

1367-49

# Aanpassingen van het Veiligheidsrapport Kerncentrale Borssele

*Wijzigingen in het veiligheidsrapport als gevolg van de  
toepassing van een verrijkingsgraad tot maximaal 4,4%*

W.A.G. van der Mheen

Arnhem

23 Februari 2004

21159/03.52426/C

**Aanpassingen van het  
Veiligheidsrapport  
kerncentrale Borssele**

*Wijzigingen in het veiligheidsrapport  
als gevolg van de toepassing van een  
verrijkingsgraad tot maximaal 4,4%*

W.A.G. van der Mheen

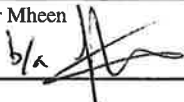
Arnhem, 23 februari 2004

21159/03.52426/C

In opdracht van EPZ

---

auteur : W.A.G. van der Mheen



beoordeeld: A.J. Geutjes



8 blz PPT/WvdM

goedgekeurd : G.M. van Dijk

kcb-vr deltarapport (23-02-04).doc

---

© NRG 2003

Behoudens hetgeen met de opdrachtgever is overeengekomen, mag in dit rapport vervatte informatie niet aan derden worden bekendgemaakt en is NRG niet aansprakelijk voor schade door het gebruik van deze informatie.

## **Inhoudsopgave**

<b>Lijst van figuren</b>	<b>3</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>5</b>
<b>2 Omschrijving van de wijzigingen</b>	<b>5</b>

## Lijst van figuren

figuur 1 Void-krommes zoals toegepast in de ATWS-analyses van revisie 3 en 4 van het veiligheidsrapport

7

## **Samenvatting**

Dit document bevat als bijlage 2 van de vergunningsaanvraag de aanpassingen van het “Veiligheidsrapport Kernenergie eenheid centrale Borssele” met alle wijzigingen gerelateerd aan de verhoging van de verrijkingsgraad tot 4,4% zoals deze in het Veiligheidsrapport moeten worden opgenomen.

Deze aanpassingen worden vooraf gegaan door een toelichting.

## **1 Inleiding**

Dit document heeft tot doel om aan te geven wat de verschillen zijn tussen revisie 3 en 4 van het "Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele 1993". De revisie 4 van het veiligheidsrapport is opgesteld in het kader van het aanvragen van een vergunningswijziging voor de toepassing van splijtstof met een verrijkingsgraad tot 4,40%. Per hoofdstuk of paragraaf van het veiligheidsrapport wordt globaal aangegeven wat gewijzigd wordt en wat de reden van de betreffende wijziging is.

## **2 Omschrijving van de wijzigingen**

Hieronder wordt voor ieder hoofdstuk of paragraaf welke wordt gewijzigd bij de totstandkoming van revisie 4 van het veiligheidsrapport aangegeven wat deze wijziging globaal inhoud en wat de reden voor de wijziging is. Alle niet vermelde hoofdstukken of paragrafen blijven ongewijzigd.

### 4.2 Inleiding

Wijziging in de tekst, de tabel en de figuur met betrekking tot de gewijzigde standtijd van de splijtstofelementen in de kern en de nieuwe initiële verrijkingsgraad van 4,40% (pag 4.2-1, 4.2-2, 4.2-4).

### 4.3.2 Beschrijving van de constructie

Wijziging in de tekst en de figuur met betrekking tot het veranderde skelet van de splijtstofelementen (pag 4.3-3).

### 9.1.2 Opslag van gebruikte splijtstofelementen

Wijziging als gevolg van de wijziging in verrijkingsgraad en opbrand van de gebruikte elementen. Het oorspronkelijk aangegeven beladingspatroon wordt zodanig aangepast dat onder alle omstandigheden aan de kritikaliteitseis wordt voldaan. Door het gebruik van compactrekken beschikt KCB, ook bij het herziene beladingspatroon over meer dan 500 opslagposities. Evenals in de oude situatie zal KCB niet meer dan het vergunde aantal opslagposities van 500 gebruiken (pag. 9.1-2).

### 11.1.1 Inventaris van de reactorkern

De tabel 11.1/1 is aangepast met betrekking tot de gemiddelde opbrand en de nuclideninventaris behorende bij de nieuwe splijtstofelementen (pag 11.1-2 t.m. 11.1-4).

### 11.7 Afvoer van gebruikte splijtstofelementen

Vermelding van het afvalopslaggebouw als plaats waar de transportcontainer tijdelijk wordt ondergebracht is toegevoegd (pag. 11.7-1).

## 12 Stralingsbescherming

Diverse aanvullingen m.b.t. het tijdelijk onderbrengen in het afvalopslaggebouw van transportcontainers beladen met afgewerkte splijtstofelementen (pag. 12.2-1, 12.3-2 en 12.3-3).

### 12.5.2 Effecten

De tekst is aangepast met betrekking tot aanpassingen in het Nederlandse beleid ten aanzien van lage doses (pag 12.5-3, 12.5-4).

### 15.2.12 Breuk van een hoofdkoelmiddelleiding (PIE 7.2.3)

De hogere splijtstofopbrand beïnvloedt de warmteweerstand in de overgang splijtstofpellets naar de splijtstofbekleding zodanig dat de bestaande analyse van de breuk in een hoofdkoelmiddelleiding deze niet meer afdekt. De hogere warmteweerstand leidt tot hogere temperaturen van de splijtstof en tot een hogere waarde van de opgeslagen energie. In de ongevalfase waarbij de kern niet met koelmiddel wordt bedekt leiden de hogere splijtstoftemperaturen tot hogere temperaturen van de splijtstofbekleding. Om deze reden is de analyse herhaald. Het resultaat toont aan dat ruimschoots aan de beschermingsdoelen wordt voldaan. De analyse is uitgevoerd uitgaande van de gebruikelijke conservatieve condities voor vermogen, vervalwarmte en axiale vermogensverdeling. Hierbij kan worden opgemerkt dat de oorspronkelijke berekening uitgevoerd is onder aanname van een reactorvermogen van 112%. Deze waarde was echter gekozen als onderdeel van een onderzoek naar de mogelijkheden voor vermogensverhoging. Volgens de geldende regelgeving dient voor de ongevalanalyses te worden uitgegaan van een reactorvermogen van 106 % (pag 15.2-65 t.m. 15.2-68).

### 15.2.16 Bedrijfstransiënten waarbij een hypothetisch uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (ATWS) (PIE 10.5)

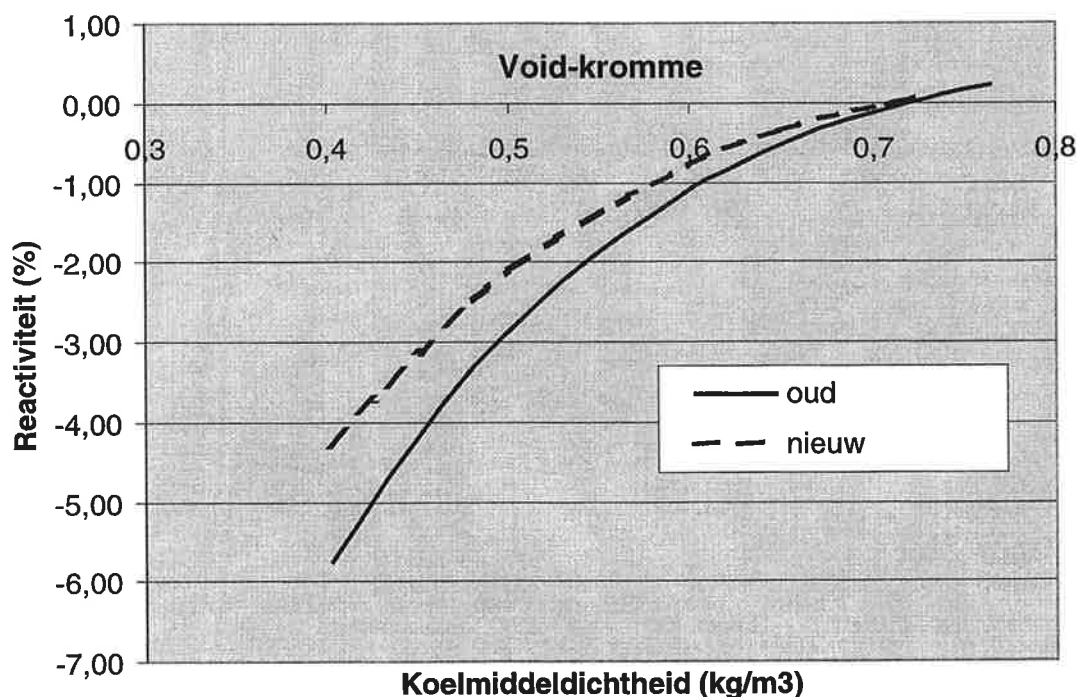
- De beschrijving en de figuren in deze paragraaf zijn gewijzigd omdat de veiligheidsanalyse die hiervoor als basis dient is veranderd.

Het verschil tussen de oude en de nieuwe analyse wordt voornamelijk bepaald door de Voidkromme. Deze kromme bepaalt de mate van terugkoppeling van de moderatordichtheid op de reactiviteit. Deze terugkoppeling is de bepalende parameter voor de ATWS-analyse.

In figuur 1 zijn de voidkrommes zoals die zijn toegepast in de beide analyses weergegeven. Zoals uit figuur 1 blijkt is de void-kromme van de in revisie 4 van het veiligheidsrapport toegepaste veiligheidsanalyse minder steil, met als gevolg dat de reactiviteitsterugkoppeling geringer is. Deze geanalyseerde situatie is daarom moeilijker te beheersen door de installatie.

De in de veiligheidsanalyse toegepaste void-kromme wordt voor iedere cyclus gebruikt als grenskromme. Van de werkelijke void-kromme van iedere reactorkern dient aangetoond te worden dat deze onder deze grenskromme ligt (steiler is). Daarmee wordt gewaarborgd dat de ATWS-analyse afdekkend blijft voor iedere toegepaste kern. Hierbij dient tegenwoordig

gecorrigeerd te worden voor het spectraaleffect. Dit betreft de afhankelijkheid van de void-kromme voor het neutronenspectrum. Door deze correctie wordt de voidkromme minder steil. Om die reden is het van belang om de nieuwere analyse met de vlakkere void-kromme in het veiligheidsrapport op te nemen.



figuur 1 Void-krommes zoals toegepast in de ATWS-analyses van revisie 3 en 4 van het veiligheidsrapport

Een tweede verschil tussen de beide veiligheidsanalyses betreft de randvoorwaarden. Bij de oude analyse is als extra conservatisme het niet beschikbaar zijn van het noodvoedingswatersysteem (RL) en het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB) verondersteld. Ook was het afschakelen van de turbine (TUSA) als gevolg van het signaal RL-RELEB als niet werkzaam verondersteld. Dit betreft overconservatieve randvoorwaarden die, conform de RSK-LL20, niet hoeven te worden gebruikt. In de nieuwe analyse van 2000 zijn deze randvoorwaarden daarom niet toegepast (pag 15.2-85 t.m. 15.2-89)

### 15.3 Radiologische analyses

Vervanging/wijziging van de gehele paragraaf op basis van de toepassing van de nuclideninventaris van de splijtstofelementen met een beginverrijkingsgraad van 4,40% en aangepaste regelgeving met betrekking tot de radiologische berekeningen (pag 15.3-1 t.m. 15.3-53).



#### 20.4.2 Vermindering van de hoeveelheid waterstof binnen de veiligheidsomhulling

De laatste zin met betrekking tot nader onderzoek dat anno 1997 plaatsvond is verwijderd omdat dit onderzoek niet meer in dit kader plaatsvindt. De beheersing van waterstof binnen de veiligheidsomhulling is nog wel een aandachtspunt waarvoor de ontwikkelingen in de wereld gevolgd worden. Dit onderwerp maakt in dat kader ook onderdeel uit van de huidige 10-jarlijkse evaluatie (pag 20.4-3).

## Uitwisselingstabel

Bijgaand ontvangt u de update van VR-KCB93, rev. 4

<b>Te verwijderen</b>	<b>Toe te voegen</b>
<b>Titelblad band 1</b>	<b>Titelblad band 1</b>
	<b>revisie-overzicht revisie 4</b>
<b>pag. 4.2-1</b>	<b>pag. 4.2-1</b>
<b>pag. 4.2-2</b>	<b>pag. 4.2-2</b>
<b>pag. 4.2-4</b>	<b>pag. 4.2-4</b>
<b>pag. 4.3-3</b>	<b>pag. 4.3-3</b>
<b>Titelblad band 2</b>	<b>Titelblad band 2</b>
	<b>revisie-overzicht revisie 4</b>
<b>pag. 9.1-2</b>	<b>pag. 9.1-2</b>
<b>pag. 11.1-2 t.m. 11.1-4</b>	<b>pag. 11.1-2 t.m. 11.1-4</b>
<b>pag. 11.7-1</b>	<b>pag. 11.7-1</b>
<b>pag. 12.2-1</b>	<b>pag. 12.2-1</b>
<b>pag. 12.3-2</b>	<b>pag. 12.3-2</b>
<b>pag. 12.3-3</b>	<b>pag. 12.3-3</b>
<b>pag. 12.5-3</b>	<b>pag. 12.5-3</b>
<b>pag. 12.5-4</b>	<b>pag. 12.5-4</b>
<b>pag. 15.2-65 t.m. 15.2-68</b>	<b>pag. 15.2-65 t.m. 15.2-68</b>
<b>pag. 15.2-85 t.m. 15.2-89</b>	<b>pag. 15.2-85 t.m. 15.2-89</b>
<b>pag. 15.3-1 t.m. 15.3-59</b>	<b>pag. 15.3-1 t.m. 15.3-53</b>
<b>pag. 20.4-3</b>	<b>pag 20.4-3</b>

# Veiligheidsrapport

**Kernenergie-eenheid centrale Borssele**

**1993**

**BAND 1**

Opgesteld door: N.V. KEMA  
Siemens / KWU

In opdracht van: N.V. EPZ  
VR-KCB93, Rev. 4

Gecontroleerd:	Datum:	Goedgekeurd:	Datum:
----------------	--------	--------------	--------

**Band 1****Revisie-overzicht revisie 4 (februari 2004)**

**De wijzigingen zijn door middel van arceringen gemarkeerd.**

<b>Paragraaf</b>	<b>blz.</b>
--	<b>Titelblad</b>
<b>4.2</b>	<b>4.2-1</b>
<b>4.2</b>	<b>4.2-2</b>
<b>4.2</b>	<b>4.2-4</b>
<b>4.3.2</b>	<b>4.3-3</b>

## 4.2 Inleiding (tabel 4.2/1, figuur 4.2/1 en 4.2/2)

De reactor is samengesteld uit de reactorkern met regelementen en smoolementen, het binnenwerk van het reactorvat (paragraaf 5.2.2), de regelstaafaandrijving (paragraaf 5.2.3) en het reactorvat (paragraaf 5.2.1). In dit hoofdstuk worden alleen de reactorkern en het functionele ontwerp van de reactiviteitscontrolesystemen behandeld. Bij behandeling van de reactorkern worden onderscheiden gemaakt in de volgende 3 aspecten: splijstofelement, neutronenfysica en thermohydrauliek.

De reactorkern is de nucleaire warmtebron van de kernenergiecentrale. Hij is bevestigd in de kernhouder en is samengesteld uit in totaal 121 splijstofelementen. Alle splijstofelementen zijn in principe identiek geconstrueerd maar kunnen van elkaar verschillen waar het de verrijking betreft. Op 28 posities in de kern kan een regelement in het splijstofelement geschoven worden (figuur 4.2/1).

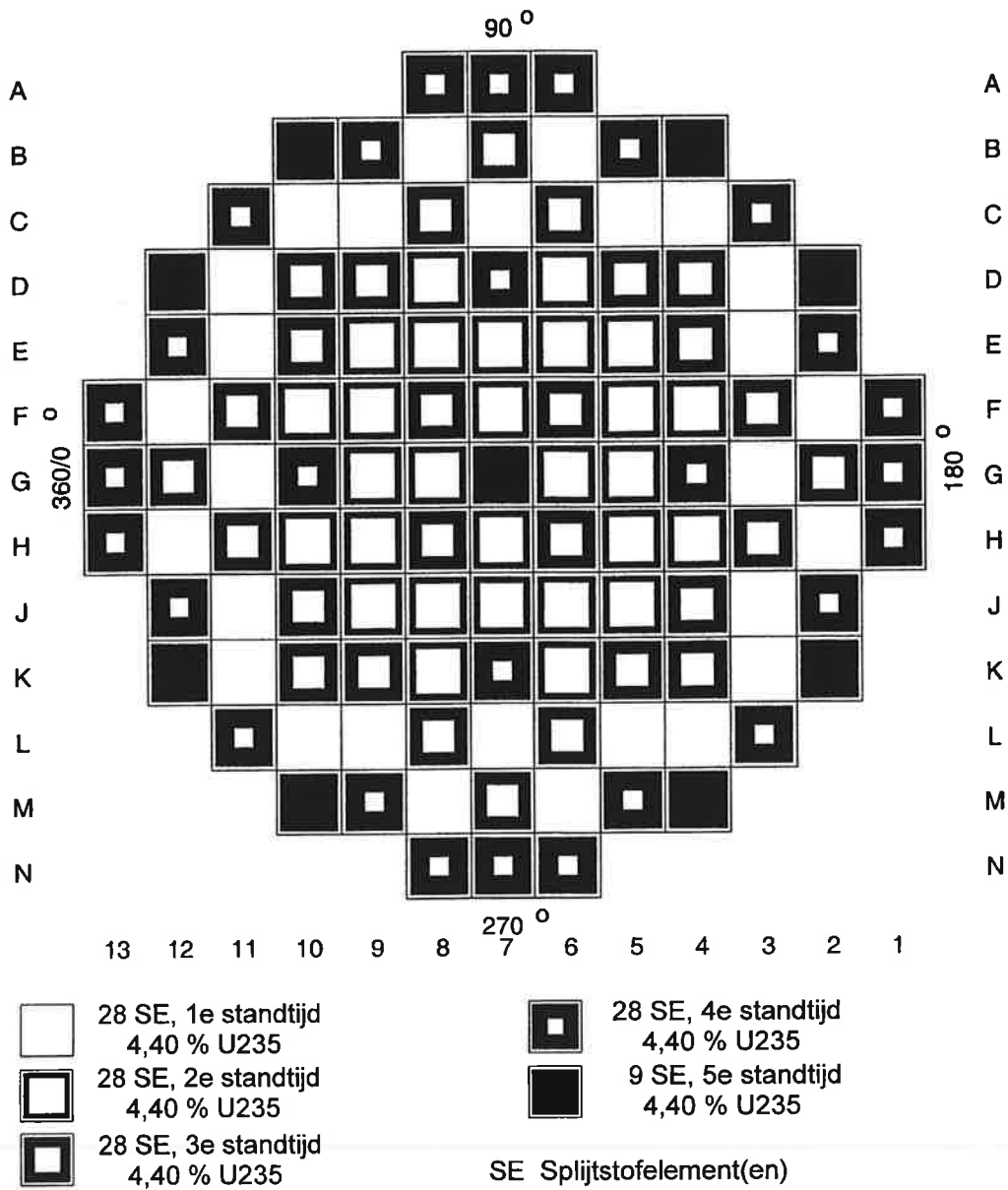
Na elke splijstofcyclus wordt telkens een deel van de splijstofelementen vervangen afhankelijk van de geplande cycluslengte. Ter illustratie is een karakteristieke kern weergegeven in figuur 4.2/2. Deze bevat splijstofelementen tot aan de vijfde standtijd en initiële verrijking van  $4,40 \pm 0,05 \% \text{ }^{235}\text{U}$ .

Het hoofdkoelmiddel, dat ook als moderator fungeert en opgelost borium bevat, komt door twee inlaatstompen het reactorvat binnen en stroomt in de ringvormige ruimte tussen de kernhouder en het reactorvat omlaag. Op de bolvormige bodem wordt de stroomrichting omgekeerd. Het hoofdkoelmiddel stroomt dan in opwaartse richting door de kern en verlaat het reactorvat weer door twee uitlaatstompen.

Tabel 4.2/1 geeft een overzicht van de belangrijkste gegevens met betrekking tot de reactorkern. De in deze tabel opgenomen waarden zijn indicatieve waarden. De aangegeven afmetingen zijn nominale waarden bepaald voor koude toestand (20 °C).

Tabel 4.2/1 Belangrijkste gegevens betreffende de reactorkern

Bedrijfsdruk (uittreden reactorvat)	155	bar
Koelmiddeltemperatuur:		
inlaat	292,5	°C
uitlaat	317,5	°C
Ingestelde gemiddelde koelmiddeltemperatuur	305	°C*
Hoofdkoelmiddeldebiet (ontwerp van de pompen)	10000	kg/s
Aantal splijstofelementen	121	
Aantal regelementen	28	
Aantal afstandshouders per splijstofelement	7	
Type splijstofelement	15 x 15 - 20	
Actieve lengte van de splijstofstaven	2650	mm
Buitendiameter van de splijstofstaven	10,75	mm
Totaalgewicht per splijstofelement	circa 508	kg
Thermisch vermogen van de reactor	1365,6	MW
Gemiddelde vermogensdichtheid van de reactorkern (heet)	90,2	kW/dm <sup>3</sup>
Gemiddeld specifiek splijstofvermogen	35,6	kW/kgU
Gemiddeld lineïek vermogen van een splijstofstaaf	202,7	W/cm
gemiddelde warmteflux	59,9	W/cm <sup>2</sup>
Splijstof	UO <sub>2</sub>	
<sup>235</sup> U-verrijking van de splijstof	circa 4,40 + 0,05 % (gewicht)	
Hoeveelheid uranium	39.10 <sup>3</sup>	kg
Minimale DNB-verhouding (ontwerp)	1,30	
Heet-kanaal-factoren (ontwerplimietwaarden):		
F <sub>q</sub>	2,80	
F <sub>ΔH</sub>	1,80	
Grenswaarden voor de ongevalsanalyses:		
Maximale splijstofomhullingstemperatuur bij (koelmiddelverlies)ongevallen	1200	°C
Maximale enthalpieverhoging, gemiddeld over een splijstoftablet, bij ongevallen	966	J/g
* Ontwerpwaarde gemiddelde koelmiddeltemperatuur	307,4	°C



**Figuur 4.2/2 Karakteristiek beladingsplan**

De gasvormige splijtingsproducten die tijdens het bedrijf van de reactor uit de splijtstof vrijkomen, worden voornamelijk in de daarvoor bedoelde gasruimten aan de uiteinden van de splijtstofstaven verzameld.

Om de belasting van de huls door de koelmiddeldruk kleiner te maken en om de warmte-overdracht te verbeteren, krijgen de splijtstofstaven bij de fabricage een inwendige druk van circa 17 bar. Als vulgas wordt helium gebruikt, dat voor een goede warmte-overdracht tussen de splijtstof en de huls zorgt.

#### Skelet van het splijtstofelement

Het skelet van het splijtstofelement bestaat uit de afstandshouders, de geleidingsbuizen en de kop en voet van het splijtstofelement. Aan de kop van het splijtstofelement zijn de geleidingsbuizen vastgelast of vastgeschroefd en aan de voet zijn zij vastgeschroefd. De voet van het splijtstofelement is tevens voorzien van een filter die voorkomt dat restdeeltjes die eventueel in het koelmiddel kunnen voorkomen, het element binnendringen en schade veroorzaken aan de splijtstofstaven.

De afstandhouders zorgen ervoor, dat de splijtstofstaven binnen het splijtstofelement een vaste afstand tot elkaar innemen en houden. Zij bestaan uit dunwandige strips van inconel of zircaloy (een zirconium legering). De splijtstofstaven worden verend ingeklemd. De constructie van de afstandhouders is zodanig dat deze ook als flowmixers dienst doen.

