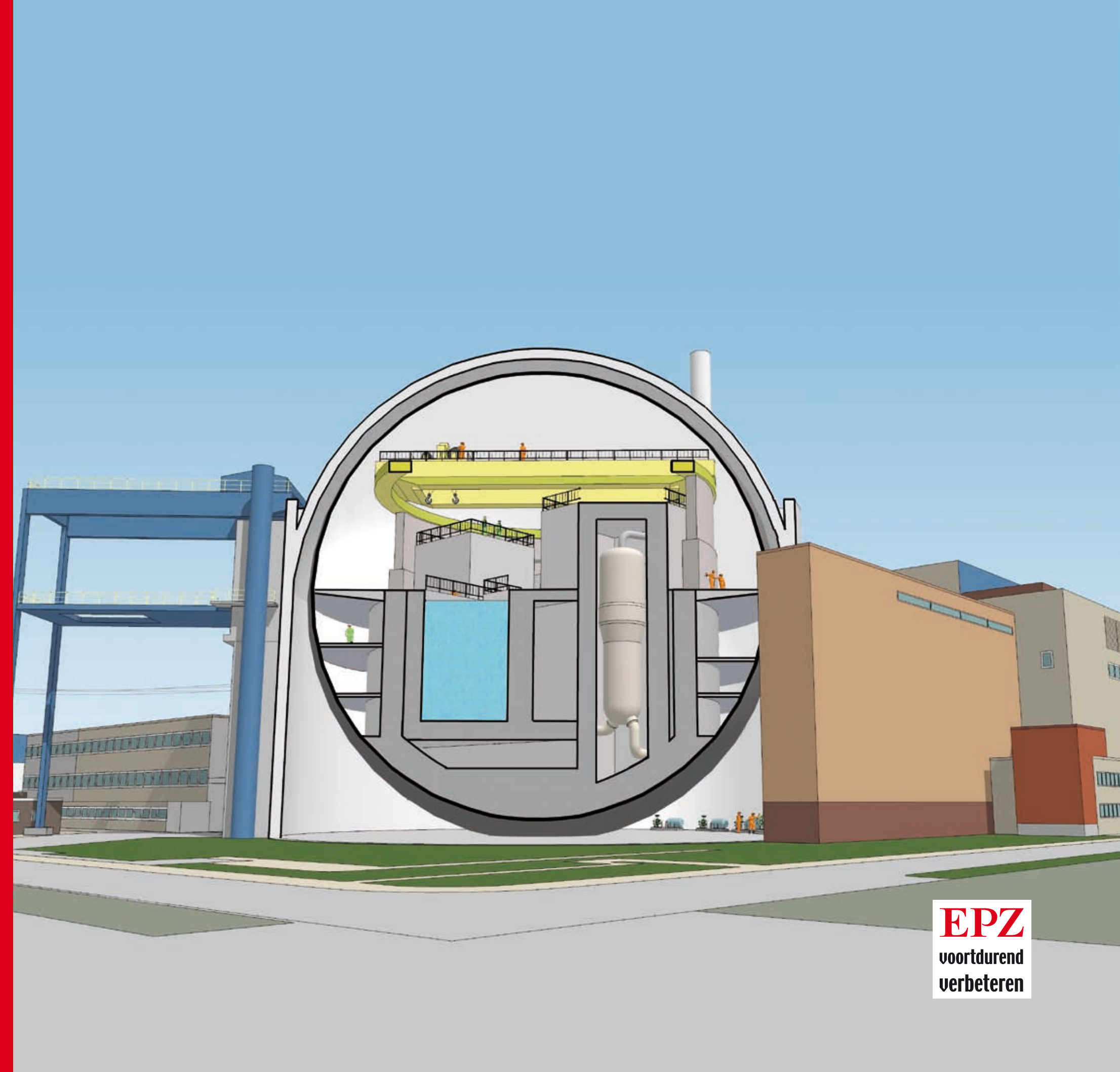


Europees robuustheidsonderzoek voor kerncentrales

Complementary Safety margin Assessment (CSA) - publieksversie 1.0 - 31 oktober 2011





