



# Samenvatting van het MER

## Brandstofdiversificatie

Juli 2010

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>2</b>
1.1	Voornemen	2
1.2	Reikwijdte en procedure MER	5
<b>2</b>	<b>Probleemstelling en doel</b>	<b>6</b>
2.1	Opbouw van dit hoofdstuk	6
2.2	Korte procesbeschrijving	6
2.3	Huidige samenstelling van de reactorkern	6
2.4	Productie huidige splijtstof	7
2.5	Mogelijkheden om in de splijtstofcyclus kosten te besparen	7
2.5.1	<i>Back-end</i> kosten	8
2.5.2	Kosten radioactief afval	8
2.5.3	<i>Front-end</i> kosten	8
2.6	Hergebruik van splijtstoffen	9
2.7	Vergelijking kostenopbouw van de alternatieve splijtstoffen	11
2.8	Doelstelling	12
<b>3</b>	<b>Te nemen en eerder genomen besluiten</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>De voorgenomen activiteiten en de alternatieven</b>	<b>14</b>
4.1	Bestaande situatie	14
4.2	Voorgenomen wijzigingen	15
4.2.1	MOX	15
4.2.2	c-ERU	15
4.2.3	Het splijtstofopslagbassin	15
4.3	De alternatieven	16
<b>5</b>	<b>Bestaande milieutoestand</b>	<b>17</b>
5.1	Afbakening	17
5.2	Veiligheid	17
5.3	Luchtkwaliteit en straling bij normaal bedrijf	18
5.4	Radioactief afval en plutonium	19
<b>6</b>	<b>Milieugevolgen van de voorgenomen activiteiten en de alternatieven</b>	<b>20</b>
6.1	Vergelijking alternatieven	20
6.2	Reactorfysica	20
6.3	Veiligheid	20
6.4	Luchtkwaliteit en straling bij normaal bedrijf	22
6.5	Radioactief afval en plutonium	22
6.6	Veranderingen in de splijtstofcyclus	23
6.7	Overzicht effecten en conclusies	23
<b>7</b>	<b>Verklarende woordenlijst</b>	<b>25</b>

# Samenvatting van het MER

## **Brandstof**diversificatie

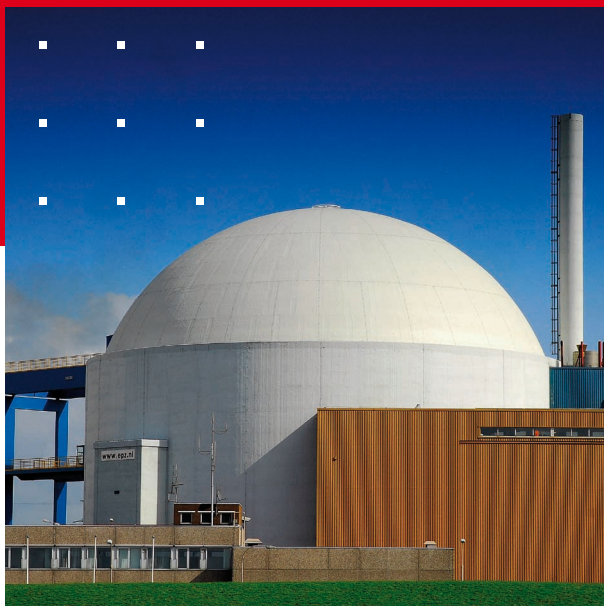


Juli 2010

N.V. Elektriciteits-produktiemaatschappij Zuid-Nederland EPZ

# 1 Inleiding

# 1



## 1.1 Voornemen

De N.V. Elektriciteits-Productie-maatschappij Zuid-Nederland (EPZ) exploiteert de kerncentrale Borssele (KCB) met een elektrisch vermogen van 512 MWe. Deze eenheid is in 1973 in bedrijf gesteld.

De ligging van de KCB is aangegeven in figuur S.1. De KCB is direct achter de zeedijk langs de Westerschelde gesitueerd.



Figuur S.1 Situering KCB (in cirkel)

EPZ zal, in overeenstemming met het zogenoemde ‘Borssele Convenant’ dat met de Nederlandse Staat in juni 2006 is afgesloten, de KCB bedrijven tot en met december 2033.

Naast programma’s om de nucleaire veiligheid op het hoogste peil te handhaven, ontwikkelt EPZ activiteiten om de bedrijfseconomie van de KCB optimaal te houden. Daarom anticipeert EPZ op ontwikkelingen in de markt voor nucleaire splijtstoffen. De verwerving van de splijtstofelementen vormt één van de belangrijkste beïnvloedbare kostenposten in de exploitatie van de KCB. De prijzen voor uraniumsplijtstof fluctueren de laatste jaren sterk. De vraag naar kernenergie groeit internationaal en dat beïnvloedt de prijs van de grondstoffen en de diensten die met de verwerking van splijtstof samenhangen. Ook anticipeert de markt op mogelijke nieuwbouw van kerncentrales, wat deze prijzen nog sterker opdrijft.

EPZ is van mening dat zij door diversificatie van haar nucleaire splijtstoffen minder afhankelijk wordt van de prijsontwikkeling van verrijkt

uranium. Verder streeft EPZ naar het verminderen van de gebruikte hoeveelheid primaire grondstoffen (natuurlijk uranium) in de KCB.

Brandstofdiversificatie wordt vooral bereikt door mengoxide-elementen (MOX)<sup>1</sup> in te zetten. MOX (Mengoxide) is gemaakt van plutonium dat is teruggewonnen uit gebruikte splijtstofelementen gemengd met verarmd uranium. Verarmd uranium is een bijproduct van de verrijkingsindustrie. Daarnaast wil EPZ compensatie van de reactiviteit toepassen voor uraniumbrandstofelementen die zijn gemaakt van verrijkt gerecycled uranium. Gerecycled verrijkt uranium wordt ook wel *Enriched Reprocessed Uranium* of ERU genoemd. Compensatie ervan gebeurt door een hogere verrijking toe te passen, de brandstof heet dan *compensated ERU* of c-ERU. Compensatie door hogere verrijking is nodig vanwege de lagere kwaliteit van gerecycled uranium.

Het gaat EPZ er dus om de mogelijkheid te verkrijgen (deels) over te stappen op gerecyclede materialen in de vorm van MOX- en c-ERU-brandstof.



<sup>1</sup> Mengoxide wordt geproduceerd door het mengen van uraniumoxide en plutoniumoxide.



## 1.2 Reikwijdte en procedure MER

Het MER dient ter onderbouwing van een aanvraag voor een (wijzigings)vergunning ingevolge artikel 15 onder b van de Kernenergiewet (Kew). Het doel is om naast de huidige splijtstof-elementen met uraniumoxide, verrijkt tot 4,4 gewichtsprocent (gew %) met een variatie van  $\pm 0,05$  gew % uranium-235, ook splijtstof-elementen met MOX- en c-ERU-elementen te mogen gebruiken.

Volgens het Besluit m.e.r. 1994 bestaat voor de voorgenomen activiteit een zogenaamde beoordelingsplicht. Op lijst D van beoordelingsplichtige activiteiten is onder categorie 22.3 genoemd 'de wijziging of uitbreiding van een inrichting waarin kernenergie kan worden vrijgemaakt'. Daarbij wordt onder meer verwezen naar de gevallen waarop de activiteit betrekking heeft, namelijk: 'een wijziging van de soort, hoeveelheid of verrijkingsgraad van de splijtstof'. In het onderhavige geval is een wijziging van de soort en van de verrijkingsgraad van de splijtstof aan de orde.

De m.e.r.-beoordelingsplicht houdt in dat het bevoegd gezag vaststelt of een MER dient te worden opgesteld. Deze beoordeling heeft in dit geval niet plaatsgevonden, omdat initiatiefnemer EPZ op voorhand heeft besloten een MER op te stellen.

De procedure van de milieueffectrapportage (m.e.r.) werd gestart met de bekendmaking van de door EPZ ingediende Startnotitie gevolgd door een periode van terinzagelegging ten behoeve van inspraak. Met inachtneming van onder andere het advies van de Commissie voor de milieueffectrapportage en de resultaten van inspraak, heeft het bevoegd gezag in april 2009 de richtlijnen voor het MER vastgesteld. Het onderhavige MER is opgesteld op basis van deze richtlijnen. De m.e.r.- en de vergunningprocedure zijn aan elkaar gekoppeld.

Na indiening van de vergunningaanvraag en het MER zullen deze documenten ter inzage worden gelegd. Gedurende een termijn van zes weken kan een ieder schriftelijk opmerkingen inbrengen. Ook kunnen mondeling opmerkingen worden ingebracht.

Het **bevoegd gezag** voor de Kew wordt gevormd door de Ministers van

- Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM)
- Economische Zaken (EZ)
- Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW).

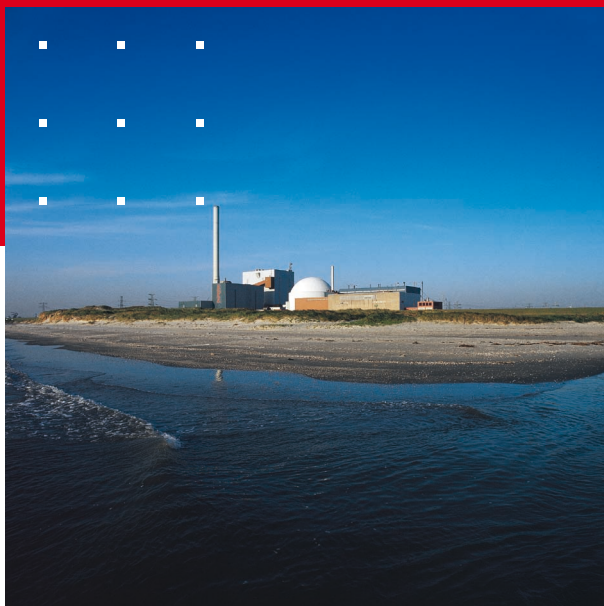
De ministers beslissen in overeenstemming met de ministers die het mede aangaat. Het gaat hierbij om de ministers van Verkeer en Waterstaat (V&W) en Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV).

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

1

# 2 Probleemstelling en doel

# 2



De mogelijkheden om gerecyclede materialen in te zetten worden besproken in paragraaf 2.6 en in paragraaf 2.7 worden kosten vergeleken voor de verschillende soorten kernbrandstof. In paragraaf 2.8 wordt op basis van deze informatie de doelstelling van de voorgenomen activiteit beschreven.

## 2.2 Korte procesbeschrijving

De reactor van de KCB is een zogenaamde drukwaterreactor. Dit is het meest gangbare type kernreactor in de wereld en wordt nog steeds bij nieuwbouw toegepast. Bij een drukwaterreactor voert water onder hoge druk de warmte af die bij kernsplijting geproduceerd wordt. Met deze warmte wordt uiteindelijk elektriciteit geproduceerd. Daarnaast wordt water gebruikt voor het afremmen van de neutronen. Dit laatste is nodig om het kernsplijtingsproces op gang te houden.

De energieproductie in de reactor gebeurt door splijting van de zware atoomkernen van uranium en plutonium. De splijtstof die de KCB nu gebruikt, is gemaakt van natuurlijk en gerecycled uranium.

- Natuurlijk uranium bevat 0,7 gew % van het splijtbare isotoop uranium-235 en 99,3 gew % van het niet-splijtbare isotoop uranium-238.
- Gerecycled uranium bevat ook ongeveer 0,7 gew % uranium-235 en hoofdzakelijk uranium-238 en daarnaast niet-natuurlijke uraniumisotopen.