De geleidingsbuizen maken deel uit van het skelet van het splijtstofelement en hebben tot taak, de regelstaven te geleiden en deze bij een snelle afschakeling tijdens het laatste gedeelte van hun val hydraulisch af te remmen. Zij zijn verdeeld in twee stukken: de eigenlijke geleidingsbuis en het hydraulische dempergedeelte aan de onderkant. Voor de geleidingsbuizen is een zirconiumlegering toegepast.

Om de radiale positie van het splijtstofelement in de reactorkern te fixeren, zijn in de kop en de voet centreergaten aangebracht. Om de axiale positie van het splijtstofelement te handhaven, bevindt zich in de kop een constructie waardoor het splijtstofelement naar beneden gehouden wordt.

#### Regelement

Elk regelement bestaat uit 20 regelstaven, die aan een spinvormige constructie bevestigd zijn. Aan deze spin kan de aandrijfstang worden gekoppeld. Elk van de 20 regelstaven is opgebouwd uit een metalen huls waarin zich een absorber bevindt. Deze absorber bestaat uit 80% zilver, 15% indium en 5% cadmium. De huls is aan de boven- en onderzijde met proppen afgesloten. De bovenste prop is verbonden met de spin. De prop aan de onderzijde fungeert als stromingslichaam in het hydrodynamische dempergedeelte van de geleidebuis in het splijtstofelement. Om te voorkomen dat het regelement hard op de kopplaat van het splijtstofelement neerkomt, is in de spin een drukveer ingebouwd.



# Veiligheidsrapport

**Kernenergie-eenheid centrale Borssele**

**1993**

**BAND 2**

Opgesteld door: N.V. KEMA  
Siemens / KWU

In opdracht van: N.V. EPZ  
VR-KCB93, Rev. 4

Gecontroleerd:	Datum:	Goedgekeurd:	Datum:
----------------	--------	--------------	--------

**Band 2****Revisie-overzicht revisie 4 (februari 2004)**

De wijzigingen zijn door middel van arceringen gemarkeerd.

<b>Paragraaf</b>	<b>blz.</b>
--	<b>Titelblad</b>
<b>9.1.2</b>	<b>9.1-2</b>
<b>11.1.1</b>	<b>11.1-2 t/m 11.1-4</b>
<b>11.7</b>	<b>11.7-1</b>
<b>12.2</b>	<b>12.2-1</b>
<b>12.3.1</b>	<b>12.3-2</b>
<b>12.3.1</b>	<b>12.3-3</b>
<b>12.5.2</b>	<b>12.5-3</b>
<b>12.5.2</b>	<b>12.5-4</b>
<b>15.2-12</b>	<b>15.2-65 t/m 15.2-68</b>
<b>15.2.16</b>	<b>15.2-85 t/m 15.2-89</b>
<b>15.3</b>	<b>15.3-1 t/m 15.3-53</b>
<b>20.4.2</b>	<b>20.4-3</b>

### 9.1.2 Opslag van gebruikte splijstofelementen

Gebruikte splijstofelementen worden in het SOB bewaard totdat ze afgevoerd worden uit de centrale. Het SOB bevindt zich binnen de veiligheidsomhulling en is zo verbonden met het reactorbassin, dat de splijstofwisselmachine zowel boven het SOB als het reactorbassin kan komen. De bekleding van het SOB en het reactorbassin bestaat uit roestvaste stalen platen. De bekleding kan gecontroleerd worden op lekkage met behulp van het installatieontwaterings- en ontluchtingssysteem (TY). Het geboreerde water in het SOB dient om de gebruikte splijstofelementen te koelen. Verder dient het ter afscherming van de ioniserende straling van de gebruikte splijstofelementen en eventueel in het bassin opgeslagen geactiveerde of besmette constructiedelen.

De opening die het SOB met het reactorbassin verbindt is door een stalen schuif en betonnen afschermbalken afgesloten wanneer de reactor in bedrijf is. Via deze opening kunnen de splijstofelementen onder water verplaatst worden. Deze opening is voorzien van een drempel die zo hoog is dat ook in het geval van lekkage de stalen schuif of lekkage van het primair systeem tijdens de splijstofwisseling de splijstofelementen onder water blijven staan zodat de koeling gewaarborgd blijft. Het reactorbassin wordt gevuld met geboreerd water uit de kerninundatievoorraadtanks met behulp van de kerninundatiepompen (TJ) voordat een splijstofwisseling plaats vindt. Op deze wijze wordt de noodzakelijke afscherming tijdens het transport van de splijstofelementen van de reactor naar het SOB verzorgd.

In het SOB bevinden zich compactrekken waarin het vergunde totaal van 500 splijstofelementen kan worden opgeslagen. Deze rekken zijn voorzien van neutronenabsorberend materiaal tussen de posities waar de elementen staan. Tevens zijn een aantal opslagposities afgesloten, volgens een bepaald patroon. De combinatie van deze twee voorzieningen garandeert onder alle omstandigheden de vereiste onderkriticaliteit bij belading met splijstofelementen die een verrijkingsgraad hebben van 4,40 %. Tot de opslagrekken behoren ook de 15 posities in een demonteerbare stelling; ter plaatse van deze stelling kan in de periode tussen de splijstofwisselingen de transportcontainer voor de afvoer van splijstofelementen geplaatst worden.

Naast opslagrekken is er ook plaats aanwezig voor de opslag van de aandrijfstukken van de regelementen. Tevens zijn er voorzieningen aanwezig voor het inspecteren en voor het uitvoeren van kleine reparaties aan eventuele defecte splijstofelementen, evenals apparatuur voor het uitvoeren van controles om eventuele lekkage van splijstofstaven te bepalen.

**Tabel 11.1/1 Kerninventaris van een evenwichtskern met gemiddelde opbrand  
(39 MWd/kgU)**

Nuclide	Halveringstijd (d)	Activiteit (.10 <sup>15</sup> Bq)
<sup>24</sup> Na	0,623	0,44
<sup>51</sup> Cr	27,7	67
<sup>54</sup> Mn	312	1,9
<sup>56</sup> Mn	0,108	13
<sup>55</sup> Fe	986	9,8
<sup>59</sup> Fe	45	0,92
<sup>58</sup> Co	71	11
<sup>60</sup> Co	1940	14
<sup>59</sup> Ni	2,7.10 <sup>7</sup>	0,0054
<sup>65</sup> Ni	0,105	2,0
<sup>65</sup> Zn	244	0,15
<sup>69m</sup> Zn	0,579	0,0096
<sup>83m</sup> Kr	0,0763	156
<sup>85m</sup> Kr	0,187	350
<sup>85</sup> Kr	3913	16
<sup>87</sup> Kr	0,053	645
<sup>88</sup> Kr	0,117	917
<sup>86</sup> Rb	18,7	1
<sup>89</sup> Sr	52,1	1310
<sup>90</sup> Sr	10260	137
<sup>91</sup> Sr	0,395	1580
<sup>92</sup> Sr	0,113	1680
<sup>90m</sup> Y	0,133	0,026
<sup>90</sup> Y	2,67	142
<sup>91</sup> Y	58,6	1700
<sup>91m</sup> Y	0,035	912
<sup>92</sup> Y	0,148	1690
<sup>93</sup> Y	0,421	1940
<sup>93</sup> Zr	5,5.10 <sup>8</sup>	0,005
<sup>95</sup> Zr	65,8	2290
<sup>97</sup> Zr	0,698	2200
<sup>95m</sup> Nb	3,61	28
<sup>95</sup> Nb	35,0	2340
<sup>97</sup> Nb	0,975	2220
<sup>99m</sup> Tc	0,251	2060
<sup>99</sup> Tc	7,7.10 <sup>7</sup>	0,024

**Tabel 11.1/1 Kerninventaris van een evenwichtskern met gemiddelde opbrand  
(39 MWd/kgU) (vervolg)**

Nuclide	Halveringstijd (d)	Activiteit (.10 <sup>15</sup> Bq)
<sup>103</sup> Ru	39,5	2060
<sup>105</sup> Ru	0,185	1320
<sup>106</sup> Ru	370	705
<sup>103m</sup> Rh	0,039	2060
<sup>105</sup> Rh	1,48	1200
<sup>111</sup> Ag	7,5	67
<sup>124</sup> Sb	60,3	0,60
<sup>125</sup> Sb	1010	15
<sup>126</sup> Sb	12,4	0,86
<sup>127</sup> Sb	3,80	121
<sup>128</sup> Sb	0,375	21
<sup>129</sup> Sb	0,181	412
<sup>130</sup> Sb	0,028	186
<sup>125m</sup> Te	58	3,2
<sup>127m</sup> Te	109	18
<sup>127</sup> Te	0,389	120
<sup>129m</sup> Te	33,4	107
<sup>129</sup> Te	0,048	391
<sup>131m</sup> Te	1,25	194
<sup>132</sup> Te	3,25	1820
<sup>133m</sup> Te	0,038	991
<sup>134</sup> Te	0,029	2030
<sup>130</sup> I	0,515	1,2
<sup>131</sup> I	8,04	1280
<sup>132</sup> I	0,096	1860
<sup>133</sup> I	0,866	2640
<sup>134</sup> I	0,036	2850
<sup>135</sup> I	0,275	2440
<sup>131m</sup> Xe	12,0	9
<sup>133m</sup> Xe	2,19	377
<sup>133</sup> Xe	5,28	2640
<sup>135</sup> Xe	0,382	585
<sup>134m</sup> Cs	0,121	96
<sup>134</sup> Cs	750	454

**Tabel 11.1/1 Kerninventaris van een evenwichtskern met gemiddelde opbrand  
(39 MWd/kgU) (vervolg)**

Nuclide	Halveringstijd (d)	Activiteit (.10 <sup>15</sup> Bq)
<sup>136</sup> Cs	13,0	83
<sup>137</sup> Cs	10900	183
<sup>138</sup> Cs	0,022	2270
<sup>139</sup> Ba	0,057	2330
<sup>140</sup> Ba	12,8	2280
<sup>140</sup> La	1,67	2350
<sup>141</sup> La	0,164	2160
<sup>142</sup> La	0,0642	2090
<sup>141</sup> Ce	32,5	2160
<sup>143</sup> Ce	1,38	2010
<sup>144</sup> Ce	284	1760
<sup>143</sup> Pr	13,6	2000
<sup>145</sup> Pr	0,249	1350
<sup>147</sup> Nd	11,0	907
<sup>147</sup> Pm	956	154
<sup>148m</sup> Pm	41,3	57
<sup>148</sup> Pm	5,37	284
<sup>149</sup> Pm	2,21	888
<sup>151</sup> Pm	1,17	246
<sup>152m</sup> Eu	0,0667	0,626
<sup>152</sup> Eu	4530	0,019
<sup>154</sup> Eu	3210	21,6
<sup>155</sup> Eu	1810	4,76
<sup>156</sup> Eu	15,2	345
<sup>238</sup> Np	2,12	660
<sup>239</sup> Np	2,35	24700
<sup>238</sup> Pu	32500	6,17
<sup>239</sup> Pu	8,9.10 <sup>6</sup>	0,432
<sup>240</sup> Pu	2,5.10 <sup>6</sup>	0,613
<sup>241</sup> Pu	5350	137
<sup>241</sup> Am	1,6.10 <sup>5</sup>	0,141
<sup>242m</sup> Am	55500	0,015
<sup>242</sup> Am	0,666	80
<sup>243</sup> Am	2,7.10 <sup>6</sup>	0,022
<sup>242</sup> Cm	163	47
<sup>243</sup> Cm	10100	0,006
<sup>244</sup> Cm	6630	8

## 11.7 Afvoer van gebruikte splijtstofelementen

De gebruikte splijtstofelementen worden gedurende een bepaalde tijd waarin de activiteit van de elementen door natuurlijk verval afneemt opgeslagen in het splijtstofopslagbassin (zie paragraaf 9.1.2). Na deze opslag worden ze afgevoerd voor verwerking en/of opslag elders. Het transport vindt plaats in speciaal voor dit doel ontworpen splijtstoftransportcontainers. Deze containers zijn op basis van internationale normen gekeurd. Tijdens het transport komen op geen enkele wijze radioactieve stoffen vrij en het stralingsniveau van de containers voldoet aan de daarvoor geldende wettelijke normen.

In het kader van de uitvoering van transporten, mogelijk met meerdere transportcontainers tegelijk, worden deze containers soms tijdelijk geplaatst in het afvalopslaggebouw, in het machinehuis of in de open lucht op het terrein van de centrale. De werkwijze en voorwaarden voor deze tijdelijke opslag zijn vastgelegd in procedures en werkinstructies.

In het kader van het Verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens vinden bij de kernenergiecentrale Borssele regelmatig inspecties van de splijtstofinventaris plaats door het Internationale Atoom Energie Agentschap te Wenen in samenwerking met Euratom.

## 12.2 Stralingsbronnen

De belangrijkste stralingsbron wordt gevormd door de reactorkern (zie paragraaf 11.1.1). Deze zendt, voor zover van belang voor de stralingsbescherming, voornamelijk snelle neutronen en gammastraling uit. De neutronen komen vrij bij de splijting van uraniumkernen. De gammastraling is afkomstig van de door splijting gevormde vervalproducten en ontstaat daarnaast als gevolg van het invangen van neutronen in de reactorkern, het water en de afschermingmaterialen. De activering van het beton rond het reactorvat kan bij een afgeschakelde reactor een grotere bijdrage leveren aan het ter plaatse heersende stralingsniveau.

Het hoofdkoelmiddel is eveneens een belangrijke stralingsbron (zie paragraaf 11.1.2). Het stikstofisotoop  $^{16}\text{N}$  levert tijdens bedrijf de belangrijkste bijdrage aan de uitgezonden straling. Na afschakeling vervalt dit nuclide snel waarna de overige in het primair systeem aanwezige radioactiviteit van belang is. Het hoofdkoelmiddel veroorzaakt tevens radioactiviteit in de verschillende andere nucleaire systemen waardoor deze ook als stralingsbron beschouwd moeten worden.

De splijtstofelementen die in het splijtstofopslagbassin zijn opgeslagen gelden als een belangrijke stralingsbron. Dit geldt vooral voor de gebruikte elementen die kort geleden uit de reactorkern verwijderd zijn.

De lucht in het reactorgebouw (01/02) en het reactorhulpgebouw (03) kan eveneens radioactiviteit bevatten (zie paragraaf 11.1.3), waardoor enige stralingsbelasting veroorzaakt kan worden.

In het afvalopslaggebouw (34) worden radioactieve stoffen opgeslagen. Het betreft vaten met afval en eventueel met geactiveerde constructiedelen. Deze dienen eveneens als stralingsbron beschouwd te worden.

In verband met transport bevinden zich soms splijtstoftransportcontainers (zowel voor nieuwe als voor bestraalde splijtstof), op het terrein van de kerncentrale die gedurende enige tijd geplaatst kunnen worden in het reactorgebouw (1), het afvalopslaggebouw (34), de transportgang van het machinehuis (4) of op geschikte plaatsen in de open lucht. Deze containers kunnen ook enige stralingsbelasting veroorzaken.



De temperatuur van het biologisch schild wordt laag gehouden dooreen koelsysteem van het biologisch schild (TM) om optredende spanningen in het beton te beperken. Boven de kern wordt de afscherming tijdens vermogensbedrijf gevormd door het koelmiddel, het vatdeksel en afdekbalken van beton. Door de relatief grote hoeveelheid water boven de kern is de activering van het vatdeksel en de afdekbalken als gevolg van invangst van neutronen gering. De afdekbalken dienen daarom vooral voor het afschermen van de gammastraling.

Het primair systeem is verder afgeschermd door betonnen wanden die de bedrijfsruimte scheiden van de installatieruimte. De volledige installatie- en bedrijfsruimte is geplaatst in de secundaire afscherming van gewapend beton, voor verdere afscherming naar de omgeving (de stalen veiligheidsomhulling is voor de afscherming niet van wezenlijk belang).

De andere nucleaire systemen zijn voor zover noodzakelijk voorzien van een betonnen afscherming.

De splijtstofelementen die in het splijtstofopslagbassin zijn opgeslagen worden naar boven toe afgeschermd door een laag water. Het bassin zelf bestaat uit betonnen wanden die de afscherming naar beneden en opzij waarborgen. Tijdens een splijtstofwisseling zijn het vatdeksel en de betonnen afdekbalken verwijderd. De afscherming wordt dan gewaarborgd door een extra laag water boven het reactorvat. De splijtstofelementen die gewisseld worden blijven tijdens het wisselen onder een ruime hoeveelheid water. De stralingsbelasting voor het personeel en de splijtstofwisselmachine blijft hierdoor laag.

De afscherming van het afval in het afvalopslaggebouw wordt gevormd door de vaten met cement waarin het radioactief afval is opgeslagen, door de betonnen wanden en door afdekbalken van beton. Het betreft binnenmuren voor de afscherming van de directe omgeving van het gebouw.

Wanneer zich in verband met transport splijtstofelementen op het terrein van de kerncentrale bevinden, dan zijn deze altijd verpakt in containers die van adequate afscherming en afdichting zijn voorzien.

In geval van containers voor afgewerkte splijtstofelementen hebben deze bijvoorbeeld een stalen wand van 32 cm dik. Afhankelijk van technische ontwikkelingen kan het ontwerp van deze containers van tijd tot tijd wijzigen. Uitsluitend containers die, via een aparte vergunningsprocedure, goedgekeurd zijn door het bevoegd gezag mogen voor transport van splijtstoffen ingezet worden.

De belangrijkste afschermingen en de toegepaste materiaaldiktes zijn gegeven in tabel 12.3/1.

Tabel 12.3/1 Belangrijkste afschermingen

Onderdeel	Materiaal	Dikte [cm]
Biologisch schild	Beton	200
Afdekbalken reactorbassin	Beton	100
Afscherming primair systeem	beton	100-150
Secundaire afscherming	Beton	60
Afscherming van:		
ionenwisselaars	Beton	90
opslagplaats ionenwisselaarhars	Beton	100
volumevereffeningstank (TA)	Beton	120
volumeregelpompen (TA)	Beton	60
hoofdkoelmiddelreservoirs (TD)	Beton	80
verdamperinstallatie (TD)	Beton	80
verdamperconcentraattanks (TT)	Beton	70
kern bij splijtstofwisseling	Water	1100
element bij splijtstofwisseling	Water	350
elementen in splijtstofopslagbassin	Water	800
Wanden splijtstofopslagbassin	Beton	140-180
Bodem splijtstofopslagbassin	Beton	200
Binnenmuren afvalopslaggebouw	Beton	50-60
Buitenmuren afvalopslaggebouw	Beton	100

### 12.3.3 Ventilatie

De ventilatie heeft ten aanzien van de stralingsbescherming tot doel de stralingsbelasting van het personeel en de omgeving zo laag mogelijk te houden. Dit wordt bereikt door de verspreiding van eventuele activiteit in de lucht te voorkomen, door het wegnemen van eventuele activiteit door middel van filtering en door afvoer van mogelijke besmette lucht. Dit wordt verzorgd door het nucleair ventilatiesysteem (TL).

Het voorkomen van de verspreiding van eventuele activiteit in de lucht wordt gewaarborgd door het in stand houden van een bepaald drukverloop binnen de gebouwen. De delen met de hoogste eventuele activiteit hebben de laagste druk zodat daar vandaan geen lucht kan weglekken. Daarnaast worden alle nucleaire delen van de centrale op een onderdruk ten opzichte van de buitenlucht gehouden, zodat ook geen activiteit ongecontroleerd naar de omgeving kan lekken. Bij de afvoer van lucht door de ventilatieschacht wordt de hoeveelheid afgevoerde activiteit bewaakt.

Tabel 12.5/1 Dosisbijdragen via diverse blootstellingswegen als gevolg van gemiddelde lozingen gedurende de laatste tien jaar en lozingen met de omvang van de vergunningslimieten.

Blootstellingsweg	Dosis (nSv/a)		Meest belastende nuclide	
	Gemiddeld 1985-1994*	Vergunningslimiet	Gemiddeld 1985-1994	Vergunningslimiet
<b>A. LUCHTLOZINGEN</b>				
Extern pluim	4,4	380	$^{133}\text{Xe}$ , $^{135}\text{Xe}$	$^{133}\text{Xe}$ , $^{135}\text{Xe}$
Extern bodem	0,2	320	$^{60}\text{Co}$	$^{60}\text{Co}$
Inwendige inhalatie	1,2	5	$^3\text{H}$ , $^{14}\text{C}$	$^{60}\text{Co}$
Inwendige ingestie	0,7	20	$^{14}\text{C}$	$^{131}\text{I}$
<b>B. WATERLOZINGEN</b>				
Inwendige ingestie	0,2	20	$^{60}\text{Co}$	$^{60}\text{Co}$
<b>Totaal</b>	<b>6,7</b>	<b>745</b>	$^{133}\text{Xe}$ , $^{135}\text{Xe}$	$^{60}\text{Co}$

\* Met ingang van 1998 is als gevolg van de overgang op een  $^{235}\text{U}$ -verrijking van de splijtstof  $\leq 4,00\%$ , de vermelde totaal dosis als gevolg van de gemiddelde lozingen circa 3% hoger.

## 12.5.2 Effecten

Ioniserende straling geeft zijn energie af door middel van ionisaties in de absorberende materie. Wanneer dit gebeurt in een weefselcel en in het bijzonder in een DNA-molecuul, kan dit chromosoombeschadiging, resulterend in celdood of een gemuteerde cel, tot gevolg hebben. Schade aan de gezondheid treedt pas op indien in korte tijd als gevolg van een hoge dosis zeer veel cellen sterven. De afgestorven cellen kunnen dan namelijk niet snel genoeg vervangen worden via celdeling van nog gezonde cellen. Hierdoor ontstaat een tekort aan cellen, waardoor het orgaan of weefsel niet goed meer kan functioneren. Dergelijke effecten noemt men acute of deterministische effecten. Deze effecten treden slechts op bij doses van meer dan 500 mSv, wanneer deze in korte tijd (enkele dagen of korter) worden ontvangen.

Bij de lage doses en lage dosistempi waarvan bij normaal bedrijf sprake is, treden geen acute effecten op. Er kunnen echter wel gemuteerde cellen ontstaan, die later kunnen uitgroeien tot een tumor. De kans van optreden wordt gegeven door de risicofactor. Internationaal wordt aangenomen dat de kans op overlijden aan een door straling geïnduceerde tumor 0,05 per sievert effectieve dosis bedraagt (ICRP, 1990). Deze risicofactor is afgeleid voor relatief hoge doses en dosistempi, maar wordt veiligheidshalve ook in het lage dosisgebied gehanteerd.

De dosislimiet voor leden van de bevolking bedraagt 1 mSv/a. In Nederland wordt de "10-bronnen benadering" gehanteerd, dit houdt dan in dat de dosislimiet 0,1 mSv/a per bron bedraagt. Tevens is door de Nederlandse overheid aangegeven dat doses beneden 0,001 mSv/a, vanwege het geringe risico als secundair mogen worden beschouwd. De maximale individuele doses afkomstig van reguliere lozingen door KCB liggen hier met 6,7 nSv/a (gemiddeld in de periode 1985-1994) ruimschoots onder. Het mogelijke overlijdensrisico ten gevolge van deze lozingen bedraagt 10-9/jaar (kans van 1 op een miljard).

Er wordt verondersteld, dat van de vier aanwezige nakoelpompen (LD-TJ), er slechts twee beschikbaar zijn en dat de LD-voeding niet plaatsvindt voordat de bijschakeltijden zijn verstreken en de noodstroomdiesels op toeren gekomen zijn.

Uitgangstoestand voor deze analyse is een bedrijfssituatie met verhoogd vermogen (vermogensfactor 1,06). Verder wordt in de berekening uitgegaan van een verhoogd vervalwarmtevermogen (veiligheidstoeslag van 8%).

De in de splijtstofstaven opgeslagen energie wordt conservatief gemaximaliseerd. Verder wordt het axiale vermogensprofiel zodanig gekozen dat het vermogensmaximum in de bovenste kernhelft aanwezig is.