Inhoud

algemeen	4
algemene conclusies	6
module 1: aardbeving	28
module 2: overstroming	33
module 3: extrem weer	40
module 4: verlies van elektrische voeding en mogelijkheden voor warmteafvoer	42
module 5: andere extreme gebeurtenissen	52
module 6: severe accident management	58
Begrippenlijst Contactgegevens	64

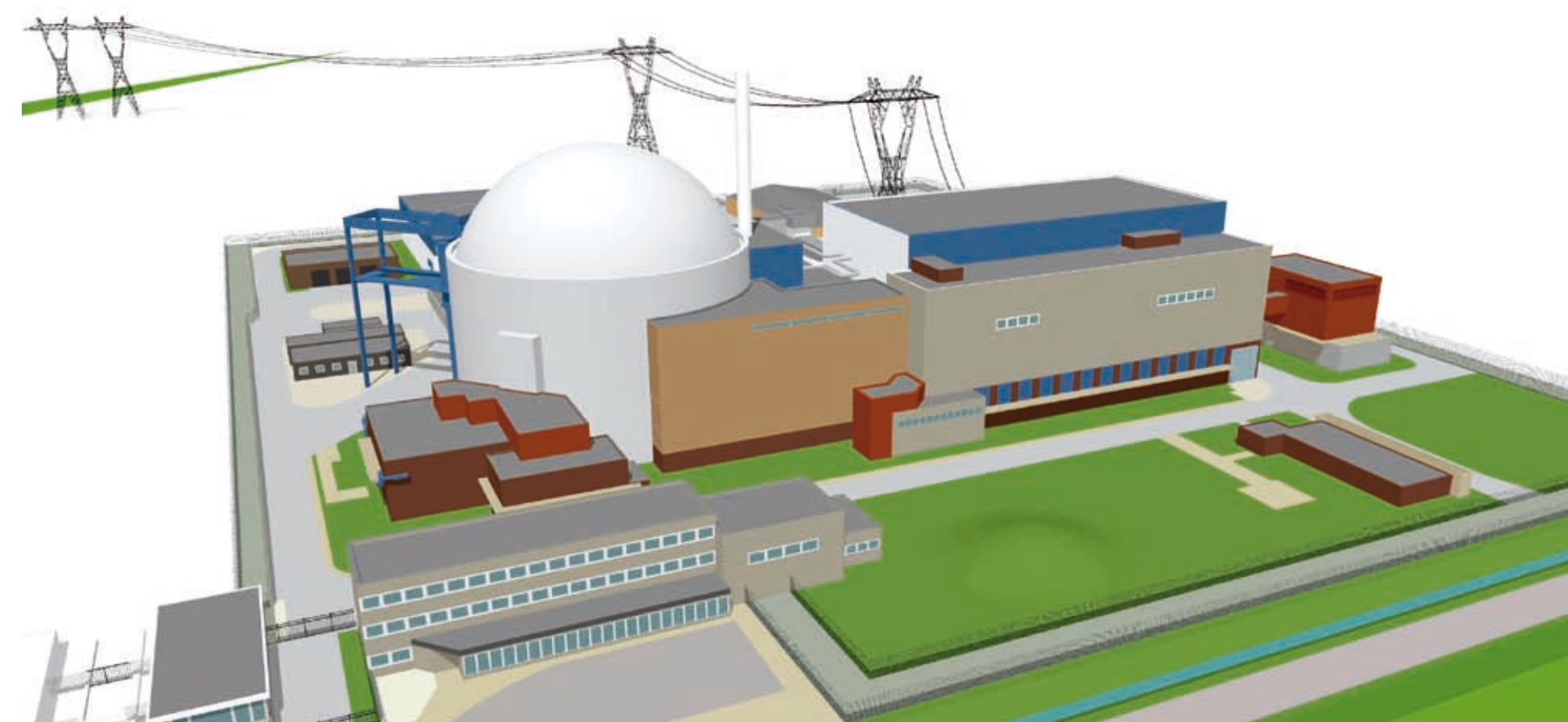
Voorwoord

Het Europese robuustheidsonderzoek naar kerncentrales (stresstest) maakt duidelijk wat de veiligheidsmarges zijn waarover kerncentrales beschikken ten opzichte van de ontwerpisen die aan de centrale worden gesteld. Vanaf 31 oktober 2011 volgt een beoordelingsronde door de nationale en Europese toezicht-houders. In de loop van 2012 wordt de CSA afgerond en besproken in de EU-ministerraad.

