ARCADIS Design & Consultancy for natural and built assets

EVALUATIE MER BRANDSTOFDIVERSIFICATIE EPZ

Gebruik van Mixed-Oxide splijtstof in de Kerncentrale Borssele

16 MEI 2017
DEFINITIEF

Contactpersonen

MATTHIJS ENGELBERT VAN BEVERVOORDE
Projectleider Milieu

M +31 6 54 633 192
E matthijs.engelbertvanbevervoorde@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 264
6800 AG Arnhem
Nederland

JOS JEHEE
Nucleair/Werktuigbouwkundig ingenieur

M
E jos_jehee@solcon.nl

INHOUDSOPGAVE

Contactpersonen 2

1 INLEIDING 5

1.1 Achtergrond 5

1.2 Doelstelling evaluatie 6

1.3 Leeswijzer 6

2 METHODOLOGIE 7

2.1 Algemeen 7

2.1.1 C-ERU splijtstofelementen 7

2.2 Bureauonderzoek 7

2.2.1 Meetgegevens en dosisgegevens 7

2.2.1.1 Lozingen naar de omgeving 8

2.2.1.2 Directe straling aan de terreingrens 8

2.2.1.3 Dosis voor medewerkers 8

2.2.2 Ontwikkelingen betreffende het gebruik van MOX-splijtstof 8

2.2.3 Betrokken bestuursorganen 9

2.3 Locatiebezoek 9

3 REFERENTIEKADER VOOR DE EVALUATIE 10

3.1 Situatie vóór inzet MOX-splijtstof 10

3.2 Veiligheid 11

3.2.1 Reactorfysische verificatiemetingen 11

3.2.2 Bedrijfsvoering en navolging ALARA-beginsel 11

3.2.3 Onderkriticiteit in het splijtstofopslagbassin 12

3.3 Veiligheidstechnische randvoorwaarden 12

3.3.1 Ongevalsanalyses 12

3.3.1.1 Kerninventaris 12

3.3.1.2 Veiligheidsrapport 12

3.4 Lozing en stralingsbelasting 12

3.4.1 Lozingen naar de omgeving 12

3.4.2 Directe straling aan de terreingrens 13

3.4.3 Dosis voor medewerkers 14

3.5 Radioactief afval en verbruikte splijtstofelementen 15
3.6 Overige aspecten 15
3.6.1 Transport 15
3.6.2 Ecologische effecten 16

4 MONITORING MILIEUASPECTEN 17
4.1 Inleiding 17
4.2 Veiligheid 17
4.2.1 Reactorfysische verificatiemetingen 17
4.2.1.1 Verificatiemeting van reactiviteitscontrole en vermogensverdeling 17
4.2.1.2 Valtijdmetingen regelstaven 18
4.2.1.3 MOX-monitoringprogramma 18
4.2.2 Bedrijfsvoering en navolging ALARA-beginsel 18
4.2.3 Evaluatie van gemelde storingen 19
4.3 Veiligheidstechnische randvoorwaarden 19
4.4 Lozing en stralingsbelasting 20
4.4.1 Lozingen naar de omgeving 20
4.4.1.1 Lozingen naar lucht en water 20
4.4.1.2 Biologische en Radiologische waterkwaliteit 21
4.4.1.3 Bodemkwaliteit 21
4.4.2 Stralingsbelasting 21
4.4.2.1 Directe straling aan de terreingrens 21
4.4.2.2 Dosis voor medewerkers 22
4.5 Radioactief afval en gebruikte splijtstofelementen 22
4.6 Overige aspecten 23
4.6.1 Transport 23
4.6.2 Veranderingen in de splijtstofcyclus 24
4.6.3 Ecologische effecten 24

5 ONTWIKKELINGEN INZAKE MOX-SPLIJTSTOF 25
5.1 Ervaringen in het gebruik van MOX-splijtstof 25
5.2 Ontwikkelingen in richtlijnen en regelgeving betreffende stralingsrisico's 25

6 CONCLUSIE 26

7 BIBLIOGRAPHY 28

1 INLEIDING

1.1 Achtergrond

De N.V. Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland (EPZ) exploiteert in Borssele de kernenergie-centrale Borssele (KCB) met een elektrisch vermogen van 512 MW. EPZ is voornemens om de KCB te bedrijven tot en met december 2033.

Naast programma's om de nucleaire veiligheid op het hoogste peil te handhaven ontwikkelt EPZ-activiteiten om te anticiperen op ontwikkelingen in de markt voor nucleaire splijtstoffen om de bedrijfseconomie van de KCB optimaal te houden. Zoals in het MER beschreven gaf een economische inventarisatie van EPZ aan dat de belangrijkste mogelijkheden tot kostenbeheersing moeten worden gezocht in de aanschaf van splijtstof en de verwerking van gebruikte splijtstof. De conclusie van de inventarisatie was dat er twee interessante mogelijkheden zijn om de splijtstofkosten te beheersen:

1. toepassing van mengoxide (MOX), een mengsel van plutonium en uranium, waarbij het plutonium uit eerder gebruikte splijtstof wordt ingezet;
2. toepassing van gecompenseerd verrijkt gerecycled uranium (c-ERU), waarbij uranium uit gebruikte splijtstof wordt benut.

EPZ heeft de kosten van MOX-inzet afgewogen tegen die voor uraniumerts, verrijkingsarbeid en verwerkingskosten. De uitkomst van deze afweging heeft tot de conclusie geleid dat het voor EPZ aantrekkelijk is om MOX-splijtstof toe te passen (EPZ a, 2010).

In 2010 heeft EPZ vervolgens een aanvraag tot wijziging van de kernenergiewetvergunning betreffende Brandstofdiversificatie gedaan. Deze aanvraag werd ondersteund door het daarvoor verplichte Milieueffectenrapport MER Brandstofdiversificatie (EPZ b, 2010), hierna genoemd het MER. In 2011 heeft de minister van Economische Zaken de vergunning voor de brandstofdiversificatie verleend.

Tabel 1 Splijtstoftypen behandelt in het MER

Splijtstof	Beschrijving
ENU	Verrijkt natuurlijk uranium is de meest gebruikte splijtstof. Natuurlijk uraniumerts bevat: • 99,3 % niet-splijtbare uranium-238 atomen • 0,7 % wel-splijtbare uranium-235 atomen. Voor een efficiënt kernsplijtingsproces zijn hogere concentraties splijtbare atomen nodig. Daarom wordt in commerciële splijtstof de concentratie uranium-235 verhoogd tot vier à vijf procent. Dit proces noemen we verrijking
c-ERU	Gecompenseerd verrijkt gerecycled uranium is een vorm van verrijkt gerecycled uranium. Verrijkt gerecycled uranium is de oudste vorm van hergebruik. De grondstof voor ERU, Reprocessed Uranium (RepU), komt vrij bij het opwerken van gebruikte splijtstof. De effectieve verrijkingsgraad van ERU is, door de aanwezigheid van uranium-236 lager dan die van verrijkt natuurlijk uranium met dezelfde verrijkingsgraad. Om even efficiënt te zijn als verrijkt natuurlijk uranium, dient daarom voor ERU een hogere verrijkingsgraad te worden toegepast (compensatieprincipe).
MOX	MOX-splijtstof (mengoxide) is een vorm van nucleaire splijtstof die uit meerdere oxiden van splijtbaar materiaal bestaat. Het is een mengsel van plutonium en natuurlijk uranium, opgewerkt uranium of verarmd uranium. MOX is een alternatief voor het laagverrijkt uranium dat in de meeste kernreactoren, zoals ook die van EPZ, wordt gebruikt. Het voorgenomen gebruik door EPZ als aangegeven in het MER betreft een mengsel van maximaal 5,41 gewichts% Pu-splijtbaar (239-Pu en 241-Pu) met verarmd Uraniumoxide waarmee eenzelfde vermogensproductie kan worden bereikt als met 4,4 gewichts % U-235.
Gebruik van MOX is een manier om plutonium, wat een bijproduct is van het kernsplijtingsproces, op een nuttige manier toe te passen voor energieproductie. Volgens het jaarverslag van 2015 van het Voorzieningenagentschap van Euratom wordt jaarlijks in de EU ongeveer 11 ton plutonium als MOX gerecycled wat 6 procent besparing oplevert op het verbruik van uraniumerts. *In Nederland wordt sinds juni 2014 MOX ingezet in de KCB. Volgens de vergunning die EPZ daarvoor heeft gekregen, mogen maximaal 48 van de 121 splijtstofelementen (40%) in de reactor MOX bevatten.*	

De voorliggende evaluatie van het MER is uitgevoerd in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS).

1.2 Doelstelling evaluatie

De Wet milieubeheer en de vergunning uit 2011[1] schrijven voor dat de gevolgen voor het milieu door het toepassen van brandstofdiversificatie dienen te worden geëvalueerd door het bevoegd gezag. Het voorliggend document is het verslag van de toetsing van de uitgangspunten tegen de feitelijke situatie.

De vergunning schrijft voor dat de evaluatie de periode zal bestrijken vanaf de eerste inzet van MOX-voorloperelementen in de kern van de reactor tot en met twee jaren na het moment van de maximale inzet (40 %) MOX-splijtstofelementen. Bij de splijtstofwissel van juni 2014 zijn de eerste 8 MOX-splijtstofelementen in de kern geplaatst, waarmee EPZ gestart is met de inzet van MOX. In 2015 zijn 12 MOX-splijtstofelementen toegevoegd en in 2016 wederom 12. Voor de splijtstofwissel van 2017 staat gepland dat nogmaals 12 ENU-splijtstofelementen worden vervangen door MOX-splijtstofelementen, waardoor het totaal aan MOX-splijtstofelementen op 44 komt. De maximale belading wordt waarschijnlijk in 2018 bereikt. De evaluatie zou in dat geval twee jaar later, dat wil zeggen in 2020 moeten plaatsvinden. De ANVS wil hier niet op wachten en al eerder inzicht hebben in de mogelijke effecten van de inzet van MOX. Een vervolgevaluatie, bijvoorbeeld in 2020, wordt met de voorliggende evaluatie niet uitgesloten.

In het MER zijn de verwachtingen gebaseerd op een inzet van 40% MOX-splijtstof. Eind 2016 was sprake van 26% inzet. Bij een vergelijking dient met deze nog niet volledige inzet van MOX rekening te worden gehouden.

De evaluatie dient ten minste de volgende onderwerpen te evalueren:

1. de ontwikkeling van het milieu ter plaatse van de inrichting te Borssele, dit mede in relatie tot de resultaten uit de lozings- en meetprogramma's als bedoeld in de vergunningvoorschriften;
2. de bij de besluitvorming gehanteerde uitgangspunten inzake veiligheid en de uitvoering van het ALARA-(As Low As Reasonably Achievable) beginsel;
3. verificatie van de gehanteerde veronderstellingen ten aanzien van de veilige bedrijfsvoering met de inzet van c-ERU en MOX-splijtstof binnen de veiligheidstechnische en thermohydraulische randvoorwaarden;
4. de bevindingen in relatie tot vergunningvoorschrift II.A.10 betreffende de zekerstelling dat de MOX HTP-type splijtstofelementen gekwalificeerd blijven bij "opbrand" boven 60 MW dag/ kg splijtstof;
5. gebeurtenissen waarbij zich een (onmiddellijke dreiging van een) buitennormale lozing voordeed of gebeurtenissen die overeenkomstig vergunningvoorschrift II.B.24, II.D.7 of II.D.9 uit de vergunning splijtstofdiversificatie uit 2011 zijn gemeld;
6. de ontvangen dosis voor medewerkers, specifiek de dosis opgelopen bij de ontvangst van nieuwe MOX-splijtstofelementen;
7. de ontwikkelingen in kennis inzake het gebruik van MOX-splijtstofelementen bij andere centrales.