### **3 Algemene beschrijving van het ongevalsverloop**

Bij een groot lek dalen het niveau in de drukhouder en de druk in het primaire systeem snel vanwege het uitstromen van het hoofdkoelmiddel. Hierdoor stijgt de druk in de veiligheidsomhulling. Zodra deze parameters de RESA-grenswaarde bereikt, volgt RESA/TUSA. De reactor wordt door de terugkoppeling op de reactiviteit van het hoge gehalte aan dampbellen in het hoofdkoelmiddel onderkritisch, dat wil zeggen zelfstandig afgeschakeld.

Gelijktijdig met de initiatie van de TUSA wordt het begin van de noodstroomsituatie verondersteld, waardoor de hoofdkoelmiddelpompen spanningsloos worden en de actieve componenten van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) niet ter beschikking zijn gedurende de tijd dat de noodstroomdiesels op toeren moeten komen.

Daalt de hoofdkoelmiddeldruk tot onder de grenswaarde min3, dan zijn de noodkoelcriteria bereikt (voor de vorming van de noodkoelcriteria zie paragraaf 7.5.3). Daardoor worden alle voor de noodkoeling van de kern vereiste schakelhandelingen geïnitieerd. Het bijschakelen van de nakoelpompen van het TJ-systeem volgt na het bereiken van de grenswaarde min5 van de hoofdkoelmiddeldruk.

De suppletie van de nakoelpompen uit de kerninundatievoorraadtanks geschiedt na het bijschakelen van de betreffende belastingstrap van het bijschakelprogramma van de noodstroomdiesels. Na het legen van de TJ-voorraadtanks worden de nakoelpompen omgeschakeld op reactorputbedrijf.

Algemeen worden bij een ongeval met grote lekkage van hoofdkoelmiddel ten aanzien van de thermohydraulische condities in het primaire systeem de volgende vier, in de tijd elkaar volgende, fasen onderscheiden:

- drukontlasting van het primair systeem totdat drukvereffening met de veiligheidsomhulling is bereikt
- opnieuw vullen van het reactorvat tot aan de onderkant van de reactorkern
- inundatie van de reactorkern
- lange termijn koeling.

In de eerste fase stroomt het hoofdkoelmiddel aanvankelijk onderkoeld en later als tweefasen-mengsel uit het primair systeem in de veiligheidsomhulling. In de reactorkern vindt stromingsomkering plaats en de kern komt droog te staan. Door het beginnende filmkoken en de radiale temperatuurvereffening in de splijststof, vindt een eerste stijging van de temperatuur van de splijststofomhulling plaats. Bij het dalen van de hoofdkoelmiddeldruk onder 26 bar beginnen de kerninundatiebuffertanks zelfstandig geboreerd water te suppleren. Omdat de drukvereffening op dit moment nog niet is bereikt, draagt slechts een deel van het koude been van het primair systeem toegevoerde water bij aan het opnieuw vullen van het reactorvat, terwijl het restant via het lek uitstroomt en pas bij reactorputbedrijf door de nakoelpompen (TJ) weer in het primair systeem gesupleerd wordt.

In de tweede fase, nadat de drukvereffening in de veiligheidsomhulling heeft plaatsgevonden, wordt het reactorvat tot aan de onderkant van de kern gevuld vanuit de TJ-buffertanks via het koude en het hete been. Een deel van het water, dat in het hete been wordt gesupleerd en bovenin het reactorvat instroomt, verdampt en fungeert daardoor als koeling voor de reactorkern. De stijging van de maximale temperatuur van de splijststofomhulling, die op het eind van de fase van drukvereffening op grond van de gereduceerde massastroom door de kern is begonnen, zet zich in deze fase voort. Dit volgt uit de **conservatief berekende** warmteoverdrachtscoëfficiënt voor deze ongevalsfase, alsook uit de temperatuurvereffening tussen splijststof en splijststofomhulling.

In de derde fase wordt de reactorkern opnieuw geïnundeerd. Als het waterniveau de onderkant van de kern bereikt, treedt aan de opgewarmde splijststofstaven een sterke stoomvorming op, die tijdens de verdere inundatie voortduurt en voor voldoende koeling van de kern zorgt. Na beëindiging van de voeding vanuit de TJ-buffertanks, vindt de inundatie uitsluitend plaats via noodvoeding door de nakoelpompen. Als gevolg van het inunderen van de reactorkern daalt de temperatuur van de splijststofomhulling tot het niveau van de hoofdkoelmiddeltemperatuur.

In de vierde fase, wanneer de reactorkern weer bedekt is, hebben de splijstof-omhullingen nagenoeg dezelfde temperatuur als het hoofdkoelmiddel, zodat alleen nog de restwarmte van het primaire systeem afgevoerd moet worden. Deze warmteafvoer geschiedt door het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ), waarbij aanvankelijk uit de kerninundatievoorradetanks en later uit de reactorput wordt aangezogen. De nakoelpompen zuigen het hoofdkoelmiddel aan uit de reactorput via de nakoelers, die de warmte via het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF) afvoeren naar de TF-koelers.

#### 4. Resultaat

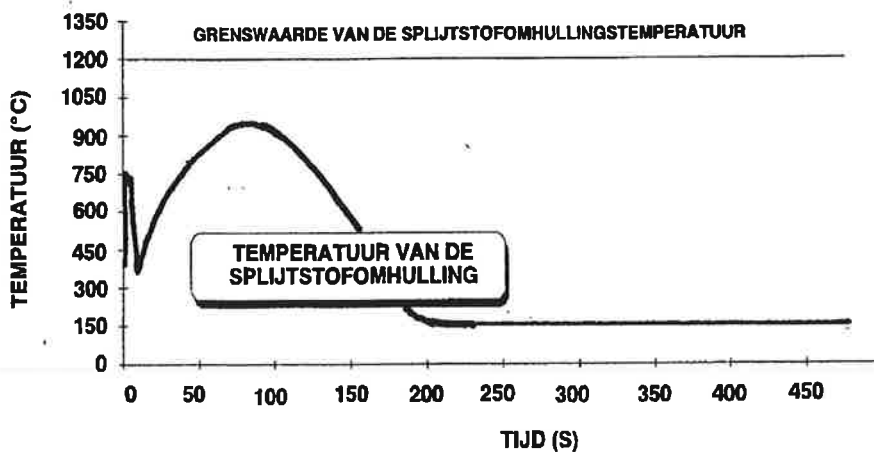
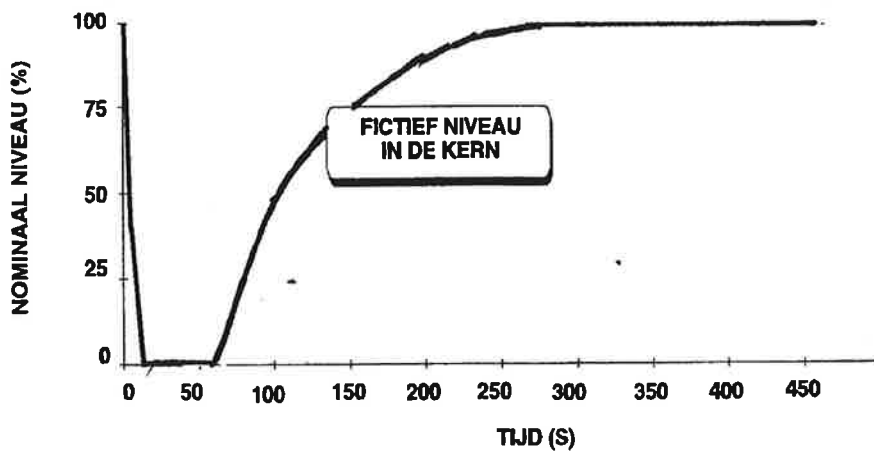
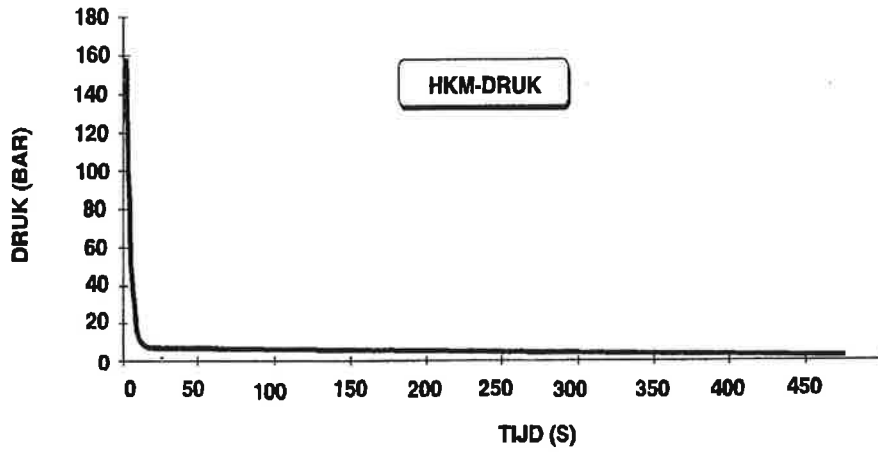
De analyse toont aan, dat bij dit ongeval de berekende maximale temperatuur van de splijstofomhulling ver onder de grenswaarde van 1200 °C blijft, en dat de gehele reactorkern binnen circa 200 s na het begin van het hoofdkoelmiddelverliesongeval gekoeld wordt. Daarmee is aangetoond, dat:

- de waterstofproductie beneden de toelaatbare grenswaarde blijft
- geometrische veranderingen niet of slechts in beperkte mate optreden zodat de koeling van de kern gewaarborgd is.

Als maximale oxidatiediepte is ongeveer 2 % vastgesteld; dit ligt ruim onder de toelaatbare grenswaarde van 17 %.

Langdurige afvoer van restwarmte uit het primair systeem is gewaarborgd, omdat de druk in het primair systeem beneden de opvoerhoogte bij nullast van de nakoelpompen is gedaald en zowel het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) alsook de nakoelketen (TF, VF) ontworpen zijn op het afvoeren van de restwarmte bij een groot lek.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.





## 15.2.16 **Bedrijfstransiënten waarbij een hypothetisch uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (ATWS) (PIE 10.5)**

### 1 **Doel van de ongevalsanalyse**

De analyse van dit ongeval, dat in een korte tijd afloopt, moet aantonen, dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de hoofdkoelmiddel- en hoofdstoomdruk mogen de maximaal toelaatbare waarden (1,3 x ontwerpdruk) niet overschrijden
- de warmteafvoer moet gegarandeerd zijn.

Deze beschermingsdoelstellingen worden door de volgende veiligheidsrelevante systemen gewaarborgd:

- de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder aan de primaire zijde
- het noodvoedingswatersysteem (RL) voor het zeker stellen van de warmteafvoer uit de stoomgeneratoren.

De beschermingsdoelstelling: handhaving van de langdurige onderkriticaliteit, wordt gerealiseerd door toevoeging van boorzuur vanuit het volumeregelsysteem (TA) en het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB).

### 2 **Begin- en randvoorwaarden**

Bij de ATWS-analyses wordt het falen van de regelementen aangenomen, hetgeen wil zeggen dat de regelementen noch door aansturing via de regeling noch door RESA-signalen in beweging komen. Dit betekent, dat bij het bereiken van een grenswaarde die tot een RESA-signaal leidt, de regelementen niet vallen. Verder wordt geen ander falen verondersteld.

Omdat in het geval van ATWS de vermogensreductie in het begin alleen door terugkoppelingen op de reactiviteit veroorzaakt wordt, is de kerntoestand bij cyclusbegint gunstig voor het verloop van het ongeval; dit, omdat de hoofdkoelmiddeltemperatuurscoëfficiënt door de afnemende boorzuurconcentratie aan het cycluseinde steeds sterker negatief wordt.

Bij het begin van het ongeval is de installatie op vol vermogen.

Conform het gestelde in paragraaf 1.4 wordt enkelvoudig falen bij ATWS niet verondersteld. De reactorvermogensbegrenzing bij het uitvallen van de hoofdkoelmiddeltemperatuurscoëfficiënt wordt echter genegeerd.

### 3 Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door het uitvallen van de hoofdvoedingswaterpompen loopt het voedingswaterdebiet snel naar nul terug, waardoor het niveau in beide stoomgeneratoren daalt. Als gevolg van de uitval van de hoofdvoedingswatertoevoer wordt de turbine afgeschakeld, wordt de turbine-omloopleiding geopend en starten de noodvoedingswaterpompen.

De turbineafschakeling heeft een verhoging van de hoofdstoomdruk tot gevolg, en daarmee een stijging van de temperatuur in de stoomgeneratoren (secundairzijdig). Deze temperatuurstijging veroorzaakt een verhoging van de primairzijdige uittredetemperatuur van de stoomgenerator, en daarmee een volumevergroting van het hoofdkoelmiddel in het primair systeem. Door de volumevergroting stijgt het niveau in de drukhouder, alsmede de hoofdkoelmiddeldruk. De temperatuurverhoging in het primair systeem heeft, door de negatieve temperatuurscoëfficiënt, een afname van de reactiviteit en daarmee van het reactorvermogen tot gevolg.

Ondanks de inschakeling van de drukhoudersproeiers en de beperking van het reactorvermogen stijgt de hoofdkoelmiddeldruk totdat de bijbehorende RESA-grenswaarde bereikt wordt. Bij het bereiken van de RESA-grenswaarde volgt geen inworp van regelementen (ATWS). Daarna spreekt het ATWS-sigitaal aan waardoor de hoofdkoelmiddelpompen worden afgeschakeld en twee volumeregelpompen (TA) en 2 boorzuurpompen (TB) worden gestart.

De hoofdstoomdruk wordt door de regeling van de turbine-omloop op de gewenste waarde na RESA geregeld. Dit veroorzaakt een verhoogde secundairzijdige temperatuur in de stoomgeneratoren en daarmee ook een primairzijdige temperatuurverhoging. Ook de afschakeling van de hoofdkoelmiddelpompen veroorzaakt een verhoging van de hoofdkoelmiddeltemperatuur. De verhoging van de hoofdkoelmiddeltemperatuur is gekoppeld aan een afname van de reactiviteit wat een snelle afname van het reactorvermogen tot gevolg heeft.

De drukstijging van het hoofdkoelmiddel als gevolg van de temperatuurstijging wordt begrensd door het aanspreken van de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder. Door de grote temperatuurstijging en de daarmee corresponderende volumevergroting stijgt het niveau in de drukhouder zo sterk, dat de drukhouder bijna volledig met water wordt gevuld.

De hoofdkoelmiddeldruk wordt door de drukbeveiligingstoestellen begrensd, waarbij van tijd tot tijd ook water afgeblazen wordt. De eerste en tweede drukbeveiligingstoestellen spreken aan, de derde niet.

Tussen circa 150 en 200 seconden treedt er enige stoomvorming in de kern op. Dit veroorzaakt enige schommelingen in de reactiviteit, het reactorvermogen en de hoofdkoelmiddeldruk, -temperatuur en -debiet.

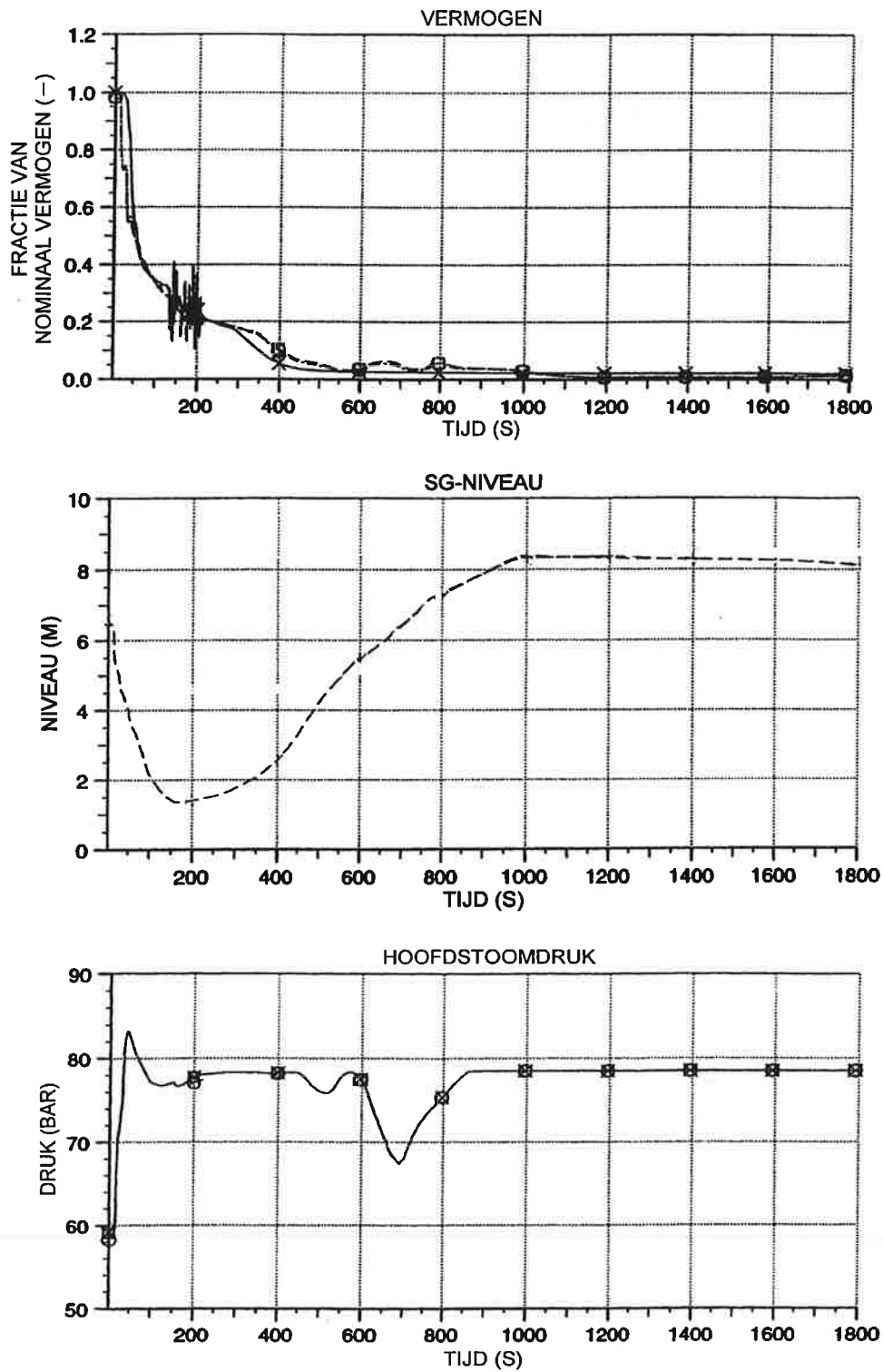
Het reactorvermogen is vervolgens zover gedaald, dat het reactor- en het stoomgeneratorvermogen vrijwel gelijk zijn. De warmteafvoer wordt door het met het noodvoedingswatersysteem (RL) toegevoerde water gegarandeerd.

Vervolgens wordt de langdurige onderkriticaliteit gerealiseerd door toevoeging van boorzuur vanuit het volumeregelsysteem (TA) en het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB).

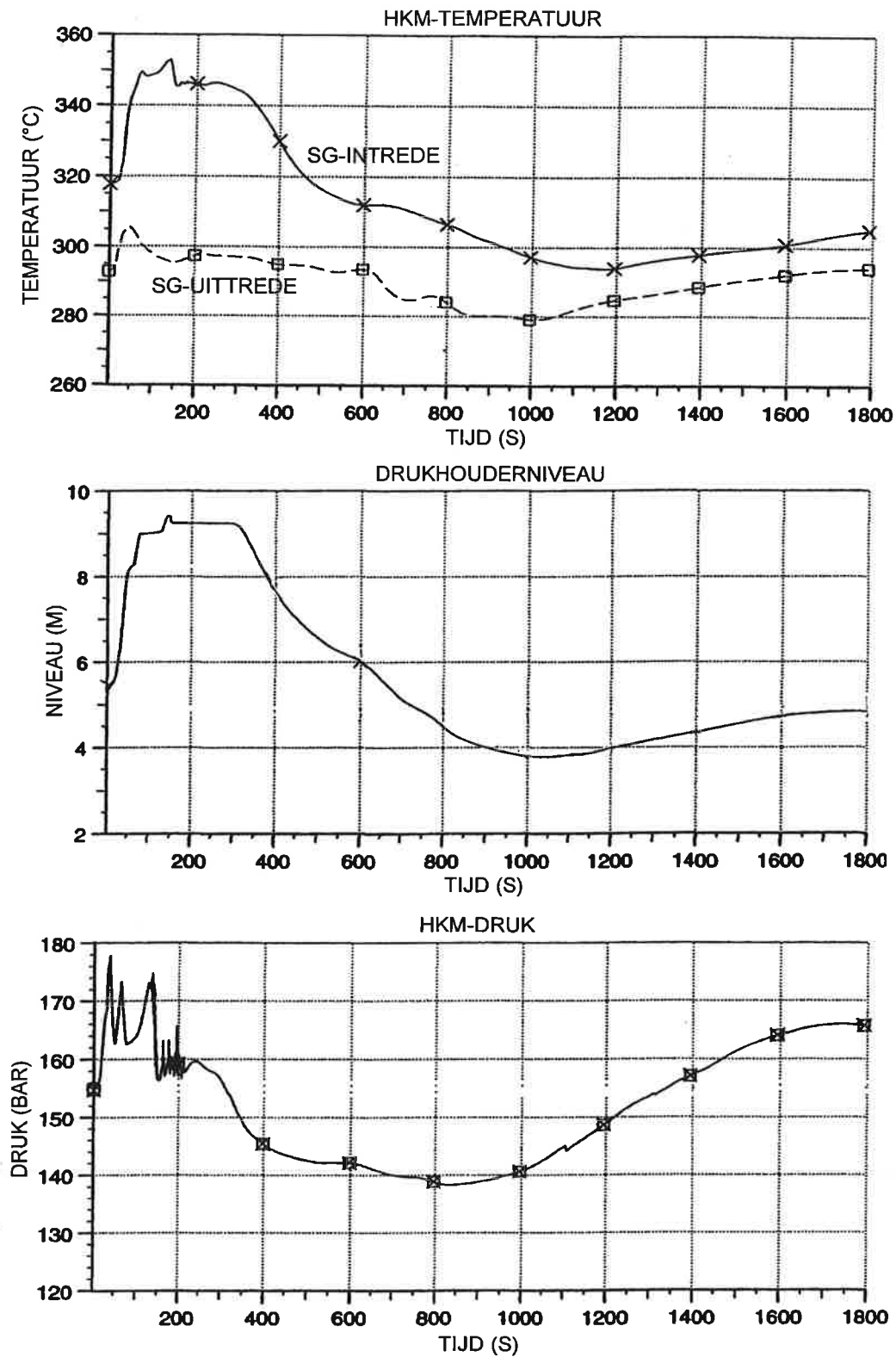
#### 4 Resultaat

De analyse toont aan, dat de maximaal bereikte waarden voor de hoofdkoelmiddel- en hoofdstoomdruk lager zijn dan de bij dit ongeval maximaal toelaatbare waarden (1,3 x ontwerpdruk, circa 230 bar respectievelijk circa 119 bar). De warmteafvoer is gegarandeerd door de toegevoerde hoeveelheid voedingswater, en langdurige onderkriticaliteit is gerealiseerd door toevoeging van boorzuur vanuit het volumeregelsysteem (TA) en het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB).

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.