## 2.1 Opbouw van dit hoofdstuk

*Voor een beter begrip wordt in de paragrafen 2.2, 2.3 en 2.4 de werking van kerncentrales en de vervaardiging van splijstofelementen uitgelegd.*

*Om de achtergrond van het voornemen duidelijk te maken, wordt in paragraaf 2.5 een overzicht gegeven van de mogelijkheden om bij een kerncentrale de kosten te beheersen.*

Om het kernsplijtingsproces efficiënt te laten verlopen wordt in een verrijkingsinstallatie de concentratie splijtbaar uranium-235 voor de KCB verhoogd tot 4,4 gew % met een variatie van  $\pm 0,05$  gew %.

Tijdens het gebruik in de reactor ontstaat er uit het niet splijtbare isotoop uranium-238 een nieuwe splijtstof: plutonium. Dit plutonium is net als uranium een mengsel van splijtbare en niet splijtbare isotopen. De splijtbare isotopen, zoals plutonium-239, doen mee in het proces van energieopwekking. In de bestaande situatie is gemiddeld circa 35% van de energie afkomstig uit plutonium dat tijdens het proces zelf is ontstaan.

Tijdens bedrijf van de reactor wordt dus ook nu al energie opgewekt door splijting van een mengsel van uranium en plutonium.

## 2.3 Huidige samenstelling van de reactorkern

De brandstof voor de reactor bestaat uit verrijkt uranium (splijtstof). De reactorkern bevat circa 39 ton splijtstof in de vorm van uraniumoxide ( $UO_2$ ) tabletten. Die zijn, per ongeveer 210 stuks, tot zuilen op elkaar gestapeld. Ze worden opgesloten in hermetisch dichtgelaste metalen hulzen die we de splijstofstaven noemen.

Een pakket van 205 splijstofstaven vormt samen een splijstofelement. De 121 splijstofelementen vormen samen de bouwstenen van de kernreactor.



De 121 splijtstofelementen verblijven elk vier à vijf jaar in de reactor om energie te produceren. Jaarlijks wordt ongeveer een kwart (circa 28 splijtstofelementen) vervangen door nieuwe.

Jaarlijks heeft EPZ voor de fabricage van deze 28 splijtstofelementen circa 90 ton natuurlijk uranium nodig. Uranium is een grondstof waarvan de belangrijkste ertsproducerende landen zijn: Australië, Canada en Kazachstan.

## 2.4 Productie huidige splijtstof

De productie van de huidige splijtstofelementen van de KCB omvat globaal de volgende stappen:

1. **Winnen en zuiveren van uraniumerts**, waarbij uranium in de chemische vorm 'yellowcake' ( $U_3O_8$ ) beschikbaar komt. Dit (natuurlijke) uranium heeft altijd een gehalte van 0,7 gew % van het splijtbaar uranium-235.
2. **Chemisch omzetten van 'yellowcake'** in gasvormig uraniumhexafluoride ( $UF_6$ ) als voorbereiding op de volgende stap.
3. **Verrijken van het uranium in een verrijkingsfabriek**, zodat het gehalte aan splijtbaar uranium-235 toeneemt tot (voor de KCB) 4,4 gew % met een variatie van  $\pm 0,05$  gew %. Bij dit proces komt ook een nevenstroom verarmd uranium vrij, waarvan het (natuurlijk) gehalte aan splijtbaar uranium-235 is afgenomen tot bijvoorbeeld 0,25 gew %.
4. **Omzetten van het verrijkte uraniumhexafluoride** in tabletten uraniumoxide ( $UO_2$ ).
5. **Verwerken van de uraniumoxidetabletten** tot splijtstofelementen en transport naar de KCB.



Uranium mijn 'Rabbit Lake' in Canada

## 2.5 Mogelijkheden om in de splijtstofcyclus kosten te besparen

EPZ voorziet in de levering van elektriciteit aan haar klanten. De wijze waarop EPZ dat doet is vastgelegd in de visie<sup>2</sup>:

EPZ is een producent van electriciteit met een concurrerend kostprijniveau. Het voortdurend verbeteren van de veiligheid, de beschikbaarheid en de bedrijfszekerheid van haar productie-eenheden heeft voor EPZ de hoogste prioriteit, daarbij heeft nucleaire veiligheid de 'overriding priority'.

In juni 2006 hebben EPZ en haar aandeelhouders met de Staat een overeenkomst gesloten (het 'Borssele Convenant') waarin 31 december 2033 als sluitingsdatum voor de KCB is overeengekomen. In het kader van het 'Borssele Convenant', heeft EPZ de verplichting aanvaard met de KCB te blijven behoren tot de 25% veiligste water-gemodereerde kerncentrales van de Westerse wereld.

De verlenging van de levensduur van 40 naar 60 jaar heeft tot gevolg dat EPZ na afloop van de lopende brandstofcontracten nog voor de rest van de levensduur kernbrandstof moet inkopen.

Op dit moment beïnvloedt turbulentie op de brandstoffenmarkt de splijtstofkosten door sterk fluctuerende prijzen van de grondstof 'yellowcake'. Deze grotere onzekerheid over de splijtstofkosten blijkt uit de sterke fluctuaties van de prijs van natuurlijk uranium:

€ 20 per kilo in 2001  
€ 250 per kilo in 2007  
€ 90 per kilo in 2010.

<sup>2</sup> Bron: Bedrijfsplan EPZ, 2010-2012



Aandeelhouders en de Staat ondertekenen het 'Borssele Convenant'

Deze fluctuaties zijn onder meer veroorzaakt door de sterk toegenomen vraag naar nieuw kernenergievermogen in de wereld. Het is moeilijk te voorspellen hoe de prijsontwikkeling zich in komende jaren zal voortzetten.

Bedrijfseconomisch gunstige resultaten worden behaald door een combinatie van hoge beschikbaarheid (bedrijfszekerheid van de installatie) en exploitatie tegen zo laag mogelijke kosten. In dit licht heeft EPZ de mogelijkheden onderzocht om haar langere termijn brandstofcontracten zo efficiënt mogelijk in te vullen binnen de in het 'Borssele Convenant' gestelde randvoorwaarden.

Om duidelijk te maken waarom EPZ juist nu focust op optimalisatie van de brandstofcontracten volgt eerst een toelichting op de gehele splijfstofcyclus, waar de brandstofcontracten onderdeel van vormen.

De splijfstofkosten bestaan uit drie componenten:

- *back-end* (opwerken en recyclen)
- radioactief afval
- *front-end* (aanschaf splijstofelementen).

### 2.5.1 *Back-end kosten*

In voorgaande jaren heeft EPZ zich geconcentreerd op verlaging van de *back-end* kosten. De kostprijs is ongeveer evenredig met het aantal elementen dat per jaar wordt uitgewisseld. De kostprijs is gebaseerd op kosten voor het afvoeren van splijststof, het opwerken en het recyclen van uranium en plutonium. EPZ heeft zich er daarom op gericht om het aantal uit te wisselen elementen zo klein mogelijk te houden. De methode daarvoor is om splijstofelementen langer in de reactor te laten staan en zo de opbrand te verhogen. Dat kan door aan de nieuw in te zetten splijstofelementen meer splijtbaar uranium-235 toe te voegen, dat wil zeggen de verrijkingsgraad te verhogen.

In dat kader werd de oorspronkelijke vergunde verrijking van 3,3 gew % in 1999 verhoogd naar 4,0 gew % uranium-235. In 2005 werd de verrijking nogmaals verhoogd naar 4,4 gew % met een variatie van  $\pm 0,05$  gew %. Splijstofelementen verblijven nu vier tot vijf jaar in de reactor in plaats van de oorspronkelijke drie jaar. Dit heeft geleid tot reductie van de *back-end* kosten.

Een verdere verhoging van de verrijkingsgraad zou in theorie kunnen leiden tot meer economisch voordeel door nog hogere opbrandwaarden en dus lagere *back-end* kosten. Echter, nog hogere opbrand is ongunstig omdat de kwaliteit van het gerecyclede plutonium en uranium verslechtert. Dit leidt tot hogere kosten bij hergebruik. Een lagere opbrand is economisch ongunstig, omdat dan de *back-end* kosten zullen stijgen. EPZ beschouwt daarom de huidige verrijkingsgraad van 4,4 gew % met een variatie van  $\pm 0,05$  gew % voor ENU als de optimale keus (ENU, *Enriched Natural Uranium*, verrijkt natuurlijk uranium).

### 2.5.2 *Kosten radioactief afval*

Aan de kant van het radioactief afval zijn er niet zo veel mogelijkheden om kosten te reduceren. Deze kosten bestaan voornamelijk uit de investering die EPZ gedaan heeft om bij COVRA het opslaggebouw HABOG te realiseren. Daarnaast heeft EPZ een financiële voorziening getroffen om de eindberging te realiseren. Toekomstige hoeveelheden afval leveren relatief lage additionele kosten op, omdat het bestaande HABOG in gebruik blijft (al dan niet na uitbreiding van de opslagruimtes).

### 2.5.3 *Front-end kosten*

Van de drie kostensoorten kan EPZ alleen de *front-end* kosten verder beïnvloeden. Voor EPZ zijn de mogelijkheden om de toekomstige *front-end* kosten te beheersen als volgt:

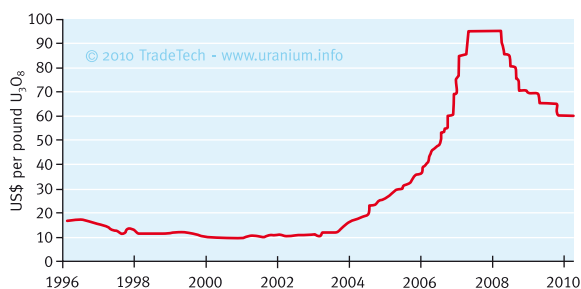
- lange termijn uraniumcontracten sluiten met vaste prijzen
- alternatieven voor natuurlijk uranium vinden.

Beide mogelijkheden zijn intensief onderzocht.

Een belangrijke factor is de markt voor uranium. Na een lange periode van lage en stabiele prijzen maakte die in de afgelopen jaren aanzienlijke ontwikkelingen door. Figuur S.3 illustreert die ontwikkelingen. EPZ moet daarom rekening houden met minder stabiele uraniumkosten.

Naast de grondstofkosten spelen de kosten voor het verrijken een rol. Deze zijn zoals blijkt uit figuur S.4 ook aanzienlijk gestegen.

**Figuur S.3** Historische termijn contractprijzen natuurlijk uranium. Bron: [www.uranium.info](http://www.uranium.info).



Het sluiten van lange termijn contracten met vaste prijzen biedt geen daadwerkelijk alternatief voor kostenbeheersing. Door de sterk toegenomen vraag naar nieuw kernvermogen in de wereld is een prijsstijging van uranium te verwachten. Het is feitelijk niet mogelijk om tegen gunstige prijzen lange termijn contracten aan te gaan.

Een alternatief voor natuurlijk uranium als brandstof is er wél: gerecyclede splijtstoffen. Deze alternatieve splijtstoffen, namelijk opgewerkt uranium (bekend als RepU) en plutonium, zijn teruggewonnen uit gebruikte kernbrandstoffen. Door het breder samenstellen van de brandstofmix ontstaat de mogelijkheid om tot bedrijfs-economische optimalisatie te komen.