In het hoofdstuk Conclusie worden de resultaten voor ieder subdoel beschreven.

1.3 Leeswijzer

Onderliggend evaluatieverslag gaat in hoofdstuk 2 in op de gebruikte methodologie om tot een gedegen evaluatie van het MER Brandstofdiversificatie te komen. In hoofdstuk 3 wordt het referentiekader geschetst op basis van het MER en meer recente informatie uit 2013, dat wil zeggen vóór de inzet van MOX-splijtstof in juni 2014. De monitoring van de verschillende milieuaspecten ná de inzet van MOX-splijtstof, dus na juni 2014, is in hoofdstuk 4 beschreven. Hoofdstuk 5 bevat een toelichting op recente internationale ontwikkelingen en bedrijfservaringen elders ten aanzien van de inzet van MOX-splijtstof. Hoofdstuk 6 sluit af met een conclusie.

[1] Deze is inmiddels van rechtswege vervangen door de revisievergunning van juli 2016 die op 9 september 2016 in werking is getreden. Deze vergunning is vanwege de lopende beroepsprocedure nog niet onherroepelijk.

2 METHODOLOGIE

2.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt de methodologie van evalueren beschreven en onderbouwd. Het referentiekader voor deze evaluatie is de bestaande toestand van het milieu, zoals beschreven in het MER. Naast de gegevens uit het MER is informatie gebruikt uit milieujaarverslagen, stralingsniveaumetingen van het RIVM, overige rapporten en onderzoeken beschikbaar gesteld door de ANVS en openbaar te raadplegen documenten. Vervolgens zijn de effecten van de inzet van de MOX-splijtstof vanaf juni 2014 bepaald op basis van bovenstaande informatie, bureauonderzoek en een locatiebezoek aan de KCB.

2.1.1 C-ERU splijtstofelementen

Tot op heden (maart 2017) zijn gecompenseerd verrijkt uranium (C-ERU) elementen (4,6 gewichts % Uranium-235) niet ingezet in de KCB. Derhalve is geen evaluatie uit te voeren op de milieueffecten van die betreffende splijtstofelementen en is dit niet meegenomen in voorliggende evaluatie.

2.2 Bureauonderzoek

Het MER is gebaseerd op de zogeheten ‘referentiesituatie’ van de periode 2000 tot 2009. De inzet van MOX –splijtstof is gestart met de splijtstofwisseling van juni 2014. De referentiesituatie uit het MER is eerst vergeleken met gegevens uit de periode 2010 tot en met juni 2014; dat wil zeggen de periode ná het opstellen van de MER, maar vóór de inzet van MOX. Dit om vast te stellen of de referentiesituatie uit het MER een correctie vereist. Overigens geeft dit ook een rijkere indruk van de mate van variabiliteit van jaarlijkse emissies vergeleken met een 10-jaargemiddelde.

De rapportages die worden gehanteerd voor het vaststellen van de referentiesituatie betreffen:
1. MER Brandstofdiversificatie, EPZ, 2010;
2. Milieujaarverslagen van de kerncentrale Borssele, EPZ, Jaar: 2010, 2011, 2012, 2013, 2014;
3. Maandrapportages van lozingen en dosisbijdragen van EPZ van januari tot en met juni 2014;
4. Stralingsniveaumetingen rond het terrein van de EPZ kerncentrale te Borssele, RIVM, Jaar: 2011, 2012, 2013 en 2014;
5. Contra-expertise op bepalingen van radioactiviteit van afvalwater en ventilatielucht van de kernenergiecentrale Borssele, RIVM, Jaar: 2011, 2012, 2013 en 2014;
6. Jaaroverzicht van de bij de KCB ontvangen dosis ioniserende straling, EPZ, 2013, 2014;
7. Rapportage ongewone gebeurtenissen in Nederlandse nucleaire inrichtingen in 2011, 2012, 2013, 2014;
8. Evaluatie van opstart na SW2013, EPZ, 2013.

Voor de periode na inzet van MOX-splijtstof vanaf juli 2014 zijn de volgende rapportages gebruikt:
1. Milieujaarverslagen van de kerncentrale Borssele, EPZ, Jaar: 2014 en 2015;
2. Maandrapportages van lozingen en dosisbijdragen van EPZ van juli tot en met december 2014;
3. Maand en kwartaalrapportages van lozingen en dosisbijdragen van EPZ van januari tot en met september 2016;
4. Jaaroverzicht van de bij de KCB ontvangen dosis ioniserende straling, 2014, 2015 (ISOE[2]);
5. Eventuele afwijkingen in metingen van belanghebbende organisaties (zie Bijlage B);
6. Veiligheidsrapport Kernenergiecentrale Borssele (EPZ c, 2015);
7. Rapportage ongewone gebeurtenissen in Nederlandse nucleaire inrichtingen in 2014, en 2015;
8. Evaluatie van opstart en cycli 42 en 43, EPZ, 2014, 2015, 2016.

2.2.1 Meetgegevens en dosisgegevens

Voor de evaluatie van de milieuaspecten lozingen en stralingsbelasting zijn meet- en dosisgegevens gebruikt om de referentiesituatie (zonder inzet van MOX-splijtstoffen, dus tot en met juni 2014) te kunnen vergelijken met de huidige situatie (na juni 2014). Voor deze vergelijking zijn de data uit het in 2010 opgestelde MER gebruikt, alsmede beschikbare data van de jaren 2010 tot en met 2016.

[2] Het Information System on Occupational Exposure

2.2.1.1 Lozingen naar de omgeving

In het MER wordt de referentiesituatie vastgesteld op basis van emissies van activiteit naar lucht en water. Op basis van de lozingen is in het MER de blootstelling van personen buiten de inrichtingsgrenzen van de KCB berekend. De maximale blootstelling als gevolg van lozing van radioactieve stoffen naar de Westerschelde betreft, via de consumptie van zeevoedsel, de gehele bevolking. De maximale blootstelling als gevolg van lozingen naar de lucht betreft daarentegen de groep uit de bevolking op die locatie waar de hoogste concentratie in de lucht op leefniveau optreedt.

In voorliggend rapport worden de lozingen naar lucht en water geëvalueerd naast het eventueel voorkomen van een besmetting van de bodem op het terrein van de KCB. Er wordt vanuit gegaan dat, indien de lozingen lager of nagenoeg gelijk zijn aan voorgaande jaren, dit niet leidt tot een hogere blootstelling van de bevolking aan ioniserende straling zoals vastgesteld in het MER.

Voor het jaar 2016 waren alleen de maandrapporten van januari tot en met september beschikbaar. In juni 2014 zijn MOX-splijtstofelementen ingezet. Om een zo nauwkeurig mogelijk gemiddelde te krijgen over de periode na inzet van MOX-splijtstofelementen met de beschikbare informatie, is op basis van de rapportages een split gemaakt in data vóór de inzet van MOX-splijtstof (januari t/m juni 2014) en voor de periode na inzet van MOX-splijtstof (juli – december 2014). Directe straling aan de terreingrens

2.2.1.2 Directe straling aan de terreingrens

De belangrijkste bronnen (MER,) die bijdragen aan de stralingsdosis aan de terreingrens zijn:

1. De activiteit in het reactorgebouw met inbegrip van de inventaris van de reactorkern, activiteit in het hoofdkoelmiddel, activiteit in het splijtstofopslagbassin en activiteit in de lucht van de installatieruimte, en
2. De activiteit in het afvalopslaggebouw van opgeslagen, en voor afvoer naar COVRA, geconditioneerd afval.

Op acht punten op de terreingrens van KCB wordt het stralingsniveau gemeten. De effectieve stralingsdosis aan de terreingrens mocht in de geëvalueerde periode maximaal 40 microSievert (µSv) per jaar bedragen volgens de kernenergiewetvergunning. Metingen van EPZ en van het door het RIVM beheerde MONET-meetnet worden beschouwd. De metingen worden gecorrigeerd voor de natuurlijke achtergrondwaarde. Om het resultaat te vergelijken met het toegestane niveau, wordt de zogeheten Actuele Blootstellings Correctiefactor (ABC-factor) toegepast die rekening houdt met een beperkte verblijftijd gedurende een jaar aan de terreingrens van de installatie. ABC-factoren zijn afhankelijk van de bestemming van het gebied. Voor bijvoorbeeld het deel buiten de terreingrens, dat onderdeel uitmaakt van het industrieterrein is een ABC-factor van 0,2 van toepassing (Uitvoeringsregeling Stralingsbescherming EZ, 2013).

2.2.1.3 Dosis voor medewerkers

De blootstelling aan ioniserende straling van EPZ-medewerkers en derden wordt maandelijks gerapporteerd op basis van persoonsdosimeters in combinatie met bedrijfsdosimeters. De collectieve dosis (mens * mSv), ofwel de som van alle individuele doses gedurende een periode, levert een maat voor het vaststellen van de verschillen vóór en ná de inzet van MOX. Echter, bij de vergelijking van de collectieve jaardosis dienen de bijzondere omstandigheden te worden meegewogen zoals de eventuele onderhoudswerkzaamheden aan de reactor of delen van het primair systeem. Bijzondere aandacht in deze evaluatie krijgt de dosis bij de aanvoer van MOX-splijtstof en de dosis gedurende een splijtstofwisselperiode.

2.2.2 Ontwikkelingen betreffende het gebruik van MOX-splijtstof

Naast de evaluatie van de milieuaspecten wordt in hoofdstuk 5 nog ingegaan op de ontwikkelingen betreffende het gebruik van MOX-splijtstof in andere kerncentrales en op recente inzichten uit onderzoek en ervaring van reactor operators, waaronder EPZ. De literatuurlijst bevat relevante referenties over voortschrijdend inzicht bij de inzet van MOX van onder andere instanties zoals het IAEA[3] en energieproducenten zoals EON en EDF in het buitenland.

[3] International Atomic Energy Agency

2.2.3 Betrokken bestuursorganen

Verscheidene betrokken bestuursorganen in de regio zijn benaderd voor mogelijk bijzondere aandachtspunten. De benaderde bestuursorganen zijn opgesomd in Bijlage B. De betreffende bestuursorganen hebben geen bijzonderheden gemeld.

2.3 Locatiebezoek

Het locatiebezoek aan de KCB is gericht op het verifiëren van de interpretatie van metingen en bedrijfsgegevens met aandacht voor monstername. De maatregelen ter waarborging van de stralingsbescherming (ALARA) bij de inzet van MOX-splijtstof zijn besproken. De bedrijfsprocedures zijn toegelicht ter waarborging van de reactorveiligheid zoals vastgelegd in de vergunningsvoorschriften. Tenslotte is het voortschrijdend inzicht in het gebruik van MOX-splijtstof bij EPZ en andere kernenergiecentrales besproken. De opzet van het locatiebezoek is weergeven in Bijlage C.

3 REFERENTIEKADER VOOR DE EVALUATIE

3.1 Situatie vóór inzet MOX-splijtstof

Dit hoofdstuk beschrijft de (milieu)situatie vóór de inzet van MOX-splijtstof, vanaf juni 2014. Tabel 2 geeft een overzicht van de aspecten die tijdens deze evaluatie zijn onderzocht. In het MER zijn de deelaspecten geluid, trillingen, licht, geur en landschap niet beschouwd, omdat deze aspecten niet relevant zijn voor de brandstofdiversificatie. De referentiesituaties voor 'bodemkwaliteit', 'biologische en radiologische waterkwaliteit' en de overige aspecten van 'verspreiding van kernwapens' en de 'splijtstofcyclus' zijn identiek aan het MER en worden daarom in dit hoofdstuk niet behandeld. Het herhalen van informatie is alleen gedaan in gevallen waar het een toegevoegde waarde heeft voor de leesbaarheid van informatie in dit document.