Figuur 15.2.16/1 Bedrijfstransienten waarbij een hypothetisch uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (PIE 10.5)



Figuur 15.2.16/2 Bedrijfstransienten waarbij een hypothetisch uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (PIE 10.5)  
15.2-89

## 15.3 Radiologische analyses

### 15.3.1 Definities

#### Bronterm

Beschrijving van de radionuclidensamenstelling en de hoeveelheden radioactieve stoffen die bij een ongeval in de atmosfeer vrijkomen. De bronterm beschrijft ook de wijze waarop de lozing plaatsvindt, de warmte-inhoud, de grootte, de duur van de lozing en het aanvangstijdstip (na afschakeling van de reactor).

#### Dosiscoëfficiënt

De coëfficiënt waarmee de effectieve dosis of de equivalente orgaan- of weefseldosis ten gevolge van inname van radionucliden door het lichaam wordt berekend. Deze inname kan zowel door inademing, door inslikken of door opname via voedsel geschieden. De eenheid van deze coëfficiënt is Sv/Bq.

#### Effectieve dosis

Gewogen som van equivalente doses in weefsel en organen door inwendige en uitwendige bestraling waarmee het risico van een ongelijkmatige blootstelling van het lichaam kan worden vergeleken met dat van een homogene blootstelling van het gehele lichaam. De eenheid van de effectieve dosis is Sv.

#### Ingestiedosis

Ontvangen dosis als gevolg van de opname van radioactieve stoffen via de slokdarm. Dit kan derhalve zowel voedsel, drinken als andere ingeslikte stoffen betreffen.

#### Inhalatiedosis

Ontvangen dosis als gevolg van opname van radioactieve stoffen via de luchtwegen.

#### Interventieniveau

criterium voor het nemen van beslissingen over het treffen van beschermende maatregelen bij radiologische noodsituaties.

#### Massieke activiteit

De hoeveelheid activiteit per gewichtshoeveelheid.

#### Spiking-effect

Verhoogde vrijzetting van nucliden vanuit de splijtstofelementen in het primair koelmiddel na afschakeling van de reactor.

### 15.3.2 Algemeen

(tabel 15.3.2/1)

In paragraaf 15.1.1 zijn de ontwerpgevallen beschreven die kunnen leiden tot een lozing van radioactieve stoffen in de atmosfeer, waarna in paragraaf 15.1.2 de selectie van de betreffende representatieve ongevallen heeft plaatsgevonden. In dit hoofdstuk

worden de resultaten beschreven van de berekeningen van de doses die de bevolking in de omgeving van de centrale ontvangt als gevolg van de lozingen bij deze representatieve ontwerpongevallen. Hierbij worden ook de doses beschouwd door externe bestraling vanuit het reactorgebouw waarin zich na het ongeval luchtgedragen radioactieve stoffen bevinden (directe straling).

Voor de berekening van de doses is in de eerste plaats de vaststelling van de zogenaamde 'bronterm' nodig. De bronterm geeft voor ieder nuclide (of groep van nucliden) de geloosde activiteit naar tijd en plaats, alsmede de energie-inhoud van de lozing.

De gevolgen van de lozing van een bronterm worden geanalyseerd met een rekenprogramma waarin achtereenvolgens verspreidingsberekeningen en dosisberekeningen worden uitgevoerd, rekening houdend met verschillende blootstellingswegen waarlangs mensen aan ioniserende straling worden blootgesteld. De doses zijn geanalyseerd op probabilistische basis. Dit houdt in dat rekening is gehouden met het feit dat in principe een ongeval op elk moment van de dag en op elke dag van het jaar kan plaats vinden. De lokale weersomstandigheden, welke bepalend zijn voor de verspreiding van de atmosferische lozing, zijn echter over de tijd sterk verschillend. In de rekencode wordt rekening gehouden met de waarschijnlijkheid van voorkomen van een bepaald weertype. Aangezien het bij ontwerpongevallen de bedoeling is dat het ongeval door het ontwerp wordt beheerst, mag de maximale waarde van de effectieve dosis door een ontwerpongeval het door de overheid gesteld criterium voor dit ontwerpongeval niet overschrijden. Ook mag geen enkel ontwerpongeval leiden tot schildklierdoses die groter zijn dan 500 mSv. Deze maximale waarde van de dosis wordt volgens de in de PSA-3 richtlijn (VROM publicatie 1995/25) beschreven methodiek berekend op basis van de 95-percentielwaarde van de dosisdistributie, dat wil zeggen dat in 95 procent van de weersituaties deze dosiswaarde niet wordt overschreden.

De dosis ten gevolge van externe bestraling door de radioactieve stoffen in het reactorgebouw is uiteraard onafhankelijk van de buiten heersende weersomstandigheden.

De berekende doses ten gevolge van ontwerpongevallen moeten getoetst worden aan criteria die zijn gesteld in artikel 18 van het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen. Bij deze toetsing wordt het kansenbereik van de ontwerpongevallen verdeeld in 4 gebieden en worden vervolgens per gebied de in dosistermen dominant geachte ongevallen vastgesteld. Vervolgens wordt van elk van deze ongevallen de maximale dosis getoetst aan het criterium dat voor het desbetreffend kansgebied van toepassing is. Hierbij wordt onderscheiden een criterium voor volwassenen (personen vanaf 16 jaar) en kinderen (personen tot 16 jaar). De maximale dosis is, zoals eerder vermeld, gelijk aan de 95%-percentiel waarde van de berekende verdeling van maximale doses buiten de terreingrens, die rekening houdt met de kans van optreden van specifieke weertypen. De criteria voor de vier kansgebieden vormen een getrapte schaal: hoe kleiner de kans, hoe groter de waarde van het bijbehorende criterium.

In tabel 15.3.2/1 zijn de kansgebieden met de bijbehorende dosiscriteria aangegeven (het kansgebied  $F \geq 10^{-1}$  heeft feitelijk betrekking op normaal bedrijf). De dosiscriteria

zijn gebaseerd op de effectieve dosis voor volwassenen en kinderen. Het criterium is daarbij bedoeld om de kans op sterfte ten gevolge van stochastische effecten te beperken. Met stochastische effecten worden bedoeld effecten waarvan de kans van optreden evenredig is met de ontvangen dosis. Deze effecten zoals het ontstaan van kanker zijn schadelijk en kunnen zich vele jaren na blootstelling openbaren. Bij doses hoger dan bepaalde drempelwaarden kunnen kort na blootstelling deterministische effecten optreden, die het gevolg zijn van een zodanige beschadiging van organen, dat deze niet of verminderd functioneren. De effecten treden op binnen enkele uren of weken. De ernst van deze effecten is evenredig met de ontvangen dosis. Ter vermijding van laatstgenoemde deterministische effecten ten gevolge van jodiumopname door de schildklier is een aanvullend criterium gesteld aan de maximale schildklierdosis. Deze maximale dosis mag de drempelwaarde van 500 mSv niet overschrijden. Een overschrijding van dit criterium kan alleen aan de orde zijn bij effectieve doses hoger dan 25 mSv.

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

Tabel 15.3.2/1 Dosiscriteria voor kinderen en volwassenen als functie van het kansgebied.

De berekende effectieve dosis is de volg dosis, die afhangt van de te verwachten blootstellingsperiode. Bij inhalatie en ingestie wordt blootstelling beschouwd totdat de stoffen uit het lichaam zijn verwijderd of vervallen. In het algemeen wordt hierbij uitgegaan van de verwachte levensduur van de persoon na inname. Bij volwassenen wordt hierbij uitgegaan van een periode van 50 jaar en bij kinderen van een periode van 70 jaar. Deze perioden worden ook gehanteerd voor de duur van de blootstelling aan de besmette bodem en van het eten van lokaal geproduceerde land- en tuinbouwproducten afkomstig van de besmette bodem.

Omdat voor elk van de vier kansgebieden het criterium voor kinderen het meest stringent is, wordt van de representatieve ontwerpongevallen alleen de maximale dosis van kinderen berekend en getoetst. Omdat de leeftijdsgroep van 1-jarige kinderen bij blootstelling aan concentraties van radioactieve stoffen een hogere dosis ontvangt dan andere leeftijdsgroepen, is deze groep conform de PSA-3 richtlijn als referentiegroep voor de dosisberekening gebruikt. Deze referentiegroep maakt deel uit van de hypothetische groep van permanente bewoners van het gebied direct aan de terreingrens. Dit houdt in dat de referentiegroep na het ongeval tenminste nog 70 jaar in dit gebied blijft wonen.



Voor de berekening van de doses door directe straling is eveneens uitgegaan van een blootstellingsperiode van 70 jaar, hetgeen de zeer conservatieve veronderstelling impliceert dat de in de veiligheidsomhulling zwevende aërosolen niet uitzakken en dat geen reinigungsacties worden ondernomen.

Omdat de representatieve ontwerpongevallen niet leiden tot emissies met een warmte-inhoud, dat wil zeggen dat de wolk met radioactieve stoffen na het vrijkomen uit de ventilatieschacht geen warmtestijging ondervindt en de ventilatieschacht relatief laag is, wordt de maximale waarde van de dosis tengevolge van deze ontwerpongevallen direct aan de dichtstbijzijnde terreingrens bereikt, d.w.z. op de locatie aan de terreingrens waar de afstand tot de ventilatieschacht het kleinst is. Deze kleinste afstand is 350 m. De op deze afstand berekende maximale doses worden aan de criteria getoetst.

Ook de doses door blootstelling aan externe straling vanuit de centrale zijn het grootst op de kortste afstand tot de centrale.

In werkelijkheid heeft het gebied direct grenzend aan de terreingrens een agrarische bestemming. De dichtstbijzijnde lokatie met permanente bewoning maakt deel uit van het dorp Borssele en bevindt zich op 1 km afstand van de ventilatieschacht. Naast de berekening van de dosis direct aan de terreingrens is ook voor deze lokatie de maximale dosis berekend. Tenslotte is ook nog de dosis door bestraling vanuit de centrale berekend van een persoon die zich gedurende 10 uur per dag buiten op een afstand van gemiddeld 750 m van de ventilatieschacht bevindt, d.w.z. in het midden van het dichtstbijzijnde weiland respectievelijk akker.

Bij de in paragraaf 15.3.7 gepresenteerde berekeningen wordt uitgegaan van zeer conservatieve aannames voor de vaststelling van de geloosde activiteit..... (bronterm).

Voor deze conservatieve brontermen worden daarna met behulp van een rekenprogramma, dat gebruik maakt van theoretische modellen, verspreidings- en dosisberekeningen uitgevoerd. Gezien deze werkwijze moeten de vermelde waarden gezien worden als een zo goed mogelijke schatting van de maximale doses.

Als gevolg van wijzigingen van aannames en modellen wegens nieuwe inzichten en gegevens kunnen de vermelde getalwaarden aan verandering onderhevig zijn. De geldende limieten zullen echter niet overschreden mogen worden.

### 15.3.3 De rekencode COSYMA

De berekeningen van de doses ten gevolge van lozingen zijn uitgevoerd met de Europese rekencode COSYMA ("A new program package for accident consequence assessment", ondersteund door de Europese Gemeenschap). De doses zijn berekend tot een afstand van 100 km rond de centrale. Dit is gerechtvaardigd aangezien bij de ontwerpongevallen de maximale waarde van de dosis dicht bij de centrale wordt bereikt. De dosisberekeningen met behulp van COSYMA houden rekening met de volgende blootstellingswegen:

- externe bestraling vanuit de overtrekkende wolk van geëmitteerde radioactieve stoffen na een ontwerpongeval

- externe bestraling ten gevolge van op de bodem neergeslagen radioactieve stoffen vanuit de overtrekkende wolk
- inademing van radioactieve stoffen tijdens tijdelijk verblijf in de wolk
- inademing van radioactieve stoffen, die opwarrelen vanaf de met deze radioactieve stoffen verontreinigde bodem (resuspensie)
- consumptie van met radioactieve stoffen verontreinigd voedsel. Dit betreft zowel direct verontreinigd voedsel, zoals bladgroente, en voedsel dat indirect werd verontreinigd, zoals melk van een koe die op een verontreinigd weiland graast.

In COSYMA zijn vrijwel alle parameters door de gebruiker te definiëren. Voor het merendeel zijn de standaardwaarden gebruikt die door de ontwikkelaar van deze code zijn aanbevolen. De keuze van de belangrijkste niet-standaardwaarden sluiten aan op de voorschriften van de eerdere genoemde PSA-3 richtlijn. Deze betreffen onder meer de keuze van verspreidingsparameters, berekening van de doses door bestraling vanuit de overtrekkende wolk, het beschouwen van beschermende maatregelen, zoals uit de handel nemen van besmet voedsel of het niet consumeren van zelf geteelde groenten en fruit en de veronderstelde voedselconsumptie door de omwonenden van de centrale. De parameters die specifiek zijn voor de locatie van de centrale en de samenstelling van de radioactieve stoffen die bij ontwerpongevallen vrijkomen, worden hieronder beschreven. Bij de keuze van de invoerparameters zijn bij onzekerheden steeds keuzes gemaakt naar de conservatieve kant.

#### 15.3.4 Invoergegevens (tabel 15.3.4/1 tot en met 4)

##### Geografische gegevens

De landkarakteristieken rond de EPZ-lokatie Zeeland zijn ingevoerd. Als centrum van de lozing is gekozen de ventilatieschacht van de kernenergiecentrale. De dosisberekeningen zijn uitgevoerd over een gebied vanaf 300 m van de ventilatieschacht tot 100 km afstand.

##### Weersgegevens

Voor de probabilistische berekeningen is gebruik gemaakt van de weerstatistiek van het KNMI voor het meteo-station Vlissingen over de jaren 1982/1983. Voor de wijze van verwerking van deze meteorologische gegevens wordt verwezen naar paragraaf 15.3.5.

##### Voedselconsumptie

Bij de berekening van de doses door het eten van met radioactieve stoffen verontreinigd voedsel (de ingestiedosis) is uitgegaan van het consumptiegedrag van extreem etende eenjarige kinderen. De relevante consumptiegetallen voor deze groep zijn vermeld in tabel 15.3.4/1. Er is aangenomen dat hetzelfde consumptiepatroon gedurende 70 jaar gehandhaafd blijft. Omdat het consumptiegedrag van eenjarige extreem veel etende kinderen niet veel afwijkt van het gemiddelde consumptiegedrag van volwassenen (met uitzondering van melk en melkprodukten), betekent deze veronderstelling dat voor de kinderjaren een overschatting van de ingestiedosis zal plaatsvinden. Aangezien de besmetting van landbouwprodukten voornamelijk het gevolg is van directe besmetting door het neerslaan op het gewas (en er in het

merendeel van de brontermen sprake is van de grootste bijdrage door het relatief kortlevende <sup>131</sup>I) heeft de aanname van extreem etende kinderen voor de ingestiedosis een conservatief karakter.

In afwijking van de conservatieve keuze van de PSA-3 richtlijn om uit te gaan van consumptie van alleen lokaal geproduceerd voedsel wordt verondersteld dat de helft van de jaarlijkse consumptie van bladgroenten lokaal (in de moestuin) wordt geproduceerd en dat de rest van het voedsel afkomstig is uit een zogenaamd COROP-gebied. Met COROP-gebied wordt bedoeld een gebied waarin de voedselproducten centraal worden ingezameld en verkocht (in dit geval de provincie Zeeland met uitzondering van Zeeuws-Vlaanderen). De gemiddelde besmettingsgraad van het COROP-voedsel is daardoor veel lager dan van het lokale voedsel. Uit de berekeningen kan worden afgeleid dat de gemiddelde besmetting van het voedsel in het betreffende COROP-gebied meer dan een factor 100 lager zal zijn dan op 350 m afstand. Derhalve valt de bijdrage van COROP-voedsel geheel weg in de ingestiedosis. Over blijft het lokaal geproduceerde voedsel, in dit geval de helft van de jaarlijkse consumptie van bladgroenten.

Bij het voedselpakket is rekening gehouden met een onderverdeling naar verse en verwerkte voedselproducten, met de daarbij behorende perioden van radioactief verval tussen oogst en consumptie, gemiddeld voor de zomer en winter. Dit leidt tot het voedselconsumptiemodel zoals in tabel 15.3.4/1.

Voor activiteitsverliezen tijdens bereiding van de verwerkte voedselproducten is een factor 0,5 aangehouden.

Voedsel- produkt	Consumptie (kg/j)	Vers		Verwerkt	
		%	Periode (d)	%	Periode (d)
Bladgroente	10,5	70	5	30	30

Tabel 15.3.4/1 Voedselconsumptiemodel met betrekking tot lokaal geconsumeerd voedsel, zoals gebruikt in de berekeningen met het programma COSYMA.

### Dosiscoëfficiënten

Voor de blootstellingswegen van externe bestraling vanuit de overtrekkende wolk en externe bestraling ten gevolge van neergeslagen radioactieve stoffen zijn de dosiscoëfficiënten gebruikt die standaard <sup>‡</sup>in COSYMA aanwezig zijn. Deze hebben betrekking op een gemiddeld lid van de bevolking, dat wil zeggen een volwassene. Voor de dosiscoëfficiënten voor de externe bestralingswegen bestaat er echter weinig verschil tussen de dosiscoëfficiënten van volwassenen en kinderen, zodat de berekende doses ook voor kinderen geldig zijn. Indien het de bestraling vanaf een besmette bodem betreft worden correctiefactoren in rekening gebracht die met name corrigeren voor de kleinere zelfafscherming van het lichaam van een kind en voor de kleinere afstand tussen het lichaamscentrum en bodem.

Omdat voor de inwendige besmettingswegen wel een verschil kan bestaan in de dosiscoëfficiënt voor volwassenen en kinderen, is zowel voor de berekening van de dosis door inhalatie van radioactieve stoffen als van de dosis door ingestie van verontreinigd voedsel uitgegaan van kindspecifieke dosiscoëfficiënten of dosiscoëfficiënten die hiervoor zijn gecorrigeerd.

### Kerninventaris

De kerninventaris is berekend met het programma ORIGEN. Daarbij is uitgegaan van een evenwichtskern, met een gemiddelde opbrand van 39 MWd/kg (einde van de splijtstofcyclus). Tabel 15.3.4/2 toont de berekende activiteitsinventaris bij een verrijkingsgraad van 4,4%.

### Brontermen en algemene brontermuitgangspunten

Uit het scala van mogelijke gebeurtenissen zijn groepen van ongevallen samengesteld. Uit deze groepen zijn 7 representatieve ongevallen geselecteerd waarbij een aanzienlijke hoeveelheid radioactieve stoffen in de atmosfeer vrijkomt (zie paragraaf 15.1.2). Voor alle andere ontwerpongevallen zullen deze hoeveelheden in ieder geval kleiner of zelfs verwaarloosbaar zijn of komen er geen radioactieve stoffen vrij. De geselecteerde brontermen zijn daarom kenmerkend voor de risico's.

In tabel 15.3.4/3 zijn de 7 ontwerpongevallen waarvoor brontermen zijn bepaald, weergegeven. In de laatste kolom van deze tabel is de indeling in kansgebieden weergegeven (zie ook tabel 15.3.2/1).

<sup>‡</sup> NB. Als standaard zijn nog die waarden aangehouden zoals deze zijn gehanteerd bij de bepaling van het effect van de verhoging van de verrijkingsgraad naar 4,0% (in 1996). Dit om tot een correcte vergelijking te komen van het effect van de huidige verhoging naar 4,4%. Standaardwaarden conform MR-AGIS (Ministeriële Regeling Analyse Gevolgen van Ioniserende Straling voor het milieu 2002) resulteren in lagere dosis.

Voor de in tabel 15.3.4/3 genoemde representatieve ongevallen zijn de brontermen afzonderlijk bepaald. Hierbij gelden de volgende algemene uitgangspunten:

- de Duitse richtlijnen met betrekking tot de vaststelling van brontermen bij ontwerpongevallen zijn gehanteerd waarbij rekening is gehouden met KCB-specifieke randvoorwaarden
- voor de ontwerpongevallen waarbij de Duitse richtlijnen leiden tot kleinere brontermen dan waarmee in 1972 bij het ontwerp rekening is gehouden, zijn de ontwerpactiviteiten van 1972 gehanteerd (ontwerpongevallen 7.2.3 en 8.4.1)
- er wordt vanuit gegaan dat ingrijpen van de operator plaats vindt niet eerder dan 30 minuten na de aanvang van het ongeval (zie paragraaf 1.4.3.4)
- voor de massieke activiteit in het primair koelmiddel zijn de ontwerpwaarden voor de zogenaamde Duitse "Konvoi-Anlage" gebruikt zoals weergegeven in tabel 15.3.4/4. De massieke activiteit in het primair koelmiddel wordt geschaald met de kerninventaris van de centrale. Vergelijking met de praktijkwaarden van de KCB laat zien dat deze (geschaalde) waarden ordes van grootte hoger zijn dan de gemiddelde KCB-waarden. Een uitzondering vormen de corrosieproducten die minder verschillen of zelfs een enkele overschrijding (bijvoorbeeld  $^{60}\text{Co}$ ) van de in tabel 15.3.4/4 gegeven waarden vertonen. Gelet op de geringe invloed hiervan is tabel 15.3.4/4 op dit punt niet gecorrigeerd maar blijft desondanks een conservatief uitgangspunt
- voor de filterrendementen zijn, uitgezonderd voor ontwerpongeval 7.2.3, voor het bedrijfsfilter (TL02) en het ongevalsfilter (TL070) de onderstaande waarden gehanteerd:

radioactieve stoffen	filterrendement (%) per filter	
	TL02	TL070
edelgassen	0	0
organisch jodium	0	99
elementair jodium	0	99,99
aërosolen	99,9	99,9

- correctie voor radioactief verval vindt alleen plaats bij de gevolgenanalyse.

#### Selectie van nucliden

Niet alle in de kern aanwezige nucliden leveren een significante bijdrage aan de stralingsbelasting op. Met het programma SOURCE (onderdeel van COSYMA) is een selectie gemaakt van die nucliden die te zamen minstens 95 % van de dosis per blootstellingsweg veroorzaken. De overige nucliden zijn genegeerd. De selectie is gemaakt voor de blootstellingswegen:

- externe bestraling vanuit de overtrekkende wolk
- externe bestraling ten gevolge van op de bodem neergeslagen radioactieve stoffen
- inademing van radioactieve stoffen tijdens tijdelijk verblijf in de wolk
- consumptie van met radioactieve stoffen verontreinigd voedsel.