Deze Nederlandse publieksversie is bedoeld als zelfstandig document naast het Engelstalig onderzoek en is daar geen vervanging van. Deze publieksversie bevat naast de onderzoeksresultaten ook extra informatie. Zo wordt uitgelegd welke veiligheidssystemen en -waarborgen rond de centrale aanwezig zijn en hoe die functioneren. Deze voorkennis is nodig om het onderzoek te kunnen volgen.

Het Engelstalige hoofddocument is leidend. De oorspronkelijke Engelse tekst is vertaald, gecomprimeerd en zoveel als mogelijk ontdaan van jargon. De bedoeling is dat een breed publiek kennis kan nemen van de resultaten van het robuustheidsonderzoek. Overigens is het Engelstalige officiële onderzoek ook gepubliceerd op www.kerncentrale.nl.

Als de actualiteit of voortschrijdend inzicht er om vragen, worden nieuwe versies van deze publieksversie gepubliceerd met verduidelijkingen of aanvullingen. Let dus op de datum en het versienummer. Aan de totstandkoming van deze publieksversie is veel aandacht besteed. Mochten er desondanks vragen of opmerkingen zijn, dan kunt u zich richten tot EPZ via csa@epz.nl.



1. Inleiding

Aanleiding van het robuustheidsonderzoek

In Japan kregen in maart 2011 diverse kerncentrales te maken met gebeurtenissen die ernstiger waren dan waarvoor ze waren ontworpen. Door een zeer zware aardbeving gevolgd door een zeer zware tsunami ontstond bij vier van de zes kerncentrales in Fukushima Daiichi een ernstige situatie. Uiteindelijk leidde die tot radioactieve lozingen met grote gevolgen voor mens en milieu. Een herhaling van zo'n ernstige gebeurtenis moet worden voorkomen.

De Europese Commissie wil de veiligheid van alle kerncentrales in de Europese Unie in het licht van deze gebeurtenissen laten beoordelen. Alle EU-lidstaten met kerncentrales hebben zich verplicht tot het uitvoeren van zo'n beoordeling. De Europese nucleaire toezichthouders hebben daarop een onderzoeksmethode vastgesteld.

Kerncentrales hebben marges bovenop de ontwerpisen die aan de centrale worden gesteld. Deze marges maken dat een kerncentrale bestand is tegen extremere gebeurtenissen dan waarmee bij de vergunningsverlening rekening is gehouden. Het robuustheidsonderzoek is er op gericht vast te stellen hoe groot die marges zijn. Dus: hoeveel meer de kerncentrale kan hebben dan het ontwerp eist voordat het tot een onbeheersbare radioactieve lozing komt.

Kortom: het robuustheidsonderzoek laat (een combinatie van) gebeurtenissen steeds erger worden. Net zo lang tot veiligheidssystemen kapot gaan. Daarmee wordt duidelijk wat een kerncentrale kan hebben voordat het tot een radioactieve lozing komt die schadelijk is voor de omgeving. Zolang een dergelijke radioactieve lozing uitblijft, is de uiterste marge nog niet bereikt.

Beschrijving van de onderzoekopdracht

Het ministerie van Economische Zaken, Landbouw & Innovatie heeft EPZ opgedragen een robuustheidsonderzoek uit te voeren volgens specificatie van de gezamenlijke nucleaire toezichthouders van de EU (ENSREG). Naast dit robuustheidsonderzoek wordt door de overheid nog een beveiligingsonderzoek uitgevoerd waarover hier niet gerapporteerd wordt.

Nadat het robuustheidsonderzoek van start ging, hebben de toezichthouders aanvullende richtlijnen voor de omvang en de rapportage opgesteld. De opdrachtbrief met de bijbehorende ENSREG-specificatie en de meest recente toelichting, zijn te raadplegen op onze veiligheidssite www.kerncentrale.nl.

