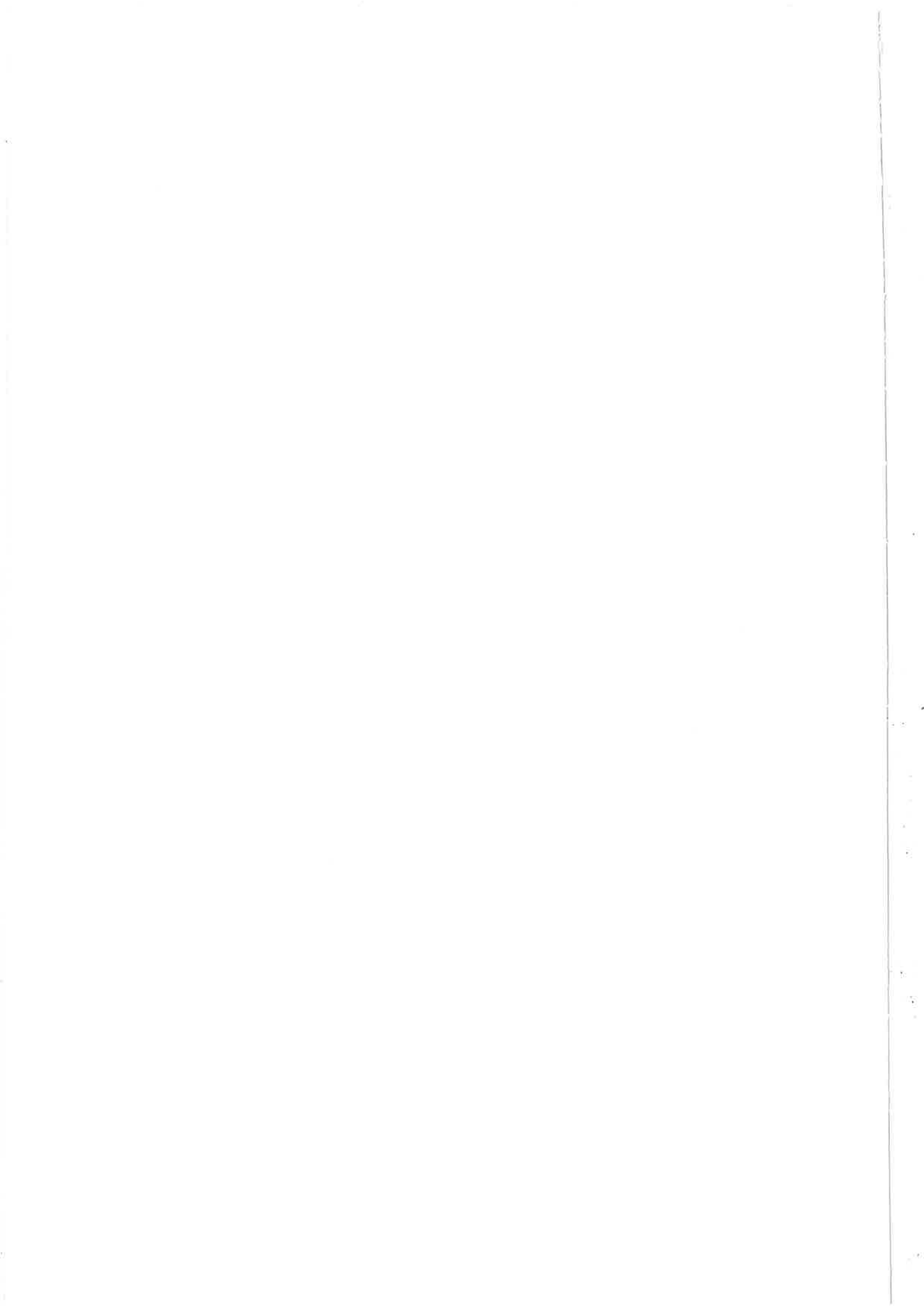


50351788-KPS/TPE 03-1128

04-02-23

Beschrijving van de voorgenomen wijziging van de verrijkingsgraad tot 4,4%, en verhoging van de splijtstofopbrand, ten behoeve van de aanvraag om een wijzigingsvergunning ingevolge de Kernenergiewet voor de kerncentrale Borssele





50351788-KPS/TPE 03-1128

**Beschrijving van de voorgenomen
wijziging van de verrijgingsgraad tot
4,4%, en verhoging van de splijststof-
opbrand, ten behoeve van de aanvraag
om een wijzigingsvergunning ingevolge
de Kernenergiewet voor de kerncentrale
Borssele**

Arnhem, 23 februari 2004



Samensteller W.C. Kok
KEMA Power Generation & Sustainables

In opdracht van EPZ

auteur : W.C. Kok
B 49 blz.


0 bijl.

04-02-23
WCK

beoordeeld : J.H.W. Lindeman  04-02-23
goedgekeurd : H. Bijsterbosch  04-02-23

© KEMA Nederland B.V., Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Dit document bevat vertrouwelijke informatie. Overdracht van de informatie aan derden zonder schriftelijke toestemming van of namens KEMA Nederland B.V. is verboden. Hetzelfde geldt voor het kopiëren van het document of een gedeelte daarvan.

KEMA Nederland B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

INHOUD

	blz.
1	Inleiding..... 5
2	Vereisten vergunningaanvragen ingevolge Bkse 6
3	Opgave van de verleende vergunningen 9
4	Kwalificatie splijstofelementen 11
4.1	Algemeen 11
4.2	HTP-elementen 13
4.3	Bedrijfservaringen met HTP-elementen 15
4.4	Gedrag onder ongevalscondities 17
4.5	Conclusies 19
5	Splijstofontwerp 20
5.1	Ontwerp van de splijstofstaaf..... 20
5.2	Ontwerp van de splijstofelementstructuur 21
5.3	Haalbaarheidsstudie 23
6	Veiligheid..... 26
6.1	Neutronenfysisch en thermohydraulisch ontwerp van de reactorkern 26
6.2	Veiligheidsbeschouwing 27
6.2.1	Reactor, normaal bedrijf en storingen 28
6.2.2	Reactor, ongevalsanalyses..... 28
6.2.2.1	Inleiding 28
6.2.2.2	Algemeen toepasbare berekeningen 29
6.2.2.3	Thermohydraulische analyses 30
6.2.2.4	Radiologische analyses 34
6.2.2.5	Diversen 35
6.2.2.6	Conclusies 36
6.2.3	Reactor, onderkritikaliteit 36
6.2.4	Reactor, nakoelketen..... 36
6.2.5	Splijstofopslagbassin (SOB), onderkritikaliteit..... 36
6.2.6	Splijstofopslagbassin, koeling 38
6.2.7	Splijstofopslagbassin, afscherming 38

INHOUD (vervolg)

	blz.
7	Mengkernen 39
8	Gevolgen ongevalsemisies 41
8.1	Inleiding 41
8.2	Ontwerpongevallen..... 41
8.2.1	Uitgangspunten 41
8.2.2	Overzicht uitgevoerde berekeningen 43
8.2.3	Rekenresultaten 43
VERKLARENDE LIJST VAN BEGRIPPEN, AFKORTINGEN, SYMBOLEN EN VOORVOEGSELS..... 46	
REFERENTIES..... 49	

1 INLEIDING

Het onderhavige vergunningaanvraagdocument bevat de technische gegevens ten behoeve van een vergunning-aanvraag ingevolge artikel 15 onder b van de Kernenergiewet (Kew) voor het wijzigen van de inrichting. Tezamen met de Aanvulling op het Veiligheidsrapport kernenergie-eenheid centrale Borssele en het Milieu-effectrapport "Kerncentrale Borssele; hogere verrijking tot 4,4%" vormt dit document de onderbouwing voor de vergunning-aanvraag.

Voor de complete reikwijdte van de aanvraag wordt verwezen naar de aanvraagbrief. Deze bijlage geeft de technische onderbouwing van de verhoging van de beginverrijking van 4,0 naar 4,4 gewichtsprocent met een tolerantie van +/- 0,05 gewichtsprocent.

In hoofdstuk 2 worden de van toepassing zijnde regels op de aanvraag beschreven en een aanduiding hoe aan deze regels wordt voldaan. Hoofdstuk 3 vermeldt in dat kader de reeds verleende vergunningen ingevolge de Kernenergiewet. In de hoofdstukken 4 tot en met 8 wordt de technische onderbouwing van de aangevraagde verrijking tot 4,4% beschreven.

De niet-nucleaire aspecten van de installatie worden in beginsel eveneens in de vergunning in gevolge de Kew geregeld. Omdat deze aspecten niet wijzigen als gevolg van de hogere verrijking, worden zij in deze wijzigingsaanvraag niet beschreven.

Om de totale aanvraag zo beknopt mogelijk te houden, wordt zo veel mogelijk naar informatie uit andere bijlagen bij de vergunningaanvraag verwezen, te weten het MER en de wijzigingen van het Veiligheidsrapport.

Qua karakter is een vergunningaanvraagdocument veelal technischer van aard dan het MER. Zonder de nodige voorkennis van de werking van kernreactoren, zijn sommige gedeelten van dit document dan ook moeilijk te begrijpen. De samenvatting van het MER geeft voor de minder deskundige geïnteresseerden de nodige informatie. Voor de betekenis van de technische begrippen wordt verwezen naar de Begrippenlijst.

Voor een goede begripsvorming wordt de lezer aangeraden eerst het MER te lezen.

2 VEREISTEN VERGUNNINGAANVRAGEN INGEVOLGE BKSE

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de ingevolge het Bkse vereiste informatie voor het aanvragen van een wijzigingsvergunning. Per artikel van het Bkse wordt in de tweede kolom de inhoud van dit artikel en in de laatste kolom de invulling van dit vereiste gegeven. Hierbij wordt, waar nodig, verwezen naar andere aanvraagdOCUMENTEN.

N.B. De verwijzingen VR en MER betreffen het Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele VR-KCB 93 rev. 4 respectievelijk het Milieueffectrapport Kerncentrale Borssele "Hogere verrijking splijtstof tot 4,4%", die als bijlagen bij de vergunningsaanvraag zijn gevoegd.

Artikel	Inhoud	Respons
3.4a	naam en adres aanvrager	niet gewijzigd
3.4b	een feitelijke omschrijving van hetgeen de aanvrager met de betrokken splijtstoffen of ertsen wenst te doen onderscheidenlijk een aanduiding van de betrokken inrichting of uitrusting onder vermelding van het gebruik, dat de aanvrager van die inrichting of uitrusting wenst te maken	niet gewijzigd
3.4c	voor zover een of meer der in de artikelen 4 tot en met 11 vervatte bepalingen op de betrokken aanvraag van toepassing zijn, de gegevens, welke de aanvraag uit dien hoofde in het bijzonder dient te bevatten dan wel, ingeval zodanige gegevens in een bij de aanvraag behorende bijlage zijn vermeld, een korte aanduiding van de aard en de inhoud dezer gegevens met verwijzing naar de betrokken bijlage;	zie op de relevante plaatsen
3.4d	een opgave van de tijdsduur, waarvoor de vergunning wordt verlangd	niet gewijzigd
3.4e	indien een vergunning wordt aangevraagd voor een handeling die in de krachtens artikel 19 in samenhang met artikel 4, tweede lid, van het Besluit	Zie Regeling bekendmaking rechtvaardiging gebruik van ioniserende straling (Stcrt. 2002-248) onder categorie I.B.2