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
<sup>85m</sup> Kr	4.10 <sup>17</sup>	<sup>105</sup> Rh	1.10 <sup>18</sup>	<sup>134</sup> Cs	5.10 <sup>17</sup>
<sup>87</sup> Kr	7.10 <sup>17</sup>	<sup>127</sup> Sb	1.10 <sup>17</sup>	<sup>136</sup> Cs	8.10 <sup>16</sup>
<sup>88</sup> Kr	9.10 <sup>17</sup>	<sup>128</sup> Sb	2.10 <sup>16</sup>	<sup>137</sup> Cs	2.10 <sup>17</sup>
<sup>88</sup> Rb	9.10 <sup>17</sup>	<sup>129</sup> Sb	4.10 <sup>17</sup>	<sup>138</sup> Cs	2.10 <sup>18</sup>
<sup>89</sup> Rb	1.10 <sup>18</sup>	<sup>130</sup> Sb	2.10 <sup>17</sup>	<sup>140</sup> Ba	2.10 <sup>18</sup>
<sup>89</sup> Sr	1.10 <sup>18</sup>	<sup>131</sup> Sb	1.10 <sup>18</sup>	<sup>140</sup> La	2.10 <sup>18</sup>
<sup>90</sup> Sr	1.10 <sup>17</sup>	<sup>132</sup> Sb	6.10 <sup>17</sup>	<sup>141</sup> La	2.10 <sup>18</sup>
<sup>91</sup> Sr	2.10 <sup>18</sup>	<sup>125m</sup> Te	3.10 <sup>15</sup>	<sup>142</sup> La	2.10 <sup>18</sup>
<sup>92</sup> Sr	2.10 <sup>18</sup>	<sup>127</sup> Te	1.10 <sup>17</sup>	<sup>141</sup> Ce	2.10 <sup>18</sup>
<sup>93</sup> Sr	2.10 <sup>18</sup>	<sup>129m</sup> Te	1.10 <sup>17</sup>	<sup>143</sup> Ce	2.10 <sup>18</sup>
<sup>90</sup> Y	1.10 <sup>17</sup>	<sup>131m</sup> Te	2.10 <sup>17</sup>	<sup>144</sup> Ce	2.10 <sup>18</sup>
<sup>91</sup> Y	2.10 <sup>18</sup>	<sup>132</sup> Te	2.10 <sup>18</sup>	<sup>143</sup> Pr	2.10 <sup>18</sup>
<sup>92</sup> Y	2.10 <sup>18</sup>	<sup>133m</sup> Te	1.10 <sup>18</sup>	<sup>145</sup> Pr	1.10 <sup>18</sup>
<sup>93</sup> Y	2.10 <sup>18</sup>	<sup>133</sup> Te	1.10 <sup>18</sup>	<sup>147</sup> Nd	9.10 <sup>17</sup>
<sup>95</sup> Zr	2.10 <sup>18</sup>	<sup>134</sup> Te	2.10 <sup>18</sup>	<sup>148</sup> Pm	3.10 <sup>17</sup>
<sup>97</sup> Zr	2.10 <sup>18</sup>	<sup>131</sup> I	1.10 <sup>18</sup>	<sup>149</sup> Pm	9.10 <sup>17</sup>
<sup>95</sup> Nb	2.10 <sup>18</sup>	<sup>132</sup> I	2.10 <sup>18</sup>	<sup>156</sup> Eu	3.10 <sup>17</sup>
<sup>97</sup> Nb	2.10 <sup>18</sup>	<sup>133</sup> I	3.10 <sup>18</sup>	<sup>238</sup> Np	7.10 <sup>17</sup>
<sup>99</sup> Mo	2.10 <sup>18</sup>	<sup>134</sup> I	3.10 <sup>18</sup>	<sup>239</sup> Np	2.10 <sup>19</sup>
<sup>101</sup> Mo	2.10 <sup>18</sup>	<sup>135</sup> I	2.10 <sup>18</sup>	<sup>239</sup> Pu	4.10 <sup>14</sup>
<sup>99m</sup> Tc	2.10 <sup>18</sup>	<sup>133</sup> Xe	3.10 <sup>18</sup>	<sup>241</sup> Pu	1.10 <sup>17</sup>
<sup>103</sup> Ru	2.10 <sup>18</sup>	<sup>135m</sup> Xe	5.10 <sup>17</sup>	<sup>242</sup> Cm	5.10 <sup>16</sup>
<sup>105</sup> Ru	1.10 <sup>18</sup>	<sup>135</sup> Xe	6.10 <sup>17</sup>		
<sup>106</sup> Ru	7.10 <sup>17</sup>	<sup>138</sup> Xe	2.10 <sup>18</sup>		

Tabel 15.3.4/2 Activiteitsinventaris berekend met behulp van het programma ORIGEN voor een kern met een gemiddelde opbrand van 39 MWd/kg en een verrijkingsgraad van 4,4%. Alleen de nucliden die enigermate bijdragen tot de gevolgen van een lozing zijn vermeld.

Nummer	Ontwerpongeval	Kansenbereik <sup>2)</sup>
1.5.1	Langdurige uitval van de secundaire hoofdkoeling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen	2
7.1.2/7.2.2	Lekkages van het primaire systeem	3
7.2.3 <sup>1)</sup>	Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding	4
7.3.2.2	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig)	3
7.4.2	Lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling	3
8.2	Lekkage in een leiding van het afgassysteem	3 (1)
8.4.1	Beschadigingen van splijtstofelementen tijdens het hanteren	2
9.1.2	Gevolgen van een aardbeving op het reactorhulpgebouw	4 (3)

<sup>1)</sup> De bronterm voor ontwerpongeval 7.2.3 valt uiteen in drie deelbrontermen, te weten 7.2.3 a tot en met c die afzonderlijk bepaald zijn. Voor het kansenbereik van 7.2.3 geldt de waarde 3, indien deze afdekkend voor 7.1.2 en 7.2.2 moet zijn

<sup>2)</sup>

1:  $F \geq 10^{-1}$   
 2:  $10^{-1} > F \geq 10^{-2}$   
 3:  $10^{-2} > F \geq 10^{-4}$   
 4:  $10^{-4} > F \geq 10^{-6}$

F = gebeurtenisfrequentie (per reactorjaar)

De getallen tussen haakjes geven de kansenbereiken weer van ongevallen waarvoor de vermelde ongevallen afdekkend verondersteld worden te zijn. De criteria van de tussen haakjes vermelde kansenbereiken mogen daarom niet overschreden worden.

Tabel 15.3.4/3 Representatieve ontwerpongevallen die radiologisch geanalyseerd worden en waarvoor brontermen zijn vastgesteld. Tevens is de indeling naar kansenbereik gepresenteerd.

Nuclide	Reinigingsgraad <sup>1)</sup>		Vrijzettings- Graad <sup>2)</sup>
	R=0	R=0,1	
	Bq/kg	Bq/kg	Bq/h
<b>Edelgassen:</b>			
<sup>85m</sup> Kr	7,0.10 <sup>7</sup>	4,3.10 <sup>7</sup>	1,2.10 <sup>12</sup>
<sup>85</sup> Kr	3,5.10 <sup>6</sup>	1,8.10 <sup>5</sup>	1,9.10 <sup>9</sup>
<sup>87</sup> Kr	5,6.10 <sup>7</sup>	4,9.10 <sup>7</sup>	3,4.10 <sup>12</sup>
<sup>88</sup> Kr	1,2.10 <sup>8</sup>	8,4.10 <sup>7</sup>	3,1.10 <sup>12</sup>
<sup>131m</sup> Xe	3,4.10 <sup>6</sup>	2,5.10 <sup>5</sup>	2,8.10 <sup>9</sup>
<sup>133m</sup> Xe	1,7.10 <sup>7</sup>	2,9.10 <sup>6</sup>	3,5.10 <sup>10</sup>
<sup>133</sup> Xe	7,2.10 <sup>8</sup>	7,2.10 <sup>7</sup>	8,2.10 <sup>11</sup>
<sup>135m</sup> Xe	1,6.10 <sup>7</sup>	1,5.10 <sup>7</sup>	4,5.10 <sup>12</sup>
<sup>135</sup> Xe	3,1.10 <sup>8</sup>	1,6.10 <sup>8</sup>	3,5.10 <sup>12</sup>
<sup>138</sup> Xe	5,0.10 <sup>7</sup>	4,6.10 <sup>7</sup>	1,5.10 <sup>13</sup>
<b>Jodium:</b>			
<sup>129</sup> I		1,8.10 <sup>0</sup>	1,8.10 <sup>4</sup>
<sup>131</sup> I		3,3.10 <sup>7</sup>	3,7.10 <sup>11</sup>
<sup>132</sup> I		1,2.10 <sup>8</sup>	4,9.10 <sup>12</sup>
<sup>133</sup> I		1,7.10 <sup>8</sup>	2,5.10 <sup>12</sup>
<sup>134</sup> I		1,3.10 <sup>8</sup>	1,3.10 <sup>12</sup>
<sup>135</sup> I		1,7.10 <sup>8</sup>	3,9.10 <sup>12</sup>

- 1) Reinigingsgraad is de fractie van het primair koelmiddel die per uur door middel van het hoofdkoelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC) gereinigd wordt.
- 2) Vrijzettingsgraad is de activiteit die per uur uit de splijtstofelementen vrijkomt in het primair koelmiddel.

**Tabel 15.3.4/4** Massieke activiteiten (ontwerpwaarden voor "Konvoi-Anlage" genormeerd op basis van de huidige kerninventaris van de centrale) van het primair koelmiddel als functie van de reinigingsgraad. Tevens is de vrijzettingsgraad van activiteit uit de splijtstofelementen weergegeven.



Nuclide	Reinigingsgraad <sup>1)</sup>		Vrijzettings- Graad <sup>2)</sup>
	R=0	R=0,1	
	Bq/kg	Bq/kg	Bq/h
<b>Alkalimetalen:</b>			
<sup>88</sup> Rb	1,0.10 <sup>8</sup>	7,3.10 <sup>7</sup>	
<sup>134</sup> Cs		2,5.10 <sup>5</sup>	4,4.10 <sup>8</sup>
<sup>137</sup> Cs		4,9.10 <sup>5</sup>	9,2.10 <sup>8</sup>
<sup>138</sup> Cs	5,0.10 <sup>7</sup>	4,6.10 <sup>7</sup>	
<sup>90</sup> Sr		5,1.10 <sup>3</sup>	5,2.10 <sup>7</sup>
<sup>3</sup> H	2,3.10 <sup>7</sup>	2,3.10 <sup>7</sup>	1,4.10 <sup>9</sup>
<b>Corrosie- produkten:</b>			
<sup>51</sup> Cr		7,4.10 <sup>4</sup>	
<sup>54</sup> Mn		7,4.10 <sup>3</sup>	
<sup>59</sup> Fe		7,4.10 <sup>3</sup>	
<sup>58</sup> Co		7,4.10 <sup>4</sup>	
<sup>60</sup> Co		2,2.10 <sup>4</sup>	
<sup>95</sup> Zr		3,7.10 <sup>3</sup>	
<sup>124</sup> Sb		3,7.10 <sup>4</sup>	

- 1) Reinigingsgraad is de fractie van het primair koelmiddel die per uur door middel van het hoofdkoelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC) gereinigd wordt.
- 2) Vrijzettingsgraad is de activiteit die per uur uit de splijtstofelementen vrijkomt in het primair koelmiddel.

**Tabel 15.3.4/4** Massieke activiteiten (ontwerpwaarden voor "Konvoi-Anlage", genormeerd op basis van de huidige kerninventaris van de centrale) van het primair koelmiddel als functie van de reinigingsgraad. Tevens is de vrijzettingsgraad van activiteit uit de splijtstofelementen weergegeven; (vervolg).

### 15.3.5 Indeling van weerssituaties

Voor een probabilistische berekening zouden eigenlijk een zeer groot aantal weerssituaties doorgerekend moeten worden. Dit vraagt zeer veel computertijd. Door een verstandige keuze van een beperkt aantal weerklassen kan de rekentijd tot aanvaardbare proporties worden teruggebracht. In COSYMA kunnen diverse indelingsschema's worden gekozen. Er is gebruik gemaakt van zogenaamde 'stratified sampling' van de beschikbare weersgegevens. Dit houdt in dat 17.520 urengegevens over de jaren 1982/1983 (2 x 8.760) van het meteorologische station Vlissingen als volgt zijn ingedeeld:

- windrichting; verdeeld in 12 sectoren van 30°
- regenintensiteit:  $I=0$ ,  $0<I<1$ ,  $1\leq I<3$ ,  $I\geq 3$  mm neerslag in het afgelopen uur. De regenklasse kan dus per uur anders zijn
- reistijd; verdeeld in drie klassen naar de tijd die de pluim nodig heeft om een cirkel met een straal van 20 km rond de centrale te verlaten,  $0<T\leq 3$ ,  $3<T\leq 6$ ,  $T>6$  uur. Deze tijd wordt zowel bepaald door de windrichting als de windsnelheid op ieder uur.

Alle 17.520 waarnemingen zijn dus ingedeeld in 144 klassen. De situatie beschreven voor een klasse, is dan  $i$  keer opgetreden. De frequentie van voorkomen per klasse is gelijk aan  $i/17.520$ .

Per klasse wordt uit het aantal  $i$  gelijksoortige weerssituaties willekeurig één weerssituatie getrokken. Die ene situatie wordt dan als representatief voor die klasse beschouwd en krijgt de frequentie toebedeeld van zijn klasse. Die situatie heeft een bepaalde starttijd binnen de twee jaar waarover is geselecteerd. Voor elk van de 144 starttijden is de verspreiding als functie van de afstand doorgerekend, waarbij rekening is gehouden met een weersverandering na ieder uur.

### 15.3.6 Wijze van berekenen

Met de in paragraaf 15.3.5 vermelde indeling van de weerssituaties is voor elk van de 144 starttijden de verspreiding als functie van de afstand doorgerekend, waarbij rekening is gehouden met een weersverandering na ieder uur. Vervolgens is voor elke afstand de dosis voor elk van de geselecteerde blootstellingswegen doorgerekend. Na sommatie wordt de totale dosis verkregen als functie van de afstand voor het specifieke weersscenario dat gekozen is, d.w.z. een scenario voor elk van de 144 klassen van gelijksoortige weerssituaties, zie 15.3.5. Door combinatie van de maximale waarde van de dosis buiten de terreingrens (350 m) voor elk van deze scenario's en de kans van optreden van elk scenario ontstaat er een waarschijnlijkheidsverdeling van maximale doses buiten de terreingrens. De maximale dosis die wordt vergeleken met de dosiscriteria is de 95%-percentiel van deze waarschijnlijkheidsverdeling.

## 15.3.7 Resultaten ten aanzien van lozingen

- 15.3.7.1 Bronterm behorende bij ontwerpongeval 1.5.1  
 Langdurige uitval van de secundaire hoofdkoeling bij bedrijfslekage van stoomgeneratorpijpen.  
 (figuur 15.3.7.1/1, tabel 15.3.7.1/1 en 2)

### Dosis criterium

Gezien het kansbereik van dit ontwerpongeval ( $10^{-1} > F \geq 10^{-2}$ ), mag het onderstaande dosis criterium, geldig voor de meest restrictieve groep -kinderen-, niet worden overschreden:

$$E(\text{kind}) = 0,4 \text{ mSv}$$

### Specifieke brontermuitgangspunten

Voor de analyse van dit ongeval is het volgende ongevalsverloop aangenomen:

- bij een lekkage tijdens bedrijf van primaire naar secundaire zijde van 100 l/h moet de installatie uit bedrijf worden genomen
- vlak voor de aanvang van de uitbedrijfname ontstaat een noodstroomsituatie
- 10 uur na het begin van de noodstroomsituatie wordt begonnen met de uitbedrijfname; gedurende deze fase wordt in totaal circa  $200 \cdot 10^3$  kg stoom afgeblazen
- circa 4 uur daarna wordt de restwarmte-afvoer overgenomen door het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ); gedurende deze fase wordt in totaal circa  $150 \cdot 10^3$  kg stoom afgeblazen.

Voor de bepaling van de bronterm geldt dat gedurende bovengenoemde 14 uur ongeveer 900 kg primair koelmiddel als stoom en ongeveer 2,5 kg als water wordt afgevoerd.

Als verdere uitgangspunten voor de vaststelling van de bronterm gelden:

- een constant lekdebiet van circa 0,02 kg/s wordt aangenomen gedurende 14 uur
- een volledige menging van primair en secundair water
- het primair koelmiddel wordt na menging met secundair water afgeblazen als stoom met 0,25% waterdruppels
- als massieke activiteiten van het primair koelmiddel gelden de waarden zoals weergegeven in tabel 15.3.4/4 voor  $R=0,1$ . Alhoewel bij de KCB de koelmiddelontgassing in tegenstelling tot de koelmiddelreiniging niet permanent in bedrijf is, zijn de KCB-praktijkwaarden voor de massieke edelgasactiviteiten desondanks ordes van grootte lager dan de in tabel 15.3.4/4 vermelde activiteiten. De in tabel 15.3.4/4 vermelde waarden vormen dus desondanks een conservatief uitgangspunt
- in verband met het optredende spiking-effect worden de gegeven waarden van  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  en  $^{137}\text{Cs}$  met een factor 30 verhoogd, dit als gevolg van de lange duur van het ongeval

- alle edelgassen uit het overgestroomde primair koelmiddel (ruim 1000 kg) worden volledig geloosd
- afwijkend van de Duitse richtlijnen wordt voor elementair jodium aangenomen dat 1 % van het jodium uit het overgestroomde primair koelmiddel gasvormig is en wordt geloosd
- tritium wordt met de stoom geloosd (900 kg)
- aërosolen en jodium worden met de meegesleurde waterdruppels geloosd (2,5 kg)
- voor het vrijkomende jodium in de waterdruppels wordt een verdeling aangehouden van 10% elementair en 90% als aërosol.

De bronterm voor dit ongeval is gegeven in tabel 15.3.7.1/2.

### Dosisberekeningen

De resultaten van de dosisberekeningen voor deze bronterm zijn hieronder beschreven en weergegeven in figuur 15.3.7.1/1.

#### Effectieve dosis

De maximale effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is circa 0,002 mSv. Uit de berekeningen blijkt dat het nuclide  $^{131}\text{I}$  voor 99,5 % verantwoordelijk is voor de ingestiedosis.

#### Schildklier dosis

De maximale, schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is circa 0,06 mSv. Het nuclide  $^{131}\text{I}$  is voor vrijwel 100 % verantwoordelijk voor de ingestiedosis.

#### Toetsing aan het dosiscriterium

Toetsing aan het dosiscriterium dient te worden uitgevoerd aan het criterium voor kinderen, aangezien deze de meest restrictieve groep vertegenwoordigen. Hierdoor wordt de toetsing voor volwassenen volledig afgedekt, en is derhalve niet afzonderlijk vermeld. De vergelijking van de berekende dosis met het dosiscriterium is weergegeven in onderstaande tabel 15.3.7.1/1.

Type dosis	Berekende maximale dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
$E$ (kind)	0,002	0,4	Ja
$H_{th}$ (kind)	0,06	500	Ja

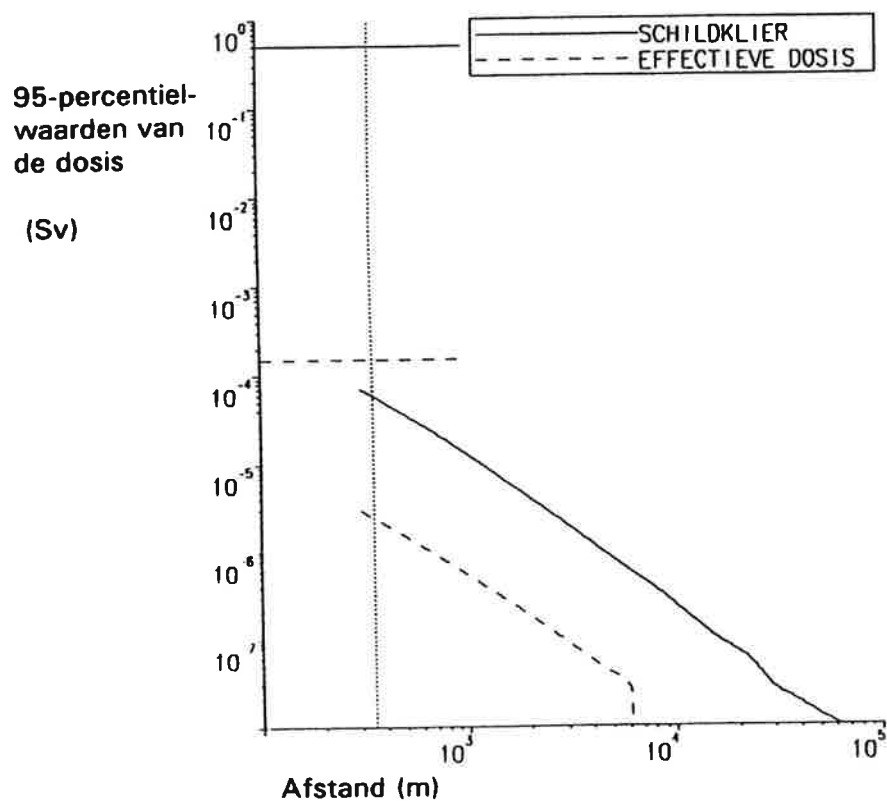
Tabel 15.3.7.1/1 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosiscriterium bij ontwerpgeval 1.5.1.

#### Dosiswaarden op 1 km afstand

Uit figuur 15.3.7.1/1 kan worden afgelezen dat voor het bewoonde gebied op 1 km afstand de effectieve dosis en de schildklierdosis over 70 jaar na het ongeval respectievelijk circa 0,0005 mSv en 0,1 mSv bedragen.

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
$^{85m}\text{Kr}$	$4.10^{10}$	elementair		$^{88}\text{Rb}$	$2.10^8$
$^{85}\text{Kr}$	$1.10^8$	$^{129}\text{I}$	$1.10^1$	$^{134}\text{Cs}$	$1.10^7$
$^{87}\text{Kr}$	$5.10^{10}$	$^{131}\text{I}$	$1.10^{10}$	$^{137}\text{Cs}$	$3.10^7$
$^{88}\text{Kr}$	$9.10^{10}$	$^{132}\text{I}$	$1.10^9$	$^{138}\text{Cs}$	$1.10^8$
$^{131m}\text{Xe}$	$3.10^8$	$^{133}\text{I}$	$2.10^9$		
$^{133m}\text{Xe}$	$3.10^9$	$^{134}\text{I}$	$2.10^9$	$^{90}\text{Sr}$	$1.10^4$
$^{133}\text{Xe}$	$8.10^{10}$	$^{135}\text{I}$	$2.10^9$	$^3\text{H}$	$2.10^{10}$
$^{135m}\text{Xe}$	$2.10^{10}$	aërosol			
$^{135}\text{Xe}$	$2.10^{11}$	$^{129}\text{I}$	$3.10^0$	$^{51}\text{Cr}$	$2.10^5$
$^{138}\text{Xe}$	$5.10^{10}$	$^{131}\text{I}$	$2.10^9$	$^{54}\text{Mn}$	$2.10^4$
		$^{132}\text{I}$	$2.10^8$	$^{59}\text{Fe}$	$2.10^4$
		$^{133}\text{I}$	$4.10^8$	$^{58}\text{Co}$	$2.10^5$
		$^{134}\text{I}$	$3.10^8$	$^{60}\text{Co}$	$5.10^4$
		$^{135}\text{I}$	$4.10^8$	$^{95}\text{Zr}$	$8.10^3$
				$^{124}\text{Sb}$	$1.10^5$

Tabel 15.3.7.1/2 Bronterm 1.5.1: langdurige uitval secundaire hoofdkoeling met bedrijfslekkage stoomgeneratorpijpen.



**Figuur 15.3.7.1/1** 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand voor bronterm 1.5.1.

**15.3.7.2 Bronterm behorende bij ontwerpongeval 7.2.3  
Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding.  
 (figuur 15.3.7.2/1 tot en met 4 en tabel 15.3.7.2/1 tot en met 4)**

**Dosiscriterium**

Alhoewel het kansengebied van dit ongeval  $10^{-4} > F \geq 10^{-6}$  bedraagt, mag om afdekkend te kunnen zijn voor de ongevallen 7.1.2 en 7.2.2 ( $10^{-2} > F \geq 10^{-4}$ ) het onderstaande dosis criterium niet worden overschreden (zie paragraaf 15.1.2):

$$E(\text{kind}) = 4 \text{ mSv}$$

Voor de aanname van een additioneel lek in een leiding van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) tijdens putbedrijf na een breuk van de hoofdkoelmiddelleiding geldt een kansengebied van  $< 10^{-6}$  per jaar. Voor dit kansengebied geldt voor kinderen een dosis criterium van 40 mSv effectieve dosis en 500 mSv schildklierdosis indien dit scenario nog als ontwerpongeval wordt beschouwd. Echter op conservatieve wijze wordt ook voor deze additionele TJ-lekkage het dosis criterium van het kansengebied  $10^{-2} > F \geq 10^{-4}$  gehanteerd.

**Specifieke brontermuitgangspunten**

Voor de thermohydraulische analyse van dit ongeval wordt verwezen naar paragraaf 15.2.12.

Gezien het ongevalsverloop worden 3 brontermen onderscheiden voor de volgende situaties:

- lozing via de ringruimte ten gevolge van lekkage uit de op druk staande veiligheidsomhulling (bronterm 7.2.3a)
- lozing ten gevolge van de "bypass" van de ringruimte (bronterm 7.2.3b)
- lozing ten gevolge van een additioneel lek in een leiding van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) tijdens putbedrijf (bronterm 7.2.3c).