Onderzoeksdoel

Het robuustheidsonderzoek is een gericht en transparant onderzoek naar de veiligheidsmarges van een kerncentrale in het licht van de gebeurtenissen in Fukushima. Het is gebleken dat extreme gebeurtenissen in de natuur de veiligheidsfuncties kunnen bedreigen wat tot een ernstig ongeval kan leiden. In Nederland is het onderzoek uitgebreid met gebeurtenissen met menselijke oorzaak waarbij ook met moedwillige oorzaken rekening is gehouden.

In het onderzoek wordt aangenomen dat veiligheidsvoorzieningen één voor één falen, zonder de vraag te stellen hoe waarschijnlijk dat is. Voor elk van de te onderzoeken scenario's worden 'kritische momenten' vastgesteld waarop de gevolgen van een gebeurtenis plotseling heel groot worden. Voorbeeld is het moment dat een dijk overstroomt. De uiterste grens is bereikt op het moment dat een lozing niet meer te voorkomen is en er buiten de centrale maatregelen ter bescherming van de bevolking nodig zijn.

De gevonden veiligheidsmarge is het verschil tussen de ontwerpisen en deze uiterste grens. Het onderzoek is zowel praktisch als theoretisch; er is daadwerkelijk in de centrale onderzoek verricht met daarnaast model- en rekenwerk.

Omvang en werkwijze van het onderzoek

In het onderzoek is de beschikbare kennis zo goed mogelijk gebruikt. Ook wordt aangesloten bij de verantwoordelijkheden die in de nucleaire regelgeving zijn bepaald:

- De vergunninghouder EPZ voert het onderzoek uit volgens de Europees geformuleerde opdracht en rapporteert daarover op 31 oktober 2011.
- De nationale toezichthouder (Kernfysische Dienst) beoordeelt dit rapport en de onderbouwing, verzoekt zo nodig om aanvullende informatie en rapporteert zelf op 31 december 2011 aan de EU-toezichthouders over het nationaal rapport.
- Het nationale rapport wordt door zeven toezichthouders van andere landen beoordeeld. Zij kunnen de KFD en EPZ om aanvullende informatie vragen of zelf de centrale bezoeken. De Europese Commissie rapporteert daarover aan de Europese Ministerraad, die medio 2012 daarover zal vergaderen.



Het onderzoek beslaat drie deelgebieden:

- Begingeburtenissen**
Aardbeving, overstroming, extreem weer en logische combinaties daarvan. Ook (moedwillige) menselijke oorzaken worden onderzocht. Terwijl de ernst van de gebeurtenis in het onderzoek voortdurend toeneemt, falen telkens meer veiligheidsvoorzieningen in de centrale. De gevolgen daarvan worden in kaart gebracht.
- De kerncentrale verliest elektriciteit en koeling op de Westerschelde/grondwater**
In het onderzoek sneuvelen één voor één de veiligheidsvoorzieningen tot uiteindelijk de elektriciteit of de koeling op de Westerschelde/grondwater uitvalt of zelfs beide functies falen.
- In het onderzoek worden ook de beheersingsmogelijkheden van een ernstig ongeval onderzocht (*Severe Accident Measurement Guidelines*):**
 - Beheersingsmogelijkheden om het verlies van koeling van de splijtstofelementen in de reactor te voorkomen en om de gevolgen daarvan te beheersen.
 - Beheersingsmogelijkheden om het verlies van koeling van de splijtstofelementen in het splijtstofopslagbassin te voorkomen en om de gevolgen daarvan te beheersen.
 - Beheersingsmogelijkheden om het verlies van insluiting van radioactieve stoffen door het *containment* te voorkomen en om de gevolgen daarvan te beheersen.

De focus van het onderzoek ligt op de eigen veiligheidsvoorzieningen. Daarbij wordt aangenomen dat externe mobiele voorzieningen pas na 24 uur en zwaar materieel pas na 72 uur op de locatie aanwezig kunnen zijn.

