}$
		Pu^{γ}	$< 110 \text{ g}$
		$^{244}\text{Cm}^{\gamma}$	$< 90 \text{ g}$
Splijtstofbekleding en constructiemateriaal (beton)	circa 7 1.700 l	$^{137}\text{Cs} + ^{137\text{m}}\text{Ba}$	$\leq 63 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$
		$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$	$\leq 52 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$
		α -stralers ($T_{1/2} > 50 \text{ a}$)	$\leq 0,9 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$
		^{241}Pu	$\leq 20 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$
		^{60}Co	$\leq 217 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$
Met α -stralers besmette goe- deren (beton)	2...3 1.200 l	β, γ	$< 3,15 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$
		α	$< 0,63 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$
Laagactief afval (beton)	circa 26 665 l	β, γ	$< 1,33 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$
		α	$< 5,6 \cdot 10^9 \text{ Bq}$

^γ) resten splijtstoffen en actiniden

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 productie 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%.

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 Hoeveelheden plutonium in kg in jaarlijks te ontladen splijtstofelementen in de bestaande situatie

Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	totaal
2,2	66,8	27,8	12,8	110

Dit plutonium is echter vrij ongeschikt voor het gebruik in een atoomwapen, allereerst omdat het gemengd is met andere materialen en met radioactieve stoffen en ook omdat het geen "weapon grade" plutonium is. Dat laatste dient een concentratie van maximaal 7% plutonium-240 te hebben, terwijl die concentratie bij lichtwaterreactoren meestal 20 à 35% bedraagt. Specifieke informatie voor de centrale Borssele is te vinden in de bijlagen B tot en met I.

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".

6 MILIEUGEVOLGEN VAN DE BEOOGDE SITUATIE 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 4,0% uranium-235 wordt toegepast. Deze situatie wordt de beoogde situatie genoemd. Daarbij wordt er tevens van uitgegaan dat, zoals beschreven in hoofdstuk 4, de splijtstofmassa met maximaal 2% verhoogd wordt.

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 4.4 beschreven alternatieven, gekenmerkt door verrijkingsgraden van 3,8 en 4,2% uranium-235, worden aangegeven.

6.2 Lozingen en stralingsbelasting bij normaal bedrijf

BELASTING VIA LOZINGEN

Doordat bij toepassing van de verhoogde verrijkingsgraad van 4,0% de gemiddelde boorzuurconcentratie in het primaire systeem met circa 20% toeneemt, neemt ook de tritiumproductie met 20% toe. Omdat al het geproduceerde tritium uiteindelijk wordt afgevoerd, zullen de tritiumafgiftes naar de Westerschelde en de atmosfeer eveneens met 20% toenemen. Tabel 6.2.1 geeft een overzicht van de gevolgen daarvan voor de individuele doses.

De gemiddelde lozing van tritium naar de lucht zal hierdoor van 0,4 TBq/a (zie tabel 5.5.6) stijgen naar 0,5 TBq/a. De totale gemiddelde dosisbijdrage per jaar als gevolg van luchtgedragen activiteit stijgt hierdoor met 2,9% naar $5,8 \cdot 10^{-6}$ mSv/a. De maximale dosisbijdrage stijgt met 0,8%.

De gemiddelde lozing van tritium naar de Westerschelde zal van 5,0 TBq/a (zie tabel 5.6.3) stijgen naar 6,0 TBq/a. De totale gemiddelde dosisbijdrage per jaar als gevolg van lozingen naar de Westerschelde stijgt hierdoor met 0,2%. De maximale dosisbijdrage stijgt met 0,07%.

De totale gemiddelde dosisbijdrage per jaar via depositie op de bodem als gevolg van de tritiumtoename stijgt met 1,8% (zie tabel 5.7.2). De maximale dosisbijdrage stijgt met 1,6%.

Tabel 6.2.1 Verandering in de maximale individuele dosis als gevolg van verandering van de lozing van tritium via de verschillende belastingspaden

belastingspad	toename dosis als gevolg van gemiddelde lozing (%)	toename als gevolg van maximale lozing (%)
lucht	+2,9	+0,8
water	+0,2	+0,07
bodem	+1,8	+1,6
totaal	+3	+1

Het risico ten gevolge van de gemiddelde lozingen van $2 \cdot 10^{-10}$ /jaar zal door de toename van de lozing van het tritium met $0,06 \cdot 10^{-10}$ /jaar verhoogd worden (zie paragraaf 5.8.2). Ten aanzien van de alternatieven zal de toename van de dosis en dus van het risico eveneens marginaal zijn ten opzichte van de huidige situatie.

In paragraaf 5.8 is ook een uiteenzetting gegeven omtrent de collectieve dosis. In deze paragraaf wordt nagegaan in hoeverre de collectieve dosis verandert bij de voorgenomen activiteit en de alternatieven. De collectieve dosis via luchtlozingen bedraagt in de beoogde situatie $2,4 \cdot 10^{-3}$ mensSv/a.

Door de voorgenomen activiteit veranderen de berekeningen voor lozingen in water niet aangezien in dat geval alleen de ^{60}Co -bijdrage van belang is. De collectieve dosis via het ingestiepad blijft derhalve $6,4 \cdot 10^{-4}$ mensSv/a.

De totale collectieve dosis als gevolg van reguliere lucht- en waterlozingen bedraagt nu $3,0 \cdot 10^{-3}$ mensSv/a.

Dit betekent een verhoging van 6% in de collectieve dosis ten opzichte van de bestaande situatie.

De alternatieven 3,8% en 4,2% vertonen hetzelfde beeld ten aanzien van de tritium-lozing. De berekende waarden zijn derhalve ook van kracht voor deze alternatieven.

DIRECTE EXTERNE STRALING

De externe stralingsbelasting als gevolg van directe straling vanuit de inrichting (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.

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.

De stralingsbelasting bij normaal bedrijf blijft gezien het voorgaande bij uitvoering van de voorgenomen activiteit of de alternatieven ook in België aan de daarvoor gehanteerde criteria voldoen.

6.3 **Aanvullende veiligheidsmaatregelen**

6.3.1 **ALGEMEEN**

Als gevolg van de hogere opbrand die bij de voorgenomen activiteit in de splijtstofstaven optreedt zouden, onder andere door de vorming van een dikkere oxidelaag op het huidige splijtstofomhullingsmateriaal, de mechanische eigenschappen van dit materiaal negatief kunnen worden beïnvloed.

Echter door de toepassing van een corrosiebestendiger zirconium-legering voor de splijtstofomhulling van de nieuwe staven met hogere verrijking wordt dit fenomeen gecompenseerd. Hiermee wordt bereikt dat, ook bij hogere opbranden, op dezelfde wijze wordt voldaan aan de gestelde eisen.

Ten aanzien van de mogelijke belastingen op de splijtstofelementen gedurende normaal bedrijf en storingen is door middel van een haalbaarheidsstudie onderzocht of een verrijking tot 4%, met een tussenstap van 3,8%, veiligheidstechnisch realiseerbaar is. In deze haalbaarheidsstudie zijn fictieve beladingsplannen opgesteld voor de eerste 7 jaar na invoering van de hogere verrijking (2 cycli met 3,8% en 5 cycli met 4,0%). Vervolgens zijn alle belangrijke veiligheidsrelevante grootheden, zoals deze zich tijdens deze 7 cycli kunnen voordoen, geanalyseerd. Onder andere zijn het reactiviteitsgedrag en de vereiste boorzuurconcentraties gezien.

Uit deze studie is gebleken dat voor deze zeven cycli na de invoering van hogere verrijking aan alle in het "Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele" (EPZ, 1993)

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 overlegd.

6.3.2 ONDERKRITICALITEIT IN HET SPLIJTSTOFOPSLAGBASSIN

In de splijtstofelementen in het splijtstofopslagbassin mag onder geen beding een kernsplijtingsproces op gang komen. Daarom dient aangetoond te worden dat zelfs onder verzwaren-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 of gelijk aan 0,95 te zijn.

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 kan in principe eerder een kritische situatie ontstaan. Het voorkomen van kriticaliteit in het splijtstofopslagbassin wordt bij toepassing van een hogere verrijkingsgraad van 4,0% (voorgenomen activiteit) gewaarborgd door het afsluiten van een aantal posities (inclusief een aantal posities in de demontabele stelling) in het bassin (zie paragraaf 4.3) 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 onderkriticaliteit gewaarborgd blijft.

Door alle opslagrekken als compactrekken uit te voeren wordt opslag tot ten hoogste 500 splijtstofelementen mogelijk.

6.3.3 BENODIGDE RUIMTE IN HET SPLIJTSTOFOPSLAGBASSIN

Bij toepassing van hogere verrijkingen zouden knelpunten kunnen ontstaan in de opslagcapaciteit van het splijtstofopslagbassin (SOB) doordat elementen met een hogere verrijking langer in het SOB moeten verblijven voordat ze getransporteerd kunnen worden en doordat een aantal posities afgesloten wordt om aldus de onderkriticaliteit te allen tijde te waarborgen (zie 6.3.2).

Het benodigde aantal posities wordt in het SOB 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. Voor de elementen met een opbrand van minder dan 35 MWd/kgU is dat contractueel minimaal 270 dagen. Voor elementen van 50 MWd/kgU of meer is dat circa 500 dagen
- het aantal verse elementen die geplaatst moeten worden. Bij hogere verrijking zijn minder verse elementen nodig dan bij lagere verrijking
- opslagruimte voor (besmette) constructiematerialen.

In totaal zijn effectief 317 posities in het SOB beschikbaar, exclusief 25 posities in een demontabel opslagrek dat alleen tijdens splijtstofwisselingen aanwezig is. Van deze posities werden er in de afgelopen jaren maximaal 228 bezet met splijtstofelementen.

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 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-ontwerpongevallen wordt de invloed op de verschillende niveaus van de PSA behandeld.

6.4.2 BESCHOUWDE ONGEVALLEN

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.

6.4.3 ONGEVALSANALYSES

6.4.3.1 Inleiding

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

6.4.3.2 Kerninventaris

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 activiteit 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 4,0% (voorgenomen activiteit) en van 3,8% en 4,2% (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 op het milieu van ongevallen. Dit gebeurt bij de radiologische analyses in paragraaf 6.4.3.4 en bij de PSA in paragraaf 6.4.4.2.

6.4.3.3 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 regелеlementen
- 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 splijstofstaven heeft met name invloed op de ontwerpongevallen waarbij koelmiddelverlies optreedt. Voor de bestudering van het verloop van ontwerpongevallen waarbij geen verlies van koelmiddel optreedt, spelen de snelheidsparameters van de neutronen en de reactiviteitscoëfficiënten (onder andere koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt, splijstoftemperatuurcoëfficiënt) een belangrijke rol.

Om aan te tonen dat de ontwerpongevallen 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.

Met betrekking tot de beheersing van de ontwerpongevallen is op een conservatieve wijze onderzocht wat de invloed is van de hogere verrijking op de relevante invoergegevens voor de analyses. Omdat het in de meeste gevallen slechts geringe veranderingen van de parameters betreft, heeft de evaluatie aangetoond dat de meeste ongevallen in gelijke mate worden beheerst als vóór uitvoering van de voorgenomen activiteit. Van een aantal ongevallen stond niet a priori vast dat deze beheerst zou worden binnen de vastgestelde grenzen. Om die reden zijn de volgende representatieve begingebourtenissen opnieuw geanalyseerd (vergelijk tabel 5.4.1):

- turbinesnelafschakeling zonder opening van de turbine-omloop (nr. 2.3.2)
- blokkeren van een hoofdkoelmiddelpomp of breuk van een hoofdkoelmiddelpompas (nr. 3.2)
- uitworp van het meest effectieve regelelement (nr. 5.2)
- lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving (nr. 9.1.1)
- extreme verstoringen in het primaire systeem waarbij tevens uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (nr. 10.5).

Het resultaat van de nieuwe analyses toont aan dat de installatie bij de voorgenomen activiteit ook na bovengenoemde begingebourtenissen in een veilige toestand kan worden gebracht en gehouden. Voor de resultaten van betreffende analyses wordt verwezen naar bijlage L en de "Aanvulling op het Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele" (EPZ, 1995).

Door het gebruik van conservatieve invoergegevens bij de evaluatie van de representatieve begingebourtenissen is aangetoond dat deze ontwerpongevallen ook tijdens overgangscycli worden beheerst.

Op bovenstaande wijze is voor alle in tabel 5.4.1 genoemde begingebourtenissen aangetoond dat de installatie inclusief de voorgenomen activiteit in een veilige toestand gebracht en gehouden kan worden.

Als gevolg van de voorgenomen activiteit zal ook de opbrand van de splijtstofstaven toenemen. Deze hogere opbrand leidt ertoe dat de splijtstof en de splijtstofomhulling langer en door meer neutronen bestraald worden.

Als gevolg van neutronenbestraling ontstaat er aan het oppervlak van de splijtstoftablet een poreuze laag waarvan de dikte toeneemt met toenemende opbrand. Voor de splijtstofomhulling geldt dat, naast andere factoren, neutronenbestraling invloed heeft op de vorming van een oxidelaag op de splijtstofomhulling. Meer neutronenstraling doet de oxidelaagdikte toenemen.

Beide bovengenoemde effecten kunnen ertoe leiden dat er sneller schade aan de splijtstofstaaf kan ontstaan indien de vermogensproduktie in de betreffende staaf in zeer korte tijd ongewenst sterk toeneemt. Een dergelijke toename van de vermogensproduktie kan bij een drukwaterreactor uitsluitend optreden bij het ontwerpgeval "Uitworp van het meest reactieve regelement" (begingebourtenis 5.2 uit tabel 5.4.1).

In Frankrijk en Japan (NUREG, 1994; Lagarde, 1995) zijn de laatste jaren onderzoeken uitgevoerd die beogen meer inzicht te geven in het effect van hogere opbrand op genoemd ontwerpgeval. Experimenteel is vastgesteld bij welke vermogenstoename schade aan de splijtstofstaaf kan optreden. Voor de KCB is de te verwachten maximale vermogenstoename voor het betreffende ontwerpgeval berekend. Uit deze onderzoeken en de uitgevoerde berekeningen kan geconcludeerd worden dat bij de opbrand die in de KCB verwacht wordt in de beoogde situatie er ruim voldoende marge blijft tussen de berekende vermogenstoename en de vermogenstoename die nog toelaatbaar is om splijtstofschade te voorkomen. Bovendien zal, zoals reeds in paragraaf 6.3.1 is aangegeven, door de toepassing van een corrosiebestendiger materiaal voor de splijtstofomhulling van de nieuwe staven met hogere verrijking, de vorming van een dikkere oxidelaag worden vermeden.