Tabel 2 Overzicht onderzochte aspecten

Milieuaspect	Deelaspect	Omschrijving
Veiligheid	Reactorfysische verificatiemetingen	Veranderingen in splijting van Uranium-235 en Plutonium-239 splijtstoffen en hun effect op de reactorkern.
	Bedrijfsvoering en ALARA-beginsel	Bedrijfsvoering ten behoeve van het voldoen aan de veiligheidscriteria ten einde de limieten niet te overschrijden en toepassing van ALARA.
	Onderkriticiteit in het splijtstofopslagbassin	Aantoonbaarheid van ontwerpspecificaties die waarborgen dat de splijtstofelementen in het splijtstofopslagbassin onder geen beding een kernsplijtingsproces op gang kunnen brengen.
Veiligheidstechnische randvoorwaarden	Ongevalsanalyses	Veiligheidsrisico's door andere kerninventaris, veranderingen van reactorfysische parameters van reactorkern, veranderingen in ontwerpongevallen met mogelijke lozing naar omgeving door inzet van MOX-splijtstof. Veiligheidsrisico's van buiten-ontwerpongevallen ('design-extension) door inzet van MOX-splijtstof en de omgang hiermee, zoals beschreven in het veiligheidsrapport.
Lozing en stralingsbelasting	Emissies naar lucht	Emissie van koolstof-14, tritium, edelgassen en jodium-131 in de omgeving.
	Emissies naar water	Emissie van bèta/gamma stralers en tritium via waterlozingen in de Westerschelde.
	Biologische en radiologische waterkwaliteit	Beïnvloeding van radioactiviteit op de biologische en radiologische waterkwaliteit
	Bodemkwaliteit	Beïnvloeding van de bodemkwaliteit door toegevoegde emissies vanuit de KCB.
	Directe externe straling aan de terreingrens	Externe stralingsdosis gemeten aan de terreingrens van het terrein van de KCB
	Dosis voor medewerkers	Opgelopen dosis voor medewerkers van de KCB
Radioactief afval	Radioactief afval en gebruikte splijtstoffen	Gevolgen voor de productie van radioactief bedrijfsafval, gecompacteerd metaalafval en kernsplijtingsafval.
Overige aspecten	Transport	Aan- en afvoer van MOX-splijtstof en intern transport van het splijtstofafval naar beschermde locaties, veiligheidsrisico's bij transportongevallen
	Ecologische effecten	Gevolgen van de inzet van MOX-splijtstof voor beschermde soorten in de omgeving.

3.2 Veiligheid

Het aspect ‘veiligheid’ bestaat uit de volgende drie deelaspecten:

1. Reactorfysische verificatiemetingen;
2. Bedrijfsvoering en navolging ALARA-beginsel
3. Onderkriticiteit in het opslagbassin

3.2.1 Reactorfysische verificatiemetingen

Voor de reactorfysische verificatiemetingen, zoals vereist voor elke bedrijfscyclus, wordt de verificatiemeting na de splijtstofwissel in 2013 als referentiesituatie gehanteerd omdat vanaf dat tijdstip verrijkt Borium (32 gew% Boor-10) is toegepast in het reactorwater ten behoeve van de reactiviteitsregeling.

De vergunning vereist dat voor elke bedrijfscyclus met een Kernontwerprapport wordt aangetoond dat de thermohydraulische en andere van toepassing zijnde limieten uit het Sleutelparameterrapport (EPZ, 2014) niet worden overschreden. In aanvulling hierop leveren reactorfysische metingen van de reactiviteit, de vermogensverdeling, en de valtijden van de regelstaven, een verificatie van de gehanteerde uitgangspunten bij de analyses. De set reactorfysische metingen na de splijtstofwissel in 2013 waarbij de kern is beladen met uitsluitende verrijkt natuurlijk uranium (ENU) splijtstofelementen levert de referentiesituatie voor de verificatiemetingen na de inzet van MOX. Tijdens de tweede splijtstofwisselstop in 2013 is het gebruik van verrijkt Borium geïntroduceerd ter voorbereiding op de inzet van MOX in 2014.

Verificatiemeting van reactiviteitscontrole en vermogensverdeling bij toepassing van verrijkt Boor-10.

Bij een verificatiemeting na de opstart wordt het verschil tussen de berekende en de gemeten waarde van de kritische boriumconcentratie (boorzuurconcentratie waarbij de kern kritisch wordt) bepaald. Na de opstart in 2012 met natuurlijk borium bedroeg het verschil 29 ppm (parts per million). Na de opstart in 2013 met gebruik van verrijkt Boor-10 in het primair koelmiddel, leverde de verificatiemeting een verschil van 6 ppm.

Tevens wordt bij de verificatiemeting het boriumequivalent van een referentie set regelstaven vastgesteld en nagegaan in hoeverre het berekende boriumequivalent overeenkomt met de gemeten waarde. In 2012 bedroeg het verschil 62 ppm en in 2013 was de waarde 1 ppm. Deze waarden liggen binnen de limiet zoals vastgesteld voor de kritische boorzuurconcentratie (100 ppm en 55 ppm voor respectievelijk natuurlijk boor en verrijkt boor-10).

Vervolgens is de berekende en de gemeten vermogensverdeling van de reactorkern vergeleken bij drie reactorvermogens, namelijk 50%, 80%, en 100%. De vermogensverdeling komt binnen de tolerantiegrenzen overeen met de berekeningen uit het kernontwerprapport. Op basis van de gemeten heetkanaalfactoren (verhouding tussen het meest belaste ‘heet’ koelkanaal en het gemiddeld belaste ‘normaal’ koelkanaal) is geconcludeerd dat de splijtstof de grenzen als aangegeven in het veiligheidsrapport niet overschrijdt.

De metingen van de reactiviteit en de vermogensverdeling laten zien dat de modelberekeningen voor verrijkte Boor-10 goed overeenkomen met de metingen.

Valtijdmetingen regelstaven.

Het overzicht van de valtijdmetingen van de 28 regelstaven laat zien dat sinds het begin van het overzicht (1999) valtijden zijn gemeten tussen de 1,9 en 2,8 seconde. Dit is de referentiesituatie voor de evaluatie.

3.2.2 Bedrijfsvoering en navolging ALARA-beginsel

De huidige procedures voor het zo laag als redelijkerwijs mogelijk houden van de stralingsbelasting (ALARA) zijn beschreven in het MER. Het MER beschrijft het potentieel gebruik van de MX-6 verpakkingen voor het transport van de MOX-splijtstofelementen. De aanvoer van verse MOX-splijtstofelementen levert de belangrijkste aanvullende stralingsbelasting voor de medewerkers van EPZ en van derden.

De referentiesituatie voor de stralingsbelasting is beschreven in paragraaf 3.4.3.

3.2.3 Onderkriticiteit in het splijtstofopslagbassin

In het splijtstofopslagbassin (SOB) voor de opslag van splijtstofelementen zijn de rekken voorzien van neutronenabsorberend materiaal tussen de posities waar de elementen staan. Tevens is een aantal opslagposities afgesloten volgens een bepaald patroon. Op deze posities kunnen daarom geen elementen worden geplaatst. De combinatie van deze twee voorzieningen moet garanderen dat onder alle omstandigheden de vereiste onderkriticiteit bij belading met ENU-, (c-)ERU- en/of MOX-splijtstofelementen[4] wordt gewaarborgd.

De afstand tussen splijtstofelementen in het SOB moet zo worden gekozen dat, zelfs wanneer alle plaatsen bezet zijn door nieuwe splijtstofelementen en het water in het bassin ongeboreerd is, onderkriticiteit gewaarborgd is.

3.3 Veiligheidstechnische randvoorwaarden

Het aspect ‘veiligheidstechnische randvoorwaarden’ bestaat uit de ongevalsanalyses en de volgende twee deelaspecten:

1. Kerninventaris
2. Veiligheidsrapport

3.3.1 Ongevalsanalyses

3.3.1.1 Kerninventaris

De invloed van de inzet van splijtstofelementen op de kerninventaris (samenstelling van de reactorkern) is beschreven in het MER. De kerninventaris levert invoergegevens voor de bepaling van de invloed van ongevallen op het milieu (radiologische analyse). Het beladingsplan definieert de samenstelling van de reactorkern. De reactorkern van de KCB is samengesteld uit 121 splijtstofelementen, waarbij verschillende soorten splijtstof, ENU, (c-)ERU en/of MOX, kunnen worden toegepast. Op grond van voorschriften in de Kernenergiewet-vergunning is EPZ verplicht om voor aanvang van elke nieuwe bedrijfscyclus door middel van analyses aan te tonen dat aan de veiligheidseis met betrekking tot het onderkritisch kunnen maken en langdurig houden van de reactorkern, in elke situatie is voldaan. In het EPZ-Sleutelparameterrapport zijn alle geldende beperkingen voor de kernbelading en de analyses hierover vastgelegd.

3.3.1.2 Veiligheidsrapport

In het Veiligheidsrapport is het neutronenfysische ontwerp van de kern beschreven. Daarbij is aangegeven op welke wijze wordt gewaarborgd dat (i) overschrijding van de voorgeschreven maximale waarden van de vermogensdichtheid wordt voorkomen, (ii) het langdurig onderkritisch kunnen houden van de reactor vanuit elke situatie is verzekerd, en (iii) het inherent veilige karakter van de kern is verzekerd.

Een bijzonder aandachtpunt betreft het waarborgen van de onderkriticiteit van de aanwezige splijtstofelementen buiten de reactorkern bij opslag in het splijtstofopslagbassin.

3.4 Lozing en stralingsbelasting

De referentiesituatie uit het MER is eerst vergeleken met gegevens uit de periode 2010 tot juni 2014 dus ná het MER maar vóór de inzet van MOX.

3.4.1 Lozingen naar de omgeving

De emissies via lucht en water van radioactieve stoffen zijn vermeld in Tabel 3. De waardes worden weergegeven in gemiddelde aantallen Giga Becquerel (GBq[5]) per jaar. De referentiesituatie betreft een 10-jaars gemiddelde over 2000-2009 zoals vermeld in het MER (‘bestaande toestand van het milieu’, tabel 5.2.1). De aanvullende metingen (jaargemiddelden) van 2010, 2011, 2012, 2013 en 2014 leveren inzicht in de variabiliteit van deze milieucomponenten en de reductie door technische maatregelen.

[4] Veiligheidsrapport Kernenergiecentrale Borssele, VR15, versie 1, november 2015.
[5] Becquerel is een maat voor radioactiviteit en is gedefinieerd als één desintegratie per seconde; 1 Giga Becquerel is gelijk aan 10^9 Becquerel.

Tabel 3 Emissies in GBq/Jaar in lozingen (Milieujaarsverslag, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014)

Milieuaspect	MER referentiesituatie Gemiddelde emissie 2000 - 2009 [GBq/j]	Gemiddelde emissie 2010 – 2014[2] [GBq/j]	Vergunde emissie [GBq/j]
Lozingen naar Lucht			
Edelgassen	2 790	426	500 000
Aërosolen	0,000 020	0[3]	0,5
Jodium-131	0,020	0	5
Overige Halogenen	0,009	0	45
Tritium (als HTO[1)])	256	242	2 000
Koolstof-14 (als CO_2)	118	146	300
Lozingen naar Water			
Tritium	7 120	6 344	30 000
β – en ɣ-activiteit	0,189	0,10	200
α-activiteit	0,000 096	0,000 09	0,200

1. HTO: water waarin een waterstofatoom (H) is vervangen door een tritiumatoom (^3H).
2. Waardes van 2014 zijn gebaseerd op maandrapportages januari t/m juni 2014 en meegenomen in de calculatie van het gemiddelde (periode 2010 – juni 2014).
3. Indien 0 is vermeld, dan is de gemeten waarde onder de detectielimiet

De lozingen van radioactieve stoffen/activiteit[6] zijn aanzienlijk lager dan vergunde limieten.