Resultaten van het robuustheidsonderzoek

EPZ rapporteert de resultaten van haar onderzoek 31 oktober 2011 aan EL&I. Het rapport geeft antwoord op de volgende vragen:

- Zijn de ontwerpisen die aan de kerncentrale zijn gesteld (nog) goed?
- Voldoet de kerncentrale aan deze ontwerpisen?
- Tegen welke aardbevingsintensiteit, overstromingshoogte en extreme weersomstandigheden is de centrale werkelijk bestand? Dus: hoeveel sterker is de kerncentrale dan de vergunning eist?
- Hoe goed is de kerncentrale bestand tegen verlies van de essentiële veiligheidsfuncties elektrische voeding en warmteafvoer?
- Hoe goed kan de kerncentrale omgaan met verlies van veiligheidsfuncties, zoals die kunnen optreden door menselijk handelen?
- Welke mogelijkheden zijn er om die marges te vergroten?

De eerste weken na 31 oktober richt EPZ zich vooral op de communicatie over het robuustheidsonderzoek naar belanghebbenden. Ook gaat EPZ in deze periode aan de slag met de vermelde verbetermogelijkheden:

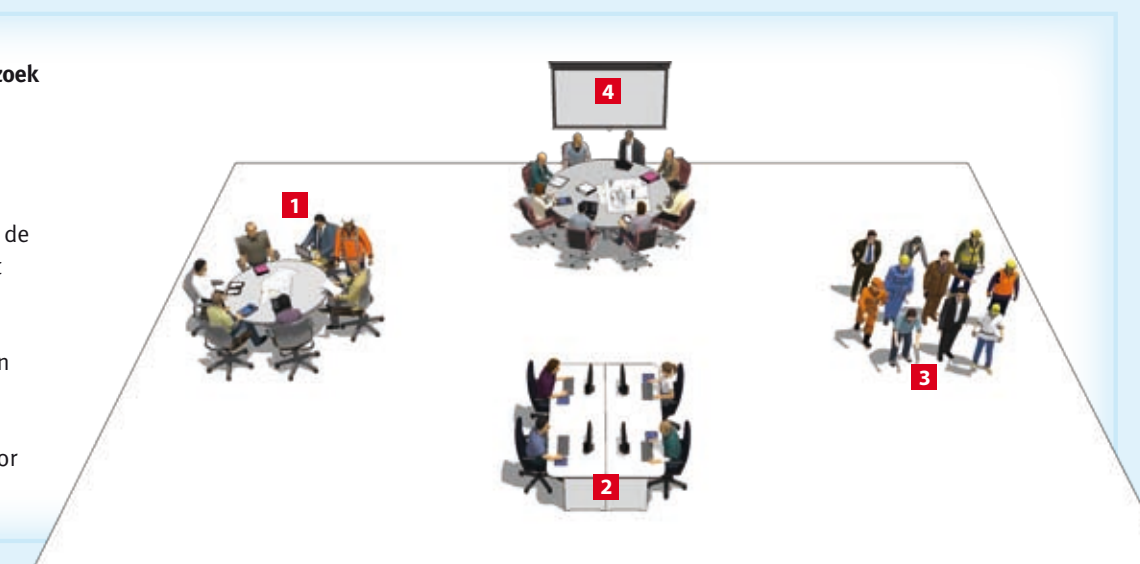
- Concrete maatregelen worden dit jaar opgepakt.
- Als onderzocht moet worden welke maatregelen het beste resultaat opleveren wordt daar dit jaar mee begonnen.
- Omvangrijke studies die nog niet meelopen in de huidige Tienjaarlijkse Veiligheidsevaluatie worden begin 2012 ingepland.

Transparantie en openbaarheid

EPZ en de Nederlandse regering kiezen voor maximale transparantie. Naast deze publiekssamenvatting wordt ook het officiële Engelstalige rapport openbaar gemaakt. Een voorbehoud geldt voor beveiligingsrelevante kennis. Ontwerpdetails, exacte locaties en beveiligingsmaatregelen worden op last van de overheid niet gepubliceerd. De openbare rapporten bevatten daardoor niet de informatie die nodig is om de beoordeling 'over te doen' of 'na te rekenen'.