Voor de bepaling van de omvang van de 3 brontermen gelden verder als uitgangspunten:

- de conservatieve ontwerpwaarden van 1972 worden gehanteerd. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de splijtstofstaven beschadigd worden en dat dit leidt tot het vrijkomen in het primair koelmiddel van 10 % van de in de kern aanwezige edelgassen, jodium en vluchtige vaste stoffen. Bovendien komt er van de niet vluchtige vaste stoffen 1 % vrij uit de kern.  
 Aangenomen wordt dat alle edelgassen en een kwart van de overige stoffen uit het koelmiddel in het vrije volume van de veiligheidsomhulling vrijkomen.



In het vrije volume van de veiligheidsomhulling zijn dus de volgende fracties van de inventaris van de beschadigde kern aanwezig:

. edelgassen	:	$10^{-1}$
. jodium	:	$2,5 \cdot 10^{-2}$
. vluchtige vaste stoffen	:	$2,5 \cdot 10^{-2}$
. niet vluchtige vaste stoffen	:	$2,5 \cdot 10^{-3}$

In het primair koelmiddel resteren dan de volgende fracties van de inventaris van de beschadigde kern:

. edelgassen	:	0
. jodium	:	$7,5 \cdot 10^{-2}$
. vluchtige vaste stoffen	:	$7,5 \cdot 10^{-2}$
. niet vluchtige vaste stoffen	:	$7,5 \cdot 10^{-3}$

Voor de brontermen 7.2.3a en c wordt voor elementair jodium overeenkomstig de ontwerpwaarden van 1972 een filterrendement van 99,9 % gehanteerd:

- lozing via ringruimte (bronterm 7.2.3a)  
Ten gevolge van overdruk in de veiligheidsomhulling treedt lekkage op naar de ringruimte. De maximaal toelaatbare leksnelheid bedraagt 0,25 volume procent per dag. Dit wordt aangehouden als de initiële leksnelheid. De eerste negen uur neemt de leksnelheid af met een halfwaardetijd van zes uur. Vanaf negen uur neemt de leksnelheid af met een halfwaardetijd van twaalf uur.
- lozing ten gevolge van bypass ringruimte (bronterm 7.2.3b)  
Door de uitzetting van de veiligheidsomhulling komt de ringruimte gedurende 5 minuten op overdruk. Hierdoor treedt een directe lekkage naar buiten op. Na 6 à 7 minuten is de overdruk afgevoerd als gevolg van de ringruimteafzuiging via TL070.
- lozing ten gevolge van additioneel TJ-lek (bronterm 7.2.3c)  
Aangenomen wordt dat:
  - . het TJ-lek 30 minuten na aanvang van de lekkage wordt opgeheven. In totaal is in deze periode  $5,5 \text{ m}^3$  primair koelmiddel in de ringruimte weggelekt
  - . in afwijking van de Duitse richtlijnen bedraagt de concentratieverhouding tussen het jodium in water en lucht  $10^4$  bij een watervolume van  $5,5 \text{ m}^3$  en een luchtvolume van de ringruimte van  $25.000 \text{ m}^3$
  - . het lekwater in een uur tijd afgevoerd is naar het nucleair gebouwonwateringssysteem (TZ) en daar geïsoleerd wordt. In dat uur wordt  $3.000 \text{ m}^3$  "besmette lucht" afgevoerd naar het TL070-filter. Hierna moet ten gevolge van het voor dit uur aangenomen concentratie-evenwicht nog  $25.000 \text{ m}^3$  "besmette lucht" afgevoerd worden.

De brontermen 7.2.3a tot en met c zijn weergegeven in de tabellen 15.3.7.2/1 tot en met 3.

### Dosisberekeningen

#### Bronterm 7.2.3a: lozing via ringruimte

De resultaten van de dosisberekeningen voor deze bronterm zijn hieronder beschreven en weergegeven in figuur 15.3.7.2/1.

#### Effectieve dosis

De maximale effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is circa 0,04 mSv. De nucliden die bijdragen aan de ingestiedosis zijn  $^{90}\text{Sr}$  (34 %),  $^{131}\text{I}$  (28 %),  $^{134}\text{Cs}$  (17 %) en  $^{137}\text{Cs}$  (8 %). De ingestiedosis zal zich over meerdere jaren uitstrekken, maar er wordt conservatief aangenomen dat voor de referentiegroep het merendeel van deze dosis tijdens de kinderjaren wordt ontvangen.

#### Schildklierdosis

De maximale schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is circa 1,2 mSv. De ingestiedosis is voor 97 % afkomstig van  $^{131}\text{I}$ .

#### Dosiswaarden op 1 km afstand

Uit figuur 15.3.7.2/1 kan worden afgelezen dat voor het bewoonde gebied op 1 km afstand de effectieve dosis en de schildklierdosis over 70 jaar na het ongeval respectievelijk circa 0,01 mSv en 0,05 mSv bedragen.

#### Bronterm 7.2.3b: "bypass" ringruimte

De resultaten van de dosisberekeningen voor deze bronterm zijn hieronder beschreven en weergegeven in figuur 15.3.7.2/2.

#### Effectieve dosis

De maximale effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is circa 0,004 mSv. De nucliden die bijdragen aan de ingestiedosis zijn  $^{90}\text{Sr}$  (32 %),  $^{131}\text{I}$  (33 %),  $^{134}\text{Cs}$  (17 %) en  $^{137}\text{Cs}$  (8 %). De ingestiedosis zal zich over meerdere jaren uitstrekken, maar er kan conservatief gesteld worden dat de kinderen het merendeel van deze dosis tijdens hun jeugd zullen ontvangen.

#### Schildklierdosis

De maximale schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is circa 0,01 mSv. De ingestiedosis is voor 97 % afkomstig van  $^{131}\text{I}$ .

#### Dosiswaarden op 1 km afstand

Uit figuur 15.3.7.2/2 kan worden afgelezen dat voor het bewoonde gebied op 1 km afstand de effectieve dosis en de schildklierdosis over 70 jaar na het ongeval respectievelijk circa 0,0005 mSv en 0,002 mSv bedragen.

#### Bronterm 7.2.3c: TJ-lek

De resultaten van de dosisberekeningen voor deze bronterm zijn hieronder beschreven en weergegeven in figuur 15.3.7.2/3.

#### Effectieve dosis

De maximale effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is circa 0,1 mSv. Uit de berekeningen blijkt dat het nuclide  $^{131}\text{I}$  voor 100 % verantwoordelijk is voor de ingestiedosis.

#### Schildklier dosis

De maximale schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is circa 3,2 mSv. Het nuclide  $^{131}\text{I}$  is voor 100 % verantwoordelijk voor de ingestiedosis.

#### Dosiswaarden op 1 km afstand

Uit figuur 15.3.7.2/3 kan worden afgelezen dat voor het bewoonde gebied op 1 km afstand de effectieve dosis en de schildklierdosis over 70 jaar na het ongeval respectievelijk circa 0,04 mSv en 1 mSv bedragen.

De resultaten van de dosisberekeningen voor de drie brontermen te zamen zijn weergegeven in figuur 15.3.7.2/4.

**Toetsing aan het dosiscriterium**

Een vergelijking van de berekende doses voor de brontermen 7.2.3a tot en met c met het dosiscriterium is weergegeven in de onderstaande tabel 15.3.7.2/4.

Bronterm	Berekende maximale dosis (mSv)		Dosiscriterium (mSv)		Voldoet ja/nee
	<i>E</i> (kind)	<i>H<sub>th</sub></i> (kind)	<i>E</i> (kind)	<i>H<sub>th</sub></i> (kind)	
7.2.3a lozing via ring-ruimte	0,04	1,2	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
7.2.3b bypass ring-ruimte	0,004	0,01	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
7.2.3c TJ-lek	0,1	3,2	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Bijdrage externe straling (15.3.8)	0,8	0,8			
<b>Totaal</b>	<b>1</b>	<b>5,2</b>	<b>4</b>	<b>500</b>	<b>ja</b>

Tabel 15.3.7.2/4 Toetsing van de berekende doses aan het geldende dosiscriterium bij ontwerpongeval 7.2.3.

De sommatie van de doses veroorzaakt door de deelbrontermen 7.2.3a tot en met c en toetsing van deze som aan het dosiscriterium behorende bij het kansbereik  $10^{-2} < F \leq 10^{-4}$ , te weten  $E = 4$  mSv, is een zeer conservatieve benadering daar in het geval van een additioneel TJ-lek na een breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (bronterm 7.2.3c), gezien het kansbereik van dit ongeval, hogere dosiscriteria van toepassing zijn.

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
<sup>85m</sup> Kr	3.10 <sup>13</sup>	<sup>105</sup> Rh	3.10 <sup>9</sup>	<sup>134</sup> Cs	7.10 <sup>9</sup>
<sup>87</sup> Kr	6.10 <sup>13</sup>	<sup>127</sup> Sb	3.10 <sup>9</sup>	<sup>136</sup> Cs	1.10 <sup>9</sup>
<sup>88</sup> Kr	8.10 <sup>13</sup>	<sup>128</sup> Sb	4.10 <sup>8</sup>	<sup>137</sup> Cs	3.10 <sup>9</sup>
<sup>88</sup> Rb	2.10 <sup>9</sup>	<sup>129</sup> Sb	9.10 <sup>9</sup>	<sup>138</sup> Cs	5.10 <sup>10</sup>
<sup>89</sup> Rb	3.10 <sup>9</sup>	<sup>130</sup> Sb	4.10 <sup>9</sup>	<sup>140</sup> Ba	5.10 <sup>10</sup>
<sup>89</sup> Sr	3.10 <sup>9</sup>	<sup>131</sup> Sb	2.10 <sup>10</sup>	<sup>140</sup> La	5.10 <sup>9</sup>
<sup>90</sup> Sr	3.10 <sup>8</sup>	<sup>132</sup> Sb	1.10 <sup>10</sup>	<sup>141</sup> La	5.10 <sup>9</sup>
<sup>91</sup> Sr	4.10 <sup>9</sup>	<sup>125m</sup> Te	6.10 <sup>9</sup>	<sup>142</sup> La	5.10 <sup>9</sup>
<sup>92</sup> Sr	4.10 <sup>9</sup>	<sup>127</sup> Te	3.10 <sup>9</sup>	<sup>141</sup> Ce	5.10 <sup>9</sup>
<sup>93</sup> Sr	4.10 <sup>9</sup>	<sup>129m</sup> Te	2.10 <sup>9</sup>	<sup>143</sup> Ce	5.10 <sup>9</sup>
<sup>90</sup> Y	3.10 <sup>8</sup>	<sup>131m</sup> Te	4.10 <sup>9</sup>	<sup>144</sup> Ce	4.10 <sup>9</sup>
<sup>91</sup> Y	4.10 <sup>9</sup>	<sup>132</sup> Te	4.10 <sup>10</sup>	<sup>143</sup> Pr	5.10 <sup>9</sup>
<sup>92</sup> Y	4.10 <sup>9</sup>	<sup>133m</sup> Te	2.10 <sup>10</sup>	<sup>145</sup> Pr	3.10 <sup>9</sup>
<sup>93</sup> Y	4.10 <sup>9</sup>	<sup>133</sup> Te	3.10 <sup>10</sup>	<sup>147</sup> Nd	2.10 <sup>9</sup>
<sup>95</sup> Zr	5.10 <sup>9</sup>	<sup>134</sup> Te	5.10 <sup>10</sup>	<sup>148</sup> Pm	6.10 <sup>8</sup>
<sup>97</sup> Zr	4.10 <sup>9</sup>	elementair <sup>131</sup> I	1.10 <sup>10</sup>	<sup>149</sup> Pm	2.10 <sup>9</sup>
<sup>95</sup> Nb	5.10 <sup>9</sup>	<sup>132</sup> I	2.10 <sup>10</sup>	<sup>156</sup> Eu	6.10 <sup>8</sup>
<sup>97</sup> Nb	5.10 <sup>9</sup>	<sup>133</sup> I	3.10 <sup>10</sup>	<sup>238</sup> Np	1.10 <sup>9</sup>
<sup>99</sup> Mo	5.10 <sup>9</sup>	<sup>134</sup> I	3.10 <sup>10</sup>	<sup>239</sup> Np	6.10 <sup>10</sup>
<sup>101</sup> Mo	5.10 <sup>9</sup>	<sup>135</sup> I	3.10 <sup>10</sup>	<sup>239</sup> Pu	1.10 <sup>6</sup>
<sup>99m</sup> Tc	5.10 <sup>9</sup>	organisch <sup>131</sup> I	1.10 <sup>11</sup>	<sup>241</sup> Pu	3.10 <sup>8</sup>

Tabel 15.3.7.2/1 Bronterm 7.2.3a: lozing via ringruimte

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
$^{103}\text{Ru}$	$5 \cdot 10^9$	$^{132}\text{I}$	$2 \cdot 10^{11}$	$^{242}\text{Cm}$	$5 \cdot 10^7$
$^{105}\text{Ru}$	$3 \cdot 10^9$	$^{133}\text{I}$	$3 \cdot 10^{11}$		
$^{106}\text{Ru}$	$1 \cdot 10^9$	$^{135}\text{I}$	$3 \cdot 10^{11}$		
		$^{133}\text{Xe}$	$2 \cdot 10^{14}$		
		$^{135\text{m}}\text{Xe}$	$5 \cdot 10^{13}$		
		$^{135}\text{Xe}$	$6 \cdot 10^{13}$		
		$^{138}\text{Xe}$	$2 \cdot 10^{14}$		

Tabel 15.3.7.2/1 Bronterm 7.2.3a: lozing via ringruimte; (vervolg)

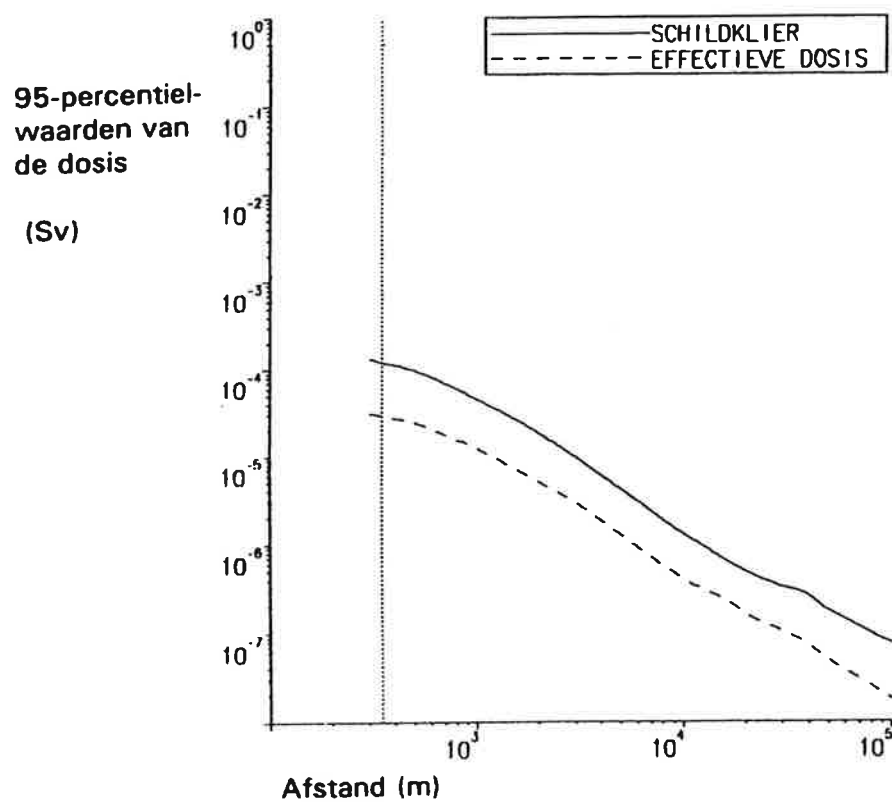
Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
<sup>85m</sup> Kr	4.10 <sup>9</sup>	<sup>105</sup> Rh	3.10 <sup>8</sup>	<sup>134</sup> Cs	8.10 <sup>8</sup>
<sup>87</sup> Kr	7.10 <sup>9</sup>	<sup>127</sup> Sb	3.10 <sup>8</sup>	<sup>136</sup> Cs	3.10 <sup>8</sup>
<sup>88</sup> Kr	1.10 <sup>10</sup>	<sup>128</sup> Sb	5.10 <sup>7</sup>	<sup>137</sup> Cs	4.10 <sup>8</sup>
<sup>88</sup> Rb	3.10 <sup>8</sup>	<sup>129</sup> Sb	1.10 <sup>9</sup>	<sup>138</sup> Cs	6.10 <sup>9</sup>
<sup>89</sup> Rb	3.10 <sup>8</sup>	<sup>130</sup> Sb	5.10 <sup>8</sup>	<sup>140</sup> Ba	6.10 <sup>9</sup>
<sup>89</sup> Sr	4.10 <sup>8</sup>	<sup>131</sup> Sb	3.10 <sup>9</sup>	<sup>140</sup> La	6.10 <sup>8</sup>
<sup>90</sup> Sr	3.10 <sup>7</sup>	<sup>132</sup> Sb	2.10 <sup>9</sup>	<sup>141</sup> La	6.10 <sup>8</sup>
<sup>91</sup> Sr	4.10 <sup>8</sup>	<sup>125m</sup> Te	7.10 <sup>8</sup>	<sup>142</sup> La	6.10 <sup>8</sup>
<sup>92</sup> Sr	5.10 <sup>8</sup>	<sup>127</sup> Te	3.10 <sup>8</sup>	<sup>141</sup> Ce	6.10 <sup>8</sup>
<sup>93</sup> Sr	5.10 <sup>8</sup>	<sup>129m</sup> Te	3.10 <sup>8</sup>	<sup>143</sup> Ce	5.10 <sup>8</sup>
<sup>90</sup> Y	3.10 <sup>7</sup>	<sup>131m</sup> Te	5.10 <sup>8</sup>	<sup>144</sup> Ce	4.10 <sup>8</sup>
<sup>91</sup> Y	5.10 <sup>8</sup>	<sup>132</sup> Te	5.10 <sup>9</sup>	<sup>143</sup> Pr	5.10 <sup>8</sup>
<sup>92</sup> Y	5.10 <sup>8</sup>	<sup>133m</sup> Te	3.10 <sup>9</sup>	<sup>145</sup> Pr	4.10 <sup>8</sup>
<sup>93</sup> Y	5.10 <sup>8</sup>	<sup>133</sup> Te	4.10 <sup>9</sup>	<sup>147</sup> Nd	2.10 <sup>8</sup>
<sup>95</sup> Zr	6.10 <sup>8</sup>	<sup>134</sup> Te	6.10 <sup>9</sup>	<sup>148</sup> Pm	7.10 <sup>7</sup>
<sup>97</sup> Zr	5.10 <sup>8</sup>	<sup>131</sup> I	3.10 <sup>9</sup>	<sup>149</sup> Pm	2.10 <sup>8</sup>
<sup>95</sup> Nb	6.10 <sup>8</sup>	<sup>132</sup> I	5.10 <sup>9</sup>	<sup>156</sup> Eu	8.10 <sup>7</sup>
<sup>97</sup> Nb	6.10 <sup>8</sup>	<sup>133</sup> I	7.10 <sup>9</sup>	<sup>238</sup> Np	1.10 <sup>8</sup>
<sup>99</sup> Mo	6.10 <sup>8</sup>	<sup>134</sup> I	8.10 <sup>9</sup>	<sup>239</sup> Np	7.10 <sup>9</sup>
<sup>101</sup> Mo	6.10 <sup>8</sup>	<sup>135</sup> I	7.10 <sup>9</sup>	<sup>239</sup> Pu	1.10 <sup>5</sup>
<sup>99m</sup> Tc	6.10 <sup>8</sup>	<sup>133</sup> Xe	3.10 <sup>10</sup>	<sup>241</sup> Pu	3.10 <sup>7</sup>
<sup>103</sup> Ru	5.10 <sup>8</sup>	<sup>135m</sup> Xe	6.10 <sup>9</sup>	<sup>242</sup> Cm	7.10 <sup>6</sup>
<sup>105</sup> Ru	3.10 <sup>8</sup>	<sup>135</sup> Xe	7.10 <sup>9</sup>		
<sup>106</sup> Ru	1.10 <sup>8</sup>	<sup>138</sup> Xe	2.10 <sup>10</sup>		

Tabel 15.3.7.2/2 Bronterm 7.2.3b: "bypass" ringruimte.