De reiniging van het waswater heeft de lozingen van bèta en gamma activiteit naar water sinds 2013 meer dan gehalveerd[7] (EPZ c, 2013). De lozing van activiteit in het algemeen naar het water was in 2014 de laagste ooit gemeten (EPZ d, 2014).

3.4.2 Directe straling aan de terreingrens

Op acht punten op de terreingrens en op acht punten in de omgeving van de kerncentrale wordt door EPZ continu de stralingsdosis gemeten met behulp van GM-detectoren. De afvoer van gecementeerd radioactief afval naar COVRA en de afvoer van bestraalde splijtstofelementen naar Areva NC in La Hague, vormen de belangrijkste oorzaken van de gemeten verhoging van de dosis op de terreingrens. Door het RIVM worden op deze 8 posities aan de terreingrens continue stralingsdosistempo metingen verricht. Kortdurende hogere dosistempo's die zijn vastgesteld tijdens deze verificatiemetingen door het RIVM aan de terreingrens van EPZ betreffen de afvoer van radioactief afval. De maximaal gemeten effectieve dosis is weergegeven in Tabel 4.

[6] Activiteit is het aantal spontane kernmutaties per tijdseenheid. De eenheid is Becquerel.
[7] De halvering sinds 2013 komt voornamelijk door het reinigen van het waswater van het koelsysteem.

Tabel 4 Maximale effectieve dosis aan het hek met én zonder ABC-factor (in µSv per jaar) (EPZ Milieujaarverslag, 2011, 2012, 2013, 2014)

Jaar	Max effectieve dosis zonder ABC-factor	Maximale effectieve dosis met ABC-factor	Vergunde dosistempo
2000 – 2009 (MER)[1)]	17	3,4	40
2010	7	1.4	40
2011	7	1,4	40
2012	13	2,6	40
2013	8	1,6	40
2014	6	1,2	40
Gemiddelde 2011 – 2014	**8,2**	**1,6**	**40**

Noot: 1) Geconditioneerd radioactief afval in het afvalopslaggebouw leverde de grootste bijdrage.

Door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu is een bruto dagdosis en netto maanddosis aangewezen, waarbij een waarschuwingsbericht gestuurd dient te worden naar het ministerie. De bruto dagdosislimiet[8] ligt op 5 µSv en de netto maanddosislimiet[9] voor een waarschuwing ligt op 15 µSv (RIVM, 2014). In de jaren 2010 – 2014 is het niet nodig geweest waarschuwingsberichten te versturen.

3.4.3 Dosis voor medewerkers

De daadwerkelijke blootstelling aan ioniserende straling van EPZ-medewerkers en derden wordt maandelijks gerapporteerd aan de ANVS. In het MER was de collectieve dosis voor medewerkers niet meegenomen in de effectenanalyse, maar in de evaluatie is gevraagd dit wel te doen. Vanwege voorgaande levert de periode 2000-2009 geen referentiesituatie op vanuit het MER. De collectieve jaardoses over de jaren 2010 tot 2014 zijn in Tabel 5 weergegeven.

*Tabel 5 Collectieve jaardosis in mens * mSv (mens milliSievert) voor de jaren 2010 - 2014 (ISOE, 2010 - 2014)*

Jaar	Vermogensbedrijf	Reactorstop	Totaal
2010	57,60	560,20	617,80
2011	61,51	218,20	279,71
2012	48,33	279,70	328,03
2013	54,59	774,52*	829,11
2014	47,61	181,39	229,00

*Het jaar 2013 had 2 reactorstops waardoor de collectieve dosis hoger is uitgevallen door werkzaamheden aan het reactorsysteem

Een nadere evaluatie van de collectieve doses gedurende de jaren 2010 tot en met 2014 laat zien dat de dosis gedurende het vermogensbedrijf tussen de circa 50 en 60 mens * mSv bedraagt. De doses gedurende de reactorstops wisselen sterk, dit is afhankelijk van de systemen waar onderhoud aan verricht is.

[8] De dosis ioniserende straling zonder compensatie voor in de natuur voorkomende ioniserende straling
[9] De dosis ioniserende straling met compensatie voor in de natuur voorkomende ioniserende straling

3.5 Radioactief afval en verbruikte splijtstofelementen

Een kerncentrale produceert gedurende de bedrijfsvoering radioactief afval. Dit radioactief afval kan onderverdeeld worden in gasvormige, vloeibare en vaste stoffen. Verbruikte splijtstofelementen worden als een aparte categorie beschouwd en voor opwerking afgevoerd. De radioactieve stoffen in gassen en vloeistoffen worden zo goed als mogelijk door reiniging en filtering verwijderd. Kleine hoeveelheden activiteit worden geloosd in de atmosfeer en in de Westerschelde, zie paragraaf 3.4.1. Deze hoeveelheden blijven ruimschoots onder de limieten uit de vergunning. Het vaste afval (inclusief filters) wordt afgevoerd naar de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) dat ook is gevestigd op industrieterrein Vlissingen-Oost.

De verbruikte splijtstofelementen worden afgevoerd naar de opwerkingsfabriek van AREVA NC in La Hague (Frankrijk) waar ze worden gescheiden in waardevolle, herbruikbare materialen (uranium en plutonium) en radioactieve afvalstoffen. De radioactieve afvalstoffen komen terug naar Nederland voor interim opslag bij COVRA.

De referentiesituatie betreffende het kernsplijtingsafval is hetzelfde als beschreven in het MER.

3.6 Overige aspecten

3.6.1 Transport

In het MER is de blootstelling aan ioniserende straling bij de af- en aanvoer van splijtstofelementen als belangrijkste risico voor het milieu meegenomen in de effectbeoordeling.

Ter verduidelijking wordt kort toegelicht op welke manier de aan- en afvoer wordt uitgevoerd. Alle aanvoer van splijtstofelementen naar EPZ geschiedt op basis van wegtransport. De afvoer van verbruikte splijtstofelementen gaat per wegtransport naar COVRA, waarna het per trein naar de opwerkingsfabriek in Frankrijk wordt vervoerd. Het opgewerkte afval wordt hierna retour naar COVRA vervoerd per trein.

In Tabel 6 is de individuele dosis (mSv per jaar) opgenomen voor de af- en aanvoer van splijtstofelementen voor de verschillende transportgroepen zoals eerder in het MER gerapporteerd.

Tabel 6 Overzicht van de conservatief bepaalde maximale jaarlijkse individuele dosis (mSv per jaar) bij regulier transport uit het MER (EPZ b, 2010)

Soort transport	Aantal transporten per jaar	Omwonenden	Treinreizigers	Weggebruikers
Aanvoer uranium	7	$2,2 * 10^{-5}$	n.v.t.*	$7,0 * 10^{-4}$
Afvoer uranium	6	$1,6 * 10^{-2}$	$1,0*10^{-3}$	$1,0 * 10^{-3}$

*Aanvoer van uranium geschiedt niet per trein

Uit Tabel 6 kan geconcludeerd worden dat de individuele dosis van omwonenden en treinreizigers bij de reguliere afvoer van gebruikte uranium-elementen ruim lager is dan de dosislimiet voor leden van de bevolking. Deze is opgenomen in artikel 1b van het Besluit vervoer splijtstoffen, ertsen en radioactieve stoffen, in combinatie met artikel 48 van het Besluit Stralingsbescherming, te weten 0,1 mSv/jaar.

Naast het risico van ontvangen van ioniserende straling bij regulier transport, kan er een potentieel risico ontstaan in een ongevalssituatie. Het maximaal individueel risico op overlijden op langere termijn, door de ontvangen dosis ioniserende straling, is opgenomen in Tabel 7.

Tabel 7 Conservatief bepaalde risico's voor late sterfte na transportongevallen van transport met uraniumelementen uit het MER (EPZ b, 2010)

Kritieke groep	Maximaal individueel risico per jaar
Omwonenden/transportmedewerkers	$2,3 * 10^{-10}$
Treinreizigers	$1,1 * 10^{-12}$
Weggebruikers	$9,1 * 10^{-10}$

Uit Tabel 7 blijkt dat het individueel risico van late sterfte door een stralingsdosis ontvangen als gevolg van transportongevallen met uraniumelementen kleiner is dan het maximaal toelaatbare risico (10^{-6} per jaar).

3.6.2 Ecologische effecten

In het MER zijn de ecologische effecten van emissies van radioactieve stoffen beschreven. Deze worden bepaald aan de hand van activiteitsniveaus in de in het water voorkomende wieren. De activiteitsniveaus in biologisch materiaal zijn te laag om via verdere opname in voedselketens terecht te komen. Hierdoor zijn biologische en ecologische consequenties door radioactiviteit zo goed als uitgesloten.

De biologische en radiologische waterkwaliteit heeft in de referentiesituatie geen negatieve effecten ondervonden als gevolg van emissies van de KCB in 2012 en 2013 (zoals beschreven in paragraaf 3.4.1). Het aantal fyto- en zoöplankton is op gelijk niveau met andere Nederlandse wateren zoals beschreven in het MER.

4 MONITORING MILIEUASPECTEN

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is de (milieu)situatie beschreven ná inzet van MOX-splijtstof. In de volgende paragrafen worden de milieuaspecten uit het referentiekader (Tabel 3) geëvalueerd op basis van de situatie na inzet van MOX-splijtstof. Gekeken wordt of de situatie al dan niet afwijkt van de in het MER verwachte situatie en of de situatie nog binnen de toegestane norm voor het betreffende milieuaspect past.

4.2 Veiligheid

4.2.1 Reactorfysische verificatiemetingen

De reguliere reactorfysische verificatiemetingen van de nieuwe kernbelading voor elke bedrijfscyclus leveren een goed beeld van de nauwgezetheid van de veiligheidsanalyses in het Kernontwerprapport met de inzet van MOX. De verificatiemeting van 2013 levert de eerste situatie, omdat bij die bedrijfscyclus verrijkt Borium (32 atoom% Boor-10) voor het eerst werd toegepast.

EPZ liet weten te streven naar een hogere opbrand, maar dit is niet direct gerelateerd aan de inzet van MOX. Echter de inzet van MOX ondersteunt een dergelijke verhoging door de gunstige reactiviteitseigenschappen van MOX-splijtstof. Om zeker te stellen dat MOX-splijtstofelementen van het HTP-type gekwalificeerd blijven in het gebied van de hogere opbranden (meer dan 60 MW dag/kg splijtstof staafgemiddeld), voert EPZ het programma uit voor een kwalificatieproces zoals beschreven in paragraaf 4.2.1.3.

4.2.1.1 Verificatiemeting van reactiviteitscontrole en vermogensverdeling

Bij een verificatiemeting van de reactiviteitscontrole wordt het berekende neutronenabsorberende effect van een bepaalde concentratie boriumhoudend primair koelmiddel vergeleken met een waarde vastgesteld door metingen direct na de splijtstofwissel. Daartoe wordt een equivalente boriumconcentratie bepaald voor een referentie-set regelstaven.

De referentiesituatie uit 2013 (zie paragraaf 3.2.1) zonder inzet van MOX maar met verrijkt Boor-10 leverde een verschil tussen de berekende en de gemeten waarde van 6 ppm. In de jaren 2014, 2015 en 2016 na inzet van MOX was de kritische boorconcentratie respectievelijk 10, 7 en 4 ppm. Alle waarden liggen binnen de limiet van 55 ppm die door de technische specificaties wordt gegeven. Hierbij is opgemerkt dat de berekeningen in 2016 met een nieuw analysepakket zijn uitgevoerd.