Artikel	Inhoud	Respons
	stralingsbescherming geldende regeling, als gerechtvaardigd is bekendgemaakt, een verwijzing naar die bekendmaking;	"Energieopwekking"
4.1a	Een opgave van de hoeveelheden, de chemische en fysische toestand, de vorm, het gehalte en de verrijkingsgraad, zomede, voor wat bestraalde splijtstoffen betreft, een zo nauwkeurig mogelijke opgave van de activiteit der splijtstoffen.	Voor beschrijving van de reactorkern, de splijtstofstaven, de regelementen, de opslag van splijtstof en een opgave van de nuclide inventaris wordt verwezen naar het VR o.a. de hoofdstukken 4 en 11.
4.1b	Een opgave van het doel, waarvoor de aanvrager splijtstoffen voorhanden wenst te hebben.	niet gewijzigd
4.1c	Een opgave en beschrijving van de plaats, waar de splijtstoffen voorhanden worden gehouden, dan wel, indien ten aanzien van de inrichting of uitrusting, waarin de splijtstoffen voorhanden worden gehouden, een vergunning als bedoeld in artikel 15, onder b of c, van de wet is vereist, een opgave van die inrichting of uitrusting, onder verwijzing naar de ten aanzien daarvan verleende vergunning, dan wel naar de aanvraag om een zodanige vergunning.	niet gewijzigd.
4.1d	Een beschrijving van de maatregelen die door of vanwege de aanvrager zullen worden getroffen ter voorkoming van schade.	niet gewijzigd
4.1e	Een risicoanalyse van de schade van het voorhanden hebben van de onder a bedoelde splijtstoffen buiten de onder c bedoelde plaats, inrichting of uitrusting.	Er wordt verwezen naar het VR (hoofdstuk 15) waarin een risicoanalyse van de schade buiten de inrichting als gevolg van de ontwerpongevallen wordt gegeven.
4.1f	Een opgave van alle handelingen en werkzaamheden met splijtstoffen, ertsen, radioactieve stoffen en toestellen binnen de locatie die meldingsplichtig of vergunningplichtig zijn krachtens dit besluit, het Besluit stralingsbescherming of het Besluit vervoer splijtstoffen, ertsen en	niet gewijzigd

Artikel	Inhoud	Respons
11.1a	<p>radioactieve stoffen.</p> <p>een opgave van de vergunning, krachtens welke de betrokken inrichting is opgericht dan wel in werking gebracht of gehouden;</p>	zie hoofdstuk 3 van deze bijlage
11.1b	een beschrijving van de voorgenomen wijziging	zie MER, met name paragraaf 4.3
11.1c	indien de aanvraag betrekking heeft op een inrichting als bedoeld in artikel 6, 7 of 8 en de voorgenomen wijziging van invloed is op een of meer gegevens als vermeld in het ter verkrijging van de onder a bedoelde vergunning overgelegde veiligheidsrapport of de risicoanalyse, bedoeld in artikel 6, onder h, een desbetreffende aanvulling hiervan (ontwerp-ongevallen)	zie VR en de risicoanalyse uit het MER (met name paragraaf 6.4)
11.1d	indien de aanvraag betrekking heeft op een inrichting als bedoeld in artikel 6, 7 of 8 en de voorgenomen wijziging van invloed is op een of meer gegevens als vermeld in de ter verkrijging van de onder a bedoelde vergunning overgelegde risicoanalyse, bedoeld in artikel 6, eerste lid, onder i, een desbetreffende aanvulling van die risicoanalyse (buitenontwerp-ongevallen)	zie VR en de risicoanalyse uit het MER (met name paragraaf 6.4)

3 OPGAVE VAN DE VERLEENDE VERGUNNINGEN

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

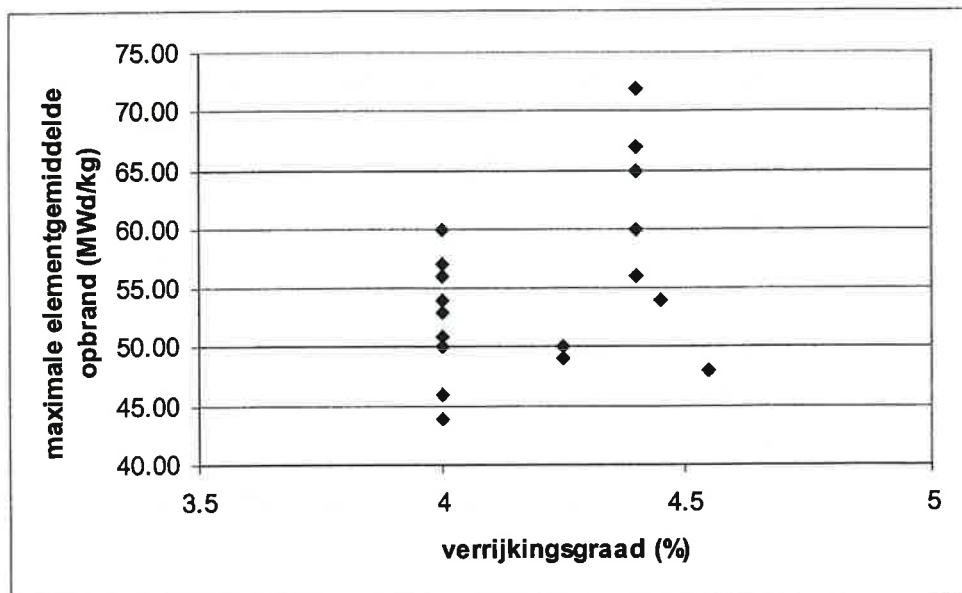
KENMERK	DATUM	OMSCHRIJVING	OPMERKING
372/352/EEK	23-3-72	Vergunning voor het oprichten van een kernenergiecentrale te Borssele en het voorhanden hebben van splijtstoffen.	Deze vergunning is vastgesteld bij Koninklijke besluit d.d. 8 september 1975, no.16.
372/1132/EEK	18-6-73	Vergunning voor het in werking brengen en in werking houden van de kernenergiecentrale te Borssele.	Deze vergunning is vastgesteld bij Koninklijke besluit d.d. 13 september 1979, no.46.
675/540	8-9-75	Koninklijke besluit nr. 16, m.b.t. oprichtingsvergunning	
378/II/66EEK	27-1-78	Wijziging bedrijfsvergunning n.a.v. het bouwen van een afvalgebouw.	Vervanging van de voorschriften 18 en 19 van artikel IV m.b.t. Alarmregeling.
679/842	13-9-79	Koninklijke besluit nr. 46, m.b.t. bedrijfsvergunning	
380/II/330/EEK	18-4-80	Vergunning voor het wijzigen van de kernenergiecentrale te Borssele en het voorhanden hebben van ten hoogste 200 ton uranium. (compactrekken).	Vastgelegd bij K.B. nr. 26, d.d. 12 november 1986.
nr. 189326 DGMH/S/VK/AS	24-9-82	Wijziging bedrijfsvergunning in verband met intrekking van het veiligheidsbesluit Ioniserende Stralen (VBIS).	Aanpassing en wijziging van voorschrift II.22.
149/463	7-3-84	Aanvullende voorschriften, verbonden aan de vergunning tot het in werking houden van de kernenergiecentrale te Borssele. (deskundigheid personeel)	Toevoegingen aan voorschrift II.1.
687/45	12-11-86	Koninklijke besluit nr. 26, m.b.t. bedrijfsvergunning (compactrekken).	
nr. 2537041	27-3-87	Wijziging bedrijfsvergunning i.v.m. vervallen Radioactieve stoffenbesluit Kernenergiewet (Stb.1981, 564)	
DGA/KFD/88/12587	27-1-89	Aanvullende voorschriften i.v.m. invoering kwaliteitsborgingsprogramma.	Toevoegingen aan voorschrift II.1 en II.1a. Aanpassing van Bedrijfsvergunning n.a.v. OSART-missie.
E/EEK/90039894	25-4-90	Overdracht van destijds vigerende kernenergiewetvergunningen van N.V. PZEM aan N.V. EPZ.	

KENMERK	DATUM	OMSCHRIJVING	OPMERKING
E/EE/KK/91001017	13-2-92	Aanvulling van voorschrift II.1 t/m II.1d (betreft implementatie NVR en 2- en 10-jaarlijkse evaluaties). * Vervanging voorschrift II.37 (betreft geluidshinder).	
E/EE/KK/93041207	28-6-93	Wijziging bedrijfsvergunning n.a.v. tijdelijke opslag van licht besmet materiaal. (cementeerinstallatie)	Toevoeging van nieuwe voorschriften 33A en 33B.
E/EE/KK/99004681	01-06-99	Beschikking inzake MOD.	"Nieuwe" beschikking.
E/EE/KK/99004680	01-06-99	Beschikking inzake Optimalisatie Splijtstof	Aanvulling op E/EE/KK/99004681.

4 KWALIFICATIE SPLIJTSTOFELEMENTEN

4.1 Algemeen

In figuur 4.1 zijn huidige feitelijke verrijgingsgraden en opbrandwaarden van drukwaterreactoren in Duitsland weergegeven.



Figuur 4.1 Huidige verrijgingsgraden en opbrandwaarden van Duitse kerncentrales met drukwaterreactoren.

N.B. een aantal punten vertegenwoordigt twee of meer reactoren.

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

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

Uit figuur 4.1 is af te leiden dat de opbrand bij een hogere verrijgingsgraad gemiddeld hoger ligt dan bij lagere verrijgingsgraad. Gemiddeld genomen is bij een verrijgingsgraad van 4,0% de maximale elementgemiddelde opbrand 52 MWd/kg en bij de groep boven 4% de opbrand 57 MWd/kg. Elementgemiddelde opbrandwaarden tot 72 MWd/kg worden in Duitsland reeds toegepast.

Ook elders in de wereld is er een algemene trend om naar hogere verrijgingsgraden en opbrandwaarden te gaan, vooral om de economische voordelen daarvan te benutten (zie tabel 4.1).

Tabel 4.1 Overzicht van maximaal toegepaste verrijgingsgraden en opbrandwaarden in de Verenigde Staten en Europa

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

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

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

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

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

hiervan een voorbeeld. Dit element wordt uitvoering beschreven in de navolgende paragrafen 4.2 – 4.5.

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

EPZ vraagt vergunning aan voor een verrijkingsgraad van 4,4% +/- 0,05% en een maximale staafgemiddelde opbrand van 68 MWd/kg. Zoals uit figuur 4.1 blijkt is hier elders al de nodige ervaring mee opgedaan. In paragraaf 4.3.2 van het MER wordt de nadere onderbouwing gegeven dat de inzet daarvan veilig mogelijk is.

4.2 HTP-elementen

In het kader van een bij de leverancier doorgevoerde standaardisatie van splijstofelementen gaat de KCB reeds in 2004 over op de toepassing van een nieuw type splijstofelement, het zogenaamde HTP-X5 element.

In de onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de in de KCB toegepaste (en toe te passen) splijstofelementen.

Type splijstofelement	MCW	FOCUS	HTP-X5
Toegepaste verrijkingsgraad	3,3	4,0	4,0 en 4,4
Materialen:			
– Splijstofomhulling	Zry-4	PCA-2b	M5
– Onderste afstandhouder	Inconel 718	Inconel 718	Inconel 718
– Bovenste afstandhouder	Inconel 718	Inconel 718	HPA-4
– Overige afstandhouders	Inconel 718	Zry-4	HPA-4
– Kop	1.4541	1.4541	1.4541
– Voet	1.4541	1.4541	1.4541
– Regelstaafgeleidebuizen	1.4541	Zry-4	PCAm-SC
Inklemming splijstofstaven	Puntcontact	Puntcontact	Lijncontact
Geïntegreerd debrisfilter	Nee	Nee	Ja

De belangrijkste verschillen van het HTP-elementtype ten opzichte van het huidige FOCUS-element zijn:

- alle afstandhouders, met uitzondering van de onderste, die van gelijk materiaal blijft (Inconel), zijn van een andere zirkoniumlegering (Type HPA-4) dan het bij de FOCUS-elementen toegepaste Zircaloy-4. Het HPA-4-materiaal is beter bestand tegen corrosie en waterstofopname. De toename van de hoeveelheid Zr (ca. 3 kg per splijtstofelement) heeft een zeer geringe ($<0,005\%$ ^{235}U) daling van de reactiviteit tot gevolg, die grotendeels wordt gecompenseerd door het in het HTP-element ontbreken van de in het FOCUS-element toegepaste Inconel-veren
- alle afstandhouders van de HTP-elementen hebben een lijncontact met de splijtstofomhullingsbuizen i.p.v. puntcontact, zoals bij FOCUS-elementen, waardoor de kans op fretting tussen afstandhouders en omhullingsbuizen wordt verkleind
- de regelstaafgeleidebuizen van de HTP-elementen zijn van Zirkoniumlegering PCAm-SC i.p.v. het bij de FOCUS-elementen toegepaste Zry-4. De PCAm-SC legering is beter bestand tegen corrosie en waterstofopname
- het omhullingsmateriaal van de splijtstofstaven van de HTP-elementen is van een Zirkonium-Niobium-legering (Type M5) gemaakt. Dit M5-materiaal heeft in vergelijking met de bij de FOCUS-elementen gebruikte Zirconium-legering PCA-2b betere eigenschappen op het gebied van corrosie, waterstofopname, kruipen en zwellen
- in de voet van het HTP-splijtstofelement bevindt zich een geïntegreerd debrisfilter. Dit filter fungeert als een zeef voor het vangen van kleine vreemde deeltjes in het hoofdkoelmiddel om daarmee frettingschade aan de elementen te voorkomen. De FOCUS-elementen zijn niet van een dergelijk filter voorzien
- de geometrie van de splijtstofstaven is bij de HTP-elementen iets gewijzigd t.o.v. de FOCUS-elementen: zij steken 17 mm verder in de voet en zijn 10 mm langer. De positie van de splijtstofzuil binnen het splijtstofelement is echter ongewijzigd. Verder is ook de hoogte van de afstandhouders gewijzigd van 44,5 mm in 38 mm voor de bovenste en de onderste afstandhouder en 45 mm voor de tussenliggende afstandhouders.

