



**Aanvraag tot wijziging van de  
kernenergiewetvergunning**

**Aanpassing Veiligheidsrapport**  
**inzake bedrijfsduur Kerncentrale Borssele**  
*(Long Term Operation)*

September 2012

N.V. Elektriciteits-produktiemaatschappij Zuid-Nederland EPZ







**Aanvraag tot wijziging van de  
kernenergiewetvergunning**

**Aanpassing Veiligheidsrapport**

**inzake bedrijfsduur Kerncentrale Borssele**

*(Long Term Operation)*

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Afkortingen/symbolen</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Verklarende woordenlijst</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
3.1	Zestig jaar bedrijfsduur	6
3.2	Nucleaire veiligheid, levensduur en bedrijfsduur	7
3.3	Leeswijzer vergunningsaanvraag	8
<b>4</b>	<b>Huidige vergunningssituatie</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Beschrijving van de wijziging</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Kader bewijsvoering vergunningsaanvraag</b>	<b>12</b>
6.1	Inleiding	12
6.2	Toetsingskader	12
6.3	1 januari 2014	13
6.4	Bewijsvoering	14
6.4.1	Technische aspecten	14
6.4.2	Organisatorische aspecten	15
6.4.3	LTO vergunningsaanvraag	15
<b>7</b>	<b>Revalidatie van tijdsgelimiteerde analyses</b>	<b>16</b>
7.1	Reactorvatverbrossing als gevolg van neutronenstraling	16
7.1.1	Huidige vergunningssituatie	18
7.1.2	De invloed van een langere ontwerpbedrijfsduur op reactorvatverbrossing	20
7.1.2.1	Voorschriften	20
7.1.2.2	Neutronenfluentie	20
7.1.2.3	Overgangstemperatuur voor brosse breuk	21
7.1.2.4	Veiligheidsanalyses	24
7.1.3	Conclusie	24
7.2	Vermoeiing	25
7.2.1	Huidige vergunningssituatie	26
7.2.2	De invloed van een langere ontwerpbedrijfsduur op vermoeiing	27
7.2.2.1	Voorschriften	28
7.2.2.2	Bepaling en toetsing cumulatieve gebruiksfactoren	28
7.2.2.3	FAMOS	33
7.2.2.4	Belastingcatalogus	33
7.2.3	Conclusie	34
7.3	Lek-voor-breuk	34
7.3.1	Huidige vergunningssituatie	35
7.3.2	De invloed van een langere ontwerpbedrijfsduur op lek-voor-breuk	37
7.3.2.1	Voorschriften	39
7.3.2.2	Beoordeling lek-voor-breuk gedrag	39
7.3.3	Conclusie	41

<b>7.4</b>	<b>Kwalificatie ongevalsbestendige elektrotechnische apparatuur</b>	<b>41</b>
7.4.1	Voorschriften	42
7.4.2	Methodiek voor kwalificatie ongevalsbestendige EMR-componenten	42
7.4.3	Resultaten bepaling gekwalificeerde restlevensduur	43
7.4.4	Conclusie	44
<b>8</b>	<b>Verouderingsbeheersing</b>	<b>46</b>
<b>8.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>46</b>
<b>8.2</b>	<b>Beoordeling verouderingsbeheersing - Methodologie</b>	<b>47</b>
8.2.1	AMR methodologie voor mechanische structuren en componenten	49
8.2.2	AMR methodologie voor elektrische en I&C structuren en componenten	50
8.2.3	AMR methodologie voor civiele structuren en componenten	50
<b>8.3</b>	<b>Resultaten beoordeling verouderingsbeheersing</b>	<b>50</b>
8.3.1	Verbetermaatregelen naar aanleiding van AMR voor mechanische structuren en componenten	51
8.3.2	Verbetermaatregelen naar aanleiding van AMR voor elektrische en I&C structuren en componenten	52
8.3.3	Verbetermaatregelen naar aanleiding van AMR voor civiele structuren en componenten	53
<b>8.4</b>	<b>Conclusie</b>	<b>53</b>
<b>9</b>	<b>Robuustheid EPZ-organisatie</b>	<b>54</b>
<b>9.1</b>	<b>Evaluatie <i>Safety Factor 10</i> ‘Organisatie, managementsysteem en veiligheidscultuur’</b>	<b>54</b>
<b>9.2</b>	<b>Evaluatie <i>Safety Factor 12</i> ‘De menselijke factor’</b>	<b>55</b>
<b>9.3</b>	<b>Conclusie</b>	<b>55</b>
<b>10</b>	<b>Maatregelen voor zestig jaar bedrijfsduur</b>	<b>56</b>
<b>11.</b>	<b>Lijst van tabellen en figuren</b>	<b>58</b>
<b>12.</b>	<b>Referenties</b>	<b>59</b>
<b>Bijlage a</b>		
	Opgave van de verleende vergunningen	60
<b>Bijlage b</b>		
	Vergunningsaanvragen ingevolge Bkse	61
<b>Bijlage c</b>		
	Aanpassingen Veiligheidsrapport	63
	Reactorvatverbrossing	63
	Vermoeïing	64
	Lek-voor-breuk	67
	Verouderingsbeheersing	68

# 1 Afkortingen/symbolen

10EVA	10-jaarlijkse veiligheidsEVALuatie	NVR	Nationale VeiligheidsRegel
10EVA13	10-jaarlijkse veiligheidsEVALuatie gepland voor het jaar 2013	MW	MegaWatt
AM	<i>Ageing Management</i>	MWe	MegaWatt elektrisch
AMR	<i>Ageing Management Review</i>	OBA	OngevalsBestendige Apparatuur
AREVA	AREVA GmbH	OSART	<i>Operational SAFety Review Team</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>	PTS	<i>Pressurized Thermal Shock</i>
AUREST	<i>Automated Residual lifetime ESTimation</i>	PWSCC	<i>Primary Water Stress Corrosion Cracking</i>
Bkse	Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen	RESA	REactorSnelAfschakeling
CUF	<i>Cumulative Usage Factor</i>	RLs	ReactorLevens
CUF <sub>2034</sub>	<i>Cumulative Usage Factor in 2034</i>	RSK	<i>Reaktor-SicherheitsKommission</i>
DELTA Energy	DELTA Energy B.V.	RT	Overgangstemperatuur van brose naar taaie breuk ( <i>Reference Temperature</i> )
E	Energie	SALTO	<i>SAfe Long Term Operation</i>
EL&I	Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie	SF	<i>Safety Factor</i>
EMR	Elektrotechnische en Meet- en Regeltechnische installatiedelen	SOP	Staal Onderzoek Programma
ENU	<i>Enriched Natural Uranium</i>	SSC	Structuren, Systemen en Componenten
EPZ	N.V. Elektriciteitsproductiemaatschappij Zuid-Nederland	TLAA	<i>Time Limited Ageing Analysis</i>
EQDBA	<i>Qualification of Design Base Accident electrical resistant Equipment</i>	TUSA	TURbineSnelAfschakeling
ERH	<i>Energy Resources Holding B.V.</i>	UF	<i>Usage Factor</i>
ERU	<i>Enriched Reprocessed Uranium</i>	VR-KCB	VeiligheidsRapport Kernenergie-eenheid Centrale Borssele
FAC	<i>Flow Accelerated Corrosion</i>	WANO	<i>World Association of Nuclear Operators</i>
FAMOS	<i>FAtigue MONitoring System</i>	a	Scheurdiepte
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i>	$\Delta a$	Toename in scheurdiepte
ISH	InStandHouding	2c	Scheurlengte
ISI	In-Service Inspectie	$\Delta 2c$	Toename in scheurlengte
KCB	KernCentrale Borssele	$n_t$	Aantal toelaatbare belastingswisselingen
Kew	Kernenergiewet	$n_w$	Aantal werkelijke of te verwachten belastingswisselingen
KFD	KernFysische Dienst	$R_{To}$	Overgangstemperatuur voor brose breuk volgens het <i>Master Curve</i> -concept
KTA	<i>KernTechnischer Ausschuss</i>	$R_{Toj}$	Overgangstemperatuur voor brose breuk volgens het <i>Master Curve</i> -concept na bestraling
KWU	<i>KraftWerkUnion</i>	$RT_{limit}$	Limietwaarde voor overgangstemperatuur voor brose breuk
LBB	<i>Leak Before Break</i>	$RT_{NDT}$	Overgangstemperatuur voor brose breuk
LTO	<i>Long Term Operation</i>	$RT_{NDTj}$	Overgangstemperatuur voor brose breuk na bestraling
m.e.r.	milieueffectrapportage	$T_o$	Referentietemperatuur volgens het <i>Master Curve</i> -concept
MeV	Mega-electronVolt	$\Delta T_{41}$	Transitietemperatuur of overgangverschuiving
MOA	<i>Management, Organization and Administration</i>		
MOX	MengOXide		
MPa	MegaPascal		
NRG	<i>Nuclear Research &amp; consultancy Group</i>		

# 2 Verklarende woordenlijst

## Belastingstoestand of belastingswisseling

Wijziging in mechanische of thermische belasting waardoor spanningen in een materiaal optreden.

## Break preclusion

Veiligheidsprincipe op basis waarvan leidingbreuk kan worden uitgesloten.

## Brosse breuk

Breuk waarbij sprake is van scheurvorming waarbij geen of nauwelijks plastische vervorming optreedt.

## Conservatief/conservatisme

Bij bewijsvoering, beproeving of controle uitgaan van het ongunstigst denkbare scenario.

## Economische levensduur

De termijn waarbinnen een productiemiddel rendabel (winstgevend) kan worden geëxploiteerd.

## Environmental fatigue

Vermoeiing onder invloed van corrosieve omgevingscondities, in casu de invloed van het koelmiddel (water) op de bestendigheid tegen scheurvorming als gevolg van vermoeiing.

## (Cumulatieve) gebruiksfactor

Verhouding van het aantal werkelijke (of te verwachten) belastingswisselingen en het aantal toegestane belastingswisselingen in relatie tot vermoeiing. De cumulatieve gebruiksfactor is de sommatie van de gebruiksfactoren per type belastingswisseling.

## Gekwalificeerde restlevensduur

De nog resterende termijn of duur waarvoor is aangetoond dat de desbetreffende component blijft functioneren rekening houdende met de omgevingscondities tijdens normaal bedrijf en in ongevalsituaties.

## Lek-voor-breuk

Het principe volgens welke eerst een klein, stabiel en detecteerbaar lek optreedt, zodat voldoende tijd beschikbaar is voor het treffen van maatregelen om bezwijken (breuk) te voorkomen.

## Long Term Operation

Voorzetting van de bedrijfsvoering gedurende een langere periode dan oorspronkelijk voorzien. De oorspronkelijke periode kan gelimiteerd zijn op basis van bijvoorbeeld regelgeving, vergunningen, normen en/of ontwerp.

## Ontwerpbedrijfsduur

De bij het uitvoeren van de ontwerpanalyses gepostuleerde bedrijfsduur.

## Overgangstemperatuur voor brosse breuk

Karakteristieke temperatuur om de weerstand van een materiaal tegen brosse breuk aan te duiden.

## Reactorvatverbrassing

Het fenomeen dat de reactorvatwand onder invloed van hoogenergetische neutronenbestraling brosser wordt, in casu de overgangstemperatuur voor brosse breuk toeneemt.

## Stratificatie

Het aanwezig zijn of de vorming van duidelijke, onderling gescheiden lagen met verschillende temperaturen in water.

## Technische levensduur

De termijn gedurende welke een productiemiddel technisch gezien in staat is om te produceren.

## Tijdsgelimiteerde analyses

(Veiligheids)analyses waarvan de geldigheid is beperkt tot de veronderstelde ontwerpbedrijfsduur.

## Transient

Een verstoring in de warmtehuishouding c.q. energiebalans van de installatie.

## Vermoeiing

Het fenomeen waarbij schade in een materiaal optreedt als gevolg van wisselende mechanische belastingen (spanningen).

## Veroudering

Het proces waardoor de fysische eigenschappen van een structuur of component onder invloed van specifieke omgevingscondities als functie van de tijd veranderen.

## Verouderingsbeheersing

Het geheel van alle activiteiten en maatregelen die tot doel hebben om de verouderingseffecten tijdens het gebruik te (kunnen) beheersen.

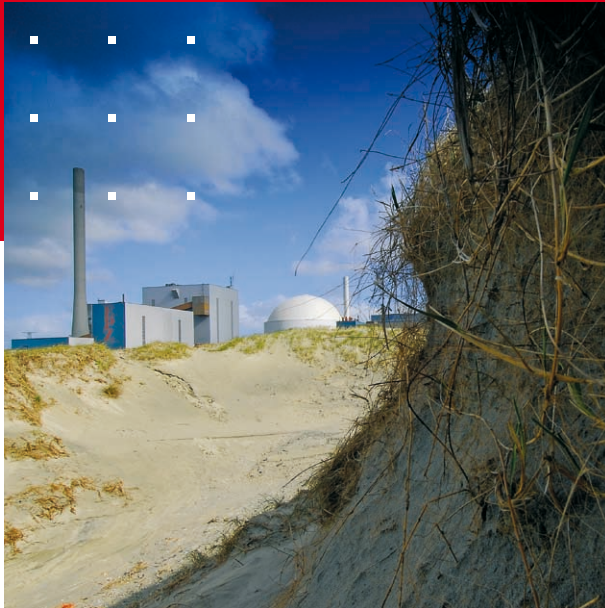
## Vollastjaar

Eén vollastjaar is het equivalent van 1 jaar (365 dagen) op 100% vermogen (vollast) met de kerncentrale produceren.

# 2

# 3 Inleiding

# 3



N.V. Elektriciteitsproduktiemaatschappij Zuid-Nederland EPZ is een *joint venture* van *DELTA Energy B.V.* (DELTA Energy) en *Energy Resources Holding B.V.* (ERH).

EPZ beschikt over twee productie-eenheden, een kolencentrale van 406 MWe en een kerncentrale van 512 MWe. Daarnaast exploiteert EPZ een windmolenpark van 24 MWe. EPZ is gevestigd te Borssele, waar zich ook de productie-eenheden bevinden.

De reactor van de KernCentrale Borssele (KCB) is een zogenaamde drukwaterreactor. Bij een dergelijke reactor wordt water onder hoge druk gebruikt voor het afvoeren van de warmte die bij kernsplijting wordt geproduceerd. Met deze warmte wordt uiteindelijk elektriciteit geproduceerd. Daarnaast wordt het water gebruikt voor het afremmen van de neutronen om het kernsplijtingsproces op gang te houden.

## 3.1 Zestig jaar bedrijfsduur

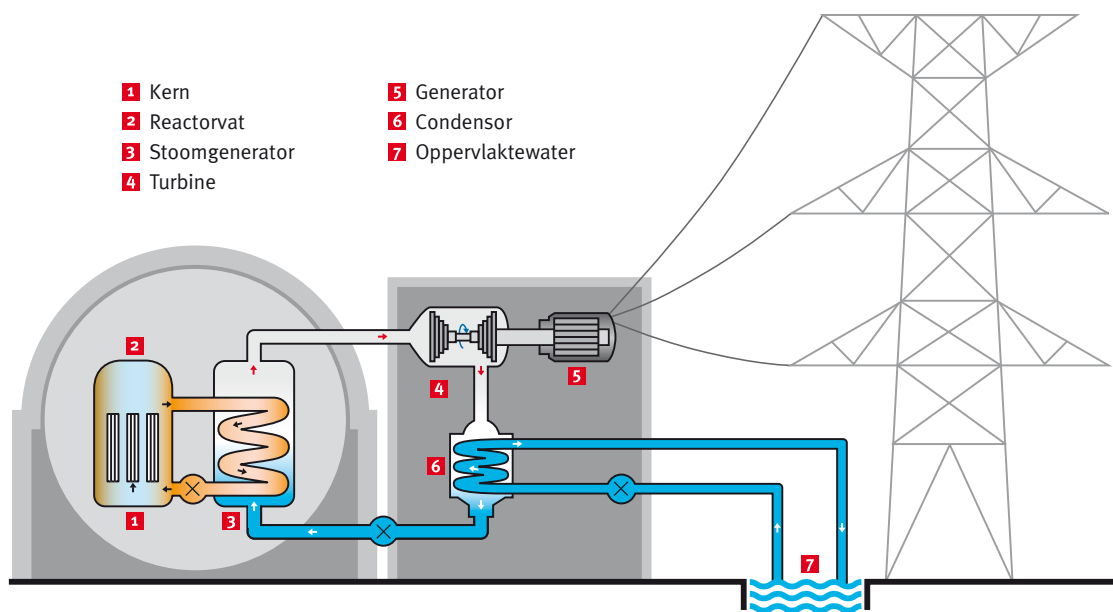
In 2006 hebben EPZ en haar aandeelhouders met de Staat der Nederlanden een overeenkomst gesloten (het Borssele Convenant; Strct. 17 juli 2006) waarin 31 december 2033 als sluitingsdatum voor KCB is overeengekomen. Als gevolg van het Convenant kan de KCB zestig jaar bedrijf blijven voeren in plaats van de oorspronkelijk voorziene veertig jaar. KCB komt derhalve vanaf 2014 in de zogenoemde *Long Term Operation* fase.

Het begrip *Long Term Operation* (LTO) is een internationaal erkend begrip dat voor kerncentrales wordt gebruikt om een ‘verlengde’ bedrijfsvoeringperiode aan te duiden, dat wil zeggen voortzetting van de bedrijfsvoering gedurende een langere periode dan oorspronkelijk voorzien. De oorspronkelijke periode kan gelimiteerd zijn op basis van bijvoorbeeld regelgeving, vergunningen, normen en/of ontwerp. LTO dient te worden gerechtvaardigd en wel door het doen uitvoeren van een veiligheidsonderzoek dat rechtstreeks betrekking heeft op levensduurbepalende processen en kenmerkende systemen, structuren en componenten (SSC). Andere reguliere activiteiten, zoals de periodieke veiligheidsevaluaties, verouderings-

beheersing en configuratie/modificatiebeheer zijn eveneens nodig voor LTO.

De bedrijfsvergunning van de KCB kent geen beperking in tijd. Echter bij het oorspronkelijke ontwerp en de bouw van de KCB is rekening gehouden met een bedrijfsduur van veertig jaar. Deze bedrijfsduur is als uitgangspunt voor het ontwerp aangenomen en als zodanig ook opgenomen in het Veiligheidsrapport dat onderdeel vormt van de kernenergiewetvergunning. LTO vraagt dan ook niet om een wijziging van de looptijd van de bedrijfsvergunning, deze is immers voor onbepaalde duur. LTO vraagt om een aanpassing van de tekst in het Veiligheidsrapport, namelijk het verlengen van de oorspronkelijke ontwerpbedrijfsduur van veertig jaar naar zestig jaar. Een dergelijk aanpassing dient zorgvuldig te worden onderbouwd. De onderbouwing en daarmee de rechtvaardiging van deze wijziging van het Veiligheidsrapport is gedaan volgens de richtlijnen die het IAEA geeft in *Safety Report No. 57 ‘Safe Long Term Operation of Nuclear Power Plants’* [3].





### 3.2 Nucleaire veiligheid, levensduur en bedrijfsduur

Het is van belang een duidelijk onderscheid te maken tussen de begrippen levensduur en bedrijfsduur om te begrijpen welk onderzoek is verricht om LTO te rechtvaardigen. Bij het oorspronkelijk ontwerp en de bouw van de kerncentrale Borssele is uitgegaan van een bedrijfsduur van veertig jaar. Deze bedrijfsduur is in enkele in het kader van de nucleaire veiligheid relevante analyses en bewijsvoeringen als uitgangspunt aangenomen. In het vervolg zal deze bij het ontwerp veronderstelde bedrijfsduur worden aangeduid met oorspronkelijke ontwerpbedrijfsduur. Deze oorspronkelijke ontwerpbedrijfsduur is slechts gebruikt als uitgangspunt voor de beschrijving van de belastingen op de structuren en componenten voor veertig jaar bedrijfsduur. In de jaren zeventig van de vorige eeuw zijn in veel gevallen conservatieve belastingen aangenomen (aantal en grootte). Inmiddels is meer bekend over de werkelijke belastingen en blijkt een langere bedrijfsduur van zestig jaar mogelijk door een betere beschrijving van de belastingen.

Ontwerpbedrijfsduur en technische levensduur zijn dus niet hetzelfde. De technische levensduur bepaalt de maximale periode gedurende

welke de centrale vanuit technisch oogpunt kan worden gebruikt. De technische levensduur is in het algemeen langer dan de economische levensduur van de centrale. Omdat de meeste componenten, zoals pompen en kleppen in hulpsystemen, relatief eenvoudig vervangbaar zijn, is de technische levensduur van deze componenten van ondergeschikt belang voor de maximaal te realiseren bedrijfsduur.

De technische levensduur is met name van belang voor een aantal moeilijk (of slechts tegen zeer hoge kosten) te vervangen (hoofd) componenten, zoals het reactorvat en overige delen van het onder druk staande primaire koelsysteem. De technische levensduur van deze componenten is bepalend voor de economische levensduur van de centrale en daardoor voor de maximaal te realiseren bedrijfsduur.

Bij het ontwerp worden componenten zodanig gedimensioneerd dat zij de te verwachten belastingen tijdens de ontwerpbedrijfsduur kunnen weerstaan. Voorbeelden van dit soort belastingen zijn blootstelling aan (neutronen) straling en transiënten (zoals reactor(snel)afschakelingen en -opstarts). De ontwerpanalyses

bevatten daarnaast conservatieve aannamen en marges om zeker te stellen dat de functies danwel het functioneren van de componenten gedurende de totale ontwerpbedrijfsduur zijn gegarandeerd.

Een aantoonbaar goed ontwerp en realisatie van het ontwerp (fabricage, montage) zijn niet voldoende voor de borging van de veilige bedrijfsvoering gedurende de gehele ontwerpbedrijfsduur. Aanvullend zullen het gedrag, de condities en de status van de componenten moeten worden bewaakt. Op die manier wordt zeker gesteld dat voor de nieuwe ontwerpbedrijfsduur aan de ontwerputgangspunten wordt voldaan. Afwijking van de bij het ontwerp gebruikte uitgangspunten kan leiden tot grotere belastingen dan waarmee in het ontwerp rekening is gehouden wat kan leiden tot een bedrijfsduur die korter is dan de oorspronkelijke ontwerpbedrijfsduur. Daarentegen kunnen overdimensionering en een lagere belasting dan van te voren ingeschat leiden tot een bedrijfsduur die langer is dan de ontwerpbedrijfsduur.

Voor LTO zijn niet alleen technische factoren relevant. Ook de robuustheid van de organisatie speelt een belangrijke rol. Toetsing daarvan vindt iedere tien jaar plaats tijdens de 10-jaarlijkse veiligheidsevaluatie (10EVA) overeenkomstig voorschrift II B.11 van de kernenergie-wetvergunning. De eerstvolgende 10-jaarlijkse veiligheidsevaluatie wordt afgerond in 2013 (10EVA13). Echter om de rechtvaardiging voor LTO te onderbouwen, is reeds onderzocht of de aspecten 'Organisatie, managementsysteem en veiligheidscultuur' en 'de menselijke factor' zodanig zijn georganiseerd dat de KCB ook gedurende LTO veilig bedrijf kan voeren.

### 3.3 Leeswijzer vergunningsaanvraag

De vergunningsaanvraag in het kader van zestig jaar bedrijfsduur van de Kerncentrale Borssele is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 4 is de huidige vergunningssituatie beschreven; gevolgd door het formele verzoek, inclusief de juridische motivatie, voor wijziging van de vigerende kernenergie-wetvergunning in hoofdstuk 5.

In hoofdstuk 6 volgt het kader dat voor de bewijsvoering rondom de zestig jaar bedrijfsduur is gebruikt, waarbij enerzijds technische aspecten en anderzijds organisatorische aspecten centraal staan. De technische aspecten richten zich op (re)validatie van die veiligheidsanalyses waarbij een bedrijfsduur van veertig jaar als ontwerpbedrijfsduur is gebruikt (hoofdstuk 7) en verouderingsbeheersing (hoofdstuk 8). De organisatorische aspecten richten zich op de geschiktheid van de EPZ-organisatie voor het continueren van de veilige bedrijfsvoering gedurende de gehele bedrijfsduur (hoofdstuk 9).

De specifiek aan LTO gerelateerde maatregelen, die door EPZ in het kader van zestig jaar bedrijfsduur zijn of zullen worden geïnitieerd, zijn samengevat in hoofdstuk 10.

In de vergunningsaanvraag zijn verschillende kaders opgenomen. De kaders geven een toelichting van belangrijke begrippen of parameters die in de vergunningsaanvraag worden gebruikt, of zijn een toelichting bij de manier waarop EPZ invulling geeft of zal geven aan het desbetreffende onderwerp.

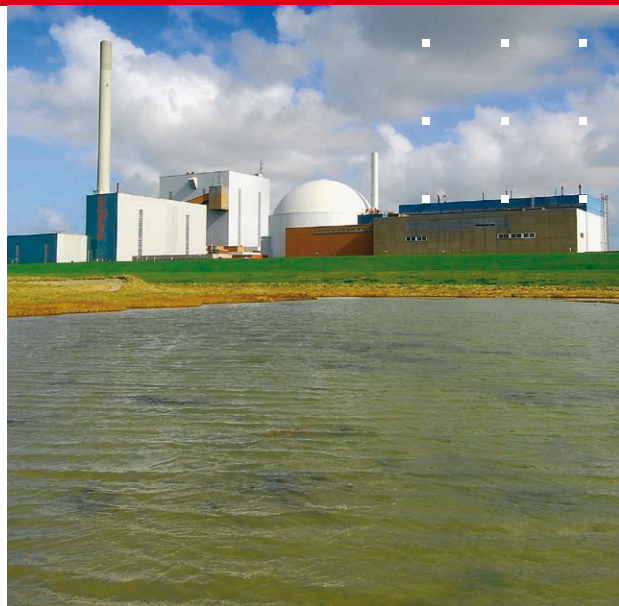
# 4 Huidige vergunningssituatie

EPZ is de vergunninghouder van de vergunning voor het in werking brengen en houden van de kernenergiecentrale Borssele.

De vigerende kernenergiewetvergunning voor de KCB is voor het eerst afgegeven op 18 juni 1973 en laatstelijk gewijzigd op 24 juni 2011 bij beschikking ETM/ED/11081801.

Een overzicht van alle tussenliggende wijzigingen is als bijlage a. gevoegd bij deze aanvraag.

Het bevoegd gezag voor de laatste wijziging was de Minister van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I). Deze wijzigingsvergunning is verleend op 24 juni 2011 en voorziet in verruiming van het aantal typen in de reactor in te zetten splijtstof (brandstofdiversificatie). Naast het voorhanden hebben en toepassen van verrijkt natuurlijk uranium (ENU) en verrijkt gerecycleerd uranium (ERU), is de inzet van mengoxide splijtstofelementen (MOX) en de inzet van splijtstofelementen met gecompenseerd verrijkt gerecycleerd uranium (c-ERU) vergund.



# 4

# 5 Beschrijving van de wijziging

# 5



EPZ verzoekt om toevoeging van VR-KCB93 REV.7 aan voorschrift I.1 van de vigerende kernenergiewetvergunning als gevolg van het feit dat:

- delen van het ‘Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele’ (VR-KCB93; [1]) onderdeel uitmaken van de kernenergiewetvergunning
- èn
- aanpassingen in deze delen van het Veiligheidsrapport noodzakelijk zijn in verband met de nieuwe ontwerpbedrijfsduur van zestig jaar (bedrijfsduur tot uiterlijk 31 december 2033) overeenkomstig het bepaalde in artikel 15a lid 1 van de Kernenergiewet.

Van feitelijke wijziging aan de inrichting van de KCB is geen sprake.

## Toelichting

De kernenergiewetvergunning KCB heeft een onbepaalde geldigheidsduur en staat daardoor een onbeperkte bedrijfsduur van de kerncentrale toe. Door de kernenergiewet (artikel 15a lid 1) wordt de bedrijfsduur van de KCB op zestig jaar begrensd.

Aan de kernenergiewetvergunning is voorschrift I.1 verbonden, waarin is bepaald dat *‘de kernenergiecentrale na voltooiing van de wijzigingen dient te zijn ingericht en te worden bedreven in overeenstemming met het gestelde in paragraaf 1.4 en de hoofdstukken 3 tot en met 21 van het veiligheidsrapport VR-KCB93, als gewijzigd en aangevuld met de revisies met kenmerk VRKCB93 REV.1, VR-KCB93 REV.2, VR-KCB93 REV.3, VR-KCB93 REV.4, VR-KCB93 REV.5 en VR-KCB93 REV.6’.*



*Aandeelhouders en de Staat ondertekenen het ‘Borssele Convenant’*

In het veiligheidsrapport is bij de ontwerp-analyses uitgegaan van een veronderstelde bedrijfsduur van veertig jaar (oorspronkelijke ontwerpbedrijfsduur). Het Convenant Kerncentrale Borssele (Stcrt. 17 juli 2006) en artikel 15a lid 1 van de Kernenergiewet maken bedrijfs-

voering tot en met 31 december 2033 mogelijk, hetgeen overeenkomt met een bedrijfsduur van zestig jaar. Het effect van de nieuwe ontwerp-bedrijfsduur op de ontwerpanalyses is verwerkt in het veiligheidsrapport VR-KCB93 REV.7.

Aan het veiligheidsrapport VR-KCB93 REV.7 is bovendien het onderwerp ‘verouderingsbeheersing’ toegevoegd.

Een overzicht van de aanpassingen van het ‘Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele’ (VR-KCB93) die voortvloeien uit de nieuwe ontwerpbedrijfsduur van zestig jaar is opgenomen in bijlage c. Deze aanpassingen zijn als wijzigingen in het veiligheidsrapport opgenomen (VR-KCB93 REV.7).

Een overzicht van alle aan te leveren informatie voor het aanvragen van een wijzigingsvergunning ingevolge het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen (Bkse) is opgenomen in bijlage b.

#### *m.e.r.-beoordelingsplicht*

Het Besluit milieueffectrapportage (Besluit m.e.r.) 1994 beschrijft de activiteiten, plannen en besluiten ten aanzien waarvan het maken van een milieueffectrapport verplicht is of ten aanzien waarvan de artikelen 7.16 tot en met 7.19 van de Wet Milieubeheer moeten worden toegepast. De laatste categorie betreft die activiteiten waarvoor een m.e.r.-beoordelingsplicht bestaat.

Op lijst D van beoordelingsplichtige activiteiten is onder categorie 22.3 genoemd ‘de wijziging of uitbreiding van een inrichting waarin kernenergie kan worden vrijgemaakt’. In dit kader is door het bevoegd gezag beoordeeld of voor de onderhavige vergunningsaanvraag een m.e.r. noodzakelijk is. De conclusie van de beoordeling is dat het opstellen van een m.e.r. niet noodzakelijk is [3].

# 6 Kader bewijsvoering vergunningsaanvraag

## 6



Bij de planning en bouw van de KCB aan het begin van de zeventiger jaren werd uitgegaan van een bedrijfsduur van veertig jaar. Deze bedrijfsduur van veertig jaar was destijds aangenomen om technische aspecten van de kerncentrale te kunnen specificeren en te kunnen aantonen. Zo moest bij de bouw worden aangetoond dat een veilige bedrijfsvoering gedurende de verwachte levensduur mogelijk is. In dat kader werd de ontwerpbedrijfsduur vastgesteld op veertig jaar.

### 6.1 Inleiding

De oorspronkelijke ontwerpbedrijfsduur diende daarbij als richtpunt en niet als vast eindpunt voor de bedrijfsvoering met de kerncentrale. Wanneer een nieuwe ontwerpbedrijfsduur wordt verondersteld van meer dan veertig jaar, dan dient opnieuw te worden aangetoond dat een veilige bedrijfsvoering gedurende de nieuwe ontwerpbedrijfsduur mogelijk is. Vanuit technisch oogpunt is er feitelijk geen beperking aan de bedrijfsduur. Slijtage en veroudering kunnen immers door het repareren of vervangen van onderdelen worden beheerst, waardoor een kerncentrale ondanks zijn leeftijd steeds veilig blijft. Vooropgesteld dat de centrale technisch veilig moet zijn, bepalen daarom vooral economische afwegingen de uiteindelijk maximaal te realiseren bedrijfsduur. Anders dan bij de meeste andere componenten bepaalt de conditie van het reactorvat de levensduur van de centrale, omdat vervanging hiervan economisch niet haalbaar zal zijn.

In het kader van de onderhavige vergunningswijziging zal worden aangetoond dat veilige bedrijfsvoering met de Kerncentrale Borssele gedurende zestig jaar mogelijk is.