Met betrekking tot de alternatieven geldt dat ten aanzien van de thermohydraulische analyses het alternatief met de verrijkingsgraad 3,8% wordt afgedekt door de bovenstaande beschouwingen. De invloed van het alternatief met de verrijkingsgraad van 4,2% is niet onderzocht. Echter op grond van de bovengenoemde experimenten kan niet zonder meer gesteld worden dat ook in dat geval de installatie na optreden van het ontwerpgeval "Uitworp van het meest reactieve regelement" in een veilige toestand gebracht en gehouden kan worden. Bij opbranden die corresponderen met verrijkingsgraden groter dan 4,0% is momenteel de experimentele informatie nog te beperkt om definitief te kunnen concluderen dat er voldoende marge blijft bestaan tussen de optredende vermogenstoename bij het ontwerpgeval "Uitworp van het meest reactieve regelement" en de vermogenstoename waarbij splijtstofschade kan optreden.

Opbranden die bereikt kunnen worden bij een verrijking van 4,2% zijn momenteel nog geen "stand der techniek".

Bijlage L geeft nog meer informatie over ontwerpgevallen in de bestaande en in de beoogde situatie

6.4.3.4 Radiologische analyses

Uit de hiervoor beschreven studies is gebleken dat slechts enkele ontwerpgevallen beïnvloed zouden kunnen worden door het toepassen van een hogere verrijkingsgraad. Deze ontwerpgevallen blijken ook in die situatie beheerst te worden zonder dat er sprake is van een lozing van radioactiviteit naar de omgeving. Dat betekent dat de ontwerpgevallen waarvan aangenomen is dat ze wel een lozing van radioactieve stoffen tot gevolg hebben ook voor de hogere verrijkingsgraad representatief zijn.

De voorgenomen wijziging van de verrijkingsgraad van 3,3% naar 4,0% en de daarbij behorende verandering van de over de kern gemiddelde opbrand leiden wel tot veranderingen in de activiteit 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 activiteit bij de thans toegepaste verrijkingsgraad.

Tabel 6.4.1 Verandering van activiteit voor relevante nucliden bij beginverrijking 3,3% respectievelijk 4,0%

nuclide	verschil ¹⁾ % 4,0%-3,3%	nuclide	verschil ¹⁾ % 4,0%-3,3%	nuclide	verschil ¹⁾ % 4,0%-3,3%
Np-239	-5,5	Sr-93	-4,0	I-134	-3,7
Pu-239	+2,1	Y-91	-4,5	I-135	-3,5
Pu-241	+27	Zr-95	-3,0	Xe-133	-3,3
Cm-242	+82	Nb-95	-1,3	Xe-135	+2,3
Kr-85m	-4,6	Ru-106	+21	Xe-135m	-2,0
Kr-87	-5,4	Sb-131	-2,8	Xe-138	-3,6
Kr-88	-5,2	Te-132	-3,1	Cs-134	+68
Rb-88	-5,2	Te-144	-3,3	Cs-137	+41
Rb-89	-4,7	Te-133m	-3,9	Cs-138	-3,8
Sr-89	-5,8	Te-134	-4,7	Ba-140	-3,4
Sr-90	+38	I-131	-2,3	Ce-144	+8,4
Sr-91	-4,8	I-132	-3,1		
Sr-92	-4,5	I-133	-3,3		

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

Uit de tabel is af te lezen dat voor de meeste nucliden de activiteit met enkele procenten is afgenomen. Uitzondering hierop vormen onder andere de belangrijke nucliden Sr-90, Cs-134 en Cs-137.

De veranderingen leiden ertoe dat ook de lozingen naar de omgeving als gevolg van de beschouwde ontwerpgevallen 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 verrijgingsgraden 3,3% (bestaand) en 4,0% (voorgenomen)

veronderstelde begingebuurtenis	verschil ¹⁾ in effectieve dosis %	verschil ¹⁾ in schildklierdosis %
1.5.1	-1,1	-2,2
7.2.3	0,0	-1,8
7.3.2.2	-2,4	-2,2
7.4.2	-3,7	-2,7
8.2	-3,5	-3,5
8.4.1	-3,2	-2,9
9.1.2	0,0	-0,3

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

In de tabel is duidelijk te zien dat de wijzigingen in de activiteiten van de radionucliden marginaal doorwerken in de dosiswaarden van de beschouwde ongevallen. De bovengenoemde relevante nucliden die significant verhoogd zijn (Sr-90, Cs-134 en Cs-137) 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 worden enkele procenten verlaagd.

In de tabellen 6.4.3 en 6.4.4 zijn de resultaten weergegeven voor soortgelijke berekeningen uitgevoerd voor de alternatieven 3,8% en 4,2%.

Tabel 6.4.3 Berekende relatieve verschillen in effectieve en schildklierdosis bij verrijgingsgraden 3,3% (bestaand) en 3,8% (alternatief 3,8%)

veronderstelde begin-gebeurtenis	verschil ¹⁾ in effectieve dosis %	verschil ¹⁾ in schildklier dosis %
1.5.1	-0,6	-1,4
7.2.3	0,0	-1,2
7.3.2.2	-1,6	-1,5
7.4.2	-3,0	-1,9
8.2	-2,8	-2,7
8.4.1	-2,1	-1,9
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 verrijgingsgraden 3,3% (bestaand) en 4,2% (alternatief 4,2%)

veronderstelde begin-gebeurtenis	verschil ¹⁾ in effectieve dosis %	verschil ¹⁾ in schildklier dosis %
1.5.1	-1,6	-2,9
7.2.3	0,0	-2,3
7.3.2.2	-3,1	-2,9
7.4.2	-4,2	-3,3
8.2	-3,8	-3,8
8.4.1	-3,6	-3,4
9.1.2	0,0	-0,4

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 ontwerpgegevens met toenemende verrijking gelijk blijft (begingebegivenis 7.2.3). Bij alle beschouwde situaties wordt, evenals reeds in de bestaande situatie, in ruime mate voldaan aan de geldende dosiscriteria.

6.4.4 PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT (PSA)

6.4.4.1 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. Volstaan wordt met een bespreking van de verschillen van de resultaten ten opzichte van de bestaande situatie waarbij evenals in hoofdstuk 5.4.4 onderscheid wordt gemaakt tussen PSA niveau 1, 2 en 3 analyses.

6.4.4.2 Resultaten

Niveau 1 analyse

In de niveau 1 analyse worden begingebegivenissen gedefinieerd die een reactorafschakeling, een vermogensreductie of een verlies van koeling kunnen veroorzaken en kunnen leiden tot kernbeschadiging. Als gevolg van de hogere verrijking zal de kerninventaris anders worden. Deze gewijzigde kerninventaris is beschreven in paragraaf 6.4.3.2. De begingebegivenissen zijn niet afhankelijk van de samenstelling van de kerninventaris. De veranderde kerninventaris heeft geen invloed op de werking van de bedrijfs- en veiligheidssystemen van de centrale.

De voorgenomen activiteit veroorzaakt een geringe verhoging van de vervalwarmte. Bij de grotere vervalwarmte moet men bedenken dat in de veiligheidsanalyses een vervalwarmte wordt gekozen die representatief is voor de verschillende bedrijfssituaties. Om die reden wordt de vervalwarmte aan het eind van de cyclus genomen. De invloed van de hogere verrijking op de vervalwarmte is gering ten opzichte van de marge die in deze benadering besloten ligt.

De uiteindelijke waarde van de totale kernbeschadigingsfrequentie als gevolg van interne en externe gebeurtenissen is dan ook gelijk aan die van de huidige situatie (zie paragraaf 5.4.4). Dit geldt voor zowel de voorgenomen activiteit als de uitvoeringsalternatieven.

Niveau 2 analyse

Bij de niveau 2 analyse worden de thermohydraulische verschijnselen en het fysische/chemisch gedrag van de splijtingsprodukten in het reactorkoelsysteem en in de veiligheidsomhulling bepaald, om zo de belasting op de veiligheidsomhulling vast te stellen. Door het toepassen van splijstofelementen met een hogere verrijking kunnen de volgende aspecten beïnvloed worden:

- de nuclidensamenstelling
- de vervalwarmte
- de mechanische eigenschappen van de splijststofomhulling.

De gewijzigde nuclidensamenstelling heeft geen invloed op het verloop van ongevalssituaties maar wel op de mogelijke milieu-effecten bij een lozing naar de omgeving. Met deze gewijzigde samenstelling wordt rekening gehouden bij de niveau 3 analyse.

Door de voorgenomen activiteit wordt de warmte-inhoud van de veiligheidsomhulling bij ernstige ongevallen enigszins verhoogd. De invloed van deze warmte op de verspreiding van radioactieve nucliden in het milieu is echter zeer klein.

De niveau 2 analyses voor de alternatieven leveren qua vervalwarmte ook geen andere resultaten dan de huidige situatie.

Door toepassing van een corrosiebestendiger splijststofomhullingsmateriaal wordt de vorming van een dikkere oxidelaag op het materiaal en daardoor een negatieve beïnvloeding van de mechanische eigenschappen ervan vermeden.

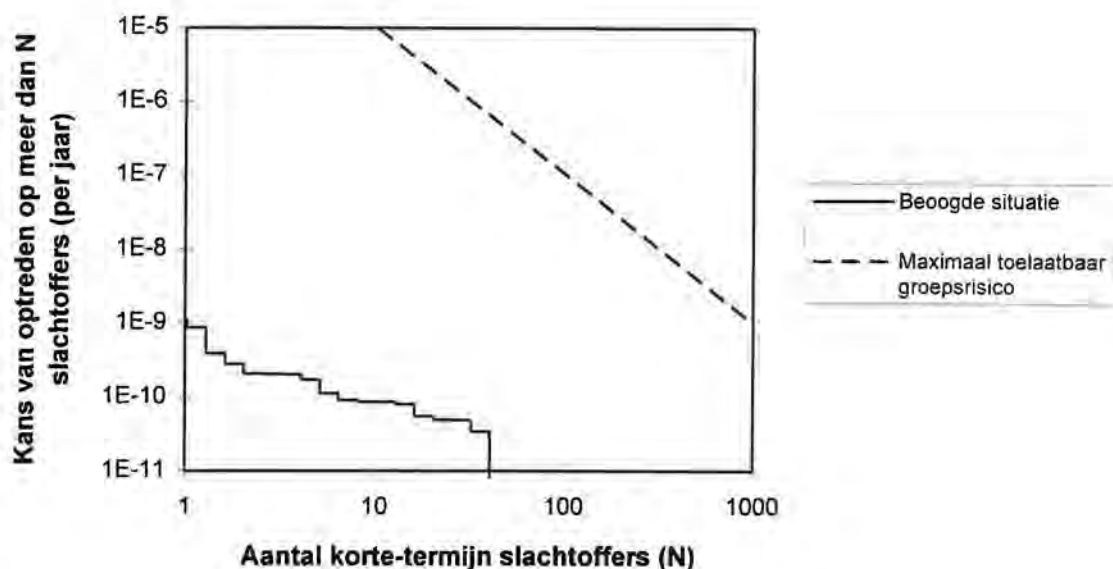
Uitgaande van het voorgaande kan gesteld worden dat de voorgenomen wijziging en de alternatieven een verwaarloosbare invloed op kansen en verloop van ongevalslozingen hebben. Voor het bepalen van de veranderde lozingen blijven de berekende lozingsfracties van de kerninventaris in de huidige PSA niveau 2 van toepassing. Tabel K1 uit bijlage K geeft dus de resultaten van de berekeningen voor de 16 lozingscategorieën in de vorm van frequenties en fracties van de kerninventaris die ook bij de voorgenomen wijziging en de alternatieven geldig zijn.

Niveau 3 analyse

Als gevolg van de wijzigingen zullen de lozingen in alle brontermgroepen qua activiteit enigszins veranderen. De brontermen (in fracties van de kerninventaris) voor de situatie inclusief de voorgenomen activiteit zijn weergegeven in tabel K1 uit bijlage K.

Berekende risico's

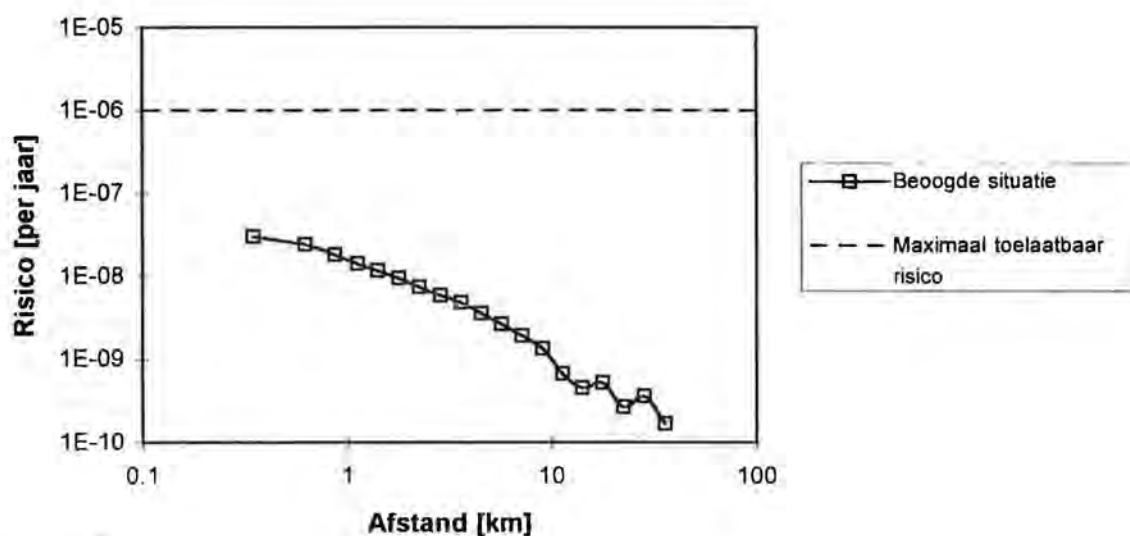
Het berekende groepsrisico voor de beoogde situatie is weergegeven in figuur 6.4.1



Figuur 6.4.1 Groepsrisico als gevolg van de voorgenomen activiteit (geen tegenmaatregelen zoals evacuatie en jodiumverstrekking)

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

In de figuur 6.4.2 is het totale individuele risico als functie van de afstand aangegeven voor de beoogde situatie. Dit risico is niet significant toegenomen ten opzichte van de bestaande situatie. Het maximale individuele risico is als gevolg van de 4%-beginverrijking met vijf procent gestegen ten opzichte van de bestaande situatie. Bij 3,8% verrijking bedraagt deze toename 4 procent en bij 4,2% verrijking 6 procent. Deze veranderingen zijn niet significant te noemen. Het maximale individuele risico bedraagt in alle gevallen afgerond $3 \cdot 10^{-8}/a$ en ligt daarmee een factor 30 of meer onder het maximaal toelaatbare risico van $10^{-6}/a$.