## 2.6 Hergebruik van splijtstoffen

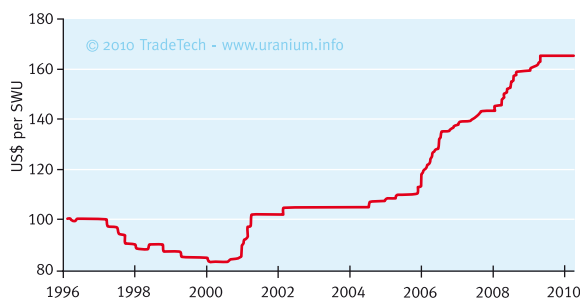
De alternatieve splijtstoffen voor natuurlijk uranium zijn afkomstig van opwerking. Ze zijn geschikt voor hergebruik en kunnen ook worden toegepast in de KCB. Het betreft in casu:

- plutonium in de vorm van mengoxide (MOX)
- opgewerkt uranium in de vorm van(c)-ERU.

### MOX

EPZ heeft de hoogte van en de variatie in de kosten van MOX-inzet afgewogen tegen die voor uraniumerts, verrijdingsarbeid en verwerkingskosten. De uitkomst van deze afweging heeft tot de conclusie geleid dat het voor EPZ aantrekkelijk is om MOX-splijtstof te kunnen inzetten. Tijdens bedrijf in KCB vormt zich in de splijtstofelementen plutonium. In de opwerkingsfabriek in La Hague wordt dit plutonium voor hergebruik beschikbaar gemaakt. Het plutonium dat wordt teruggewonnen uit circa acht uitgewerkte splijt-

**Figuur S.4** Ontwikkeling van de kosten van uranium-verrijking (SWU = Separative Work Unit). Bron: TradeTech.



stofelementen van de KCB, is voldoende om één nieuw MOX-splijtstofelement te maken. In de verrijdingsindustrie ontstaat als bijproduct het tweede bestanddeel van MOX: verarmd uranium.

In MOX wordt plutonium vermengd met verarmd uranium tot een alternatieve splijtstof die zich vergelijkbaar gedraagt als verrijkt natuurlijk uranium. In MOX-splijtstofelementen vervangt het splijtbare plutonium dus het splijtbare uranium-235 uit de klassieke splijtstofelementen. Door de inzet van MOX neemt EPZ zelf de verantwoordelijkheid voor het hergebruik van haar plutonium, zoals gedaan wordt door een meerderheid van de bedrijven die plutonium bezitten.

Omdat EPZ voor het gebruik van MOX nog geen vergunning heeft, werd tot op heden het vrijgemaakte plutonium van EPZ door het bedrijf AREVA NC gebruikt om MOX-splijtstofelementen voor andere kerncentrales te produceren.

Met MOX bestaat internationaal al veel ervaring, het wordt gezien als een industrieel alternatief voor uranium. Sinds 1972 wordt MOX op commerciële schaal ingezet in Duitse en andere buitenlandse kerncentrales. Ook in Nederland is de inzet van mengoxide als splijtstof niet helemaal nieuw. De kerncentrale Dodewaard zette in het kader van onderzoek en productontwikkeling MOX-splijtstof in. Deze ervaringen laten zien dat MOX zonder problemen kan worden gebruikt als gedeeltelijke vervanging van verrijkt uranium.

Uit een economische analyse die EPZ heeft gemaakt, blijkt dat het vanuit het oogpunt van kostenbeheersing aantrekkelijk is om zelf MOX-splijtstofelementen te gaan toepassen. Het plutonium dat EPZ hiervoor op het oog heeft,



is afkomstig van gebruikte vermogensreactor-splijstof. Plutonium uit kernwapens wordt niet ingezet.

### **ERU en gecompenseerd ERU (c-ERU)**

Als alternatief voor natuurlijk uranium geldt het gebruik van ERU als de oudste vorm van hergebruik.

De uitgewerkte splijstof die van de KCB wordt afgevoerd, bevat nog ongeveer 94% van de oorspronkelijke hoeveelheid uranium. Daarvan is het uranium-235 gehalte gewoonlijk tussen de 0,6 gew % en 0,8 gew %. Dat is vergelijkbaar met de hoeveelheid uranium-235 in natuurlijk uraniumerts (0,7 gew %). In de opwerkingsfabriek in het Franse La Hague wordt het uranium teruggewonnen. Het wordt dan ook wel *Reprocessed Uranium* (RepU) genoemd. Dit RepU kan opnieuw worden verrijkt waarna er ERU-splijstofelementen van worden gemaakt.

RepU levert een lagere kwaliteit splijstof op dan natuurlijk uranium. Door processen in de reactor ontstaan er namelijk niet splijtbaar uranium-isotopen zoals uranium-232 en uranium-236.

Vooraf het uranium-236 maakt splijstofelementen minder werkzaam waardoor er in de kernreactor een lagere energieopbrengst (opbrand) wordt bereikt. Dit nadeel maakt dat de handelswaarde van RepU lager is dan die van natuurlijk uranium.

Een methode om de lagere kwaliteit van ERU te compenseren is het verrijken van het uranium tot een hogere waarde. Met dit gecompenseerde gerecyclede uranium, c-ERU, kunnen splijstofelementen gemaakt worden met dezelfde energieopbrengst als de huidige elementen op basis van natuurlijk uranium. Hoewel de extra benodigde verrijkingsarbeid kostenverhogend is, weegt dit op tegen de besparing aan het gebruik van natuurlijk uraniumerts. Immers uit de oorspronkelijke hoeveelheid natuurlijk uranium wordt door hergebruik meerdere keren energie gewonnen.

In de huidige situatie gebruikt EPZ al gerecyclede uranium. De bedrijfsvergunning staat echter niet toe om de verminderde energieopbrengst van gerecyclede uranium (ERU) ten gevolge van uranium-236 te compenseren (c-ERU).



De opwerkingsfabriek van AREVA in La Hague, Frankrijk

Ook levert het gebruik van niet-gecompenseerd ERU meer radioactief afval op dan wanneer het gecompenseerd zou zijn (c-ERU). Dat komt omdat voor dezelfde energieproductie meer ERU-elementen dan c-ERU-elementen nodig zijn. Dat is dus een milieunadeel.

## 2.7 Vergelijking kostenopbouw van de alternatieve splijtstoffen

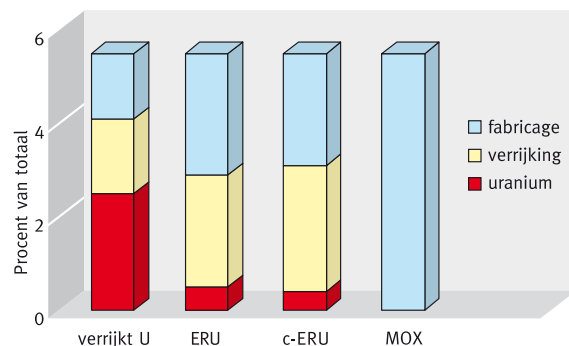
De brandstofkosten voor de KCB bestaan uit de kosten voor de aanschaf van elementen (*front-end*), de kosten van de afvoer en verwerking en van het afval (*back-end*). Het inzetten door EPZ van alternatieve brandstoffen (c-ERU of MOX) heeft noch voor de processen en hoeveelheden in de *back-end*, noch voor de daarmee gepaard gaande kosten, gevolgen.

EPZ is van plan om na gebruik de c-ERU- en de MOX-elementen te laten opwerken. Hetzelfde gebeurt nu al voor elementen van verrijkt uranium en van niet gecompenseerd ERU. Omdat voor het opwerken een prijs per kilogram gecontracteerd kan worden, zullen de *back-end* kosten naar verwachting niet afhangen van de soort brandstof. Daarom worden de *back-end* kosten in de vergelijking hierna niet meegenomen.

Figuur S.5 toont de opbouw van de brandstofkosten voor de alternatieven

- verrijkt natuurlijk uranium (ENU),
  - niet-gecompenseerd verrijkt gerecycled uranium (ERU),
  - gecompenseerd verrijkt gerecycled uranium (c-ERU) en
  - mengoxide (MOX).
- **ENU** is in de huidige situatie de meest gebruikte soort brandstof. In de toekomst gaat de kostprijs van de grondstof natuurlijk uranium de grootste bijdrage leveren in de totale kosten. Daarna volgen de kosten van verrijking en van fabricage.
  - **ERU** wordt nu ook al ingezet. De verwervingskosten van de grondstof RepU zijn veel geringer dan van natuurlijk uranium. EPZ heeft bij herhaling RepU overgenomen van andere marktpartijen en heeft daar ervaring

Figuur S.5 Model voor de kostencomponenten van alternatieve soorten kernbrandstof voor de KCB.



*Aan de absolute waarden in dit model kan geen betekenis worden toegekend. Er bestaan nog geen commerciële overeenkomsten waaraan de werkelijke kosten kunnen worden ontleend. Ter wille van de beeldvorming zijn de totalen in deze figuur op 100% gesteld.*

mee. Daarentegen zijn de verrijkings- en fabricagekosten hoger dan voor ERU-elementen.

- **c-ERU** is qua kostenverdeling vergelijkbaar met ERU. Door de extra verrijking ter compensatie van uranium-236 zijn de verrijkingkosten echter hoger.
- Voor **MOX** zijn de verwervingskosten voor de grondstoffen, plutonium en verarmd uranium, niet van belang. Er is geen vrije markt voor plutonium en verarmd uranium is zeer goedkoop. De kosten worden geheel bepaald door de kosten voor veilig beheer, transport en fabricage.

### Samenvattend

EPZ heeft ruime ervaring met het gebruik van gerecycled uranium uit opwerking van haar eigen splijtstof (ERU). Op dit moment heeft EPZ vergunning om uranium te gebruiken in de KCB met een verrijkingsgraad van 4,4 gew % uranium-235 met een variatie van  $\pm 0,05$  gew %. EPZ wil de verminderde energieopbrengst van ERU door de aanwezigheid van (niet splijtbaar) uranium-236 compenseren met een hogere verrijking.

Daarnaast kan van plutonium splijtstof gemaakt worden voor de KCB, net als bij andere kernreactoren die oorspronkelijk alleen voor uranium splijtstof zijn ontworpen. In de reactor is het gebruik van MOX-elementen niet anders dan van uraniumelementen. Het plutonium uit ongeveer

8 opgewerkte splijtstofelementen levert 1 nieuw MOX-element op. Tot op heden wordt van EPZ's plutonium MOX gefabriceerd voor andere (Europese) kerncentrales.

Op basis van bovenstaande concludeert EPZ dat hergebruik van *Reprocessed Uranium* en plutonium de volgende voordelen heeft:

- het maakt EPZ minder afhankelijk van de prijsontwikkeling van natuurlijk uranium;
- door hergebruik wordt meer energie gewonnen uit dezelfde hoeveelheid natuurlijk uranium;
- door het gebruik van MOX in KCB hoeft EPZ haar plutonium niet meer over te dragen aan derden.

Als gezegd dient splijtstofdiversificatie te passen binnen de randvoorwaarde van maximale veiligheid voor mens en milieu. De voorwaarde uit het 'Borssele Convenant' (blijven behoren tot de 25% veiligste watergekoelde centrales van West Europa, de VS en Canada) wordt onverkort in acht genomen.

## 2.8 Doelstelling

De doelstelling van de voorgenomen activiteit luidt samengevat:

Verruiming van de toegestane soorten splijtstof voor de KCB. Dit wordt bereikt door toelating van MOX- en c-ERU-elementen van gerecycled uranium. Beide typen elementen worden zodanig verrijkt dat deze qua energiepotentieel equivalent zijn aan verrijkt natuurlijk uranium van 4,4 gew % met een variatie van  $\pm 0,05$  gew %. Hierdoor wordt EPZ minder afhankelijk van prijsfluctuaties op de markt van nucleaire splijtstoffen en kan EPZ de splijtstofkosten beter beheersen.