### 6.2 Toetsingskader

Het toetsingskader voor de onderhavige vergunningsaanvraag is vastgelegd in enerzijds de Kernenergiewet (Kew) en onderliggende wet- en regelgeving (inclusief de Nucleaire Veiligheids-Regels; NVR). Het algemeen toetsingskader voor onderhavige vergunningsaanvraag zoals vastgelegd in het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen (Bkse) is opgenomen in bijlage b.

Voor het onderwerp *Long Term Operation* bevat de Nederlandse nucleaire regelgeving geen specifieke regels, richtlijnen of normen. IAEA

#### Voorbeeld

Voor een hoofdcomponent als het reactorvat werd tijdens de bouw aangetoond dat dit na veertig jaar neutronenbestraling nog steeds voldoende taai is (in dit kader is taai het tegenovergestelde van bros). Dit betekent niet dat het reactorvat na veertig jaar bedrijfsvoering niet langer in staat is om de krachten die erop kunnen worden uitgeoefend te weerstaan. Het is alleen voor een beperkte periode van veertig jaar aangetoond. Het geleverde bewijs was een antwoord op de toen gestelde vraag of het reactorvat geschikt is voor veertig jaar veilige bedrijfsvoering, de oorspronkelijk verwachte bedrijfsduur van de kerncentrale. Om de ontwerpbedrijfsduur van de centrale naar zestig jaar te verlengen is het onder andere noodzakelijk dat wordt aangetoond dat het reactorvat tot zestig jaar gebruik nog steeds taai genoeg is om de krachten die erop kunnen worden uitgeoefend te weerstaan.

*Safety Report No. 57 'Safe Long Term Operation of Nuclear Power Plants'* [3] heeft daarom in overleg met het bevoegd gezag als leidraad voor de bewijsvoering voor de nieuwe ontwerpbedrijfsduur van zestig jaar gediend. *Safety Report No. 57* geeft een breed kader van technische aspecten die beoordeeld moeten worden om de verlenging van de ontwerpbedrijfsduur van een kerncentrale te rechtvaardigen.

Twee belangrijke activiteiten volgens *Safety Report No. 57* zijn:

1. Revalidatie van tijdsgelimeerde verouderingsanalyses;
2. Beoordeling van de verouderingsbeheersing van veiligheidsrelevante systemen, structuren en componenten.

De eerste activiteit is de formele reden voor de onderhavige vergunningsaanvraag (aanpassing van het Veiligheidsrapport voor die analyses waarin de oorspronkelijke ontwerpbedrijfsduur van veertig jaar is toegepast).

De tweede activiteit geeft inzicht in de huidige status van de veiligheidsrelevante systemen, structuren en componenten van de installatie en de wijze waarop is aangetoond dat hun veroudering gedurende de nieuwe ontwerp-

bedrijfsduur van de centrale kan worden beheerst. Over dit onderwerp 'verouderingsbeheersing' wordt een passage aan het Veiligheidsrapport toegevoegd.

Voor de organisatorische en administratieve aspecten van LTO is een evaluatie uitgevoerd van organisatie, managementsysteem, veiligheidscultuur en de menselijke factor op basis van *Safety Factors* (veiligheidsfactoren) 10 en 12 van de 'periodic safety review' richtlijn van het IAEA (*Safety Guide No. DS426*). Deze *Safety Guide* vormt de basis voor de tienjaarlijkse evaluatie (10EVA13) waarvan de evaluatiefase op 31 december 2013 dient te zijn afgerond. Het plan van aanpak en het toetsingskader voor 10EVA13 is vastgelegd in het zogenaamde 'Basisdocument 10EVA13' [6].

### 6.3 1 januari 2014

Per 1 januari 2014 is de KCB veertig jaar in bedrijf. Vóór de genoemde datum worden de analyses en berekeningen die zijn gebaseerd op een ontwerpbedrijfsduur van veertig jaar herbeschouwd/gerevalideerd zodat de centrale gedurende een bedrijfsduur van zestig jaar in een bewezen veilige toestand zal zijn.

#### SALTO

Het IAEA biedt verschillende services in het kader van LTO waarvan de nationale overheden gebruik kunnen maken. Eén van de services is het op verzoek van de nationale overheid uitvoeren van een SALTO-missie (*Safe Long Term Operation*) bij een kerncentrale die tot LTO wil overgaan. Hierbij toetsen internationale onafhankelijke experts de aanpak en de relevante activiteiten in het kader van LTO.

De aspecten die bij een dergelijke SALTO-missie aan bod komen zijn zeer breed. De belangrijkste zijn:

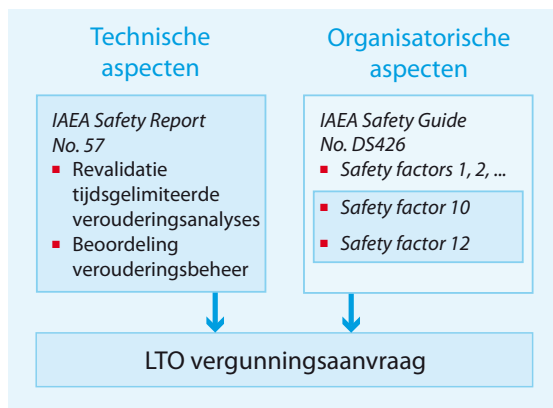
- Organisatie en functies;
- Configuratie- en wijzigingenbeheer;
- Huidige veiligheidsanalyserapport en andere vergunningsrelevante documenten;
- Identificatie van de in het kader van LTO relevante structuren, systemen en componenten;
- Bestaande voor LTO relevante programma's/activiteiten;
- Beoordeling van de verouderingbeheersing;
- Revalidatie van veiligheidsanalyses die tijdsgelimeerde aannamen bevatten.

In 2010 heeft een *limited scope* SALTO-missie bij de kerncentrale Borssele plaatsgevonden en in 2012 een *full scope* SALTO-missie waarbij al de bovengenoemde aspecten aan bod zijn gekomen.

De maatregelen naar aanleiding van de bevindingen van de SALTO-missies zijn verwerkt in de beoordeling van de technische aspecten (zie §6.4.1) danwel in de maatregelen zoals opgenomen in hoofdstuk 10.

## 6.4 Bewijsvoering

Het bewijs dat met de kerncentrale zestig jaar veilig bedrijf kan worden gevoerd wordt geleverd door de beoordeling conform *Safety Report No. 57* voor wat betreft de technische aspecten en de evaluatie van de *Safety Factors 10* en *12* conform *Safety Guide No. DS426* voor wat betreft de organisatorische aspecten. In Figuur 1 is deze samenhang schematisch weergegeven.



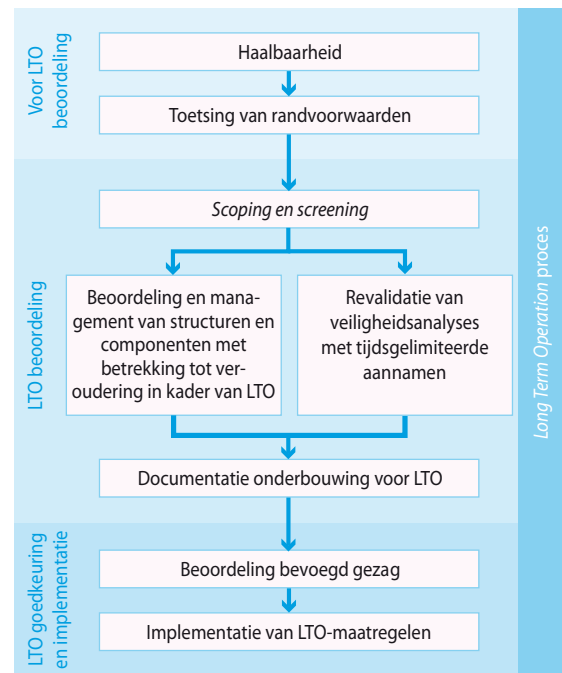
Figuur 1 Schematische weergave opbouw LTO vergunningsaanvraag.

### 6.4.1 Technische aspecten

De beoordeling van de technische aspecten is uitgevoerd conform het document: *IAEA Safety Report No. 57 'Safe Long Term Operation of Nuclear Power Plants'* [3]. EPZ heeft de hierin beschreven systematiek verder uitgewerkt en beschreven in het zogenaamde 'Conceptual Document LTO Bewijsvoering KCB' [4].

De structuur en samenhang van de verschillende activiteiten is weergegeven in Figuur 2. Globaal is het beoordelingsproces conform *Safety Report No. 57* uit drie opeenvolgende fasen opgebouwd:

- De fase 'Voor LTO beoordeling' omvat de haalbaarheidsstudie en controle van randvoorwaarden:
  - Voor aanvang van de daadwerkelijke analyses is door middel van een haalbaarheidsstudie en een controle van de randvoorwaarden onderzocht of zestig jaar bedrijfsduur technisch en economisch haalbaar zou zijn;
  - In het kader van de controle van de randvoorwaarden zijn de bestaande instandhoudingprogramma's op hun doelmatigheid getoetst. Deze instandhoudingprogramma's borgen de functionaliteit van



Figuur 2 Overzicht structuur en samenhang van de activiteiten van het LTO-beoordelingsproces voor wat betreft de technische aspecten [4].

passieve en actieve componenten op basis van (repeterende) beproevingen, inspecties, onderhoud, enzovoort. Voor de actieve componenten wordt voor 1 januari 2014 geverifieerd dat deze zijn opgenomen in de instandhoudingprogramma's. Voor de passieve componenten is conform *Safety Report No. 57* een beoordeling van de verouderingsbeheersing uitgevoerd (zie fase LTO beoordeling).

- De fase 'LTO beoordeling' omvat de volgende activiteiten:
  - *Scoping* identificeert die veiligheids- of veiligheidsrelevante structuren, systemen en componenten die in het kader van LTO (zestig jaar bedrijfsduur) nader (moeten) worden geanalyseerd;
  - *Screening* omvat een nadere detaillering van de verschillende structuren, systemen en componenten;
  - Voor alle passieve componenten binnen de *scope* is een beoordeling van de verouderingsbeheersing uitgevoerd, waarbij onderscheid is gemaakt naar mechanische, elektrische en bouwkundige componenten;
  - Voor de onderwerpen reactorvatverbrossing, vermoeiing en lek-voor-breuk vindt een revalidatie van de tijdsgeïmitereerde verouderingsanalyses plaats.
  - Voor de ongevalsbestendige elektrotechnische apparatuur heeft een beoordeling



van de kwalificatie plaatsgevonden. Vanwege het expliciet tijdsgebonden aspect is dit onderwerp, conform internationale ontwikkelingen, onder de categorie 'revalidatie van veiligheidsanalyses met tijdsgerelateerde aannamen' ingedeeld en op een overeenkomstige manier behandeld;

- Verzamelen en archiveren van alle voor de LTO bewijsvoering relevante documenten. *Deze documentatie ligt ten grondslag aan de onderhavige vergunningsaanvraag.*

- De fase 'LTO goedkeuring en implementatie' omvat de beoordeling door het bevoegd gezag en het plan voor de implementatie van maatregelen:
  - Voor de KCB vindt de beoordeling plaats door middel van de beschikking op onderhavige vergunningsaanvraag.

#### Controle van randvoorwaarden

Zoals in hoofdstuk 3 is aangegeven, is LTO meer dan het uitvoeren van een veiligheidsonderzoek dat alleen betrekking heeft op de bedrijfsduurbepurende processen en kenmerkende structuren, systemen en componenten. Bestaande (instandhouding)programma's en documentatie vormen mede de basis voor LTO en zijn daarom ook getoetst. De volgende programma's en documentatie worden in dat opzicht als randvoorwaarden voor LTO beschouwd:

1. Programma's met betrekking tot onderhoud, kwalificatie, in-service inspecties, surveillance en monitoring en monitoring waterchemie;
2. Kwaliteitsmanagementsysteem en configuratiebeheer;
3. Oorspronkelijke veiligheidsanalyses die tijdsgelimeerde aannamen bevatten;
4. Huidige veiligheidsanalyserapport of andere vergunningsrelevante documenten.

### 6.4.2 Organisatorische aspecten

De beoordeling van de organisatorische aspecten heeft plaatsgevonden als onderdeel van 10EVA13. Deze 10-jaarlijkse veiligheidsevaluatie is opgezet volgens het document: *IAEA Draft Safety Guide No. DS426 'Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants'* [5].

Conform het eerdergenoemde 'Basisdocument' [6] wordt 10EVA13 uitgevoerd op basis van een analyse van 15<sup>1</sup> *Safety Factors* (veiligheidsfactoren) waarvan specifiek de *Safety Factors 10* en *12* van belang zijn voor deze vergunningsaanvraag. De evaluatie van de voor deze vergunningsaanvraag relevante *Safety Factors 10* en *12* is als volgt opgebouwd:

#### 1. Status en ontwikkelingen bij KCB

Voor elk onderdeel van de evaluatie is ingegaan op de huidige status en op de ontwikkelingen gedurende de evaluatieperiode en in de nabije toekomst. De status is beschreven aan de hand van procedures en andere organisatiedocumenten, aangevuld met de uitkomsten van interviews met de voor het betreffende onderdeel verantwoordelijke personen of afdelingen. Ook zijn diverse jaarrapporten gebruikt om een beeld te schetsen van de recente focus op bepaalde zaken en ontwikkelingen daarin.

#### 2. Evaluatie van de toetsingskaderdocumenten

In het toetsingskader zijn de relevante regelgeving en overige richtlijnen vastgelegd (toetsingskaderdocumenten). Per document is aangegeven welke onderdelen relevant zijn voor de evaluatie. De status ten aanzien van de gestelde eisen bij KCB is beschreven met de eventueel geconstateerde afwijkingen, gevolgd door een conclusie ten aanzien van de afwijkingen. De resultaten van de toetsing van de NVR's zijn vastgelegd in zogenoemde normenkaders zodat verzekerd wordt dat ook in de toekomst hier aantoonbaar aan blijft worden voldaan.

#### 3. Operationele evaluatie

Dit is ingevuld door de evaluatie van de uitkomsten van de 2-jaarlijkse evaluaties en de *WANO Peer Reviews*. In deze beide evaluaties zijn de organisatie, managementsysteem, veiligheidscultuur en de menselijke factor op hun doelmatigheid getoetst. Daarnaast is gebruik gemaakt van de jaarrapporten van diverse afdelingen en werkgroepen.

### 6.4.3 LTO vergunningsaanvraag

De resultaten naar aanleiding van de beoordeling van de technische en organisatorische aspecten zoals beschreven in §6.4.1 en §6.4.2 hebben geresulteerd in de onderhavige vergunningsaanvraag zoals beschreven in hoofdstuk 5.

<sup>1</sup> EPZ heeft 1 *Safety Factor* aan de lijst met 14 *Safety Factors* volgens *Safety Guide No. DS426* toegevoegd, zijnde SF15 'Stralingsbescherming'

# 7 Revalidatie van tijdsgelimiteerde analyses



In dit hoofdstuk wordt de revalidatie van tijdsgelimiteerde verouderingsanalyses (*Time Limited Ageing Analyses; TLAAs*) behandeld.

Conform de aanpak beschreven in §6.4.1 zijn die veiligheidsanalyses voor revalidatie geselecteerd die voldoen aan alle volgende criteria:

- Bevatten systemen, structuren of componenten die binnen de *scope* van LTO vallen;
- Hebben een relatie met verouderingseffecten;
- Bevatten tijdsgelimiteerde aannamen gerelateerd aan de ontwerpbedrijfsduur;
- Zijn relevant voor de veiligheidsbeoordeling conform de nationale regelgeving;
- Bevatten conclusies of vormen de basis voor conclusies gerelateerd aan het vermogen van de systemen, structuren of componenten (SSC) om de beoogde functie(s) te kunnen vervullen;
- Vormen onderdeel van of hebben een relatie met de huidige kernenergievergunning.

Op basis van deze criteria zijn de veiligheidsanalyses geïdentificeerd die betrekking hebben op de volgende onderwerpen:

1. Reactorvatverbrossing;
2. Vermoeiing;
3. Lek-voor-breuk.

De analyses die betrekking hebben op deze drie onderwerpen worden in §7.1, §7.2 en §7.3 uitgewerkt volgens een vast stramien. Als eerste volgt een algemene beschrijving waarin het verouderingseffect en de belangrijkste begrippen worden toegelicht. Vervolgens wordt de actueel vergunde situatie toegelicht door het beschrijven van de bewijsvoering die is geleverd voor de oorspronkelijke ontwerpbedrijfsduur. Daarna wordt ingegaan op de consequenties die het

verlengen van de ontwerpbedrijfsduur op het desbetreffende onderwerp kan hebben en daarna volgen de bewijsvoering, een overzicht van de gebruikte voorschriften, en de conclusies met betrekking tot de revalidatie.

Het onderwerp kwalificatie ongevalsbestendige elektrotechnische apparatuur (*Qualification of Design Base Accident resistant electrical Equipment; EQDBA*) is vanwege de relatie met veroudering cq. het expliciet tijdsgebonden aspect als TLAAs beschouwd en beoordeeld, hoewel dit onderwerp niet aan alle eerdergenoemde criteria van een TLAAs voldoet.

Het betreft bovendien componenten die relatief eenvoudig kunnen worden vervangen en die derhalve niet limiterend zijn in relatie tot de bedrijfsduur van de KCB. Het onderwerp EQDBA is beschreven in §7.4.

## 7.1 Reactorvatverbrossing als gevolg van neutronenstraling

Het reactorvat van KCB is een dikwandig stalen vat. In het reactorvat bevindt zich de reactor-kern, opgebouwd uit 121 splijtstofelementen. In de reactor-kern vinden kernsplijtingsreacties plaats waarbij energie en hoogenergetische neutronen vrijkomen. De neutronen worden grotendeels vertraagd in het hoofdkoelmiddel (water) en geabsorbeerd door de splijtstof en het koelmiddel in de reactor. Echter, een klein gedeelte van de hoogenergetische neutronen wordt niet vertraagd en/of geabsorbeerd en komt op de binnenwand van het reactorvat

terecht. Deze hoogenergetische neutronen kunnen microscopische veranderingen in de materiaalstructuur van de stalen wand veroorzaken, waardoor de materiaaleigenschappen veranderen. De reactorvatwand wordt harder en brosser (minder taai) bij toenemend aantal hoogenergetische neutronen wat op de wand is terechtgekomen. De toenemende verbrossing betekent dat de wand gevoeliger wordt voor scheurvorming. Het fenomeen dat de reactorvatwand onder invloed van hoogenergetische neutronenbestraling brosser wordt, wordt aangeduid met 'reactorvatverbrossing'. Het fenomeen is beperkt tot de reactorvatwand ter hoogte van de kern en interne delen.

Verbrossing van het materiaal kan onder bepaalde omstandigheden leiden tot een brosse breuk. De kans op het optreden van een brosse breuk is het grootst bij de combinatie van hoge drukken en lage temperaturen. Tijdens de bedrijfsvoering van de kerncentrale wordt daarom voorkomen dat de combinatie van druk en temperatuur ontoelaatbare waarden bereikt. Dit is met name van belang bij het opstarten en afschakelen van de installatie.

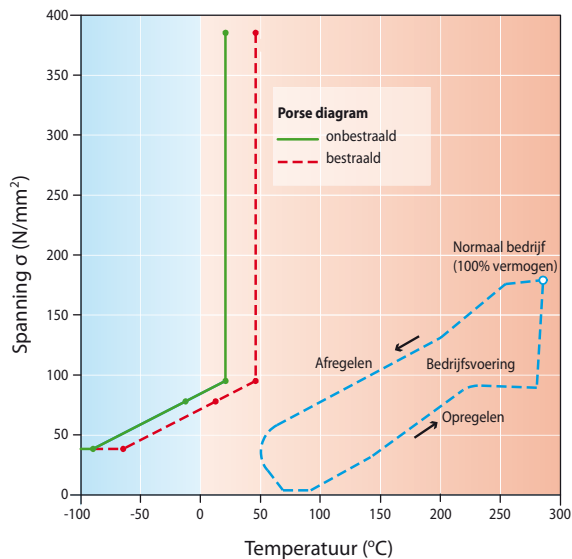
Schematisch is dit weergegeven in Figuur 3. In deze figuur zijn twee gebieden gemarkeerd waarbij brosse breuk niet kan worden uitgesloten, dat wil zeggen dat de daar optredende combinaties van druk en temperatuur tot brosse breuk zouden kunnen leiden. Het eerste gebied, links van de lijn 'onbestraald', is vastgesteld op basis van beproevingen van onbestraald reactorvatwandmateriaal. Het tweede gebied, links van de lijn 'bestraald', is vastgesteld op basis van beproevingen van bestraald reactorvatwandmateriaal. De verschuiving van de lijn naar hogere temperaturen geeft het effect van de hoogenergetische neutronenbestraling, oftewel reactorvatverbrossing, weer. De verschuiving naar hogere temperatuur bij gelijke druk wordt aangeduid met verschuiving (transitie) van de overgangstemperatuur voor brosse breuk.

#### Taaie breuk

Een taaie breuk is een breuk waarbij de scheurvorming gepaard gaat met plastische vervorming.

#### Brosse breuk

Een brosse breuk is een breuk waarbij sprake is van scheurvorming waarbij geen of nauwelijks plastische vervorming optreedt.



Figuur 3 Concept overgangstemperatuur en beveiliging tegen brosse breuk

In geen enkele bedrijfssituatie mag een combinatie van druk en temperatuur voorkomen waarbij brosse breuk zou kunnen optreden. De onder normale bedrijfssituaties (inclusief opstarten en afschakelen van de installatie) optredende combinaties van druk en temperatuur mogen uiteraard niet in de gebieden vallen waarbij brosse breuk niet kan worden uitgesloten: niet bij de eerste inbedrijfname van de reactor ('onbestraald') en niet aan het eind van de bedrijfsduur ('bestraald' na veertig/zestig jaar). Ook in ongevalssituaties mag de combinatie van druk en temperatuur niet tot brosse breuk leiden. De meest ongunstige situatie is in dit opzicht lekkage in het reactorcoolingsysteem (koelmiddelverliesongeval), waarbij als veiligheidsmaatregel koud water onder hoge druk in het reactorcoolingsysteem wordt geïnjecteerd. Een dergelijke *pressurized thermal shock* (PTS) zou kunnen leiden tot brosse breuk van het reactorvat. Om zeker te stellen dat in geen enkele bedrijfssituatie gedurende de bedrijfsduur van de kerncentrale een combinatie van druk en temperatuur zal optreden waarbij brosse breuk zou kunnen optreden is de verhoging van de overgangstemperatuur voor brosse breuk ten gevolge van reactorverbrossing gelimiteerd.

### 7.1.1 Huidige vergunningssituatie

Tijdens de bouw van de kerncentrale Borssele is een omvangrijk beproevingsprogramma opgesteld om het gedrag ten aanzien van brosse breuk van het reactorvat op lange termijn te kunnen voorspellen. Enerzijds bestond het programma uit het vaststellen van de grootte van de neutronenbestraling (fluentie) gedurende veertig jaar bedrijfsduur op basis waarvan een prognose van het materiaalgedrag is gemaakt. Anderzijds is op basis van dit programma het daadwerkelijke materiaalgedrag geverifieerd door het beproeven van proefstukken die tijdens de reguliere bedrijfsvoering aan neutronenstraling in de reactor zijn blootgesteld. In het kader van reactorvatverbrossing worden alleen hoogenergetische neutronen beschouwd; dat wil zeggen neutronen met een energie van tenminste 1 MeV. De grootte van deze neutronenbestraling of neutronenfluentie na veertig bedrijfsjaren (=32 vollastjaren) is in het ver-

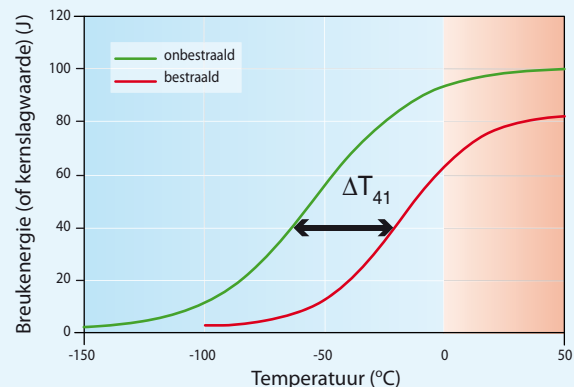
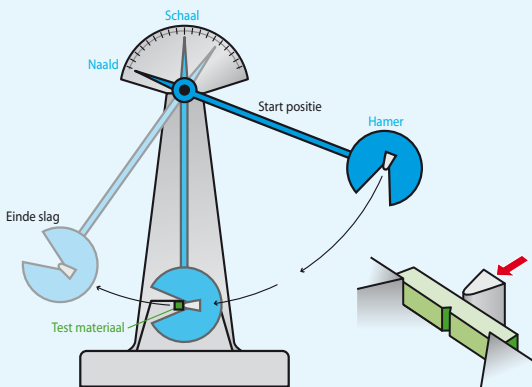
leden vastgesteld op  $3,5 \cdot 10^{19}$  n/cm<sup>2</sup> (E>1MeV). Hierbij is aangenomen dat de nieuwste splijtstofelementen aan de buitenzijde van de kern worden geplaatst en zodoende maximaal bijdragen aan de neutronenfluentie op de reactorvatwand. In afwijking hiervan is vanaf cyclus<sup>2</sup> 10 het kernbeladingspatroon gewijzigd waarbij de nieuwe splijtstofelementen verder naar binnen worden geplaatst. Het aantal hoogenergetische neutronen wat op de reactorvatwand terecht komt, is daardoor lager.

De invloed van de neutronenstraling op het materiaalgedrag van de reactorvatwand is bij de bouw van de kerncentrale conservatief ingeschat op basis van ervaringscijfers. Gedurende de eerste jaren dat met de centrale bedrijf is gevoerd, is deze invloed geverifieerd door het beproeven van proefstukken (het zogenoemde Staal Onderzoek Programma). Deze proefstukken waren representatief voor het cilindrisch gedeelte van de reactorvatwand dat aan de

#### Overgangstemperatuur voor brosse breuk

De klassieke methode om de overgangstemperatuur voor brosse breuk (RT) experimenteel te bepalen is op basis van kerfslagproeven. Speciale proefstukken met kerf (V-vormige inkeping) worden ingeklemd en met behulp van een valhamer wordt de energie gemeten die nodig is voor het bezwijken (breuk) van het proefstuk. Door de experimenten bij verschillende temperaturen te herhalen, kan de overgangstemperatuur voor brosse breuk worden bepaald. Dit is een maat voor de 'hoogste' temperatuur waarbij brosse breuk optreedt.

Er wordt onderscheid gemaakt naar de overgangstemperatuur voor brosse breuk van onbestraalde materialen ( $RT_{NDT}$ ) en bestraalde materialen ( $RT_{NDT}$ ). Het verschil wordt aangeduid als transitietemperatuur of overgangverschuiving  $\Delta T_{41}$  ( $= RT_{NDT} - RT_{NDT}$ ). Het subscript '41' verwijst naar de verschuiving bij een geabsorbeerde energie bij 41 Joule.



<sup>2</sup> Met 1 cyclus wordt de periode tussen twee splijtstofwissels aangeduid, waarbij een aantal van de splijtstofelementen uit de reactorkern wordt vervangen door nieuwe splijtstofelementen.

hoogste neutronenfluentie wordt blootgesteld. Dat wil zeggen dat de proefstukken van hetzelfde materiaal waren gemaakt als het reactorvat (inclusief lasnaad) en dezelfde voorbehandelingen hadden ondergaan.

De set referentieproefstukken aangeduid met SOPo werd niet blootgesteld aan neutronenbestraling. De sets proefstukken aangeduid met SOP1 en SOP2 zijn in 1973 in de reactor geplaatst en na drie respectievelijk vijf cycli uit de reactor verwijderd. Deze proefstukken zijn dus gedurende een aantal jaren blootgesteld aan neutronenstraling. Door de proefstukken op posities dicht bij de kern te plaatsen, waar de neutronenfluentie groter is dan op de reactorwand, kon het materiaalgedrag na veel langere bedrijfsduur dan de werkelijke verblijftijd in de reactor (drie respectievelijk vijf cycli) worden bepaald.

Voor de onbestraalde proefstukken SOPo werd de hoogste overgangstemperatuur voor brosse breuk,  $RT_{NDT}$ , op basis van de beproevingen vastgesteld op  $-10^{\circ}\text{C}$  voor ring o3<sup>3</sup>. Op basis van de beproevingsresultaten van SOP1 en SOP2 en extrapolatie van de resultaten naar veertig jaar ontwerpbedrijfsduur (32 vollastjaren; neutronenfluentie  $3,5 \cdot 10^{19}$  n/cm<sup>2</sup> E>1MeV) werd de hoogste overgangstemperatuur voor brosse breuk na bestraling,  $RT_{NDT}$ , vastgesteld op  $+9^{\circ}\text{C}$  voor de lasnaad tussen ring o3 en ring o4. Voor die lasnaad werd ook de grootste toename in overgangstemperatuur voor brosse breuk,  $\Delta T_{41}$ , vastgesteld, zijnde  $54^{\circ}\text{C}$  (van  $-45^{\circ}\text{C}$

voor het onbestraalde materiaal naar  $+9^{\circ}\text{C}$  voor het bestraalde materiaal). Deze waarden,  $RT_{NDT}$  en  $\Delta T_{41}$ , bleken gunstiger dan de bij het ontwerp van de kerncentrale op basis van ervaringsgegevens en voorschriften conservatief ingeschatte waarden. De beproevingen hadden daarmee aangetoond dat de veiligheidsmarges ten aanzien van reactorvatverbrossing groter waren dan waarmee bij het ontwerp van de kerncentrale rekening was gehouden.

Het brosse breuk gedrag wordt mede getoetst aan de hand van een zeer conservatief aangenomen transiënt<sup>4</sup>. Met behulp van een breukmechanische analyse moet worden aangetoond dat onder de ongunstigste ongevalsituatie, namelijk koud water injectie als gevolg van lekkage in het reactorsysteem (koelmiddelverliesongeval), de overgangstemperatuur voor brosse breuk nog voldoende veiligheidsmarge heeft. Dit betekent dat een, hypothetisch veronderstelde, aanwezige 'scheur' (scheurdiepte 10 mm; scheurlengte gehele omtrek) in de wand van het reactorvat onder de meest ongunstige combinatie van druk en temperatuur niet mag leiden tot toename van de scheurgrootte of brosse breuk van het reactorvat. In de huidige vergunningssituatie is aangetoond dat, voor een dergelijk koelmiddelverliesongeval, de veiligheidsmarge tussen de toegelaten en vastgestelde overgangstemperatuur voor brosse breuk  $22^{\circ}\text{C}$  bedraagt. Deze veiligheidsmarge geldt voor het lasmateriaal tussen ring o3 en ring o4 en na veertig jaar bedrijfsvoering.

### Vollastjaar

Bij het onderwerp reactorvatverbrossing zijn en worden alle analyses beschouwd op basis van vollastjaren. Eén vollastjaar is het equivalent van één jaar (365 dagen) op honderd procent vermogen (vollast) produceren. Eén bedrijfsjaar is kleiner dan één vollastjaar vanwege onderhoud, beproevingen en het vervangen van de splijstofelementen.

De oorspronkelijke ontwerpbedrijfsduur van veertig jaar komt overeen met 32 vollastjaren op basis van een gemiddelde beschikbaarheid van tachtig procent voor de kerncentrale. De nieuwe ontwerpbedrijfsduur van zestig jaar is conservatief gesteld op 55 vollastjaren uitgaande van een zeer hoge beschikbaarheid gedurende de resterende bedrijfsduur.

<sup>3</sup> De proefstukken zijn samengesteld uit het oorspronkelijk materiaal van de 2 cilindrische ringen van het reactorvat, ring o3 en ring o4, die aan de hoogste neutronenstraling worden blootgesteld en uit materiaal van de lasnaad tussen deze twee ringen. Voor elk van de delen is de overgangstemperatuur voor brosse breuk bepaald. De in de tekst vermelde meetresultaten hebben betrekking op die gedeeltes waarvoor de hoogste, en dus meest kritische, waarden zijn gemeten.

<sup>4</sup> Een transiënt is een verstoring in de warmtehuishouding c.q. energiebalans van de installatie.

### 7.1.2 De invloed van een langere ontwerpbedrijfsduur op reactorvatverbrossing

Verlenging van de ontwerpbedrijfsduur van veertig naar zestig jaar betekent een langere veronderstelde blootstelling van het reactorvat aan neutronenstraling waardoor kan worden verwacht dat de veiligheidsmarges met betrekking tot brosse breuk afnemen. EPZ heeft daarom de bewijsvoering rondom reactorvatverbrossing opnieuw beoordeeld en geactualiseerd uitgaande van een nieuwe ontwerpbedrijfsduur van zestig jaar (55 vollastjaren). Een gedetailleerde beschrijving van de resultaten is opgenomen in [7]. Hierna volgt een samenvatting op hoofdlijnen, waarbij nader wordt ingegaan op de vigerende voorschriften (§7.1.2.1), de neutronfluentieberekeningen (§7.1.2.2), de overgangstemperaturen voor brosse breuk (§7.1.2.3) en de veiligheidsanalyses (§7.1.2.4).