Het ontwerp van de HTP-elementen is gebaseerd op een elementgemiddelde opbrand van 65 MWd/kgU en een staafgemiddelde opbrand van 70 MWd/kgU. Voor de bepaling van de corrosielaagdikte en de waterstofopname is (conservatief) gerekend met een inzet gedurende zes cycli, in totaal 2190 dagen (365 dagen per cyclus). Aangetoond is, dat onder deze randvoorwaarden geen van de ontwerpgrenzen t.a.v. de neerdrukkkrachten en de mechanische sterkte wordt overschreden.

4.3 Bedrijfservaringen met HTP-elementen

HTP-splijstofelementen worden vanaf 1988 ingezet. Per december 2002 betrof dit in totaal 4.048 elementen met 1.041.128 splijstofstaven in 25 kerncentrales.

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

Regelstaafgeleidebuizen uit PCAm-SC worden sinds 1997 ingezet. Het gaat hierbij, per eind 2002, 220 splijstofelementen in negen verschillende centrales, waarbij opbrandwaarden tot 66 MWd/kgU bereikt werden. Inspecties hebben het goede gedrag van dit materiaal onder bedrijfsomstandigheden aangetoond. Lengtemetingen toonden zeer lage waarden (aan de onderste grens van het ervaringsbereik) van de groei onder stralingsbelasting aan.

Debrisfilters worden sinds het einde van de 80-er jaren ingezet, splijstofelementen met geïntegreerd debrisfilter vanaf 1995. Tot december 2002 is ervaring opgedaan met 2635 elementen in 16 installaties, waarbij opbrandwaarden tot 66 MWd/kgU bereikt werden. Met de invoering van debrisfilters is het aantal splijstofschades sterk afgenomen. In slechts één splijstofstaaf werd nog frettingschade als gevolg van deeltjes in het hoofdkoelmiddel vastgesteld.

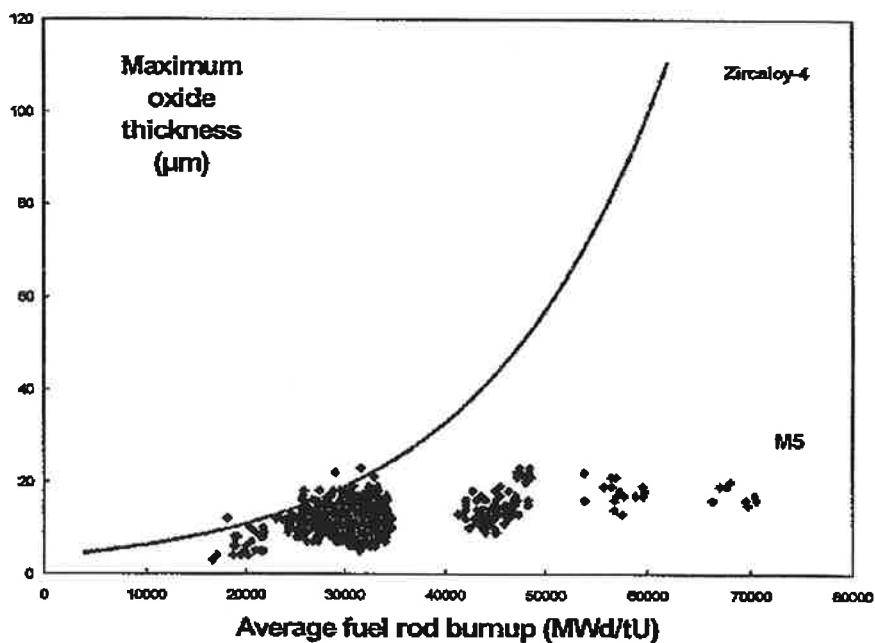
Het M5-splijstofomhullingsmateriaal werd tot nu toe in 1200 splijstofelementen ingezet met staafgemiddelde opbrandwaarden tot 70 MWd/kgU. In Frankrijk (Nogent-2) hebben zich problemen voorgedaan (lekkage van 23 splijstofstaven), die veroorzaakt werden door fretting tussen splijstofstaven en afstandhouders. Daar in de KCB het M5-materiaal ingezet wordt in combinatie met andere afstandhouders, die een betere inklemming van de splijstofstaven garanderen, is de situatie niet vergelijkbaar met de Franse splijstofelementconfiguratie en is het optreden van de in Frankrijk gesignaleerde problemen voor de kerncentrale Borssele niet te verwachten.

Er zijn ook enige afwijkingen opgetreden in de centrales Philippsburg en Gösgen met een Zr1Nb cladding (die overigens gelijkwaardig, maar niet identiek aan M5 is), waarbij geconstateerd werd, dat de oxidelaag op de splijstofomhulling van enkele splijstofstaven losliet. In de beide centrales, waar dit geconstateerd werd, wordt de splijstof echter thermisch zeer hoog belast, circa driemaal zo hoog als in Borssele. Het waargenomen

verschijnsel heeft volgens de leverancier verder geen invloed op de integriteit van de splijtstof.

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

Oxidelaagdiktemetingen aan ontladen splijtstofstaven laten duidelijk een uitstekend corrosiegedrag van het M5-bekledingsmateriaal t.o.v. Zircaloy-4 zien. De opbrandwaarden gaan tot 71 MWd/kgU (zie onderstaande figuur 4.2).



Figuur 4.2 Corrosiegedrag van M5 en Zircaloy-4 in drukwaterreactoren

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

De bedrijfsomstandigheden, waaronder deze ervaringen zijn opgedaan, zijn vergelijkbaar met de omstandigheden, waaronder de KCB bedreven wordt, waarbij opgemerkt wordt, dat de omstandigheden in Borssele met name qua temperatuur van het hoofdkoelmiddel nog minder belastend voor de splijstofelementen zijn.

4.4 Gedrag onder ongevalscondities

Aan het begin van de 80-er jaren werd duidelijk, dat in ongevalsanalyses onvoldoende rekening gehouden werd met degradatie van splijstofelementen als gevolg van opbrand, met name met betrekking tot het RIA-ongeval (Reactivity Initiated Accident), maar ook wel met betrekking tot LOCA-ongevallen (Loss Of Coolant Accident).

Hiervoor werd een speciale internationale werkgroep in het leven geroepen, de SEGFSM (Special Expert Group on Fuel Safety Margins), onder auspiciën van de NEA-OECD.

In het kader van de SEGFSM wordt internationaal veel onderzoek verricht op het gebied van splijstofgedrag.

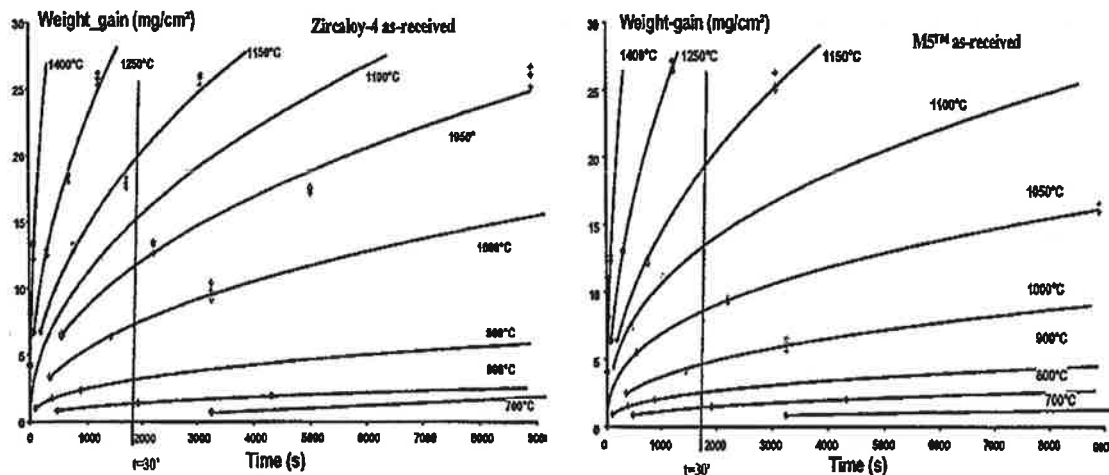
De resultaten van deze werkgroep zijn inmiddels verwerkt in ontwerpcodes en –methoden en ook ten behoeve van de voorliggende ontwerpwijziging toegepast.

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

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

Op basis van de inzichten van de SEGFSM zijn in het kader van het invoeren van de HTP-splijstofelementen nieuwe LOCA-analyses uitgevoerd. In deze analyses is rekening gehouden met een verrijkingsgraad van 4,4% en dus met een hogere opbrandwaarde. Hierbij is onder meer gekeken naar een verslechterde warmte-overdracht in de splijstoftabletten door een hogere mate van scheurvorming (vanwege extra gasvorming) en naar het oxidatiegedrag, veroorzaakt door de hogere temperaturen gedurende de eerste minuten van een grote LOCA.

Uitvoerige tests hebben aangetoond dat onder LOCA-omstandigheden het oxidatiegedrag van het M5-bekledingsmateriaal tenminste gelijkwaardig is aan dat van Zircaloy-4 (zie figuur 4.3).



Figuur 4.3 Hoge-temperatuur oxidatiegedrag van M5 en Zircaloy-4

Uit deze figuur blijkt, dat M5 en Zircaloy-4 een vergelijkbare oxidatiesnelheid hebben, met uitzondering van het temperatuurgebied tussen 950 en 1050 °C, waarin M5 een duidelijk (ca. 30%) lagere oxidatiesnelheid vertoont.

De aansluitend aan de oxidatietests uitgevoerde quench-tests en de bepaling van de mechanische eigenschappen na oxidatie en quench leverden vergelijkbare resultaten op voor zowel M5- als voor Zircaloy-4-bekledingsmateriaal.

Voor wat betreft het gedrag onder RIA-condities worden test- en analyseprogramma's uitgevoerd in Frankrijk, Japan, Rusland en de V.S. Uitgevoerde tests in Frankrijk (in de experimentele "Cabri"-reactor te Cadarache, het zogenaamde REP-Na testprogramma) toonden aan, dat er veel schade optrad aan bestraalde splijtstofstaven onder (gesimuleerde) RIA-omstandigheden. Deze tests hadden betrekking op splijtstofstaven met Zircaloy-4 bekledingsmateriaal, op reactiviteitstransiëntes met enthalpietoeenames van 397 tot 974 J/g en pulsbreedtes van 8,8 tot 75 ms. De genoteerde schade trad op aan splijtstofstaven met grote corrosielaagdiktes (50 tot 126 μm) en/of staven, die aan zeer grote transiënten onderworpen werden. Een meer recentelijk uitgevoerde test (CIP0-2) heeft laten zien dat er geen schade optreedt aan een splijtstofstaaf met M5-omhullingsmateriaal (met een opbrand 77 MWd/kgU en een oxydelaagdikte 20 μm), wanneer deze wordt onderworpen aan een reactiviteitstransiënt met een pulsbreedte van 28 ms en een enthalpietoeename in de splijtstof van 373 J/g.