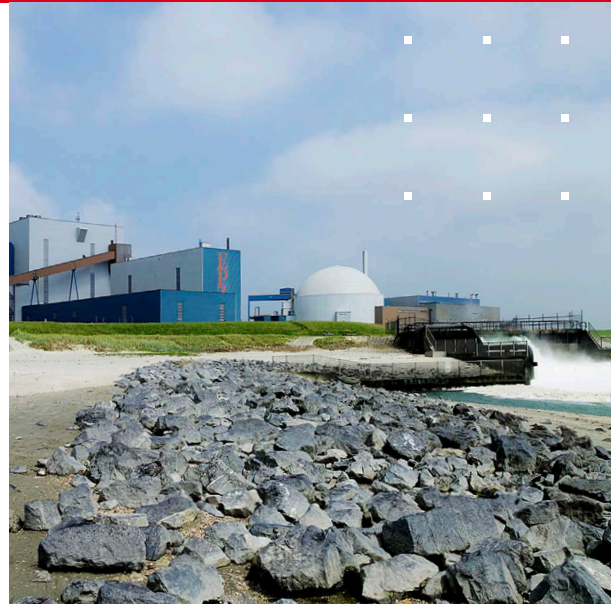
Belangrijkste randvoorwaarden voor EPZ zijn:

- het veiligheidsniveau van de bedrijfsvoering mag niet aangetast worden;
- significante installatiewijzigingen (extra regelstaven of dergelijke) worden uitgesloten;
- zo laag als redelijkerwijs mogelijke milieubelasting;
- geen wijzigingen in de splijtstofinzet (gelijkblijvende cyclusduur, gelijke gemiddelde eindopbrand);
- geen veranderingen voor de *back-end* (transport en opwerken);
- geen significante invloed op de geplande ontmanteling na 2034.

Na afweging van alle opties concludeert EPZ dat MOX en c-ERU twee interessante alternatieve splijtstoffen voor verrijkt natuurlijk uranium zijn. Omdat de huidige Kew-vergunning laatstgenoemde opties niet toelaat, vraagt EPZ een wijzigingsvergunning aan om deze soorten splijtstof te mogen toepassen.

# 3 Te nemen en eerder genomen besluiten

*De overheid dient het voornemen te toetsen aan haar beleid en regelgeving.*



# 3

De belangrijkste relevante randvoorwaarden zijn:

- Kernenergiewet (Kew) met bijbehorende uitvoeringsbesluiten, zoals het Besluit stralingsbescherming (Bs) en het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen (Bkse), inclusief de beveiliging van kernmateriaal
- Besluit Milieueffectrapportage 1994
- Geldende vergunningen en afspraken
- Risicobeleid en stralingsnormstelling
- Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding (NPK)
- Veiligheidsnormen en -richtlijnen voor kernenergiecentrales.

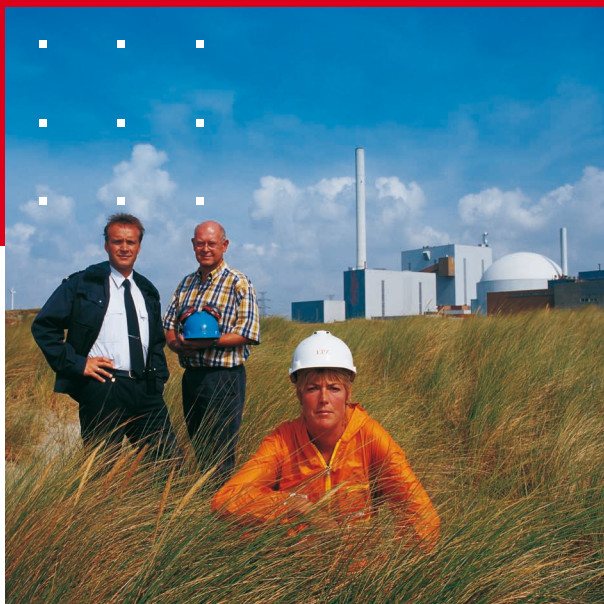
Het MER is opgesteld ten behoeve van het besluit dat het bevoegd gezag (zie hoofdstuk 1) moet nemen over de aangevraagde wijzigingsvergunning voor de Kew.

De procedures voor vergunningverlening krachtens de Kew zijn beschreven in de Algemene wet bestuursrecht en de Wet milieubeheer.

De m.e.r.-procedure is geïntegreerd in de vergunningprocedure (zie figuur S.2). Dat wil zeggen dat vergunningaanvraag en MER tegelijk worden ingediend en ook gecoördineerd worden behandeld.

# 4 De voorgenumen activiteiten en de

# 4



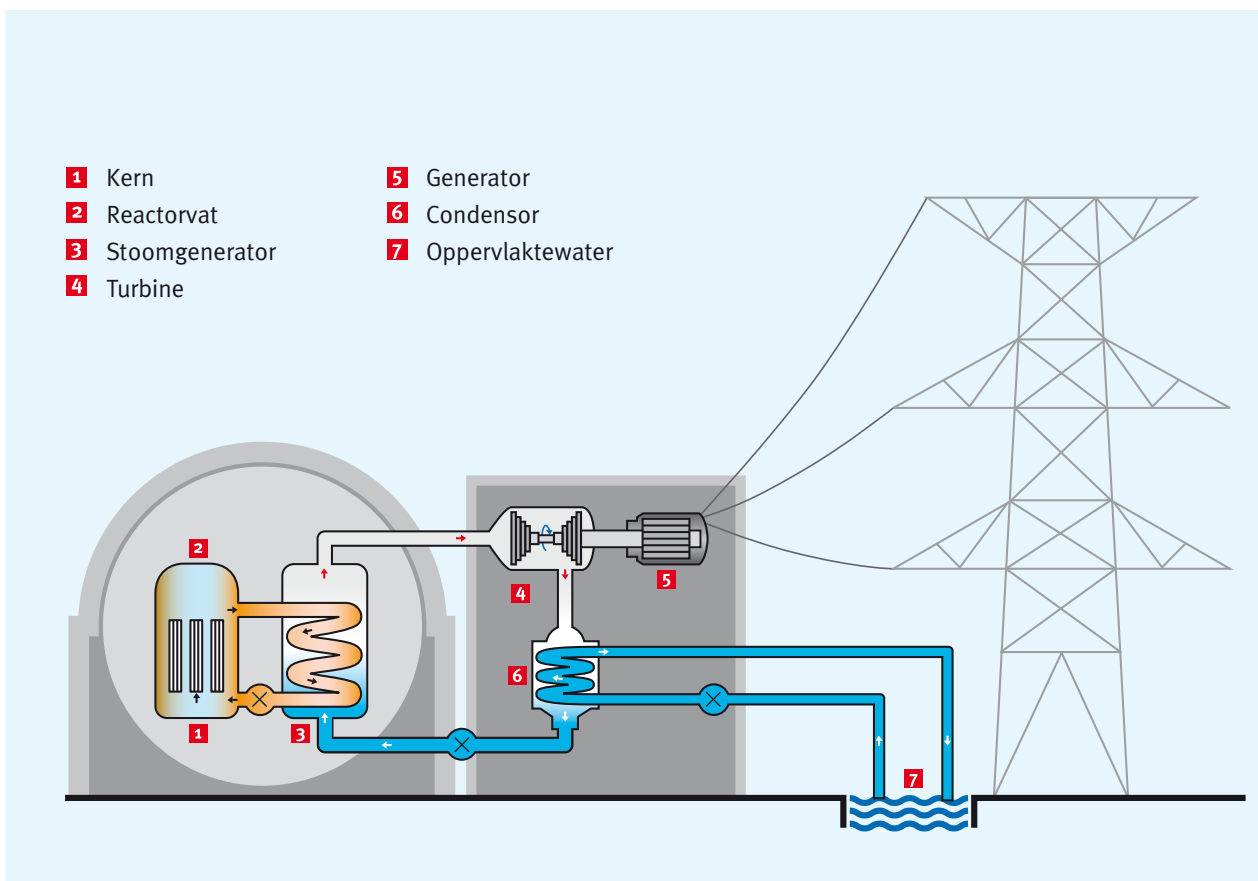
## 4.1 Bestaande situatie

Het prinsipeschema van de kerncentrale is weergegeven in figuur S.6.

De technische systemen rond de reactor en het stoomcircuit en de diverse veiligheidssystemen blijven eveneens ongewijzigd. De enige fysieke veranderingen betreffen de splijtstofelementen. Deze veranderingen worden in de volgende paragraaf beschreven<sup>3</sup>.

De splijtstof bestaat nu uit uranium met een verrijkingsgraad van 4,4 gew % met een variatie van  $\pm 0,05$  gew %. Dit kan geproduceerd zijn uit natuurlijk uranium of uit opgewerkt uranium.

Figuur S.6 Prinsipeschema van de kerncentrale Borssele



<sup>3</sup> In bijlage B bij het MER wordt de KCB uitgebreid beschreven.



## 4.2 Voorgenomen wijzigingen

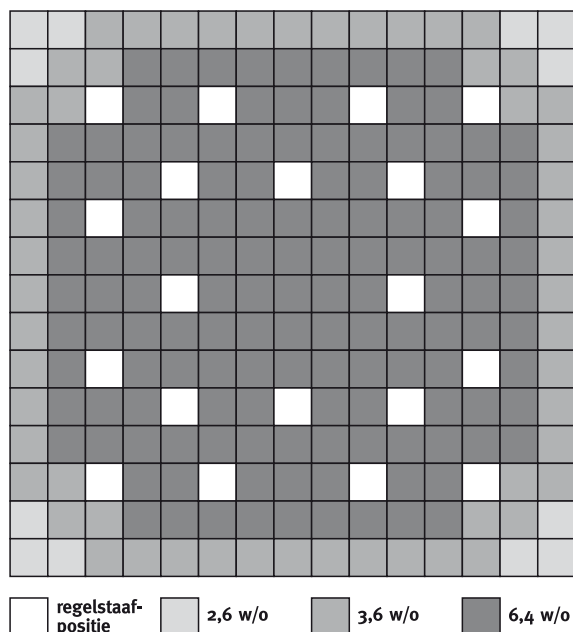
In hoofdstuk 2 is al aangegeven dat het MER gaat over het voornemen van EPZ om naast de huidige ENU- en ERU-splijtstof ook MOX- en/of c-ERU-splijtstof in te gaan zetten. Internationaal is met deze splijtstoffen al ruime ervaring opgedaan. Beide typen splijtstoffen worden hierna toegelicht.

### 4.2.1 MOX

Tot nu toe wordt het plutonium dat ontstaat tijdens reactorbedrijf van de KCB na opwerking door het Franse bedrijf AREVA doorverkocht aan eigenaren van andere kerncentrales. De inzet van MOX is normale praktijk in landen als België, Frankrijk, Duitsland en Zwitserland. Zolang niet zeker was of de KCB ook na 2013 in bedrijf kon blijven, was het niet interessant om investeringen te doen die inzet van MOX in de KCB mogelijk zouden maken. Nu een convenant met de overheid ruimte biedt voor exploitatie tot en met 2033, is MOX voor EPZ zelf een interessante optie geworden.