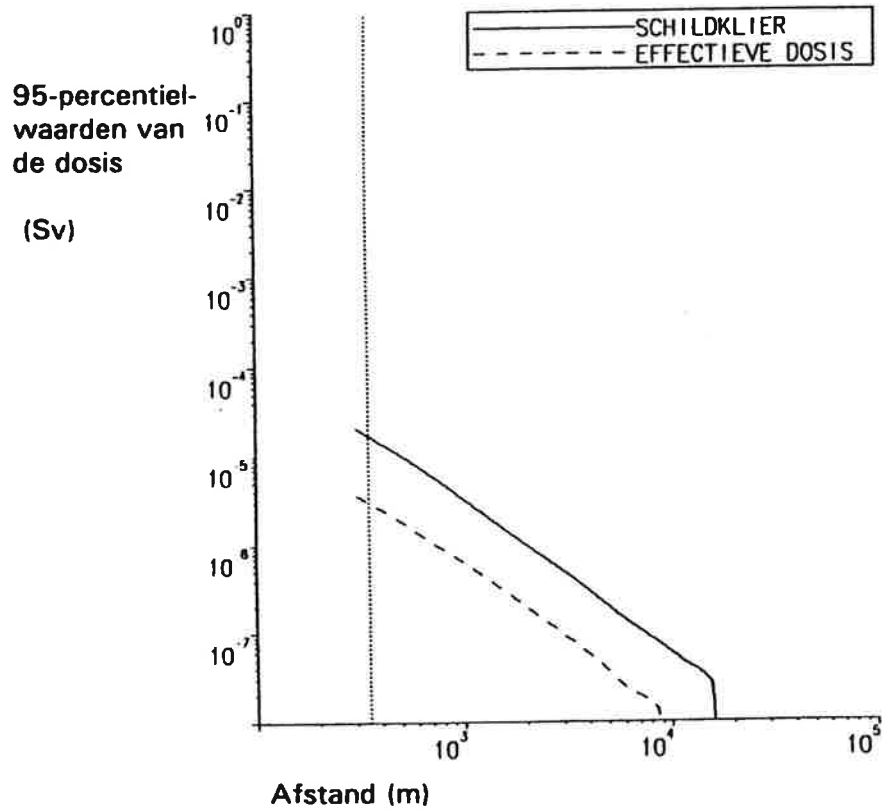
<b>Nuclide</b>	<b>Activiteit (Bq)</b>
<b>elementair</b>	
$^{131}\text{I}$	$4 \cdot 10^{11}$
$^{132}\text{I}$	$6 \cdot 10^{11}$
$^{133}\text{I}$	$9 \cdot 10^{11}$
$^{134}\text{I}$	$1 \cdot 10^{12}$
$^{135}\text{I}$	$9 \cdot 10^{11}$
<b>organisch</b>	
$^{131}\text{I}$	$4 \cdot 10^{12}$
$^{132}\text{I}$	$6 \cdot 10^{12}$
$^{133}\text{I}$	$9 \cdot 10^{12}$
$^{134}\text{I}$	$1 \cdot 10^{13}$
$^{135}\text{I}$	$8 \cdot 10^{12}$

Tabel 15.3.7.2/3 Bronterm 7.2.3c: TJ-lek

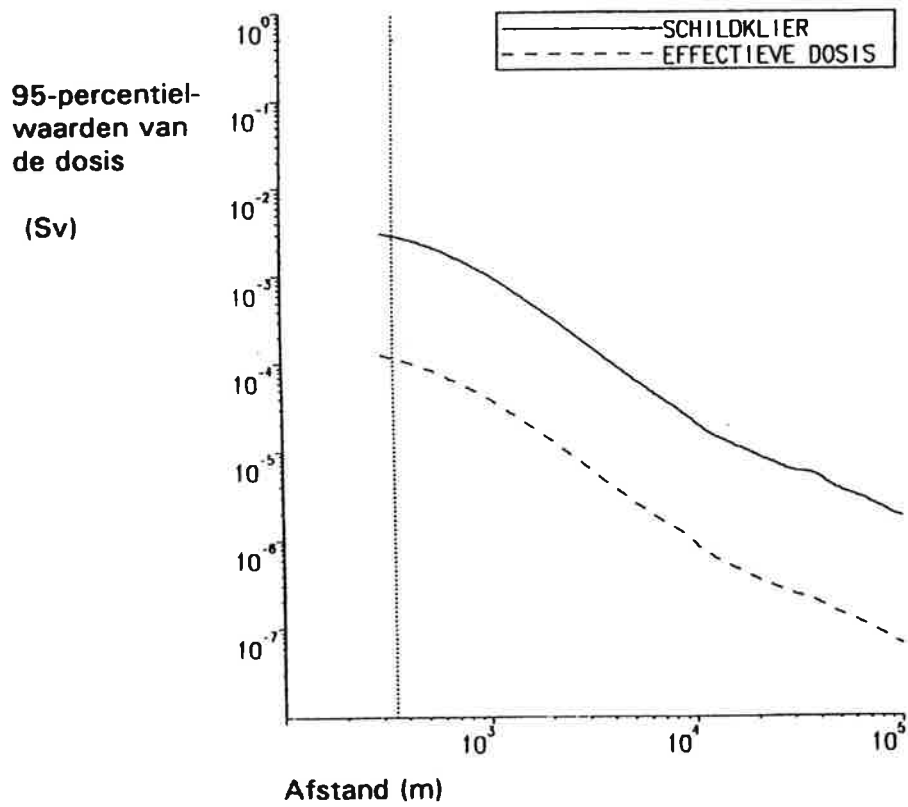




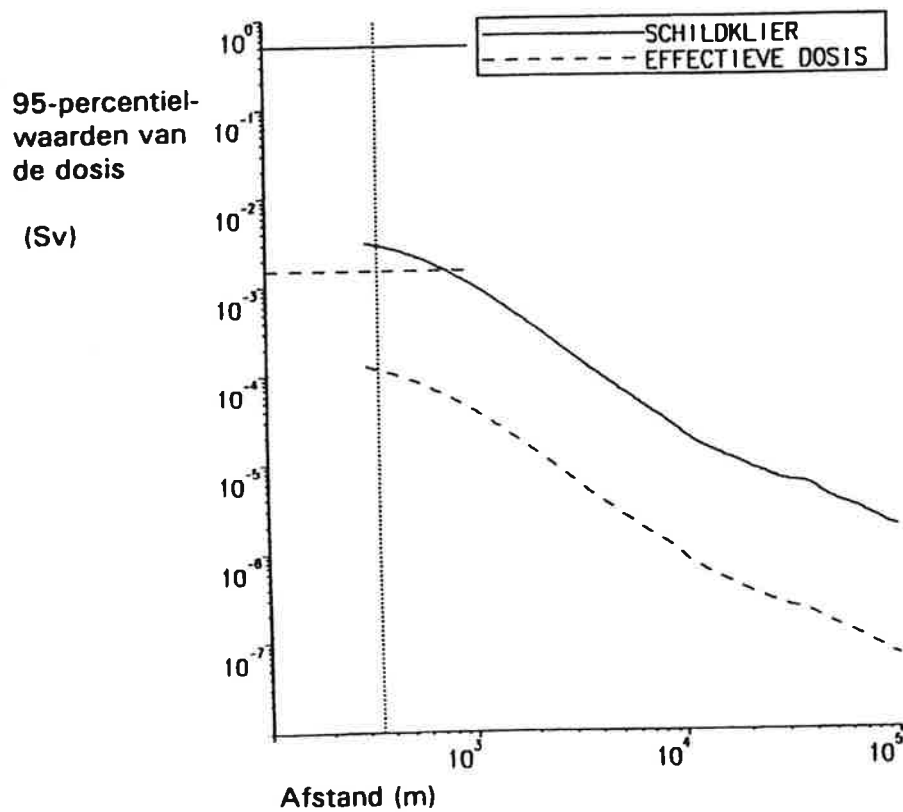
**Figuur 15.3.7.2/1** 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand voor bronterm 7.2.3a.



**Figuur 15.3.7.2/2** 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand voor bronterm 7.2.3b.



**Figuur 15.3.7.2/3** 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand voor bronterm 7.2.3c.



**Figuur 15.3.7.2/4** 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand voor de bronterm 7.2.3 (brontermen 7.2.3 a tot en met c te zamen).

### 15.3.7.3 Bronterm behorende bij ontwerpongeval 7.3.2.2

Bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig).  
(Figuur 15.3.7.3/1 en tabel 15.3.7.3/1 en 2).

#### Dosiscriterium

Gezien het kansbereik van dit ontwerpongeval ( $10^{-2} > F \geq 10^{-4}$ ), mag het onderstaande dosis criterium niet worden overschreden:

$$E(\text{kind}) = 4 \text{ mSv}$$

#### Specifieke brontermuitgangspunten

De thermohydraulische analyse van dit ongeval (zie paragraaf 15.2.13) laat zien dat gedurende de eerste 30 minuten circa  $28 \cdot 10^3$  kg primair koelmiddel naar de secundaire zijde overstroomt en dat gedurende deze tijd circa 3.500 kg primair koelmiddel wordt afgeblazen. Verder wordt aangenomen dat de operator na 30 minuten start met het isoleren van de defecte stoomgenerator. Voordat de isolatie effectief is zijn nog eens 30 minuten verstreken.

Voor de bepaling van de omvang van de bronterm gelden verder als uitgangspunten:

- het lek blijft tijdens het isoleren van de stoomgenerator constant op 14 kg/s. Dit leidt tot het overstromen gedurende deze fase van circa  $25 \cdot 10^3$  kg primair koelmiddel
- op tijdstip  $t = 0$  wordt momentaan als stoom afgeblazen de activiteitsinhoud van circa 7.100 kg primair koelmiddel, zijnde, gezien het radioactieve verval, een conservatieve extrapolatie van de hoeveelheid in de eerste fase
- het primair koelmiddel wordt na menging met secundair water afgeblazen als stoom met 0,25% waterdruppels
- als massieke activiteiten van het primair koelmiddel gelden de waarden zoals weergegeven in tabel 15.3.4/4 voor  $R=0,1$ . Alhoewel bij de KCB de koelmiddelontgassing in tegenstelling tot de koelmiddelreiniging niet permanent in bedrijf is, zijn de KCB-praktijkwaarden voor de massieke edelgasactiviteiten desondanks ordes van grootte lager dan de in tabel 15.3.4/4 vermelde activiteiten. De in tabel 15.3.4/4 vermelde waarden vormen dus desondanks een conservatief uitgangspunt
- in verband met het optredende spiking-effect worden de gegeven waarden van  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  en  $^{137}\text{Cs}$  met een factor 12,7 verhoogd
- alle edelgasen uit het overgestroomde primaire koelmiddel (circa  $53 \cdot 10^3$  kg) worden volledig geloosd
- afwijkend van de Duitse richtlijnen wordt voor elementair jodium aangenomen dat 1% van het jodium uit het overgestroomde primair koelmiddel (circa  $53 \cdot 10^3$  kg) gasvormig is en wordt geloosd
- tritium wordt met de stoom geloosd (circa 7.100 kg)
- aërosolen en jodium worden met de meegesleurde waterdruppels geloosd (circa 18 kg)

- voor het vrijkomende jodium in de waterdruppels wordt een verdeling aangehouden van 10% elementair en 90% als aërosol.

De bronterm voor dit ongeval is gegeven in tabel 15.3.7.3/1.

#### Dosisberekeningen

De resultaten van de dosisberekeningen voor deze bronterm zijn hieronder beschreven en weergegeven in figuur 15.3.7.3/1.

#### Effectieve dosis

De maximum waarde van de effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is circa 0,06 mSv. Uit de berekeningen blijkt dat het nuclide <sup>131</sup>I voor vrijwel 100 % verantwoordelijk is voor de ingestiedosis.

#### Schildklier dosis

De maximum waarde van de schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is circa 1,4 mSv. Het nuclide <sup>131</sup>I is voor vrijwel 100 % verantwoordelijk voor de ingestiedosis.

#### Toetsing aan het dosiscriterium

Een vergelijking van de berekende dosis met het dosiscriterium is weergegeven in de onderstaande tabel 15.3.7.3/2.

Type dosis	Berekende Maximale dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet Ja/nee
E (kind)	0,06	4	ja
H <sub>th</sub> (kind)	1,4	500	ja

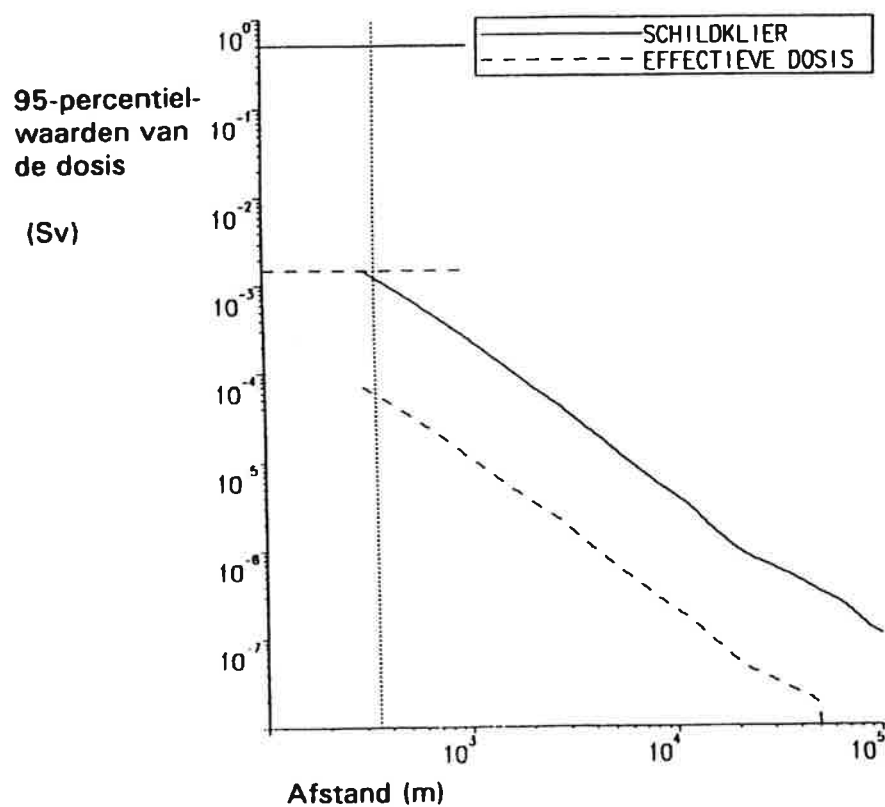
Tabel 15.3.7.3/2 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosiscriterium bij ontwerpongeval 7.3.2.2

#### Dosiswaarden op 1 km afstand

Uit figuur 15.3.7.2/3 kan worden afgelezen dat voor het bewoonde gebied op 1 km afstand de effectieve dosis en de schildklierdosis over 70 jaar na het ongeval respectievelijk circa 0,01 mSv en 0,3 mSv bedragen.

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
$^{85m}\text{Kr}$	$2.10^{12}$	elementair		$^{88}\text{Rb}$	$2.10^9$
$^{85}\text{Kr}$	$9.10^9$	$^{129}\text{I}$	$9.10^2$	$^{134}\text{Cs}$	$5.10^7$
$^{87}\text{Kr}$	$3.10^{12}$	$^{131}\text{I}$	$2.10^{11}$	$^{137}\text{Cs}$	$1.10^8$
$^{88}\text{Kr}$	$5.10^{12}$	$^{132}\text{I}$	$6.10^{10}$	$^{138}\text{Cs}$	$9.10^8$
$^{131m}\text{Xe}$	$1.10^{10}$	$^{133}\text{I}$	$1.10^{11}$		
$^{133m}\text{Xe}$	$2.10^{11}$	$^{134}\text{I}$	$8.10^{10}$	$^{90}\text{Sr}$	$1.10^5$
$^{133}\text{Xe}$	$4.10^{12}$	$^{135}\text{I}$	$1.10^{11}$	$^3\text{H}$	$1.10^{11}$
$^{135m}\text{Xe}$	$1.10^{12}$	Aërosol			
$^{135}\text{Xe}$	$8.10^{12}$	$^{129}\text{I}$	$3.10^1$	$^{51}\text{Cr}$	$1.10^6$
$^{138}\text{Xe}$	$3.10^{12}$	$^{131}\text{I}$	$7.10^9$	$^{54}\text{Mn}$	$1.10^5$
		$^{132}\text{I}$	$2.10^9$	$^{59}\text{Fe}$	$1.10^5$
		$^{133}\text{I}$	$3.10^9$	$^{58}\text{Co}$	$1.10^6$
		$^{134}\text{I}$	$2.10^9$	$^{60}\text{Co}$	$4.10^5$
		$^{135}\text{I}$	$3.10^9$	$^{95}\text{Zr}$	$7.10^4$
				$^{124}\text{Sb}$	$1.10^5$

Tabel 15.3.7.3/1 Bronterm 7.3.2.2: bezwijken stoomgeneratorpijpen.



**Figuur 15.3.7.3/1** 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand voor de bronterm 7.3.2.2



**15.3.7.4 Bronterm behorende bij ontwerpongeval 7.4.2**

Lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhul-  
ling. (figuur 15.3.7.4/1 en tabel 15.3.7.4/1 en 2)

**Dosiscriterium**

Gezien het kansenbereik van dit ontwerpongeval ( $10^{-2} > F \geq 10^{-4}$ ), mag het onderstaande  
dosiscriterium niet worden overschreden:

$$E(\text{kind}) = 4 \text{ mSv}$$

**Specifieke brontermuitgangspunten**

Voor dit ongeval wordt het volgende ongevalsverloop aangenomen:

- er wordt verondersteld dat tijdens normaal bedrijf een meetleiding breekt, die door de ringruimte loopt en die primair koelmiddel bevat
- het primair koelmiddel spuit in de ringruimte en wordt daar ontgast
- na 30 minuten wordt het lek door ingrijpen van de operator opgeheven. Gedurende deze 30 minuten lekt in totaal circa 3.500 kg primair koelmiddel in de ringruimte.

Voor de bepaling van de omvang van de bronterm, gelden verder als uitgangspunten:

- als massieke activiteiten van het primair koelmiddel gelden de waarden zoals weergegeven in tabel 15.3.4/4 voor  $R=0,1$ . Alhoewel bij de KCB de koelmiddelontgassing in tegenstelling tot de koelmiddelreiniging niet permanent in bedrijf is, zijn de KCB-praktijkwaarden voor de massieke edelgasactiviteiten desondanks ordes van grootte lager dan de in tabel 15.3.4/4 vermelde activiteiten. De in tabel 15.3.4/4 vermelde waarden vormen dus desondanks een conservatief uitgangspunt
- de hoeveelheid met de stoom vrijkomende activiteit bedraagt:
  - . voor edelgassen 100% van de activiteit van het water
  - . voor de overige nucliden 10% van de activiteit van het water
- voor het vrijkomende jodium wordt een verdeling aangehouden van 10% elementair en 90% als aërosol
- 10 minuten na aanvang van het ongeval komt de ringruimte afzuiging TL070 bij. De eerste 10 minuten wordt nog via het luchtafvoersysteem TL02 (zie paragraaf 9.4.1) afgevoerd
- in verband met het optredende spiking-effect worden de gegeven waarden voor  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  en  $^{137}\text{Cs}$  met een factor 3,37 verhoogd.

De bronterm voor dit ongeval is gegeven in tabel 15.3.7.4/1.

### Dosisberekeningen

De resultaten van de dosisberekeningen voor deze bronterm zijn hieronder beschreven en weergegeven in figuur 15.3.7.4/1.

#### Effectieve dosis

De maximale waarde van de effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is circa 0,0002 mSv. Uit de berekeningen blijkt dat het nuclide <sup>131</sup>I voor vrijwel 100 % verantwoordelijk is voor de ingestiedosis.

#### Schildklier dosis

De maximale waarde van de schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is circa 0,001 mSv. Het nuclide <sup>131</sup>I is voor vrijwel 100 % verantwoordelijk voor de ingestiedosis.

#### Toetsing aan het dosiscriterium

Een vergelijking van de berekende dosis met het dosiscriterium is weergegeven in de onderstaande tabel 15.3.7.4/2.

Type dosis	Berekende maximale dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
E (kind)	0,002	4	Ja
H <sub>th</sub> (kind)	0,001	500	ja

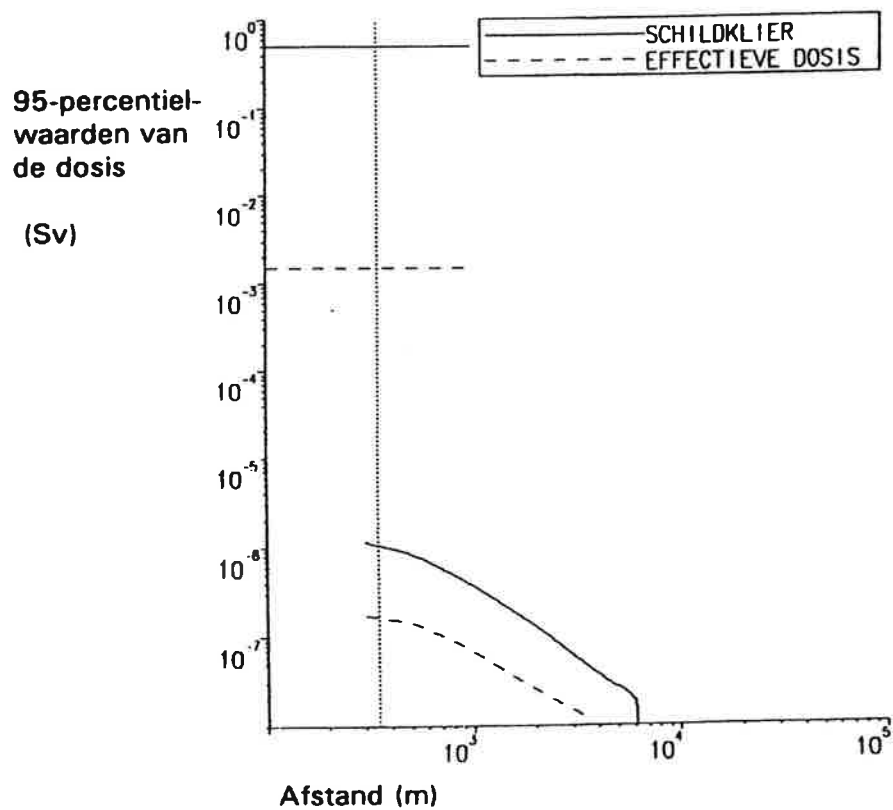
Tabel 15.3.7.4/2 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosiscriterium bij ontwerpgeval 7.4.2.

#### Dosiswaarden op 1 km afstand

Uit figuur 15.3.7.4/1 kan worden afgelezen dat voor het bewoonde gebied op 1 km afstand de effectieve dosis en de schildklierdosis over 70 jaar na het ongeval respectievelijk circa 0,0001 mSv en 0,0003 mSv bedragen.

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
$^{85m}\text{Kr}$	$1.10^{11}$	gasvormig		$^{88}\text{Rb}$	$3.10^7$
$^{85}\text{Kr}$	$7.10^8$	$^{129}\text{I}$	$1.10^1$	$^{134}\text{Cs}$	$2.10^5$
$^{87}\text{Kr}$	$2.10^{11}$	$^{131}\text{I}$	$9.10^8$	$^{137}\text{Cs}$	$6.10^5$
$^{131m}\text{Kr}$	$3.10^{11}$	$^{132}\text{I}$	$9.10^8$	$^{138}\text{Cs}$	$2.10^7$
$^{131m}\text{Xe}$	$9.10^8$	$^{133}\text{I}$	$1.10^9$		
$^{133m}\text{Xe}$	$1.10^{10}$	$^{134}\text{I}$	$1.10^9$	$^{90}\text{Sr}$	$1.10^3$
$^{133}\text{Xe}$	$3.10^{11}$	$^{135}\text{I}$	$1.10^9$	$^3\text{H}$	$7.10^{10}$
$^{135m}\text{Xe}$	$6.10^{10}$	Aërosol			
$^{135}\text{Xe}$	$6.10^{11}$	$^{129}\text{I}$	$6.10^{-1}$	$^{51}\text{Cr}$	$3.10^4$
$^{138}\text{Xe}$	$2.10^{11}$	$^{131}\text{I}$	$4.10^7$	$^{54}\text{Mn}$	$3.10^3$
		$^{132}\text{I}$	$4.10^7$	$^{59}\text{Fe}$	$3.10^3$
		$^{133}\text{I}$	$6.10^7$	$^{58}\text{Co}$	$3.10^4$
		$^{134}\text{I}$	$5.10^7$	$^{60}\text{Co}$	$8.10^3$
		$^{135}\text{I}$	$6.10^7$	$^{95}\text{Zr}$	$1.10^3$
				$^{124}\text{Sb}$	$1.10^4$

Tabel 15.3.7.4/1 Bronterm 7.4.2: lekkage meetleiding.



**Figuur 15.3.7.4/1** 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand voor de bronterm 7.4.2.

**15.3.7.5 Bronterm behorende bij ontwerpongeval 8.2**

Lekkage in een leiding van het afgassysteem (figuur 15.3.7.5/1 en tabel 15.3.7.5/1 en 2)

**Dosiscriterium**

Alhoewel het kansengebied van dit ongeval  $10^{-2} < F \leq 10^{-4}$  bedraagt, mag om afdekkend te kunnen zijn voor het ongeval 8.1 ( $1 > F \geq 10^{-1}$ ) het onderstaande dosis criterium niet worden overschreden (zie paragraaf 15.1.2):

$$E(\text{kind}) = 0,04 \text{ mSv}$$

**Specifieke brontermuitgangspunten**

Voor dit ongeval wordt het volgende ongevalsverloop aangenomen:

- het koelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC) heeft 12 uur voor de aanvang van het ongeval met een maximale capaciteit gewerkt, nadat het de daaraan voorafgaande maand niet gebruikt is
- na 30 minuten wordt het lek in het TC-systeem door ingrijpen van de operator opgeheven.

Voor de bepaling van de omvang van de bronterm gelden verder als uitgangspunten:

- als massieke activiteit van het primair koelmiddel gelden de waarden zoals weergegeven in tabel 15.3.4/4 voor  $R=0$ , omdat het TC-systeem een maand lang niet gebruikt is
- als vrijzettingsgraad worden de waarden gehanteerd zoals weergegeven in tabel 15.3.4/4
- gedurende 12 uur voor aanvang van het ongeval wordt het primair koelmiddel ontgast met de maximale capaciteit van  $32 \cdot 10^3 \text{ kg/h}$  (inhoud primair systeem  $137 \cdot 10^3 \text{ kg}$ )
- alle edelgassen die gedurende 12,5 uur reiniging verwijderd zijn circuleren nog in het systeem en worden rechtstreeks en zonder vertraging geloosd via het normale ventilatiesysteem (TL).

De bronterm voor dit ongeval is gegeven in tabel 15.3.7.5/1.

### Dosisberekeningen

De resultaten van de dosisberekeningen voor deze bronterm zijn hieronder beschreven en weergegeven in figuur 15.3.7.5/1.