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

4.5 **Conclusies**

Op grond van alle uitgevoerde analyses en tests, almede de tot op heden opgedane ervaringen met het HTP-splijstofelement kan geconcludeerd worden dat dit element tenminste gelijke, maar op vele gebieden grotere, veiligheidsmarges heeft t.a.v. mechanische integriteit, stroming (opdrijfkrachten, menging), groei, kruip en hydrering dan het nu gebruikte FOCUS-element, met name bij hogere opbrandwaarden. Dit geldt niet alleen voor de normale bedrijfs- en storingscondities, maar evenzeer voor ongevalsomstandigheden (RIA en LOCA).

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

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

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

5 **SPLIJTSTOFONTWERP**

5.1 **Ontwerp van de splijtstofstaaf**

Ten aanzien van de veiligheid bij normaal bedrijf en storingen is het van belang dat de splijtstofelementen bestand zijn tegen mogelijk optredende mechanische en thermische belastingen. Als gevolg daarvan dienen aan de toegepaste materialen en de constructie van de staaf bepaalde eisen gesteld te worden. Zoals gebruikelijk bij wijzigingen van de splijtstof of de constructie van de splijtstofstaaf wordt het mechanisch en thermisch gedrag van de nieuwe splijtstofstaaf getoetst aan de volgende in het veiligheidsrapport opgenomen ontwerpcriteria met betrekking tot bedrijfs- en ongevalsituaties:

- de temperatuur in het centrum van de splijtstof moet lager zijn dan de smelttemperatuur
- de inwendige druk in de splijtstofstaaf mag er niet toe leiden dat de ruimte tussen de splijtstof en de huls groter wordt
- de vervormingen op grond van de variabele wisselwerkingen mogen de voorgeschreven waarden niet overschrijden
- een ontoelaatbare corrosie dient te worden voorkomen
- de opname van de waterstof in de huls dient te worden beperkt
- de spanningen in de huls dienen onder de ontwerpgrenzen te blijven
- een te grote elastische resp. plastische vervorming van de huls door uitwendige overdruk dient te worden voorkomen
- de enthalpieverhoging gemiddeld over een splijtstoftablet mag de voorgeschreven waarde niet overschrijden
- de uniforme rek als gevolg van de wisselwerking tussen de splijtstoftabletten en de huls moet onder de ontwerpgrens blijven.

Als gevolg van de hogere opbrand die bij een hogere verrijkingsgraad bereikt kan worden, kan door de vorming van een dikkere oxidelaag het mechanisch-thermische gedrag van dit materiaal worden beïnvloed. Door toepassing van een corrosiebestendige legering voor de splijtstofomhulling (M5) wordt dit fenomeen vermeden (zie hoofdstuk 4 Kwalificatie splijtstofelementen).

Door analyses wordt aangetoond dat het ontwerp van de gewijzigde splijtstofstaaf (4,4% verrijking) aan de bovengenoemde ontwerpcriteria voldoet, zodat de belastingen die kunnen optreden tijdens normaal bedrijf en storingssituaties acceptabel zijn. De resultaten van deze analyses zijn als volgt:

Parameter	Ontwerp-waarde	Berekende waarde
Smeltemperatuur – slijtstoftemperatuur (K)	-	453
Max. druk in de huls (bar)	*	122,7
Tangentiale rek, totaal (%)	≤ 1	0,78
Plastische rek (%)	$\leq 2,5$	1,61
Oxidelaagdikte (μm)	≤ 100	35 **
Veiligheidsfactoren:		
Elastische knik	≥ 1	3,53
plastische vervorming	≥ 1	1,04
spanningen in huls en lasnaad	≥ 1	1,0
wisselspanning a.g.v. dynamische belasting	≥ 1	23,8

*: De berekende druk is kleiner dan de hoofdkoelmiddeldruk. In dat geval behoeven spanning, kruip en rek van de slijtstofhuls niet nader geanalyseerd te worden;

** : De oxidelaagdikte wordt jaarlijks berekend;

De resultaten van deze analyses worden in een slijtstofstaafontwerprapport vastgelegd. Dit ontwerprapport wordt aan de Kernfysische Dienst voorgelegd ter evaluatie.

De praktijkervaring bij Duitse kerncentrales, waar de overgang op vergelijkbare verrijkingsgraden reeds heeft plaatsgevonden, laat zien dat deze overgang geen nadelige gevolgen heeft (bijvoorbeeld een toename van het aantal defekte slijtstofstaven).

5.2 Ontwerp van de slijtstofelementstructuur

Ontwerpcriteria voor de slijtstofelementstructuur zijn vastgelegd met betrekking tot de volgende gebieden:

- slijtage
- stromingskrachten
- spanningen in de regelstaafgeleidebuizen
- vermoeiingsbreuken
- drukbelasting
- uitzetting
- waterstofopname.

Deze ontwerpcriteria zijn onafhankelijk van de verrijgingsgraad van de splijtstof reeds geëvalueerd naar aanleiding van de overgang op het HTP-splijtstofskelet. De resultaten van deze evaluatie, uitgevoerd voor opbrandwaarden van 65 (splijtstofelementgemiddeld) en 70 (splijtstofstaafgemiddeld) MWd/kgU, zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Parameter	Ontwerp-waarde	Berekende waarde
Afstandhouder: Veerkracht (vermijding van fretting) (N) Waterstofopname (ppm)	$\geq 0,2$ *)	1,1 333
Neerdrukkracht F_N (vermijding van opdrijven) (N)	> 0	min. 297
Geleidebuis: Spanning (vermijden van ontoelaatbare vervormingen) ($\sigma_{0,2}$) Axiale drukspanning (vermijden van knik) (σ_{knik}) Vermoeiingsgraad volgens KTA 3204 Waterstofopname (ppm)	$< 0,7$ $< 1,0$ < 1 *)	max. 0,43 0,26 0 333
Axiale speling splijtstofelement bij definitief ontladen (mm)	> 0	8,6
Splijtstofstaaf: Axiale drukkracht (vermijden van knik) (F_{knik}) Axiale speling bij definitief ontladen (mm)	$< 0,3$ > 0	0,1 4,8
Spanningen t.g.v. schroefverbindingen (VDI 2230) ($\sigma_{0,2}$)	$< 1,0$	max. 0,97
Schuifkrachten in lasnaden (t.o.v. toelaatbare waarde) (F_s)	< 1	max. 0,59
Spanningen in kop en voet (σ_{toel})	< 1	max. 0,43
Schokdemper regelement (botssnelheid bij regelementinworp) (m/s)	$\leq 0,73$ (SE1) $\leq 0,93$ (SE2-6)	max. 0,72

*) op experimentele wijze is aangetoond, dat waterstofgehaltenes tot 2000 ppm nog geen negatieve invloed op de taaiheid van het materiaal hebben

De overgang naar een verrijgingsgraad in de splijtstof van 4,4% heeft op de resultaten van deze evaluatie weinig invloed, zodat de ontwerpcriteria onverminderd aangehouden worden.

5.3 Haalbaarheidsstudie

Door middel van een haalbaarheidsstudie is onderzocht of een verrijgingsgraad van 4,4% veiligheidstechnisch realiseerbaar is binnen het voorgenomen bedrijfsgebied van de reactor-kern. Daarvoor zijn een aantal fictieve beladingsplannen opgesteld die representatief zijn voor de beladingsplannen die benodigd zijn voor de overgangssituatie van 4,0% naar 4,4%, alsmede een beladingsplan voor een evenwichtskern met uitsluitend 4,4% verrijkte spijstofelementen. Van deze beladingsplannen zijn de neutronenfysische (a) en thermo-hydraulische (b) veiligheidsparameters geanalyseerd.

(a) Het neutronenfysisch kernontwerp is gebaseerd op de berekening van wisselwerkingsprocessen tussen de kernmaterialen en de neutronen. In het bijzonder zijn daarbij de kernsplijting en verstrooiingsprocessen van neutronen in materialen van belang.

Belangrijkste doelen van het neutronenfysisch ontwerp van de kern zijn:

- het voorkomen van overschrijding van de voorgeschreven maximale waarden van de vermogensdichtheid
- het onderkritisch kunnen maken en langdurig houden van de reactorkern in elke situatie
- het inherent veilige karakter van de kern t.a.v. de reactiviteit.

Voorafgaand aan belading van de kern voor een nieuwe cyclus wordt door middel van de analyse van het vooraf vastgestelde beladingsplan vastgesteld dat de bovenstaande doelen gerealiseerd worden.

Randvoorwaarden, die beperkend kunnen zijn voor een dergelijke analyse, zijn:

- opbrand
- vermogensdichtheid
- maximale vermogenssprong
- reactiviteitscoëfficiënten
- afschakelreactiviteit
- maximale gecontroleerde reactiviteitstoename
- stabiliteit
- opwarmmarge
- bedrijfstransiënten, waarbij uitval van het regelstaafsysteem wordt verondersteld.

Bovengenoemde randvoorwaarden zijn vastgelegd in de "Sicherheitstechnische Rahmenbedingungen", waarin alle geldende beperkingen voor analyse van de kernbelading zijn vastgelegd. Veranderingen van deze beperkingen naar aanleiding van de wijziging van de verrijkingsgraad zijn in deze "Sicherheitstechnische Rahmenbedingungen" opgenomen.

(b) Het thermohydraulisch ontwerp heeft als doel te verzekeren dat het onder alle bedrijfsomstandigheden is uitgesloten dat er filmkoken ontstaat, omdat daardoor de warmteoverdracht naar het koelmiddel zodanig zou verslechteren dat er schade kan ontstaan aan de splijtstof.

De belangrijkste parameters die daarvoor van belang zijn, worden als volgt gegeven:

- maximale splijtstoftemperatuur
- maximale splijtstofomhullingstemperatuur
- kritieke warmteflux
- DNB-verhouding
- heetkanaalfactoren F_q en F_{dH} .

Binnen het voorgenomen bedrijfsgebied van de reactor en het beschikbare koelmiddeldebiet, de koelmiddeltemperatuur en de massastroomtransiënten dient te worden aangetoond dat er geen overschrijding van de limieten van bovenstaande parameters plaatsvindt.

Uit de haalbaarheidsstudie is gebleken dat voor de evenwichtscyclus en alle overgangscycli aan alle in het veiligheidsrapport genoemde veiligheidscriteria ten aanzien van het mechanisch ontwerp, en de neutronenfysische en thermohydraulische veiligheidscriteria kan worden voldaan.

Ook is in de haalbaarheidsstudie aangetoond dat de reactor tijdens normaal en storingsbedrijf gedurende de fictieve, representatieve overgangscycli en de evenwichtscyclus veilig kan worden bedreven. Voor de evenwichtscyclus worden de belangrijkste resultaten van de haalbaarheidsstudie in onderstaande tabel weergegeven.

Parameter	Ontwerp- waarde	Berekende waarde
Cyclus:		
Natuurlijke duur (vollastdagen)	--	317
Totale duur (vollastdagen)	--	361
Opbrand (MWd/kgU)	--	12,7
Heetkanaalfactoren:		
F_{xy} (-)	--	max. 1,73
F_q (-)	$\leq 2,80$	max. 2,54
$F_{\Delta H}$ (-)	$\leq 1,80$	1,76
F_z (-)	$\leq 1,44$	1,26
$q'_{max,xyz}$ (W/cm)	≤ 568	max. 516
Maximale opbrand:		
Splijstofelementgemiddeld A_{BE} (MWd/kgU)	≤ 65	62,3
Splijstofstaafgemiddeld A_{xy} (MWd/kgU)	≤ 70	65,7
Lokaal $A_{max,xyz}$ (MWd/kgU)	-	73,1
Werkzaamheid regelelementen (nullast, 294 °C, 317 VLD, Xenonevenwicht) (%)	≤ -6	-6,4
Afschakelreactiviteit (0 VLD, nullast heet, Xenonvrij) (pcm/K)	< 0	max. -4,8
Onderkritikaliteit k_{eff}:		
Bij splijstofwisseling: (-)	$\leq 0,95$	0,946
Bij ongevalssituaties (-)	$\leq 0,99$	max. 0,984
Minimale DNB-verhouding (-)	$\geq 1,3$	2,35
Maximale splijstoftemperatuur na stoomleidingbreuk (°C)	≤ 2650	1029

Voorafgaande aan iedere splijstofwisseling wordt voor de werkelijk te beladen kern aangetoond dat voldaan wordt aan de geldende veiligheidscriteria. Een rapportage van deze berekeningen wordt aan de Kernfysische Dienst ter beoordeling aangeboden.