Uit het ontwerp van splijtstofleverancier AREVA is gebleken dat MOX met een splijtbaar percentage plutonium van maximaal gemiddeld 5,41 gew % energetisch gelijkwaardig is aan de huidige uraniumelementen. In figuur S.7 is geïllustreerd

Figuur S.7 Schematische dwarsdoorsnede van het MOX-element.



dat een MOX-element uit splijtstofstaven met verschillende percentages plutonium zal bestaan. Een dergelijke opbouw, met staafjes van uiteenlopende plutoniumpercentages, is gebruikelijk en maakt het mogelijk om de MOX-elementen zonder beperkingen naast uranium-elementen in een kern te kunnen inzetten. Daarom wordt vergunning aangevraagd voor dit ontwerp van een MOX-element. Het aantal MOX-elementen tegelijkertijd in de kern zal worden beperkt tot maximaal 48 stuks. Dit komt overeen met 40% van de in totaal 121 elementen in de KCB-kern.

### 4.2.2 c-ERU

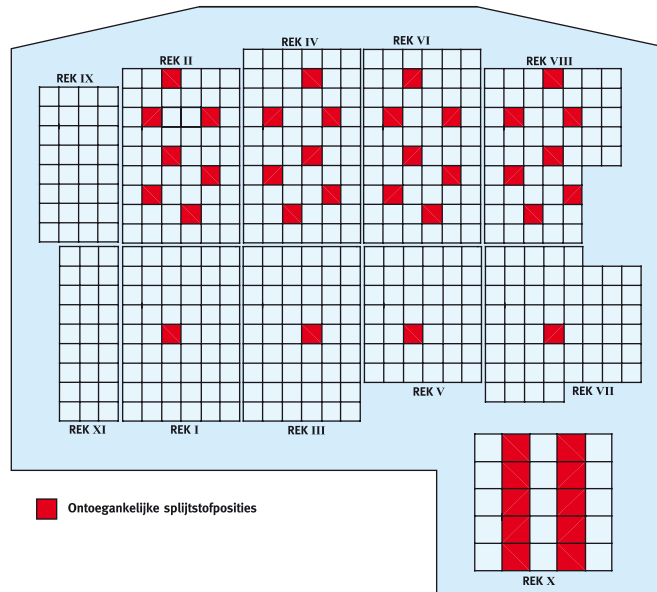
Er wordt al ERU ingezet in de KCB. Deze inzet is echter niet optimaal omdat in het gebruikte RepU uranium-236 zit dat de kernreactie tegenwerkt. In natuurlijk uranium komt uranium-236 niet voor. Om een gelijkwaardige splijtstof van ERU te kunnen vervaardigen, moet het ERU extra verrijkt worden. Dit extra verrijkte ERU wordt gecompenseerd verrijkt opgewerkt uranium genoemd (c-ERU (*compensated-Enriched Reprocessed Uranium*)). Hiervoor is extra verrijktingsarbeid nodig. Die is echter ruimschoots terug te verdienen doordat de splijtstof langer energie kan produceren. EPZ is voornemens compensatie toe te passen tot maximaal 0,20 gew % uranium-235 wat correspondeert met ongeveer 0,6 gew % uranium-236. Dit is conform de internationale ervaring met compenseren. Om die reden vraagt EPZ daar ook vergunning voor aan. Splijtstofelementen van c-ERU zijn en worden gebruikt in o.a. Frankrijk, Duitsland, Zwitserland en België.

### 4.2.3 Het splijtstofopslagbassin

In het splijtstofopslagbassin mag geen kernreactie ontstaan. Daarom moeten de elementen op voldoende onderlinge afstand van elkaar bewaard worden (zie figuur S.8). Daartoe is een aantal posities in het splijtstofopslagbassin afgesloten. De eigenschappen van de beide nieuwe typen elementen blijken dusdanig te zijn dat het niet nodig is extra maatregelen te treffen.

Na gebruik in de reactor worden de elementen enkele jaren in het splijtstofopslagbassin

Figuur S.8 Het splijfstofopslagbassin met afgesloten posities (rood) om kernreacties in het bassin uit te sluiten.



bewaard. In die jaren lopen de warmteproductie en de hoeveelheid radioactiviteit sterk terug. Zo wordt het mogelijk om de splijststof af te voeren voor opwerking in de opwerkingsfabriek. MOX-elementen moeten in het algemeen 1 à 2 jaar langer afkoelen in het bassin. Er zullen dus meer elementen gelijktijdig in opslag zijn. Uit berekeningen blijkt dat de opslagcapaciteit van het bassin hiervoor toereikend is.

### 4.3 De alternatieven

In het MER zijn de volgende alternatieven beschouwd:

- nulalternatief
- splijststofalternatieven (uitvoeringsalternatieven)
- het meest milieuvriendelijke alternatief.

Het nulalternatief beschrijft de situatie als het voornemen niet uitgevoerd zou worden. Dit betekent voortzetting van de inzet van uranium als enige splijststof. Hiermee wordt het beoogde doel, kostenbeheersing, niet bereikt.

Mogelijke alternatieve splijststoffen zijn MOX, c-ERU (beide onderdeel van het voornemen) en thorium. In paragraaf 2.6 van het MER wordt uitgelegd dat thorium wellicht potentie heeft in de toekomst, maar nu geen gangbare splijststof is. Er is geen commercieel ontwikkelde markt voor thorium splijststoffen en ook ontbreekt het aan faciliteiten voor de verwerking ervan.

Naast variatie in het type splijststof is variatie in het procentuele aandeel van de splijststof denkbaar. Inzet van een hoger percentage c-ERU-elementen in de reactorkern leidt tot een lager percentage MOX-elementen in de kern. Dit heeft een negatieve invloed op één van de twee belangrijkste verschillen tussen de alternatieven namelijk de proliferatie-aspecten. Indien er minder MOX in de kern wordt ingezet, wordt er netto minder plutonium verbruikt. Wordt er een lager percentage c-ERU in de kern ingezet dan leidt dit tot een verslechtering van het andere belangrijke milieuaspect namelijk de gevolgen voor de splijststofcyclus en dan met name de mijnbouw. Bij de fabricage van c-ERU-elementen wordt namelijk gebruik gemaakt van teruggewonnen uranium, waardoor er minder natuurlijk uranium uit de mijnen gedolven hoeft te worden.

MOX wijkt meer af van natuurlijk uranium dan c-ERU. Daarom zijn alternatieven onderzocht waarbij 26, 40 (voorgenomen activiteit), 53 en 73% MOX-elementen in de kern staan. Dit zijn modelmatige alternatieven die een goed beeld geven van de milieugevolgen bij de toepassing van MOX-elementen.

Het meest milieuvriendelijke alternatief (MMA) is een samenvoeging van die elementen uit de alternatieven die de beste mogelijkheden voor bescherming van het milieu bieden. Dit alternatief zal in hoofdstuk 6 op basis van de milieu-effecten van de (deel-)alternatieven worden behandeld.

# 5 Bestaande milieutoestand

## 5.1 Afbakening

In dit hoofdstuk worden alleen de milieueffecten beschreven die door de voorgenomen activiteit beïnvloed kunnen worden. De volgende milieueffecten worden niet beschreven: thermische en chemische belasting van het oppervlaktewater, geluid, visuele beïnvloeding en overige niet-radiologische milieuzaken.

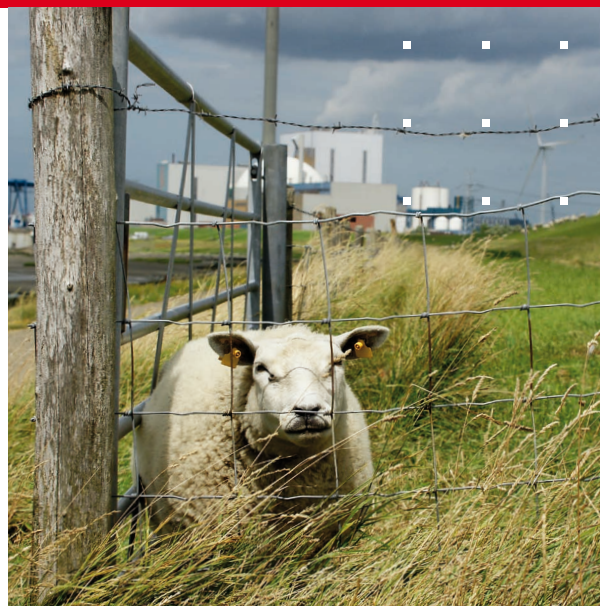
## 5.2 Veiligheid

De veiligheid van kernreactoren ten aanzien van ongevallen wordt doorgaans voor twee typen ongevallen uitgewerkt: de ontwerpgevallen en de buiten-ontwerpgevallen. Deze benadering is ook voor dit project gevolgd.

**Ontwerpgevallen** zijn de ongevallen waartegen de installatie ontworpen is. Daarbij moet aangetoond worden dat de radiologische gevolgen van die ongevallen binnen de daarvoor geldende normen blijven.

De ontwerpgevallen voor de KCB zijn vastgesteld op basis van internationale aanbevelingen van het IAEA<sup>4</sup>. Voor deze ongevallen zijn nieuwe analyses<sup>5</sup> uitgevoerd voor de nu gebruikte splijtstof en voor de voorgenomen splijtstoffen. Deze analyses hebben aangetoond dat bij de meeste ontwerpgevallen geen radioactiviteit vrij komt. In de gevallen dat wel radioactiviteit vrijkomt, blijven de doses ruim tot zeer ruim onder de daarvoor geldende grenswaarden.

**Buiten-ontwerpgevallen** zijn de ongevallen die de installatie niet (volledig) kan beheersen. De kans dat deze zeer ernstige ongevallen optreden is zeer gering. De kansen en gevolgen worden beschreven in zogenaamde veiligheidsanalyses. Daarbij wordt eerst vastgesteld wat de kans is dat de kern wordt beschadigd en de in de kern opgeslagen radioactiviteit vrij komt. De kansen zijn berekend dat een persoon in de omgeving van de KCB overlijdt (individueel risico) respec-

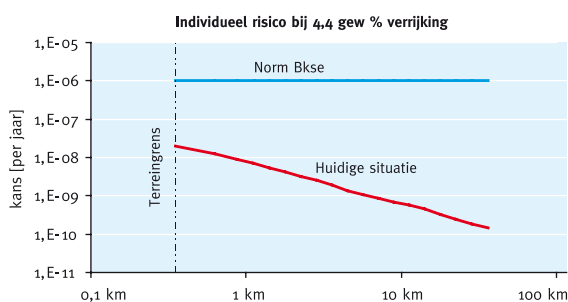


# 5

tiel dat 10 dodelijke slachtoffers of meer (groepsrisico) vallen ten gevolge van een buiten-ontwerpgeval.

Het maximale individuele risico treedt op aan de terreingrens op 350 meter afstand van de (ventilatieschacht van de) KCB. In de huidige situatie bedraagt de kans dat een persoon in de omgeving van de KCB overlijdt eens in de 50 miljoen jaar. Daarmee wordt ruim voldaan aan het algemene toetsingscriterium van de overheid voor het individueel risico, te weten eens in de miljoen jaar. Op grotere afstand ligt dit risico nog lager zoals blijkt uit figuur S.9.

**Figuur S.9** Totaal maximaal individueel risico voor 1-jarige kinderen per jaar in de huidige situatie met voedselmaatregelen. Andere mogelijke beschermingsmaatregelen zijn niet verondersteld.



Het groepsrisico blijkt niet relevant. De kans dat 10 directe slachtoffers of meer vallen, is eens in de 200 miljoen jaar en daarmee veel lager (een factor 2000) dan de maximaal toelaatbare waarde van eens in de 100 duizend jaar.

<sup>4</sup> International Atomic Energy Agency.