Omdat deze bronterm alleen een lozing van edelgassen bevat, worden de gevolgen van deze bronterm alleen door de wolkdosis bepaald. De maximale waarde van de effectieve dosis, alsmede die van de schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, zijn beide circa 0,001 mSv.

### Toetsing aan het dosiscriterium

Een vergelijking van de berekende dosis met het dosiscriterium is weergegeven in onderstaande tabel 15.3.7.5/2.

Type dosis	Berekende Maximaledosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
<i>E</i> (kind)	0,001	0,04	ja
$H_{th}$ (kind)	0,001	500	ja

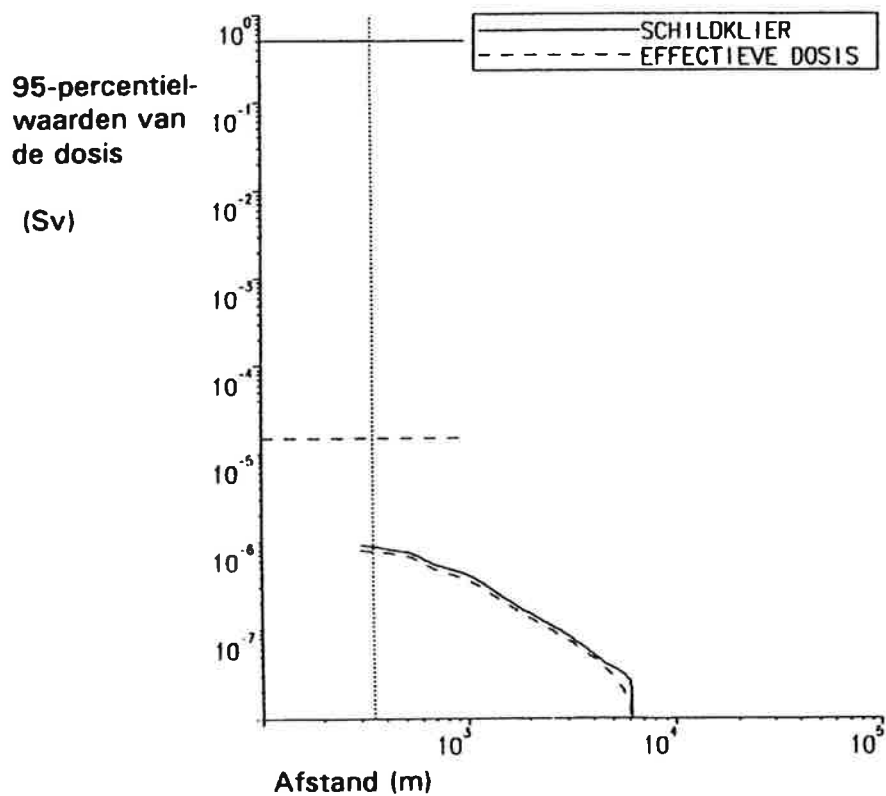
Tabel 15.3.7.5/2 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosiscriterium bij ontwerp ongeval 8.2.

### Dosiswaarden op 1 km afstand

Uit figuur 15.3.7.5/1 kan worden afgelezen dat voor het bewoonde gebied op 1 km afstand de effectieve dosis en de schildklierdosis over 70 jaar na het ongeval beide circa 0,00055 mSv bedragen.

Nuclide	Activiteit (Bq)
$^{85m}\text{Kr}$	$4 \cdot 10^{12}$
$^{85}\text{Kr}$	$3 \cdot 10^{11}$
$^{87}\text{Kr}$	$3 \cdot 10^{12}$
$^{88}\text{Kr}$	$8 \cdot 10^{12}$
$^{131m}\text{Xe}$	$5 \cdot 10^{11}$
$^{133m}\text{Xe}$	$2 \cdot 10^{12}$
$^{133}\text{Xe}$	$1 \cdot 10^{14}$
$^{135m}\text{Xe}$	$4 \cdot 10^{11}$
$^{135}\text{Xe}$	$3 \cdot 10^{13}$
$^{138}\text{Xe}$	$1 \cdot 10^{12}$

Tabel 15.3.7.5/1 Bronterm 8.2: lekkage leiding afgassysteem.



**Figuur 15.3.7.5/1** 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand voor de bronterm 8.2.



**15.3.7.6 Bronterm behorende bij ontwerp ongeval 8.4.1**

Beschadigingen van splijtstofelementen tijdens het hanteren. (figuur 15.3.7.6/1 en tabel 15.3.7.6/1 en 2)

**Dosiscriterium**

Gezien het kansenbereik van dit ontwerp ongeval ( $10^{-1} > F \geq 10^{-2}$ ), mag het onderstaande dosis criterium niet worden overschreden:

$$E(\text{kind}) = 0,4 \text{ mSv}$$

**Specifieke brontermuitgangspunten**

Voor dit ongeval wordt het volgende ongevalsverloop aangenomen:

- er wordt uitgegaan van een splijtstofelement dat gedurende 2,5 jaar een thermisch vermogen van 11,3 MW geproduceerd heeft
- het ongeval bij het transport in het reactor- of splijtstofopslagbassin treedt 50 uur na het afschakelen van de reactor op
- één rij splijtstofstaven (15 stuks) wordt beschadigd.

Gezien het zeer conservatieve karakter van de ontwerpbronterm uit 1972 worden voor de analyse van de radiologische consequenties de activiteiten van deze bronterm gehanteerd.

De bronterm voor dit ongeval is gegeven in tabel 15.3.7.6/1.

**Dosisberekeningen**

De resultaten van de dosisberekeningen voor deze bronterm zijn hieronder beschreven en weergegeven in figuur 15.3.7.6/1.

**Effectieve dosis**

De maximale waarde van de effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor een kind, is circa 0,0005 mSv. Uit de berekeningen blijkt dat het nuclide  $^{131}\text{I}$  voor vrijwel 100 % verantwoordelijk is voor de ingestiedosis.

**Schildklier dosis**

De maximale waarde van de schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens, is circa 0,001 mSv. Het nuclide  $^{131}\text{I}$  is voor vrijwel 100 % verantwoordelijk voor de ingestiedosis.

**Toetsing aan het dosis criterium**

Een vergelijking van de berekende dosis met het dosis criterium is weergegeven in onderstaande tabel 15.3.7.6/2.

Type dosis	Berekende Maximale dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
$E$ (kind)	0,0005	0,4	ja
$H_{th}$ (kind)	0,001	500	ja

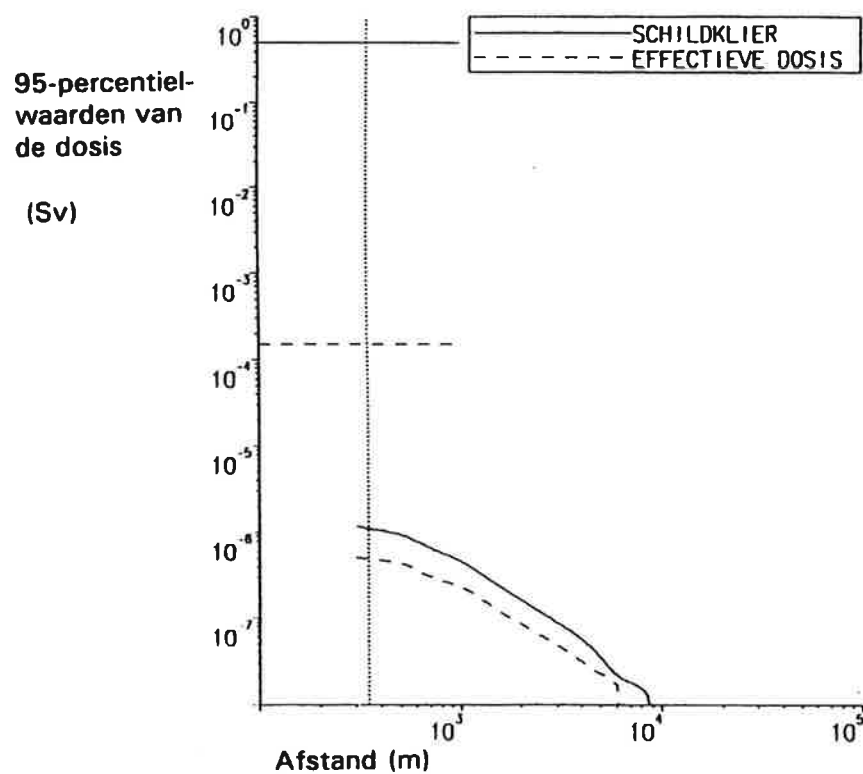
Tabel 15.3.7.6/2 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosis­criterium bij ontwerp­ongeval 8.4.1

Dosiswaarden op 1 km afstand

Uit figuur 15.3.7.6/1 kan worden afgelezen dat voor het bewoonde gebied op 1 km afstand de effectieve dosis en de schildklierdosis over 70 jaar na het ongeval respectievelijk circa 0,0002 mSv en 0,0004 mSv bedragen.

Nuclide	Activiteit (Bq)
$^{131}\text{I}$	$2 \cdot 10^{11}$
$^{133}\text{I}$	$4 \cdot 10^{10}$
$^{133}\text{Xe}$	$2 \cdot 10^{14}$

Tabel 15.3.7.6/1 Bronterm 8.4.1: Beschadigingen van splijtstofelementen.



**Figuur 15.3.7.6/1.** 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand voor de bronterm 8.4.1.

**15.3.7.7 Bronterm behorende bij ontwerpongeval 9.1.2**

**Gevolgen van een aardbeving op het reactorhulpgebouw. (figuur 15.3.7.7/1 tabel 15.3.7.7/1 en 2)**

**Dosiscriterium**

Alhoewel het kansenbereik van dit ongeval  $10^{-4} > F \geq 10^{-6}$  bedraagt, mag om afdekkend te kunnen zijn voor het ongeval 8.3 ( $10^{-2} > F \geq 10^{-4}$ ) het onderstaande dosis criterium niet worden overschreden (zie paragraaf 15.1.2):

$$E(\text{kind}) = 4 \text{ mSv}$$

**Specifieke brontermuitgangspunten**

Voor de bepaling van de omvang van de bronterm gelden als uitgangspunten:

- als bepalend voor de lozing worden de verdamperconcentraattanks (TT) beschouwd
- voor de massieke activiteiten worden (gemiddelden plus twee sigma) waarden gebruikt die gebaseerd zijn op de bedrijfservaring van de laatste tien jaar
- in de TT-tanks zijn alleen de langer levende nucliden aanwezig; toch is voor het radiologisch relevante  $^{131}\text{I}$  ( $T_{1/2} = 8,04$  dagen) aangenomen dat de massieke activiteit conform tabel 15.3.4/4 voor  $R = 0,1$  aanwezig is.
- één der geheel gevulde voorraadtanks loopt leeg ( $12 \text{ m}^3$ )
- 1% van de vloeistof verdampt
- de concentratie in de verdampte vloeistof bedraagt 5% van de concentratie in de niet-verdampte vloeistof
- voor vrijkomend jodium geldt een verdeling in 50% elementair en 50% organisch
- de concentratieverhouding van jodium in water en lucht is  $10^5$  in een ruimte van  $300 \text{ m}^3$
- op de omhulling door het gebouw en op de werking van de filterinstallaties mag niet meer worden vertrouwd
- voor de bepaling van de radiologische gevolgen wordt uitgegaan van een ventilatievoud van 1x per dag gedurende 7 dagen.

De bronterm voor dit ongeval is gegeven in tabel 15.3.7.7/1.

**Dosisberekeningen**

De resultaten van de dosisberekeningen voor deze bronterm zijn hieronder beschreven en weergegeven in figuur 15.3.7.7/1.

**Effectieve dosis**

De maximale waarde van de effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is circa  $0,007 \text{ mSv}$ . Uit de berekeningen blijkt dat het nuclide  $^{131}\text{I}$  voor 93 % verantwoordelijk is voor de ingestiedosis.

**Schildklier dosis**

De maximale waarde van de schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is circa 0,008 mSv. Het nuclide  $^{131}\text{I}$  is voor vrijwel 100 % verantwoordelijk voor de ingestiedosis.

#### Toetsing aan het dosis criterium

Een vergelijking van de berekende dosis met het dosis criterium is weergegeven in de onderstaande tabel 15.3.7.7/2.

Type dosis	Berekende Maximale dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
E (kind)	0,007	4	ja
H <sub>th</sub> (kind)	0,008	500	ja

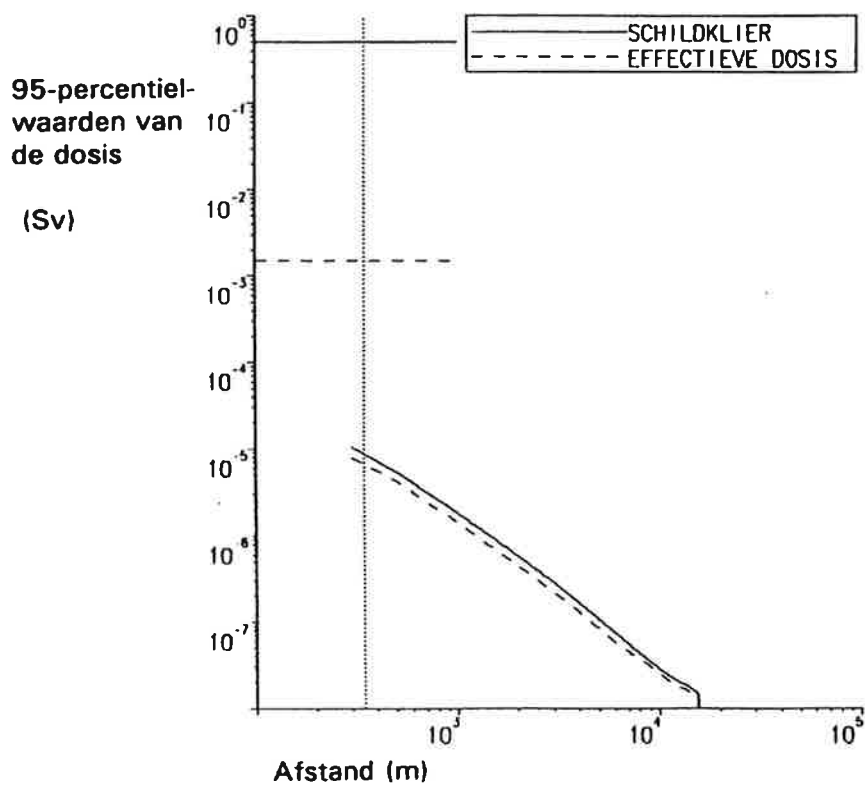
Tabel 15.3.7.7/2 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosis­criterium bij ontwerpongeval 9.1.2.

#### Dosiswaarden op 1 km afstand

Uit figuur 15.3.7.7/1 kan worden afgelezen dat voor het bewoonde gebied op 1 km afstand de effectieve dosis en de schildklierdosis over 70 jaar na het ongeval beide circa 0,001 mSv bedragen.

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
elementair		<sup>54</sup> Mn	8.10 <sup>7</sup>
<sup>131</sup> I	3.10 <sup>8</sup>	<sup>110m</sup> Ag	4.10 <sup>6</sup>
organisch		<sup>137</sup> Cs	9.10 <sup>6</sup>
<sup>131</sup> I	3.10 <sup>8</sup>	<sup>134</sup> Cs	4.10 <sup>6</sup>
		<sup>57</sup> Co	5.10 <sup>6</sup>
<sup>60</sup> Co	2.10 <sup>9</sup>	<sup>24</sup> Na	2.10 <sup>6</sup>
<sup>58</sup> Co	3.10 <sup>8</sup>	<sup>59</sup> Fe	6.10 <sup>6</sup>
<sup>124</sup> Sb	2.10 <sup>7</sup>	<sup>3</sup> H	6.10 <sup>8</sup>
<sup>51</sup> Cr	2.10 <sup>8</sup>	<sup>123m</sup> Te	9.10 <sup>5</sup>
<sup>95</sup> Nb	4.10 <sup>7</sup>	<sup>239</sup> Np	4.10 <sup>5</sup>

Tabel 15.3.7.7/1 Bronterm 9.1.2: gevolgen aardbeving.



**Figuur 15.3.7.7/1** 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand bij de bronterm 9.1.2.

### 15.3.8 Resultaten ten aanzien van externe straling (directe straling).

Bij de ongevallen waarbij de activiteit eerst in de veiligheidsomhulling terecht komt, wordt slechts een deel geloosd naar buiten. Personen in de omgeving kunnen dan worden bestraald door de gammastraling van de nucliden die in de veiligheidsomhulling blijven hangen. Voor deze situatie zijn afschermingsberekeningen uitgevoerd met het programma MICROSIELD.

Voor de berekening van het vrijkomen van activiteit in de veiligheidsomhulling is gekozen voor het ontwerpgeval 7.2.3 "Breuk van een hoofdkoelmiddelleiding". Bij dit ongeval komt de meeste activiteit in de veiligheidsomhulling vrij, zodat voor alle andere ontwerpgevallen de directe straling minder zal zijn. De bij het ongeval 7.2.3 vrijkomende fracties van de kerninventaris die gedurende de eerste 24 uur in de lucht blijven hangen, bedragen (zie paragraaf 15.3.7.2):

edelgassen:	0,1
jodium:	0,025
vluchtige vaste stoffen:	0,025
niet vluchtige vaste stoffen:	0,0025

Alle edelgassen uit de beschadigde splijtstofstaven (10%) komen vrij. Van de halogenen en overige nucliden komen weliswaar grotere fracties dan vermeld vrij uit het primaire systeem, doch deze slaan snel neer op de bodem of zijn opgelost in het primair koelmiddel dat zich op de bodem van de veiligheidsomhulling bevindt. De gammastraling van deze neergeslagen nucliden wordt door de aanwezige betonstructuren naar buiten toe efficiënt afgeschermd.

Aangenomen is dat de bovenvermelde fracties gedurende 70 jaar in de bol blijven hangen en dat de aërosolen niet uitzakken. Er worden ook geen reinigingsoperaties verondersteld.

De dosis is berekend op de terreingrens, waarvoor een afstand is aangehouden van 350 m. Het dosistempo is op de eerste dag hoog, vooral door de aanwezigheid van kortlevende edelgassen. Daarna neemt het dosistempo snel af, totdat het uiteindelijk wordt bepaald door voornamelijk <sup>137</sup>Cs. De grootste dosisbijdrage wordt in de eerste dagen ontvangen.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een staaldikte van gemiddeld 2,5 cm (veiligheidsomhulling) en een betondikte van 60 cm (secundaire afscherming).

Uit het resultaat van de berekening blijkt, dat een persoon die zich gedurende 70 jaar na het ongeval op 350 meter van de veiligheidsomhulling (terreingrens) bevindt, een dosis ten gevolge van de directe straling van minder dan 3 mSv zal ontvangen. Uitgaande van het feit dat de bestraalde persoon deel uitmaakt van de in 15.3.2 beschreven referentiegroep, d.w.z. de groep die permanent nabij de terreingrens woont, wordt



rekening gehouden met een wooncorrectiefactor van 0,25. Deze factor houdt rekening met verblijf binnen de woning gedurende een deel van de dag waarbij de bestraalde persoon wordt afgeschermd. Hierdoor wordt gesommeerd over een periode van 70 jaar minder dan 0,75 mSv door bestraling vanuit de veiligheidsomhulling ontvangen. Deze dosis wordt opgeteld bij de totale dosis die is berekend voor de emissies bij ontwerpongeval 7.2.3. Conservatief wordt verondersteld dat de schildklierdosis door de externe bestraling eveneens met 0,75 mSv toeneemt.

Door absorptie in lucht wordt de dosis op een afstand van 1 km een factor 20 gereduceerd. Hierdoor wordt in combinatie met de afname van de dosis volgens de kwadratenwet, de op op 1 km afstand in 70 jaar ontvangen dosis, de plaats waar de eerste woning staat, gereduceerd tot circa 0,004 mSv.

Op het midden van het weiland tussen de centrale en het dorp Borssele, op circa 750 m van de veiligheidsomhulling, is de stralingsdosis ten gevolge van de directe straling berekend over 70 jaar gelijk aan circa 0,03 mSv. Indien aangenomen wordt dat een persoon zich gedurende 10 uur per dag buiten bevindt, op een gemiddelde afstand van 750 m, wordt deze dosis circa 0,01 mSv.

#### 15.3.9 Overzicht toetsing aan de dosiscriteria (tabel 15.3.9/1)

In tabel 15.3.9/1 is een overzicht gegeven van de berekende doses en de bijbehorende criteria voor de representatieve ontwerpongevallen. Het betreft de doses op een afstand van 350 m en criteria voor de referentiegroep kinderen.

Ontwerp- Ongeval	Effectieve dosis (mSv)		Schildklierdosis (mSv)	
	Dosis- criterium	berekende dosis	dosis- criterium	Berekende Dosis
1.5.1	0,4	0,002	500	0,06
7.1.2	4	<< 1	500	<< 5,2
7.2.2	4	<< 1	500	<< 5,2
7.2.3 <sup>1)</sup>	40	1	500	5,2
7.3.2.2	4	0,06	500	1,4
7.4.2	4	0,0002	500	0,001
8.2	0,04	0,001	500	0,001
8.4.1	0,4	0,0005	500	0,001
9.1.2	4	0,007	500	0,008

- 1) De gegeven doses zijn de som van de doses afkomstig van de deelbrontermen 7.2.3a tot en met c en zijn inclusief de doses voor de directe straling. Voor het kansbereik van 7.2.3 geldt de waarde 3, indien deze afdekkend voor 7.1.2 en 7.2.2 moet zijn

Tabel 15.3.9/1 Overzicht van de maximale doses ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, en bijbehorende criteriavoor de representatieve ontwerpgevallen.

Uit tabel 15.3.9/1 blijkt dat bij alle representatieve ontwerpgevallen de doses in zeer ruime mate voldoen aan de betreffende dosiscriteria.

## 20.4.2 Vermindering van de hoeveelheid waterstof binnen de veiligheidsomhulling

Ook als het doorsmelten van het reactorvat onder hoge druk voorkomen wordt, is het vooraf niet uit te sluiten dat de integriteit van de veiligheidsomhulling in gevaar komt als gevolg van de vorming en ontbranding van waterstof ( $H_2$ ).

Na het optreden van kernsmelten kunnen tijdens de eerste uren door waterdamp-metaalreacties en op langere termijn door de wisselwerking tussen het gesmolten kernmateriaal en het beton grote hoeveelheden waterstof ontstaan. Het is waarschijnlijk dat de waterstof (gedeeltelijk) voortijdig, en vanwege het lokale karakter met weinig nadelige gevolgen, ontbrandt door een dan toevallig aanwezige ontstekingsbron (zoals bijvoorbeeld een heet oppervlak). Echter op een later tijdstip, wanneer zich al grote hoeveelheden waterstof hebben gevormd en de inertisatie van de atmosfeer door de stoom binnen de veiligheidsomhulling afneemt, zijn bij ontbranding grote druk- en temperatuurbelastingen van de veiligheidsomhulling niet uit te sluiten.

Daarom is als eenduidig veiligheidsgerichte maatregel ter vernietiging van gevormd waterstof een systeem van recombinatoren geïnstalleerd. Recombinatoren zetten, in een al dan niet door stoom inert gemaakte atmosfeer, op grote schaal waterstof katalytisch om in water.

In het veiligheidsrapport versie '93 wordt melding gemaakt van een theoretisch en experimenteel onderzoek naar het gedrag van waterstof in de veiligheidsomhulling bij kernsmeltongevallen. Dit onderzoek heeft uitgewezen dat de voor de kernenergiecentrale Borssele gekozen oplossing, namelijk de installatie van passieve waterstofrecombinatoren zeer effectief is. Hiermee wordt het risico van het in gevaar brengen van de integriteit van de veiligheidsomhulling door waterstofexplosies tot een minimum beperkt.