#### 7.1.2.1 Voorschriften

De beoordeling van het onderwerp reactorvatverbrossing is gebaseerd op Duitse en Amerikaanse voorschriften. De Duitse voorschriften zijn:

- **KTA 3201**  
*Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren;*
- **KTA 3203**  
*Überwachung des Bestrahlungsverhaltens von Werkstoffen der Reaktordruckbehälter von Leichtwasserreaktoren.*

De Amerikaanse voorschriften zijn:

- **ASTM E 185**  
*Standard Practice for Design of Surveillance Programs for Light-Water Moderated Nuclear Power Reactor Vessels;*
- **ASTM E1921-09a**  
*Standard Test Method for Determination of Reference Temperature,  $T_o$ , for Ferritic Steels in the Transition Range;*
- **ASTM E 2215**  
*Standard Practice for Evaluation of Surveillance Capsules from Light-Water Moderated Nuclear Power Reactor Vessels;*
- **ASME Code Case N-629**  
*Use of Fracture Toughness Test Data to Establish Reference Temperature for Pressure Retaining Materials;*

- **Reg. Guide 1.99**  
*Radiation embrittlement of reactor vessel materials;*
- **10 CFR Part 50**  
*Domestic licensing of production and utilization facilities.*

De verschillen tussen de Duitse en Amerikaanse voorschriften zijn in het algemeen klein. In de volgende paragrafen zijn de Duitse voorschriften gebruikt als uitgangspunt voor de beoordeling van het onderwerp reactorvatverbrossing. Voor zover mogelijk en zinvol is een beoordeling volgens de afwijkende Amerikaanse voorschriften toegevoegd.

Aanvullend is de IAEA-richtlijn *TRS No. 429 (Guidelines for Application of the Master Curve Approach to Reactor Pressure Vessel Integrity in Nuclear Power Plants)* voor het aantonen van de integriteit van het reactorvat door middel van het *state of the art Master-Curve*-concept gebruikt.

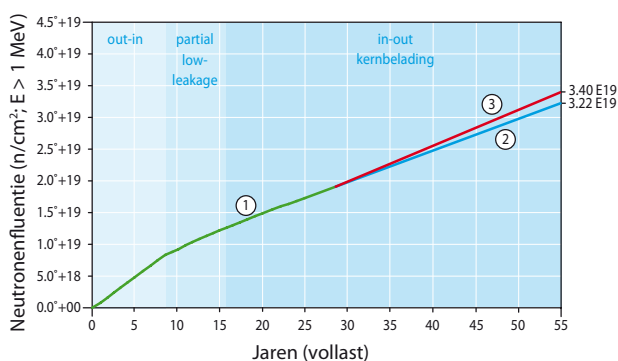
#### 7.1.2.2 Neutronenfluentie

De oorspronkelijke neutronenfluentieberekeningen zijn uitgevoerd met een relatief eenvoudig rekenmodel. Op basis van deze berekeningen is de neutronenfluentie op de reactorvatwand na veertig jaar ontwerpbedrijfsduur (32 vollastjaren) vastgesteld op  $3,5 \cdot 10^{19}$  n/cm<sup>2</sup> (E>1 MeV) onder de aanname dat voor alle splijtstofcycli de nieuwste splijtstofelementen aan de buitenzijde van de kern worden geplaatst (zogenaamde *out-in*-kernbelading).

In werkelijkheid is het kernbeladingspatroon om verschillende redenen gewijzigd waarbij de nieuwste splijtstofelementen verder naar binnen worden geplaatst. Vanaf cyclus 10 is het kernbeladingspatroon gewijzigd van *out-in* naar *partial low leakage* en vanaf cyclus 19 in *full low leakage* oftewel *in-out*. Bij dit laatste kernbeladingspatroon staan de oudste splijtstofelementen aan de buitenzijde van de kern. Hierdoor wordt het neutronenverlies vanuit de kern naar de reactorvatwand beperkt en de neutronenfluentie op de reactorvatwand geminimaliseerd.

Uitgaande van de daadwerkelijk gerealiseerde beladingspatronen tot en met cyclus 33 (2007) en voortzetting van de *in-out*-kernbeladingsstrategie tot einde bedrijfsduur, zijn nieuwe neutronenfluentie-berekeningen uitgevoerd en geëxtrapoleerd naar 55 vollastjaren<sup>5</sup>. Hierbij is gebruik gemaakt van gevalideerde laatste stand der techniek rekenmodellen die de neutronenfluentie veel nauwkeuriger kunnen vaststellen dan de modellen die bij het ontwerp van de centrale zijn gebruikt. De berekeningen zijn bovendien onafhankelijk van elkaar door twee verschillende partijen<sup>6</sup> met behulp van twee verschillende modellen uitgevoerd. Het resultaat van de neutronenfluentieberekeningen ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) is weergegeven in Figuur 4 voor de volgende situaties:

- **Lijn 1:** de neutronenfluentie tot en met cyclus 33 (2007);
- **Lijn 2:** de geëxtrapoleerde neutronenfluentie tot zestig jaar bedrijfsduur bij voorzetting van de *in-out*-kernbeladingsstrategie en de inzet van 4,4% verrijkt uranium conform cycli 30-33;
- **Lijn 3:** de geëxtrapoleerde neutronenfluentie tot zestig jaar bedrijfsduur bij voorzetting van de *in-out*-kernbeladingsstrategie en de inzet van 4,4% verrijkt uranium conform cycli 30-33 en bij de inzet van MOX (MengOxide)-splijststofelementen vanaf cyclus 39. Bij het kernsplijtingsproces van plutoniumkernen (MOX) komen verhoudingsgewijs meer hoog-energetische neutronen vrij dan bij de splijting van uraniumkernen. Inzet van MOX zal daarom leiden tot een hogere neutronenfluentie ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) op de reactorvatwand.



Figuur 4 Berekende neutronenfluentie als functie van de bedrijfsduur (in vollastjaren)

De berekende neutronenfluentie ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) op het hoogst belaste gedeelte van de reactorvatwand bedraagt  $3,22 \cdot 10^{19} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) na zestig jaar bedrijfsduur (55 vollastjaren) bij voortzetting van de huidige *in-out*-kernbeladingsstrategie en inzet van uraniumsplijststofelementen, respectievelijk  $3,40 \cdot 10^{19} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) bij inzet van MOX-elementen vanaf cyclus 39. In beide situaties is de neutronenfluentie na zestig jaar ontwerpbedrijfsduur lager dan de oorspronkelijk vastgestelde waarde van  $3,5 \cdot 10^{19} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) voor veertig jaar ontwerpbedrijfsduur.

EPZ heeft de juistheid (kwaliteit) van de neutronenfluentieberekeningen geverifieerd door middel van beproevingen van reactorvatwandmateriaal. Hiertoe zijn in 2010 kleine hoeveelheden materiaal van de binnenzijde van de reactorvatwand geschraapt. Met behulp van radiochemische analyses en activiteitsmetingen is bepaald aan welke neutronenfluentie dit materiaal gedurende 36 cycli is blootgesteld. Door deze experimenteel verkregen resultaten te vergelijken met de berekende neutronenfluentie op de desbetreffende locaties, is de kwaliteit van de berekende neutronenfluentie beoordeeld. De experimenteel verkregen en de berekende waarden komen overeen en zijn derhalve voor de nieuwe ontwerpbedrijfsduur van zestig jaar valide.

### 7.1.2.3 Overgangstemperatuur voor brossen breuk

In de huidige vergunningssituatie is de invloed van de neutronenstraling op het brossen breukgedrag van het reactorvatwandmateriaal bepaald en beschreven volgens het klassieke 'overgangstemperatuur voor brossen breuk-concept  $RT_{\text{NDT}}$ '. Hierbij wordt het verschil in brossen breukgedrag bij onbestraalde en bestraalde proefstukken op basis van kerfslagproeven bepaald.

De voorschriften met betrekking tot de uitvoering van deze proeven zijn in de loop der jaren gewijzigd, met als belangrijkste wijziging de oriëntatierichting waarin de proefmonsters moeten worden genomen en getest.

<sup>5</sup> Eventuele toekomstige wijzigingen in de kernbeladingsstrategie en/of kernsamenstelling zullen separaat worden beoordeeld.

<sup>6</sup> AREVA en NRG.

Tegenwoordig worden ook andere beoordelingsmethoden toegepast, waaronder het zogenaamde *Master Curve*-concept (zie kader). Dit *state of the art* concept is gebaseerd op directe metingen van de scheurweerstand door middel van driepuntsbuigproeven. Het concept geeft een beter, realistischer, beeld van het brosse breuk gedrag. De overgangstemperatuur voor brosse breuk  $RT_{T_0}$  wordt afgeleid van de  $T_0$ -waarde volgens het *Master-Curve*-concept ( $RT_{T_0} = T_0 + 19,4^\circ\text{C}$ ).

Om naast een beoordeling volgens de klassieke methode ook een beoordeling volgens de laatste stand der techniek te kunnen uitvoeren (en deze te kunnen vergelijken met de eerdere beoordeling) wordt een extra beproevingsprogramma uitgevoerd. Dit programma omvat het beproeven van een set onbestraalde kerfslag- en *Master-Curve*-proefstukken aangeduid met SOP<sub>0a</sub> en twee sets in de reactor te bestralen kerfslag- en *Master-Curve*-proefstukken SOP<sub>3</sub> en SOP<sub>4</sub> (alle sets zijn samengesteld uit het oorspronkelijke reactorvatwandmateriaal). Deze laatstgenoemde sets zijn in 2007 in de reactor geplaatst en zullen conform KTA 3203 uiterlijk in 2012-2014 (SOP<sub>3</sub>), respectievelijk 2016-2017 (SOP<sub>4</sub>) uit de reactor worden gehaald. Globaal één jaar later zijn de experimentele resultaten bekend. Tot de inzet van nieuwe proefstukken is besloten om het vol-

ledige bereik van de neutronenfluentie overeenkomend met zestig jaar ontwerpbedrijfsduur te kunnen afdekken.

### Resultaten volgens het $RT_{NDT}$ -concept

Voor de onbestraalde proefstukken SOP<sub>0a</sub> is de overgangstemperatuur voor brosse breuk  $RT_{NDT}$  conform KTA 3201/3203 bepaald. De beproevingsresultaten van SOP<sub>0</sub> en SOP<sub>0a</sub> komen goed overeen ondanks de gewijzigde oriëntatierichting van de proefstukken. De experimenteel bepaalde overgangstemperaturen voor brosse breuk,  $RT_{NDT}$ , zijn ongewijzigd ten opzichte van de oorspronkelijke waarden.

In KTA 3203 zijn ook criteria in de vorm van limietwaarden ( $RT_{\text{limit}}$ ) als functie van de neutronenfluentie opgenomen. De experimenteel bepaalde overgangstemperaturen voor brosse breuk, onbestraald  $RT_{NDT}$  of bestraald  $RT_{NDTj}$ , moeten altijd kleiner zijn dan de limietwaarde. De  $RT_{NDT(j)}$ -resultaten van de SOP<sub>0</sub>/SOP<sub>0a</sub>, SOP<sub>1</sub> en SOP<sub>2</sub> proefstukken in relatie tot de limietwaarde zijn weergegeven in Figuur 5. Alle resultaten hebben een ruime veiligheidsmarge ten opzichte van de gestelde limietwaarde.

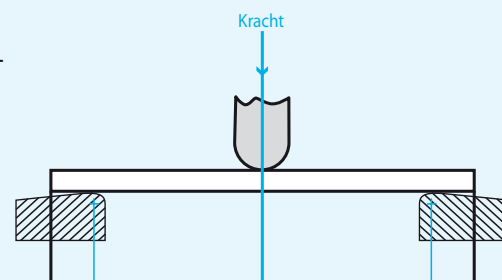
De Amerikaanse *Reg. Guide 1.99* geeft de mogelijkheid om op basis van beschikbare beproevingsresultaten, de overgangstemperaturen voor brosse breuk ( $RT_{NDT}$ ) te extrapoleren naar

### Driepuntsbuigproef en het *Master-Curve*-concept

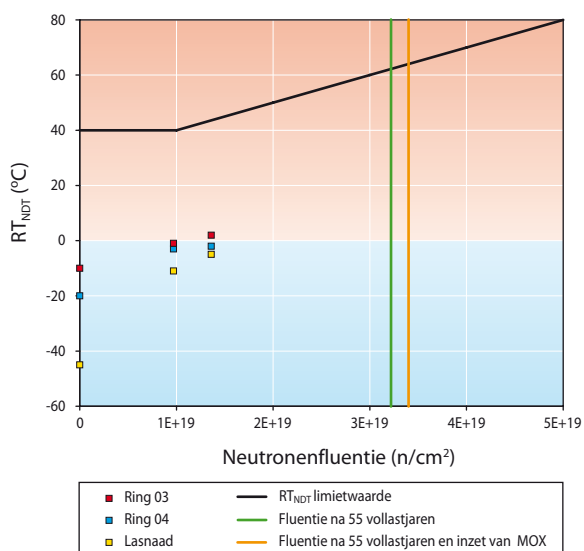
Het *Master-Curve*-concept is de *state of the art* methode voor het experimenteel bepalen van het brosse breuk gedrag van materialen. Het *Master-Curve*-concept is vastgelegd in ASTM E1921. De methode is ontwikkeld om het breukgedrag in het overgangsgebied tussen taaie en brosse breuk op een probabilistische en kwantitatieve manier te kunnen beschrijven. De methode houdt in dat opzicht rekening met variaties in materiaalsamenstelling en met de spreiding in experimentele resultaten.

Om de breuktaaiheid te bepalen, wordt een proefstaaf gebruikt waarin vooraf een kerf met een initiële scheur is aangebracht. Met behulp van een driepuntsbuigproef wordt het proefstuk door een stempel ingedrukt tot een bepaalde doorbuiging is bereikt of het materiaal breekt. Het proefstuk is op twee steunpunten opgelegd.

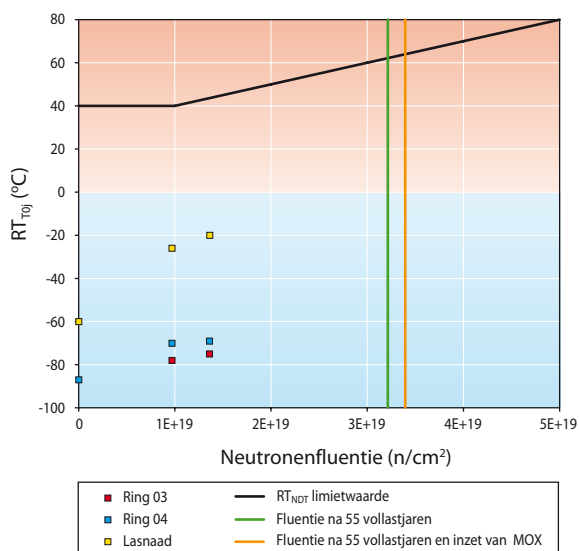
De volgens het *Master-Curve*-concept bepaalde referentietemperatuur  $T_0$  is de temperatuur waarbij de mediaan van de breuktaaiheid voor een materiaal met een gedefinieerde dikte  $100 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$  bedraagt.







Figuur 5 Beproeversresultaten overgangstemperatuur voor brosse breuk ( $RT_{NDT(i)}$ ) voor de verschillende proefstukken SOPo/SOPoa, SOP1 en SOP2 in relatie tot de limietwaarden conform KTA 3203 [7].



Figuur 6 Resultaten overgangstemperatuur voor brosse breuk ( $RT_{To}$ ) voor de verschillende proefstukken SOPoa, SOP1 en SOP2 in relatie tot de limietwaarden conform KTA 3203 [7].

hogere neutronenfluenties dan de fluenties waaraan de proefstukken zijn blootgesteld. Deze methodiek kan worden gebruikt om de overgangstemperatuur voor brosse breuk na zestig jaar ontwerpbedrijfsduur (55 vollastjaren) te bepalen. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 1.

	$RT_{NDTj}$ [°C] na 55 vollastjaren en geen inzet van MOX	$RT_{NDTj}$ [°C] na 55 vollastjaren en inzet van MOX
Ring 03	13	13
Ring 04	12	12
Lasnaad	18	18
$RT_{limit}$	62	64

Tabel 1 Overgangstemperaturen voor brosse breuk ( $RT_{NDTj}$ ) voor de verschillende delen van het reactorvat op basis van extrapolatie conform Reg. Guide 1.99 in relatie tot de limietwaarden conform KTA 3203 [7].

Vergelijking van de berekende  $RT_{NDTj}$ -waarden na 55 vollastjaren met de limietwaarden conform KTA 3203 laten een ruime veiligheidsmarge zien.<sup>7</sup> De berekende waarden bij hogere neutronenfluenties (zestig jaar ontwerpbedrijfsduur) zullen

met behulp van de toekomstige experimentele resultaten die worden bepaald op basis van de proefstukken SOP3 en SOP4 worden geverifieerd.

### Resultaten volgens het Master-Curve-concept

Voor de onbestraalde proefstukken SOPoa is de  $T_o$  en de overgangstemperatuur voor brosse breuk  $RT_{To}$  conform ASTM E 1921, ASME Code Case N-629 / KTA 3203 bepaald. De eerdere beproevingsresultaten van SOP1 en SOP2 zijn gebruikt om de waarden na bestraling,  $RT_{Toj}$ , conform IAEA Guideline TRS No. 429 te bepalen. De  $RT_{To(j)}$ -resultaten van de SOPoa, SOP1 en SOP2 proefstukken in relatie tot de limietwaarde conform KTA 3203 zijn weergegeven in Figuur 6. Alle resultaten hebben een ruime veiligheidsmarge ten opzichte van de gestelde limietwaarde.

De IAEA Guideline TRS No. 429 is eveneens gebruikt om de resultaten te extrapoleren naar zestig jaar ontwerpbedrijfsduur (55 vollastjaren). De resultaten zijn weergegeven in Tabel 2. Vergelijking van de berekende  $RT_{To(j)}$ -waarden na 55 vollastjaren met de limietwaarden conform KTA 3203 laten een ruime veiligheidsmarge zien.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Vergelijking met de limietwaarde van 149°C conform de Amerikaanse voorschriften 10 CFR 50 laat een nog ruimere veiligheidsmarge zien. De Amerikaanse voorschriften zijn gebaseerd op een ander reactorontwerp en kunnen derhalve alleen voor een kwalitatieve beoordeling worden gebruikt.

De veiligheidsmarges volgens het *state of the art Master-Curve*-concept zijn groter dan de marges volgens het klassieke  $RT_{NDT}$ -concept.

	$RT_{Toj}$ [°C] na 55 vollastjaren en geen inzet van MOX	$RT_{Toj}$ [°C] na 55 vollastjaren en inzet van MOX
Ring o3	-64	-64
Ring o4	-55	-55
Lasnaad	3	3
$RT_{limit}$	62	64

Tabel 2 Overgangstemperaturen voor brosse breuk ( $RT_{Toj}$ ) voor de verschillende delen van het reactorvat op basis van extrapolatie conform IAEA Guideline TRS No. 429 in relatie tot de limietwaarden conform KTA 3203 [7].

#### 7.1.2.4 Veiligheidsanalyses

Het brosse breuk gedrag wordt mede getoetst aan de hand van veiligheidsanalyses waarbij moet worden aangetoond dat onder de ongunstigste ongevalsituatie, namelijk koud water injectie als gevolg van lekkage in het reactorstelsel (koelmiddelverliesongeval), er geen brosse breuk op kan treden.

Sinds de ingebruikname van de KCB-reactor zijn veel realistischere thermohydraulische analyse-mogelijkheden gebaseerd op grootschalige experimenten beschikbaar gekomen; evenals geavanceerdere breukmechanische modellen. De eerder uitgevoerde analyses zijn daarom herhaald<sup>8</sup>. Hierbij is het volledige spectrum van normale bedrijfscondities en ongevalscondities onderzocht waaronder *pressurized thermal shock* (PTS). De veiligheidsanalyses zijn bovendien uitgebreid met delen van het reactorvat die minder aan neutronenstraling worden blootgesteld zoals de aansluitingen van de hoofd-koelmiddelleidingen.

De belangrijkste resultaten van de veiligheidsanalyses zijn samengevat in Tabel 3. In deze tabel zijn de berekende toegelaten (veilige) overgangstemperaturen voor brosse breuk voor diverse lokaties van het reactorvat weergegeven. Per lokatie is het resultaat van de meest ongunstige ongevalsituatie weergegeven.

Onderzochte locatie	Toegestane $RT_{NDT} + [°C]$	$RT_{NDT}$ [°C] Materiaal*	$RT_{To}$ [°C] Materiaal*
Lasnaad, 100 en 200 cm <sup>2</sup> lek, 10 mm defect onder de cladding $a/2c = 1/6$ , eindige elementen berekening	122	18	3
Reactor inlaat, 70 cm <sup>2</sup> lek, 10 mm defect onder de cladding in de hoek van de stomp, eindige elementen berekening	34	-10	-87
Reactor uitlaat, 2 cm <sup>2</sup> lek, 10 mm defect onder de cladding $a/2c = 1/6$ , resultaat eindige elementen berekening	67	-10	-87
Lasnaad flens, 40 cm <sup>2</sup> lek, 10 mm defect onder de cladding $a/2c = 1/6$ , analytische berekening	84	-45	-60

+ bepaald uit maximum belastingcurve;

\* 55 equivalente vollastjaren.

Tabel 3 Overzicht van de toegelaten veilige en vastgestelde overgangstemperatuur voor brosse breuk na zestig jaar ontwerpbedrijfsduur [7].

De volgens §7.1.2.3 bepaalde overgangstemperaturen voor brosse breuk,  $RT_{NDT(i)}$  resp.  $RT_{To(i)}$ , na zestig jaar ontwerpbedrijfsduur (55 vollastjaren) zijn eveneens in de tabel opgenomen. Voor alle locaties is een zeer ruime veiligheidsmarge tussen de toegelaten (veilige) en de vastgestelde overgangstemperatuur voor brosse breuk na zestig jaar ontwerpbedrijfsduur (55 vollastjaren) aanwezig.

Tabel 3 laat zien dat voor het gedeelte van de reactorvatwand dat aan de hoogste neutronen-fluëntie wordt blootgesteld (lasnaad tussen ring o3 en ring o4) een veiligheidsmarge van 104°C volgens het klassieke  $RT_{NDT}$ -concept bestaat. Volgens het *state of the art Master-Curve*-concept is de marge nog groter: 119°C.

### 7.1.3 Conclusie

Hernieuwde analyses hebben aangetoond dat voor het reactorvat ruime veiligheidsmarges ten aanzien van brosse breuk bestaan; ook na verlenging van de ontwerpbedrijfsduur voor KCB van veertig jaar naar zestig jaar (55 vollastjaren) en bij de inzet van MOX.

<sup>8</sup> De thermohydraulische berekeningen zijn uitgevoerd door AREVA. Een onafhankelijke verificatie van de plausibiliteit van de resultaten en de afdekkendheid van de scenario's is door TÜV Nord uitgevoerd.

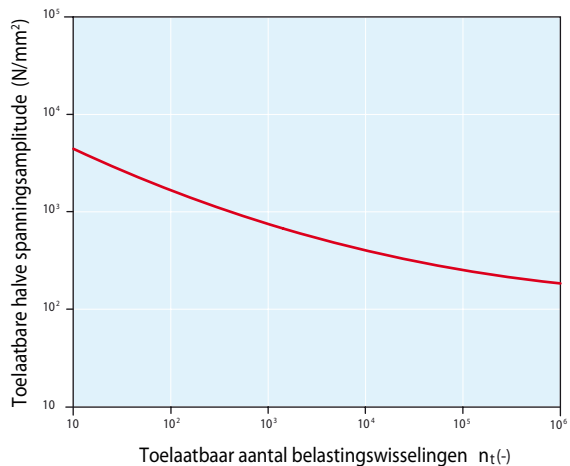
Onder de meest ongunstige ongevalsituatie bedraagt de veiligheidsmarge tussen de toegelaten (veilige) en de na zestig jaar ontwerpbedrijfsduur (55 vollastjaren) voorspelde overgangstemperatuur voor brosse breuk tenminste 104°C. Deze veiligheidsmarge geldt voor het gedeelte van de reactorvatwand dat aan de hoogste neutronenfluentie wordt blootgesteld (lasnaad tussen ring 03 en ring 04). Wanneer de analyses worden uitgevoerd volgens de laatste stand der techniek bedraagt deze veiligheidsmarge 119°C.

De berekende waarden voor zestig jaar bedrijfsduur zullen nog experimenteel worden geverifieerd. Hiertoe zijn in 2007 nieuwe sets proefstukken in de reactor geplaatst (SOP3 en SOP4). De experimentele resultaten zullen in de periode 2014-2018 beschikbaar komen.

## 7.2 Vermoeiing

Het KCB reactorsysteem is samengesteld uit verschillende stalen componenten, zoals het reactorvat, de hoofdkoelmiddelleidingen en de drukhouder. Als gevolg van mechanische en thermische belastingen (druk en temperatuur, eigen gewicht, etc.) zullen spanningen in het materiaal optreden. Bij het ontwerp van het KCB reactorsysteem is met deze belastingen rekening gehouden zodat de optredende spanningen nooit tot het bezwijken van de componenten zullen leiden<sup>9</sup>.

Staal is in het algemeen goed bestand tegen grote statische belastingen. Om een stalen component te laten bezwijken zijn hoge spanningen in het materiaal nodig. In het geval van het langdurig optreden van wisselende belastingen kan na verloop van tijd toch bezwijken plaatsvinden bij lagere spanningen. Afhankelijk van de hoogte van de wisselende belasting kan lokaal microschade in het materiaal ontstaan. Na een aantal belastingswisselingen (bijvoorbeeld als gevolg van het opstarten en afschakelen van de reactor) kan de microschade zich uitbreiden tot een (zichtbare) scheur in het materiaal. Bij verdere belastingswisselingen kan de scheur groeien tot een grootte waarbij de betreffende component bezwijkt. Dit fenomeen



Figuur 7 Vermoeiingscurve voor austenitisch staal

waarbij schade in een materiaal optreedt als gevolg van wisselende belastingen wordt aangeduid met ‘vermoeiing’. Vermoeiing is overigens een langzaam verlopend proces.

De mate waarin een materiaal onderhevig is aan vermoeiing, is afhankelijk van de materiaalsoort en van de grootte en het aantal van de belastingswisselingen. In Figuur 7 is een voorbeeld van een vermoeiingscurve voor austenitisch staal weergegeven.

Het gebied onder de vermoeiingscurve is het veilige gebied, dat wil zeggen dat de combinatie van de grootte van de belastingswisseling (spanningsamplitude) en het aantal van deze wisselingen niet zal leiden tot bezwijken van het materiaal. Combinaties die op of boven de vermoeiingscurve liggen, kunnen leiden tot zichtbare schade en in het uiterste geval tot het bezwijken van het materiaal.

Om het risico op schade als gevolg van vermoeiing voor de verschillende delen van het KCB reactorsysteem te voorkomen, moet voor veiligheidsrelevante componenten worden aangetoond dat alle (veronderstelde) belastingswisselingen onder de vermoeiingscurve liggen. In dat kader wordt het begrip ‘cumulatieve gebruiksfactor’ (CUF) gebruikt. Deze factor moet kleiner dan 1 zijn wil men schade ten gevolge van vermoeiing voorkomen.

<sup>9</sup> Componenten zijn zo gedimensioneerd dat de optredende spanningen ruimschoots onder de toelaatbare normspanning van het materiaal blijven zodat er een grote marge ten opzichte van bezwijken aanwezig is.

### Cumulatieve vermoeiings- of gebruiksfactor

De vermoeiings- of gebruiksfactor wordt met behulp van een generieke vermoeiingscurve voor een bepaald type materiaal bepaald. Een voorbeeld voor austenitisch staal is weergegeven in Figuur 7 [KTA 3201.2]. Deze curves zijn op basis van beproevingen vastgesteld en geven de relatie tussen de grootte van de belastingswisseling (spannings- of rekamplitude) en het aantal wisselingen (cycli) waarbij zichtbare schade aan het materiaal zal optreden.

De vermoeiingscurves die in de richtlijnen voor nucleaire installaties worden gebruikt, bevatten ruime marges ten opzichte van de werkelijke vermoeiingscurves, oftewel ze zijn conservatief opgesteld.

De vermoeiingscurve wordt gebruikt om bij de maximaal te verwachten spanningsamplitude als gevolg van een (veronderstelde) belastingswisseling, het aantal toelaatbare wisselingen of cycli te bepalen ( $n_t$ ). De vermoeiings- of gebruiksfactor (UF) is gedefinieerd als de verhouding tussen het aantal werkelijke of te verwachten cycli ( $n_w$ ) en het aantal toelaatbare cycli ( $UF = n_w / n_t$ ).

Aangezien componenten vaak aan meerdere typen belastingswisselingen worden blootgesteld, worden de gebruiksfactoren per type belastingswisseling gesommeerd. Dit vormt de uiteindelijke cumulatieve gebruiksfactor (CUF;  $CUF = UF_1 + UF_2 + UF_3 + \dots$ , waarbij de index 1, 2, 3 etc. een type belastingswisseling aanduidt).

#### 7.2.1 Huidige vergunnings situatie

Bij het ontwerp van het KCB reactorsysteem zijn sterkteteknische berekeningen uitgevoerd. Het aspect vermoeiing werd daarbij beoordeeld op basis van een breed spectrum aan gepostuleerde belastingswisselingen, in het vervolg ook aangeduid met belastingstoestanden die zich tijdens de destijds aangenomen ontwerpbedrijfsduur van veertig jaar zouden kunnen voordoen.

De belastingstoestanden omvatten enerzijds reële of realistische belastingswisselingen die bij het regulier bedrijven van de kerncentrale voorkomen (bijvoorbeeld het opstarten van de reactor na een splijtstofwissel waarbij de temperatuur en druk geleidelijk worden verhoogd) en anderzijds veronderstelde belastingveranderingen als gevolg van mogelijke storings- en/of ongevalsituaties. Voor elk van de belastingstoestanden werd conservatief ingeschat hoe vaak die zich tijdens de oorspronkelijke ontwerpbedrijfsduur van veertig jaar zouden kunnen voordoen. Het totaal van belastingstoestanden en -aantallen is vastgelegd in de zogenaamde *Lastfallkatalog*. De *Lastfallkatalog* is daarmee een conservatieve beschrijving van de aantallen belastingstoestanden en van de belastingstoestanden in temperatuur en druk (transiënten). De sterkte-technische berekeningen dienen aan te tonen dat bij de aantallen

in de *Lastfallkatalog* gepostuleerde belastingswisselingen aan de sterkteteknische eisen wordt voldaan.

De belastingstoestanden of toestandveranderingen zijn ingedeeld naar:

- 1. Bedrijfstoestanden**
  - 1.1 Normaal bedrijf
  - 1.2 Storingen
  - 1.3 Beproevingen
- 2. Ongevallen**
  - 2.1 Noodgevallen
  - 2.2 Schadegevallen

Als voorbeeld zijn de verschillende belastingstoestanden die tijdens normaal bedrijf (kunnen) voorkomen opgenomen in Tabel 4. Hierin zijn ook de gepostuleerde aantallen van voorkomen tijdens de oorspronkelijke ontwerpbedrijfsduur van veertig jaar aangegeven.

Op basis van de gepostuleerde belastingstoestanden en -aantallen werd een volledige sterkteberekening voor de verschillende componenten van het KCB reactorsysteem uitgevoerd. De berekende spanningen werden vervolgens getoetst aan de in de ASME Code Section III aangegeven toelaatbare spanningswaarden. De toelaatbare spanningswaarden zijn afhankelijk van de indeling van de betreffende component

Veronderstelde belastingstoestanen		Ontwerpaantal (veertig jaar bedrijfsduur)	Belastings- categorie
<b>1</b>	<b>Bedrijfstoeestanen</b>		
1.1	Normaal bedrijf		
	▪ Opstarten vanuit nullast, koud	155	A
	▪ Afregelen tot nullast, koud	155	A
	▪ Sprongvormige belastingsveranderingen	100 000	A
	▪ Hellingvormige belastingsveranderingen	12 000	A
	▪ Montage van het reactorvatdeksel	60	A
	▪ Aan- en uitschakelen van een 2 <sup>e</sup> pomp van het volumeregelsysteem (TA)	10 000	A

Tabel 4 Voorbeeld van belastingstoestanen tijdens normaal bedrijf inclusief gepostuleerde aantallen van voorkomen.

in belastingscategorien alsmede van de veiligheidsclassificatie. De belastingscategorien zijn ingedeeld in categorie A t/m D waarbij de toelaatbare spanningen behorende bij categorie A lager zijn dan bij categorie D.