6 VEILIGHEID

Dit hoofdstuk omschrijft de invloed van de aangevraagde wijziging op de veiligheidsaspecten van de splijtstof in de reactor en het opslagbassin (SOB).

6.1 Neutronenfysisch en thermohydraulisch ontwerp van de reactorkern

De belangrijkste aandachtspunten van het neutronenfysisch ontwerp van de reactorkern zijn het voorkomen van overschrijding van de voorgeschreven maximale waarden voor vermogensdichtheid en heetkanaalfactoren. Ook moet het langdurig onderkritisch kunnen maken van de reactor vanuit elke situatie en de langdurige afvoer van de vervalwarmte verzekerd zijn.

Het doel van het thermohydraulische ontwerp is, onder alle bedrijfsomstandigheden te verzekeren dat in de kern geen filmkoken kan ontstaan, omdat daardoor de warmteoverdracht verslechtert, met als mogelijk gevolg een te hoge splijtstoftemperatuur.

Aangetoond dient te worden dat het ontwerp van de reactorkern aan de doelen van het neutronenfysisch en thermohydraulisch ontwerp voldoet. Dit is het geval indien aan de randvoorwaarden voor de afzonderlijke splijtstofparameters en aan de acceptatiecriteria in het sleutelparameterrapport wordt voldaan.

Indien de waarde van afzonderlijke splijtstofparameters het geldigheidsbereik van de bestaande berekeningen overschrijdt moet door middel van expliciete berekeningen het bewijs worden geleverd dat aan de doelen van het ontwerp wordt voldaan. Het toegestane bereik van de afzonderlijke splijtstofparameters, zoals vastgelegd in het sleutelparameter-rapport, wordt, indien van toepassing, aangepast aan het geldigheidsbereik van de nieuwe berekeningen.

De wijziging van de maximale verrijkingsgraad heeft tot gevolg dat een aantal parameters van de toegepaste splijtstof significant wijzigen. Het betreft hier met name:

- de vervalwarmte na afschakeling van de reactor
- het reactiviteitseffect als gevolg van de stoomfractie in het hoofdkoelmiddel (void-curve)
- de maximale splijtstofopbrand
- de kritikaliteit van de nieuwe splijtstofelementen.

De wijziging eveneens invloed heeft op andere parameters, waaronder de moderatortemperatuurscoëfficiënt (MTC). Er is echter aangetoond dat de wijziging van deze parameters niet leidt tot overschrijding van het geldigheidsbereik van de bestaande berekeningen.

In de nu volgende veiligheidsbeschouwing wordt aangetoond dat de wijzigingen van de splijfstofparameters toelaatbaar zijn en afgedekt worden door de bestaande of nieuw uitgevoerde berekeningen.

De invloed van de wijzigingen van de afzonderlijke kernparameters is op dezelfde wijze beschouwd als bij de uitvoering van het project Splijststofoptimalisatie. Bij de beoordeling van de afzonderlijke PIE's zijn alleen de maatgevende parameters omschreven.

6.2 Veiligheidsbeschouwing

De wijziging van de vervalwarmte is relatief klein. In vergelijking met de vervalwarmte voor een reactorkern bestaande uit splijstfoelementen met een maximale verrijgingsgraad van 4,0% treedt een geringe verhoging op. Voor de periode van 0 tot 30 uur na een reactor-afschakeling is de toename minder dan 1%. In de periode vanaf 30 uur na een reactor-afschakeling is de toename maximaal 2%.

De wijziging van de initiële verrijgingsgraad resulteert in een afname van de absolute waarde van de (negatieve) void-activiteit in vergelijking met een kernbelading met een initiële verrijgingsgraad van maximaal 4,0%. De invloed van deze afname blijft beperkt tot het ATWS ongeval (zie paragraaf 6.2.2.3, PIE 10.5).

De hogere verrijgingsgraad heeft tot gevolg (en als doel) dat het aantal jaarlijks te vervangen splijstfoelementen afneemt. Dit betekent dat de splijstfoelementen gedurende een langere periode in de kern blijven met als gevolg dat de maximale opbrand (in MWd/kg) toeneemt.

De kritikaliteit van de opgeslagen nieuwe splijstfoelementen in het splijstfopslagbassin (SOB) neemt toe bij ongewijzigde configuratie van de opslagrekken. Om deze reden worden enkele opslagposities afgesloten (zie paragraaf 6.2.5).

6.2.1 Reactor, normaal bedrijf en storingen

Het gedrag van de reactorkern tijdens normaal bedrijf is berekend voor de situatie, waarbij de gehele kern is opgebouwd uit splijstofelementen met een initiële verrijkingsgraad van 4,4% (evenwichtskern), alsook voor de kernen welke gedeeltelijk nog splijstofelementen met een lagere initiële verrijkingsgraad bevatten (overgangskernen). Het resultaat van deze berekeningen toont aan dat aan de acceptatiecriteria, zoals vastgelegd in het sleutelparameterrapport, wordt voldaan. Verder is aangetoond dat de hogere bereikte splijstofopbrand toelaatbaar is voor de splijstofelementen van het type HTP-X5, gelet op de mechanische eigenschappen van de voor deze elementen toegepaste splijstofbekleding (zie hoofdstuk 4).

Als afdekkende bedrijfsstoring – in verband met de bereikte afstand tot filmkoken (DNB-verhouding) - is de uitval van één hoofdkoelmiddelpomp geanalyseerd. Het resultaat toont aan dat deze transiënt wordt beheerst zonder dat een automatische reactorafschakeling wordt geïnitieerd en dat de DNB-verhouding niet ontoelaatbaar verslechtert.

In een evenwichtskern is het gemiddelde vermogen van de buitenste elementen voor de situatie met 4,4% initiële verrijking iets lager dan voor de situatie met 4,0% initiële verrijking als gevolg van het feit, dat er per splijstofwisseling minder nieuwe elementen ingezet worden. Dit betekent, dat een evenwichtskern met een aanvangsverrijkingsgraad van 4,4% een nog iets sterker "low-leakage" gedrag vertoont dan de 4,0% verrijkte evenwichtskern.

Daardoor blijven de reeds bestaande conservatieve voorspellingen ten aanzien van de reactorvatverbrossing na uitvoering van de voorgestelde wijziging onverminderd geldig. Het conservatisme wordt zelfs nog enigszins versterkt door de afname van de neutronenfluentie op de wand.

6.2.2 Reactor, ongevalsanalyses

6.2.2.1 Inleiding

Ten behoeve van het project Hogere Verrijking – de verhoging van de initiële verrijkingsgraad van 4,0 naar 4,4% ²³⁵U – worden analyses doorgevoerd. Onderzocht is of de gedefinieerde set analyses afdekkend is. Voor analyses die niet opnieuw worden uitgevoerd is aangegeven waarom de bestaande analyse van toepassing blijft.

6.2.2.2 Algemeen toepasbare berekeningen

Modelstudie

In de uitgevoerde modelstudie is – voor een evenwichtskern met een initiële verrijking van 4,4% ^{235}U en voor de overgangskernen – aangetoond dat zonder systeemaanpassingen aan de voorwaarden voor de normale bedrijfsvoering wordt voldaan.

Ontwerp splijtstofstaaf

Het gedrag van de brandstofstaven is opnieuw geanalyseerd (zie hoofdstuk 5). De belangrijkste reden voor deze analyse is het vergroten van de maximale opbrand. Om deze reden wordt de nieuw uitgevoerde analyse ook opgenomen in het sleutelparameterrapport.

Vervalwarmtecurven

Een vergelijking van de vervalwarmtecurven voor de evenwichtskernen met 4,0% en 4,4% ^{235}U toont aan dat:

- de vervalwarmte in de periode 0 – 30 uur na reactorafschakeling (RESA) maximaal 0,2% hoger is voor de 4,45% ^{235}U kern
- de vervalwarmte in de periode vanaf 30 uur na RESA maximaal ca. 2% hoger is voor de 4,45% ^{235}U kern.

De verhoging van maximaal 0,2% is voor de ongevalsanalyses niet van belang. De later optredende verhoging tot maximaal 2% wordt in rekening gebracht bij de berekening van de koelcapaciteiten van het nakoelsysteem en de SOB koeling. De tijd na RESA vóór de gehele kern in het SOB mag worden geplaatst - met gesloten sluis – kan, afhankelijk van de toegepaste kernbeladingen en de opslagtijd van de bestraalde elementen in het opslagbassin, toenemen. De minimale tijd na RESA vóór de gehele kern in het SOB mag worden geplaatst – met gesloten sluis – wordt voor elke nieuwe kernbelading bepaald en vermeld in het kernontwerprapport.

De vervalwarmtecurven zijn bepaald voor een initiële verrijking van 4,45% ^{235}U . Hierdoor wordt de onnauwkeurigheid in de bepaling van de verrijkingsgraad afgedekt voor het geval een nominale verrijking van 4,4% ^{235}U wordt ingezet.

Controle boreersystemen

De controle van de capaciteit en boriumconcentratie van de boreersystemen stelt zeker dat het bereiken van de onderkritische toestand voor de diverse PIE's niet beïnvloed wordt door de gewijzigde verrijkingsgraad. De invloed van de verrijkingsgraad is – indien al aanwezig – gering omdat de benodigde boriumconcentratie voor ondercriticaliteit voornamelijk bepaald

wordt door de geplande cyclusblijft. Deze blijft ongewijzigd. Om deze reden is geen wijziging van de noodzakelijke boriumconcentraties noodzakelijk.

6.2.2.3 Thermohydraulische analyses

Hierin zijn opgenomen de resultaten van analyses zoals omschreven in het Veiligheidsrapport hoofdstuk 15.2. In de onderstaande opsomming is de omschrijving van de PIE's ingekort t.o.v. de formele omschrijving.

PIE 1.4, "Onbedoeld openen van appendages waaronder de turbineomloop- en de afblaaskleppen"

Voor het project Spleijststofoptimalisatie – het verhogen van de initiële verrijgingsgraad van 3,3 naar 4% ^{235}U – is deze analyse opnieuw uitgevoerd. De reden was de vergroting van het bereik van de moderator temperatuur coëfficiënt (MTC) t.o.v. de analyse uitgevoerd voor het project Modificaties.

Het bereik van de MTC wordt bij invoering van spleijststofelementen met een initiële verrijgingsgraad van 4,4% ^{235}U niet verder vergroot. De bestaande analyse blijft geldig.

PIE 1.5.4, "Niet afsluitbare breuk van de hoofdstoomleiding"

Voor het project Spleijststofoptimalisatie is deze analyse opnieuw uitgevoerd vanwege de vergroting van het bereik van de MTC en de afname van de werkzaamheid van de regelstaven t.o.v. de bestaande analyse.

Het bereik van de MTC wordt bij invoering van spleijststofelementen met een initiële verrijgingsgraad van 4,4% ^{235}U niet verder vergroot. Ook de werkzaamheid van de regelstaven blijft groter dan de – in het sleutelparameter rapport vereiste waarde. De bestaande analyse blijft geldig.

PIE 2.3.2, "Turbine afschakeling (TUSA) zonder turbineomloopkleppen"

Voor het project Spleijststofoptimalisatie is deze analyse opnieuw uitgevoerd vanwege de vergroting van het bereik van de MTC.

Het bereik van de MTC wordt bij invoering van spleijststofelementen met een initiële verrijgingsgraad van 4,4% ^{235}U niet verder vergroot. De bestaande analyse blijft geldig.

PIE 2.5.2, "Langdurig noodstroombedrijf (> 30 minuten)"

Voor het project Splijfstofoptimalisatie is deze analyse opnieuw uitgevoerd vanwege de vergroting van het bereik van de MTC.

Het bereik van de MTC wordt bij invoering van splijstofelementen met een initiële verrijkingsgraad van 4,4% ²³⁵U niet verder vergroot. De bestaande analyse blijft geldig.

PIE 2.6.1, "Uitval (hoofd)voedingswater"

Voor het project Splijfstofoptimalisatie is deze analyse opnieuw uitgevoerd vanwege de vergroting van het bereik van de MTC.