<sup>5</sup> De analyses van zowel ontwerpgevallen als buiten-ontwerpgevallen zijn uitgevoerd op basis van nieuwe voorschriften en uitgangspunten, zodat vergelijking met resultaten uit eerdere MER's niet eenvoudig mogelijk is.

### 5.3 Luchtkwaliteit en straling bij normaal bedrijf

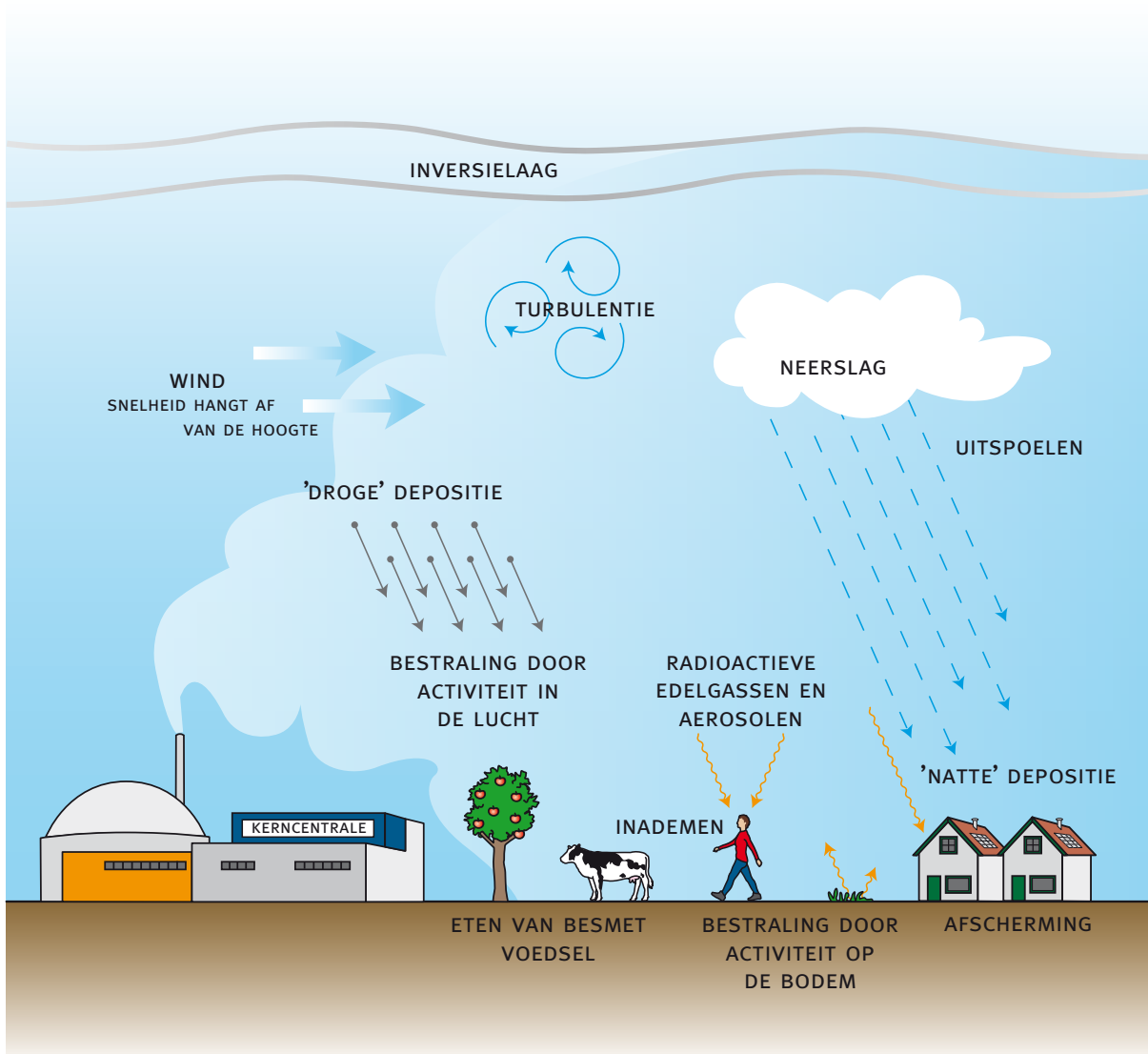
De geringe hoeveelheden radioactiviteit die de KCB tijdens normaal bedrijf loost, kunnen langs verschillende wegen mens en milieu belasten. Dit is schematisch weergegeven in figuur S.10.

De verschillende bijdragen zijn met de nieuwste modellen berekend op grond van de werkelijk opgetreden emissies in de periode 2000 t/m 2009. De maximale waarde van de totale stralingsbelasting op grond van de gemiddelde

emissies over bovengenoemde periode bedraagt (afgerond) 0,000022 mSv/jaar. Uitgaande van de maximaal toegestane emissies<sup>6</sup> is een bijdrage van circa 0,0025 mSv/jaar berekend. De (wettelijk) toegestane dosislimiet bedraagt 0,1 mSv/jaar. De berekende belastingen liggen daar dus een factor 4500 (gemiddeld) respectievelijk 40 (bij vergunde emissie) onder.

Het dosistempo aan het hek als gevolg van directe straling vanuit de kerncentrale is berekend op maximaal 0,0043 mSv/jaar. Dit is ruim lager dan de totale maximale jaardosis voor de bevolking van 0,1 mSv/jaar.

Figuur S.10 Schematische weergave van de verspreiding van radioactiviteit uit de KCB en blootstellingswegen naar mens en milieu.



<sup>6</sup> Vergunningslimieten.

## 5.4 Radioactief afval en plutonium

De splijtstofelementen worden na enige jaren gebruik definitief uit de reactor verwijderd en gedurende een aantal jaren opgeslagen in het splijtstofopslagbassin. Na de afkoelperiode worden zij naar La Hague (Frankrijk) afgevoerd voor recycling.

Het hoog radioactieve afval, afkomstig uit de verwerking in Frankrijk, wordt naar Nederland teruggevoerd en opgeslagen bij COVRA.

In de KCB komt verder ook middel- en laag-radioactief afval vrij.

Bij de inzet van splijtstof uit natuurlijk uranium door de KCB ontstaat jaarlijks 93 kg plutonium.

Uit proliferatie<sup>7</sup> oogpunt kan het vrijkomen van plutonium bij het opwerken van de splijtstof-elementen als relevant gezien worden. Dit plutonium is echter ongeschikt voor de vervaardiging van kernwapens door de aanwezigheid van een te hoge concentratie (onsplijtbaar) plutonium-240.



Hijsen van container voor afvoeren van gebruikte splijtstofelementen.

<sup>7</sup> In het zogenoemde Non-proliferatie-verdrag (1968) is vastgelegd dat het bezit van kernwapens tot de vijf landen die kernwapens hadden op dat moment (Verenigde Staten, Sovjet-Unie, Verenigd Koninkrijk, China en Frankrijk) wordt beperkt en dat zij de benodigde technologie niet aan andere landen zullen overdragen. Het verdrag is door 189 landen geratificeerd.

# 6 Milieugevolgen van de voorgenomen

# 6



## 6.1 Vergelijking alternatieven

*Bij de vergelijking van de alternatieven zijn opnieuw alleen die grootheden betrokken waarvan gebleken is dat deze door de voorgenomen activiteiten of de alternatieven worden beïnvloed. De niet-nucleaire milieugevolgen worden geen van alle beïnvloed.*

De voorgenomen activiteiten zijn uitgedrukt in de 'maximale' mogelijkheden, te weten 40% MOX en c-ERU waar vergunning voor wordt aangevraagd. Als alternatieven wordt de inzet van 26, 53 en 73 % MOX behandeld.

In het MER is een compleet overzicht gegeven van alle effecten van de beschouwde alternatieven.

## 6.2 Reactorfysica

EPZ heeft veiligheidsstudies laten uitvoeren naar de gevolgen van de inzet van c-ERU en MOX in de KCB.

Op dit moment draagt plutonium aan het eind van de cyclus (vlak voor de splijtstofwisselperiode) ongeveer 40% bij aan de energieproductie. Bij de inzet van MOX stijgt de bijdrage van plutonium-239 aan de energieopbrengst tot ongeveer 50%. De reactorfysische eigenschappen van plutonium-239 zijn anders dan die van uranium-235. Toch leidt de toenemende bijdrage van de splijting van plutonium-239 aan de totale energieproductie niet tot merkbaar ander gedrag van de reactor tijdens normaal bedrijf.

Wel blijkt dat als gevolg van MOX er sprake is van een verminderde werkzaamheid van de chemische stof boor (boor-10). Opgelost in de vorm van boorzuur in het reactorkoelwater regelt en beheerst deze stof het kernsplijtingsproces. Dit nadeel kan door een aangepaste samenstelling van het boorzuur gecompenseerd worden. Natuurlijk boor bevat circa 20% van het werkzame boor-10. Als natuurlijk boor wordt verrijkt

tot 32% boor-10 zijn alle regel- en veiligheidsfuncties gewaarborgd. Dit is de enige wezenlijke aanpassing van de reactorbedrijfsvoering die voor gebruik van MOX in de KCB vereist blijkt te zijn.

Verder neemt de effectiviteit van de regelstaven om neutronen te absorberen af. De regelstaven absorberen echter zo sterk neutronen dat het niet nodig is voor deze afgenomen effectiviteit te compenseren. Wel wordt de wijze waarop regelstaven worden gebruikt voor het regelen van de reactor bij het ongepland afschakelen van een hoofdkoelmiddelpomp gewijzigd. De invloed van de toegenomen bijdrage van plutonium-239 aan de energieproductie heeft ook invloed op het gedrag van de reactor onder ongevalssituaties. Daarom zijn de ontwerp-ongevallen en buiten-ontwerpongevallen opnieuw beschouwd.

## 6.3 Veiligheid

In tabel S.1 wordt een overzicht gegeven van de berekende gevolgen bij ontwerpongevallen en buiten-ontwerpongevallen voor de voorgenomen activiteiten en de alternatieven.

Uit de tabel blijkt dat voor de verschillende MOX-varianten en voor c-ERU de maximale doses voor de bevolking klein zijn bij de ontwerpongevallen. Zij blijven beneden de wettelijke grenzen.

De invloed van de voorgenomen activiteiten op de risico's van buiten-ontwerpongevallen is zeer

Tabel S.1 Gevolgen ontwerpgevallen en buiten-ontwerpgevallen voor de voorgenomen activiteiten en alternatieven.

Milieu-effect	Samenstelling reactorkern					
	Bestaande activiteit	Alternatief 1: 26% MOX	Voorgenomen activiteit: 40% MOX	Alternatief 2: 53% MOX	Alternatief 3: 73% MOX	Voorgenomen activiteit c-ERU:
<b>Ontwerpgevallen:</b>						
- Maximale effectieve dosis (mSv)	0,68	0,69	0,70	0,69	0,70	0,70
- Maximale schildklierdosis (mSv)	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	4,5
<b>Buiten-ontwerpgevallen:</b>						
- Maximaal individueel risico (per jaar)	$1,9 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$
- Groepsrisico bij 10 slachtoffers	$5,6 \cdot 10^{-9}$	$5,5 \cdot 10^{-9}$	$5,6 \cdot 10^{-9}$	$5,4 \cdot 10^{-9}$	$5,8 \cdot 10^{-9}$	$5,6 \cdot 10^{-9}$

gering. Het individueel risico en het groepsrisico bij elk van de voorgenomen activiteiten (inzet van 40% MOX en c-ERU) en alternatieven verschillen nauwelijks van het individueel risico en het groepsrisico in de huidige situatie en blijven ruimschoots onder de grenswaarden.