Voor die componenten waarbij sprake is van relevante belastingswisselingen diende conform ASME Code Section III een cumulatieve vermoeiingsgebruiksfactor te worden bepaald. Volgens de hiervoor beschreven methode werd aangetoond dat de cumulatieve gebruiksfactoren voor de verschillende componenten/locaties<sup>40</sup> van het KCB reactorsysteem kleiner zijn dan 1,0. Het verschil tussen de berekende cumulatieve gebruiksfactoren en de limietwaarde van 1,0 bepaalt mede de veiligheidsmarge ten aanzien van het voorkomen van vermoeiingschade. Andere belangrijke factoren die de veiligheidsmarge bepalen, zijn: het gebruik van conservatieve vermoeiingscurves en het gebruik van veiligheidsfactoren voor wat betreft de grootte en het aantal belastingswisselingen<sup>41</sup>. Bovendien zijn de (gepostuleerde) aantallen belastingswisselingen conservatief ingeschat.

Jaarlijks worden de uitgangspunten van de vermoeiingsanalyses getoetst in die zin dat de aantallen werkelijk opgetreden belastingswisselingen worden vergeleken met de oorspronkelijk aangenomen ontwerpaantallen. Het resultaat van de toetsing wordt vastgelegd in het transiëntenrapport. Dit rapport wordt ter informatie aan de KFD voorgelegd.

## 7.2.2 De invloed van een langere ontwerpbedrijfsduur op vermoeiing

Het verlengen van de ontwerpbedrijfsduur van veertig jaar naar zestig jaar betekent dat componenten van het KCB reactorsysteem mogelijk aan grotere aantallen belastingswisselingen worden blootgesteld dan oorspronkelijk aangenomen. Bij overschrijding van de oorspronkelijke ontwerpaantallen is schade ten gevolge vermoeiing niet uit te sluiten.

Voor de bewijsvoering rondom vermoeiing zou in principe kunnen worden volstaan met het op basis van de aantallen werkelijk opgetreden belastingswisselingen een extrapolatie van veertig naar zestig jaar ontwerpbedrijfsduur uit te voeren. Als de resulterende aantallen belastingswisselingen de oorspronkelijk, voor veertig jaar bedrijfsduur, aangenomen aantallen niet overschrijden, blijven de uitgangspunten van de analyses geldig en is aanvullende bewijsvoering niet noodzakelijk.

EPZ heeft de bewijsvoering rondom vermoeiing opnieuw beoordeeld, waarbij recente inzichten ten aanzien van vermoeiing zijn meegenomen. Een gedetailleerde beschrijving van de gebruikte methode en resultaten is opgenomen in [9]. Hieronder volgt een samenvatting op hoofdlijnen, waarbij nader wordt ingegaan op de vigerende voorschriften (§7.2.2.1), de bepaling en toetsing van de cumulatieve gebruiksfactoren (§7.2.2.2), het monitoringsysteem FAMOS (§7.2.2.3) en de nieuwe belastingcatalogus (§7.2.2.4).

<sup>40</sup> De vermoeiingsanalyses zijn uitgevoerd voor bepaalde (onder)delen en locaties van een hoofdcomponent. In het vervolg wordt gesproken over componenten/locaties. Voor 1 component kunnen meerdere analyses zijn gevoerd.

<sup>41</sup> De veiligheidsfactoren worden gebruikt om bijvoorbeeld schaaffecten (gebruik van proefstaafjes in plaats van volledige componenten) en de invloed van oppervlakteruwheid te verdisconteren.

### 7.2.2.1 Voorschriften

De beoordeling van het onderwerp vermoeiing is gebaseerd op Duitse en Amerikaanse voorschriften.

De Duitse voorschriften zijn:

- **KTA 3201.2**  
*Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren, Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung;*
- **KTA 3201.4**  
*Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren, Teil 4: Wiederkehrende Prüfungen und Betriebsüberwachung;*
- **KTA 3211.2**  
*Druck und aktivitätsführende Komponenten von Systemen ausserhalb des Primärkreises, Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung.*

Het Amerikaanse voorschrift is:

- **ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Rules for Construction of Nuclear Facility Components, Section III.**

De verschillen tussen de Duitse en Amerikaanse voorschriften zijn in het algemeen klein. Zowel de Duitse als Amerikaanse voorschriften zijn gebruikt als uitgangspunt voor de beoordeling van het onderwerp vermoeiing.

Internationaal zijn er verschillende ontwikkelingen en nieuwe inzichten met betrekking tot vermoeiing, zoals de invloed van het water in contact met het componentmateriaal (*environmental fatigue*)<sup>12</sup> en het gebruik van nieuwe vermoeiingscurves.

In Duitsland is *environmental fatigue* opgenomen in een concept KTA met toetsingscriteria voor de cumulatieve gebruiksfactoren (0,2 voor austenitisch staal en 0,4 voor ferritisch staal). Als de berekende cumulatieve gebruiksfactor kleiner is dan de toetsingswaarde, dan zijn geen additionele maatregelen of analyses in het kader van *environmental fatigue* noodzakelijk. Als de berekende cumulatieve gebruiksfactor groter is dan de toetsingswaarde, dan moet (tenminste) één van de volgende maatregelen worden getroffen:

1. Component opnemen in vermoeiingsmonitoringprogramma conform KTA 3201.4;
2. Additionele bewijsvoering door middel van representatieve experimenten;
3. Gedetailleerde vermoeiingsanalyses uitvoeren, gebruikmakende van specifieke vermoeiingscorrectiefactoren (bijvoorbeeld conform NUREG/CR-6909).

Hoewel geen formele noodzaak/voorschrift voor het beschouwen van *environmental fatigue* bestaat, heeft EPZ het fenomeen wel in de beoordeling meegenomen (zie §7.2.2.2). Hiervoor is de concept KTA-systematiek gebruikt.

De Amerikaanse voorschriften met betrekking tot het gebruik van een nieuwe (deels stringenter) vermoeiingscurve voor austenitisch roestvast staal gelden alleen voor nieuwe centrales. De nieuwe vermoeiingscurve is bovendien gebaseerd op materiaaltesten van andere typen roestvast staal. Deze zijn anders dan de typen die bij de bouw van de kerncentrale Borssele zijn gebruikt en die de basis vormen voor de curves opgenomen in de vigerende KTA 3201.2 en de tot 2007 gebruikte *ASME Boiler and Pressure Vessel Code*.

Bovendien wordt de nieuwe vermoeiingscurve reeds afgedekt door de toetsingscriteria voor *environmental fatigue* conform de eerdergenoemde concept KTA. De nieuwe vermoeiingscurve is derhalve niet expliciet gebruikt bij de bewijsvoering rondom het onderwerp vermoeiing.

### 7.2.2.2 Bepaling en toetsing cumulatieve gebruiksfactoren

EPZ heeft de bewijsvoering rondom vermoeiing opnieuw beoordeeld, waarbij recente inzichten ten aanzien van vermoeiing zijn meegenomen. Hierbij is de volgende werkwijze gevolgd:

1. **Selectie van relevante componenten/locaties** die in het kader van vermoeiing moeten worden beschouwd (*scoping and screening*);
2. **Bepaling aantallen relevante belastingswisselingen tot 2034;**

<sup>12</sup> Bestaande vermoeiingscurves zijn vrijwel altijd gebaseerd op experimenten in lucht. Uit bepaalde experimenten blijkt dat het koelmiddel (water) in contact met het te beproeven materiaal het vermoeiingsgedrag nadeliger beïnvloedt dan oorspronkelijk was aangenomen.

3. **Beoordeling bestaande analyses (sterkte-technische berekeningen)** en/of uitvoering aanvullende of nieuwe analyses voor (projectie naar) zestig jaar ontwerpbedrijfsduur;
4. **Bepaling cumulatieve gebruiksfactoren voor zestig jaar ontwerpbedrijfsduur;**
5. **Toetsing cumulatieve gebruiksfactoren aan criteria** (1,0 danwel 0,2/0,4 in geval van *environmental fatigue*).

#### 1. Selectie van componenten/locaties

In principe zou ervoor gekozen kunnen worden om alleen de oorspronkelijk gemaakte vermoeingsanalyses te beschouwen en te revalideren voor 2034. Er is echter besloten om onafhankelijk van de bestaande bewijsvoering een nieuwe inventarisatie van componenten/locaties uit te voeren. De selectie van relevante componenten/locaties is gebeurd op basis van internationale ervaringen en inzichten, en gerelateerd aan de selectie van veiligheidsrelevante componenten voor de, in het kader van LTO, uitgevoerde *Ageing Management Review* (zie hoofdstuk 8). Dit heeft geresulteerd in de volgende selectie van componenten:

- Alle veiligheidsrelevante (klasse S1) componenten van het reactorkoelsysteem, inclusief het leidingwerk dat met deze componenten is verbonden tot aan de tweede afsluiter;
- Alle componenten van het secundair (of conventioneel) systeem die direct met het reactorkoelsysteem zijn verbonden;
- Alle delen van het leidingwerk van het hoofdvoedingswater- en hoofdstoomsysteem die in het kader van lek-voor-breek zijn beschouwd.

Een overzicht van de in het kader van vermoeiing relevante componenten/locaties is opgenomen in [8]. In totaal zijn vijftig componenten/locaties geselecteerd. De belangrijkste componentengroepen zijn weergegeven in Tabel 5.

Aan de lijst met componentengroepen zijn twee componenten toegevoegd hoewel ze buiten de eerdergenoemde selectiecriteria vallen. Bij de oorspronkelijke bewijsvoering rondom vermoeiing zijn deze componenten wel beschouwd. Volledigheidshalve zijn de bestaande vermoeingsanalyses voor deze componenten daarom

Componentgroep
Reactorvat
Stoomgeneratoren
Drukhouder
Hoofdkoelmiddelpompen
Hoofdkoelmiddelleidingen
Volumevereffeningsleiding
Sproeileidingen (drukhouder)
Hoofdvoedingswaterleidingen
Hoofdstoomleidingen

Tabel 5 Overzicht van de belangrijkste componentengroepen in relatie tot vermoeiing.

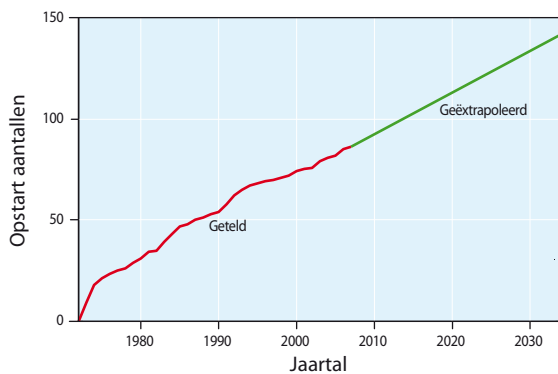
opnieuw beoordeeld. Het betreft de recuperatieve warmtewisselaars en de afblaastank. De uiteindelijke selectie van componenten/locaties is in lijn met vermoeiingsstudies die voor andere vergelijkbare kerncentrales zijn of worden uitgevoerd, zoals de kerncentrale Neckarwestheim 1. In relatie tot de Amerikaanse voorschriften (NUREG/CR-6260) is de selectie uitgebreider dan wat is voorgeschreven.

#### 2. Bepaling aantallen relevante belastingwisselingen tot 2034

De voor de vermoeingsanalyses relevante aantallen belastingswisselingen zijn voor zestig jaar ontwerpbedrijfsduur vastgesteld op basis van extrapolatie van de aantallen werkelijk opgetreden belastingswisselingen, zoals gerapporteerd in het transiëntenrapport, en andere bijzonderheden, zoals de hogere frequentie van bepaalde belastingswisselingen tijdens de inbedrijfname van de KCB (1973/1974). De resulterende geprojecteerde aantallen voor zestig jaar bedrijfsduur zijn altijd conservatief gesteld. Dit betekent onder andere dat een minimum waarde van 1 wordt verondersteld; ook voor die belastingswisselingen die op basis van extrapolatie van het aantal werkelijk opgetreden belastingswisselingen een waarde van 0 zouden opleveren.

Als voorbeeld voor de extrapolatie van de aantallen belastingswisselingen is de extrapolatie van het aantal keren opstarten van de reactor in Figuur 8 weergegeven. Volgens de extrapolatie op basis van het werkelijk aantal keren opstarten van de reactor komt het ontwerp-aantal overeenkomstig zestig jaar bedrijfsduur op 142 uit.





Figuur 8 Extrapolatie van het aantal keren opstarten van de reactor als functie van de langere bedrijfsduur [8].

Het geprojecteerde aantal belastingswisselingen tot 2034 (zestig jaar bedrijfsduur) op basis van het werkelijk aantal geregistreerde belastingswisselingen tot 2007 is weergegeven in Tabel 6. De geprojecteerde aantallen vormen de basis voor de in het kader van deze vergunningsaanvraag uitgevoerde beoordeling van de vermoeingsanalyses.

### 3. Beoordeling bestaande analyses (sterkte-technische berekeningen)

Voor elk van de geselecteerde componenten/locaties in combinatie met de relevante belastingstoestanden, is gecontroleerd of de uitgangspunten van de bestaande sterkte-technische berekeningen nog steeds valide zijn en zodoende gebruikt kunnen worden voor het bepalen van de cumulatieve gebruiksfactoren voor zestig jaar ontwerpbedrijfsduur. Ook is gecontroleerd of deze berekeningen conservatieve resultaten ten opzichte van de huidige analysemethoden opleveren. Voor die situaties waarvoor geen sterkte-technische berekeningen beschikbaar zijn of waarvoor de sterkte-technische berekeningen niet voldoen aan de eerdergenoemde criteria, zijn nieuwe of aanvullende berekeningen uitgevoerd.

### 4. Bepaling cumulatieve gebruiksfactoren voor zestig jaar bedrijfsduur

De cumulatieve gebruiksfactoren voor zestig jaar bedrijfsduur zijn uiteindelijk bepaald aan de hand van richtlijnen conform KTA3201.2 of de ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III. Er zijn verschillende methoden die aan deze richtlijnen voldoen, variërend van handmatige berekeningen tot het gebruik van computercodes. Voor de bewijsvoering in het kader van vermoeiing zijn alle genoemde methoden gebruikt.

De cumulatieve gebruiksfactoren voor zestig jaar bedrijfsduur ( $CUF_{2034}$ ) zijn weergegeven in Tabel 7. Voor die componenten/locaties die in het kader van latere modificaties zijn vervangen of toegevoegd, zijn de cumulatieve gebruiksfactoren gebaseerd op en herleid naar de werkelijke bedrijfsduur en de te verwachten bedrijfsduur tot 2034.

### 5. Toetsing cumulatieve gebruiksfactoren aan criteria

Om schade als gevolg van vermoeiing voor de verschillende delen van het KCB reactorsysteem uit te sluiten, moet worden aangetoond dat de cumulatieve gebruiksfactoren kleiner dan 1 zijn. De resultaten in Tabel 7 laten zien dat dit voor 45 van de 50 beschouwde componenten/locaties voor zestig jaar ontwerpbedrijfsduur geldt. Voor 5 componenten/locaties is nog niet aangetoond dat de cumulatieve gebruiksfactor  $CUF_{2034}$  kleiner dan 1 is (in Tabel 7 gemarkeerd met verder beoordelen). Het betreft:

- **Stoomgenerator:**  
secundaire uitlaatstomp (stoom)
- **Hoofdkoelmiddelleiding:**  
TJ/TA stomp (veiligheidsinjectiesysteem/volumeregelsysteem)
- **Volumevereffeningsleiding:**  
stomp volumevereffeningsleiding - hoofdkoelmiddelleiding
- **Volumevereffeningsleiding:**  
stomp volumevereffeningsleiding - drukhouder
- **Sproeileidingen drukhouder:**  
sproeistompen van de hulpsproeileidingen TA-warm

Voor deze componenten/locaties zullen nieuwe stand der techniek analyses worden uitgevoerd. De resultaten zullen vóór 1 januari 2014 bekend zijn, zodat schade als gevolg van vermoeiing in de periode tot 2034 kan worden uitgesloten of tijdig additionele maatregelen kunnen worden genomen.

Gelet op de internationale discussie rondom *environmental fatigue* heeft EPZ de cumulatieve gebruiksfactoren ook getoetst aan de toetsingswaarden van 0,2 voor austenitisch staal en 0,4 voor ferritisch staal conform het huidige voorstel voor uitbreiding van de Duitse richtlijnen (KTA). Het betreft alleen die componenten/locaties die in contact staan met koelmiddel (water). Voor het merendeel van de desbetref-



Veronderstelde belastingstoestanden	Geprojecteerd aantal (zestig jaar bedrijfsduur) <sup>1)</sup>
<b>1 Bedrijfstoestanden</b>	
<b>1.1 Normaal bedrijf</b>	
▪ Opstarten vanuit nullast, koud	142
▪ Afregelen tot nullast, koud	141
▪ Sprongvormige belastingsveranderingen	170
▪ Hellingvormige belastingsveranderingen	61
▪ De-/montage van het reactorvatdeksel	71
▪ Aan- en uitschakelen van een 2 <sup>e</sup> pomp van het volumeregelsysteem (TA)	2 388
<b>1.2 Storingen</b>	
▪ Reactorsnelafschakeling (RESA)	42
▪ Turbinesnelafschakeling (TUSA), of lastafschakeling op nullast, of lastafschakeling op eigenbedrijf	91
▪ Onbedoeld sluiten van een hoofdstoomafsluiter	2
▪ Uitval hoofdkoelmiddelpomp	49
▪ Verandering van de voedingswater-intredetemperatuur bij de stoomgeneratoren	3 <sup>2)</sup>
▪ Systemspecifieke storingen in het volumeregelsysteem met een uitwerking op de componenten van het reactorcool- en drухoudsysteem	1 <sup>2)</sup>
▪ Onbedoeld openen van de turbineomloopklep	2
▪ Hulpsproeien met het TA-systeem	18 <sup>3)</sup>
<b>1.3 Beproevingen</b>	
▪ Drukbeproeving reactorcoolstelsel	3 <sup>4)</sup>
▪ Dichtheidsbeproeving reactorcoolstelsel	- <sup>5)</sup>
▪ Drukproeven secundair stelsel	1 <sup>4)</sup>
▪ Beproevingen drухouder veiligheidsklep	93
<b>2 Ongevallen</b>	
<b>2.1 Noodgevallen</b>	
▪ Noodstroomsituatie	13
- met aansluitend opstart	
- met afregelen tot 120°C en koud water suppletie	
▪ TUSA zonder turbine-omloopleiding	5
- met aansluitend opstart	
- met afregelen tot nullast, koud	
▪ Stoomgeneratorpijpbreuk	13
- zonder noodstroomsituatie	
- met noodstroomsituatie	
▪ Aanspreken veiligheidsklep drухouder	1
▪ Niet sluiten veiligheidsklep drухouder	
- bij beproeving	6
- na aanspreken	2
▪ Niet sluiten veiligheidsklep hoofdstoomstelsel	9
▪ Onbedoelde toevoer van koud water in een stoomgenerator	1
▪ Kleine lekkage hoofdkoelmiddelkringloop	1
▪ Kleine lekkage secundaire leidingen	3
<b>2.2 Schadegevallen</b>	
▪ Lekkage van hoofdkoelmiddel	
- middelgrote lekkage	1
- grote lekkage	1
▪ Lekkage van een secundaire leiding	
- middelgrote lekkage	1
- grote lekkage	1
▪ Externe invloeden	1
▪ Bijzondere schadegevallen	
- ATWS (veronderstelde transiënt zonder reactorafschakeling)	5
- primaire <i>feed/bleed</i>	1
- secundaire <i>feed/bleed</i>	1

<sup>1)</sup> Geprojecteerd aantal belastingswisselingen tot 2034 op basis van het werkelijk aantal geregistreerde belastingswisselingen tot 2007 (conservatieve waarde).

<sup>2)</sup> Gebaseerd op beschikbare FAMOS meetresultaten.

<sup>3)</sup> Geen ontwerpaantal gedefinieerd. Met behulp van FAMOS worden ervaringsgegevens verzameld, zodat deze bij de vermoeiingsanalyses kunnen worden gebruikt.

<sup>4)</sup> Wordt niet meer uitgevoerd bij KCB.

<sup>5)</sup> Wordt niet uitgevoerd bij KCB.

Tabel 6 Geprojecteerde aantallen belastingswisselingen tot 2034 (60 jaar bedrijfsduur) op basis van de werkelijke aantallen belastingswisselingen tot 2007 [8].

## 7

Component	sys-teem-code	Locatie	Cumulatieve gebruiksfactoren voor 2034
1. Reactorvat	YC	1.1 Reactorvatdekselbouten	0.934
		1.2 Flens reactorvatdeksel	0.0052
		1.3 Flens reactorvat (inclusief vatwandovergang net onder de stompen)	0.0108
		1.4 Inlaatstompen	0.01395
		1.5 Uitlaatstompen	0.01237
		1.6 Reactorvatdekselstompen	0.1218
		1.7 Overgang vatbodem naar romp	0.0099
		1.8 Vatwand rondom reactor kern	0.019
2. Stoomgenerator	YB	2.1 Primair mangat (inclusief overgang romp)	0.03
		2.2 Primaire inlaatstomp	0.04
		2.3 Primaire uitlaatstomp	0.03
		2.4 Romp primair zijdig net onder pijpplaat	0.09
		2.5 Pijpplaat	0.14
		2.6 Romp secundair zijdig net boven pijpplaat	0.39
		2.7 Voedingswaterstomp	0.396
		2.8 Secundaire uitlaatstomp (stoom)	Verder beoordelen
		2.9 Secundair mangat (inclusief overgang romp)	0.16
		2.10 Secundair handgat (inclusief overgang romp)	0.19
		2.11 Rompovergang onderste cilinder naar conische gedeelte	0.15
		2.12 Rompovergang conische gedeelte naar dikke cilinder	0.13
		2.13 Rompovergang dikke cilindrische deel naar bovenste cilinder	0.14
		2.14 Rompovergang bovenste cilinder naar deksel	0.10
		2.15 Rompovergang deksel naar uitlaatstomp	0.06
3. Drukhouder	YP	3.1 Dome flens (inclusief overgang dome naar flens)	0.0029
		3.2 Dekselflens (inclusief overgang deksel front naar flens)	0.0049
		3.3 Bevestigingsbouten dome en deksel	0.040
		3.4 Uitlaat primaire veiligheidskleppen drukhouder	0.0005
		3.5 Intrede flens primaire veiligheidskleppen drukhouder YP011/012/013	0.098
4. Hoofdcoolmiddel-pompen	YD	4.1 Huis	<0.0057
		4.2 Deksel	0.0057
		4.3 Inlaatstomp	<0.0057
		4.4 Uitlaatstomp	<0.0057
5. Hoofdcoolmiddel-leidingen	YA	5.1 TA/YA stomp	0.213 <sup>*2</sup>
		5.2 TJ/YA stomp (inlaat)	Verder beoordelen
		5.3 TJ/YA stomp (uitlaat)	<<1
6. Volume-vereffeningsleiding	YP	6.1 Leidingdelen volumevereffeningsleiding	0.47 <sup>*2</sup>
		6.2 Stomp volumevereffeningsleiding - hoofdcoolmiddelleiding	Verder beoordelen
		6.3 Stomp volumevereffeningsleiding - drukhouder	Verder beoordelen
7. Sproeileidingen en hulpsproeileidingen	YP	7.1 Sproeistompen van de hulpsproeileidingen TW	0.03
		7.2 Sproeistompen van de hulpsproeileidingen TA-koud	0.05
		7.3 Sproeistompen van de hulpsproeileidingen TA-warm	Verder beoordelen
		7.4 Sproeistompen van de sproeileidingen (3x)	0.14
		7.5 Sproeikleppen YP0001So41/042/043	n.v.t. <sup>*1</sup>
8. Voedingswater-leidingen	RL	8.1 Vast punt voedingswatersysteem RL	0.15
		8.2 Stompen dubbel T-stuk (RL/RS)	0.43 <sup>*2</sup>
9. Hoofdstoom-leidingen	RA	9.1 Vast punt hoofdstoomleidingen RA	0.11
		9.2 Vast punt hoofdstoomleidingen RA0001/RA002Z002	0.002
10. Recuperatieve warmtewisselaar	TA	10.1 Pijpplaat	0.011
11. Afblaastank	YP	11.1 Dome	n.v.t. <sup>*1</sup>
		11.2 Vat	n.v.t. <sup>*1</sup>

<sup>\*1</sup> Niet van toepassing op grond van KTA 3201.2.

<sup>\*2</sup> Waarden groter dan de KTA-limietwaarden voor *environmental fatigue*, zijnde 0,2 (austenitisch) en 0,4 (ferritisch).

Tabel 7 Cumulatieve gebruiksfactoren voor de verschillende componenten/locaties op basis van zestig jaar ontwerpbedrijfsduur [7].

fende componenten/locaties is de cumulatieve gebruiksfactor kleiner dan de toetsingswaarde zodat de invloed van het medium (water) in voldoende mate is afgedekt om vermoeiings-schade te voorkomen. Naast de hierboven genoemde vijf componenten/locaties waarvoor nog niet is aangetoond dat de cumulatieve gebruiksfactor  $CUF_{2034}$  kleiner dan 1 is, zijn er 3 componenten/locaties die de toetsingswaarden voor *environmental fatigue* overschrijden (in Tabel 7 gemarkeerd met \*<sup>2</sup>). Het betreft:

- **Hoofdkoelmiddelleiding:**  
TA/YA stomp (volumeregelsysteem/  
hoofdkoelmiddelleiding)
- **Volumevereffeningsleiding:**  
leidingdelen volumevereffeningsleiding
- **Hoofdvoedingswaterleidingen:**  
stompen dubbel T-stuk RL/RS (hoofd-  
voedingswater/reserve suppletiesysteem)

Conform het huidige voorstel voor uitbreiding van de Duitse richtlijnen (KTA) zijn voor de bovengenoemde componentlocaties additionele maatregelen voorzien. Het betreft (tenminste) één van de volgende maatregelen:

1. Component opnemen in vermoeiingsmonito-ringprogramma conform KTA 3201.4;
2. Additionele bewijsvoering door middel van representatieve experimenten;
3. Gedetailleerde vermoeiingsanalyses uitvoeren, gebruikmakende van specifieke vermoeiingscorrectiefactoren (bijvoorbeeld conform NUREG/CR-6909).

In de praktijk zal eerst maatregel 3 worden uit-gevoerd om door middel van een gedetailleerde, maar nog steeds conservatieve, berekening aan te tonen dat de cumulatieve gebruiksfactor voldoet aan de toetsingswaarde. Als dit niet mogelijk is dan wordt maatregel 1 of in bijzon-dere gevallen maatregel 2 genomen. Als laatste optie blijft een technische aanpassing, zoals vervanging van de component, over.

### 7.2.2.3 FAMOS

EPZ heeft in 2010 een vermoeiingsmonitoring-systeem FAMOS (*Fatigue Monitoring System*) geïnstalleerd. Dit systeem omvat verschillende extra temperatuuropnemers die samen met de bestaande instrumentatie een nauwkeuriger inzicht geven in de werkelijke (complexe) ver-moeiingsbelastingen. Het systeem zal tot het

einde van de KCB-bedrijfsvoering (tot 2034) in bedrijf blijven.

Belangrijk doel van het gebruik van FAMOS is het monitoren van de werkelijke belastings-wisselingen. Op die manier kunnen de uit-gangspunten en daarmee de geldigheid van de vermoeiingsanalyses worden bewaakt. Door het monitoren van de werkelijke belastings-wisselingen geeft FAMOS ook beter inzicht in de conservatismen die bij de vermoeiings-analyses zijn aangenomen. Hoe verhoudt de werkelijke belastingswisseling zich tot de ont-werpbelastingswisseling?

In dat kader zullen de FAMOS-resultaten ook worden gebruikt voor het actualiseren van de belastingcatalogus (zie §7.2.2.4) en de speci-ficaties van de belastingswisselingen, en indien noodzakelijk het opnieuw revalideren van de uitgevoerde vermoeiingsanalyses.

Daarnaast levert het systeem praktijkinformatie om te kunnen inspelen op internationale ont-wikkelingen op het gebied van bijvoorbeeld *environmental fatigue*. Zo levert FAMOS zeer gedetailleerde informatie op het gebied van thermische stratificatie. Bij thermische stra-tificatie is er sprake van een gelaagdheid in temperatuur, waarbij het koelmiddel dat door een pijpleiding stroomt als het ware uit ver-schillende lagen bestaat die onderling een verschillende temperatuur hebben. Als gevolg van thermische stratificatie ontstaan globale spanningen in het pijpmateriaal die in geval van wisselingen kunnen leiden tot vermoeiing.

Tot slot zal FAMOS helpen bij het optimaliseren bij de reguliere bedrijfsvoering. Door de belas-tingswisselingen te monitoren kunnen bedie-ningsinstructies worden aangepast zodat een geringere vermoeiingsbelasting optreedt.

### 7.2.2.4 Belastingcatalogus

Zoals in §7.2.1 beschreven is het oorspronke-lijke totaal van belastingstoestanden en – aantallen vastgelegd in een belastingcatalogus, de zogenaamde *Lastfallkatalog*, voor de oor-spronkelijke ontwerpbedrijfsduur van veertig jaar. Voor de bewijsvoering voor de nieuwe ontwerpbedrijfsduur van zestig jaar is gebruik gemaakt van een belastingcatalogus die mede

is gebaseerd op extrapolatie van de werkelijk opgetreden belastingswisselingen (zie §7.2.2.2). De belastingcatalogus zal verder worden geactualiseerd op basis van FAMOS-meetresultaten. Deze actualisatie van de belastingcatalogus zal plaatsvinden nadat gedurende vijf splijtstofcycli (periode 2010-2015) voldoende meetresultaten zijn verzameld en een representatief beeld van de belastingswisselingen is ontstaan.

### 7.2.3 Conclusie

Een nieuwe beoordeling op basis van geprojecteerde aantallen belastingswisselingen tot 2034 (zestig jaar bedrijfsduur) heeft aangetoond dat de bestaande vermoeiingsontwerpbasis voldoende marge biedt voor het voorkomen van schade aan het KCB-reactorsysteem als gevolg van vermoeiing. De cumulatieve gebruiksfactoren zijn voor 45 van de 50 beschouwde componenten/locaties kleiner dan 1. Ook na verlenging van de ontwerpbedrijfsduur voor KCB van veertig jaar naar zestig jaar. Voor vijf componenten/locaties waarvoor dit nu nog niet is aangetoond zullen nieuwe stand der techniek analyses worden uitgevoerd. De resultaten zullen vóór 1 januari 2014 bekend zijn, zodat indien noodzakelijk additionele maatregelen kunnen worden getroffen.

De cumulatieve gebruiksfactoren zijn tevens getoetst aan de strengere KTA grenswaarden die de invloed van het koelmiddel (water) op vermoeiing verdisconteren (*environmental fatigue*). Naast de eerdergenoemde vijf componenten/locaties, zijn er componenten/locaties waarvoor nog niet is aangetoond dat wordt voldaan aan de grenswaarden voor *environmental fatigue*. Ook hiervoor zullen nieuwe stand der techniek analyses worden uitgevoerd. De resultaten zullen vóór 1 januari 2014 bekend zijn, zodat indien noodzakelijk additionele maatregelen kunnen worden getroffen.

In het kader van het vermoeiingsmonitoring-programma is in 2010 FAMOS geïnstalleerd. Dit systeem zal tot het einde van de bedrijfsduur worden gebruikt om de belastingswisselingen te volgen. Op die manier kunnen de uitgangspunten van, en daarmee de geldigheid van, de vermoeiingsanalyses worden bewaakt. Het systeem levert ook praktijkinformatie om te kunnen inspelen op internationale ontwikke-

lingen op het gebied van bijvoorbeeld *environmental fatigue*.

De FAMOS-meetresultaten zullen ook worden gebruikt voor het actualiseren van de oorspronkelijke belastingcatalogus voor veertig jaar ontwerpbedrijfsduur. De nieuwe belastingcatalogus voor zestig jaar ontwerpbedrijfsduur zal in 2015 beschikbaar zijn.