Figuur 6.4.2 Totaal maximaal individueel risico per jaar bij de voorgenomen activiteit (geen tegenmaatregelen, zoals evacuatie en jodiumverstrekking)

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 splijtstof-elementen. 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 moet worden. Voor de nuclideninventaris van de splijtstofelementen heeft de hogere opbrand tot gevolg dat de langlevende nucliden in grotere hoeveelheden aanwezig zijn (zie bijlagen G, H en I voor de nuclideninventaris van de gebruikte splijtstofelementen met beginverrijking van 3,8, 4,0 en 4,2%). Op de hoeveelheid van

de kortlevende nucliden heeft de hogere opbrand weinig invloed. De nuclideninventarissen van de splijtstofelementen zijn gegeven na 3 dagen en na 500 dagen. De eerste periode is gekozen omdat de splijtstofelementen dan uit het reactorvat worden ontladen en in het splijtstofopslagbassin worden geplaatst. De tweede periode is gekozen op grond van het feit dat deze splijtstofelementen met een hogere opbrand langer moeten afkoelen en daarom pas na 450 tot 500 dagen voor transport in aanmerking komen.

Voor elementen met een beginverrijking van 4,0% uranium-235 is dat dus een periode van 500 dagen vergeleken met 270 dagen voor elementen met een beginverrijking van 3,3% uranium-235. Uit overzichten van deze nuclideninventaris van gebruikte splijtstofelementen zoals gegeven in bijlagen B en H blijkt dat daardoor de totale radioactiviteit per element iets afneemt. 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 ontlad opbrand afhankelijk van de initiële verrijkingsgraad

Initiële verrijkingsgraad (% U-235)	Aantal ontladen splijtstofelementen (per jaar)	Gemiddelde opbrand (MWd/kgU)
3,3 (referentiewaarden)	40	34
3,8	34	47
4,0	32	50
4,2	30	54

De vermindering van het jaarlijks aantal te ontladen splijtstofelementen heeft ook tot gevolg dat jaarlijks minder splijtstofelementen behoeven te worden getransporteerd naar de opwerkingsfabriek. Hierdoor zal het aantal transportbewegingen evenredig verminderen, met als gevolg een verlaging van de - overigens 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. Als gevolg van hogere verrijking behoeven de voorschriften verbonden aan de vergunning geen aanpassing.

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 3,3% worden geproduceerd.

Tabel 6.5.2 Jaarlijkse relatieve hoeveelheden kernsplijtingsafval ten opzichte van de hoeveelheden bij de huidige verrijking van 3,3% (voor de absolute hoeveelheden zie tabel 5.9.2)

Afvalcategorie	Initiële verrijking (% uranium-235)			
	3,3	3,8	4,0	4,2
Splijtingprodukten	1	1	1	1
Splijtstofbekleding en constructiemateriaal	1	0,85	0,80	0,75
Besmette goederen (α -stralers)	1	0,85	0,80	0,75
Laagactief afval	1	0,85	0,80	0,75

Zoals aangegeven in tabel 6.5.2 is de hoeveelheid splijtingsprodukten in het kernsplijtingsafval onafhankelijk van de verrijkingsgraad. Dit is een gevolg van het feit dat de hoeveelheid splijtingsprodukten evenredig is met de geproduceerde energie. Aangezien de jaarlijks geproduceerde energie gelijk blijft bij toepassing van de voorgenomen activiteit, blijft de hoeveelheid jaarlijks af te voeren splijtingsprodukten eveneens gelijk. Alleen door de langere verblijftijd in het opslagbassin zal deze activiteit bij elementen met een hogere beginverrijking afnemen. De tweede afvalcategorie is recht evenredig met het aantal afgevoerde splijtstofelementen en neemt dus af met toenemende verrijking. Voor de overige twee afvalcategorieën geldt dat de hoeveelheden afval evenredig zijn met de massa van de te verwerken splijtstof. Deze afvalcategorieën zijn dus ook evenredig met het aantal af te voeren splijtstofelementen en nemen dus eveneens af met toenemende verrijking.

Een belangrijk onderdeel van de stoffen die zich in de ontladen splijtstofelementen bevinden wordt gevormd door plutonium. Dit plutonium wordt bij de opwerking van de splijtstofelementen zoveel mogelijk uit de splijtstof verwijderd. In tabel 6.5.3 zijn de hoeveelheden gegeven van de verschillende plutonium isotopen zoals die zich gemiddeld in de jaarlijks ontladen splijtstofelementen bij afvoer bevinden als functie van de verschillende beginverrijkingen van de splijtstof.

Tabel 6.5.3 Hoeveelheden plutonium in de jaarlijks te ontladen splijtstofelementen bij afvoer als functie van de beginverrijking

beginverrijking	hoeveelheid per plutoniumisotoop (kg)				
	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	totaal
3,3%	2,2	66,8	27,8	12,8	110
3,8%	4,1	58,1	27,0	13,4	103
4,0%	4,4	54,7	25,6	12,8	98
4,2%	4,8	51,3	24,3	12,3	93

De totale jaarlijks geproduceerde hoeveelheid plutonium neemt ten gevolge van de voorgenomen activiteit gemiddeld af van 110 tot 98 kg.

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 Verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens

Volgens de voorgenomen activiteit zal de verrijkingsgraad van de isotoop uranium-235 in nieuwe splijtstofelementen verhoogd worden van 3,3% naar 4,0%. In het uitvoeringsalternatief 4,2% zal de verrijking verhoogd worden tot 4,2%. 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 6.4.3.2.

Uit bijlagen B en H blijkt dat in de nieuwe situatie met 4,0% verrijkt uranium-235 de hoeveelheid splijtbaar plutonium-239 per splijtstofelement met iets minder dan 2% toeneemt. Voor een verrijking van 3,8 of 4,2% is die toename praktisch identiek. Het percentage Pu-240, dat voor gebruik in kernwapens maximaal 7% mag bedragen, wordt nog hoger in de beoogde situatie zodat de kwaliteit van het plutonium nog minder geschikt wordt voor de vervaardiging van kernwapens.

De toename van plutonium-239-concentratie is een gevolg van de langere verblijftijd in de reactor en de daarmee gepaard gaande omzetting van uranium-238 in actiniden maar ook enigszins het gevolg van de grotere hoeveelheid van het uraniumdioxide in de elementen.

Veel belangrijker dan deze geringe effecten is echter dat het aantal splijtstofelementen dat per jaar ontladen en uiteindelijk vervoerd wordt, daalt van 40 naar 32 elementen (zie tabel 6.5.1). Voor de splijtbare isotoop plutonium-239 is deze afname circa 18%, zodat ook qua hoeveelheid de geschiktheid om de gebruikte splijtstofelementen voor de vervaardiging van kernwapens te gebruiken verder afneemt.

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 uitgevoerde inspecties door de IAEA in verband met dit verdrag zullen dan ook niet beïnvloed worden door de voorgenomen wijziging of door één van de alternatieven.

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 die 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 ontstaat zodra de veiligheidsverhogende maatregelen, waarvoor in 1994 vergunning werd verkregen, gerealiseerd zijn. Dit zal in 1997 het geval zijn. De bestaande situatie is tevens het nulalternatief.

Onder de beoogde situatie wordt verstaan de situatie inclusief de voorgenomen activiteit, te weten maximaal 4,0% beginverrijking van nieuwe splijtstof en maximaal 2% meer uranium-dioxide in de kern.

De alternatieven met 3,8% en 4,2% beginverrijking verschillen slechts qua beginverrijking van de beoogde situatie (beginverrijking 4,0%).

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 nemen toe door de hogere verrijking als gevolg van hogere tritiumlozingen. Een en ander resulteert in een zeer geringe verhoging van de stralingsbelasting bij normaal bedrijf. Het risico als gevolg van normaal bedrijf blijft slechts een fractie (circa 0,2%) van het toelaatbaar risiconiveau.

De belasting ten gevolge van directe straling uit de KCB verandert niet. De collectieve dosis stijgt met 6%.

De ontwerpgevallen 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-ontwerpgevallen blijft ongewijzigd. Het maximale individuele risico bij deze zeer ernstige ongevallen stijgt met 5%. Het groepsrisico blijft niet van toepassing, omdat minder dan 10 directe dodelijke slachtoffers verwacht worden.

Tabel 7.2.1 Vergelijking van de beoogde situatie met de bestaande situatie

milieu-effect c.q. bedrijfsaspect	situatie	
	bestaand	beoogd
toename stralingsbelasting bij normaal bedrijf (per jaar):		
- maximale individuele dosis bij gemiddelde lozing	$6,7 \cdot 10^{-9}$ Sv	+3%
- maximale individuele dosis bij maximale lozing	$34 \cdot 10^{-9}$ Sv	+1%
- directe straling	$1,3 \cdot 10^{-7}$ Sv	0%
- collectieve dosis (menssV)	$2,8 \cdot 10^{-3}$	+6%
ontwerpgevallen:		
- meest kritische dosis ¹⁾ (H_{eff})	$1 \cdot 10^{-3}$ Sv	0%
buiten-ontwerpgevallen		
- kans op kernsmelten (per jaar)	$4,3 \cdot 10^{-6}$	0%
- individueel risico (per jaar)	$3 \cdot 10^{-8}$	+5%
- groepsrisico	n.v.t. ²⁾	n.v.t. ²⁾
- aantal opgebrande splijtstofelementen per jaar	40 ³⁾	-20%
- activiteit radioactief afval (PBq per jaar na 500 dagen)	911 ⁴⁾	-17%
- hoeveelheid plutonium (kg/jaar)	110	-11%

¹⁾ de hoogste dosis in verhouding tot het daarvoor geldende criterium (zie tabellen 5.4.4 en 6.4.2)

²⁾ het groepsniveau is niet van toepassing omdat de kans op 10 of meer directe dodelijke slachtoffers kleiner is dan 10^{-10} per jaar

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

⁴⁾ N.B. elementen worden eerder afgevoerd dan na 500 dagen

Ten aanzien van het radioactief afval wordt het gemiddelde aantal opgebrande splijtstofelementen door de hogere verrijking verminderd van 40 naar 32 stuks, hetgeen leidt tot een vermindering van de jaarlijkse hoeveelheid overig kernsplijtingsafval met 20%. De totale activiteit daalt echter minder. De jaarlijks gevormde hoeveelheid plutonium neemt af van 110 tot 98 kg (circa 11%).

De gemiddelde opbrand van de groep definitief ontladen elementen stijgt van circa 34 naar circa 50 MWd/kgU. Met deze toename blijft de opbrand binnen de grenzen van de bewezen "stand der techniek". Een gemiddelde ontladopbrand van 50 MWd/kgU is dan ook niet aan te merken als experimenteel bedrijf.

Door de voorgenomen activiteit zal de beschikbare ruimte in het splijtstofopslagbassin sterk teruglopen. Dit is het gevolg van 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 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 milieu-effecten van een kernenergiecentrale zijn de veiligheid en het radioactief afval. Geconcludeerd mag worden dat de veiligheid bij de ontwerpgevallen door de voorgenomen activiteit licht positief beïnvloed wordt. Het maximale individuele risico ten gevolge van buiten-ontwerpgevallen stijgt met vijf procent. Deze toename is niet significant te noemen. Dit risico is, net als in de bestaande situatie, een factor 30 lager dan het maximaal toelaatbare risico ($10^{-6}/a$).

De hoeveelheid radioactief afval vermindert substantieel, waarbij de totale activiteit op het moment van vervoer naar de opwerkingsfabriek ook lager is dan in de bestaande situatie. De voorgenomen activiteit beïnvloedt de verdere verwerking van het afval niet. De afname van de jaarlijkse geproduceerde hoeveelheid plutonium is ook een duidelijk milieuvoordeel van de voorgenomen activiteit.

Opgemerkt wordt nog dat het effect van de geringe toename van de hoeveelheid splijtstof in de elementen geen of een te verwaarlozen invloed heeft op alle milieu- en bedrijfsaspecten.

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 milieu-effecten is het meest milieuvriendelijke alternatief. Aangezien voor de alternatieven niet altijd volledige berekeningen beschikbaar zijn, is voor een aantal milieu-effecten slechts een relatieve waardering aangegeven.

Tabel 7.3.1 Vergelijking van de beoogde situatie (4,0% beginverrijking) en de alternatieven (3,8 respectievelijk 4,2% beginverrijking). Procentuele verschillen zijn ten opzichte van de bestaande situatie

milieu-effect c.q. bedrijfsaspect	situatie		
	alternatief 3,8%	beoogd 4,0%	alternatief 4,2%
stralingsbelasting bij normaal bedrijf:			
- maximale individuele dosis bij gemiddelde lozing	+3%	+3%	+3%
- maximale individuele dosis bij maximale lozing	+1%	+1%	+1%
- directe straling	0%	0%	0%
- collectieve dosis	+6%	+6%	+6%
ontwerpongevallen:			
- meest kritische dosis ¹⁾	0%	0%	0%
buiten-ontwerpongevallen			
- kans op kernsmelten	0%	0%	0%
- individueel risico	+4%	+5%	+6%
- groepsrisico	n.v.t. ²⁾	n.v.t. ²⁾	n.v.t. ²⁾
- aantal opgebrande splijtstofelementen per jaar	-15%	-20%	-25%
- activiteit radioactief afval (PBq na 500 dagen)	-12%	-17%	-20%
- hoeveelheid plutonium (kg/jaar)	-6%	-11%	-15%

¹⁾ de hoogste dosis in verhouding tot het daarvoor geldende criterium (zie tabel 5.4.4)

²⁾ het groepsrisico blijft niet van toepassing omdat de kans op 10 of meer directe dodelijke slachtoffers kleiner is dan 10^{-10} per jaar

Op basis van de tabellen 7.3.1. en 7.2.1 kan ten aanzien van de alternatieven het volgende geconcludeerd worden:

- de stralingsbelasting bij normaal bedrijf neemt in alle gevallen zeer weinig toe ten opzichte van de bestaande situatie
- de meest kritische dosis bij de ontwerpongevallen blijft met toenemende verrijking gelijk
- de kans op kernsmelten is onafhankelijk van de verrijkingsgraad. Het individueel risico neemt licht toe met toenemende verrijking. De risico's blijven in alle situaties een factor 30 onder het maximaal toelaatbare risico liggen. Het groepsrisico blijft niet van toepassing
- het aantal opgebrande splijtstofelementen per jaar neemt met verder toenemende verrijking af. Deze verschillen zijn echter klein vergeleken met de afname van de bestaande situatie naar de beoogde situatie. Dit geldt ook voor de totale activiteit (in Bq) verbonden met de

opgebrande splijtstofelementen. De jaarlijkse geproduceerde hoeveelheid plutonium neemt duidelijk af met toenemende verrijking.