De berekende en de gemeten vermogensverdeling van de reactorkern voor drie reactorvermogens, namelijk 50%, 80%, en 100%, zijn vergeleken bij de opstart met een toenemende inzet van MOX in 2014, 2015 en 2016. Tijdens het opregeltraject worden de maximale piekfactor (verhouding tussen hoogste lokale staafvermogen en gemiddelde staafvermogen; Fq) en de maximale heetkanaalfactor (verhouding tussen het meest belaste koelkanaal en het gemiddeld belaste koelkanaal, FdH) in de gaten gehouden. Indien nodig wordt de opregelgradiënt aangepast aan de resultaten van metingen ter vermijding van het overschrijden van de grenzen als aangegeven in de Technische Specificaties. De maandelijkse rapportages bevatten een overzicht van de piekfactor, de heetkanaalfactor en de opbrand. Gemeten heetkanaalfactoren zijn enigszins hoger dan berekende waarden waardoor een marge wordt aangehouden ten opzichte van de Technische Specificaties. In cyclus 42 (midden 2014 tot midden 2015) was het verschil circa 3% terwijl het verschil in cyclus 43 gedurende langere tijd 5% bedroeg. Bij het vaststellen van de marge tussen de grens in de Technische Specificaties en de berekeningen wordt hiermee rekening gehouden.

Vanaf 2015 bevat de rapportage van de verificatiemetingen ook een overzicht van het activiteitsniveau van Jodium en Xenon in het koelmiddel. In cyclus 42 en 43 (midden 2014 tot midden 2016) is er geen verhoging van deze niveaus vastgesteld wat de conclusie rechtvaardigt dat de kern defectvrij is.

4.2.1.2 Valtijdmetingen regelstaven

De valtijdmetingen van de 28 regelstaven in 2014, 2015, en 2016 leveren geen ander beeld op dan de referentiesituatie met valtijden tussen de 1,9 en 2,8 seconde. Overigens staan er geen MOX-splijtstof op regelstaafposities. De inzet van MOX vanaf 2014 heeft niet geleid tot significante veranderingen in de valtijden.

4.2.1.3 MOX-monitoringprogramma

Om een beginnend kromtrekken van de splijtstofelementen te kunnen detecteren voert EPZ een monitoringprogramma uit betreffende eventuele vormveranderingen van MOX-splijtstofelementen. Hierover wordt jaarlijks gerapporteerd conform vergunningvoorschrift II.A.19.

In 2014 is de inzet van MOX gestart met de plaatsing van 8 MOX-elementen in de kern, waarna in 2015 de inzet van MOX is verhoogd met 12 elementen. De Rapportages *monitoringsprogramma MOX-splijtstofelementen 2015* en 2016 behandelen:

1. de resultaten van visuele inspectie van MOX-splijtstofelementen,
2. de resultaten van rechtheidsmetingen van MOX-splijtstofelementen, en
3. het resultaat van valtijdmetingen van de regelstaven.

De visuele inspecties en de rechtheidsmetingen van MOX en ENU-splijtstofelementen zoals uitgevoerd tijdens de splijtstofwissel 2015 en 2016 als onderdeel van het MOX-monitoringsprogramma laten zien dat het gedrag van MOX-elementen vergelijkbaar is met dat van ENU-elementen (EPZ b, 2015; EPZ b, 2016). De gemeten gemiddelde doorbuiging van 16 elementen in 2015 (inclusief 4 MOX) en van 21 elementen in 2016 (inclusief 5 MOX) is respectievelijk 8,4 mm en 7,4 mm bij een meetnauwkeurigheid van circa 1 mm. Zowel in 2015 en in 2016 is bij drie elementen een maximale kromming van tussen de 10 en 12,5 mm vastgesteld. Deze doorbuiging valt ruimschoots binnen de grenswaarden.

Het rapport geeft tevens de valtijden van de regelstaven bij de opstart van cyclus 43 (2015). Een overmatige kromming van de splijtstofelementen kan de valtijd vertragen met een ongunstig effect op de afschakelsnelheid. De valtijdmeting van de 28 regelstaven (zie paragraaf 4.2.1.2) laat zien dat de valtijden geen ander beeld opleveren sinds de inzet van MOX.

De conclusie van het in 2015 en 2016 uitgevoerde monitoringsprogramma geeft aan dat de MOX-splijtstofelementen geen afwijkend gedrag vertonen vergeleken met ENU-splijtstofelementen.

4.2.2 Bedrijfsvoering en navolging ALARA-beginsel

In tegenstelling tot verse ENU-splijtstof levert verse MOX-splijtstof een stralingsbelasting als gevolg van neutronenstraling. Daarom zijn aanvullende maatregelen nodig in overeenstemming met het ALARA-beginsel. Tijdens het locatiebezoek aan de KCB is het hanteren van de MOX-splijtstofelementen toegelicht.

Bij de aanvoer van MOX-splijtstof wordt de blootstelling aan ioniserende straling van betrokken medewerkers geminimaliseerd door een efficiënt aflaadproces. MOX-splijtstofelementen worden direct in het SOB geplaatst ter afscherming van de straling naar de directe omgeving. In paragraaf 4.4.2.2 wordt de stralingsbelasting bij de aanvoer van MOX-splijtstofelementen nader besproken.

Voor de inzet van splijtstofelementen zijn strenge veiligheidsmaatregelen van toepassing vanuit het IAEA (International Atomic Energy Agency), Euratom en de ANVS. Bovenop deze veiligheidsmaatregelen voor de inzet van MOX-splijtstofelementen, zijn nog extra maatregelen getroffen om de plutoniumniveaus in de MOX-splijtstofelementen te controleren. In onderstaande lijst zijn de extra maatregelen opgenomen:

- Bij de aanvoer van de splijtstofelementen zijn het IAEA en Euratom aanwezig om de plutoniumniveaus te verifiëren;
- De MOX-splijtstofelementen hebben een specifieke positie in het SOB;
- Het IAEA en Euratom checken eens in de drie maanden de plutoniumniveaus van de opgeslagen MOX-splijtstofelementen in het SOB.

Uit bovenstaande punten kan geconcludeerd worden dat bedrijfsvoering en hantering van het ALARA-beginsel in de huidige situatie na inzet van MOX-splijtstofelementen van voldoende kwaliteit blijven om veiligheid van personeel en omgeving te waarborgen.

4.2.3 Evaluatie van gemelde storingen

Bij de kerncentrale Borssele zijn in de periode 2011 tot en met 2015 een aantal ongewone gebeurtenissen opgetreden. De rapportage van dergelijke gebeurtenissen voor de KCB is hieronder samengevat. Deze gebeurtenissen zijn gemeld aan de ANVS (of diens voorganger) overeenkomstig vergunningvoorschrift II.B.24, II.D.7 of II.D.9. Bij geen van deze gebeurtenissen was er sprake van een (onmiddellijke dreiging van een) buitennormale lozing. Een overzicht van gemelde gebeurtenissen wordt jaarlijks door de ANVS opgesteld. Voor de evaluatie van deze gebeurtenissen ten aanzien van de inzet van MOX is hieronder een kort overzicht opgenomen sinds 2011:

2011: Acht ongewone gebeurtenissen zijn gemeld waarvan drie zijn ingeschaald op INES- niveau-1. Dit is het laagste niveau, het handelt hier om (relatief lichte) afwijkingen. Deze afwijkingen betroffen ‘De ongeplande automatische activering van een noodstroomdiesel als gevolg van een foute handeling’, ‘Het niet beschikbaar zijn van het noodvoedingswatersysteem als gevolg van kortsluiting in een besturingskast’, en ‘De uitbedrijfname van de kernenergiecentrale voor reparatie van een nakoelstrang in verband met lekkage’.

2012: Drie ongewone gebeurtenissen zijn gemeld waarvan een is ingeschaald op INES-niveau 1: het ontbreken van een testregime voor een hevelbreker in het koelsysteem van het splijtstofopslagbassin. De overige gebeurtenissen waren ‘below scale’.

2013: Vier gemelde ongewone gebeurtenissen zijn ingedeeld ‘below scale’.

2014: Twee gemelde ongewone gebeurtenissen zijn ingedeeld ‘below scale’.

2015: Eén gebeurtenis is ingeschaald op INES-niveau 1 en betreft ‘Kerncentrale stilgelegd vanwege technische gebreken in de noodstroomvoorziening. Twee overige gemelde gebeurtenissen zijn lager ingeschaald (‘below scale’ of niveau ‘0’).

2016: ANVS-website meldt gedurende 2016 drie ongewone gebeurtenissen, voorlopig ingedeeld ‘below scale’.

Voor de evaluatie zijn alleen de laatste drie jaren relevant. De gemelde ongewone gebeurtenissen in 2014, 2015 en 2016 hebben geen relatie met de inzet van MOX en vereisen derhalve geen aanvullende aandacht.

4.3 Veiligheidstechnische randvoorwaarden

Naar aanleiding van het kernongeval in Fukushima in maart 2011, heeft EPZ als vergunninghouder van de kerncentrale Borssele op verzoek van de Minister van Economische zaken een zogenaamde ‘stresstest’ uitgevoerd. De algemene conclusie van de ‘post-Fukushima’ stresstest is dat de uitgevoerde analyses en de beoordeling ervan geen aanleiding gaven voor het treffen van onmiddellijke maatregelen: de kerncentrale voldoet aan de veiligheidseisen die gesteld zijn in de vergunning en daar bovenop zijn veiligheidsmarges aanwezig. Er zijn tevens mogelijkheden om de aanwezige veiligheidsmarges verder te vergroten. De uitwerking van deze mogelijkheden had geen directe relatie met de inzet van MOX. Aandacht is gegeven aan diverse systemen waaronder de zekerstelling van de koelbaarheid van het SOB en de voorzieningen voor noodstroom.

In mei 2014 is een actualisering van de vergunning en het bijbehorende veiligheidsrapport in gang gezet. Het geactualiseerde veiligheidsrapport is in 2015 beschikbaar gekomen. De kernenergiewetvergunning is in 2016 verleend. Geen van de analyses geven aanleiding om de inzet van MOX zoals voorzien in het MER te wijzigen.

De beschreven veiligheidstechnische randvoorwaarden zijn thans onverminderd van toepassing en niet beïnvloed door voortschrijdend inzicht ten aanzien van de inzet van MOX-splijtstof.

4.4 Lozing en stralingsbelasting

4.4.1 Lozingen naar de omgeving

4.4.1.1 Lozingen naar lucht en water

In onderstaande tabel zijn de lozingen weergeven voor lucht en water.

Tabel 8 Vergelijking van emissies in GBq/Jaar in lozingen

Milieuaspect	Gemiddelde emissie MER (2000 – 2009)	Gemiddelde emissie 2010 – 2014[1]	Verwachting MER	Gemiddelde 2014 – 2016[2]	Vergunde limiet
Lozingen naar Lucht					
Edelgassen	2 790	426	**-7%**	444	500 000
Aërosolen	0,000 020	0[3]	**x**[4]	0	0,5
Jodium-131	0,020	0	**+ 2%**	0	5
Overige Halogenen	0,009	0	**x**	0	45
Tritium (als HTO[1])	256	242	**afname**	171	2 000
Koolstof-14 (als CO^2)	118	146	**-10%**	71	300
Lozingen naar Water					
Tritium	7 120	6 344	**Afname**	5 074	30 000
β – en ɣ-activiteit	0,189	0,10	**Gelijk**	0,007	200
α-activiteit	0,000 096	0,000 09	**Gelijk**	0,000 1	0,200

1. Waardes van 2014 zijn gebaseerd op maandrapportages januari t/m juni 2014 en meegenomen in de calculatie van het gemiddelde. (periode 2010 – juni 2014)
2. Waardes van 2016 zijn gewogen op basis van de maandrapportages voor de periode waarin MOX-splijtstofelementen is ingezet en data beschikbaar is (juli 2014 – September 2016)
3. Indien de waarde 0 is, dan is de gemeten waarde onder de detectielimiet
4. Over aërosolen en overige halogenen is geen verwachting uitgesproken in het MER

Over het algemeen komen de gemeten waarden overeen met de verwachtingen uit het MER. De lozing van edelgassen is nagenoeg gelijk gebleven in vergelijking tot de referentiesituatie 2010 – 2014, maar is erg afgenomen ten opzichte van de referentiesituatie zoals beschreven in het MER. EPZ heeft als verklaring gegeven dat tijdens de MER-referentieperiode beschadigingen aan de splijtstof zijn opgetreden. De edelgaslozingen waren in die periode daardoor sterk verhoogd. In de periode 2010 - 2014 was geen sprake van splijtstofschade. Alle radioactieve stoffen die via de lucht zijn geëmitteerd, zijn binnen de vergunde limieten gebleven. Er zijn vooral verlagingen te zien, in ieder geval geen significante verhoging.