## 7.3 Lek-voor-breuk

Een aanvullend veiligheidsprincipe naast de bewijsvoering rondom reactorvatverbrossing en vermoeiing dat voor leidingen in kerncentrales wordt toegepast is *Break Preclusion*. Volgens dit principe wordt leidingbreuk uitgesloten en kan (hypothetische) scheurvorming niet direct leiden tot het bezwijken van de component. Als scheurvorming zou optreden dan zal dit leiden tot een klein, stabiel en detecteerbaar *lek* zodat voldoende tijd beschikbaar is voor het treffen van maatregelen om bezwijken (*breuk*) te voorkomen. Dit wordt lek-voor-breuk genoemd. In het kader van LTO wordt dit onderdeel beschouwd onder TLAAs aangezien de bewijsvoering voor *Break Preclusion* tijdsafhankelijke aannames bevat. Dit hoofdstuk beschrijft deze nadere beschouwing van de TLAAs binnen het concept *Break Preclusion*.

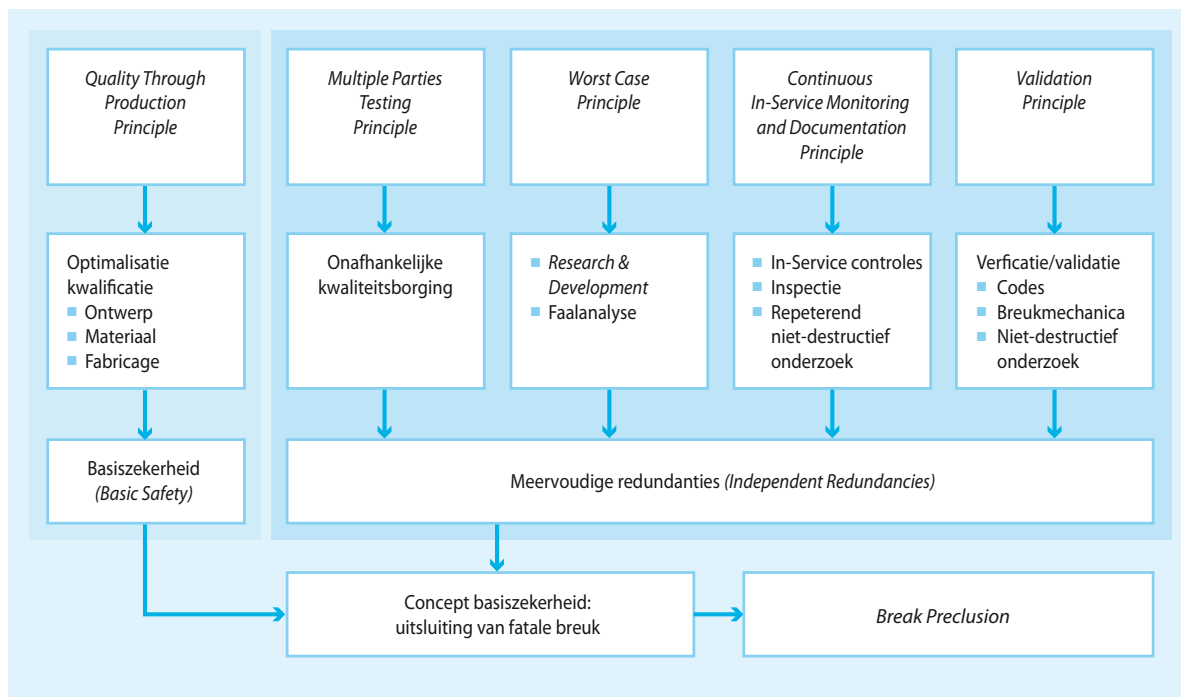
Het veiligheidsconcept *Break Preclusion* voor kernenergiecentrales is gebaseerd op twee pijlers, zoals schematisch weergegeven in Figuur 9.

De pijlers zijn:

1. Basiszekerheid;
2. Meervoudige redundanties.

Met basiszekerheid wordt bedoeld op het zekerstellen van de vereiste componentkwaliteit door het gebruik van de juiste ontwerpuitgangspunten, keuze van materialen en productie(methoden). Dit wordt aangeduid als het *quality through production*-principe. Aspecten die hierbij een rol spelen zijn onder andere:

- hoogwaardige materiaaleigenschappen (in het bijzonder taaiheid);
- conservatieve aannames voor de toelaatbare spanningen;
- het vermijden van spanningspieken door een zo optimaal mogelijke constructie;



Figuur 9 Schematische weergave veiligheidsconcept *Break Preclusion* [9].

- waarborging van de toepassing van geoptimaliseerde fabricage- en beproevingstechnologieën;
- kennis en beoordeling van eventuele gebreken;
- het rekening houden met het bedrijfsmedium.

Met meervoudige redundancies wordt gedaan op het zekerstellen van het behoud van de vereiste componentkwaliteit gedurende de volledige bedrijfsduur door:

- uitvoering van veiligheidstechnisch relevante bewijzen, beproevingen en controles door minimaal twee van elkaar onafhankelijke partijen onder een regime van kwaliteitsborging (*multiple parties testing-principle*);
- aanname van de meest ongunstige situatie. Dit houdt in dat bij alle bewijzen, beproevingen en controles de conservatiefste randvoorwaarden worden aangenomen zoals de grootste belasting en de slechtst gespecificeerde kwaliteit van de materialen (*worst-case-principle*);
- continue bewaking en registratie van alle veiligheidstechnisch relevante procesparameters zoals de werkelijk optredende belastingen, de toestand van

en mogelijke gebreken aan materialen (*continuous in-service monitoring and documentation-principle*);

- gebruik van rekencodes, basisgegevens, beproevingsconcepten en beproevingsmiddelen van erkende en gevalideerde geldigheid of toepasbaarheid (*validation-principle*). Hieronder vallen ook de niet-destructieve testen.

De genoemde principes zijn de zogenaamde meervoudige redundancies. Dat wil zeggen dat naast de basiszekerheid op meervoudig redundante wijze wordt aangetoond dat deze basiszekerheid gedurende de volledige bedrijfsduur gehandhaafd blijft. Naast de basiszekerheid en onafhankelijke redundancies is lek-voor-breuk aangetoond waardoor breuken uitgesloten zijn en componenten eerst lekkage zullen vertonen.

### 7.3.1 Huidige vergunningssituatie

Bij het oorspronkelijk ontwerp en de bouw van de KCB was het lek-voor-breuk veiligheidsconcept nog niet ontwikkeld. EPZ heeft het concept in 1997 als onderdeel van het modificatieproject alsnog ingevoerd.

De volgende hoog-energetische (hoge druk en/of hoge temperatuur) leidingen<sup>43</sup> zijn gekwalificeerd volgens het lek-voor-breek concept:

- hoofdkoelmiddelleidingen;
- volumevereveningsleiding;
- hoofdstoomleidingen binnen het reactorgebouw;
- hoofdvoedingswaterleidingen binnen het reactorgebouw;
- noodvoedingswaterleidingen en leidingen van het secundair reserve suppletiesysteem tussen de eerste terugslagklep, de stoomgeneratoren en de hoofdvoedingswaterleidingen. N.B. het betreft een combinatie van bestaande en nieuwe (in 1997 vervangen) leidingen. Voor de bestaande leidingen kan de bewijsvoering gedeeltelijk afwijken van het eerder beschreven concept omdat niet alle gegevens bekend waren. Conform de RSK richtlijn is herkwalificatie volgens het lek-voor-breek concept voor deze bestaande leidingen aangetoond mits:
  - de kwaliteit van de betreffende componenten met betrekking tot de basiszekerheid ten aanzien van de wezenlijke eisen vergelijkbaar is met de huidige stand der techniek respectievelijk dat afwijkende kenmerken veiligheidstechnisch als toelaatbaar beoordeeld zijn;
  - het lek-voor-breek gedrag aangetoond is;
  - door redundante maatregelen tijdens de totale bedrijfsduur de uitsluiting van een grote breuk verzekerd is.

Voor hoog-energetische leidingen waarvoor het principe van lek voor breek niet kon worden aangetoond is een benadering gevolgd op basis van het volgende concept:

- een potentiële breuk is verondersteld bij iedere discontinuïteit van het materiaal en/of de geometrie in het leidingsysteem;
- iedere interactie tussen een breuk en een veiligheidsrelevant component is geanalyseerd en het risico van de interactie is berekend;
- indien het risico een bepaalde waarde overschreed, zijn beschermende maatregelen

getroffen, zoals plaatsing van extra afscherming of wijziging van het leidingtraject.

Een belangrijk onderdeel van de bewijsvoering rondom *Break Preclusion* is het aantonen van het lek-voor-breek gedrag. Dat wil zeggen het aantonen dat een gepostuleerde beschadiging of scheur zal uitgroeien tot een stabiel detecteerbaar lek en niet tot het bezwijken van de leiding (breek). Dit onderdeel van de bewijsvoering is tevens het onderdeel dat een tijdgebonden aspect bevat (TLAA) en is daarom voor de onderhavige vergunningswijziging relevant. De tijd die de gepostuleerde scheur nodig heeft om uit te groeien tot een doorgaande scheur (scheur door de volledige wanddikte, oftewel lek) en de tijd die vervolgens nodig is om uit te groeien tot een kritische scheurgrootte met breek tot gevolg worden namelijk uitgedrukt in reactorlevens. Eén reactorleven is in de huidige vergunningssituatie gedefinieerd als veertig jaar, zijnde de oorspronkelijke ontwerpbedrijfsduur van de KCB.

Concreet is het lek-voor-breek gedrag aan de hand van de volgende stappen geanalyseerd:

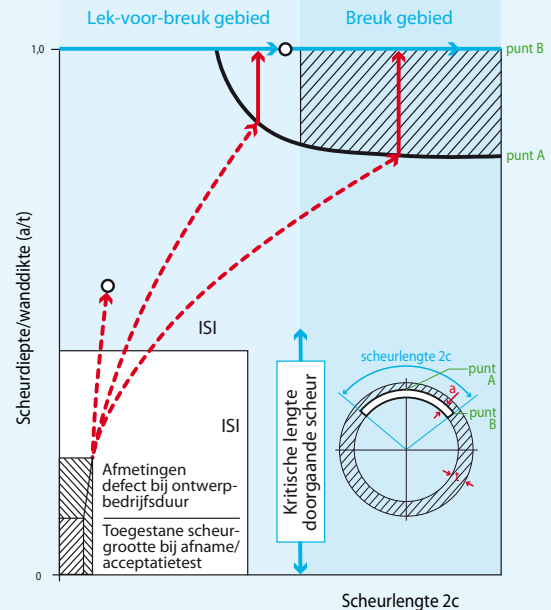
1. Definitie van een gepostuleerde initiële beschadiging of scheur (diepte  $a$  en lengte  $2c$ )<sup>14</sup>.
2. Bepaling van de scheurgroei (groter worden van de beschadiging) tijdens één reactorleven (toename wordt aangeduid met  $\Delta a$  voor de diepte en  $\Delta 2c$  voor de lengte van de scheur).
3. Bepaling van de duur, uitgedrukt in reactorlevens, waarop de beschadiging is uitgegroeid tot een doorgaande scheur in de leidingwand oftewel een lek. Als de duur langer is dan één reactorleven zal geen doorgaande scheur of lek tijdens de levensduur van de kerncentrale ontstaan.
4. Bepaling van de kritische scheurgrootte die als gevolg van normale belastingen of een aardbeving (aangenomen hoogste belasting) zou leiden tot het bezwijken van de leiding (breek).
5. Bepaling van de stabiliteit van de doorgaande scheur (lek) tijdens één reactorleven. Als de scheurgroei kleiner is dan de kritische

<sup>43</sup> Hoog-energetische leidingen zijn water- en stoomleidingen waarvan de bedrijfsdruk tenminste 20 bar bedraagt en/of de bedrijfstemperatuur groter dan 100°C is. In het kader van lek-voor-breek worden alleen die hoog-energetische leidingen beschouwd met een diameter van tenminste DN50 en die tenminste 2 procent van de bedrijfsduur aan hoge druk en/of temperatuur worden blootgesteld.

<sup>14</sup> De gepostuleerde initiële beschadiging of scheur kan worden afgeleid van toegestane en/of detecteerbare scheurvorming tijdens productie of in-service inspectie.

## Reactorleven

In het rechter figuur is het lek-voor-brek principe schematisch weergegeven. Bij de analyses wordt een beschadiging of scheur met diepte  $a$  en lengte  $2c$  verondersteld. Vervolgens wordt berekend hoe lang het duurt voordat deze beschadiging uitgroeit tot een detecteerbaar lek of tot het bezwijken van de leiding bij het overschrijden van de kritische scheurgrootte. De tijden worden uitgedrukt in ReactorLevens (RLs) zijnde de (ontwerp)bedrijfsduur van de centrale.



Figuur 10 Schematische weergave lek-voor-brek principe [9].

- scheurgrootte (zie 4) dan is het lek stabiel en kan detectie plaatsvinden vóór het bezwijken van de leiding (breuk). Hierdoor is het altijd mogelijk om de reactor veilig uit bedrijf te nemen voordat de scheur kritisch wordt.
- Demonstratie dat het stabiele subkritische lek (zie 5) detecteerbaar is. Met andere woorden de lekgrootte moet groter zijn dan de detectielimiet van het lekdetectiesysteem.

Het resultaat van de verschillende stappen van de lek-voor-brekanalyses is voor de verschillende hoog-energetische leidingen weergegeven in Tabel 8.

Zoals de resultaten in Tabel 8 laten zien, is in de huidige vergunningssituatie aangetoond dat de gepostuleerde beschadigingen binnen de oorspronkelijke ontwerpbedrijfsduur van veertig jaar (één reactorleven) nooit zullen leiden tot een doorgaande scheur of lek van de desbetreffende leidingen. Er gelden zeer ruime veiligheidsmarges (zie resultaten vermeld onder stap 3). De kleinste waarde bedraagt vijf reactorlevens (tweehonderd jaar) voor de volumevereffeningsleiding.

Zelfs wanneer een doorgaande scheur of lek zou ontstaan dan is de scheurgroei tijdens de oorspronkelijke ontwerpbedrijfsduur van veertig

jaar (één reactorleven) kleiner dan de kritische scheurgrootte waarbij de leiding zou bezwijken (breuk). Dit is af te leiden uit vergelijking van de resultaten vermeld onder stap 5 respectievelijk stap 4 in Tabel 8. Dit gegeven versterkt de eerdergenoemde veiligheidsmarges ten aanzien van het voorkomen van breuk.

Tot slot is aangetoond dat een eventueel stabiel subkritisch lek in de beschouwde hoog-energetische leidingen detecteerbaar is (zie resultaten vermeld onder stap 6 in Tabel 8) en daarom is ingrijpen vóór het bezwijken van de leiding mogelijk.

### 7.3.2 De invloed van een langere ontwerpbedrijfsduur op lek-voor-brek

Verlenging van de ontwerpbedrijfsduur van veertig jaar naar zestig jaar betekent dat componenten van het KCB reactorsysteem mogelijk aan grotere aantallen belastingswisselingen worden blootgesteld dan oorspronkelijk aangenomen. Hierdoor wordt het risico dat (gepostuleerde) beschadigingen of scheuren in leidingen uitgroeien tot lekkages en uiteindelijk tot het bezwijken van de leidingen groter.

	Initiële afmetingen defect	Scheurgroei in 1 RLS	# RLS tot doorgaande scheur	Lengte doorgaande scheur	Scheurgroei doorgaande scheur	Detectbare lekgrootte
Stappen	Stap 1	Stap 2	Stap 3	Stap 4	Stap 5	Stap 6
Hoofdkoelmiddel-leiding rondgaand (omtrek), hoogste belasting	a = 4.2 mm 2c = 30 mm	$\Delta a = 0.03$ mm $\Delta 2c = 0.002$ mm	100 RLS	135 mm ( $< 470$ ) <sup>*</sup>	$\Delta 2c = 3$ mm	0.069 kg/s ( $> 0.01$ kg/s) 2c = 135 mm
Hoofdkoelmiddel-leiding rondgaand (omtrek), kantenversatz	a = 4.2 mm 2c = 30 mm	$\Delta a = 0.21$ mm $\Delta 2c = 0.1$ mm	13 RLS (a = 8 mm 2c = 200 mm)	120 mm ( $< 560, 522, SSE$ ) <sup>*</sup>	$\Delta 2c = 10$ mm	
Hoofdkoelmiddel-leiding longitudinaal	a = 4.2 mm 2c = 30 mm	$\Delta a = 0.22$ mm $\Delta 2c = 0.13$ mm	60 RLS	135 mm ( $< 177$ mm) <sup>*</sup>	$\Delta 2c = 8$ mm	
Volumevereffenings-leiding rondgaand (omtrek)	a = 3 mm 2c = 20 mm	$\Delta a = 0.003$ mm $\Delta 2c = 0.0002$ mm	100 RLS	60 mm ( $< 288$ mm) <sup>*</sup>	$\Delta 2c = 1$ mm	0.02 kg/s ( $> 0.01$ kg/s)
Volumevereffenings-leiding longitudinaal	a = 3 mm 2c = 20 mm	$\Delta a = 0.07$ mm $\Delta 2c = 0.01$ mm	60 RLS	60 mm ( $< 94$ mm) <sup>*</sup>	$\Delta 2c = 3$ mm	2c = 60 mm
Volumevereffenings-leiding rondgaand (omtrek), stratificatie	a = 3 mm 2c = 20 mm	$\Delta a \leq 1$ mm $\Delta 2c \leq 0.2$ mm	5 RLS	60 mm ( $< 290$ mm) <sup>*</sup>	$\Delta 2c \leq 5$ mm (4 jaar inbedrijf)	( $> 0.01$ kg/s)
Volumevereffenings-leiding longitudinaal, stratificatie	a = 3 mm 2c = 20 mm	$\Delta a \leq 0.7$ mm $\Delta 2c \leq 0.1$ mm	10 RLS	90 mm ( $< 128$ mm) <sup>*</sup>	$\Delta 2c \leq 12$ mm (4 jaar inbedrijf)	( $> 0.01$ kg/s)
Hoofdstoomleidingen RA	a = 2 mm 2c = 20 mm	$\Delta a = 0.01$ mm $\Delta 2c < 0.01$ mm	172 RLS	68.5 mm ( $< 232$ mm) <sup>*</sup>	$\Delta 2c = 28.9$ mm	Detecteerbaar 2c 197 mm ( $< 232$ )
Hoofdvoedingswater-leiding RL40	a = 2 mm 2c = 20 mm	$\Delta a = 0.14$ mm $\Delta 2c = 0.005$ mm	13 RLS	47.1 mm ( $< 109$ mm) <sup>*</sup>	$\Delta 2c = 41.7$ mm	Detecteerbaar 2c 69 mm ( $< 109$ )
Hoofdvoedingswater-leiding RL50	a = 2 mm 2c = 20 mm	$\Delta a = 0.009$ mm $\Delta 2c = 0.0003$ mm	180 RLS	51.3 mm ( $< 94$ mm) <sup>*</sup>	$\Delta 2c = 15.6$ mm	Detecteerbaar 2c 83 mm ( $< 94$ )

<sup>\*</sup>) Kritische scheurgrootte die zou leiden tot breuk.

Tabel 8 Resultaten lek-voor-breukanalyses (per leiding en per analysestap) [9].

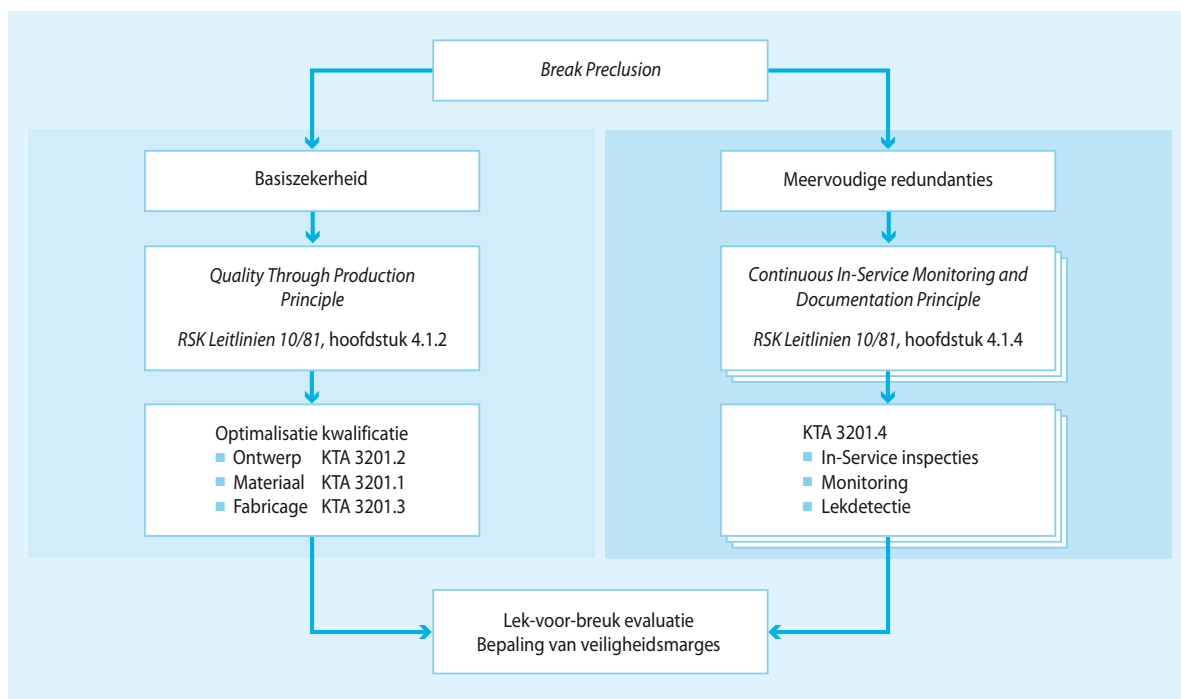
Voor de bewijsvoering rondom lek-voor-breuk kan in principe worden volstaan door het expliciet tijdsgebonden aspect in de analyses, zijnde de definitie van een reactorleven van veertig jaar naar zestig jaar aan te passen en de consequenties van de aanpassing te beoordelen. Als de scheurgroei na zestig jaar niet resulteert in een doorgaande scheur of lek van de leiding, dan blijven de conclusies van de analyses conform de huidige vergunningssituatie geldig en is aanvullende bewijsvoering niet noodzakelijk.

De bewijsvoering kan ook worden getoetst aan de laatste stand der techniek. Vanwege het ontbreken van specifieke regelgeving op het gebied van lek-voor-breuk en de zeer ruime

veiligheidsmarges ten aanzien van lek-voor-breuk heeft EPZ besloten deze toets aan de laatste stand der techniek in een later stadium als onderdeel van de 10-jaarlijkse veiligheids-evaluatie uit te voeren. De bewijsvoering in het kader van de onderhavige vergunningswijziging is gericht op het tijdsgebonden aspect dat een directe relatie heeft met de langere ontwerp-bedrijfsduur.

Een gedetailleerde beschrijving van de gebruikte methode en resultaten is opgenomen in [9]. Hieronder volgt een samenvatting op hoofdlijnen, waarbij nader wordt ingegaan op de vigerende voorschriften (§7.3.2.1) en het effect van de gewijzigde ontwerpbedrijfsduur (reactor-leven) op het lek-voor-breuk gedrag (§7.3.2.2).





Figuur 11 Schematische weergave realisatie van het veiligheidsconcept *Break Preclusion* [9].

### 7.3.2.1 Voorschriften

De boordeling van het onderwerp lek-voor-breek is gebaseerd op een door de nucleaire industrie (Siemens/KWU) ontwikkelde standaard voor lek-voor-breek. Deze standaard sluit aan bij de Duitse RSK richtlijn voor drukwaterreactoren en maakt gebruik van de Duitse voorschriften KTA 3201 (*Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren*) zoals weergegeven in Figuur 11.

### 7.3.2.2 Beoordeling lek-voor-breek gedrag

De systematiek en de onderbouwing van het lek-voor-breek gedrag zijn beschreven in §7.3.1. Deze systematiek en onderbouwing zijn ongewijzigd gehanteerd voor de beoordeling van een langere ontwerpbedrijfsduur, zestig jaar in plaats van veertig jaar, op het lek-voor-breek gedrag. Het effect van het expliciet tijdsgebonden aspect, zijnde de scheurgroei tijdens een reactorleven, is opnieuw beschouwd.

Het effect van de gewijzigde duur van een reactorleven (zestig jaar in plaats van veertig jaar) komt tot uiting in stap 3 en stap 5 van de in §7.3.1. beschreven analyses.

**Stap 3:** Bepaling van de duur, uitgedrukt in reactorlevens, waarop de gepostuleerde beschadiging is uitgegroeid tot een doorgaande scheur in de leidingwand ofwel een lek;

**Stap 5:** Bepaling van de stabiliteit van de doorgaande scheur (lek) tijdens 1 reactorleven.

Stap 3 is hierbij van primair belang, want als de duur voor het uitgroeien van een gepostuleerde beschadiging tot een doorgaande scheur langer is dan de bedrijfsduur van de kerncentrale (groter dan één reactorleven) dan is de waarschijnlijkheid dat een lek (mogelijk gevolgd door een breuk) optreedt zeer klein.

Uit Tabel 8 is eenvoudig af te leiden dat de conclusies ten aanzien van het lek-voor-breek gedrag niet principieel zullen wijzigen als gevolg van de langere ontwerpbedrijfsduur. De in stap 3 bepaalde minimale duur is altijd langer dan 1,5 reactorlevens (uitgaande van een reactorleven van veertig jaar), ofwel langer dan zestig jaar ontwerpbedrijfsduur.

Hieronder worden de belangrijkste conclusies ten aanzien van het lek-voor-breek gedrag voor de hoogenergetische leidingen samengevat.

### Hoofdkoelmiddelleidingen

Uit Tabel 8 is af te lezen dat voor de meest kritische situatie (initiële rondgaande scheur met diepte 8 mm en lengte 200 mm) het minimaal dertien reactorlevens (circa 520 jaar) duurt voordat de gepostuleerde initiële scheur in de hoofdkoelmiddelleiding is uitgroeid tot een doorgaande scheur of lek. Derhalve is ook voor een nieuwe ontwerpbedrijfsduur van zestig jaar aangetoond dat de scheurgroei verwaarloosbaar klein is. De waarschijnlijkheid dat een lek optreedt is daarom zeer klein. Zelfs de groeisnelheid van een doorgaande scheur is dermate klein dat deze binnen de ontwerpbedrijfsduur van zestig jaar niet kan uitgroeien tot de kritische scheurgrootte waarbij breuk zou kunnen optreden.

### Volumevereffeningsleiding

Uit Tabel 8 is af te lezen dat voor de meest kritische situatie waarin stratificatie<sup>45</sup> is beschouwd (initiële longitudinale scheur met diepte 3 mm en lengte 20 mm) het minimaal vijf reactorlevens (circa 200 jaar) duurt voordat de initiële scheur is uitgroeid tot een doorgaande scheur of lek. Zelfs de groeisnelheid van een doorgaande scheur is dermate klein dat deze binnen de ontwerpbedrijfsduur van zestig jaar niet kan uitgroeien tot de kritische scheurgrootte waarbij breuk zou kunnen optreden.

De overige uitgangspunten voor het lek-voor-brek principe voor zowel hoofdkoelmiddelleidingen als volumevereffeningsleiding zijn eveneens getoetst en voldoen aan de gestelde voorschriften conform §7.3.1.

### Hoofdstoomleidingen binnen de secundaire afscherming

De hoofdstoomleidingen zijn in 1997 vervangen door leidingen die conform het lek-voor-brek principe zijn ontworpen, geproduceerd en geïnstalleerd. Bij het ontwerp is rekening gehouden met een reactorleven van veertig jaar, beginnende in 1997. De analyses zijn derhalve geldig voor de nieuwe ontwerpbedrijfsduur tot 2034 omdat deze termijn wordt afgedekt door de oorspronkelijke analyses. Uit Tabel 8 blijkt bovendien dat de marge in reactorlevens

(172) zeer ruim is ten opzichte van de ontwerpbedrijfsduur van veertig of zestig jaar. De scheurgroei(snelheid) is verwaarloosbaar klein.

### Hoofdvoedingswaterleidingen binnen de secundaire afscherming

De hoofdvoedingswaterleidingen zijn in 1997 vervangen door leidingen die conform het lek-voor-brek principe zijn ontworpen, geproduceerd en geïnstalleerd. Bij het ontwerp is rekening gehouden met een reactorleven van veertig jaar, beginnende in 1997. De analyses zijn derhalve geldig voor de nieuwe ontwerpbedrijfsduur tot 2034 omdat deze termijn wordt afgedekt door de oorspronkelijke analyses.

Uit Tabel 8 blijkt dat de marge voor de RL40 hoofdvoedingswaterleiding weliswaar kleiner is dan voor de RL50 hoofdvoedingswaterleiding, maar nog altijd ruim voldoende (vijf reactorlevens) ten opzichte van de ontwerpbedrijfsduur van veertig of zestig jaar. De scheurgroei(snelheid) is verwaarloosbaar klein.

### Noodvoedingswaterleidingen en leidingen van het secundair reserve suppletiesysteem tussen de eerste terugslagklep, de stoomgeneratoren en de hoofdvoedingswaterleidingen

Voor de vermelde leidingen zijn geen specifieke tijdgebonden analyses uitgevoerd omdat de optredende nominale spanningen kleiner zijn dan 50 MPa. Conform de RSK richtlijn hoeven in dat geval geen instabiele doorgaande scheuren te worden beschouwd. Breuk is in dit geval uitgesloten op basis van een overgedimensioneerde wanddikte van de leidingen.

### Verbetermaatregelen

Herbeschouwing van het tijdsgebonden aspect (scheurgroeitijden in relatie tot reactorlevens) voor de nieuwe ontwerpbedrijfsduur van zestig jaar toont aan dat het lek-voor-brek gedrag voor alle beschouwde leidingen is aangetoond. Verdergaand inzicht met betrekking tot het lek-voor-brek gedrag kan worden verkregen op basis van de volgende twee geïdentificeerde verbetermogelijkheden.

De eerste verbetermogelijkheid betreft verificatie van de uitgangspunten met betrekking tot

<sup>45</sup> Bij thermische stratificatie is er sprake van een gelaagdheid in temperatuur, waarbij het koelmiddel dat door de leiding stroomt als het ware uit verschillende lagen bestaat die onderling een verschillende temperatuur hebben (zie §7.2.2.3).

stratificatie aan de hand van de beschikbare (en beschikbaar komende) resultaten verkregen met het FAMOS vermoeiingsmonitoringsysteem (zie §7.2.2.3) voor zowel de hoofdkoelmiddel-leidingen als de volumevereffeningsleiding.

Naar aanleiding van deze constatering zal EPZ na het beschikbaar zijn van een voldoende hoeveelheid representatieve data (omstreeks 2014), het effect op de vermoeiingsanalyses en het lek-voor-breek gedrag opnieuw beoordelen.

De tweede verbetermogelijkheid betreft het vergelijken van de lek-voor-breek analyses met de laatste stand der techniek. Naast de laatste inzichten met betrekking tot de gebruikte analysemethoden moeten ook de uitgangspunten zoals de aangenomen belastingen (andere belastingen dan de destijds als gevolg van een aardbeving aangenomen zwaarste belasting) worden herbeschouwd. Zoals eerder aangegeven valt dit aspect buiten de scope van de onderhavige vergunningswijziging, maar zal dit aspect door EPZ als onderdeel van de eerstvolgende 10-jaarlijkse veiligheidsevaluatie worden meegenomen.

### 7.3.3 Conclusie

Het lek-voor-breek veiligheidsconcept zoals dat van toepassing is op de hoogenergetische leidingen (hoofdkoelmiddel-, hoofdstoom- en hoofdvoedingswaterleidingen) blijft bij verlenging van de KCB ontwerpbedrijfsduur van veertig naar zestig jaar valide. In alle gevallen is de scheurgroei (snelheid) op basis van een gepostuleerde initiële scheur verwaarloosbaar klein en zal deze binnen de ontwerpbedrijfsduur van zestig jaar niet leiden tot een doorgaande scheur of lek van de desbetreffende leiding. Zelfs als een lek zou ontstaan dan bestaan ruime veiligheidsmarges voor het tijdig kunnen detecteren van het lek. Op die manier kan het bezwijken van de leiding (breek) worden voorkomen.

De uitgangspunten met betrekking tot stratificatie zullen met behulp van de met het FAMOS vermoeiingsmonitoringsysteem verkregen meetwaarden worden geverifieerd. Deze verificatie kan plaatsvinden zodra een voldoende hoeveelheid representatieve data (omstreeks 2014) beschikbaar is.

## 7.4 Kwalificatie ongevalsbestendige elektrotechnische apparatuur

Het onderwerp kwalificatie ongevalsbestendige elektrotechnische apparatuur (EQDBA) is, conform internationale praktijk, onder de categorie TLAA ingedeeld en op een overeenkomstige manier behandeld, hoewel dit onderwerp formeel voor KCB geen TLAA is.