De gemiddelde opbrand van de groep definitief ontladen splijtstofelementen neemt toe van 47 (bij 3,8% verrijking) naar 54 MWd/kgU (bij 4,2% verrijking). Zoals al in paragraaf 7.2 gesteld kunnen dergelijke opbrandwaarden tot 50 MWd/kgU beschouwd worden als "stand der techniek". Dit is echter niet het geval voor opbrandwaarden boven 50 MWd/kgU. Met dergelijke hoge waarden is tot nu toe onvoldoende ervaring opgedaan om met zeer grote zekerheid te kunnen stellen dat alle ontwerpongevallen beheerst worden. Het alternatief van 4,2% verrijking is derhalve strijdig met het EPZ-uitgangspunt dat de wijzigingen geen experimenteel karakter zouden mogen hebben. Gesteld moet dan ook worden dat dit aspect tot gevolg heeft dat het alternatief 4,2% beginverrijking met de thans beschikbare kennis voor EPZ onaanvaardbaar is.

De beschikbare reserveruimte in het splijtstofopslagbassin zal bij de voorgenomen activiteit en de alternatieven sterk teruglopen ten opzichte van de bestaande situatie. Echter in alle situaties resteert voldoende ruimte. Een hogere verrijking dan 4,2%, hetgeen overigens al uitgesloten is vanwege dan resulterende te hoge opbrandwaarden, zou ook al snel op grond van onvoldoende beschikbare ruimte in het splijtstofopslagbassin afvallen.

Het meest milieuvriendelijke alternatief is het alternatief met de minste milieubelasting. Uit tabel 7.3.1 blijkt dat met toenemende verrijking de stralingsbelasting bij normaal bedrijf en de risico's bij buiten-ontwerpongevallen licht toenemen. De doses bij de ontwerpongevallen blijven gelijk. De hoeveelheden opgebrande splijtstofelementen en plutonium nemen substantieel af. Dit zal indirect ook leiden tot een verlaging van de stralenbelasting die een gevolg is van de opwerking en daarna volgende transporten en definitieve opslag. Volgens het ALARA-principe (zie hoofdstuk 3) dient gestreefd te worden naar een (potentiële) stralenbelasting 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 stralenbelasting en de risico's ruim blijven voldoen aan de daarvoor geldende criteria, kan gesteld worden dat de integrale milieubelasting afneemt met toenemende verrijking. Zoals al eerder vermeld bestaat op dit ogenblik onvoldoende ervaring met gemiddelde opbrandwaarden van ontladen elementen ruim boven 50 MWd/kgU. Derhalve valt vanwege de veiligheid het alternatief 4,2% 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 kan geconcludeerd worden dat:

- 1 de voorgenomen activiteit de veiligheid op sommige punten niet en op andere punten licht negatief beïnvloedt. De KCB blijft aan alle veiligheidscriteria ruim tot zeer ruim voldoen
- 2 de voorgenomen activiteit de hoeveelheid gebruikte elementen (radioactief afval) met circa 20% zal verminderen en ook de totale activiteit van dit afval bij verzending naar de opwerkingsfabriek zal teruglopen
- 3 dankzij de voorgenomen activiteit de jaarlijks geproduceerde hoeveelheid plutonium met circa 11% daalt
- 4 het alternatief 4,2% verrijking op de belangrijkste milieu-aspecten nog beter scoort dan de voorgenomen activiteit, maar niet realistisch is omdat dan bij een jaarlijkse cyclus te hoge waarden voor de gemiddelde opbrand van de ontladen splijtstofelementen (te weten ruim boven 50 MWd/kgU) zouden optreden. Bij dergelijke waarden is op grond van de huidige kennis onvoldoende verzekerd dat alle ontwerpongevallen worden beheerst
- 5 het alternatief 3,8% verrijking op de belangrijkste milieu-aspecten minder scoort dan de voorgenomen activiteit, maar op ondergeschikte punten, zoals lozingen bij normaal bedrijf, enigszins beter
- 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.

8 LEEMTEN IN KENNIS EN EVALUATIEPROGRAMMA

8.1 Inleiding

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 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.

Ten behoeve van de voorgenomen wijziging in de kernenergiecentrale Borssele zijn de van belang zijnde aspecten voldoende uitgebreid onderzocht om de milieu-effecten van de voorgenomen activiteit te kunnen beschrijven. Daarbij is steeds gewerkt met modellen en methodieken zoals die anno 1995 in brede kring zijn aanvaard als "stand van de techniek".

Slechts op een tweetal punten kon de in de MER gepresenteerde informatie niet volledig zijn. Dit betreft de gedetailleerde jaarlijkse kernsamenstelling en de PSA.

Tenslotte wordt in dit hoofdstuk ingegaan op het evaluatieprogramma van de milieu-effect-rapportage.

8.2 Leemten in kennis

Alle splijtstofelementen zoals gebruikt bij de KCB zijn in principe identiek geconstrueerd maar kunnen van elkaar verschillen wat betreft de initiële verrijkingsgraad en wat betreft de verblijftijd in de reactorkern en daarmee wat betreft de opbrand. Ieder jaar als bij de jaarlijkse splijtstofwisselperiode een aantal nieuwe splijtstofelementen in de kern wordt geplaatst, wordt een keuze gemaakt over de plaats van de nieuwe elementen, maar ook over een herplaatsing van oude elementen (zie paragraaf 4.2.4). De keuze van deze zogenaamde herladingspatronen hangt onder andere af van de vermogensverdeling en het verloop van het vermogen gedurende het afgelopen jaar en kan daarom pas kort voor de splijtstofwisseling gemaakt worden. Met deze keuze wordt ook pas definitief het aantal nieuwe en daarmee het aantal te ontladen elementen vastgesteld. Deze keuze beïnvloedt uiteraard ook de gemiddelde versplijting van de ontladen elementen. De voorgestelde herladingspatronen en de evaluaties waarmee aangetoond wordt dat met deze herladingspatronen een betrouwbaar en veilig bedrijf gevoerd kan worden, worden ook ter beoordeling voorgelegd aan de Kernfysische Dienst van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. De hiervoor beschreven gang van zaken brengt met zich mee dat de in dit MER genoemde kwantitatieve gegevens ten aanzien van de aantallen jaarlijks te laden en te ontladen elementen en de daarmee samenhangende versplijtingsgraad van die elementen als gemiddeld verwachte waarden moeten worden gezien. De definitieve beoordeling daarover zal plaatsvinden op grond van de genoemde jaarlijkse evaluatie van de kernsamenstelling.

Ook de berekende risiconiveaus in het kader van de PSA kennen een onzekerheidsmarge, waardoor absolute toetsing aan gezondheidsrisico's voor de bevolking zijn beperkingen kent. Voor de onderlinge vergelijking van de alternatieven, zoals in dit MER uitgevoerd, spelen deze beperkingen geen rol.

8.3 Evaluatieprogramma milieu-effect-rapportage

Het bevoegd gezag dient een evaluatie uit te voeren wanneer een activiteit waarover een milieu-effectrapport is geschreven wordt ondernomen. De initiatiefnemer moet daaraan medewerking verlenen. Het doel van de evaluatie is de daadwerkelijk optredende milieu-effecten 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 aan en eventuele voorgestelde maatregelen dienen ter goedkeuring te worden voorgelegd aan de Directeur van de Kernfysische Dienst bij de Arbeidsinspectie van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid en de Hoofdinspecteur van de Volksgezondheid belast met het toezicht op de Hygiëne van het Milieu van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

In het navolgende wordt een aanzet voor het evaluatieprogramma voor dit MER gegeven.

- 1 De bestaande meetprogramma's worden onverkort voortgezet. Dit betreft de radioactieve emissies naar lucht en water 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.

LITERATUUR

ANSI, 1983. Nuclear Safety Criteria for the Design of Stationary Pressurized Water Reactor Plants, ANSI/ANS-51.1, 1983.

CCRX, 1993. Jaarverslag 1991 van de CCRX-werkgroep Meettechnieken Radioactiviteit, MR 93-01, Coördinatie-Commissie voor de metingen van Radioactiviteit en Xeno-biotische stoffen, 1993.

COVRA, 1989. Locatiegebonden Milieu-Effect Rapport, locatie Sloe, COVRA, 1989.

COVRA, 1995. Milieu-effectrapport behorend bij de aanvraag tot wijziging van de KEW-vergunning van COVRA N.V., COVRA, 1995.

CRV, 1994. Advies betreffende Richtlijnen PSA, CRV9440.

ECN, 1993. Richtlijn niveau-3 PSA, ECN-C-93-057, P.M. Roelofsen/J. van der Steen, Energieonderzoek Centrum Nederland, september 1993.

EPRI, 1984. Systematic Human Action Reliability Procedure (SHARP), EPRI NP-3583, Electric Power Research Institute (EPRI), 1984.

EPZ, 1993. Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele, Moddoc. nummer 063-000 rev. 0, N.V. EPZ, 1993.

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

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

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

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

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

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

EPZ, 1996. Aanvulling op het Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid Centrale Borssele. Moddoc nr. 063-007 rev. 3, N.V EPZ, 1996.

EPZ, 1995a. Gevolgen hogere verrijking voor de resultaten van de ontwerp- en buiten-ontwerpongevallen. KEMA-rapport nr. 64378-NUC 95-9179.

HEIP, 1988a. Het ecosysteem van het Westerschelde-estuarium, C. Heip, Water nummer 43, pagina's 211-213, 1988.

HEIP, 1988b. Biota and abiotic environment in the Westerschelde estuary, Hydrobiological Bulletin 22(1), pagina's 31-34.

IAEA, 1988. Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, no. 75-INSAG-3, International Atomic Energy Agency, 1988.

ICRP, 1991. Annual Limits on Intake of Radionuclides by Workers based on the 1990 Recommendations, ICRP Publication 61, International Commission on Radiological Protection, 1991.

ICRP, 1994. Dose coefficients for Intake of Radionuclides by Workers, based on the 1990 Recommendations, ICRP Publication 61, International Commission on Radiological Protection, 1994.

KEMA, 1987. KEMA-notitie 00612-MOB 87-1456, 1987.

KFD, 1991. Nota Backfittingbeleid, RT 91-119, Kernfysische Dienst, 1991.

KFD, 1993a. Dutch Procedures Guide for conducting Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plants (Level 1), final draft.

KFD, 1993b. Dutch Procedures Guide for conducting Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plants (Level 2), draft.

KOCH, 1983. Dose-rate conversion factors for external exposure to fotons and electrons, D.C. Kocher, Health Physics volume 45: pagina's 665-686, 1983.

LAGARDE, 1995. High burn-up fuel. French Safety Authority Position. OECD Specialist Meeting on Transient Behaviour of High Burn-up Fuel, september 1995.

NUREG, 1983. PRA Procedures Guide, NUREG/CR-2300, USNRC, 1983.

NUREG, 1994. Transaction of the Twenty-Second Water Reactor Safety Information Meeting, Bethesda, Maryland, October 1994.

RIJKSWATERSTAAT, 1983. Ontwerp-Waterkwaliteitsplan Zuidelijke Deltawateren voor de periode 1984-1994, Rijkswaterstaat Directie Zeeland, 1983.

RIJKSWATERSTAAT, 1992. Jaarboek 1990, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren/RIZA, 1992.

RIJKSWATERSTAAT, 1993a. Beheersplan voor de Rijkswateren 1992-1996, Rijkswaterstaat, 1993.

RIJKSWATERSTAAT, 1993b. Regionota Zeeuwse Rijkswateren 1993-1996, Definitief concept, Rijkswaterstaat Directie Zeeland, 1993.

RIVM, 1991. Stralingsbelasting in Nederland in 1988 (Eindrapport), rapportnummer 249103001, RIVM, september 1991.

TWEEDE KAMER, 1979. Nota Energiebeleid, deel 1/Algemeen, vergaderjaar 1979-1980, 15 802, nummers 1-2.

TWEEDE KAMER, 1980. Nota Energiebeleid, deel 2/Kolen, deel 3/Brandstofinzet centrales, vergaderjaar 1979-1980, 15 802, nummers 6-7 respectievelijk 11-12.

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

TWEEDE KAMER, 1985. Nota Elektriciteitsvoorziening in de jaren negentig, vergaderjaar 1984-1985, 18 830, nummers 1-4.

TWEEDE KAMER, 1986. Pkb-vestigingsplaatsen kerncentrales, deel d, vergaderjaar 1985-1986, 18 830, nummers 46-47.

TWEEDE KAMER, 1989a. Nota Het energiebeleid nader bezien, vergaderjaar 1988-1989, 21 061, nummers 1-2.

TWEEDE KAMER, 1989b. Nota Omgaan met risico's, vergaderjaar 1988-1989, 21 137, nummer 5.

TWEEDE KAMER, 1990a. Nota Energiebesparing, vergaderjaar 1989-1990, 21 570, nummers 1-2.

TWEEDE KAMER, 1990b. Nota Omgaan met risico's van straling, vergaderjaar 1989-1990, 21 483, nummer 2.

TWEEDE KAMER, 1993a. Tweede Structuurschema Elektriciteitsvoorziening, deel 3/Kabineetsstandpunt, vergaderjaar 1992-1993, 22 606, nummers 4-5.

TWEEDE KAMER, 1993b. Normstelling ioniserende straling voor arbeid en milieu, vergaderjaar 1992-1993, 21 483, nummer 15.

UNSC, 1982. Ionizing radiation: Sources and Biological Effects. Report to the General Assembly, with annexes, UNSCEAR, United Nations, 1982.

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.

VROM, 1992. Implementatie NPK, Tweede Kamerstuk, vergaderjaar 1991-1992, 21 015, nummer 12, VROM.

VROM, 1993. Beleidsstandpunten Stralingshygiëne ten behoeve van vergunningverlening, deel 1/Reguliere toepassingen, eindconcept VROM/SVS, versie 15 december 1993.