Het bereik van de MTC wordt bij invoering van splijstofelementen met een initiële verrijkingsgraad van 4,4% ²³⁵U niet verder vergroot. De bestaande analyse blijft geldig.

PIE 3.2, "Breuk of blokkering van de hoofdkoelmiddelpompas"

Voor het project Splijfstofoptimalisatie is deze analyse opnieuw uitgevoerd vanwege de vergroting van het bereik van de MTC.

Het bereik van de MTC wordt bij invoering van splijstofelementen met een initiële verrijkingsgraad van 4,4% ²³⁵U niet verder vergroot. Ook de maximale staafbelasting (bepalend voor de optredende minimale DNB verhouding) wordt niet vergroot. De bestaande analyse blijft daarom geldig.

PIE 5.2, "Uitworp meest actieve regelement"

Voor het project Splijfstofoptimalisatie is deze analyse opnieuw uitgevoerd vanwege de verkleining van het aandeel vertraagde neutronen.

Deze analyse is afdekkend voor de kernen met een initiële verrijking van 4,4%.

De wijziging van het aandeel vertraagde neutronen (β_{eff}) t.o.v. een verrijkingsgraad van 4,0% is zodanig klein, dat de bestaande regelstaafuitworpberekeningen hierdoor niet beïnvloed worden. De bestaande berekeningen zijn conservatief uitgevoerd onder aanname van een aandeel vertraagde neutronen gelijk aan 0,427% voor de opgebrande (EOC) kern. Voor de evenwichtskern, beladen met splijstofelementen met een initiële verrijkingsgraad van 4,4%, is het aandeel vertraagde neutronen minimaal 0,5365% (EOC). Verder wordt voor elke nieuwe kernbelading aangetoond dat de maximale reactiviteitswinst bij het optreden van regelstaafuitworp niet groter is dan het resultaat van de bestaande berekeningen. Ook van de minimale waarde voor het aandeel vertraagde neutronen wordt voor elke kernbelading

vereist, dat zij groter is dan de aannamen voor de bestaande berekeningen. Om deze redenen blijven de regelstaafuitworpberekeningen, die maatgevend zijn voor het optreden van reactiviteitsstoringen en de daarmee gepaard gaande enthalpiestijging in de splijtstofstaven, dan ook onverminderd geldig.

PIE 7.1.1, "Openen en weer sluiten van een primaire veiligheid"

Voor het project Splijtstofoptimalisatie is deze analyse opnieuw uitgevoerd vanwege de verzwakking van de voidreactiviteit.

De bestaande analyse is ook afdekkend voor een initiële verrijgingsgraad van 4,4% ^{235}U omdat de voor deze PIE geldende voidcurve niet gewijzigd is.

PIE 7.1.2, "Openen en geopend blijven van een primaire veiligheid en PIE 7.2.2, "Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling"

Voor het project Splijtstofoptimalisatie zijn deze analyses opnieuw uitgevoerd vanwege een toename van de vervalwarmte.

De geringe verhoging van de vervalwarmte als gevolg van het invoeren van een initiële verrijking van 4,4% ^{235}U is voor deze PIE's niet significant. De wijziging van de warmteweerstand in de overgang van splijtstof naar splijtstofbekleding - en de daarmee gepaard gaande hogere waarden voor de opgeslagen energie in de splijtstof - is alleen van belang bij het optreden van de zeer snel verlopende breuk van een hoofdkoelmiddelleiding (PIE 7.2.3). Bij het optreden van kleinere lekkages (PIE 7.2.2) - en bij het openblijven van een primaire veiligheidsklep hetgeen als een relatief kleine lekkage kan worden opgevat - is de hogere waarde van de, in de splijtstof opgeslagen, energie niet relevant omdat de kern met koelmiddel bedekt blijft. De bestaande analyses blijven geldig.

PIE 7.2.3, "Breuk hoofdkoelmiddelleiding"

Bij de overgang naar splijtstof met 4,4% ^{235}U is o.a. de geringe toename van de vervalwarmte van belang. Deze toename is niet significant en wordt afgedekt door het conservatisme in de bestaande berekening.

De hogere splijtstofopbrand beïnvloedt de warmteweerstand in de overgang splijtstofpellets naar de splijtstofbekleding zodanig dat de bestaande analyse deze niet meer afdekt. De hogere warmteweerstand leidt tot hogere temperaturen van de splijtstof en tot een grotere waarde van de opgeslagen energie. In de ongevalsfase waarbij de kern niet met koelmiddel wordt bedekt leiden de hogere splijtstoftemperaturen tot hogere temperaturen van de

splijstofbekleding. Om deze reden is de analyse herhaald. Het resultaat toont aan dat ruimschoots aan de beschermingsdoelen wordt voldaan. De analyse is uitgevoerd uitgaande van de gebruikelijke conservatieve condities voor vermogen, vervalwarmte en axiale vermogensverdeling. Hierbij kan worden opgemerkt dat de oorspronkelijke berekening uitgevoerd is onder aanname van een reactorvermogen van 112%. Deze waarde was echter gekozen als onderdeel van een onderzoek naar de mogelijkheden voor vermogensverhoging. Volgens de geldende regelgeving dient voor de ongevalsanalyses te worden uitgegaan van een reactorvermogen van 106%.

PIE 7.3.2.(1), "Stoomgenerator pijpbreuk (zonder noodstroom)"

Voor het project Splijststofoptimalisatie is deze PIE niet opnieuw geanalyseerd.

Ook bij de overgang naar splijststof met 4,4% ^{235}U is de wijziging van de reactorkern niet relevant voor deze PIE (de hoeveelheid koelmiddel welke wordt afgeblazen naar de omgeving wordt afgedekt door de conservatieve aannamen zoals gebruikt voor de bestaande analyse). De bestaande analyse blijft geldig.

PIE 9.1.1, "Lekkage hoofdstoomleidingen als gevolg van een aardbeving"

Voor het project Splijststofoptimalisatie is deze analyse opnieuw uitgevoerd vanwege de vergroting van het bereik van de MTC en de afname van de werkzaamheid van de regelstaven t.o.v. de bestaande analyse.

Het bereik van de MTC wordt bij invoering van splijstfoelementen met een initiële verrijkingsgraad van 4,4% ^{235}U niet verder vergroot. Ook de werkzaamheid van de regelstaven blijft groter dan de in het sleutelparameter rapport vereiste waarde. De bestaande analyse blijft daarom geldig.

PIE 10.2, "Overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primair systeem"

Voor deze analyse is alleen het hydraulisch gedrag van het primair systeem – met name het debiet in de primaire kringloop van belang. Het maximale debiet wordt grotendeels bepaald door de aangenomen lekkage en slechts in geringe mate door de stromingsweerstand van de splijstfoelementen. Om deze reden is deze analyse niet herhaald voor het project Splijststofoptimalisatie.

De aanpassing naar een verrijkingsgraad van 4,4% ^{235}U heeft geen invloed op het hydraulisch gedrag bij lekkages van hoofdkoelmiddel. De bestaande analyse blijft geldig.

PIE 10.5, "Uitval van het systeem voor snelle afschakeling (ATWS)"

Voor het project Splijfstofoptimalisatie is deze PIE opnieuw geanalyseerd als gevolg van de wijziging in de voidreactiviteit.

De overgang naar 4,4% ²³⁵U wordt niet afgedekt door de bestaande analyse omdat de curve van de voidreactiviteit verder afvlakt. In het kader van een haalbaarheidsstudie t.a.v. inzet van elementen met MOX splijststof is echter eveneens een analyse van PIE 10.5 uitgevoerd, deze analyse is afdekkend voor een 4,4% ²³⁵U kern. Een herhaling van de analyse – specifiek voor het project Hogere Verrijking - is niet noodzakelijk.

6.2.2.4 Radiologische analyses

Hierin zijn opgenomen de resultaten van analyses zoals omschreven in het Veiligheidsrapport hoofdstuk 15.3 en de MER (zie ook hoofdstuk 8). In de onderstaande opsomming is de omschrijving van de PIE's ingekort t.o.v. de formele omschrijving.

PIE 1.5.1, "Langdurige uitval secundaire koeling bij bedrijfslekkage van de stoomgeneratorpijpen"

De radiologische gevolgen van deze analyse worden bepaald door de wijzigende kerninventaris. Dit betekent dat alleen de brontermberekeningen opnieuw moeten worden uitgevoerd.

PIE 7.2.3, "Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding"

De radiologische gevolgen van deze analyse worden bepaald door de wijzigende kerninventaris. Dit betekent dat alleen de brontermberekeningen opnieuw moeten worden uitgevoerd.

PIE 7.3.2.2, "Bezwijken stoomgeneratorpijpen, kortdurende noodstroom"

De hoeveelheid aan de omgeving afgegeven koelmiddel wordt niet beïnvloed door de verrijkingsgraad van de splijststof. Dit betekent dat alleen de brontermberekeningen opnieuw moeten worden uitgevoerd.

PIE 7.4.2, "Lekkage meetleiding buiten de veiligheidsomhulling"

De hoeveelheid in de ringruimte vrijkomend koelmiddel wordt niet beïnvloed door de verrijkingsgraad van de splijststof. Dit betekent dat alleen de brontermberekeningen moeten worden uitgevoerd.

PIE 8.2, "Lekkage in een leiding van het afgassysteem"

De hoeveelheid vrijkomend gas wordt niet beïnvloed door de verrijkingsgraad van de splijtstof. Dit betekent dat alleen de brontermberekeningen opnieuw moeten worden uitgevoerd.

PIE 8.4.1, "Beschadiging splijtstofelementen tijdens hanteren"

Voor de bestaande berekening is de oorspronkelijk – zeer conservatief bepaalde – bronterm uit 1972 gebruikt. De wijziging van de kerninventaris bij het toepassen van 4,4% ^{235}U maakt het niet noodzakelijk een nieuwe bronterm te bepalen.

PIE 9.1.2, "Gevolgen aardbeving op het reactorhulpgebouw"

Voor de bestaande berekening zijn de gemiddelde massieke activiteiten vermeerderd met een toeslag van 2 sigma – gebaseerd op 10 jaar bedrijfservaring – van de inhoud van één geheel gevulde verdamperconcentraat opslagtank (TT) gebruikt. De wijziging van de kerninventaris bij het toepassen van 4,4% ^{235}U heeft slechts een geringe invloed op de massieke activiteit in de TT tanks.

6.2.2.5 Diversen

De hierna omschreven analyses zijn niet opgenomen in het veiligheidsrapport en / of de MER en moeten worden beschouwd als aanvullend. Door het uitvoeren van deze analyses wordt uitgesloten dat onverwachte effecten optreden als gevolg van de verhoging van de verrijkingsgraad tot 4,4% ^{235}U .

Afdekking PIE 10.5, "uitval van het systeem voor snelle afschakeling" (ATWS)

Deze analyse wordt uitgevoerd in 2 extra varianten t.o.v. de analyse zoals opgenomen in het Veiligheidsrapport. Deze varianten betreffen de situatie met 80% en 30% van het nominale reactorvermogen. De analyses stellen zeker dat de analyse uitgaande van 100% reactorvermogen – en de voidcurve zoals opgenomen in het sleutelparameter rapport - als afdekkend mag worden beschouwd.

PIE 3.1, "Uitval hoofdkoelmiddelpomp"

De analyse voor deze bedrijfstransiënt stelt zeker dat de automatische maatregelen bij pomputval (PUMA) - welke zijn aangepast bij uitvoering van het project modificaties – ook voor de nieuwe kernbeladingen afdoende zijn om RESA te voorkomen.

6.2.2.6 Conclusies

De parameters welke wijzigen als gevolg van de hogere initiële verrijgingsgraad betreffen de bronterm, de vervalwarmte, de voidreactiviteit, de warmteoverdracht tussen splijfstof en splijstofbekleding en de maximale opbrand.

De bestaande en de nieuw uitgevoerde veiligheidsanalyses dekken deze wijzigingen in voldoende mate af.

6.2.3 Reactor, onderkritikaliteit

De voorgenomen wijziging van de verrijgingsgraad heeft vrijwel geen invloed op de onderkritikaliteit van de reactor na afschakeling. De eisen aan de boreersystemen blijven dan ook ongewijzigd.