Bij gebruik van MOX zal per transport ongeveer de helft van het aantal splijtstofelementen worden vervoerd dat bij ENU per transport wordt vervoerd. Hierdoor verdubbelt het (conservatief berekende) risico van de transporten. Doordat de transportrisico's zeer laag zijn, betekenen de berekende verdubbelingen van doses en risico's voor de toepassing van MOX geen significante veranderingen in stralingsbelasting en risico. Het gaat hier om doses voor omwonenden, weggebruikers en treinreizigers tijdens regulier transport en individueel risico bij transport-ongevallen.

De medewerkers van EPZ die de ontvangst en 'handling' van de nieuwe splijtstofelementen verzorgen, zullen een hogere stralingsbelasting ondervinden. Deze individuele doses blijven echter ruim onder de wettelijke limiet van 20 mSv/jaar voor werknemers en de interne limiet van 3 mSv/jaar die EPZ zelf hanteert. Het betreft een tiental medewerkers. De jaarlijkse individuele dosis ontvangen tijdens deze werkzaamheden wordt voor deze medewerkers verhoogd van  $<0,05$  mSv/jaar naar  $<0,1$  en  $<1,0$  mSv/jaar voor de aanvoer van respectievelijk c-ERU- en

MOX-elementen. Dit geldt in gelijke mate voor zowel de voorgenomen activiteiten als voor de alternatieven.

De hoeveelheid radioactiviteit van MOX-elementen 500 dagen na afschakeling is circa 30% hoger dan van de huidige elementen op hetzelfde tijdstip (zie tabel S.3). Daarom moeten deze elementen over het algemeen één à twee jaar langer in het splijtstofopslagbassin van de centrale bewaard worden voordat ze kunnen worden afgevoerd. Door de langere afkoeltijd en door een ander ontwerp van de transportverpakking te gebruiken, zullen de voorgenomen activiteiten en de alternatieven de opgelopen doses verbonden aan de afvoer van de gebruikte splijtstofelementen niet verhogen.

## 6.4 Luchtkwaliteit en straling bij normaal bedrijf

De stralingsbelastingen bij normaal bedrijf voor de voorgenomen activiteiten en de alternatieven zijn samengevat in tabel S.2. Hieruit blijkt dat deze belastingen door de voorgenomen activiteiten of de alternatieven niet negatief worden beïnvloed.

## 6.5 Radioactief afval en plutonium

In tabel S.3 staat de vergelijking van de voorgenomen activiteiten en de alternatieven ten aanzien van hoogradioactief afval en de plutoniumproductie.

Het gemiddeld aantal opgebrachte elementen per jaar zal door de voorgenomen activiteit of de alternatieven niet wijzigen. Het gevolg is dat de hoeveelheid hoogradioactief afval die uiteindelijk opgeslagen moet worden gelijk blijft.

De verschillen in midden- en laagradioactief afval zijn verwaarloosbaar.

Bij inzet van MOX wordt plutonium verbruikt. Het grootste verschil tussen de alternatieven is de netto hoeveelheid plutonium die verbruikt wordt. Uit de berekeningen blijkt dat deze toeneemt naarmate meer MOX wordt ingezet.

Risico's voor verspreiding van kernwapens verminderen door de inzet van MOX, zowel voor de voorgenomen activiteit als de alternatieven.

Tabel S.2 Gevolgen van de voorgenomen activiteiten en de alternatieven voor de stralingsbelastingen bij normaal bedrijf.

Milieu-effect	Samenstelling reactorkern					
	Bestaande activiteit	Alternatief 1: 26% MOX	Voorgenomen activiteit: 40% MOX	Alternatief 2: 53% MOX	Alternatief 3: 73% MOX	Voorgenomen activiteit: c-ERU
<b>Normaal bedrijf:</b>						
- Maximale individuele dosis (mSv/jaar) bij gem. lozing	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$< 2,2 \cdot 10^{-5}$	$< 2,2 \cdot 10^{-5}$	$< 2,2 \cdot 10^{-5}$	$< 2,2 \cdot 10^{-5}$	ca. $2,2 \cdot 10^{-5}$
- Maximale individuele dosis (mSv/jaar) bij max. lozing	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$< 3,8 \cdot 10^{-5}$	$\leq 3,8 \cdot 10^{-5}$	$\leq 3,8 \cdot 10^{-5}$	$\leq 3,8 \cdot 10^{-5}$	ca. $3,8 \cdot 10^{-5}$
- Directe straling (mSv/jaar)	$4,3 \cdot 10^{-3}$	ca. $4,3 \cdot 10^{-3}$	ca. $4,3 \cdot 10^{-3}$	ca. $4,3 \cdot 10^{-3}$	ca. $4,3 \cdot 10^{-3}$	ca. $4,3 \cdot 10^{-3}$

Tabel S.3 Gevolgen van de voorgenomen activiteiten en de alternatieven voor het hoogradioactief afval en de plutoniumproductie.

Milieu-effect	Samenstelling reactorkern					
	Bestaande activiteit	Alternatief 1: 26% MOX	Voorgenomen activiteit: 40% MOX	Alternatief 2: 53% MOX	Alternatief 3: 73% MOX	Voorgenomen activiteit: c-ERU
<b>Radioactief afval</b> Opgebrachte elementen (per jaar)						
- U-elementen	28	20	16	12	8	28
- MOX-elementen	0	8	12	16	20	0
<b>- Hoeveelheid radioactiviteit van 1 element 500 dagen na afschakelen (Bq)</b>						
- U-elementen	$2,74 \cdot 10^{16}$	$2,74 \cdot 10^{16}$	$2,74 \cdot 10^{16}$	$2,81 \cdot 10^{16}$	$2,67 \cdot 10^{16}$	$2,80 \cdot 10^{16}$
- MOX-elementen	-	$3,34 \cdot 10^{16}$	$3,34 \cdot 10^{16}$	$3,52 \cdot 10^{16}$	$3,52 \cdot 10^{16}$	-
- Netto productie plutonium (kg/jaar)	93	-9,4	-63	-120	-170	100



De totale hoeveelheid plutonium neemt af en de mogelijke militaire bruikbaarheid van het plutonium verslechtert door een toename van het percentage plutonium-240. De effecten van de voorgenomen inzet van c-ERU zijn uit het oogpunt van non-proliferatie niet significant.

## 6.6 Veranderingen in de splijtstofcyclus

De inzet van MOX- en c-ERU-elementen leidt ook tot enkele veranderingen in de splijtstofcyclus. Het merendeel van deze activiteiten vindt plaats in het buitenland, is daar vergund en valt onder de verantwoordelijkheid van andere bedrijven en nationale overheden.

Door de inzet van 40% MOX en c-ERU heeft EPZ minder natuurlijk uranium en dus ook minder uraniumerts nodig. Kwalitatief kan daarom gesteld worden dat de voorgenomen activiteiten een positief effect hebben op de radiologische belasting van de omgeving en van de medewerkers in de ertswinning en extractie-industrie.

Het gebruik van gerecyclede materialen (c-ERU en MOX) kan additionele risico's opleveren voor de werknemers die betrokken zijn bij de productie van MOX- en c-ERU-splijtstof en splijtstof-elementen. Deze risico's worden in de industrie echter effectief beheerst door extra stralingsafscherming, handschoenenkasten en processen met afstandbediening. Daarom zijn de radiologische gevolgen van de voorgenomen activiteiten voor de splijtstofproductie niet significant.

Wat betreft de opwerkingsfabriek in La Hague in Frankrijk zullen de voorgenomen activiteiten geen invloed hebben. Niet op de bedrijfsprocessen, de gevolgen voor werknemers of op de omgeving. In de bestaande situatie wordt namelijk ook al MOX- en c-ERU-splijtstof opgewerkt; daarbij zijn er geen veranderingen in de radiologische effecten ten opzichte van het opwerken van verrijkt natuurlijk uranium.

De productie van MOX uit het bij opwerking verkregen plutonium vindt plaats in de MELOX fabriek in Zuid-Frankrijk. Jaarlijks vinden er tussen de 100 en 200 plutonium transporten vanuit La Hague naar de MELOX fabriek plaats. De MELOX fabriek heeft een capaciteit van 195 ton per jaar. De voorgenomen activiteit houdt in

dat EPZ hiervan gemiddeld 3 ton gaat afnemen en heeft dus een relatief milieueffect van 1 à 2% op de gevolgen van de reeds gangbare transporten.

## 6.7 Overzicht effecten en conclusies

Uit de voorgaande paragrafen en het MER blijkt dat niet-nucleaire milieuaspecten en de volgende nucleaire gevolgen niet (significant) worden beïnvloed:

- radiologische doses bij normaal bedrijf
- kriticaliteit splijtstofopslagbassin
- hoeveelheid (hoog)radioactief afval
- radiologische doses bij de afvoer van gebruikte splijtstofelementen
- de risico's bij transportongevallen
- dosis voor EPZ-medewerkers betrokken bij de afvoer van gebruikte splijtstofelementen
- de doses in de splijtstofcyclus.

De wel beïnvloede milieuaspecten zijn samengebracht in tabel S.4.

De conclusies uit het voorgaande zijn:

1. De voorgenomen activiteiten zijn niet van invloed op de niet-nucleaire milieuaspecten. Ook zijn ze niet van invloed op een groot aantal nucleaire aspecten. Denk aan de radiologische belastingen voor de bevolking bij normaal bedrijf, de doses voor medewerkers van andere bedrijven in de splijtstofcyclus, de hoeveelheid (hoog)radioactief afval, het individuele risico op late sterfte als gevolg van transportongevallen en de radiologische doses voor alle betrokkenen bij de afvoer van gebruikte splijtstofelementen (inclusief omwonenden en verkeersdeelnemers).
2. De variaties in de maximale doses zijn bij de ontwerpgevallen klein voor de verschillende MOX-varianten en voor c-ERU. Zij blijven beneden de wettelijke grenzen.
3. De invloed van de voorgenomen activiteiten op de risico's van buiten-ontwerpgevallen is zeer gering. Het individueel risico en het groepsrisico bij elk van de voorgenomen activiteiten (inzet van 40% MOX en c-ERU) en alternatieven verschillen nauwelijks van het individueel risico en het groepsrisico in de huidige situatie. Ze blijven ruimschoots onder de grenswaarden.

Tabel S.4 Vergelijking van de beïnvloede milieuaspecten voor de bestaande activiteit (= nulalternatief) en de voorgenomen activiteiten en de alternatieven.