Bijlage A

Veronderstelde begingebourtenissen voor analyse ontwerpougevallen

nummer	veronderstelde begingebourtenis
1	Verhoogde warmte-afvoer door het secundaire systeem
1.1	Storing in het voedingswatersysteem, die een daling van de voedingswater-temperatuur tot gevolg heeft
1.2	Storing in het voedingswatersysteem, die een vergroting van het voedingswaterdebiet tot gevolg heeft
1.3	Storing in de regeling, die een vergroting van het hoofdstoomdebiet tot gevolg heeft
1.4*	Onbedoeld openen van appendages (bijvoorbeeld omloopafsluiters, afblaas-regelkleppen, veiligheidskleppen)
1.5	Lekkages respectievelijke leidingbreuken in het hoofdstoomsysteem
1.5.1*	Langdurige uitval van de secundaire hoofdkoeling bij bedrijfslekage van stoomgeneratorpijpen
1.5.2	Kleine lekkages van het hoofdstoomsysteem
1.5.3	Lekkage van de hoofdstoomleiding buiten de veiligheidsomhulling bij bedrijfs-lekkage van stoomgeneratorpijpen
1.5.4*	Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters
1.5.5	Breuk in de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling
1.5.6	Lekkage van de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling
1.5.7	Lekkage van de hoofdstoomleiding in de ringruimte
1.5.8	Breuk in een hoofdstoomleiding na de buitenste hoofdstoomafsluiters buiten de veiligheidsomhulling, zonder dat er sprake is van lekkage van een stoom-generatorpijp

* Representatieve begingebourtenis

Veronderstelde begingebourtenissen voor analyse ontwerpougevallen

Nummer	Veronderstelde begingebourtenis
2	Verminderde warmte-afvoer door het secundaire systeem
2.1	Storing in de regeling, die leidt tot een vermindering van het hoofdstoom-debiet
2.2	Lastafschakeling met overgang naar eigenbedrijf
2.3	Turbinesnelafschakeling (TUSA)
2.3.1	TUSA met opening van de turbine-omloopleiding
2.3.2*	TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding
2.4	Onbedoeld sluiten van de hoofdstoomafsluiters
2.5	Uitval van de stroomvoorziening voor het eigenbedrijf (noodstroomsituatie)
2.5.1	Kortstondige noodstroomsituatie (≤ 30 minuten)
2.5.2*	Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten)
2.6	Storing in de voedingswatervoorziening
2.6.1*	Uitval van de hoofd- en noodvoedingswaterpompen
2.6.2	Onbedoeld sluiten van appendages
2.6.3	Verlies van de inhoud van de voedingswatertank
2.7	Lekkages en breuken in het voedingswatersysteem
2.7.1	Kleine lekkage in leidingen van het voedingswatersysteem waarbij normaal afschakelen en uit bedrijf nemen mogelijk blijft
2.7.2	Breuk in leidingen van het voedingswatersysteem waarbij normaal afschakelen en uit bedrijf nemen niet mogelijk is
2.7.3	Rondgaande scheur of scheur in de lengterichting van een voedingswaterleiding binnen het reactorgebouw
2.7.4	Lekkage van de voedingswaterleiding in de ringruimte
2.7.5	Uitval van de noodvoedingswaterpompen
2.7.6	Breuk in een noodvoedingswaterleiding
3	Vermindering van het debiet in het primaire systeem
3.1	Uitvallen van één of beide hoofdkoelmiddelpompen
3.2*	Blokkeren van een hoofdkoelmiddelpomp of breuk van een hoofdkoelmiddelpompas
4	Verandering van de druk in het primaire systeem
4.1	Daling van de druk door onbedoeld sproeien in de drukhouder
4.2	Stijging van de druk door onbedoeld inschakelen van de drukhouderverwarming

* Representatieve begingebourtenis

Veronderstelde begingeburtenissen voor analyse ontwerpongevallen

Nummer	Veronderstelde begingeburtenis
5	Onbedoelde verandering van de reactiviteit en de vermogensverdeling
5.1	Onbedoeld uittrekken van regelementen
5.2*	Uitworp van het meest effectieve regelement
5.3	Onbedoelde verandering van de boorzuurconcentratie van het hoofdkoelmiddel
5.4	Plaatsing en inbedrijfname van een splijtstofelement in een verkeerde positie
5.5	Onbedoeld bijschakelen van een hoofdkoelmiddelpomp
5.6	Toevoer van koud water in het primaire systeem vanuit aangrenzende systemen
5.7	Loslaten van boorzuurhoudende afzetting
5.8	Onbedoeld laten vallen respectievelijk inbrengen van een regelement
6	Toename van de hoeveelheid hoofdkoelmiddel
6.1	Onbedoeld voeden door de noodkoelsystemen
6.2	Storing in of onbedoeld bijkomen van het volumeregelsysteem met als gevolg een toename van de hoeveelheid hoofdkoelmiddel
7	Lekkages van hoofdkoelmiddel
7.1	Onbedoeld openen van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder
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	Lekkages en breuken in het primaire systeem
7.2.1	Kleine lekkage van het primaire systeem, waarbij normaal afschakelen en uit bedrijf nemen mogelijk blijft
7.2.2*	Lekkage van het primaire systeem binnen de veiligheidsomhulling
7.2.3*	Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding
7.3	Beschadigingen aan verwarmde oppervlakken van stoomgeneratoren
7.3.1	Lekkages van stoomgeneratorpijpen
7.3.2*	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen
7.3.2.1	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen zonder dat er sprake is van een noodstroomsituatie
7.3.2.2*	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig)
7.4	Lekkages buiten de veiligheidsomhulling
7.4.1	Lekkage van het volumeregelsysteem buiten de veiligheidsomhulling
7.4.2*	Lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling
7.4.3	Lekkage van het nakoelsysteem op een willekeurige plaats in de ringruimte tijdens de afvoer van restwarmte

* Representatieve begingeburtenis

Veronderstelde begingebourtenissen voor analyse ontwerpongevallen

Nummer	Veronderstelde begingebourtenis
8	Ontsnappen van radioactieve stoffen uit subsystemen of componenten
8.1	Storingen in het systeem voor afgassen en afvalwater
8.2*	Lekkage in een leiding van het afgassysteem
8.3	Lekkage van een reservoir met radioactief besmet water
8.4	Storingen bij het hanteren en opslaan van splijtstofelementen
8.4.1*	Beschadigingen van splijtstofelementen tijdens het hanteren
8.4.2	Val van een transportcontainer met splijtstofelementen buiten de veiligheidsomhulling
8.4.3	Val van een zware last met inbegrip van een transportcontainer voor splijtstofelementen op het splijtstofopslagbassin
8.4.4	Verlies van water uit het splijtstofopslagbassin
9	Externe invloeden
9.1	Aardbeving (met inbegrip van gevolgschade)
9.1.1*	Lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving
9.1.2*	Gevolgen van een aardbeving op het reactorhulpgebouw
9.2	Neerstorten van een vliegtuig
9.3	Explosies
9.4	Schadelijke chemische stoffen
9.5	Brand buiten de centrale
9.6	Hoogwater
9.7	Blikseminslag
9.8	Overige door de natuur veroorzaakte invloeden
10	Diversen
10.1	Gevolgen van een turbinestoring
10.2*	Overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primaire systeem binnen de veiligheidsomhulling
10.3	Branden en explosies in de centrale
10.4	Overstroming in veiligheidsrelevante gebouwen
10.5*	Extreme verstoringen in het primaire systeem waarbij tevens uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld
10.6	Lekkage van de stoomgenerator-spuileiding in de ringruimte
10.7	Lekkage van reservoirs met een hoogenergetische inhoud in het reactorgebouw
10.8	Lekkage van reservoirs met een hoogenergetische inhoud in andere gebouwen (bijvoorbeeld het machinegebouw)
10.9	Lekkage van andere systemen met een hoogenergetische inhoud in veiligheidsrelevante gebouwen

* Representatieve begingebourtenis

Bijlage B

Nuclideninventaris, activiteit en gewicht, van gebruikte splijstofelementen met een beginverrijking van 3,3% U-235 na 3 en 270 dagen

T=3d, 3,3%		
Nuclide	Activiteit (10^{10} Bq)	Hoeveelheid (g)
Kr85	11200	8
Sr89	463000	4
Sr90	92900	178
Sr91	3190	0
Y90	94000	0
Y91	622000	7
Y91M	2010	0
Y93	6070	0
Zr95	921000	12
Zr97	49200	0
Nb95	973000	7
Nb97	49600	0
Nb97M	42200	0
Mo99	492000	0
Tc99M	466000	0
Ru103	943000	8
Ru106	514000	41
Rh103M	943000	0
Rh105	183000	0
Rh106	514000	0
Pd109	4620	0
Ag109M	4620	0
Ag110	88800	5
Sb125	11000	3
Sb127	35900	0
Te127	43700	0
Te129	31200	0
Te129M	49200	0
Te131M	17400	0

T=3d, 3,3%		
Nuclide	Activiteit (10 ¹⁰ Bq)	Hoeveelheid (g)
Te132	433000	0
I131	459000	1
I132	448000	0
I133	108000	0
I135	548	0
Xe133	947000	1
Xe133M	97700	0
Xe135	12100	0
Cs134	283000	59
Cs137	130000	403
Ba137M	122000	0
Ba140	836000	3
La140	932000	0
Ce141	892000	9
Ce143	189000	0
Ce144	1030000	87
Pr143	788000	3
Pr144	1030000	0
Pr145	137	0
Nd147	327000	1
Pm147	111000	32
Pm148	98000	0
Pm149	147000	0
Pm151	20300	0
Sm153	111000	0
Eu154	14500	15
Eu156	133000	1
U235	0	2460
U236	0	1450
U237	440000	2
U238	0	299000
Np238	106000	0
Np239	5290000	6

T=3d, 3,3%		
Nuclide	Activiteit (10 ¹⁰ Bq)	Hoeveelheid (g)
Pu238	3410	55
Pu239	377	1670
Pu240	566	694
Pu241	124000	331
Cm242	37000	3
Cm244	3120	10
TOTAAL	23374600	306571

T=270d, 3,3%		
Nuclide	Activiteit (10 ¹⁰ Bq)	Hoeveelheid (g)
Kr85	10700	7
Sr89	13200	0
Sr90	91400	174
Y90	91400	0
Y91	26500	0
Zr95	54800	1
Nb95	112000	1
Ru103	8810	0
Ru106	310000	25
Rh103M	8810	0
Rh106	310000	0
Ag110	42500	2
Sb125	9180	2
Te127	1870	0
Te129	122	0
Te129M	192	0
Cs134	221000	46
Cs137	127000	396
Ba137M	120000	0
La140	1	0
Ce141	3020	0
Ce144	536000	45

T=270d, 3,3%		
Nuclide	Activiteit (10 ¹⁰ Bq)	Hoeveelheid (g)
Pr143	1	0
Pr144	536000	0
Pm147	95100	28
Pm148	28	0
Eu154	13700	14
Eu156	1	0
U235	0	2460
U236	0	1450
U237	3	0
U238	0	299000
Np239	23	0
Pu238	3520	56
Pu239	381	1670
Pu240	566	694
Pu241	120000	319
Cm242	11900	1
Cm244	3030	10
TOTAAL	2882800	306402

Bijlage C

Kerninventaris van een evenwichtskern met gemiddelde opbrand bij de huidige maximale verrijkingsgraad (3,3%)

Nuclide	Activiteit (10 ¹² Bq)	Hoeveelheid (g)
Kr85	11100	766
Sr89	1390000	1360
Sr90	90900	17300
Sr91	1670000	12
Y90	94200	5
Y91	1780000	1940
Y91M	963000	1
Y93	2050000	17
Zr95	2360000	3020
Zr97	2310000	32
Nb95	2360000	1600
Nb97	2330000	2
Nb97M	1990000	0
Mo99	2490000	141
Tc99M	2150000	11
Ru103	2110000	1790
Ru106	563000	4560
Rh103M	2110000	2
Rh105	1230000	40
Rh106	657000	0
Pd109	332000	4
Ag109M	332000	0
Ag110	80800	464
Sb125	10500	270
Sb127	125000	13
Te127	122000	1
Te129	403000	1
Te129M	111000	98
Te131M	201000	7
Te132	1910000	171
I131	1330000	294
I132	1940000	5
I133	2760000	66
I135	2560000	19
Xe133	2770000	403

Nuclide	Activiteit (10^{12} Bq)	Hoeveelheid (g)
Xe133M	394000	24
Xe135	570000	6
Cs134	242000	5040
Cs137	120000	37600
Ba137M	114000	0
Ba140	2390000	883
La140	2450000	117
Ce141	2310000	2180
Ce143	2110000	86
Ce144	1550000	13100
Pr143	2100000	843
Pr144	1570000	1
Pr145	1430000	11
Nd147	928000	311
Pm147	141000	4110
Pm148	273000	45
Pm149	905000	62
Pm151	254000	9
Sm153	537000	33
Eu154	11200	1120
Eu156	213000	106
U235	0	463000
U236	0	150000
U237	1060000	351
U238	0	36400000
Np238	371000	38
Np239	27200000	3150
Pu238	2370	3780
Pu239	427	188000
Pu240	536	65800
Pu241	105000	27900
Cm242	24800	200
Cm244	1780	579
TOTAAL	95074617	37402898

Bijlage D

Kerninventaris van een evenwichtskern met gemiddelde opbrand bij een verrijkingsgraad van 3,8%

Nuclide	Activiteit (10^{12} Bq)	Hoeveelheid (g)
Kr85	14100	962
Sr89	1320000	1270
Sr90	117000	22300
Sr91	1600000	12
Y90	121000	6
Y91	1710000	1890
Y91M	924000	1
Y93	1980000	16
Zr95	2310000	2960
Zr97	2250000	31
Nb95	2340000	1620
Nb97	2270000	2
Nb97M	1940000	0
Mo99	2440000	139
Tc99M	2100000	11
Ru103	2120000	1780
Ru106	673000	5450
Rh103M	2120000	2
Rh105	1250000	40
Rh106	761000	0
Pd109	354000	4
Ag109M	354000	0
Ag110	121000	692
Sb125	13400	348
Sb127	125000	13
Te127	124000	1
Te129	403000	1
Te129M	111000	99
Te131M	199000	7
Te132	1870000	168
I131	1310000	284
I132	1900000	5
I133	2700000	64
I135	2500000	19
Xe133	2710000	390