Er is aangetoond dat aan de eis $K_{\text{eff}} < 0,95$ wordt voldaan voor de toestand "regelstaafvrij, Xenonvrij, boriumconcentratie 2300 ppm" en een temperatuur van 50 °C. De onderkritikaliteit op lange termijn is hierdoor zekergesteld.

De berekeningen, waarbij wordt aangetoond dat aan de vereiste onderkritikaliteit en afschakelmarge wordt voldaan, worden expliciet herhaald als onderdeel van het opstellen van het kernontwerprapport voor elke nieuw te laden kern.

6.2.4 Reactor, nakoelketen

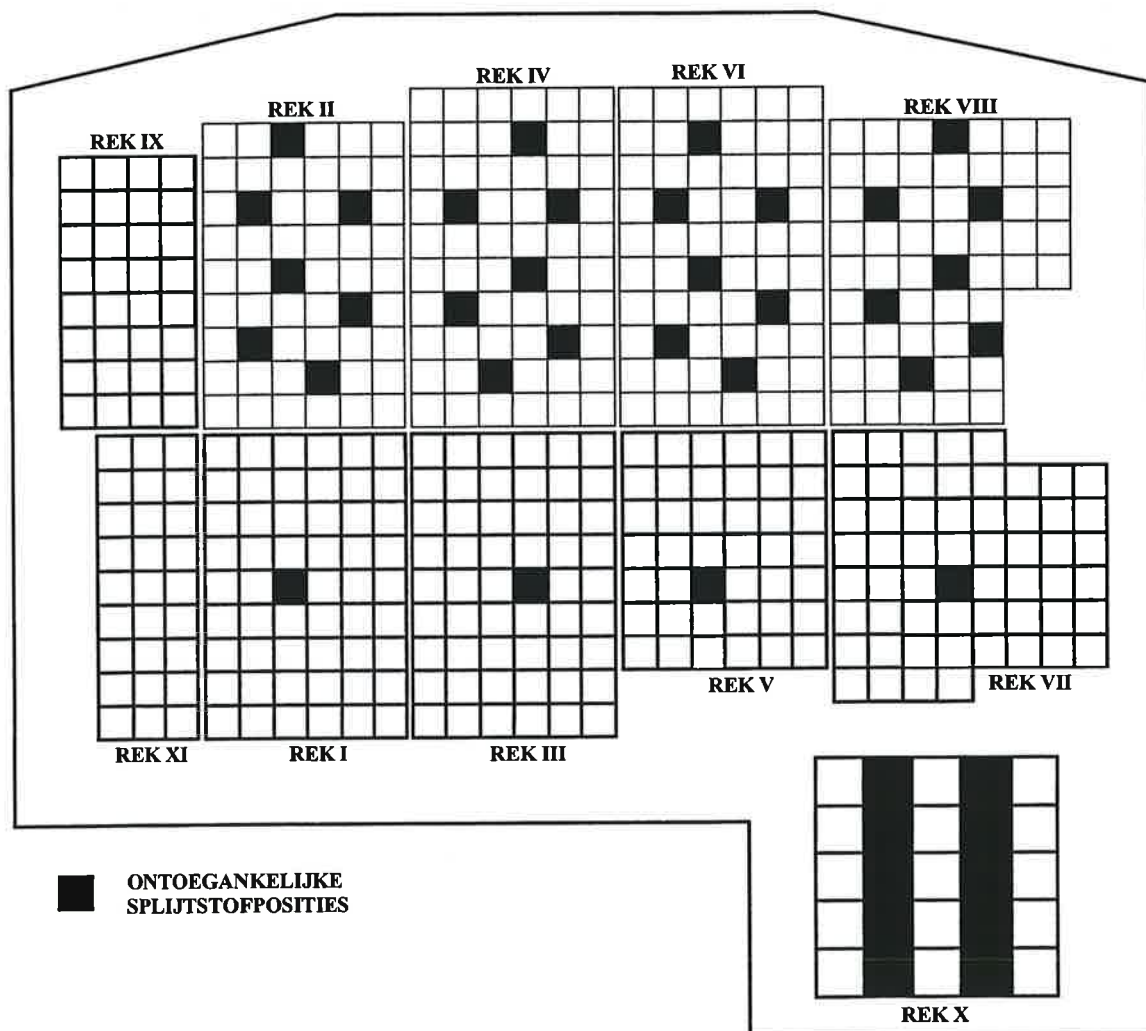
Evaluatie van de capaciteit van de nakoelketen en de reserve-koelketen toont aan dat voor alle bedrijfstoestanden de afvoer van de hogere vervalwarmte gewaarborgd is.

6.2.5 Splijststofopslagbassin (SOB), onderkritikaliteit

Door de invoering van splijstofelementen met een hogere verrijgingsgraad kan de onderkritikaliteit van het SOB verminderen. Om zeker te stellen, dat ook in de nieuwe situatie aan de voorwaarde voor onderkritikaliteit ($K_{\text{eff}} \leq 0,95$) wordt voldaan, dient een aantal posities in het opslagbassin te worden afgesloten.

In de uitgevoerde berekening wordt rekening gehouden met de eisen die internationaal aan een dergelijk analyse worden gesteld. Zo wordt verondersteld dat alle posities in het SOB worden ingenomen door nieuwe splijtstofelementen met de maximale verrijkingsgraad van 4,4% en er geen neutronenabsorberend boorzuur in het bassin aanwezig is. Omdat in de werkelijke situatie slechts een klein gedeelte van de posities worden ingenomen door nieuwe splijtstofelementen en vanwege het aanwezige boorzuur in het bassin, is de reël aanwezige onderkritikaliteit beduidend groter.

In de onderstaande figuur is aangegeven hoe posities in het SOB kunnen worden afgesloten waarbij aan de voorwaarde voor onderkritikaliteit wordt voldaan. De werkelijke uitvoering kan van deze figuur afwijken. Als om praktische redenen een ander patroon voor de afsluiting van opslagposities noodzakelijk is, zal door nieuwe berekeningen aangetoond worden dat aan de onderkritikaliteitseis wordt voldaan.



6.2.6 **Splijtstofopslagbassin, koeling**

De evaluatie van de capaciteit van de bassin-koelketen en de reserve-bassin-koelketen toont aan dat voor alle bedrijfstoestanden de afvoer van de hogere vervalwarmte gewaarborgd is. Bovendien wordt bij het opstellen van het kernontwerprapport voor elke nieuw te laden kern het vroegst mogelijke tijdstip bepaald waarop de gehele reactorbassin in het SOB mag zijn geplaatst met de verbindingssluis tussen het SOB en het reactorbassin gesloten.

6.2.7 **Splijtstofopslagbassin, afscherming**

De verhoogde verrijkingsgraad leidt tot veranderingen van de nuclideninventaris van de gebruikte splijtstof. Dit zou van invloed kunnen zijn op de dosis van het personeel als gevolg van het hanteren en opslaan van de elementen. Afschermingsberekeningen tonen echter aan dat het dosistempo in de nabijheid van het SOB niet verandert. De individuele dosis blijft ruim beneden de toegestane limiet.

7 MENGKERNEN

De configuratie van de reactorkern wordt jaarlijks vastgesteld in het kernontwerprapport en is afhankelijk van de gewenste cycluslengte en de in de vorige cyclus bereikte opbrandwaarden. Per cyclus wordt dus bezien, hoeveel nieuwe splijstofelementen ingezet zullen worden en welke reeds eerder gebruikte elementen opnieuw in de kern opgenomen zullen worden.

Zodoende kan het voorkomen dat een kern de volgende elementen bevat:

- MCW elementen met 3,3% aanvangsverrijking
- FOCUS-elementen met 4,0% aanvangsverrijking
- HTP-elementen met 4,0% aanvangsverrijking
- HTP-elementen met 4,4% aanvangsverrijking.

Met het voortschrijden der jaren zal de kern steeds meer HTP-elementen met een aanvangsverrijking van 4,4% bevatten en zal het aantal van de andere elementen geleidelijk tot nul gereduceerd worden.

De nieuwe en gebruikte elementen zullen zodanig ingezet worden, dat:

- de MCW- en FOCUS-elementen nooit een hogere staafopbrand dan de ontwerplimieten - zoals opgenomen in het sleutelparameterrapport - kunnen bereiken
- voor de HTP-elementen is in geval van een evenwichtskern met 4,4% aanvangsverrijking een maximale elementgemiddelde opbrand van 62,3 en een maximale staafgemiddelde opbrand van 65,7 MWd/kgU berekend. Bij het kernontwerp zal de maximale staafgemiddelde opbrand op 68 MWd/kgU begrensd worden.

Bij het gelijktijdig in de kern inzetten van MCW- FOCUS- en HTP-elementen kunnen er dwarsstromingen ontstaan. De HTP-elementen zijn namelijk voorzien van een debrisfilter om te voorkomen, dat er splijstofschaade ontstaat als gevolg van (kleine) deeltjes in het hoofdkoelmiddel. Als gevolg hiervan heeft de voet van een HTP-element een hogere stromingsweerstand. De afstandhouders van de HTP-elementen hebben daarentegen een lagere stromingsweerstand, zodat tussen de voet en de eerste afstandhouder een dwarsstroming ontstaat.

In het onderste segment (tussen de voet van het splijstofelement en de eerste afstandhouder) krijgen de FOCUS- c.q MCW-elementen derhalve een groter koelwateraanbod dan de HTP-elementen, terwijl in het verdere gedeelte van de elementen de situatie juist andersom is.

Zoals reeds vermeld in paragraaf 5.3 voldoen de mengkernen aan alle mechanische, thermohydraulische en neutronenfysische veiligheidscriteria. Tevens is door stromingsonderzoeken en aan de hand van de opgedane praktijkervaringen aangetoond, dat de optredende dwarskrachten als gevolg van de stromingsverdeling in mengkernen op de splijtstofelementen niet zodanig hoog zijn, dat deze tot splijtstofschade door trillingen kunnen leiden.

8 GEVOLGEN ONGEVALSEMISSIES

8.1 Inleiding

In het kader van de vergunningsaanvraag “hogere verrijking 4,4%”, is het effect bekeken van de voorgenomen activiteit op de lozingen en de gevolgen daarvan voor normaal bedrijf en onder ongevalscondities. Dit hoofdstuk bevat een overzicht van uitgangspunten, gegevens en resultaten van deze studie.

Uitgaande van de normale bedrijfssituatie zijn een aantal begingebourtenissen gedefinieerd die met betrekking tot dergelijke lozingen als representatief worden beschouwd.

Voor de bepaling van de gevolgen van de buitenontwerpongevallen is uitgegaan van de gegevens en modellen zoals deze al zijn gebruikt voor de risicoberekeningen bij uitvoering van het splijtstofoptimalisatieproject 1996 ^[1].

Omdat voor het nieuwe MER^[2] ook de alternatieven meegenomen moeten worden is voor de berekening uitgegaan van de bepaling van de kerninventaris voor de kernen met een verrijgingsgraad van 4,0% (bestaande situatie) en van 4,4% (beoogde situatie). Deze inventarissen zijn apart bepaald en gerapporteerd.

De volgende paragrafen behandelen de representatieve ontwerpongevallen. Voor de buitenontwerpongevallen wordt verwezen naar het MER.

8.2 Ontwerpongevallen

8.2.1 Uitgangspunten

Het doel van dit hoofdstuk is om aan te tonen dat de KCB met de aangevraagde wijzigingen blijft binnen de wettelijke dosislimieten. De gepresenteerde resultaten voor de ontwerpongevallen zijn gebaseerd op de volgende uitgangspunten.

Wijze van berekenen

De dosis t.g.v. de verschillende ontwerpongevallen is in 1991 met het computerprogramma Cosyma uitgerekend. De gepresenteerde deltawaarden zijn voor het splijtstofoptimalisatieproject berekend via een spreadsheet, waarin de verschillen in de inventaris (delta's) zijn gebruikt als factoren om de dosis per ontwerpongeval opnieuw te berekenen. Voor de vergunningsaanvraag “hogere verrijking tot 4,4%” zijn de resultaten berekend met dezelfde

spreadsheet om een vergelijking met de rekenresultaten van het project "Splijststofoptimalisatie"^[1] mogelijk te maken. Daarmee is het feitelijk effect van de wijziging gegeven.