De lozingen naar de Westerschelde zijn gelijk gebleven of licht afgenomen. Tritium activiteit in het water is in vergelijking tot de situatie van het MER en de referentiesituatie 2010 – 2014 licht afgenomen. De daling is echter niet toe te wijzen aan MOX-splijtstof. Er is in augustus 2016 een kleine hoeveelheid alfa-activiteit geloosd (2,5 keer de detectiegrens), waarschijnlijk als gevolg van de werkzaamheden tijdens de splijtstofwissel. In deze periode is aan het reactorvat en de stoomgeneratoren gewerkt, zoals beschreven in het Maandrapport Augustus 2016 (EPZ a, 2016). Alle lozingen zijn ruim binnen de vergunde limieten gebleven.

4.4.1.2 Biologische en Radiologische waterkwaliteit

Zowel de hoeveelheid koelwater als de hoeveelheid warmte die middels het koelwater aan de Westerschelde wordt afgegeven, wijzigt niet door de inzet van MOX-splijtstof, omdat het geleverde vermogen bij de voorgenomen splijtstofdiversificatie niet wijzigt. Zoals in het MER beschreven zal hierdoor de biologische waterkwaliteit niet beïnvloed worden.

Verwacht kan worden dat de radiologische waterkwaliteit alleen verslechtert, indien lozingen van radioactieve stoffen significant zijn toegenomen na inzet van MOX-splijtstof. Ten opzichte van de referentiesituatie zijn deze lozingen gelijk gebleven of (licht) afgenomen (Tabel 8). Het Milieujaarverslag van 2015 (EPZ a, 2015) beschrijft tevens een positieve trend in de waterkwaliteit van de Westerschelde.

4.4.1.3 Bodemkwaliteit

De bodemkwaliteit is in de huidige situatie vergelijkbaar met de referentiesituatie. Zoals beschreven in hoofdstuk 2 wordt depositie van radioactieve stoffen niet meegenomen in de evaluatie, indien deze depositie nagenoeg hetzelfde of verminderd is. Uit de meetgegevens in paragraaf 4.4.1.1 blijkt dat de lozingen van radioactieve stoffen verminderd zijn in vergelijking tot de referentiesituatie in het MER en dus geen groter effect kunnen hebben op de bodemkwaliteit. Eventuele lekkages zijn in de periode na inzet van MOX-splijtstof niet voorgekomen en de kans op dergelijke situaties is door de inzet van MOX-splijtstof ongewijzigd gebleven. Ook de tritiummetingen in de bodem van het EPZ-terrein, zoals beschreven in het Milieujaarverslag van 2015 (EPZ a, 2015), gaven geen hogere tritiumwaarden aan dan van nature in de bodem aanwezig is.

4.4.2 Stralingsbelasting

4.4.2.1 Directe straling aan de terreingrens

In Tabel 9 zijn de gemiddelde stralingsniveaus van de verschillende EPZ-metingen weergegeven voor de jaren 2010 – 2015.

Tabel 9 Maximale effectieve dosis aan de terreingrens met én zonder ABC-factor (in µSv) (EPZ Milieujaarverslag, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015)

Jaar	Max effectieve dosis zonder ABC-factor	Maximale effectieve dosis met ABC-factor	Vergunde dosistempo
2010	7	1,4	40
2011	7	1,4	40
2012	13	2,6	40
2013	8	1,6	40
2014	6	1,2	40
2015	5	1	40
Gemiddelde 2010 – 2015	7,7	1,5	40

De aanvoer van MOX-splijtstofelementen levert een geringe bijdrage aan de jaarlijkse effectieve dosis aan de terreingrens. Echter zijn in de jaren 2014 en 2015 (waarin MOX-splijtstof is ingezet) lagere waardes gemeten dan in de jaren voordat MOX-splijtstof werd ingezet. Afvoer van MOX-splijtstofelementen is tot op heden nog niet voorgekomen.

4.4.2.2 Dosis voor medewerkers

In Tabel 10 zijn de dosisbijdragen aan personeel van EPZ en derden partijen werkzaam in de KCB weergegeven.

Tabel 10 Collectieve jaardosis voor de jaren 2010 - 2015 (ISOE, 2010 - 2015)

Jaar	Vermogens bedrijf (mens * mSv)	Reactorstop (mens * mSv)	Totaal (mens * mSv)	Gemiddeld (in mSv) p.p.	Max (in mSv) p.p.
2010	57,60	560,20	617,80	0,83	7,2
2011	61,51	218,20	279,71	0,32	3,6
2012	48,33	279,70	328,03	0,48	4,16
2013	54,59	774,52	829,11	0,78	5,71
2014	47,61	181,39	229,00	0,39	3,11
2015	35,17	182,03	217,20	0,38	2,88

De collectieve jaardosis voor vermogensbedrijf in de jaren waarin MOX-splijtstof is ingezet, is niet verhoogd. De totale collectieve dosis en de daarvan afgeleide gemiddelde dosis, en maximum dosis van de medewerkers zijn vooral afhankelijk van de werkzaamheden die tijdens de onderhoudstop worden uitgevoerd. De aard en omvang van de werkzaamheden, die elk jaar significant anders zijn als gevolg van grotere of kleinere modificaties en specifieke onderhoudswerkzaamheden aan de installaties en specifieke inspecties, bepalen voor het belangrijkste deel deze grootheden. Een relatie met het gebruik van MOX-splijtstof is er niet.

Het MER beschrijft dat bij de aanvoer van MOX-splijtstofelementen een maximale collectieve stralingsdosis van minder dan 10 mSv per transport voor de betrokken EPZ-medewerkers te verwachten is. De gemeten 0,83 mSv in 2013 (EPZ b, 2013) en de 1,6 mSv in 2014 (EPZ b, 2014) bij de aanvoer van nieuwe MOX-splijtstofelementen zijn significant lager. Door MOX-splijtstof zijn werknemers van EPZ en derden voor een korte tijd blootgesteld aan een lage dosis neutronenstraling. EPZ heeft aangegeven dat de stralingsbelasting verlaagd is tot 0,3 mSv tijdens de aanvoer van MOX-splijtstof. Deze verlaging is bewerkstelligd door efficiëntieverbeteringen en meer ervaring in het handelen met de MOX-splijtstof.

Het Information System on Occupational Exposure (ISOE) heeft de collectieve dosis opgelopen in de KCB vergeleken met het gemiddelde van reactoren van hetzelfde type. In deze vergelijking, verstrekt door de ANVS, is te zien dat, afgezien van het jaar 2013, de collectieve jaardosis voor het personeel van de KCB lager is dan bij vergelijkbare reactoren.

4.5 Radioactief afval en gebruikte splijtstofelementen

De inzet van MOX-splijtstof elementen heeft geen invloed op het volume bedrijfsafval, gecompacteerd metaalafval en kernsplijtingsafval.

MOX-splijtstof elementen dienen na inzet in de reactorkern voor een langere periode in het splijtstofopslagbassin (SOB) af te koelen dan ENU-splijtstofelementen, voordat ze vervoerd kunnen worden naar de opwerkingsfabriek in Frankrijk.

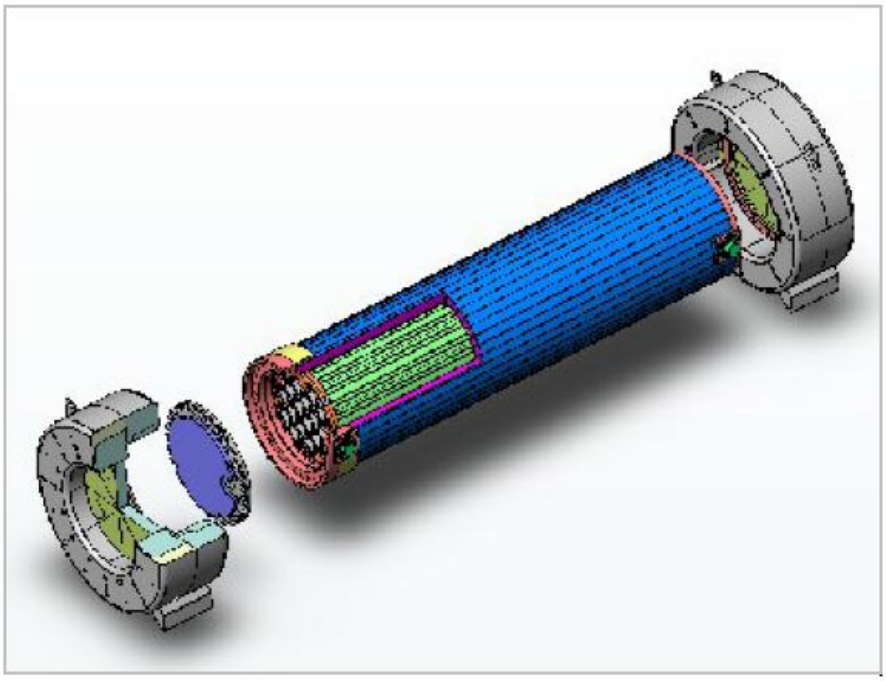
4.6 Overige aspecten

In onderstaande paragrafen worden de overige aspecten behandeld.

4.6.1 Transport

Tijdens het locatiebezoek is met EPZ besproken hoe de aanvoer van de verse MOX-splijtstofelementen in zijn werk gaat. Dit, in combinatie met de in het MER beschreven informatie, vormt de basis voor de evaluatie van het transport.

Voor het transport van MOX-splijtstofelementen van de MELOX-fabriek in Marcoule, Frankrijk, naar de KCB in Nederland, worden veiligheidsmaatregelen getroffen. Deze zijn verplicht op basis van de Franse, Belgische en Nederlandse wet en regelgeving. In het MER is de verwachting dat gebruik gemaakt zal worden van type MX6 transportcontainers voor het vervoer van verse MOX-splijtstofelementen beschreven. De MOX-splijtstofelementen worden per zes elementen verpakt in de speciale type MX6 transportcontainers, om de bij MOX-splijtstof voorkomende neutronenstraling te minimaliseren (Figuur 1) overeenkomstig het ALARA-beginsel. Deze transportcontainers zijn uitvoerig getest en geschikt bevonden door de overheden van Frankrijk, Duitsland, België, Nederland en Zwitserland voor vervoer van MOX-splijtstofelementen voor reactoren (Davidson, Yapunich, Bera, & Valenzano, 2010). Naast deze maatregelen wordt het transport geëscorteerd door de politie en valt het onder toezicht van het IAEA, Euratom en de ANVS.