Nuclide	Activiteit (10 ¹² Bq)	Hoeveelheid (g)
Xe133M	386000	24
Xe135	584000	6
Cs134	374000	7800
Cs137	158000	49300
Ba137M	150000	0
Ba140	2330000	865
La140	2400000	116
Ce141	2200000	2110
Ce143	2050000	83
Ce144	1670000	14100
Pr143	2040000	820
Pr144	1680000	1
Pr145	1380000	10
Nd147	917000	309
Pm147	149000	4360
Pm148	282000	46
Pm149	898000	61
Pm151	253000	9
Sm153	626000	38
Eu154	17700	1760
Eu156	304000	149
U235	0	459000
U236	0	185000
U237	1260000	420
U238	0	36800000
Np238	553000	57
Np239	26300000	3090
Pu238	4530	7280
Pu239	435	192000
Pu240	599	73400
Pu241	129000	34300
Cm242	42100	342
Cm244	5560	1860
TOTAAL	94298438	37879305

Bijlage E

Kerninventaris van een evenwichtskern met gemiddelde opbrand bij een verrijkingsgraad van 4,0%

Nuclide	Activiteit (10^{12} Bq)	Hoeveelheid (g)
Kr85	15000	1030
Sr89	1310000	1260
Sr90	125000	23800
Sr91	1590000	12
Y90	129000	6
Y91	1700000	1890
Y91M	916000	1
Y93	1960000	16
Zr95	2290000	2950
Zr97	2230000	31
Nb95	2330000	1610
Nb97	2250000	2
Nb97M	1920000	0
Mo99	2410000	136
Tc99M	2080000	11
Ru103	2090000	1780
Ru106	682000	5510
Rh103M	2090000	2
Rh105	1230000	39
Rh106	770000	0
Pd109	351000	4
Ag109M	351000	0
Ag110	127000	726
Sb125	14000	361
Sb127	124000	12
Te127	122000	1
Te129	398000	1
Te129M	109000	98
Te131M	197000	7
Te132	1850000	164
I131	1300000	284
I132	1880000	5
I133	2670000	64
I135	2470000	19
Xe133	2680000	391

Nuclide	Activiteit (10^{12} Bq)	Hoeveelheid (g)
Xe133M	381000	23
Xe135	583000	6
Cs134	406000	8450
Cs137	169000	52600
Ba137M	160000	0
Ba140	2310000	853
La140	2380000	116
Ce141	2180000	2080
Ce143	2030000	83
Ce144	1680000	14200
Pr143	2020000	812
Pr144	1690000	1
Pr145	1370000	10
Nd147	913000	304
Pm147	150000	4380
Pm148	282000	47
Pm149	892000	61
Pm151	250000	9
Sm153	636000	39
Eu154	19500	1940
Eu156	320000	156
U235	0	464000
U236	0	197000
U237	1310000	434
U238	0	36600000
Np238	593000	61
Np239	25700000	3000
Pu238	5240	8390
Pu239	436	192000
Pu240	609	74600
Pu241	133000	35500
Cm242	45100	367
Cm244	6870	2280
TOTAAL	93375758	37706031

Bijlage F

Kerninventaris van een evenwichtskern met gemiddelde opbrand bij een verrijkingsgraad van 4,2%

Nuclide	Activiteit (10^{12} Bq)	Hoeveelheid (g)
Kr85	15900	1090
Sr89	1310000	1270
Sr90	133000	25400
Sr91	1580000	12
Y90	138000	7
Y91	1690000	1850
Y91M	912000	1
Y93	1950000	16
Zr95	2290000	2940
Zr97	2220000	31
Nb95	2320000	1590
Nb97	2240000	2
Nb97M	1920000	0
Mo99	2410000	135
Tc99M	2080000	11
Ru103	2090000	1780
Ru106	700000	5650
Rh103M	2090000	2
Rh105	1230000	39
Rh106	788000	0
Pd109	353000	4
Ag109M	353000	0
Ag110	136000	779
Sb125	14700	379
Sb127	123000	12
Te127	122000	1
Te129	397000	1
Te129M	109000	99
Te131M	197000	7
Te132	1850000	163
I131	1290000	282
I132	1880000	5
I133	2660000	64
I135	2460000	19
Xe133	2670000	386

Nuclide	Activiteit (10^{12} Bq)	Hoeveelheid (g)
Xe133M	380000	23
Xe135	584000	6
Cs134	445000	9300
Cs137	180000	56200
Ba137M	171000	0
Ba140	2300000	853
La140	2370000	115
Ce141	2170000	2040
Ce143	2030000	83
Ce144	1700000	14400
Pr143	2010000	805
Pr144	1710000	1
Pr145	1360000	10
Nd147	912000	302
Pm147	151000	4430
Pm148	283000	47
Pm149	894000	61
Pm151	250000	9
Sm153	658000	41
Eu154	21400	2130
Eu156	348000	173
U235	0	466000
U236	0	208000
U237	1370000	453
U238	0	36500000
Np238	647000	67
Np239	25400000	2970
Pu238	6090	9760
Pu239	437	192000
Pu240	619	75900
Pu241	138000	36700
Cm242	49000	398
Cm244	8540	2850
TOTAAL	93268688	37630152

Bijlage G

Nuclideninventaris, activiteit en gewicht, van gebruikte splijtstofelementen met een beginverrijking van 3,8% U-235, na 3 en 500 dagen

T=3d, 3,8%		
Nuclide	Activiteit (10 ¹⁰ Bq)	Hoeveelheid (g)
Kr85	14800	10
Sr89	414000	4
Sr90	126000	241
Sr91	2930	0
Y90	128000	0
Y91	574000	6
Y91M	1850	0
Y93	5770	0
Zr95	899000	12
Zr97	48800	0
Nb95	947000	7
Nb97	49200	0
Nb97M	42200	0
Mo99	496000	0
Tc99M	470000	0
Ru103	1010000	9
Ru106	640000	52
Rh103M	1010000	0
Rh105	201000	0
Rh106	640000	0
Pd109	5590	0
Ag109M	5590	0
Ag110	144000	8
Sb125	15100	4
Sb127	38800	0
Te127	47400	0
Te129	33200	0
Te129M	52200	0
Te131M	18200	0
Te132	440000	0
I131	470000	1

T=3d, 3,8%		
Nuclide	Activiteit (10 ¹⁰ Bq)	Hoeveelheid (g)
I132	455000	0
I133	108000	0
I135	548	0
Xe133	951000	1
Xe133M	98000	0
Xe135	12100	0
Cs134	477000	99
Cs137	183000	570
Ba137M	173000	0
Ba140	829000	3
La140	925000	0
Ce141	877000	8
Ce143	185000	0
Ce144	1040000	88
Pr143	773000	3
Pr144	1040000	0
Pr145	137	0
Nd147	338000	1
Pm147	110000	32
Pm148	101000	0
Pm149	153000	0
Pm151	21500	0
Sm153	146000	0
Eu154	25200	25
Eu156	226000	1
U235	0	1650
U236	0	1810
U237	574000	2
U238	0	300000
Np238	180000	0
Np239	5660000	7
Pu238	7330	117
Pu239	389	1700
Pu240	644	792
Pu241	158000	421

T=3d, 3,8%		
Nuclide	Activiteit (10 ¹⁰ Bq)	Hoeveelheid (g)
Cm242	63600	5
Cm244	11300	38
TOTAAL	24893378	307730

T=500d, 3,8%		
Nuclide	Activiteit (10 ¹⁰ Bq)	Hoeveelheid (g)
Kr85	13600	9
Sr89	551	0
Sr90	122000	233
Y90	122000	0
Y91	1600	0
Zr95	4660	0
Nb95	9990	0
Ru103	167	0
Ru106	251000	20
Rh103M	167	0
Rh106	251000	0
Ag110	36700	2
Sb125	10700	3
Te127	474	0
Te129	1	0
TE129M	2	0
Cs134	302000	63
Cs137	177000	552
Ba137M	168000	0
Ce141	22	0
Ce144	310000	26
Pr144	310000	0
Pm147	79200	23
Pm148	1	0
Eu154	22600	23
U235	0	1650
U236	0	1810
U237	4	0
U238	0	300000

T=500d, 3,8%		
Nuclide	Activiteit (10^{10} Bq)	Hoeveelheid (g)
Np239	56	0
Pu238	7550	121
Pu239	389	1710
Pu240	647	793
Pu241	148000	395
Cm242	7730	1
Cm244	10800	36
TOTAAL	2368611	307470

Bijlage H

Nuclideninventaris, activiteit en gewicht, van gebruikte splijtstofelementen met een beginverrijking van 4,0% U-235 na 3 en 500 dagen

T=3d, 4,0%		
Nuclide	Activiteit (10^{10} Bq)	Hoeveelheid (g)
Kr85	15600	11
Sr89	383000	4
Sr90	133000	256
Sr91	2710	0
Y90	135000	0
Y91	528000	6
Y91M	1710	0
Y93	5340	0
Zr95	832000	11
Zr97	45200	0
Nb95	878000	6
Nb97	45600	0
Nb97M	38900	0
Mo99	459000	0
Tc99M	436000	0
Ru103	938000	8
Ru106	623000	51
Rh103M	940000	0
Rh105	188000	0
Rh106	623000	0
Pd109	5290	0
Ag109M	5290	0
Ag110	144000	8
Sb125	15400	4
Sb127	36400	0
Te127	44100	0
Te129	30900	0
Te129M	48600	0
Te131M	16900	0
Te132	409000	0
I131	437000	1

T=3d, 4,0%		
Nuclide	Activiteit (10 ¹⁰ Bq)	Hoeveelheid (g)
I132	423000	0
I133	100000	0
I135	510	0
Xe133	882000	1
Xe133M	90900	0
Xe135	11300	0
Cs134	503000	105
Cs137	194000	603
Ba137M	183000	0
Ba140	766000	3
La140	857000	0
Ce141	813000	8
Ce143	171000	0
Ce144	989000	84
Pr143	715000	3
Pr144	989000	0
Pr145	125	0
Nd147	316000	1
Pm147	108000	32
Pm148	94300	0
Pm149	141000	0
Pm151	20100	0
Sm153	141000	0
Eu154	27100	27
Eu156	224000	1
U235	0	1580
U236	0	1910
U237	563000	2
U238	0	299000
Np238	182000	0
Np239	5240000	6
Pu238	8340	133
Pu239	385	1700
Pu240	652	798
Pu241	161000	428

T=3d, 4,0%		
Nuclide	Activiteit (10 ¹⁰ Bq)	Hoeveelheid (g)
Cm242	65900	5
Cm244	13500	45
TOTAAL	23438052	306843

T=500d, 4,0%		
Nuclide	Activiteit (10 ¹⁰ Bq)	Hoeveelheid (g)
Kr85	14300	10
Sr89	506	0
Sr90	129000	247
Y90	129000	0
Y91	1470	0
Zr95	4320	0
Nb95	9260	0
Ru103	156	0
Ru106	245000	20
Rh103M	156	0
Rh106	245000	0
Ag110	36500	2
Sb125	10900	3
Te127	445	0
Te129	1	0
Te129M	2	0
Cs134	318000	66
Cs137	188000	585
Ba137M	178000	0
Ce141	21	0
Ce144	295000	25
Pr144	295000	0
Pm147	77900	23
Pm148	1	0
Eu154	24300	25
U235	0	1580
U236	0	1910
U237	4	0
U238	0	299000

Np239	63	0
Pu238	8540	137
Pu239	388	1710
Pu240	652	800
Pu241	151000	401
Cm242	7970	1
Cm244	12800	43
TOTAAL	2383655	306588

Bijlage I

Nuclideninventaris, activiteit en gewicht, van gebruikte splijtstofelementen met een beginverrijking van 4,2% U-235 na 3 en 500 dagen

T=3d, 4,2%		
Nuclide	Activiteit (10^{10} Bq)	Hoeveelheid (g)
Kr85	16500	11
Sr89	361000	3
Sr90	142000	272
Sr91	2560	0
Y90	144000	0
Y91	499000	5
Y91M	1620	0
Y93	5090	0
Zr95	792000	10
Zr97	43300	0
Nb95	834000	6
Nb97	43800	0
Nb97M	37400	0
Mo99	442000	0
Tc99M	419000	0
Ru103	908000	8
Ru106	618000	50
Rh103M	910000	0
Rh105	182000	0
Rh106	618000	0
Pd109	5250	0
Ag109M	5250	0
Ag110	149000	9
Sb125	15900	4
Sb127	35300	0
Te127	42900	0
Te129	29900	0
Te129M	47100	0
Te131M	16300	0
Te132	394000	0
I131	422000	1
I132	407000	0
I133	96100	0

T=3d, 4,2%		
Nuclide	Activiteit (10^{10} Bq)	Hoeveelheid (g)
I135	490	0
Xe133	848000	1
Xe133M	87300	0
Xe135	10800	0
Cs134	543000	113
Cs137	207000	646
Ba137M	196000	0
Ba140	735000	3
La140	823000	0
Ce141	780000	7
Ce143	164000	0
Ce144	941000	80
Pr143	684000	3
Pr144	941000	0
Pr145	120	0
Nd147	305000	1
Pm147	106000	31
Pm148	90700	0
Pm149	136000	0
Pm151	19400	0
Sm153	142000	0
Eu154	29700	30
Eu156	242000	1
U235	0	1440
U236	0	2010
U237	576000	2
U238	0	297000
Np238	194000	0
Np239	5090000	6
Pu238	9700	155
Pu239	385	1700
Pu240	658	807
Pu241	165000	438
Cm242	69800	6
Cm244	16900	56
TOTAAL	22839222	304917

T=500d, 4,2%		
Nuclide	Activiteit (10 ¹⁰ Bq)	Hoeveelheid (g)
Kr85	15100	10
Sr89	479	0
Sr90	138000	263
Y90	138000	0
Y91	1390	0
Zr95	4110	0
Nb95	8820	0
Ru103	152	0
Ru106	243000	20
Rh103M	152	0
Rh106	243000	0
Ag110	37800	2
Sb125	11300	3
Te127	428	0
Te129	1	0
Te129M	2	0
Cs134	343000	72
Cs137	201000	627
Ba137M	190000	0
Ce141	20	0
Ce144	281000	24
Pr144	281000	0
Pm147	76600	22
Pm148	1	0
Eu154	26600	27
U235	0	1440
U236	0	2010
U237	4	0
U238	0	297000
Np239	72	0
Pu238	9900	159
Pu239	389	1710
Pu240	660	810
Pu241	154000	410
Cm242	8470	1
Cm244	16000	53
TOTAAL	2430449	304663

Bijlage K

Toelichting op de PSA niveaus 1, 2 en 3 en de analysemethoden

Niveau 1 analyse

Niveau 1 van de PSA heeft tot doel op een systematische en complete wijze de scenario's, die leiden tot schade aan de reactorkern vast te stellen alsmede de kans van optreden. In het bijzonder betekent dit de evaluatie van begingebourtenissen (storingen) die tot een kernbeschadiging kunnen leiden. Uiteindelijk levert de analyse een aantal schadetoestanden van de centrale, dat wil zeggen gegevens met betrekking tot relevante veiligheidssystemen, het reactorvat, klepstanden etc., met bijbehorende kans van optreden.