Met name de relatie met de ontwerpbedrijfsduur van de KCB is voor het onderwerp kwalificatie ongevalsbestendige elektrotechnische apparatuur van een andere orde dan bij de onderwerpen reactorvatverbrassing, vermoeiing en lek-voor-breek. Voor de ongevalsbestendige componenten is een beperkte technische levensduur, kleiner dan de ontwerpbedrijfsduur, a priori toegestaan, mits deze componenten tijdig worden vervangen. Deze componenten kunnen ook relatief eenvoudig worden vervangen.

Bij kwalificatie ongevalsbestendige elektrotechnische apparatuur handelt het daarom vooral om het proces voor de borging van de functionaliteit van de ongevalsbestendige componenten tijdens de gehele bedrijfsduur van de KCB. Onderdeel van dit proces is de bepaling van de gekwalificeerde restlevensduur, die de resterende termijn of duur aangeeft gedurende welke de desbetreffende component aantoonbaar goed blijft functioneren rekening houdende met de omgevingscondities tijdens normaal bedrijf en in ongevalsituaties. De gekwalificeerde restlevensduur van ongevalsbestendige componenten is daarmee bepalend voor de periode waarop ze in de KCB-installatie kunnen worden ingezet. Vóór afloop van de gekwalificeerde restlevensduur dienen de desbetreffende componenten te worden vervangen.

In het kader van zestig jaar bedrijfsduur is de bewijsvoering rondom kwalificatie van ongevalsbestendige elektrotechnische componenten gerevalideerd conform de laatste stand der techniek. Dit betekent onder andere de implementatie van een methodiek voor de bepaling van de restlevensduur en een formele vaststelling van de gekwalificeerde restlevensduur voor alle ongevalsbestendige elektrotechnische componenten. De methodiek en de resultaten voor wat betreft de formele vaststelling van de



### Ongevalsbestendige elektrotechnische apparatuur

De KCB beschikt over elektrotechnische apparatuur voor de aansturing en de bewaking van het proces. Voor een gedeelte van deze apparatuur gelden speciale ontwerpisen, omdat deze tijdens en na een ontwerpongeval correct moet blijven functioneren onder de dan heersende omgevingscondities, zoals een verhoogde temperatuur, druk, relatieve luchtvochtigheid en verhoogd stralingsniveau. Alleen op die manier heeft en behoudt men een goed en betrouwbaar inzicht in de toestand van het proces cq. de installatie, en kan men de effectiviteit van de genomen beheersmaatregelen beoordelen.

De apparatuur die is ontworpen op de tijdens en na een ongeval in de betreffende omgeving heersende condities van temperatuur, druk, vochtigheid en stralingsniveau wordt aangeduid met 'OngevalsBestendige Apparatuur' (OBA). Voorbeelden van OBA zijn bepaalde druk- en temperatuurmetingen in het primair systeem, die zowel in de regelzaal als de reserve-regelzaal worden geregistreerd. Overigens zijn niet alleen de druk- en temperatuuropmeters zelf voor de 'extreme' omgevingscondities tijdens en na een ongeval gekwalificeerd. Alle andere componenten die onderdeel uitmaken van de drukmeting (stroomkring), zoals meetomvormers, kabels en stekkers, moeten eveneens gekwalificeerd zijn voor de omgevingscondities die in de desbetreffende ruimtes tijdens en na een ongeval kunnen voorkomen.

gekwalficeerde restlevensduur zijn opgenomen in [16]. Hieronder volgt een samenvatting op hoofdlijnen, waarbij nader wordt ingegaan op de vigerende voorschriften (§7.4.1), de methodiek/programma waarmee de gekwalficeerde restlevensduur kan worden aangetoond en bewaakt (§7.4.2) en de belangrijkste resultaten (§7.4.3).

#### 7.4.1 Voorschriften

De Nederlandse voorschriften met betrekking tot kwalificatie van ongevalsbestendige apparatuur zijn vastgelegd in:

- NVR.NS-R-1 'Veiligheid van kernenergiecentrales: veiligheidseisen voor het ontwerp';
- NVR.NS-G-1.3 'Veiligheidsrelevante meet- en regelsystemen voor kernenergiecentrales'.

Bij de opzet van de door KCB gehanteerde methodiek is daarnaast voor de uitwerking van deze voorschriften gebruik gemaakt van internationale richtlijnen zoals:

- IAEA Safety Reports Series 3 'Equipment Qualification in Operational Nuclear Power Plants: Upgrading, Preserving and Reviewing';
- IAEA-TECDOC-1188 'Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: In-containment instrumentation and control cables';

en het Duitse voorschrift:

- KTA 3706 'Sicherstellung des Erhalts der Kühlmittelverlust-Störfallfestigkeit von Komponenten der Elektro- und Leittechnik in Betrieb befindlicher Kernkraftwerke'.

#### 7.4.2 Methodiek voor kwalificatie ongevalsbestendige EMR-componenten

De basis voor de revalidatie van de kwalificatie van de ongevalsbestendige Elektrotechnische en Meet- en Regeltechnische installatiedelen (EMR) vormt de EQ-database waarin alle componenten zijn opgenomen waarvoor ongevalsbestendigheidseisen gelden. Voor elk van de componenten wordt de gekwalficeerde restlevensduur bepaald.

Voor de bepaling van de gekwalficeerde restlevensduur wordt gebruik gemaakt van het 'Automated Residual lifetime ESTimation'-programma (AUREST). Dit programma is door AREVA in nauwe samenwerking met KCB en verschillende Duitse kerncentrales binnen de VGB<sup>16</sup>-werkgroep 'Betriebsbegleitende Nachweise der KMV-Störfallfestigkeit' ontwikkeld. Het AUREST-programma omvat een bibliotheek met componenten of componenttypen waarvan de kwalificatie is, of zal worden, aangetoond

<sup>16</sup> 'Verein Grosskraftwerk Betreiber'.

### Kwalificatie van ongevalsbestendige apparatuur

Kwalificatie van ongevalsbestendige EMR-componenten is een type-gerichte aangelegenheid. Dat wil zeggen dat het (proto)type van een component door de fabrikant of een gespecialiseerd laboratorium wordt onderworpen aan thermische en radiologische belastingen die representatief zijn voor de omgevingscondities die er in een kernenergiecentrale heersen (normaal bedrijf) of kunnen heersen (ongevalscondities).

Bij de typebeproeving wordt de verouderingsdegradatie als gevolg van normaal bedrijf versneld aangebracht ('voorveroudering'). Aansluitend wordt de component blootgesteld aan de ongevals-omgevingscondities (verhoogde temperatuur, druk, relatieve luchtvochtigheid en stralingdosis). Hiervoor zijn in de regelgeving (KTA/IEEE) vaste druk/temperatuur-testcurves vastgelegd die afdekkend zijn voor een daadwerkelijke ongevalsituatie.

Bij levering van de ongevalsbestendige EMR-componenten wordt door middel van certificaten aangetoond dat de component door middel van een typebeproeving gekwalificeerd is (typekeur) en dat de component volgens de juiste specificaties is vervaardigd (fabricage-certificaat).

volgens KTA 3706. Ongeveer 70% van de OBA-componenten die binnen de KCB worden toegepast, wordt afgedekt door deze bibliotheek. De resterende 30% van de OBA-componenten is opgenomen in een KCB-specifieke bibliotheek binnen het AUREST-programma.

De berekening van de restlevensduur zal periodiek (iedere splijststofcyclus) voor alle componenten worden herhaald. De gekwalificeerde restlevensduur is zodoende na iedere bedrijfs-cyclus geactualiseerd, gebaseerd op de werkelijke cumulatieve thermische en radiologische belasting van iedere component gedurende de operationele bedrijfstijd.

#### 7.4.3 Resultaten bepaling gekwalificeerde restlevensduur

In 2012 is de gekwalificeerde restlevensduur van alle ongevalsbestendige EMR-componenten bepaald. Voorafgaand aan deze bepaling zijn de onderliggende kwalificatiedata op volledigheid en betrouwbaarheid getoetst. Hoewel alle betreffende componenten oorspronkelijk als ongevalsbestendige EMR-componenten zijn aangeschaft, is vastgesteld dat voor een beperkt aantal componenttypen de meegeleverde kwalificatiedata onvolledig zijn en dat voor andere componenttypen twijfels omtrent de betrouwbaarheid van de bij de levering meegeleverde kwalificatiedata bestaan.

Voor deze componenttypen, waarvoor kwalificatiedata ontbreken of twijfels omtrent de betrouwbaarheid van de kwalificatiedata bestaan, zijn correctieve maatregelen in de vorm van nakwalificatie of vervanging door gekwalificeerde componenten gedefinieerd. Onder nakwalificatie wordt verstaan het analytisch of experimenteel verzamelen van aanvullende informatie voor het kwalificeren van componenten.

Voor de overige componenttypen, waarvoor wel voldoende betrouwbare kwalificatiedata beschikbaar zijn, is, anno 2012, de gekwalificeerde restlevensduur vastgesteld. Voor de beoordeling van de resultaten kunnen de componenten worden opgedeeld in twee groepen:

1. Componenten met een gekwalificeerde restlevensduur van tenminste vijf jaar;
2. Componenten met een gekwalificeerde restlevensduur van minder dan vijf jaar;

De componenten waarvoor een gekwalificeerde restlevensduur van tenminste vijf jaar is aangetoond vergen op korte termijn geen verdere acties, anders dan de reguliere activiteiten zoals vastgelegd in bijvoorbeeld onderhouds- en inspectieprogramma's. De bepaling van de gekwalificeerde restlevensduur wordt periodiek (iedere splijststofcyclus) herhaald, zodat op langere termijn wel correctieve acties noodzakelijk kunnen zijn.

#### Voorbeeld nakwalificatie

De toegepaste Draka YMVk-kabels in de ringruimte hebben geen formele ongevalsbestendigheidskwalificatie voor het ongeval 'lek in de ringruimte'. Deze kabels zijn op basis van een nakwalificatieprogramma alsnog gekwalificeerd. Hiervoor zijn drie proefstukken van ongeveer vijf meter per stuk eerst thermisch voorverouderd en vervolgens beproefd onder de ongevalscondities. Deze proefstukken zijn uit één kabel gehaald, die is vervangen door een nieuwe gekwalificeerde kabel. Op basis van de beproevingsresultaten is de kwalificatie voor de resterende bedrijfsduur tot 2034 aangetoond en is vervanging van de overige kabels niet noodzakelijk.

#### Voorbeeld vervanging

Van enkele componenten die medio jaren '80 zijn geïnstalleerd, bleek het niet mogelijk te zijn om de benodigde kwalificatiedata volledig te achterhalen. Het betreft onder andere een bepaald type aansluitstekkers van drukmeetwaarde-omvormers. Deze componenten worden vervangen.

De componenten waarvoor geen gekwalificeerde restlevensduur van tenminste vijf jaar kan worden aangetoond vergen correctieve maatregelen in de vorm van nakwalificatie of vervanging door gekwalificeerde componenten. Doel van deze maatregelen is het borgen van de ononderbroken beschikbaarheid/functionaliiteit van de ongevalsbestendige apparatuur.

De termijn van vijf jaar is zodanig gekozen dat voldoende tijd voor de initiatie en realisatie van een correctieve maatregel beschikbaar is. Strikt genomen zou een kortere termijn kunnen worden gekozen, maar om redenen van het uitsluiten van *common cause* falen is gelijktijdige vervanging van alle betroffen componenten niet wenselijk<sup>37</sup>. In de praktijk zullen componenten van hetzelfde type per redundantie in opeenvolgende splijstofwisselperiodes, als de reactor buiten bedrijf is, worden vervangen.

Samengevat zijn er, anno 2012, in totaal 41 componenttypen waarvoor, op basis van de toets van de kwalificatiedata of op basis van de restlevensduurberekening, geen gekwalificeerde restlevensduur van tenminste vijf jaar kan worden aangetoond. Een overzicht van deze componenttypen, samengevoegd op component/systeemniveau, is opgenomen in tabel 9, inclusief de correctieve maatregel zoals opgenomen

in [16]. Realisatie van de correctieve maatregelen is voorzien voor de periode 2012 – 2016.

#### 7.4.4 Conclusie

In het kader van zestig jaar bedrijfsduur voor KCB heeft een revalidatie van de kwalificatie van ongevalsbestendige Elektrotechnische en Meet- en Regeltechnische installatiedelen plaatsgevonden. Het betreft enerzijds een toets van de kwalificatiedata en anderzijds de ontwikkeling van een methodiek die de beschikbaarheid/functionaliiteit van deze ongevalsbestendige apparatuur tijdens en na een ongeval moet borgen.

De methodiek maakt gebruik van het AUREST-programma waarmee de gekwalificeerde restlevensduur van OBA-componenten kan worden bepaald. Omdat deze restlevensduur afhankelijk is van de verouderingsbelasting, zal deze bepaling periodiek worden herhaald. Als op enig moment blijkt dat de gekwalificeerde restlevensduur kleiner is dan vijf jaar, dan zullen correctieve maatregelen voor het zekerstellen van de functionaliteit worden genomen. Deze maatregelen kunnen nakwalificatie of vervanging van componenten inhouden.

<sup>37</sup> De OBA-componenten zijn vaak onderdeel van een meervoudig redundant opgebouwd systeem, zoals het reactorbeveiligingssysteem. In dergelijke systemen vormt falen van één component geen belemmering voor het correct functioneren van het systeem. De kans op uitval door een gemeenschappelijke oorzaak (*common cause failure*) wordt geminimaliseerd door wijzigingen/vervangingen bij voorkeur per redundantie uit te voeren.

Component/systeem waarin componenttype(n) met een gekwalificeerde restlevensduur van minder dan vijf jaar is(zijn) toegepast	Correctieve maatregel
Klemmenkasten waarin Phoenix aansluitklemmen zijn toegepast (gebouw 01/02/03)	Vervanging aansluitklemmen
Enkele laagspanningskabels (gebouw 01/02)	Vervanging kabels
Diverse temperatuuropnemers buiten de installatieruimte	Vervanging temperatuuropnemers
Diverse meetwaardeomvormers met verloopadapters (type Rosemount) en stekkers (type S&F)	Vervanging verloopadapters en stekkers
Diverse opnemers inclusief bekabeling van de temperatuurmetingen op de hoofdkoelmiddleidingen	Vervanging opnemers en bekabeling inclusief stekkers
Reactorvatniveaumetingen inclusief signaalkabel	Nakwalificatie stekkers <sup>1)</sup> / vervanging kabel
Temperatuurmetingen reactorvatdeksel inclusief compensatiekabel	Nakwalificatie <sup>1)</sup> / vervanging kabel
Incore temperatuurmetingen inclusief compensatiekabel	Nakwalificatie stekkers <sup>1)</sup> / vervanging kabel
Diverse druk- en drukverschilmeetwaardeomvormers	Nakwalificatie <sup>1)</sup> / vervanging meetwaardeomvormers
Standmeldingen veiligheidskleppen drukhouder inclusief bekabeling	Vervanging sensoren en bekabeling
Pompen voor koeling splijststofopslagbassin (type Hermetic)	Nakwalificatie <sup>1)</sup>
E-motoren van de TL-recirculatieventilatoren	Nakwalificatie <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Indien nakwalificatie niet tot het beoogde resultaat leidt, dan wordt alsnog tot vervanging overgegaan.

Tabel 9 Overzicht van de componenten/systemen waarin componenttypen met een gekwalificeerde restlevensduur van minder dan vijf jaar zijn toegepast.

# 8 Verouderingsbeheersing

# 8



In het kader van zestig jaar bedrijfsduur KCB is een uitgebreide beoordeling van de verouderingsbeheersing uitgevoerd. Het doel van deze beoordeling is aan te tonen dat de verouderingseffecten adequaat worden beheerst, zodat veiligheidsrelevante structuren, systemen en componenten (SSC) hun beoogde functie tijdens de gehele bedrijfsduur blijven vervullen.

## 8.1 Inleiding

Onder veroudering wordt verstaan het proces waardoor de fysische eigenschappen van een structuur of component onder invloed van specifieke omgevingscondities als functie van de tijd veranderen. Denk hierbij aan blootstelling aan bijvoorbeeld verhoogde temperaturen, stralingsniveaus of chemische stoffen. Ook de manier van bedrijfsvoeren kan invloed hebben op de veroudering. Veroudering kan optreden als gevolg van één specifiek verouderingsmechanisme, maar vaak spelen meerdere mechanismen een rol. Onbeheerste veroudering kan resulteren in een verminderde functionaliteit of falen van de structuur of component.

Veroudering is een aspect waarmee zowel bij het oorspronkelijk ontwerp van de kerncentrale als bij de reguliere bedrijfsvoering rekening is gehouden. Op verschillende manieren worden de status en het functioneren van de structuren en componenten gecontroleerd en bewaakt zodat de kans op falen als gevolg van veroudering wordt geminimaliseerd. Het geheel van alle activiteiten en maatregelen die tot doel hebben om de verouderingseffecten tijdens het gebruik te (kunnen) beheersen, wordt aangeduid met verouderingsbeheersing (*Ageing Management; AM*).

Niet alleen is met veroudering al rekening gehouden bij het ontwerp van de KCB; het is onderdeel van de reguliere bedrijfsvoering en als zodanig opgenomen in de vigerende kernenergiewetvergunning (voorschrift II B.20<sup>18</sup>).

In het kader van de verlenging van de ontwerpbedrijfsduur van veertig naar zestig jaar heeft een nieuwe beoordeling van de verouderingsbeheersing plaatsgevonden (*Ageing Management Review; AMR*). Hierbij is geverifieerd of *alle* mogelijke verouderingsmechanismen zijn beschouwd en of de verouderingsbeheersing voor *alle* veiligheidsrelevante structuren en componenten met het oog op zestig jaar bedrijfsduur adequaat is geregeld. De beoordeling heeft in een aantal gevallen geleid tot aanbevelingen voor het treffen van additionele maatregelen. Deze maatregelen vormen een aanvulling op of aanscherping van de reeds bestaande activiteiten. In een aantal gevallen worden eenmalige inspecties uitgevoerd om de effectiviteit van een activiteit te toetsen of om uit te sluiten dat een verouderingseffect zich voordoet. Voor die situaties waar geen adequate beheersmaatregelen kunnen worden gedefinieerd, zal een nadere analyse van het mechanisme/effect plaatsvinden en mogelijk tot

<sup>18</sup> Voorschrift II B.20 luidt: “N.V. EPZ dient een beheerssysteem toe te passen en te onderhouden voor het volgen van verouderingsverschijnselen van in veiligheidstechnische zin relevante materialen in haar inrichting, teneinde een voldoende toestand daarvan steeds te kunnen vaststellen. Op grond van bevindingen zullen anderzijds maatregelen ter vervanging getroffen dienen te worden. De wijze van het volgen van deze verouderingsverschijnselen dient te geschieden volgens een door NV EPZ uiterlijk op 1 juli 2006 op te stellen plan. Dit plan, alsmede wijzigingen daarvan, dienen vooraf te worden voorgelegd aan de directeur KFD.”



reparatie of vervanging van de desbetreffende structuren en componenten worden besloten.

De aanbevelingen worden in §8.3 gepresenteerd. Eerst volgt in §8.2 een overzicht van de voor de beoordeling gehanteerde methodologie.

## 8.2 Beoordeling verouderingsbeheersing - Methodologie

De gebruikte methodologie voor de beoordeling van de verouderingsbeheersing is gebaseerd op het *IAEA Safety Report No. 57 'Safe Long Term Operation of Nuclear Power Plants'* [3] en in detail beschreven in [10]. Twee belangrijke onderdelen die aan de eigenlijke beoordeling zijn voorafgegaan, zijn een inventarisatie (*scoping*) en nadere detaillering (*screening*) van alle relevante veiligheidsrelevante structuren, systemen en componenten (zie Figuur 12).

### Voorbeelden van verouderingseffecten of -mechanismen

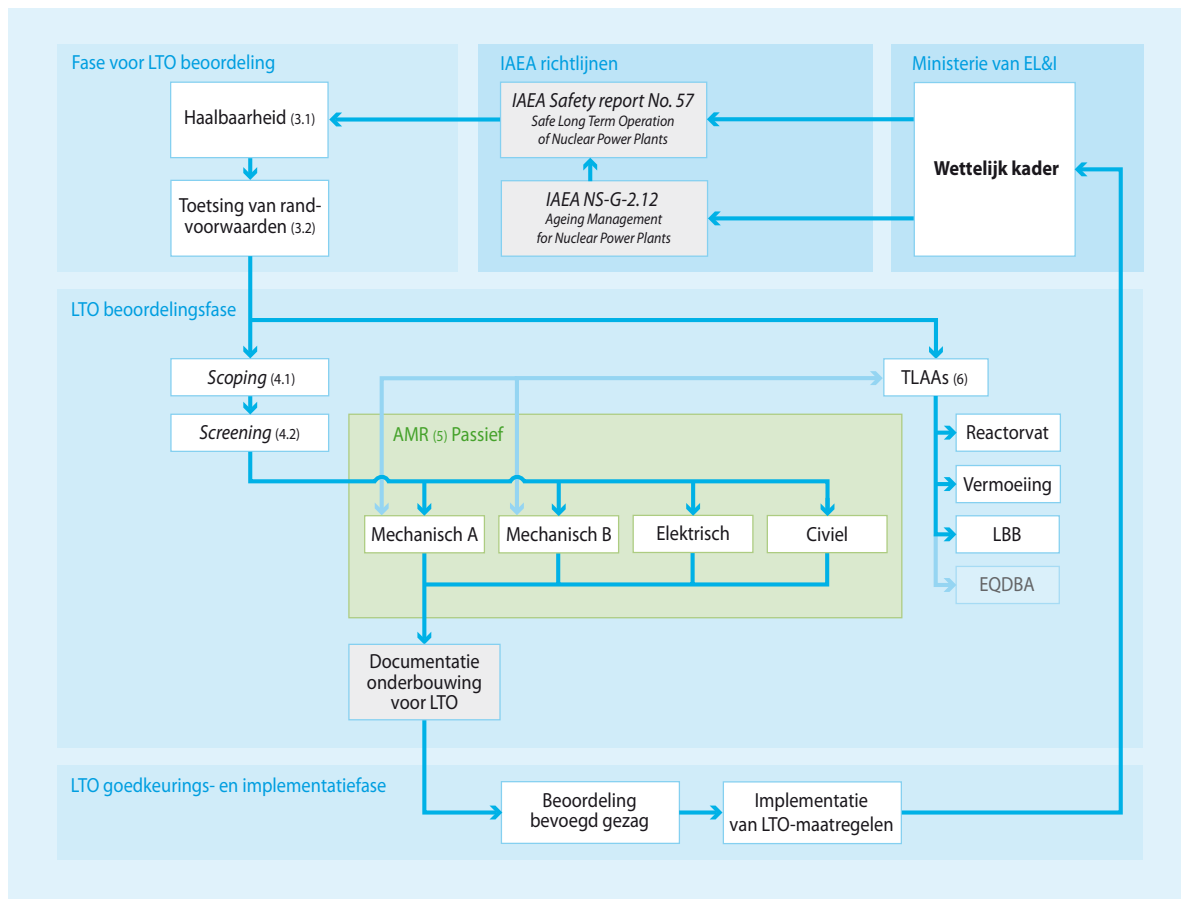
Thermische veroudering is de veroudering van materiaal als gevolg van langdurige blootstelling aan verhoogde temperaturen al dan niet in combinatie met mechanische belastingen, waardoor de taaiheid en breuksterkte van het materiaal afnemen.

Slijtage is het eroderen van een materiaal als gevolg van de interactie tussen bewegende delen of materialen. Hierdoor neemt de materiaaldikte en dus de sterkte van een component af. Slijtage wordt door diverse factoren beïnvloed zoals de oppervlakteruwheid, de aanwezigheid van schurende deeltjes en corrosieve vloeistoffen.

Microbiologisch geïnduceerde corrosie is een vorm van corrosie die versterkt wordt door de aanwezigheid van micro-organismen. Het effect kan globaal of lokaal (putcorrosie) uitwerken.

*Flow accelerated corrosion* (FAC) is het fenomeen waarbij de beschermende oxidelaag van een metaal continu wordt afgebroken door het langsstromende medium. Het fenomeen wordt sterk beïnvloed door de chemische eigenschappen van het langsstromende medium, maar ook door de temperatuur en de geometrie.

8



Figuur 12 Overzicht structuur en samenhang activiteiten van het LTO-beoordelingsproces voor wat betreft de technische aspecten (nummers verwijzen naar hoofdstuknummers in *Safety Report No. 57* [3] [4].

Bij de inventarisatie (*scoping*) is het veiligheidsbelang van alle structuren, systemen en componenten (SSC) in detail geanalyseerd [11]. Dit heeft geresulteerd in een lijst met mechanische, elektrische (inclusief instrumentatie en regelen communicatiesystemen; in het vervolg aangeduid met I&C) en civiele structuren, systemen en componenten die veiligheidsrelevant zijn in die zin dat ze fundamentele veiligheidseisen<sup>49</sup> zekerstellen of die in geval van falen de fundamentele veiligheidseisen nadelig kunnen beïnvloeden.

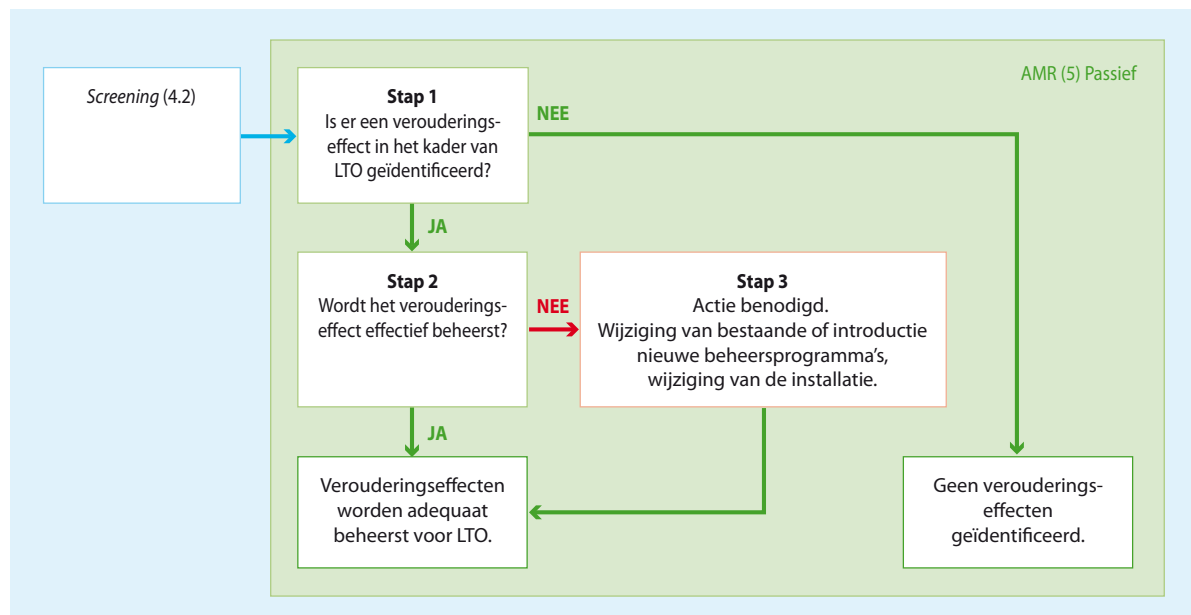
Vervolgens heeft een nadere detaillering en selectie van structuren en componenten<sup>50</sup> plaatsgevonden (*screening*) die in het kader van verlenging van de ontwerpbedrijfsduur van zestig jaar moeten worden beschouwd [12]. Bij de detaillering wordt onderscheid gemaakt naar passieve en actieve structuren en componenten. Passieve structuren en componenten kunnen hun functie zonder bewegende delen, of zonder verandering in configuratie of toestand uitvoeren (bijvoorbeeld leidingen, vaten en de behuizing van een actieve component zoals een pompbehuizing). Dit in tegenstelling tot de

actieve structuren en componenten waarvan de functie afhankelijk is van bewegende delen of van een verandering in configuratie of toestand (bijvoorbeeld kleppen, pompwaaiers). Alleen de passieve componenten vallen onder de scope van de *Ageing Management Review* conform *Safety Report No. 57*.

Om de omvang van de rapportage te beheersen zijn structuren en componenten ingedeeld in *commodity groups*. Hierbij zijn de afzonderlijke structuren of componenten gegroepeerd op basis van gemeenschappelijke eigenschappen.

Voor de passieve structuren en componenten heeft een beoordeling van de verouderingsbeheersing plaatsgevonden die uit de volgende 3 stappen bestaat (zie Figuur 13):

- **Stap 1:** Identificatie van alle mogelijk relevante verouderingsmechanismen voor de bewuste structuren en componenten op basis van omgevings- en bedrijfscondities, gebruikte materialen en ervaringsgegevens (eigen ervaring, maar ook onderzoeksresultaten en andere industriebrede ervaringen).



Figuur 13 Methodiek beoordeling verouderingsbeheersing [10].

<sup>49</sup> De fundamentele veiligheidseisen zijn:

1. Zekerstellen van de integriteit van het primair systeem.
2. Zekerstellen van het kunnen afschakelen en in een veilige afgeschakelde conditie houden van de reactor.
3. Zekerstellen van het voorkomen van ongevallen die leiden tot een externe radioactieve lozing of het beperken van de gevolgen van een dergelijk ongeval.

<sup>50</sup> Bij de 'screening' van de mechanische SSC zijn systemen verder opgesplitst in componenten. Vandaar dat in het kader van verouderingsbeheersing alleen over structuren en componenten wordt gesproken.

- **Stap 2:** Evaluatie van de verouderingsbeheersing voor de in stap 1 geïdentificeerde mechanismen. Zijn de bestaande verouderingsbeheersingsactiviteiten adequaat om de functionaliteit van de structuren en componenten gedurende zestig jaar bedrijfsduur zeker te stellen?
- **Stap 3:** Indien noodzakelijk, aanpassing of aanvulling van het verouderingsbeheer. Dit kan zowel op structuur/component-niveau als generiek.

Het bovenstaande proces is voor alle veiligheidsrelevante structuren en componenten uitgevoerd waarbij onderscheid is gemaakt naar:

- mechanische structuren en componenten;
- elektrische en I&C structuren en componenten;
- civiele structuren en componenten.

De mechanische structuren en componenten zijn verder opgedeeld in A en B. De mechanisch A structuren en componenten zijn die delen van de installatie die voorkomen dat radioactieve stoffen in de omgeving kunnen vrijkomen (onderdeel van het barrièreconcept). Het betreft:

- reactorvat;
- drukhouder;
- stoomgeneratoren;
- hoofdkoelmiddelpompen;
- drukbehuizing van de aandrijfmechanismen voor de regelstaven;
- hoofdkoelmiddelleidingen en volumevereffeningsleiding;
- stalen *containment*.

De mechanisch B structuren en componenten bevatten de overige in-scope mechanische structuren en componenten, welke op basis van hun eigenschappen verder zijn gegroepeerd in *commodity groups*.

In de volgende paragrafen wordt de gebruikte methodologie voor de beoordeling van de verouderingsbeheersing voor elk van de disciplines nader uitgewerkt.

### 8.2.1 AMR methodologie voor mechanische structuren en componenten

De beoordeling van de verouderingsbeheersing (AMR) voor de mechanische structuren en componenten heeft op een systematische manier plaatsgevonden conform *IAEA Safety Report no. 57* [3].

Als eerste is alle informatie noodzakelijk voor de beoordeling van de huidige fysieke toestand van de structuren en componenten verzameld en geanalyseerd. Het betreft de volgende informatie:

- identificatie van de relevante structuren en componenten en hun functie;
- gebruikte materialen en ontwerp-specificaties;
- oorspronkelijke productiegegevens en uitgevoerde beproevingen, inclusief uitgevoerde reparaties en mogelijke niet-conformiteiten;
- omgevings- en bedrijfscondities (zowel aangenomen voor het ontwerp als tijdens regulier bedrijf);
- KCB gerelateerde onderhouds- en gebruikshistorie, inclusief resultaten van uitgevoerde inspecties;
- generieke gebruikservaringen (industriebreed en/of onderzoeksresultaten).

Gebaseerd op de hierboven geïdentificeerde materialen en omgevings- en bedrijfscondities zijn vervolgens de relevante verouderingsmechanismen vastgesteld.

De volgende stap in het beoordelingsproces is de identificatie van bestaande verouderingsbeheersingsactiviteiten in relatie tot de geïdentificeerde verouderingsmechanismen. In het algemeen betreft het monitoring, periodieke beproevingen en inspecties en preventief onderhoud.

KCB heeft de verouderingsbeheersing geïntegreerd in de zogenaamde instandhoudingsprogramma's. Deze programma's hebben een breder doel dan alleen verouderingsbeheersing, namelijk het bereiken dat alle activiteiten die samen de instandhouding van de KCB-installatie conform het ontwerp en de van toepassing zijnde regelgeving waarborgen, in kaart zijn gebracht en zijn vastgesteld.