Figuur 1 MX6 transportcontainer van 6 MOX-splijtstofelementen (Davidson, Yapunich, Bera, & Valenzano, 2010)

In het MER worden veiligheidsrisico's beschreven uitgaande van maximaal 6 transporten per jaar (totaal 36 MOX-splijtstofelementen), met hun bijbehorende risiconiveau. Het aantal transporten met MOX-splijtstofelementen vanaf het jaar 2013 komt op slechts 2 per jaar uit (in totaal 12 MOX-splijtstofelementen per jaar). Het betreft hier aanvoer van nieuwe MOX-splijtstofelementen. De afvoer van gebruikte MOX-splijtstofelementen heeft nog niet plaats gevonden.

Gezien de verhoogde veiligheidsmaatregelen die getroffen worden bij het vervoer van MOX-splijtstofelementen en het kleinere aantal transporten dat uitgevoerd is, zijn de veiligheidsrisico's minder dan beschreven in het MER. Om de geplande beladingsgraad van 40% te onderhouden worden uiteindelijk bruto meer transporten van MOX-splijtstofelementen verwacht. Dit heeft geen effect op het risico dat gelopen wordt per transport. Het totale risico wordt met meer transporten wel groter, maar niet groter dan de verwachting in het MER (meer dan 14 transporten zoals beschreven in het MER zijn op dit moment niet verwacht). De stelling uit het MER dat de inzet van MOX-splijtstoffen niet leidt tot een significante verhoging van het transportrisico is gerechtvaardigd.

4.6.2 Veranderingen in de splijtstofcyclus

In het MER is beschreven dat EPZ in de referentiesituatie een gesloten splijtstofcyclus had met betrekking tot de afvoer van verarmd uranium en de aanvoer van verrijkt uranium vanuit Frankrijk. Van een gesloten cyclus is nog steeds sprake. In de huidige situatie wordt namelijk verrijkt uranium aangevoerd vanuit Duitsland en MOX-splijtstof vanuit Frankrijk naar de KCB en wordt gebruikte splijtstof afgevoerd naar Frankrijk waar het wordt opgewerkt. Daarbij komen reprocessed uranium en plutonium vrij voor hergebruik. Het reprocessed uranium wordt verrijkt en hergebruikt in splijtstof voor KCB. Het plutonium wordt hergebruikt in MOX-splijtstof voor KCB. De KCB recyclet op deze manier plutonium en zorgt hierdoor niet voor additioneel plutonium, dat opgewerkt dient te worden. Dankzij het MOX-programma heeft KCB over de periode 2014-2034 een sluitende plutonium balans, er wordt netto geen plutonium geproduceerd.

Daarnaast heeft de inzet van MOX-splijtstofelementen nog een voordeel, namelijk het verminderen van de winning van natuurlijk uranium. In de afgelopen jaren is de hoeveelheid plutonium in de opwerking van MOX-splijtstof toegenomen in Europa, wat een vermindering van het verbruik van natuurlijk uranium tot stand heeft gebracht. In Tabel 11 is deze trend weergegeven.

Tabel 11 Opgewerkt plutonium vs. Besparing natuurlijk uranium in ton (1.000 kg) (Euratom Supply Agency, 2015)

Jaar	Opgewerkt plutonium	Besparing natuurlijk uranium (schatting)
2011	9,4	824
2012	10,3	897
2013	11,1	1 047
2014	11,6	1 156
2015	10,8	1 050

Tabel 11 en voorgaande paragraaf laten zien dat het opwerken en gebruiken van MOX-splijtstof niet alleen voor EPZ zorgt voor een gesloten splijtstofcyclus en splijtstofbalans ten aanzien van plutonium, maar dat tevens vermindering van de winning van natuurlijk uranium bewerkstelligt kan worden. Door voorgaande punten kan geconcludeerd worden dat de inzet van MOX-splijtstofelementen geen negatieve effecten voor de splijtstofcyclus tot gevolg heeft.

4.6.3 Ecologische effecten

De inzet van MOX-splijtstofelementen heeft zoals tot nu toe beschreven in hoofdstuk 4 geen effect op milieuaspecten in de omgeving. Hierdoor is de conclusie gerechtvaardigd dat de inzet van MOX-splijtstofelementen geen effect heeft op (beschermde) vogels, zeehonden en andere faunasoorten, alsmede op de habitattypes waarvoor de Westerschelde als Natura 2000-gebied is aangewezen. Dit komt overeen met de verwachtingen uit het MER. Zoals reeds beschreven in paragraaf 4.4.1.2 is de waterkwaliteit in de Westerschelde de afgelopen jaren verbeterd (EPZ a, 2015), wat mogelijk een positief effect kan hebben op de flora en fauna in de omgeving.

5 ONTWIKKELINGEN INZAKE MOX-SPLIJTSTOF

5.1 Ervaringen in het gebruik van MOX-splijtstof

Voor EPZ wegen de baten van het gebruik van MOX op tegen de bijbehorende lasten zoals de benodigde aanvullende veiligheidsmaatregelen. Door de inzet van MOX neemt de diversiteit aan splijtstofelementen toe, dit leidt tot meer flexibiliteit in het splijtstofmanagement van de kern.

Het Franse EDF gaf in een presentatie (EDF, 2011) aan dat het gebruik van MOX-splijtstof voornamelijk positief was (betrouwbaarheid, beschikbaarheid en veiligheid), maar wel met als gevolg strengere maatregelen van de Franse overheid.

Het Duitse EON was in hun betreffende presentatie (EON, 2011) over de ervaringen van MOX-splijtstof minder positief en gaf aan dat het specifiek voor de Duitse situatie moeilijker te fabriceren en te behandelen was. Daarnaast vond EON de langere afkoelperiode nadelig en de kosten verbonden aan het strengere toezicht van het IAEA een minpunt.

5.2 Ontwikkelingen in richtlijnen en regelgeving betreffende stralingsrisico's

Ontwikkelingen om stralingsrisico's van MOX-splijtstof te minimaliseren zijn voornamelijk gericht op de fabrieken die MOX-splijtstof produceren. Dergelijke fabrieken staan onder streng toezicht van het IAEA en Euratom.

Stralingsrisico's die voor de KCB en EPZ van belang zijn, hebben alle betrekking op het transporteren en plaatsen van de MOX-splijtstofelementen. Betreffende het transport wordt er continue verbeterd op het vlak van de zogenoemde 'packagings' en daarmee de stralingsbescherming van de MOX-splijtstofstaven tijdens het vervoer (zie ook paragraaf 4.6.1). Betreffende het behandelen van de MOX-splijtstofstaven in de reactor, gaf EPZ aan hier kennis over uit te wisselen met collega reactoren, om zo het proces efficiënter te maken.

6 CONCLUSIE

Op basis van de evaluatie is de conclusie dat door de inzet van MOX-splijtstofelementen er geen grotere of andere effecten zijn opgetreden dan die zijn beschreven in de “Milieueffectrapportage Brandstofdiversificatie” (juli 2010, N.V. Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland EPZ). Het algemene beeld is dat op het gebied van de lozing van radioactieve stoffen of activiteit naar de omgeving en op het gebied van de stralingsbelasting, in de afgelopen jaren verbeteringen zijn opgetreden.

In onderstaande lijst wordt de conclusie gesplitst in de benodigde onderdelen van de evaluatie, zoals beschreven in paragraaf 1.2.

1. **De ontwikkeling van het milieu ter plaatse van de inrichting te Borssele, dit mede in relatie tot de resultaten uit de lozings- en meetprogramma’s als bedoeld in de voorschriften:**

De invloed van MOX-splijtstof op de ontwikkeling van het milieu ter plaatse is niet aanwezig. De in het MER verwachte toenames in lozingen hebben zich niet voorgedaan.

Luchtkwaliteit: De verwachtingen zoals beschreven in het MER betreffende de luchtkwaliteit zijn gelet op de beschikbare data uit 2014 – 2016 uitgekomen en/of zelfs verbeterd. In vergelijking tot de referentiesituatie van 2010 – 2014 is alleen de hoeveelheid edelgassen gelijk gebleven, maar wel sterk gedaald ten opzichte van de referentiesituatie zoals beschreven in het MER. Dit laatste komt doordat in 2000 - 2009 schade is opgetreden aan de splijtstof waardoor sprake was van verhoogde lozingen van edelgassen. In de jaren 2010 – 2014 is geen splijtstofschade opgetreden.

Waterkwaliteit: Tritium en α en β en ɣ-activiteit in het water van de Westerschelde zijn gelijk gebleven of afgenomen vergeleken met de waardes beschreven in het MER. De algemene waterkwaliteit is de laatste jaren zelfs verbeterd. De biologische en radiologische kwaliteit heeft geen negatieve effecten ondergaan in vergelijking tot voorgaande jaren.

Bodemkwaliteit: Gezien de verminderde emissie van radioactieve stoffen naar lucht (daardoor minder depositie), alsmede het ontbreken van lekkages door toedoen van de inzet van MOX-splijtstof, zijn geen negatieve effecten te verwachten betreffende de bodemkwaliteit.

Stralingsbelasting: Ondanks de geringe extra bijdrage door de inzet van MOX-splijtstof is de jaarlijkse effectieve dosis aan de terreingrens lager dan de verwachte dosis in het MER. Dit komt door efficiëntere procedures van EPZ bij de aanvoer van MOX-splijtstofelementen. Desondanks ontvangen de betrokken medewerkers een extra bijdrage door de aanvoer van MOX-splijtstof. Afvoer van verbruikte MOX-splijtstof heeft tot op heden nog niet plaats gevonden. De collectieve dosis voor medewerkers bij KCB (EPZ en derden) is sterk afgenomen in de jaren na de inzet van MOX-splijtstof.

Transport: De inzet van MOX-splijtstof zorgt niet voor additionele veiligheidsrisico’s anders dan beschreven in het MER. Het aantal transporten is minder dan het verwachte aantal in het MER en de transportcontainers zoals beschreven in het MER worden toegepast voor de huidige aanvoer van MOX-splijtstofelementen naar de KCB.

Ecologische effecten: Er zijn geen negatieve effecten op het milieu in de directe omgeving, de conclusie is gerechtvaardigd dat de inzet van MOX-splijtstofelementen geen effect heeft op (beschermde) vogels, zeehonden en andere faunasoorten, alsmede op de habitattypes waarvoor de Westerschelde als Natura 2000-gebied is aangewezen.

2. **De bij de besluitvorming gehanteerde uitgangspunten inzake veiligheid en de uitvoering van het ALARA-beginsel:**

De 10-jaarlijkse veiligheidsevaluatie en het robuustheidsonderzoek (stress-test) als reactie op het kernongeval in Fukushima (maart 2011) geven geen aanleiding om de inzet van MOX te wijzigen. Mede op basis van het locatiebezoek, gesprekken met EPZ, en analyses is de conclusie gerechtvaardigd dat de uitgangspunten inzake veiligheid en de uitvoering van het ALARA-beginsel adequaat worden gerespecteerd om de MOX-splijtstof veilig in te zetten. De veiligheidsgrenzen zoals vastgelegd in de Technische Specificaties worden niet overschreden.

De procedures voor de aanvoer van MOX-splijtstofelementen zijn efficiënter gemaakt, om de blootstelling aan ioniserende straling te minimaliseren. Speciale containers voor MOX-splijtstof verminderen de straling naar de omgeving effectief. EPZ heeft voortdurend aandacht voor het verder verminderen van de dosis aan medewerkers.

Daarnaast zijn additionele veiligheidsmaatregelen van toepassingen betreffende MOX-splijtstofelementen die door de IAEA, Euratom en de ANVS worden gecontroleerd.

3. **Verificatie van de gehanteerde veronderstellingen ten aanzien van de veilige bedrijfsvoering met de inzet van c-ERU en MOX-splijtstof binnen de veiligheidstechnische en thermohydraulische randvoorwaarden:**

De metingen van de reactiviteit en de vermogensverdeling tijdens de opstart na de splijtstofwissel in 2014, 2015 en 2016 met inzet van respectievelijk 8, 20 en 32 MOX-splijtstofelementen, sluiten nauw aan bij de modelberekeningen. De grenzen van de Technische Specificaties op dit punt worden niet overschreden.