In de werkwijze wordt onderscheid gemaakt tussen de behandeling van interne en externe invloeden. Interne invloeden vinden hun oorsprong in bedrijfsstoringen en -ongevallen terwijl externe invloeden gebeurtenissen betreffen die onafhankelijk zijn van de reactorsystemen.

De niveau 1 analyse is voor de beide soorten invloeden uitgevoerd en voor twee verschillende situaties, te weten:

- vermogensbedrijf
- niet-vermogensbedrijf.

Niet-vermogensbedrijf betreft de situaties dat de reactor buiten bedrijf is, afgeschakeld of opgestart wordt of bij een vermogen van minder dan 30% van vollast.

Voor de externe invloeden tijdens vermogensbedrijf en niet-vermogensbedrijf wordt in principe dezelfde methode gehanteerd. Het enige verschil is dat voor niet-vermogensbedrijf de methodiek voor iedere bedrijfsvoeringstoestand apart compleet moet worden uitgevoerd. Hierdoor wordt bereikt dat gebeurtenissen, die niet geanalyseerd zijn tijdens vermogensbedrijf door het goed functioneren van veiligheidssystemen, opnieuw worden geëvalueerd voor niet-vermogensbedrijf aangezien het betreffende veiligheidssysteem dan mogelijk buiten werking is.

Nucleaire energiecentrales zijn zo ontworpen dat zij beschikken over verschillende meervoudige veiligheidssystemen, zodat een complex ongevalsscenario van gebeurtenissen moet plaatsvinden voordat kernbeschadiging optreedt. Om deze scenario's nauwkeurig in beeld te brengen is een schematische model van de installatie en optredende processen vereist. De beschouwing van de scenario's start met de veronderstelling van begingebourtenissen.

Bij de PSA voor de KCB zijn de begingebourtenissen onderverdeeld in enkele categorieën, namelijk:

- Transiënten
Dit zijn systeemstoringen, waarbij de primaire koeling gewaarborgd blijft.

- Ongevallen met koelmiddelverlies
Dit zijn lekken in het primaire systeem en breuken in pijpen van de stoomgeneratoren.
- Ongevallen door het falen van een belangrijk hulpsysteem.
- Overstromingen (binnen de installatie).
- Branden (binnen de installatie).
- Uitval elektrische voeding.

Daarnaast zijn nog externe begingebourtenissen geanalyseerd zoals:

- Het neerstorten van een vliegtuig.
- Explosies
- Toxische gaswolken.

Al deze begingebourtenissen zijn door middel van de gebruikelijke methode van gebeurtenissen- en foutenbomen verwerkt tot potentiële ongevalsverlopen met een bepaalde kans van optreden.

De analyse van menselijk handelen neemt in de PSA een belangrijke plaats in voor het vaststellen van ongevalsverlopen en het bepalen van de onderlinge belangrijkheid. Indien een bepaalde menselijke handeling belangrijke gevolgen kan hebben in het ongevalsverloop wordt die opgenomen als een tak in de gebeurtenissenboom of in de foutenboom. De analyse omvat een kwalitatief deel en een kwantitatief deel. Het kwalitatieve deel betreft het nagaan van de samenstelling van het bedienend personeel, van de alarm bedieningsvoorschriften en van de communicatie protocols, (nood-)procedures, enz. Het kwantitatieve deel betreft het bepalen van de kansen van het maken van fouten bij de diverse mogelijke reacties door het bedienend personeel. De analyse van het menselijk handelen wordt uitgevoerd volgens een standaardprocedure, te weten de EPRI Systematic Human Action Reliability Procedure (EPRI, 1984).

De PSA niveau 1 ten behoeve van de KCB is uitgevoerd in overeenstemming met de Nederlandse Concept Richtlijn niveau 1 PSA (KFD, 1993a) (CRV, 1994). Eveneens hebben op diverse tijdstippen tijdens de uitvoering van de PSA onafhankelijke deskundigentoetsen van de IAEA plaatsgevonden. Deze zogenaamde "Peer Reviews" hebben er mede voor gezorgd dat de PSA Borssele geheel volgens de "stand der techniek" is uitgevoerd.

Niveau 2 analyse

Het doel van een niveau 2 analyse is het vaststellen van de brontermen voor de bij niveau 1 geselecteerde groepen begingebourtenissen met ongevalsverlopen. Brontermen zijn gedefinieerd als de hoeveelheid en soort radioactieve stoffen, die geloosd kunnen worden in combinatie met gegevens over het tijdstip, de lozingsduur, de warmte-inhoud, de kans van optreden van de lozing en de lozingshoogte.

Uitgaande van de geselecteerde ongevalsverlopen van de niveau 1 analyse wordt in de niveau 2 analyse het verdere verloop van het ongeval gevolgd. Hierbij worden de chemische en fysische processen binnen de veiligheidsomhulling geanalyseerd vanaf het moment dat de kern gaat smelten. De niveau 2 analyse is er vooral op gericht te bepalen hoe groot de belasting op de veiligheidsomhulling wordt en wanneer de functie ervan verloren gaat. Tevens wordt de kans van falen/bezweigen van de veiligheidsomhulling bepaald. Indien de functie van de veiligheidsomhulling verloren gaat, vindt transport van radioactieve stoffen binnen de veiligheidsomhulling plaats en komen deze stoffen vervolgens in de atmosfeer vrij.

Er zijn in het algemeen veel brontermen die vrijwel identiek zijn qua hoeveelheden geloosde stoffen naar de atmosfeer en qua tijdsverloop. Daarom vindt een groepering plaats in lozingscategorieën, bronterm-groepen genoemd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het moment en de wijze van falen van de veiligheidsomhulling als voornaamste indelingscriteria. Belangrijk is dat de kenmerken van de bronterm-groepen, inclusief de kans van optreden (frequentie) nauwkeurig worden bepaald.

Van elke belangrijke bronterm-groep is vervolgens één ongevalsverloop, dat representatief is voor deze groep, volledig doorgerekend. Dit leidt uiteindelijk tot de bronterm-groepen die doorgerekend worden in de niveau 3 analyse (gevolgen voor de omgeving). Deze zijn weergegeven in tabel K1.

Door middel van deze bronterm-berekeningen zijn wat betreft de geloosde hoeveelheid radioactieve stoffen de belangrijkste bronterm-groepen afgedekt.

De PSA niveau 2 ten behoeve van de KCB is uitgevoerd in overeenstemming met de Nederlandse Concept Richtlijnen niveau 2 (KFD, 1993b).

Niveau 3 analyse

De consequenties voor de omgeving als gevolg van nucleaire ongevallen, hangen in de eerste plaats af van de soort en hoeveelheid radioactiviteit die wordt geloosd, de karakteristieken van de lozing zoals het tijdstip en de duur van de lozing, hoogte, warmte-inhoud en de fysische en chemische samenstelling van de lozingsproducten. Deze gegevens worden verkregen uit de niveau 2 analyse. De verspreiding van de radioactieve stoffen in de atmosfeer en de depositie op het aardoppervlak zijn afhankelijk van de actuele weersomstandigheden tijdens de lozing. Na de bepaling van de stralingsdosis, worden de risico's op vroege en late gezondheidseffecten berekend. Deze risico's worden getoetst aan de Nederlandse risicocriteria, rekening houdend met de kans van optreden van de lozing.

Tabel K1 Frequenties en lozingen van radioactieve stoffen (in fracties van de kerninhoud)

Bronterm-groep	frequentie [per jaar]	Edelgassen	Jodium	Cesium	Tellurium	Strontium
BTG 1	$1,30 \cdot 10^{-9}$	0,96	0,19	0,19	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^{-2}$
BTG 2	$1,93 \cdot 10^{-10}$	0,91	0,16	0,15	0	$8,1 \cdot 10^{-4}$
BTG 3	$1,93 \cdot 10^{-8}$	0,80	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	0	$4,3 \cdot 10^{-5}$
BTG 4	$1,47 \cdot 10^{-9}$	0,99	$3,7 \cdot 10^{-2}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
BTG 5	$9,91 \cdot 10^{-9}$	0,99	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$
BTG 6	$3,01 \cdot 10^{-8}$	0,96	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$8,3 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$
BTG 7	$4,47 \cdot 10^{-10}$	0,91	0,54	0,59	0,19	$1,4 \cdot 10^{-4}$
BTG 8	$4,42 \cdot 10^{-8}$	1	$4,9 \cdot 10^{-2}$	$4,9 \cdot 10^{-2}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$
BTG 9	$2,39 \cdot 10^{-9}$	0,99	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$
BTG 10	$3,73 \cdot 10^{-8}$	1	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$
BTG 11	$9,32 \cdot 10^{-9}$	0,99	0,12	0,12	$5,4 \cdot 10^{-7}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$
BTG 12	- ¹⁾	0,45	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-2}$	0	$4,5 \cdot 10^{-6}$
BTG 13	$2,24 \cdot 10^{-9}$	0,71	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$
BTG 14	$9,36 \cdot 10^{-8}$	0,70	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$5,4 \cdot 10^{-9}$
BTG 15	$3,10 \cdot 10^{-6}$	1	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^{-8}$	$4,8 \cdot 10^{-9}$
BTG 16	$9,22 \cdot 10^{-7}$	$9,0 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$5,8 \cdot 10^{-11}$	$4,6 \cdot 10^{-12}$
totaal $4,3 \cdot 10^{-6}$						

¹⁾ Door de getroffen maatregelen in het kader van het project Modificaties (huidige situatie) komt BTG 12 niet meer voor

Het startpunt van een gevolgenanalyse is de emissie van radioactieve stoffen in de atmosfeer. Dit is de bij niveau 2 PSA berekende bronterm. Deze bronterm omvat de volgende kenmerken:

- het tijdsverloop in samenhang met de lozing, te weten de tijdsduur tussen het afschakelen van de reactor en het begin van de lozing(en)

- de hoeveelheid en samenstelling van de geloosde radioactieve stoffen
- de warmte-inhoud van de emissie
- de hoogte waarop de lozing plaatsvindt, bijvoorbeeld via de ventilatieschacht of uit het gebouw
- de chemische en fysische samenstelling van de geëmitteerde stoffen
- kans van optreden.

De radioactieve stoffen worden in de atmosfeer geloosd als een fijn aërosol of als een gas en zullen door de heersende wind worden meegevoerd in de vorm van een pluim. Tegelijkertijd vindt verdunning plaats door turbulenties. Tijdens de verspreiding verdwijnt ook materiaal vanuit de pluim door natte en droge depositieprocessen. Dit geeft vervolgens aanleiding tot besmette grondoppervlakken.

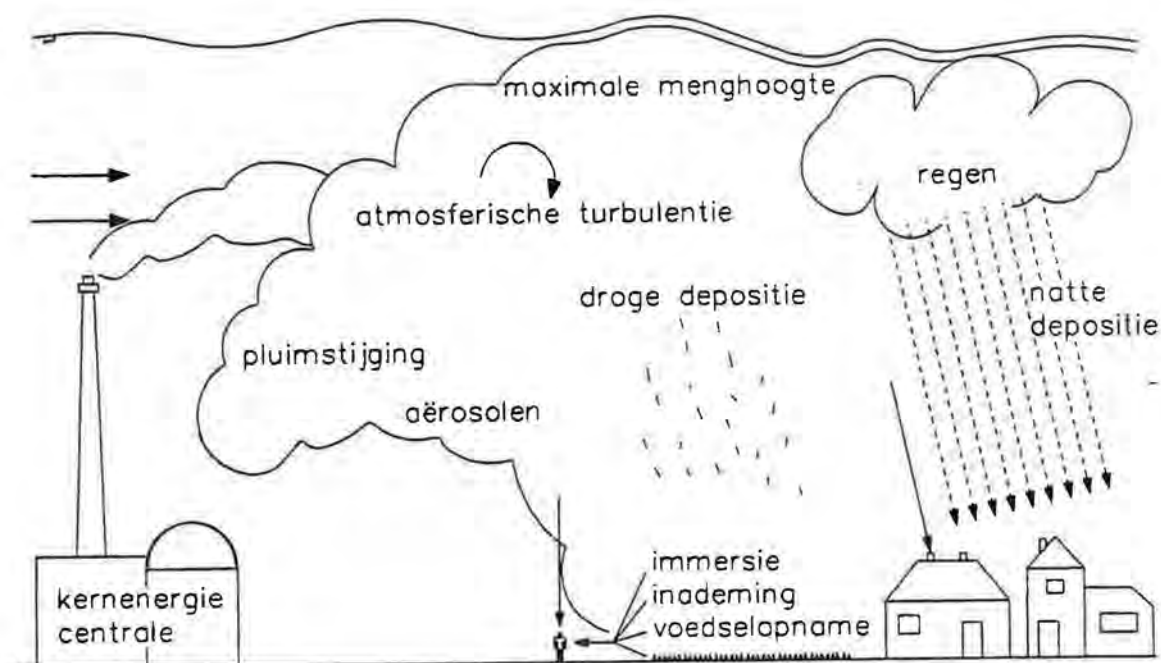
Droge depositie hangt af van de deeltjesgrootteverdeling van de aërosolen en van de chemische reactiviteit van de gassen. Natte depositie is het resultaat van interactie van de deeltjes met neerslag (regen, sneeuw, etc.). Behalve door deze mechanismen zullen de concentraties in de pluim en op de grond in de loop van de tijd verminderen door radioactief verval.

Verspreidings- en depositieprocessen zijn afhankelijk van de heersende weercondities, zoals stabiliteit, windrichting, windsnelheid en regenintensiteit. Aangezien deze weerscondities steeds kunnen veranderen houden de modellen die deze processen beschrijven, rekening met de veranderende condities.

Na de bepaling van de lucht- en grondbesmetting in een zeker punt, kan de stralingsdosis worden berekend die door de mens ter plaatse wordt opgelopen. De mogelijke belastingspaden waardoor mensen een dosis oplopen zijn (zie ook figuur K1).