De methode wijkt met name in de toepassing van de dosiscoëfficiënten in geringe mate af van de tegenwoordig geldende MR AGIS. Het toepassen van standaardwaarden conform deze regeling resulteert in lagere doses. De gepresenteerde waarden kunnen daarom als een conservatieve schatting worden beschouwd.

Randvoorwaarden

- Voor de bronterm 7.2.3 levert de externe straling een dominante bijdrage aan de dosis. De dosis t.g.v. deze externe straling is ongewijzigd t.o.v. de eerder uitgevoerde studies en is gelijk aan $900 \cdot 10^{-3}$ mSv.^[1]
- Zoals omschreven in het splijststofoptimalisatieproject^[1] dekt de begingebourtenis 7.2.3, de gebeurtenissen 7.2.1 en 7.2.2 af. Dit geldt na het wijzigen van de kerninventaris nog steeds. Het dosis criterium is vervolgens de laagste van de waarden, die gelden voor de bijbehorende kansen van optreden (van de ontwerpongevallen).
- De kansen van optreden van de verschillende ontwerpongevallen zijn ook ongewijzigd. Dit betekent dat de groepsindeling –op basis van de kans van optreden- ook niet veranderd is in het kader van de gewijzigde wettelijke limieten.

Toetsingscriteria

De toetsingscriteria waaraan moet worden voldaan zijn gegeven in tabel 8.2.1 Deze criteria zijn gerelateerd aan kansengebieden, waarin de kans van optreden van het beschouwde ontwerpongeval ligt. Voor de schildklierdosis geldt voor alle gebeurtenissen een dosislimiet van 500 mSv.

Tabel 8.2.1 Dosiscriteria voor kinderen en volwassenen als functie van het kansgebied

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

Zowel de effectieve dosis E als de schildklierdosis (H_{th}) zijn bepaald. Het betreft de doses op een afstand van 350 m. Zoals hiervoor vermeld is het dosis criterium E afhankelijk van de kans van optreden van de veronderstelde begingebuurtenis. Ter vermindering van deterministische effecten geldt in alle gevallen een dosis criterium van 500 mSv voor de schildklier (H_{th}).

8.2.2 Overzicht uitgevoerde berekeningen

Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de berekeningen zoals deze zijn uitgevoerd om tot bepaling van het effect van de verschillen in diverse verrijgingsgraden te komen (met referentie naar de vindplaats van de resultaten).

- Toetsing aan de dosis criteria (tabel 8.2.2).
- Berekende relatieve verschillen in effectieve en schildklierdosis bij verrijgingsgraden 4.0% (bestaand) en 4,4% (voorgenomen) (tabel 8.2.3).
- Vergelijking van de beoogde situatie met de bestaande situatie (tabel 8.2.4).

8.2.3 Rekenresultaten

In tabel 8.2.2 zijn de resultaten gegeven van de berekeningen van de dosis voor de bestaande situatie (4,0% verrijgingsgraad) en vergeleken met de geldende criteria. Uit de tabel blijkt dat bij de geselecteerde representatieve begingebuurtenissen in ruime mate wordt voldaan aan de eisen betreffende de dosis criteria.

Tabel 8.2.2 Toetsing van de berekende ongevalsdoses aan de dosiscriteria

Veronderstelde begingebourtenis (zie MER ^[2] tabel 5.4.2)		Effectieve dosis E (mSv)		Schildklierdosis H_{th} (mSv)	
Nr.	Omschrijving	Berekend	Criterium	Berekend	Criterium
1.5.1	Langdurige uitval secundaire hoofd-koeling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen.	0,0023	0,4	0,055	500
7.2.1.**	Kleine lekkage van het primair systeem, waarbij normaal afschakelen en uit bedrijf nemen mogelijk blijft.	<< 0,92	4	<< 5,2	500
7.2.2.**	Lekkage primair systeem binnen de veiligheidsomhulling.	<< 0,92	4	<< 5,2	500
7.2.3 *	Breuk van de hoofdcoolmitleiding.	0,92	40***)	5,2	500
7.3.2.2	Bezwijkten van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig).	0,063	4	1,4	500
7.4.2	Lekkage van een meetleiding die hoofdcoolmitleid bevat buiten de veiligheidsomhulling.	0,00021	4	0,00085	500
8.2	Lekkage in een leiding van het afgassysteem.	0,00087	0,04	0,00098	500
8.4.1	Beschadigingen van splijtstofelementen tijdens het hanteren.	0,00049	0,4	0,00092	500
9.1.2	Gevolgen van een aardbeving op het reactorhulpgebouw.	0,007	4	0,008	500

* inclusief 0,9 mSv door directe straling

** de mogelijke gevolgen van deze gebeurtenissen zijn vastgesteld op basis van de berekende gevolgen van begingebourtenis 7.2.3

*** Om afdekkend te zijn voor de begingebourtenissen 7.2.1 en 7.2.2 dient het dosiscriterium op 4 mSv gesteld te worden i.p.v. op 40

Analoog aan de bepaling van de doses voor de kern met een verrijgingsgraad van 4,0% zijn de doses bepaald voor de kernen met een verrijgingsgraad van 4,4% (de beoogde wijziging). Uitgaande van de verschillen in kerninventaris voor de diverse verrijgingsgraden zijn de verschillen in uiteindelijke effecten bepaald voor dezelfde representatieve begingebourtenissen.

Voor de meeste nucliden is de radioactiviteit met enkele procenten afgenomen. Uitzondering hierop vormen met name de nucliden ^{242}Cm , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{241}Pu , ^{106}Ru .

De veranderingen leiden ertoe dat ook de lozingen naar de omgeving als gevolg van de beschouwde ontwerpgevallen zullen wijzigen. Het effect hiervan is weergegeven in tabel 8.2.3.

Tabel 8.2.3 Berekende relatieve verschillen in effectieve en schildklierdosis tussen verrijgingsgraden 4,0% (bestaand) en 4,4% (voorgenomen)

veronderstelde begingebourtenis	verschil ¹⁾ in effectieve dosis %	verschil ¹⁾ in schildklierdosis %
1.5.1	-0.3%	-0.8%
7.2.1/7.2.2 niet apart berekend; verschillen zijn vergelijkbaar met 7.2.3		
7.2.3	+0.1%	-0.6%
7.3.2.2	-0.8%	-0.8%
7.4.2	-0.8%	-0.8%
8.2	-0.6%	-0.6%
8.4.1	-1.1%	-1.0%
9.1.2	0,0%	-0.1%

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

Tabel 8.2.4 Vergelijking van de beoogde situatie met de bestaande situatie

milieu-effect c.q. bedrijfsaspect	situatie	
	bestaand	rel. verschil beoogd t.o.v. bestaand
ontwerpongervallen: - meest kritische dosis ¹⁾ (E)	1.10 ⁻³ Sv	0%

¹⁾ de hoogste dosis in verhouding tot het daarvoor geldende criterium (zie tabellen 8.2.1 en 8.2.2)

Uit de tabellen wordt geconcludeerd dat de dosis bij de ontwerpgevallen met toenemende verrijking ongeveer gelijk blijft. Bij alle beschouwde situaties wordt, evenals reeds in de bestaande situatie, in ruime mate voldaan aan de geldende dosiscriteria.

VERKLARENDE LIJST VAN BEGRIPPEN, AFKORTINGEN, SYMBOLEN EN VOORVOEGSELS

Begrippen

Buitenontwerpongeval	Een verondersteld ongeval dat verder gaat dan een ontwerpongeval
Debrisfilter	Filter in de splijstofelementen om deeltjes uit het primaire koelwater te verwijderen ten einde beschadiging van de splijstofstaven te voorkomen
DNB-verhouding	De verhouding tussen de kritieke warmteflux, waarbij de overgang van kiemkoken naar filmkoken optreedt, en de aan de splijstofomhulling optredende warmteflux. De minimale DNB-verhouding is een maatstaf voor de beveiliging tegen filmkoken
Emissie	Hoeveelheid stof(fen) of andere agentia, zoals geluid of straling, die door bronnen in het milieu wordt gebracht
FOCUS-element	Thans gebruikelijke splijstofelementen
Fretting	Beschadiging die optreedt aan splijstofstaven als gevolg van mechanische invloeden van onderdelen van de elementen of vrije deeltjes in het koelmiddel
Groei	Blijvende lengte toename van de splijstofstaven als gevolg van stralingsbelasting
HTP-element	Nieuw type splijstofelementen die beter bestand zijn tegen corrosie en thermische en radiologische belastingen dan de Focus-elementen
Immissie	Binnendringen van een verontreinigende belasting (of andere agentia zoals geluid of straling) op leefniveau
Isotopen	Verschillende atomen van een zelfde element met dezelfde chemische eigenschappen, echter met verschillend kerngewicht
Low-leakage-gedrag	Kernontwerp met een relatief laag gemiddeld vermogen van de buitenste splijstofelementen waardoor de neutronenflux uit de kern (neutronenlek) zo laag mogelijk is

Heetkanaalfactor	De verhouding tussen het meest belaste ("heet") koelkanaal en het gemiddeld belaste ("normaal") koelkanaal; bepaald als de verhouding tussen maximaal staafvermogen en gemiddeld staafvermogen over de kern
Neutronenfluentie	De neutronenstraling in aantal neutronen per oppervlak en tijdseenheid ($\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
Nuclide	Isotoop (zie isotopen)
Radionuclide	Atoomkern die door een bepaalde verhouding tussen protonen en neutronen instabiel is
RIA	Reactivity Initiated Accident; ongeval veroorzaakt door een plotselinge sterke toename van de reactiviteit veroorzaakt, bijvoorbeeld regelstaafuitworp
Onderkriticaliteit	Mate waarin een hoeveelheid splijtstof zich beneden de kritieke toestand (toestand waarin vermogen wordt geproduceerd) bevindt
Ontwerpongeval	Ongeval waartegen in het ontwerp veiligheidsvoorzieningen zijn getroffen
Opbrand	Mate waarin splijtstof opgebrand (= verspleten) is
Reactiviteit	Mate waarin de kettingreactie in een kernreactor voortgang vindt
Quench	Sterke afkoeling na voorgaande verhitting
Sleutelparameter	Relevante parameter van het kernontwerp waarvoor expliciete voorwaarden zijn gesteld waaraan moet worden voldaan

Afkortingen

Bkse	Besluit kerninstallaties, spijstoffen en ertsen Kew
Bs	Besluit stralingsbescherming Kew
COVRA	N.V. Centrale Organisatie voor Radioactief Afval
inh	inhalatie (inademing)
ing	ingestie (inslikken)
KCB	Kernenergiecentrale Borssele
Kew	Kernenergiewet
MER	Milieu Effect Rapport
Re	Radiotoxiciteits equivalent
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne

SOB	Splijtstofopslagbassin
VR	Veiligheidsrapport
Wm	Wet milieubeheer
Wvo	Wet verontreiniging oppervlaktewateren
Wwh	Wet op de waterhuishouding

Symbolen

atm	atmosferische druk (1 atm = 101325 N/m ²)
°C	graad Celsius
dB(A)	decibel (na verwerking door A-filter)
g	gram
h	uur
ha	hectare = 10 000 m ²
m	meter
s	seconde
V	volt
W	Watt, eenheid van energie
%	tenzij anders vermeld: gewichtspercentage

Voorvoegsels

P	peta	10 ¹⁵
T	tera	10 ¹²
G	giga	10 ⁹
M	mega	10 ⁶
k	kilo	10 ³
m	milli	10 ⁻³
μ	micro	10 ⁻⁶
n	nano	10 ⁻⁹
p	pico	10 ⁻¹²
f	femto	10 ⁻¹⁵

REFERENTIES

- 1) Milieu-effectrapport "Optimalisatie splijtstof kernenergie-eenheid centrale Borssele"; EPZ Moddoc 063-003 Rev. 0, Arnhem januari 1996
- 2) Milieu-effectrapport Kerncentrale Borssele Hogere verrijking splijtstof tot 4,4%; KEMA nr. 50351788 KPS/TPE 03-104, Arnhem februari 2004
- 3) "Wijzigingen van het Veiligheidsrapport in verband met de verhoging van de verrijkingsgraad tot 4,4%." d.d. februari 2004