4. **De bevindingen in relatie tot voorschrift II.A.10 betreffende de zekerstelling dat de MOX HTP-type splijtstofelementen gekwalificeerd blijven bij "opbrand" boven 60 MW dag/ kg splijtstof:**

De visuele inspecties en de rechtheidsmetingen van MOX en ENU-splijtstofelementen zoals uitgevoerd tijdens de splijtstofwissel 2015 en 2016 als onderdeel van het MOX-monitoringsprogramma laten zien dat het gedrag van MOX-elementen vergelijkbaar is met dat van ENU-elementen. De gemeten gemiddelde doorbuiging van MOX en ENU-splijtstofelementen zijn vergelijkbaar en ruimschoots acceptabel.

De resultaten van de standaard valtest van de 28 regelstaven als onderdeel van de opstartprocedure laten zien dat de valtijden sinds het begin van deze metingen (1999) tussen de 1,9 en 2,8 seconden liggen. De recente metingen vertonen geen afwijkend beeld.

Dit alles is ruim onder de genoemde opbrandlimiet van 60MW dag/kg. Die opbrandlimiet is nog niet bereikt.

5. **Gebeurtenissen waarbij zich een (onmiddellijke dreiging van een) buitennormale lozing voordeed of gebeurtenissen die overeenkomstig voorschrift II.B.24, II.D.7 of II.D.9 zijn gemeld:**

Bij geen van de gemelde ongewone gebeurtenissen sinds 2011 was er sprake van een (onmiddellijke dreiging van een) buitennormale lozing. Wel vereiste de Inspectie Leefomgeving en Transport in 2011 speciale aandacht voor het terugdringen van ongewone gebeurtenissen naar aanleiding van een achttal meldingen. In 2015 stelt de ANVS vast dat "de vergunninghouder structureel aandacht besteedt aan het terugdringen van het aantal storingen". Gemelde ongewone gebeurtenissen in 2014, 2015 en 2016 hebben geen relatie met de inzet van MOX-splijtstof en vereisen om deze reden geen bijzondere aandacht.

6. **De ontvangen dosis voor medewerkers, specifiek de dosis opgelopen bij de ontvangst van nieuwe MOX-splijtstofelementen:**

De collectieve jaardoses van medewerkers van EPZ en derden tijdens vermogensbedrijf zijn in de jaren na de inzet van MOX-splijtstof verminderd ten opzichte van de jaren ervoor. Een directe relatie met de inzet van MOX is hierbij niet te leggen. In de MER is de verwachting uitgesproken dat bij de aanvoer van MOX-splijtstofelementen een maximale collectieve stralingsdosis van minder dan 10 mSv per transport voor de betrokken EPZ-medewerkers te verwachten is. In de realiteit zijn de opgelopen doses door aanvoer van MOX-splijtstofelementen veel lager, namelijk 0,83 mSv in 2013 en 1,6 mSv in 2014. EPZ gaf aan dat bij de laatste aanvoer in 2016 de dosis 0,3 mSv was, wat weer lager is dan de jaren ervoor. Dit komt mede door het delen van kennis met collega reactoren, om de procedures van het behandelen van MOX-splijtstofelementen te optimaliseren.

7. **De ontwikkelingen in kennis inzake het gebruik van MOX-splijtstofelementen bij andere centrales**: Ontwikkelingen vanwege de veiligheid van MOX-splijtstoffabrieken zijn doorlopend. Andere centrales hebben weinig nieuws te melden over het gebruik van MOX-splijtstof. De voor- en nadelen van het gebruik van MOX zijn bekend. De vraag naar MOX-elementen in Europa is verminderd, onder andere vanwege de sluiting van kerncentrales.

Aanbeveling:
Aanbevolen wordt om nogmaals een evaluatie uit te voeren 2 jaar na volledige belading (40% MOX-splijtstofelementen) ten einde de effecten van volledige belading in kaart te brengen.

7 BIBLIOGRAPHY

ANVS. (2015). *Rapportage ongewone gebeurtenissen in Nederlandse nucleaire inrichtingen in 2011, 2012, 2013, 2014 en 2015.*

Davidson, D., Yapunich, F., Bera, R., & Valenzano, M. (2010). *Commercial Viability of Mixed Oxide Fuel Transport in the United States– 10060.* Phoenix, USA: WM2010 Conference.

EDF. (2011, December). MOX use in PWRs EDF Operation Experience.

EDF. (2011). MOX-use in PWRs: EDF Operation Experience.

EON. (2011, September). MOX@EON EON Operational Experience.

EON. (2011). MOX@EON: EON operational experience.

EPZ. (2011). Milieuoverheidsjaarverslag 2011 Kernenergie-eenheid BS30.

EPZ a. (2010). *Aanvraag tot wijziging kernenergiewetvergunning Brandstofdiversificatie.*

EPZ a. (2012). Milieuoverheidsjaarverslag 2012 Kernenergie-eenheid BS30.

EPZ a. (2013). *Jaaroverzicht van de bij de KCB ontvangen dosis ioniserende straling in 2013.* EPZ.

EPZ a. (2014). *Evaluatie opstart cyclus 42.*

EPZ a. (2015). *Milieuoverheidsverslag 2015 Kernenergiecentrale Borssele.* EPZ.

EPZ a. (2016). *Maanrapportages januari t/m september.*

EPZ b. (2010). *Milieueffectrapportage Brandstofdiversificatie.* N.V. Elektriciteits-produktiemaatschappij Zuid-Nederland EPZ.

EPZ b. (2012). *Stralingsniveaumetingen rond het terrein van EPZ kerncentrale te Borssele.* RIVM.

EPZ b. (2013). Jaaroverzicht van de, bij de KCB, ontvangen dosis ioniserende straling in 2013.

EPZ b. (2014). *Jaaroverzicht van de bij de KCB ontvangen dosis ioniserende straling in 2014.* EPZ.

EPZ b. (2015). *Rapport 'Evaluatie van de inzet van MOX-elementen in cyclus 42.*

EPZ b. (2016). *Rapport evaluatie van de inzet van MOX elementen in cyclus 43.*

EPZ c. (2013). *Milieuoverheidsverslag 2013 Kernenergiecentrale Borssele.* EPZ.

EPZ c. (2014). *Maandrapporatages januari t/m december.*

EPZ c. (2015). *Veiligheidsrapport Kernenergiecentrale Borssele.* EPZ.

EPZ c. (2016). *Rapportage van de geloosde gasvormige en vloeibare radioactieve stoffen in het eerste kwartaal 2016 (Januari t/m Maart).* EPZ.

EPZ d. (2014). *Milieuoverheidsverslag 2014 Kernenergiecentrale Borssele.* EPZ.

Euratom Supply Agency. (2015). *Annual Report 2015.* Brussels: European Commission.

European Commission. (2008). *Main Findings of the Commission's Article 35 verification in the Netherlands: BORSSELE NUCLEAR POWER STATION.* EU.

European Commission. (2014). *Technical Report: VERIFICATIONS UNDER THE TERMS OF ARTICLE 35.* Brussels: European Commission.

European Union. (2006). Verification of environmental radioactivity monitoring facilities under the terms of Article 35 of the Euratom Treaty. *Official Journal of the European Union*, 1-4.

European Union. (2014). COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM of 5 December 2013. *Official Journal of the European Union*, 1 - 80.

IAEA. (2003). Status and Advances of MOX Fuel Technology. *Technical Reports Series no. 415*, pp. 1 - 190.

IAEA. (2010). *Safety of Uranium and Plutonium Mixed Oxide Fuel Fabrication Facilities.* Vienna: IAEA.

Massih, A. (2006). *Models for MOX fuel behaviour.* SKi.

Ministerie EZ. (2011). *Definitieve beschikking Brandstofdiversificatie NV EPZ.*

RIVM. (2011). *Stralingsniveaumetingen rond het terrein van EPZ kerncentrale te Borssele.* RIVM.

RIVM. (2013). *Contra-Expertise op bepalingen van radioactiviteit van afvalwater en ventilatielucht van de kernenergiecentrale Borssele.* RIVM.

RIVM. (2013). *Stralingsniveaumetingen rond het terrein van EPZ kerncentrale te Borssele.* RIVM.

RIVM. (2014). *Contra-Expertise op bepalingen van radioactiviteit van afvalwater en ventilatielucht van de kernenergiecentrale Borssele.* RIVM.

RIVM. (2014). *Stralingsniveaumetingen rond het terrein van EPZ kerncentrale te Borssele.* RIVM.

Tverberg, T. (2007, Juni). Mixed-oxide (MOX) Fuel Performance Benchmark. *Nuclear Science*, pp. 1-62.

Wieman, J. (2015, March 15). Borssele moves to MOX.

World Nuclear Association. (2016). *Mixed Oxide Fuel*. Opgehaald van http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/mixed-oxide-fuel-mox.aspx.

BIJLAGE A AFKORTINGEN

Afkorting	Beschrijving
ANVS	Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming
c-ERU	Compensated Enriched Recycled Uranium
COVRA	Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval
ENU	Enriched Natural Uranium
EPZ	N.V. Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland
ERU	Enriched Recycled Uranium
FANC	Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (België)
HTP	High Thermal Performance; Merknaam voor type MOX-splijtstofelement ontwerp
IAEA	International Atomic Energy Agency
ISOE	Information System on Occupational Exposure
KCB	Kernenergiecentrale Borssele
KEW	Kernenergiewet
MER	Milieueffectrapport
MDA	Minimaal Detecteerbare Activiteit
MW	Megawatt
MOX	Mengoxide (Mixed Oxide) van plutonium en uranium
MONET	MOnitoring NEtwerk Terreinen (onder beheer van RIVM)
ppm	Parts per million
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RUD	Rijksuitvoeringsdienst
RWS	Rijkswaterstaat
SOB	Splijtstofopslagbassin

BIJLAGE B CONTACT BELANGHEBBENDE INSTANTIES

Instantie	Reactie op verzoek tot delen van bijzonderheden	Bijzonderheden
Provincie Zeeland	Ja reactie gegeven	Geen bijzonderheden
RUD Zeeland	Ja reactie gegeven	Geen bijzonderheden
RWS Zeeland	Ja reactie gegeven	Geen bijzonderheden
FANC (België)	Ja reactie gegeven	Geen bijzonderheden
Gemeente Borsele	Nog geen reactie	Naar verluid geen bijzonderheden

BIJLAGE C OPZET LOCATIEBEZOEK

Sleutelpersonen/ Expertise gebied EPZ	Onderwerpen
Hoofdafdeling techniek van EPZ, Chef Stralingsbeschermingsafdeling, Chef Chemie & Monitoring	Plant walk-down: a) monsternamen punten van lozingen naar lucht en water, b) mogelijk (aanvullende) voorzieningen voor stralingsbescherming bij de ontvangst van containers met MOX-splijtstof, en c) algemeen bezoek aan de installatie. Meetgegevens/procedures/rapporten, Ervaringen bij bedrijfsvoering, integriteit van splijtstof omhulling/ reactorwater activiteit, en verificatie van compliance aan reactorfysische veiligheidslimieten.
Reactorfysicus	Waarborging van reactorfysische veiligheid en huidige en geplande verdere inzet van MOX
Hoofdafdeling techniek van EPZ	Conclusies a. geplande inzet van MOX, b. stralingsbeschermingsmaatregelen ‘as low as reasonably achievable’ (ALARA), c. procesvoering, d. specificaties MOX-splijtstof. e. voortschrijdend inzicht vanuit bedrijfsvoering.

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 264

6800 AG Arnhem

Nederland

+31 (0)88 4261 261

www.arcadis.com

Projectnummer: C05057.000093

Onze referentie: 079177715 J