Concreet bevat een instandhoudingsprogramma alle verplichte of noodzakelijke onderhouds-, meet-, keurings-, analyse-, beproevings- of inspectiewerkzaamheden om de functionaliteit van structuren, systemen en componenten te kunnen waarborgen. De volgende instandhoudingsprogramma's zijn gedefinieerd:

- onderhoudsprogramma;
- surveillanceprogramma;
- In-Service Inspecties (ISI) programma;
- brandprogramma;
- milieuprogramma.

Aanvullend beschikt de KCB over een formele procedure voor het verwerken van nieuwe, interne of externe, informatie over veroudering van structuren, systemen en componenten. Het doel van deze procedure is het zorgdragen voor de registratie, evaluatie en waar nodig aanpassingen van de bestaande verouderings-beheersingsactiviteiten of invoering van nieuwe activiteiten als onderdeel van de instandhoudingsprogramma's, zodat de verouderingsbeheersing altijd de laatste stand der techniek beschrijft.

De laatste stap in het beoordelingsproces is de toets of alle relevante verouderingsmechanismen adequaat worden beheerst met het oog op verlenging van de ontwerpbedrijfsduur van de KCB naar zestig jaar. De uitkomst van de toets kan inhouden dat het verouderingsmechanisme met de bestaande activiteiten wordt beheerst of dat additionele maatregelen noodzakelijk zijn. Deze maatregelen vormen een aanvulling op, of aanscherping van, de reeds bestaande activiteiten. In een aantal gevallen worden eenmalige inspecties uitgevoerd om de effectiviteit van een activiteit te toetsen of om uit te sluiten dat een verouderingseffect zich voordoet. Voor die situaties waar geen adequate beheersmaatregelen kunnen worden gedefinieerd, zal een nadere analyse van het mechanisme/effect plaatsvinden en mogelijk tot reparatie of vervanging van de structuren en componenten worden besloten.

### 8.2.2 AMR methodologie voor elektrische en I&C structuren en componenten

De beoordeling van de verouderingsbeheersing voor elektrische en I&C structuren en componenten is op een analoge manier als die voor mechanische structuren en componenten uitgevoerd. Er zijn wel enkele kleine verschillen in aanpak en beoordeling. Voor de elektrische en I&C structuren en componenten is de beoordeling uitgevoerd op het niveau van *commodity groups*. Bovendien ligt bij deze categorie structuren en componenten de nadruk op veroudering als gevolg van omgevingscondities (temperatuur, vochtigheid, stralingsniveau, etc.) en niet op veroudering ten gevolge van het gebruik.

### 8.2.3 AMR methodologie voor civiele structuren en componenten

De beoordeling van de verouderingsbeheersing voor civiele structuren en componenten heeft op dezelfde manier als voor mechanische structuren en componenten plaatsgevonden.

## 8.3 Resultaten beoordeling verouderingsbeheersing

De beoordeling van de verouderingsbeheersing bij KCB heeft aangetoond dat de bestaande verouderingsbeheersingsactiviteiten adequaat zijn. De huidige fysieke toestand van de veiligheidsrelevante structuren, systemen en componenten voldoet aan de gestelde eisen. De verouderingseffecten worden beheerst en hebben niet geleid tot functionaliteitsverlies. De verouderingsmechanismen zijn in beeld en er is een proces om van nieuwe verouderingsmechanismen de verouderingseffecten in beeld te krijgen. Er is derhalve met het oog op verlenging van de ontwerpbedrijfsduur naar zestig jaar geen aanleiding voor fundamentele wijzigingen in de opzet van de verouderingsbeheersing.

Tijdens de beoordeling zijn diverse specifieke mogelijkheden voor verbetering van danwel aanvullingen op de bestaande verouderings-beheersingsactiviteiten geïdentificeerd. Deze verbetermogelijkheden en de, naar aanleiding van deze verbetermogelijkheden, te nemen maatregelen worden in de volgende paragrafen voor de verschillende disciplines behandeld.

### 8.3.1 **Verbetermaatregelen naar aanleiding van AMR voor mechanische structuren en componenten**

Een overzicht van de aan specifieke structuren of componenten gerelateerde verbetermogelijkheden is opgenomen in [13]. Globaal zijn deze verbetermogelijkheden onder te verdelen naar:

1. Uitvoeren van extra eenmalige of repeterende inspecties ter beoordeling van potentiële verouderingsmechanismen.  
*Bijvoorbeeld: aan de lassen van de reactorvatondersteuningsblokken zijn de laatste ultrasoon en visuele inspecties in 1994 en 1997 uitgevoerd. De aanbeveling is om deze inspecties in elk ISI-interval (10 jaar) uit te voeren.*
2. Uitvoeren van extra onderzoek naar verouderingsmechanismen in relatie tot het gebruik van bepaalde materialen.  
*Bijvoorbeeld: in de veiligheidsgerelateerde hulpsystemen worden op sommige plaatsen propyleen pijpen toegepast. De aanbeveling is om de mate van degradatie voor deze pijpen te onderzoeken en indien nodig deze te vervangen.*
3. Uitvoeren van extra evaluaties/analyses in het kader van bepaalde verouderingsmechanismen.  
*Bijvoorbeeld: op basis van de omgevingscondities, toegepaste materialen en in het verleden uitgevoerde inspecties zijn voor de aansluitingen van de voedingswater- en stoomleidingen op de stoomgeneratoren geen problemen met Flow Accelerated Corrosion te verwachten. De aanbeveling is om deze conclusie door middel van een extra evaluatie te valideren.*

4. Verifiëren van bepaalde aannamen die bij de evaluaties/analyses zijn gebruikt.  
*Bijvoorbeeld: in het kader van vermoeiing zijn bepaalde belastingen tijdens normaal bedrijf verondersteld. De aanbeveling is om deze veronderstelde belastingen te verifiëren.*

Op basis van deze geïdentificeerde verbetermogelijkheden zal EPZ vóór 1 januari 2014 de volgende maatregelen initiëren:

1. EPZ zal de voorgestelde eenmalige inspecties inplannen en uitvoeren<sup>21</sup>, danwel het ISI-programma aanpassen;
- 2./3. EPZ zal de voorgestelde extra onderzoeken/evaluaties/analyses uitvoeren en indien noodzakelijk, correctieve acties, uitvoeren.
4. EPZ zal de geïdentificeerde aannamen verifiëren. In de praktijk betekent dit een herevaluatie op basis van de FAMOS meetresultaten die in de periode 2010-2015 beschikbaar zullen komen (zie §7.2.2.3). Deze periode van vijf splijststofcycli is noodzakelijk om een voldoende representatief beeld van de belastingswisselingen te verkrijgen.

Aanvullend heeft de beoordeling van de verouderingsbeheersing voor mechanische structuren en componenten enkele meer algemene verbetermogelijkheden opgeleverd. Het betreft:

1. Zekerstellen dat de juiste ISI-intervallen voor de mechanisch A componenten worden gebruikt;
2. Zekerstellen dat alle componenten met veiligheidsklasse 1 t/m 4 (conform IAEA-richtlijnen) in het preventief onderhoudsprogramma zijn opgenomen;
3. Afstemmen van het ISI-plan en de instandhoudingdatabase (ISH), of integreren ISI-plan in instandhoudingdatabase, waardoor inconsistenties worden vermeden.

<sup>21</sup> De uitvoeringsdatum van de daadwerkelijke inspecties kan na 1 januari 2014 liggen.

Op basis van deze geïdentificeerde verbetermogelijkheden zal EPZ vóór 1 januari 2014 de volgende maatregelen initiëren:

1. EPZ zal het aan het bevoegd gezag voorgelegde ISI-programma voor de periode januari 2010 – december 2019 (tien jaar) waar nodig aanvullen;
2. EPZ zal controleren of alle componenten met veiligheidsklasse 1 t/m 4 (conform IAEA-richtlijnen) in het preventief onderhoudsprogramma zijn opgenomen en waar nodig deze aan het preventief onderhoudsprogramma toevoegen.
3. EPZ zal het ISI-plan integreren in de instandhoudingdatabase (ISH).

Met betrekking tot maatregel 1: het ISI-programma voor drukhoudende componenten moet voldoen aan de ‘Regeling nucleaire drukapparatuur’ (DGM2007088466) en de NVR NS-G-2.6 ‘Onderhoud, toezicht en in-service inspecties’. Het door EPZ opgestelde ISI-programma voldoet aan deze Regeling/veiligheidsregel doordat het programma is opgesteld op basis van de vigerende *ASME Code Section XI* [15].

Deze in de loop der jaren steeds aangepaste *ASME Code Section XI* vormt, samen met de inmiddels vervallen Stoomwet, al sinds het ontwerp en de bouw van de kerncentrale de basis voor de door KCB opgestelde periodieke ISI-programma’s. Op grond van de *ASME Code* en de achterliggende filosofie zijn geen additionele inspecties in het kader van *Long Term Operation* noodzakelijk. Het lopende ISI-programma (2010-2019) hoeft daarom niet in het kader van zestig jaar bedrijfsduur te worden herzien of aangevuld. Het ISI-programma wordt, in het kader van voorschrift II B.18<sup>22</sup> van de kernenergiewetvergunning, ter goedkeuring aan het bevoegd gezag voorgelegd.

### 8.3.2 Verbetermaatregelen naar aanleiding van AMR voor elektrische en I&C structuren en componenten

Een overzicht van de, aan de beschouwde *commodity groups* gerelateerde, verbetermogelijkheden is opgenomen in [13]. Globaal zijn deze verbetermogelijkheden onder te verdelen naar:

1. Uitvoeren van extra repeterende inspecties (in relatie tot bepaalde *commodity groups*). *Bijvoorbeeld: momenteel worden bij onderhoudswerkzaamheden visuele inspecties van bepaalde hoofdcomponenten uitgevoerd. De aanbeveling is om deze inspecties uitbreiden met inspecties van de bijbehorende kabels/connectoren/klemverbindingen voor zover deze aan hoge temperaturen en/of dosistempi worden blootgesteld;*
2. Implementeren van additionele verouderingsbeheersingsprogramma’s (in relatie tot bepaalde *commodity groups*). *Bijvoorbeeld: in relatie tot de elektrische doorvoeren in het containment is de aanbeveling om een verouderingsbeheersingsprogramma voor bepaalde typen geleidermateriaal (koper, koperlegeringen en nikkel-ijzerlegeringen) in vochtige ruimten te implementeren.*
3. Onderzoeken of bepaalde (verouderingsgevoelige) typen materialen zijn toegepast, *Bijvoorbeeld: in relatie tot elektrische connectoren is de aanbeveling om te onderzoeken of bepaalde typen materialen in connectoren/klemverbindingen in het containment zijn toegepast.*

EPZ zal vóór 1 januari 2014 de geïdentificeerde verbetermogelijkheden evalueren en indien noodzakelijk corrigerende maatregelen initiëren. Aanvullend heeft de beoordeling van de verouderingsbeheersing voor elektrische structuren en componenten de volgende meer algemene verbetermogelijkheid opgeleverd: het formaliseren van het uitvoeren visuele inspecties door opname in relevante inspectie-documenten. EPZ zal deze verbetermogelijkheid als zodanig implementeren.

<sup>22</sup> Voorschrift II B.18 luidt: “N.V. EPZ is verplicht er zorg voor te dragen dat een programma wordt opgesteld, uitgevoerd en bijgehouden voor de regelmatig terugkerende beproevingen, onderzoeken en berekeningen. Dit programma dient te worden voorgelegd aan de Directeur KFD. De resultaten van de beproevingen, onderzoeken en berekeningen moeten aan voornoemde functionaris worden voorgelegd.”

### **8.3.3 Verbetermaatregelen naar aanleiding van AMR voor civiele structuren en componenten**

De beoordeling van de verouderingsbeheersing voor civiele structuren en componenten heeft geen specifieke, aan verouderingsmechanismen of structuren en componenten gerelateerde, verbetermogelijkheden opgeleverd. Wel is een algemene verbetermogelijkheid geïdentificeerd om het inspectieregime op een meer proactieve manier vorm te geven. EPZ is inmiddels gestart met de implementatie van deze verbetermogelijkheid.

## **8.4 Conclusie**

In het kader van zestig jaar bedrijfsduur KCB heeft een uitgebreide beoordeling van de verouderingsbeheersing plaatsgevonden. De beoordeling is gebaseerd op een evaluatie van de huidige fysieke toestand van de installatie, een inventarisatie van alle mogelijke relevante verouderingsmechanismen en een toets of deze geïdentificeerde verouderingsmechanismen adequaat worden beheerst.

Het resultaat van de beoordeling is dat de verouderingseffecten voor veiligheidsrelevante mechanische, elektrische en I&C, en civiele structuren en componenten adequaat worden beheerst. De huidige fysieke toestand van de installatie voldoet aan de gestelde eisen. De combinatie van de huidige fysieke toestand en de verouderingsbeheersing vormt daarmee een valide basis om het functioneren van alle veiligheidsrelevante structuren, systemen en componenten gedurende de verdere bedrijfsvoering zeker te stellen.

Tijdens de beoordeling zijn wel diverse mogelijkheden voor verbetering van danwel aanvullingen op de bestaande verouderingsbeheersingsactiviteiten, voor specifieke structuren en componenten geïdentificeerd. De geïdentificeerde verbetermogelijkheden zijn door EPZ in concrete maatregelen omgezet.

# 9 Robuustheid EPZ-organisatie

# 9



Zoals in hoofdstuk 6 aangegeven beperkt de rechtvaardiging voor het verlengen van de ontwerpbedrijfsduur tot zestig jaar bedrijfsduur zich niet tot technische aspecten. Ook organisatorische en administratieve aspecten zijn van belang voor een veilige bedrijfsvoering.

Toetsing daarvan vindt sinds in bedrijfsname iedere tien jaar plaats in het kader van de 10-jaarlijkse veiligheidsevaluatie (10EVA) overeenkomstig de vigerende kernenergiewetvergunning (voorschrift II B.11<sup>23</sup>). De evaluatiefase van de eerstvolgende tienjaarlijkse evaluatie dient te zijn afgerond op 31 december 2013 (10EVA13).

De *scope* en de toe te passen nationale en internationale regels en richtlijnen voor een 10-jaarlijkse evaluatie worden vastgelegd in een Basisdocument. Dit document dat de wijze van uitvoering en het toetsingskader beschrijft wordt in samenspraak tussen EPZ en de overheid vastgesteld. Het Basisdocument voor 10EVA13 is beschreven in [6].

Omdat organisatorische en administratieve zaken een directe relatie met zestig jaar bedrijfsduur hebben, heeft het bevoegd gezag verzocht om deze aspecten naar voren te halen en deel te laten uitmaken van de onderhavige wijzigingsaanvraag. Dit gebeurt door middel van evaluatie van de zogenaamde *Safety Fac-*

*tors 10* en *12* waarin organisatie, management-systeem, veiligheidscultuur en de menselijke factor beoordeeld worden. De resultaten van de evaluatie van de *Safety Factors 10* en *12* zijn beschreven in §9.1 respectievelijk §9.2.

## 9.1 Evaluatie *Safety Factor 10* 'Organisatie, management-systeem en veiligheidscultuur'

Bij de volledige evaluatie van *Safety Factor 10* zijn geen aspecten naar voren gekomen die voortzetting van de bedrijfsvoering zouden (kunnen) belemmeren. Deze conclusie is bevestigd door het IAEA door middel van de, in het kader van de *SALTO Peer Review 2012*, uitgevoerde evaluatie van de MOA-module (*Management, Organization, and Administration*) conform de *OSART Guidelines* [15].

De bij de evaluaties geïdentificeerde aandachtspunten en/of suggesties worden in het kader van 10EVA13 opgevolgd.

<sup>23</sup> Voorschrift II B.11 luidt: "Periodiek dient N.V. EPZ de technische, organisatorische, personele en administratieve voorzieningen te evalueren met betrekking tot de nucleaire veiligheid en de stralenbescherming en maatregelen te treffen om eventuele tekortkomingen ongedaan te maken, tenzij het treffen van maatregelen redelijkerwijs niet kan worden gevergd. Elke twee jaar dienen de voorzieningen beoordeeld te worden in het licht van de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de van kracht zijnde vergunning. De 2-jaarlijkse evaluaties dienen telkenmale in alle oneven jaren afgerond te zijn. Elke tien jaar dienen meer omvangrijke evaluaties te worden uitgevoerd waarbij ook de uitgangspunten zelf worden vergeleken met nieuwe ontwikkelingen inzake nucleaire veiligheid en stralenbescherming. De eerstvolgende 10-jaarlijkse evaluatie betreft de periode 2003 tot en met 2012 en dient in 2013 afgerond te zijn. Ter voorbereiding op deze 10-jaarlijkse evaluatie dient NV EPZ uiterlijk 31 december 2011 een definitief plan van aanpak en toetsingskader aan de directeur KFD ter beoordeling voor te leggen."



De uitgevoerde evaluaties van *Safety Factor 10* in combinatie met de systematiek van op regelmatige basis uit te voeren (toekomstige) interne en externe evaluaties is daarmee een voldoende borging voor de veilige bedrijfsvoering van de KCB op het gebied van organisatie, managementsysteem en veiligheidscultuur tijdens de bedrijfsduur tot 2034.

Onafhankelijk van de uitgevoerde evaluatie is bij de beoordeling van het verouderingsbeheer geconstateerd dat de verouderingsbeheersingsactiviteiten over meerdere afdelingen zijn verspreid en derhalve de eindverantwoordelijkheid niet eenduidig genoeg is gedefinieerd. EPZ zal de organisatie rondom verouderingsbeheersing stroomlijnen en de verantwoordelijkheden eenduidig vastleggen.

## 9.2 Evaluatie *Safety Factor 12* 'De menselijke factor'

Bij de volledige evaluatie van *Safety Factor 12* zijn geen aspecten naar voren gekomen die voortzetting van de bedrijfsvoering zouden (kunnen) belemmeren. Deze conclusie is bevestigd door het IAEA door middel van de, in het kader van de *SALTO Peer Review 2012*, uitgevoerde evaluatie van de MOA-module (*Management, Organization, and Administration*) conform de *OSART Guidelines* [15].

De bij de evaluaties geïdentificeerde aandachtspunten en/of suggesties worden in het kader van 10EVA13 verder opgevolgd.

De uitgevoerde evaluatie van *Safety Factor 12* in combinatie met de systematiek van op regelmatige basis uit te voeren (toekomstige) interne en externe evaluaties is daarmee een voldoende borging voor de veilige bedrijfsvoering van de KCB op het gebied van de menselijke factor tijdens de bedrijfsduur tot 2034.

## 9.3 Conclusie

De uitgevoerde evaluaties van *Safety Factor 10* en *12*, als onderdeel van de bewijsvoering rondom de organisatorische en administratieve aspecten in het kader van LTO hebben aangetoond dat in combinatie met de systematiek van op regelmatige basis uit te voeren interne en externe evaluaties, veilige bedrijfsvoering van de KCB tijdens de bedrijfsduur tot 2034 voldoende is geborgd.

Daarnaast is in het kader van LTO is geconstateerd dat er verbetermogelijkheden zijn rondom de organisatie en verantwoordelijkheden met betrekking tot verouderingsbeheer. EPZ zal de verouderingsbeheersing verder in de organisatie verankeren en waar nodig stroomlijnen.

# 10 Maatregelen voor zestig jaar bedrijfsduur



Alleen die nieuwe maatregelen waarvan de activiteiten nog moeten worden gestart of moeten worden afgerond, danwel een continue inspanning tot het einde van de KCB-bedrijfsvoering vragen, staan hieronder vermeld:

## Actieve componenten

- Verificatie dat alle actieve componenten zijn opgenomen in de instandhoudingsprogramma's. Samen met de reeds aangetoonde doelmatigheid van deze programma's, is dit een borging voor het correct functioneren van de actieve componenten.

## Reactorvatverbrossing

- Plaatsing van twee extra sets proefstukken (SOP<sub>3</sub> en SOP<sub>4</sub>) in de reactor voor verificatie van de veiligheidsmarge voor de brosse breuk overgangstemperatuur bij zestig jaar ontwerpbedrijfsduur. Deze proefstukken zijn reeds geplaatst (2007). Verificatie zal plaatsvinden in de periode 2014-2018 als de proefstukken na voldoende neutronenbestraling uit de reactor zijn gehaald en het brosse breuk gedrag experimenteel is vastgesteld.

## Vermoeiing

- Uitvoering van nieuwe stand der techniek analyses voor vijf componenten/locaties om aan te tonen dat de cumulatieve gebruiksfactor  $CUF_{2034}$  kleiner dan 1 is.
- Uitvoering van nieuwe stand der techniek analyses voor acht componenten/locaties om aan te tonen dat de toetsingswaarden voor *environmental fatigue* niet worden overschreden.

De uitgevoerde analyses/evaluaties zoals beschreven in hoofdstuk 6, 7, 8 en 9 van de onderhavige vergunningsaanvraag hebben geleid tot de volgende, speciaal op LTO gerichte, genomen of te nemen maatregelen.

De in hoofdstuk 6, 7, 8, en 9 beschreven analyses/evaluaties zijn eveneens te beschouwen als speciaal op LTO gerichte maatregelen, maar worden als zodanig niet herhaald omdat deze inmiddels zijn afgerond.

- Installatie van het vermoeiingsmonitoringsysteem FAMOS om nauwkeuriger inzicht te krijgen in de werkelijke vermoeiingsbelastingen. De resultaten worden gebruikt voor de bewaking van de uitgangspunten en daarmee de geldigheid van de vermoeiingsanalyses en voor optimalisering van de reguliere bedrijfsvoering (minimaliseren belastingen). Het FAMOS-systeem is in 2010 geïnstalleerd en zal tot het einde van de KCB-bedrijfsvoering in bedrijf blijven.

- Actualisatie van de oorspronkelijke belastingcatalogus voor veertig jaar ontwerpbedrijfsduur. De nieuwe belastingcatalogus voor zestig jaar ontwerpbedrijfsduur zal in 2015 beschikbaar zijn. Met behulp van het vermoeiingsmonitoringsysteem FAMOS zullen gedurende vijf cycli voldoende meetresultaten zijn verzameld zodat een representatief beeld ontstaat van de belastingswisselingen.

## Lek-voor-breuk

- Verificatie van de uitgangspunten met betrekking tot stratificatie aan de hand van de beschikbare (en beschikbaar komende) resultaten verkregen met het FAMOS vermoeiingsmonitoringsysteem. De verificatie zal plaatsvinden zodra een voldoende hoeveelheid representatieve data beschikbaar is (omstreeks 2014).

## Kwalificatie ongevalsbestendige apparatuur

- Implementatie van een nieuwe methodiek die de beschikbaarheid/functionaliiteit van ongevalsbestendige apparatuur tijdens en na een ongeval moet borgen. De methodiek

- is gebaseerd op de bepaling van de gekwalificeerde restlevensduur;
- Formele vaststelling van de gekwalificeerde restlevensduur voor alle ongevalsbestendige electrotechnische componenten. Omdat deze restlevensduur afhankelijk is van de verouderingsbelasting, zal deze bepaling periodiek (iedere splijtstofcyclus) worden herhaald;
  - Nakwalificatie of vervanging van ongevalsbestendige componenten waarvoor de gekwalificeerde restlevensduur minder dan vijf jaar bedraagt.

#### **Verouderingsbeheer**

- Aanvullen van de bestaande verouderingsbeheersingsprogramma's conform de verbetermaatregelen in het kader van de AMR voor mechanische, elektrische en I&C, en civiele structuren en componenten.
- Nader onderzoek naar mogelijke specifieke verouderingsfenomenen voor specifieke structuren en componenten conform de verbetermaatregelen in het kader van de AMR voor mechanische, elektrische en I&C, en civiele structuren en componenten.
- Organisatie rondom verouderingsbeheersing stroomlijnen en verantwoordelijkheden eenduidig vastleggen.

De maatregelen zullen voor 1 januari 2014 worden geïnitieerd. De resultaten en mogelijke consequenties op basis van de maatregelen kunnen in een later stadium beschikbaar komen.

# 11 Lijst van tabellen en figuren



## Lijst van tabellen

pagina

Tabel 1	Overgangstemperaturen voor brosse breuk ( $RT_{NDT}$ ) voor de verschillende delen van het reactorvat op basis van extrapolatie conform <i>Reg. Guide 1.99</i> in relatie tot de limietwaarden conform KTA 3203 [7]	23
Tabel 2	Overgangstemperaturen voor brosse breuk ( $RT_{To}$ ) voor de verschillende delen van het reactorvat op basis van extrapolatie conform <i>IAEA Guideline TRS No. 429</i> in relatie tot de limietwaarden conform KTA 3203 [7]	24
Tabel 3	Overzicht van de toegelaten veilige en vastgestelde overgangstemperatuur voor brosse breuk na zestig jaar bedrijfsduur [7]	24
Tabel 4	Voorbeeld van belastingstoestanden tijdens normaal bedrijf inclusief gepostuleerde aantallen van voorkomen	27
Tabel 5	Overzicht van de belangrijkste componentengroepen in relatie tot vermoeiing	29
Tabel 6	Geprojecteerde aantallen belastingswisselingen tot 2034 (zestig jaar bedrijfsduur) op basis van de werkelijke aantallen belastingswisselingen tot 2007 [8]	31
Tabel 7	Cumulatieve gebruiksfactoren voor de belangrijkste componentengroepen op basis van zestig jaar bedrijfsduur (hoogst berekende waarde per componentgroep) [7]	32
Tabel 8	Resultaten lek-voor-breukanalyses (per leiding en per analysestap) [9]	38
Tabel 9	Overzicht van de componenten/systemen waarin componenttypen met een gekwalificeerde restlevensduur van minder dan vijf jaar zijn toegepast	45
Tabel 10	Overzicht van de reeds verleende vergunningen	60
Tabel 11	Overzicht van de ingevolge het Bkse vereiste informatie voor het aanvragen van een wijzigingsvergunning	61

## Lijst van figuren

Figuur 1	Schematische weergave opbouw LTO vergunningsaanvraag	14
Figuur 2	Overzicht structuur en samenhang van de activiteiten van het LTO-beoordelingsproces voor wat betreft de technische aspecten [4]	14
Figuur 3	Concept overgangstemperatuur en beveiliging tegen brosse breuk	17
Figuur 4	Berekende neutronenfluentie als functie van de bedrijfstijd (in vollastjaren)	21
Figuur 5	Beproeversresultaten overgangstemperatuur voor brosse breuk ( $RT_{NDT(0)}$ ) voor de verschillende proefstukken SOPo/SOPoa, SOP1 en SOP2 in relatie tot de limietwaarden conform KTA 3203 [7]	23
Figuur 6	Resultaten overgangstemperatuur voor brosse breuk ( $RT_{To}$ ) voor de verschillende proefstukken SOPoa, SOP1 en SOP2 in relatie tot de limietwaarden conform KTA 3203 [7]	23
Figuur 7	Vermoeiingscurve voor austenitisch staal	25
Figuur 8	Extrapolatie van het aantal keren opstarten van de reactor als functie van de langere bedrijfstijd [8]	30
Figuur 9	Schematische weergave veiligheidsconcept <i>break preclusion</i> [9]	35
Figuur 10	Schematische weergave lek-voor-breek principe [9]	37
Figuur 11	Schematische weergave realisatie van het veiligheidsconcept <i>break preclusion</i> [9]	39
Figuur 12	Overzicht structuur en samenhang activiteiten van het LTO-beoordelingsproces voor wat betreft de technische aspecten (nummers verwijzen naar hoofdstuknummers in <i>Safety Report 57</i> [3]) [4]	47
Figuur 13	Methodiek beoordeling verouderingsbeheersing [10]	48



## Referenties

- [1] Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele, VR-KCB93, rev. 6
- [2] m.e.r.-beoordelingsplicht *Long Term Operation* KCB, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, ETM/ED/11132793, 13 september 2011
- [3] *Safe Long Term Operation of Nuclear Power Plants*, IAEA, *Safety Report Series No. 57*, October 2008
- [4] *Conceptual Document LTO Bewijsvoering* KCB, NRG, NRG-22701/10.103460, 9 september 2011
- [5] *Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants*, IAEA, *Draft Safety Guide No. DS426*, 27 november 2009
- [6] Basisdocument 10EVA13 (Toetsingskader en PvA van de 3<sup>e</sup> tienjaarlijkse evaluatie), EPZ, KT/MCr/HtL/R10617, 6 december 2011  
Ter info: het ministerie van EL&I heeft ingestemd met dit Basisdocument (brief no. ETM / 1203528 7 d.d. 21 juni 2012)
- [7] *KCB RPV safety assessment assuming 60 years of operation*, AREVA, *NTCM-G/2009/en/0549*, 12 juli 2010
- [8] *LTO Demonstration of Fatigue TLAAs*, NRG, *NRG-22488/11.106369 Revision 1*, 30 mei 2012
- [9] *Review Time Dependency Break Preclusion for Borssele NPP to 2034*, NRG, *NRG-912192/09.97298*, 26 november 2009
- [10] *Ageing Management Review – Methodology Report*, AREVA, *PESS-G/2010/en/0041*, 11 augustus 2011
- [11] *Definition of the Scope of KCB Systems, Structures and Components to be Taken into Consideration for the Long-term Operation Process*, AREVA, *NEPS-G/2008/en/0056*, 27 juli 2011
- [12] *Screening of relevant Structures and Components in the frame of the KCB Long-Term Operation Process*, AREVA, *NTCM-G/2009/en/0144*, 6 oktober 2011
- [13] *Summary report Ageing Management Review*, NRG, *NRG-22503/11.109273*, juni 2012
- [14] *ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section XI: Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components*
- [15] *OSART guidelines*, IAEA, juli 2005
- [16] *Methodology, approach and results of the “Long Term Operation Bewijsvoering subproject: Qualification of Design Base Accident resistant electrical Equipment”*, EPZ, KTE/AdJ/SAL/R106299 revisie A, 7 september 2012



## Opgave van de verleende vergunningen

De hierna volgende Tabel 10 geeft een overzicht van de reeds verleende vergunningen ingevolge artikel 15 van de Kernenergiewet.

Tabel 10 Overzicht van de reeds verleende vergunningen

Kenmerk	Datum afgifte beschikking	Omschrijving
372/352/EEK	23-03-1972	Vergunning voor het oprichten van een kernenergiecentrale te Borssele en het voorhanden hebben van splijtstoffen.
373/1132/EEK	18-06-1973	Vergunning voor het in werking brengen en in werking houden van de kernenergiecentrale te Borssele.
675/540	08-09-1975	Koninklijk besluit nr. 16, m.b.t. oprichtingsvergunning.
378/II/66EEK	27-01-1978	Wijziging bedrijfsvergunning n.a.v. het bouwen van een afvalgebouw.
679/842	13-09-1979	Koninklijk besluit nr. 46, m.b.t. bedrijfsvergunning.
380/II/330/EEK	18-04-1980	Vergunning voor het wijzigen van de kernenergiecentrale te Borssele en het voorhanden hebben van ten hoogste 200 ton uranium (compactrekken).
nr. 189326 DGMH/S/VK/AS	24-09-1982	Wijziging bedrijfsvergunning in verband met intrekking van het veiligheidsbesluit Ioniserende Stralen (VBIS).
149/463	07-03-1984	Aanvullende voorschriften, verbonden aan de vergunning tot het in werking houden van de kernenergiecentrale te Borssele (deskundigheid personeel).
687/45	12-11-1986	Koninklijk besluit nr. 26, m.b.t. bedrijfsvergunning (compactrekken).
nr. 2537041	27-03-1987	Wijziging bedrijfsvergunning i.v.m. vervallen Radioactieve stoffenbesluit Kernenergiewet (Stb.1981, 564).
DGA/KFD/88/12587	27-01-1989	Aanvullende voorschriften i.v.m. invoering kwaliteitsborgingsprogramma.
E/EEK/90039894	25-04-1990	Overdracht van destijds vigerende kernenergiewetvergunningen van N.V. PZEM aan N.V. EPZ.
E/EE/KK/91001017	13-02-1992	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	28-06-1993	Wijziging bedrijfsvergunning n.a.v. tijdelijke opslag van licht besmet materiaal (cementeerinstallatie).
E/EE/KK/94053428	02-08-1994	Aanpassing van bedrijfsvergunning n.a.v. MOD-project.
E/EE/KK/96076055	20-12-1996	Wijziging vergunning kernenergiecentrale Borssele, inzake hogere verrijking.
E/EE/KK/99004681	01-06-1999	Beschikking inzake MOD, aanpassingen n.a.v. nieuwe revisie Veiligheidsrapport (KCB93.REV.2) zijn hierin ook verwerkt.
E/EE/KK/99004680	01-06-1999	Beschikking inzake Optimalisatie Splijtstof.
SAS/2004084087	22-09-2004	Beschikking hogere verrijking.
Brief Raad van State 200408865/1	03-08-2005	Uitspraak Raad van State, artikelen II.B.30 t/m II.B.34 uit SAS/2004084087 m.b.t. financiële regelingen vervallen verklaard.
SAS/2005212596	13-12-2005	Beschikking wijzigen van de kernenergiecentrale Borssele (10-jaarlijkse veiligheidsevaluatie), aanpassing vergunningsvoorschrift II. Ba.2 m.b.t. de opslag van radioactieve bronnen.
ETM/ED/11081801	24-6-2011	Beschikking brandstofdiversificatie, waaronder de inzet van MOX

## Vergunningsaanvragen ingevolge Bkse

De hierna volgende Tabel 11 geeft een overzicht van de ingevolge het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen (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 documenten.