Milieu-effect	Samenstelling reactorkern					
	Bestaande activiteit	Alternatief 1: 26% MOX	Voorgenomen activiteit: 40% MOX	Alternatief 2: 53% MOX	Alternatief 3: 73% MOX	Voorgenomen activiteit: c-ERU
<b>Radioactief afval</b> Hoeveelheid radioactiviteit van 1 element 500 dagen na afschakelen (Bq)						
- U-elementen	$2,74 \cdot 10^{16}$	$2,74 \cdot 10^{16}$	$2,74 \cdot 10^{16}$	$2,81 \cdot 10^{16}$	$2,67 \cdot 10^{16}$	$2,80 \cdot 10^{16}$
- MOX-elementen	-	$3,34 \cdot 10^{16}$	$3,34 \cdot 10^{16}$	$3,52 \cdot 10^{16}$	$3,52 \cdot 10^{16}$	-
- Netto productie plutonium (kg/jaar)	93	-9,4	-63	-120	-170	100
<b>- Regulier transport</b> (aanvoer van verse splijstofelementen)						
- individuele dosis EPZ-personeel (mSv/jaar)	< 0,05	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 0,1

- De medewerkers van EPZ die de nieuwe elementen ontvangen en behandelen krijgen een hogere stralingsbelasting. Het betreft een tiental medewerkers. De jaarlijkse individuele dosis ontvangen tijdens deze werkzaamheden wordt voor deze medewerkers verhoogd van <0,05 mSv/jaar naar <0,1 en <1,0 mSv/jaar voor de aanvoer van respectievelijk c-ERU- en MOX-elementen. Hoe hoger de inzet van MOX, hoe hoger de ontvangen dosis. Echter voor alle MOX-alternatieven blijft de dosis <1,0 mSv/jaar.
- Bij de inzet van MOX neemt 500 dagen na afschakeling de hoeveelheid radioactiviteit in de gebruikte splijstofelementen met circa 30% toe ten opzichte van de huidige elementen. Door langere afkoeling en toepassing van een ander ontwerp van de transportverpakking zal de stralingsbelasting van het personeel van EPZ niet hoger worden.
- Bij de inzet van MOX wordt plutonium verbruikt. Er wordt netto meer plutonium verbruikt naarmate meer MOX wordt ingezet.
- De risico's voor verspreiding van kernwapens verminderen door de inzet van MOX voor zowel de voorgenomen activiteit als de alternatieven. De totale hoeveelheid plutonium neemt af en door een toename van het percentage (onsplijtbaar) plutonium-240 verslechtert de militaire bruikbaarheid van het plutonium. De effecten van de voorgenomen inzet van c-ERU zijn uit het oogpunt van non-proliferatie niet significant.

- Door de inzet van MOX- en c-ERU-elementen is er minder natuurlijk uranium nodig dan bij gebruik van verrijkt natuurlijk uranium. Er is dus ook minder uraniumerts nodig, wat een positief effect heeft op de radiologische belasting van de bevolking en medewerkers ten gevolge van ertswinning en extractie.

Ten aanzien van de bedrijfsvoering, proliferatie en de splijstofcyclus zijn de milieuverschillen tussen de alternatieven gering. De alternatieven zijn wat betreft de beïnvloeding van het milieu min of meer gelijkwaardig. Het aandraagen en behandelen van een meest milieu vriendelijk alternatief brengt vanwege deze geringe verschillen geen extra inzicht.

# 7 Verklarende woordenlijst

## Begrippen

### Activiteit

Het aantal spontane atoomkernmutaties in een hoeveelheid radioactieve stof per seconde (eenheid: becquerel, Bq).

### Begingeburtenis

(Veronderstelde) gebeurtenis die het begin kan zijn van een ongeval.

### Buiten-ontwerp ongeval

Een verondersteld ongeval waarvoor de installatie niet is ontworpen.

### Compensatieprincipe

Bij toepassing van verrijkt gerecycled uranium: het hoger verrijken van het gerecycled uranium dan verrijkt natuurlijk uranium, ter compensatie van niet natuurlijke uraniumisotopen die het kernsplijtingsproces minder efficiënt maken.

### Dosis

Geabsorbeerde stralingsenergie per massa-eenheid (eenheid: Gray, Gy).

### Drukwaterreactor

Reactor waarin de opgewekte warmte door koelwater dat onder druk staat (en daardoor niet kookt) en via een stoomgenerator wordt overgedragen aan een secundair systeem waarin stoom ontstaat die een turbine aandrijft.

### Effectieve dosis

Maat voor de globale dosis van het lichaam als geheel.

### Element

Zie splijtstofelement.

### Emissie

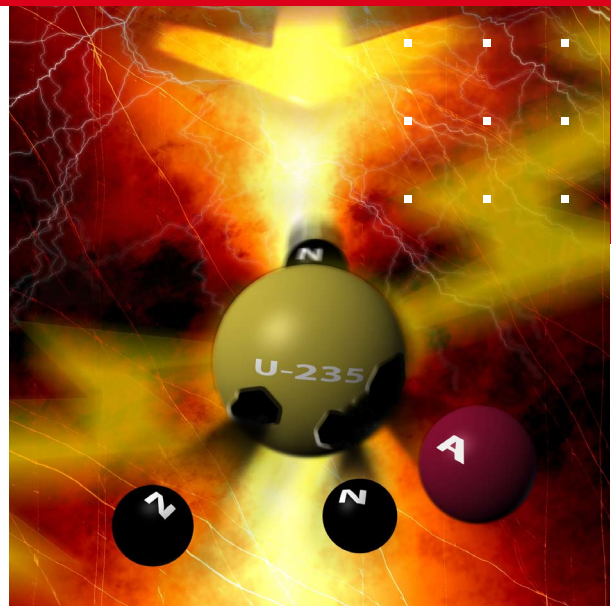
Uitworp (lozing) van stoffen in het milieu.

### Enriched Natural Uranium

Verrijkt natuurlijk uranium.

### Enriched Reprocessed Uranium

Verrijkt gerecycled uranium. Dit uranium is in het algemeen hoger verrijkt uranium dan verrijkt natuurlijk uranium, ter compensatie van niet natuurlijke uraniumisotopen die het kernsplijtingsproces minder efficiënt maken.



# 7

### Ioniserende straling

Straling die opname of afgifte van elektronen door atomen of moleculen kan veroorzaken.

### Kernsplijting

Het splijten van een atoomkern in twee (lichtere) delen.

### Kriticaliteit

Toestand van de reactor ten opzichte van de kritieke toestand.

### Mengoxide

Een splijtstof samengesteld uit een mengsel van uraniumdioxide en plutoniumdioxide.

### Neutron

Ongeladen deeltje uit atoomkernen.

### Normaal bedrijf

Onder normaal bedrijf valt het bedrijf binnen gespecificeerde bedrijfslimieten en -condities, inclusief het uitbedrijf zijn, opstarten, vermogensbedrijf, afschakelen, onderhoud, testen en splijtstofwisselen.

### Nuclide

Een soort atoomkern gekenmerkt door het aantal protonen en het aantal neutronen in de kern.

### Onderkriticaliteit

Mate waarin een hoeveelheid splijtstof zich beneden de kritieke toestand bevindt.

# 7

## Ongeval

Met een ongeval wordt een afwijking van normaal bedrijf of storingen bedoeld waarna het bedienen van de installatie uit veiligheids-technisch oogpunt niet zonder meer voortgezet kan worden.

## Ongevalseanalyse

Formele studie omtrent het verloop van een ongeval (bij ontwerpgevallen).

## Ontwerp ongeval

Ongeval waarop de installatie is ontworpen en dus tegen bestand is en waarbij de afgifte van radioactieve stoffen dus binnen acceptabele limieten blijft.

## Opbrand

Versplijtingsgraad. Een maat voor de fractie van het splijtbaar materiaal dat is verspleten, uitgedrukt in de totale hoeveelheid energie opgewekt per massa-eenheid zwaar metaal. De opbrand kan gezien worden per (deel van de) splijfstofstaaf, per splijstofelement dan wel voor de gehele of het ontladen deel van de kern.

## Pu-splijtbaar

Het massagehalte van de splijtbare isotopen plutonium-239 en plutonium-241 in verse MOX-splijfstof uitgedrukt als fractie van de massa van alle zware metalen.

## Reactiviteit

Mate waarin de kettingreactie in een kernreactor voortgang vindt.

## Reactor

Installatie waarbinnen een beheerste kettingreactie van kernsplijtingen op gang gehouden wordt.

## Regelement/staven

Een regelement/staven steekt in een splijstof-element. Door het regelement/staven meer of minder in het splijstofelement te steken kan het vermogen van de reactor worden geregeld en kan deze worden afgeschakeld.

## Risico

Ongewenste gevolgen van een bepaalde gebeurtenis verbonden met de kans dat deze zich zullen voordoen.

## Splijststof

Stof waarmee in een kernreactor een kettingreactie van kernsplijtingen in stand kan worden gehouden.

## Splijstofelement

Constructie van aan elkaar gemonteerde splijstofstaven.

## Splijststofopslagbassin

Met geboreerd water gevuld bassin waarin gebruikte en nieuwe splijstofelementen tijdelijk worden opgeslagen.

## Splijststofstaaf

Buis waarin de splijststof zich bevindt in de vorm van een zuil tabletten splijststof.

## Splijststofstaafomhulling

Buis waarin de splijstoftabletten gestapeld worden.

## Splijstoftabletten

Tabletten van splijststof waarmee, in een kolom gestapeld, splijstofstaven gevuld worden.

## Splijststofwisseling

Verwisseling van gebruikte splijstofelementen onderling of door verse elementen.

## Storing

Onder een storing worden alle bedrijfstoestanden gerekend die afwijken van normaal bedrijf en waarvan verwacht kan worden dat ze eens of enkele malen gedurende de bedrijfsperiode van de installatie op kunnen treden. Als gevolg van voorzieningen in het ontwerp veroorzaken deze toestanden geen wezenlijke schade aan veiligheidsrelevante onderdelen en leiden zij niet tot een ongeval.

## Verrijking

Het proces ter verhoging van de concentratie van het werkzame (b.v. splijtbare) materiaal in een stof (b.v. splijststof).

## Verrijkingsgraad

Massapercentage splijtbaar materiaal in een splijststof, meestal het gewichtspercentage uranium-235 van de totale massa aan uranium in uranium splijststof.

## Afkortingen

<b>Bkse</b>	Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen
<b>c-ERU</b>	<i>Compensated Enriched Recycled Uranium</i>
<b>ENU</b>	<i>Enriched Natural Uranium</i>
<b>EPZ</b>	N.V. Electriciteits-productie-maatschappij Zuid-Nederland
<b>ERU</b>	<i>Enriched Recycled Uranium</i>
<b>KCB</b>	Kernenergiecentrale Borssele
<b>Kew</b>	Kernenergiewet
<b>KFD</b>	Kernfysische Dienst
<b>MER</b>	Milieueffectrapport
<b>MW</b>	MegaWatt
<b>MOX</b>	Mengoxide ( <i>Mixed Oxide</i> ) van plutonium en uranium
<b>RepU</b>	<i>Reprocessed Uranium</i>
<b>VR</b>	Veiligheidsrapport

## Symbolen, eenheden

<b>°C</b>	Graad Celcius
<b>F</b>	Frequentie
<b>E</b>	Effectieve dosis
<b>Gew %</b>	percentage in massa uitgedrukt, in splijtstof betrekking hebbend op de zware metalen
<b>kg</b>	kilogram
<b>m</b>	meter
<b>mSv</b>	milliSievert; eenheid van dosis-equivalent uitgedrukt in energie per massa-eenheid
<b>MWd/kgZM</b>	MegaWattdag per kilogram Zwaar Metaal (eenheid voor opbrand van splijtstof)
<b>%</b>	percentage, in splijtstof-samenstelling toegepast als percentage in massa uitgedrukt
<b>U</b>	Uranium





## **Colofon**

Teksten en productie NRG / EPZ Projectgroep Brandstofdiversificatie

Fotografie Ruden Riemens, Middelburg / Archief EPZ

Vormgeving & digitaal drukwerk Chris Cras Reclame, Lekkerkerk



Zeedijk 32, 4454 PM Borssele  
Postbus 130, 4380 AC Vlissingen  
Telefoon 0113 - 356 000  
E-mail: [info@epz.nl](mailto:info@epz.nl)  
Website: [www.mengoxide.nl](http://www.mengoxide.nl) / [www.epz.nl](http://www.epz.nl)