- externe bestraling door de radioactieve materialen in de passerende pluim (pluimstraling)
- externe bestraling door de radioactieve materialen gedeponeerd op de grond (grondstraling)
- externe bestraling door radioactieve materialen gedeponeerd op de huid en kleding (contaminatie)
- interne bestraling door radioactieve materialen direct ingeademd vanuit de passerende wolk (inhalatie)
- interne bestraling door radioactieve materialen ingeademd na weer opwaaien van gedeponeerde materialen (resuspensie)
- interne bestraling door eten van direct of indirect gecontamineerd voedsel (ingestie).

De dosis berekeningen omvatten in het algemeen de bepaling van de individuele doses als functie van de afstand tot het emissiepunt. Daarnaast is het ook mogelijk collectieve doses te berekenen door de individuele doses in de betreffende gebieden te vermenigvuldigen met het aantal inwoners in dat gebied en vervolgens de uitkomsten van alle gebieden te sommeren.



Figuur K1 Mogelijke belastingspaden

Het is duidelijk dat sommige belastingspaden leiden tot bestralingen van relatief korte duur, terwijl via andere belastingspaden de blootstellingsduur zich over vele jaren na het ongeval zal uitstrekken, of zelfs gedurende het hele verdere leven zal voortduren. Hoge doses, opgelopen in korte tijd, veroorzaken acute gezondheidseffecten (ook vroege of korte-termijn effecten genoemd) welke zich voornamelijk openbaren binnen enkele weken of maanden na de blootstelling. Deze zullen zich bij een ieder die deze dosis ontvangt voordoen. Doses opgelopen met lage dosistempo's en gedurende een lange tijd, kunnen aanleiding geven tot gezondheidseffecten als kanker, die zich pas vele jaren na de bestraling kunnen openbaren en die late of lange-termijn effecten worden genoemd. Deze effecten treden niet bij iedereen die de dosis ontvangt op en ook niet in dezelfde mate. Omdat hierbij een kansverschijnsel speelt, worden deze effecten stochastische gezondheidseffecten genoemd. De dosis-effect- modellen

zoals gebruikt in de rekencodes houden rekening met deze verschillende effecten. Als bijvoorbeeld het sterfterisico als gevolg van het ongeval berekend wordt voor een individu, bestaat dit risico uit het risico van vroege sterfte kort na het ongeval, gesommeerd met het risico van sterfte vele jaren daarna aan door straling veroorzaakte kanker.

De PSA niveau 3 ten behoeve van de KCB is uitgevoerd volgens de Nederlandse Richtlijn niveau 3 PSA (ECN, 1993) en in overeenstemming met de Nederlandse beleidsstandpunten Stralingshygiëne van de overheid (VROM, 1993). Dit houdt in dat de parameterwaarden voor de berekeningen zodanig gekozen zijn dat aan de specifieke parameter-eisen van het Nederlandse risicobeleid wordt voldaan.

Bij het berekenen van de ingestiedosis is verondersteld dat geen voedsel zal worden geconsumeerd dat besmet is boven de limieten zoals die zijn uitgevaardigd door de Europese Commissie (EURATOM) (EPZ, 1993I).

In de Richtlijn niveau 3 PSA wordt aangegeven dat de resultaten van de gevolgenanalyse zonder het nemen van enige tegenmaatregel (behalve het uitsluiten van voedselproducten voor consumptie) dienen te worden bepaald. De achterliggende gedachte is, dat de overheidscriteria ook voor deze situatie(s) zijn opgesteld waardoor alleen op deze wijze toetsing mogelijk is. In de praktijk echter zal een aantal tegenmaatregelen worden uitgevaardigd, die de nadelige gevolgen van het ongeval aanzienlijk zullen beperken. De bedoelde tegenmaatregelen zijn vermeld in het Nationaal plan Kernongevallenbestrijding, afgekort NPK (VROM, 1989). De tegenmaatregel "schuilen" wordt genomen op grond van verwachte effectieve dosis en schildklierdosis. Verder wordt de distributie van jodiumtabletten verondersteld in een cirkelvormig gebied rondom de centrale op grond van de te verwachten schildklierdosis. Tenslotte wordt evacuatie aangenomen, eveneens op grond van de te verwachten effectieve dosis en schildklierdosis.

Voor de meest dominante bronterm-groepen zijn daarom tevens de gevolgen bepaald met inbegrip van de bovengenoemde tegenmaatregelen.

Aangezien het individueel risico reeds op 350 meter afstand van de KCB voldoet aan de daarvoor geldende criteria, zal het individueel risico zeker in België, dat op minstens 15 km gelegen is, beneden de criteria blijven. Hetzelfde geldt ten aanzien van het groepsrisico.

Analysemethoden

De niveau 1 berekeningen zijn uitgevoerd met gebruikmaking van de NUPRA V 2.01 Code (EPZ, 1993F). Met deze code kunnen de gebeurtenissen- en foutenbomen gecombineerd worden gekwantificeerd. Dergelijke "bomen" zijn beelden voor alle mogelijke gevolgen van een

begingebourtenis, respectievelijk voor alle mogelijke combinaties van oorzaken die tot een bepaalde fout (falen van het systeem) kunnen leiden.

De niveau 2 berekeningen zijn uitgevoerd met gebruikmaking van de MAAP-4 code (EPZ, 1993G). Dit programma omvat de aspecten van thermohydraulische verschijnselen en van het fysisch/chemisch gedrag van splijtingsprodukten in het reactor-koelsysteem en in de veiligheidsomhulling.

De rekencode die is gebruikt voor deze PSA niveau 3, is de COSYMA code (EPZ, 1993H). COSYMA is een computercode voor ongevalslozingen van radioactieve stoffen in de atmosfeer.

Voorts is bij de uitvoering van de PSA zoveel mogelijk rekening gehouden met de richtlijnen die hiervoor bij de overheid in ontwikkeling zijn.

Bijlage L

Toelichting op de resultaten van de nieuwe analyses van de ontwerpgevallen

Door middel van ongevalsanalyses wordt aangetoond dat de installatie zodanig ontworpen is dat de gevolgen van de veronderstelde begingebourtenissen (zie bijlage A) worden beheerst. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de begingebourtenissen in categorieën, zoals bijvoorbeeld storingen of ongevallen of gebeurtenissen met geringe waarschijnlijkheid (bijvoorbeeld "Bedrijfstransiënten waarbij een hypothetisch uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld" (ATWS); begingebourtenis 10.5), ingedeeld kunnen worden op grond van de beschermingsdoelstellingen waaraan bij de betreffende begingebourtenissen dient te worden voldaan (ANSI, 1983).

Zo geldt bijvoorbeeld:

- dat bij de analyses van storingen aangetoond dient te worden dat deze storingen zich niet tot ongevallen zullen uitbreiden. Daarvoor is het nodig dat de beschermingsdoelstellingen waaraan bij storingen voldaan moet worden, voldoende beperkend zijn. In het geval van een storing kan, na het opheffen van de oorzaak en de gevolgen van de storing, de installatie onverwijld zonder beperkingen verder bedreven worden. Bij dergelijke gebeurtenissen is daarom bijvoorbeeld filmkoken¹⁾ slechts in beperkte omvang toelaatbaar terwijl de hoofdkoelmiddeldruk en de hoofdstoomdruk de maximaal toelaatbare waarden (voor beide 1,1 x ontwerpdruk) niet mogen overschrijden
- dat bij ongevallen er vanuit gegaan dient te worden dat de installatie niet zonder meer opnieuw in bedrijf genomen kan worden. Dit houdt in dat de gevolgen voor de installatie groter mogen zijn. Daarom geldt voor deze gebeurtenissen in principe dat bijvoorbeeld filmkoken toelaatbaar is mits de temperatuur van de splijststofomhulling de toegestane maximale waarde niet overschrijdt, en dat de hoofdkoelmiddeldruk ongeveer 1,3 keer de ontwerpdruk mag bedragen
- dat bij gebeurtenissen met geringe waarschijnlijkheid voldaan moet worden aan minder beperkende beschermingsdoelstellingen dan bij ongevallen. Tot deze categorie gebeurtenissen behoren de bedrijfstransiënten waarbij het uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling (ATWS) aangenomen wordt.

De bovenbeschreven trapsgewijze indeling wordt internationaal gehanteerd.

¹⁾ Filmkoken: Bij filmkoken vormen aan het verwarmd oppervlak van de splijststofstaven de afzonderlijke dampbellen een aaneengesloten film. De warmte-overdracht van het verwarmd oppervlak aan de vloeistof vindt via deze stoomfilm plaats.

In de hiernavolgende tabel worden voor de begingebourtenissen waarvoor niet a priori vaststond dat deze beheerst zouden worden binnen de vastgestelde grenzen (beschermingsdoelstellingen), en die daarom opnieuw geanalyseerd zijn, de beschermingsdoelstellingen en de analyseresultaten gepresenteerd. Het betreffen de resultaten voor de bestaande en de beoogde situatie.

Veronderstelde begingeburtenis	Bescheringsdoelstellingen	Resultaten analyses	
		Bestaande situatie	Beoogde situatie
Turbineafschakeling zonder opening van de turbineomloop (begingeburtenis 2.3.2)	- de minimale DNB-verhouding²⁾ resp. de minimale kookmarge³⁾ mogen slechts in beperkte omvang onder de betreffende grenswaarden komen (DNB-verhouding 1,3; kookmarge 15 bar) - de splijtstof- en splijtstofomhullingstemperatuur mogen de toelaatbare grenswaarden niet overschrijden. Deze doelstelling wordt vervuld als de DNB-verhouding en de kookmarge niet onder de toelaatbare waarden komen - de hoofdkoelmiddeldruk en de hoofdstoomdruk mogen de maximaal toelaatbare waarden (1,1 x ontwerpdruk) niet overschrijden (resp. circa 193 en circa 100 bar)	* kookmarge is minimaal circa 23 bar d.w.z. dat DNB-verhouding > 1,3 * kookmarge is minimaal circa 23 bar d.w.z. dat DNB-verhouding > 1,3 * HKM-druk maximaal circa 165 bar * hoofdstoomdruk maximaal circa 87 bar	* niet noemenswaardig veranderd * niet noemenswaardig veranderd * niet noemenswaardig veranderd * niet noemenswaardig veranderd
²⁾ DNB-verhouding: De overgang van kiemkoken (afzonderlijke dampbellen) in filmkoken wordt met de kritieke filmkookgrens of "Departure from Nuclear Boiling" (DNB), en de bijbehorende kritieke warmteflux aangeduid. De verhouding tussen de kritieke en de optredende warmteflux wordt de DNB-verhouding genoemd. ³⁾ Kookmarge: Om tijdens het bedrijf vast te stellen of de minimale DNB-verhouding niet overschreden wordt, wordt als parameter voor de DNB-verhouding de grootte van het verschil tussen gemeten bedrijfsdruk en berekende verzadigingsdruk van het meest belaste koelkanaal (heetkanaal) vastgesteld (kookmarge) en met een minimale waarde vergeleken.			

Veronderstelde begingebourtenis	Bescheringsdoelstellingen	Resultaten analyses	
		Bestaande situatie	Beoogde situatie
Blokkeren van een hoofdkoelmiddelpomp of breuk van een hoofdkoelmiddelpompas (begingebourtenis 3.2)	- de splijstoftemperatuur moet in 90% van de doorsnede van de splijstoftabletten onder de smelttemperatuur blijven (2837 °C) - de temperatuur van de splijststofomhulling moet lager zijn dan 1200 °C - de hoofdkoelmiddeldruk mag de maximaal toelaatbare waarde (1,3 x ontwerpdruck) niet overschrijden (circa 230 bar) - de hoofdstoomdruck mag de maximaal toelaatbare waarde (1,1 x ontwerpdruck) niet overschrijden (circa 100 bar)	* maximaal 2000 °C * circa 420 °C * HKM-druck max. circa 162 bar * hoofdstoomdruck max. circa 70 bar	* maximaal circa 2150 °C * niet noemenswaardig veranderd * HKM-druck maximaal circa 165 bar * niet noemenswaardig veranderd
Uitworp van het meest reactieve regelement (begingebourtenis 5.2)	- de gemiddelde temperatuur van de splijststofomhulling op de heetste plaats in de kern moet beneden de waarde blijven, waarbij verbrossing van de omhulling kan optreden (1200 °C) - de enthalpieverhoging, gemiddeld over een splijstoftablet moet beneden de toelaatbare waarde (966 J/g) blijven - de maximale enthalpieverhoging in de splijstoftablet dient voldoende laag te zijn om schade aan de splijststof en splijststofomhulling te voorkomen - de hoofdkoelmiddeldruk mag de maximaal toelaatbare waarde (1,3 x ontwerpdruck) niet overschrijden (circa 230 bar)	* maximaal circa 385 °C * wordt aan voldaan (max. splijstoftemperatuur maximaal circa 2000 °C) * wordt aan voldaan * maximaal circa 165 bar	* maximaal circa 440 °C * wordt aan voldaan (max. splijstoftemperatuur circa 2500 °C) * wordt aan voldaan * niet noemenswaardig veranderd

Veronderstelde begingeburtenis	Bescheringsdoelstellingen	Resultaten analyses	
		Bestaande situatie	Beoogde situatie
Lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving (begingeburtenis 9.1.1)	- handhaving van de warmte-afvoer via het secundair systeem - handhaving van onderkriticaliteit op lange termijn	* wordt aan voldaan * wordt aan voldaan	* wordt aan voldaan * wordt aan voldaan
Extreme verstoring in het primaire systeem waarbij tevens uitval- len van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (begingeburtenis 10.5)	- de hoofdkoelmiddel- en hoofdstoomdruk mogen de maximaal toelaatbare waarden (1,3 x ontwerpdruck) niet overschrijden (resp. circa 230 bar en circa 119 bar) - de warmteafvoer moet gegarandeerd zijn - handhaving onderkriticaliteit op lange termijn	* HKM-druck max. circa 180 bar * hoofdstoomdruck max. circa 85 bar * wordt aan voldaan * wordt aan voldaan	* niet noemenswaar- dig veranderd * niet noemenswaar- dig veranderd * wordt aan voldaan * wordt aan voldaan

EPZ

N.V. Elektriciteits-Produktie­maatschappij Zuid-Nederland EPZ

hoofdkantoor
Postbus 711
5600 AS Eindhoven
telefoon (040) 250 32 00
telefax (040) 257 22 00

locatie Zeeland
Postbus 130
4380 AC Vlissingen
telefoon (0113) 35 60 00
telefax (0113) 35 25 50



januari 1996