# b

Tabel 11 [Overzicht van de ingevolge het Bkse vereiste informatie voor het aanvragen van een wijzigingsvergunning](#)

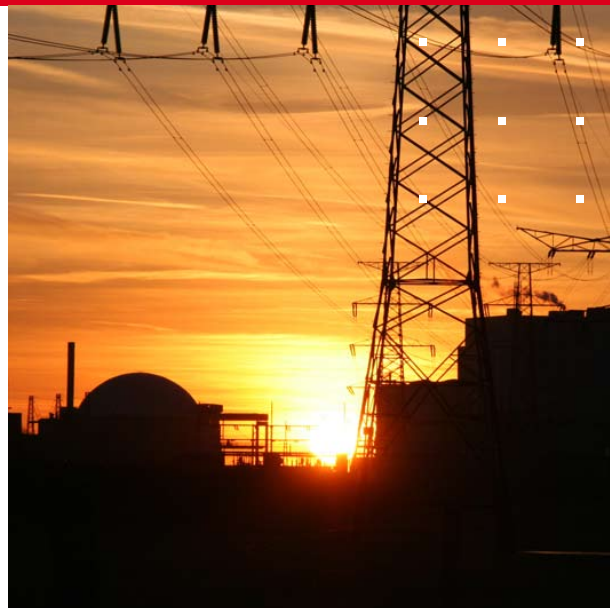
Artikel	Inhoud	Respons
3-3 a	Naam en adres van de aanvrager.	Niet gewijzigd.
3-3 b	Een feitelijke omschrijving van hetgeen de aanvrager met de betrokken splijtstoffen of ertsen wenst te doen onderscheidenlijk een aanduiding van de betrokken inrichting of uitrusting, onder vermelding van het gebruik, dat de aanvrager van die inrichting of uitrusting wenst te maken.	Niet gewijzigd.
3-3 c	Voor zover een of meer der in de <i>artikelen 4 tot en met 11</i> 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 hieronder.
3-3 d	Een opgave van de tijdsduur, waarvoor de vergunning wordt verlangd.	Niet gewijzigd.
3-3 e	Indien een vergunning wordt aangevraagd voor een handeling die in de krachtens <i>artikel 19</i> in samenhang met <i>artikel 4, tweede lid, van het Besluit stralingsbescherming</i> geldende regeling, als gerechtvaardigd is bekendgemaakt, een verwijzing naar die bekendmaking.	Zie Regeling bekendmaking rechtvaardiging gebruik van ioniserende straling (Stcrt. 2002-248) onder categorie I.B.2 'Energieopwekking'.
3-3 f	Indien een vergunning wordt aangevraagd voor een handeling die niet of als niet-gerechtvaardigd is bekendgemaakt in de krachtens <i>artikel 19</i> in samenhang met <i>artikel 4, tweede lid, van het Besluit stralingsbescherming</i> geldende regeling, een verzoek om rechtvaardiging van die handeling en tevens de gegevens met betrekking tot de economische, sociale en andere voordelen van de betrokken handeling en met betrekking tot de gezondheidsschade die erdoor kan worden toegebracht, die nodig zijn met het oog op de beoordeling van de gerechtvaardigheid van de handeling.	Niet van toepassing.
6-1 a	Een opgave en beschrijving van de plaats, waar de inrichting zal worden gevestigd, onder vermelding van alle terzake doende omstandigheden van geografische, geologische, klimatologische en andere aard.	Niet gewijzigd.
6-1 b	Een beschrijving van de inrichting met inbegrip van de daarin te bezigen installaties, alsmede van de werking van die inrichting en installaties, met opgave van de leveranciers van die onderdelen, welke voor de beoordeling van de veiligheid van belang zijn, en onder vermelding van het hoogste vermogen, waarop de inrichting zal werken.	Niet gewijzigd.
6-1 c	Een opgave van de chemische en fysische toestand, de vorm, het gehalte en de verrijkingsgraad der splijtstoffen, welke in de inrichting zullen worden gebruikt, onder vermelding van de hoeveelheid der onderscheidene splijtstoffen, welke ten hoogste te eniger tijd in de inrichting aanwezig zal zijn.	Niet gewijzigd.

Artikel	Inhoud	Respons
6-1 d	Een beschrijving van de wijze, waarop de onder <i>c</i> bedoelde splijtstoffen in de inrichting zullen worden gebruikt, en van de wijze, waarop de splijtstoffen voor en na het gebruik zullen worden bewaard.	Niet gewijzigd.
6-1 e	Een globale opgave van het totaal aantal personen, dat bij normaal bedrijf in de inrichting werkzaam zal zijn, alsmede een opgave van het aantal deskundigen en het aantal andere leden van het personeel, dat rechtstreeks bij het vrijmaken van kernenergie betrokken zal zijn, en van de onderlinge taakverdeling tussen die personeelsleden, zomede – voor wat betreft toezichhoudend personeel – van de gronden, waarop zij geacht kunnen worden voldoende deskundigheid voor het verrichten van hun taak te bezitten.	Niet gewijzigd.
6-1 f	Een beschrijving van de wijze, waarop de aanvrager voornemens is zich na gebruik te ontdoen van de onder <i>c</i> bedoelde splijtstoffen.	Niet gewijzigd.
6-1 g	Een beschrijving van de wijze, waarop de aanvrager voornemens is zich te ontdoen van radioactieve stoffen, welke tijdens het gebruik van de onder <i>c</i> bedoelde splijtstoffen zullen ontstaan.	Niet gewijzigd.
6-1 h	Een veiligheidsrapport, inhoudende een beschrijving van de maatregelen, die door of vanwege de aanvrager zullen worden getroffen ter voorkoming van schade, of ter beperking van de kans op schade, waaronder begrepen de maatregelen ter voorkoming van schade buiten de inrichting, tijdens normaal bedrijf, en ter voorkoming van schade voortvloeiende uit de in die beschrijving te vermelden gepostuleerde begin-gebeurtenissen, alsmede een risicoanalyse van de schade buiten de inrichting als gevolg van die gebeurtenissen.	Zie VR-KCB93 REV. 7. De, in het kader van deze vergunningsaanvraag, doorgevoerde wijzigingen zijn opgenomen in <b>bijlage c</b> van dit aanvraagdocument.
6-1 i	Een risicoanalyse van de schade buiten de inrichting als gevolg van buiten-ontwerpongevallen.	Niet gewijzigd.
6-1 j	Een opgave van de verzekering of andere financiële zekerheid, welke de aanvrager ter voldoening aan de <i>Wet aansprakelijkheid kernongevallen</i> zal hebben en in stand houden, onder vermelding van alle ter zake doende gegevens.	Niet gewijzigd.
11-1 a	Een opgave van de vergunning, krachtens welke de betrokken inrichting is opgericht dan wel in werking gebracht of gehouden.	Zie <b>bijlage a</b> van dit aanvraagdocument.
11-1 b	Een beschrijving van de voorgenomen wijziging.	Zie <b>hoofdstuk 5</b> van dit aanvraagdocument.
11-1 c	Indien de aanvraag betrekking heeft op een inrichting als bedoeld in <i>artikel 6, 7 of 8</i> en de voorgenomen wijziging van invloed is op een of meer gegevens als vermeld in het ter verkrijging van de onder <i>a</i> bedoelde vergunning overgelegde veiligheidsrapport of de risicoanalyse, bedoeld in <i>artikel 6, onder h</i> , een desbetreffende aanvulling hiervan.	De in het kader van deze vergunningsaanvraag doorgevoerde wijzigingen in het veiligheidsrapport zijn opgenomen in <b>bijlage c</b> van dit aanvraagdocument.
11-1 d	indien de aanvraag betrekking heeft op een inrichting als bedoeld in <i>artikel 6, 7 of 8</i> en de voorgenomen wijziging van invloed is op een of meer gegevens als vermeld in de ter verkrijging van de onder <i>a</i> bedoelde vergunning overgelegde risicoanalyse, bedoeld in <i>artikel 6, eerste lid, onder i</i> , een desbetreffende aanvulling van die risicoanalyse.	Niet gewijzigd.
11-1 e	indien de aanvraag betrekking heeft op een inrichting als bedoeld in <i>artikel 9</i> en de voorgenomen wijziging van invloed is op een of meer gegevens als vermeld in de ter verkrijging van de onder <i>a</i> bedoelde vergunning overgelegde risicoanalyse als bedoeld in <i>artikel 9, eerste lid, onder f</i> , een desbetreffende aanvulling van die risicoanalyse.	Niet van toepassing.



## Aanpassingen Veiligheidsrapport

De aanpassingen in het Veiligheidsrapport zijn gerubriceerd conform de onderwerpen in de onderhavige vergunningsaanvraag. De wijzigingen ten opzichte van 'Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele' VR-KCB93 rev. 6 zijn rood gemarkeerd.



# C

## Reactorvatverbrossing

### 5.1.3 Sterktetechnische uitgangspunten voor het ontwerp

#### Belastingen

Bij de sterkteberekening van de componenten voor het primair systeem is rekening gehouden met de volgende belastingen:

- belastingen door ingebouwde componenten;
- belastingen door eigen gewicht;
- mechanische uitwendige belastingen;
- stationaire en niet-stationaire belastingen van de componenten tengevolge van inwendige druk;
- stationaire en niet-stationaire temperatuurspanningen;
- belastingen door hypothetische lekkages;
- belastingen ten gevolge van aardbevingen.

Bij het ontwerp van het reactorvat is bovendien rekening gehouden met de verandering van de materiaaleigenschappen tengevolge van neutronenbestraling **gedurende een bedrijfsduur van veertig jaar**. Dit is gedaan op basis van een **breukmechanische breukanalyse. Aanvankelijk is deze analyse voor een bedrijfsduur van veertig jaar uitgevoerd. Later is deze analyse, uitgaande van de laatste stand der techniek, herhaald voor een bedrijfsduur van zestig jaar.**

#### Berekeningsmethode

De sterkteberekening van de componenten, die volgens de Stoomwezen Grondslagen en **ASME**

Section III alsmede volgens **KTA** of **RCCM** is uitgevoerd, omvat:

- de dimensionering van de componenten;
- de elasticiteitsberekening en spanningsanalyse;
- de vermoeiingsanalyse.

#### Bedrijfsveiligheid van het reactorvat

De veiligheid van het reactorvat wordt door onderstaande maatregelen gegarandeerd:

- nauwkeurige analyse van de bedrijfsbelastingen en conservatieve begrenzing van de toelaatbare spanningen;
- begrenzing van de hoofdkoelmiddeldruk;
- toepassing van materialen met goede eigenschappen ten aanzien van de taaiheid;
- gekwalificeerde fabricagemethoden;
- kwaliteitsborging tijdens de fabricage en meervoudige beproeving;
- niet-destructief onderzoek tijdens de fabricage;
- drukproef bij 1,3 maal de ontwerpdruk;
- bepaling vooraf, tijdens bedrijf en door middel van ingehangen proefstukken, van de brosheid van het materiaal als gevolg van de inwerking van straling;
- periodiek niet-destructief onderzoek van het vat;
- periodieke drukproeven.

Bij een toenemende bedrijfsduur en de daarmee gepaard gaande neutronenbestraling, veranderen de materiaaleigenschappen. Zo neemt de gevoeligheid voor brosse breuk onder invloed van neutronenbestraling toe. Om het gedrag ten aanzien van brosse breuk op lange termijn van de voor het reactorvat toegepaste materialen onder invloed van de neutronenbestraling te voorspellen, is reeds ten tijde van de bouw een omvangrijk bestralingsprogramma opgesteld. Hiermee is voorafgaand aan de bedrijfsvoering een prognose over het materiaalgedrag gemaakt. Uitgaande van dit programma zijn de gevolgen van de neutronenbestraling gedurende veertig bedrijfsjaren voor het materiaal geëxtrapolleerd.

In 1985 is aan de hand van de testresultaten van ingehangen proefstukken de invloed op het materiaalgedrag experimenteel bepaald. Daarbij is gebleken dat de vooraf bepaalde extrapolatiewaarden conservatief zijn en het materiaalgedrag dus gunstiger is dan van te voren was vastgesteld.

In 2009 is het gedrag ten aanzien van brosse breuk voor het reactorvat opnieuw beoordeeld. Hierbij zijn de invloeden van de wijziging van de kernbeladingsstrategie, de mogelijke inzet van MOX splijtstofelementen en de verbeterde inzichten en berekeningsmethoden voor wat betreft het brosse breuk gedrag meegenomen. De nieuwe beoordeling heeft aangetoond dat ook voor zestig jaar bedrijfsduur ruime veiligheidsmarges ten aanzien van het brosse gedrag voor het reactorvat bestaan.

Om tijdens de in- en uitbedrijfname een ontoelaatbare wijze van bedrijfsvoering te voorkomen, is in het reactorbeveiligingssysteem (YZ) een beveiliging tegen brosse breuk opgenomen door drukbegrenzing bij lagere temperaturen. Hierdoor wordt voorkomen dat de combinatie van de druk en de temperatuur ontoelaatbare waarden bereikt.

Voordat bij een bepaalde koelmiddeltemperatuur een ontoelaatbare druk wordt bereikt, worden automatisch tegenmaatregelen genomen om de druk te ontlasten. Zo wordt bijvoorbeeld de verwarming van de drukhouder uitgeschakeld. Zonodig vindt bovendien drukontlasting via het eerste drukbeveiligingstoestel van de drukhouder plaats. Naast de bovenomschreven maatregelen voor

analyse van de normale bedrijfsvoering van de installatie, zijn ook hypothetische fouten ter beoordeling van onderkoelingstransiënten bij ongevallen met koelmiddelverlies in beschouwing genomen. Door middel van thermohydraulische analyses is het verwachte druk- en temperatuurverloop aan de reactorvatwand tijdens de transiënt bepaald en zijn de daaruit voortvloeiende spanningsintensiteitsfactoren berekend. Uit de resultaten volgt dat een begin van scheurvorming niet op zal treden.

## Vermoeiing

### 3.3 Bestendigheid tegen interne belastingen

(zie tabel 3.3/1, pagina 61)

#### 3.3.1 Specificatie van de bij het ontwerp veronderstelde belastingstoestanden

Interne belastingen op de componenten en systemen van de installatie zijn het gevolg van de procescondities bij de verschillende belastingstoestanden. Het ontwerp van de componenten en systemen van het nucleaire deel van de installatie is gebaseerd op een aantal veronderstelde belastingstoestanden.

Conform internationale methodieken zijn de belastingstoestanden of -toestandsveranderingen, als volgt ingedeeld:

#### 1 Bedrijfstoestanden

- 1.1 Normaal bedrijf *(Normal conditions)*
- 1.2 Storingen *(Upset conditions)*
- 1.3 Beproevingen *(Test load conditions)*

#### 2 Ongevallen

- 2.1 Noodgevallen *(Faulted conditions)*
- 2.2 Schadegevallen *(Emergency conditions)*

In tabel 3.3/1 zijn deze belastingstoestanden verder onderverdeeld.

#### Bedrijfstoestanden

##### Normaal bedrijf

Onder normaal bedrijf vallen bedrijfstoestanden of bedrijfstoestandsveranderingen waarbij de installatie wordt bedreven binnen gespecifi-

ceerde bedrijfslimieten en -condities. Het gaat hierbij in het bijzonder om het opstarten van de reactor, vermogensbedrijf en het afschakelen van de reactor, inclusief de bij deze bedrijfstoestandsveranderingen optredende transiënten.

#### *Storingen*

Tot de storingen worden afwijkingen van het normale bedrijf gerekend, die door functie- of schakelfouten van componenten zelf of van naburige componenten ontstaan. Vanuit veiligheidstechnisch opzicht is er geen reden om na afloop van een storing en het herstel van de functie- of schakelfouten het bedrijf niet voort te zetten.

#### *Beproevingen*

Beproevingen omvatten de persproeven van componenten en systemen bij de eerste inbedrijfsname, alsmede de periodieke druk- en dichtheidsbeproevingen.

#### **Ongevallen**

Ongevallen zijn afwijkingen van normaal bedrijf of storingen, waarna het bedrijven van de installatie uit veiligheidstechnisch oogpunt niet zonder meer voortgezet kan worden.

#### *Noodgevallen*

Noodgevallen zijn ongevallen die een geringe waarschijnlijkheid van optreden hebben.

#### *Schadegevallen*

Schadegevallen zijn of ongevallen die een zeer geringe waarschijnlijkheid van optreden hebben, of gepostuleerde belastingstoestanden.

Van de belastingstoestanden zijn in tabel 3.3/1 de aantallen van optreden gegeven, zoals ze voor de mechanische analyses voor de totale oorspronkelijke bedrijfstermijn (40 jaar) bij het ontwerp van de installatie zijn verdisconteerd. Bij de revalidatie van de vermoeiingsanalyses voor een bedrijfstermijn van zestig jaar zijn de oorspronkelijke ontwerpaantallen aangepast op basis van extrapolatie van de daadwerkelijk opgetreden belastingswisselingen tot 2007 (zie tabel 3.3/1). De geprojecteerde aantallen voor zestig jaar bedrijfstermijn zijn daarbij altijd conservatief gesteld.

Naast de ontwerpaantallen zijn ook de belastingscategorieën gegeven (zie paragraaf 3.3.2).

### **3.3.2 Belastingscategorieën**

De bij het ontwerp van de mechanische componenten en systemen veronderstelde belastingstoestanden en daaruit voortvloeiende belastingen zijn ingedeeld in belastingscategorieën afhankelijk van de ernst van de belastingstoestand (zie tabel 3.3/1). De op basis van deze veronderstelde belastingen uitgevoerde sterkteberekeningen van de componenten, volgens de Stoomwezen Grondslagen en ASME *Code Section III*, omvatten:

- dimensionering van de componenten
- elasticiteitsberekeningen en spanningsanalyses
- vermoeiingsanalyses.

De berekende spanningen zijn getoetst aan de in de ASME Code aangegeven toelaatbare spanningswaarden die afhankelijk zijn van de indeling van de betreffende component in belastingscategorieën alsmede van de veiligheidsclassificatie (zie paragraaf 3.2.1). De belastingscategorieën worden ingedeeld van A t/m D waarbij de toelaatbare spanningen behorende bij categorie A lager zijn dan bij categorie D.

### **3.3.3 Reeds opgetreden belastingen**

De mogelijke gevolgen van belastingen die op componenten van het primair systeem inwerken worden uitgedrukt in de zogenaamde vermoeiingsfactor. Met vermoeiingsanalyses is aangetoond dat de vermoeiingsfactor ten gevolge van de bij het ontwerp van de installatie veronderstelde belastingen en het veronderstelde aantal van optreden gedurende de totale bedrijfstermijn, aan het criterium uit de ASME Code en aan de concept KTA-grenswaarden voor *environmental fatigue* voldoet.

Het aantal tot ~~2007~~<sup>1993</sup> opgetreden belastingstoestanden in de installatie is gering ten opzichte van het veronderstelde aantal. De bijbehorende berekende vermoeiingsfactoren hebben daarom een aanzienlijke veiligheidsmarge ten opzichte van de ontwerpwaarde. Indien deze trend ten aanzien van het aantal optredende belastingstoestanden gedurende de resterende bedrijfstermijn geen grote wijzigingen ondergaat zal een aanzienlijke veiligheidsmarge gedurende de totale bedrijfstermijn gehandhaafd blijven.

Tabel 3.3/1 Bij het ontwerp veronderstelde belastingstoestanden, ontwerpaantallen (veertig jaar bedrijfsduur, geprojecteerde waarden voor zestig jaar bedrijfsduur op basis van daadwerkelijk opgetreden belastingswisselingen tot 2007) en bijbehorende belastingscategorien.

Veronderstelde belastingstoestanden	Ontwerpaantal (40 jaar bedrijfsduur)	Geprojecteerd aantal <sup>1)</sup> (60 jaar bedrijfsduur)	Belastings- categorie
<b>1 Bedrijfstoestanden</b>			
<b>1.1 Normaal bedrijf</b>			
▪ Opstarten vanuit nullast, koud	155	142	A
▪ Afregelen tot nullast, koud	155	141	A
▪ Sprongvormige belastingsveranderingen	100 000	170	A
▪ Hellingvormige belastingsveranderingen	12 000	61	A
▪ Montage van het reactorvatdeksel	60	71	A
▪ Aan- en uitschakelen van een 2 <sup>e</sup> pomp van het volumeregelsysteem (TA)	10 000	2 388	A
<b>1.2 Storingen</b>			
▪ Reactorsnelafschakeling (RESA)	400	42	B
▪ Turbinesnelafschakeling (TUSA), of lastafschakeling op nul- last of lastafschakeling op eigenbedrijf	400	91	B
▪ Onbedoeld sluiten van een hoofdstoomafsluiter	20	2	B
▪ Uitval hoofdkoelmiddelomp	80	49	B
▪ Verandering van de voedingswater-intredetemperatuur bij de stoomgeneratoren		3 <sup>2)</sup>	
▪ Systemspecifieke storingen in het volumeregelsysteem met een uitwerking op de componenten van het reactorkoel- en drukhoudsysteem		1 <sup>2)</sup>	
▪ Onbedoeld openen van de turbine-omloopklep	5	2	B
▪ Hulpsproeien met het TA-systeem	10	18 <sup>3)</sup>	B
<b>1.3 Beproevingen</b>			
▪ Drukbeproeving reactorkoelsysteem	10	3 <sup>4)</sup>	P*
▪ Dichtheidsbeproeving reactorkoelsysteem	80	- <sup>5)</sup>	P*
▪ Drukproeven secundair systeem	10	1 <sup>4)</sup>	P*
▪ Beproevingen drukhouder veiligheidsklep	45	93	B
<b>2 Ongevallen</b>			
<b>2.1 Noodgevallen</b>			
▪ Noodstroomsituatie * met aansluitend opstart * met afregelen tot 120°C en koud water suppletie	80	13	B
▪ TUSA zonder turbine-omloopleiding * met aansluitend opstart * met afregelen tot nullast, koud	80	5	B
▪ Stoomgeneratorpijpbreuk * zonder noodstroomsituatie * met noodstroomsituatie	18 2	13	B C
▪ Aanspreken veiligheidsklep drukhouder	5	1	B
▪ Niet sluiten veiligheidsklep drukhouder * bij beproeving * na aanspreken	6 2	6 2	B C
▪ Niet sluiten veiligheidsklep hoofdstoomsysteem	2	9	B/C**
▪ Onbedoelde toevoer van koud water in een stoomgenerator	4	1	B
▪ Kleine lekkage hoofdkoelmiddelkringloop	5	1	C
▪ Kleine lekkage secundaire leidingen	5	3	C
<b>2.2 Schadegevallen</b>			
▪ Lekkage van hoofdkoelmiddel * middelgrote lekkage * grote lekkage	1 1	1 1	C D
▪ Lekkage van een secundaire leiding * middelgrote lekkage * grote lekkage	1 1	1 1	C C
▪ Externe invloeden	1	1	D
▪ Bijzondere schadegevallen * ATWS (veronderstelde transiënt zonder reactorafschakeling) * primaire feed/bleed * secundaire feed/bleed	1 1 1	5 1 1	C D D

<sup>1)</sup> Geprojecteerd aantal belastingswisselingen tot 2034 op basis van het werkelijk aantal geregistreerde belastingswisselingen tot 2007 (conservatieve waarde).

<sup>2)</sup> Geen ontwerpaantal gedefinieerd. Met behulp van FAMOS worden ervaringsgegevens verzameld, zodat deze bij de vermoeingsanalyses kunnen worden gebruikt.

<sup>3)</sup> Gebaseerd op beschikbare FAMOS meetresultaten.

<sup>4)</sup> Wordt niet meer uitgevoerd bij KCB.

<sup>5)</sup> Wordt niet uitgevoerd bij KCB.

\* P: Bijzondere belastingscategorie voor beproevingen.

\*\* Primaairzijdig B, secundairzijdig C.

## Lek-voor-breek

### 3.4 Bestendigheid tegen invloeden van binnenuit

#### 3.4.2 Principe van Lek-voor-breek

Als ontwerppuntgangspunt van nieuwe kern-energiecentrales wordt gesteld dat, indien tijdens het ontwerp, de bouw en de bedrijfsvoering van componenten met een vijftal principes rekening wordt gehouden, het op grond van waarschijnlijkheidsberekening uitgesloten mag worden dat deze componenten grote breuken als gevolg van een rondgaande scheur zullen vertonen. Verondersteld wordt dat alvorens de componenten zullen bezwijken eerst lekkage op zal treden (principe van lek-voor-breek) zodat bij tijdige vaststelling van deze lekkage voorzorgsmaatregelen ter vermindering van een grote breuk getroffen kunnen worden.

De vijf genoemde principes zijn:

- vereiste componentkwaliteit door:
  - hoogwaardige materiaaleigenschappen, in het bijzonder taaiheid
  - conservatieve aannames voor de toelaatbare spanningen
  - het vermijden van spanningspieken door een zo optimaal mogelijke constructie
  - waarborging van de toepassing van geoptimaliseerde fabricage- en beproevingstechnologieën
  - kennis en beoordeling van eventuele gebreken
  - het rekening houden met het bedrijfsmedium.

Indien hieraan wordt voldaan dan bezit de betreffende component de zogenaamde basiszekerheid;

- uitvoering van veiligheidstechnisch relevante bewijzen, beproevingen en controles door minimaal twee van elkaar onafhankelijke partijen. Deze werkzaamheden dienen onder een regime van kwaliteitsborging uitgevoerd te worden;
- aannahme van de ongunstigste situatie. Dit houdt in dat bij alle bewijzen beproevingen en controles de conservatiefste randwaarden aangenomen worden zoals de grootste belasting, de slechtst gespecificeerde kwaliteit van de materialen enzovoort;

- continue bewaking en registratie van alle veiligheidstechnisch relevante procesparameters zoals de werkelijk optredende belastingen, de toestand van en mogelijke gebreken aan materialen enzovoort;
- gebruik van rekencodes, basisgegevens, beproevingsconcepten en beproevingsmiddelen van erkende en gevalideerde geldigheid of toepasbaarheid.

De laatste vier van bovengenoemde principes zijn de zogenaamde meervoudige redundanties. Dat wil zeggen dat naast de basiszekerheid op meervoudig redundante wijze wordt aangetoond dat deze basiszekerheid gedurende de volledige bedrijfstijd gehandhaafd blijft. **Naast de basiszekerheid en onafhankelijke redundantie is lek-voor-breek aangetoond waardoor breuken uitgesloten zijn en componenten eerst een detecteerbare lekkage zullen vertonen. Indien aan de genoemde vijf principes wordt voldaan, dan wordt aangenomen dat grote breuken uitgesloten zijn en dat componenten eerst lekkage zullen vertonen.**

Voor reeds bestaande kernenergiecentrales (zoals de kernenergiecentrale Borssele) is het principe van lek-voor-breek van toepassing indien:

- de kwaliteit van de betreffende componenten met betrekking tot de basiszekerheid ten aanzien van de wezenlijke eisen vergelijkbaar is met de huidige stand der techniek respectievelijk dat afwijkende kenmerken veiligheidstechnisch als toelaatbaar beoordeeld zijn;
- het lek-voor-breek gedrag aangetoond is;
- door redundante maatregelen tijdens de totale bedrijfstijd de uitsluiting van een grote breuk verzekerd is.

De hoog-energetische leidingen waarvoor breuken op grond van het principe van lek-voor-breek zijn uitgesloten zijn:

- hoofdkoelmiddelleidingen (YA)
- volumevereffeningsleiding (YP)
- hoofdstoomleidingen (RA) binnen de secundaire afscherming ~~(in de ringruimte (o<sub>2</sub>) door middel van een dubbelwandige leiding)~~
- hoofdvoedingswaterleidingen (RL) binnen de secundaire afscherming ~~(in de ringruimte door middel van een dubbelwandige leiding)~~
- noodvoedingswaterleidingen (RL) en leidingen van het secundair reserve suppletiesysteem (RS) tussen de eerste terugslagklep, de

stoomgenerator en de hoofdvoedingswaterleidingen.

Aanvankelijk is het lek-voor-breek gedrag van deze leidingen onderzocht voor een bedrijfsduur van veertig jaar. Later is aangetoond dat ook voor een bedrijfsduur van zestig jaar breuken op grond van het principe lek-voor-breek zijn uitgesloten.

Alhoewel breuken van deze hoog-energetische leidingen zijn uitgesloten, worden rondgaande scheuren resulterend in twee volledige breukoppervlakken, toch verondersteld met het oog op:

- noodkoeling van de kern
- drukopbouw binnen de veiligheidsomhulling
- ongevalsbestendigheid van elektrische en meet/regelapparatuur.

Voor hoog-energetische leidingen waarvoor het principe van lek-voor-breek niet kan worden aangetoond is een benadering gevolgd op basis van het volgende concept:

- een potentiële breuk is verondersteld bij iedere discontinuïteit van het materiaal en/of de geometrie in het leidingsysteem;
- iedere interactie tussen een breuk en een veiligheidsrelevante component is geanalyseerd en het risico van de interactie is berekend;
- indien het risico een bepaalde waarde overschrijdt, zijn beschermende maatregelen getroffen.

## Verouderingsbeheersing

### 3.7 Verouderingsbeheersing

Veroudering is het proces waardoor de fysische eigenschappen van een structuur of component onder invloed van specifieke omgevings- en/of bedrijfscondities als functie van de tijd veranderen. Veroudering kan leiden tot degradatie van de functionaliteit, of in het uiterste geval tot falen, van een structuur, systeem of component. Om dit te voorkomen zijn activiteiten gedefinieerd en maatregelen genomen die zekerstellen dat veiligheids- en veiligheidsrelevante structuren, systemen en componenten hun beoogde functie gedurende de gehele bedrijfsduur kunnen (blijven) vervullen. Het geheel van activiteiten en maatregelen wordt aangeduid met verouderingsbeheersing.

Verouderingsbeheersing begint bij het ontwerp door onder andere gebruik te maken van geschikte materialen en rekening te houden met de (toekomstige) omgevings- en/of bedrijfscondities en inspecties. Ook bij de fabricage/constructie en inbedrijfname is verouderingsbeheersing van belang door onder andere registratie van inspecties/beproevingresultaten en vastlegging van eventuele afwijkingen. Tijdens normaal bedrijf moet de mogelijke veroudering worden gevolgd en indien noodzakelijk maatregelen worden getroffen. Hiervoor vinden periodieke beproevingen en inspecties, (preventief) onderhoud en monitoring plaats.

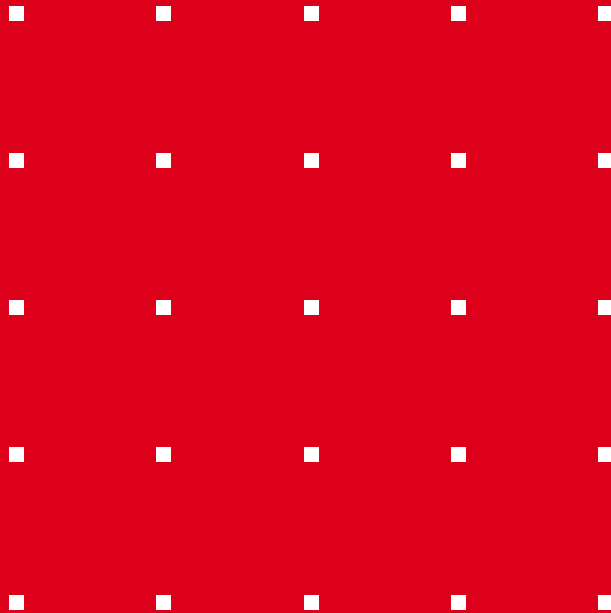
In 2011 is de verouderingsbeheersing voor alle veiligheids- en veiligheidsrelevante structuren, systemen en componenten op volledigheid (afdekking van relevante delen en van verouderingsmechanismen) en op geschiktheid getoetst.

## Colofon

Teksten en productie EPZ

Fotografie Ruden Riemens, Middelburg / Archief EPZ

Vormgeving & digitaal drukwerk Chris Cras Reclame, Lekkerkerk



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