Interne projectstructuur EPZ robuustheidsonderzoek

- De Schrijfgroep**
Schrijft het eindrapport.
- De Denktank**
Beantwoordt alle (technische) vragen vanuit de schrijfgroep en vanuit de projectgroep. Voert specialistische werkzaamheden uit.
- De Projectgroep**
Bewaakt de voortgang van de deelstudies en beheert de interne relaties.
- De stuurgroep**
Kijkt kritisch mee en doet aanbevelingen voor nadere studie.

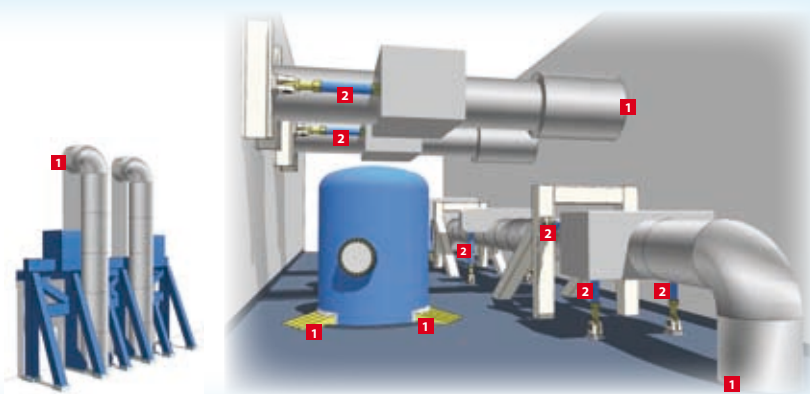


Algemene conclusies van het robuustheidsonderzoek

Het robuustheidsonderzoek is opgebouwd uit zes modules. Iedere afzonderlijke module legt de marge bloot ten aanzien van de ontwerpeis. Samen geven de modules inzicht in de extra veiligheidsmarges waarover de kerncentrale beschikt.

Module 1: Aardbeving

De huidige ontwerpeis is getoetst en in orde bevonden. Het huidige ontwerp voldoet daaraan en wordt door het onderhouds- en inspectieregime zeker gesteld. De ontwerpeis is een maximale grondversnelling van 0,075 g. De veiligheid van de kerncentrale is minimaal gewaarborgd tot een grondversnelling van 0,15 g. Nader onderzoek is ingepland. Eén van de verbetermogelijkheden is het aardbevingsbestendig maken van brandblusleidingen. Als deze met zekerheid ook kunnen deze worden gebruikt voor koelwater, kunnen marges worden vergroot.



Module 2: Overstroming

De huidige ontwerpeis is getoetst en in orde bevonden. Het huidige ontwerp voldoet daaraan en wordt door het onderhouds- en inspectieregime zeker gesteld. De ontwerpeis is een overstromingshoogte van 7,30 meter boven NAP. Vastgesteld is dat de veiligheid tot 8,55 meter boven NAP is gewaarborgd. Eén van de verbetermogelijkheden betreft het beschermen van de laagste openingen tegen oplopende golven.



Module 3: Extreem weer

De huidige ontwerpeis is getoetst en in orde bevonden. Het huidige ontwerp voldoet daaraan en wordt door het onderhouds- en inspectieregime zeker gesteld. Vastgesteld is dat de onderzochte weersomstandigheden ook bij zeer extreme waarden volledig door de gebunkerde systemen worden beheerst.

Maximale sneeuwbelasting per vierkante meter

- 17,7 meter
- 10,2 meter
- 5,1 meter
- 2,0 meter
- 1,0 meter



Module 4: Verlies van elektrische voeding en mogelijkheden voor warmteafvoer

De kerncentrale heeft meerdere onafhankelijke mogelijkheden voor elektrische voeding. Totale uitval is onwaarschijnlijk. Zonder externe bevoorrading kan de centrale zeker twee weken in zijn eigen elektriciteit voorzien. Daarna wordt op beschikbare batterijen overgegaan. De ontwerpeis van twee uur batterijvoeding wordt ruimschoots overschreden, er is minimaal 7,3 uur beschikbaar voor noodvoorziening.

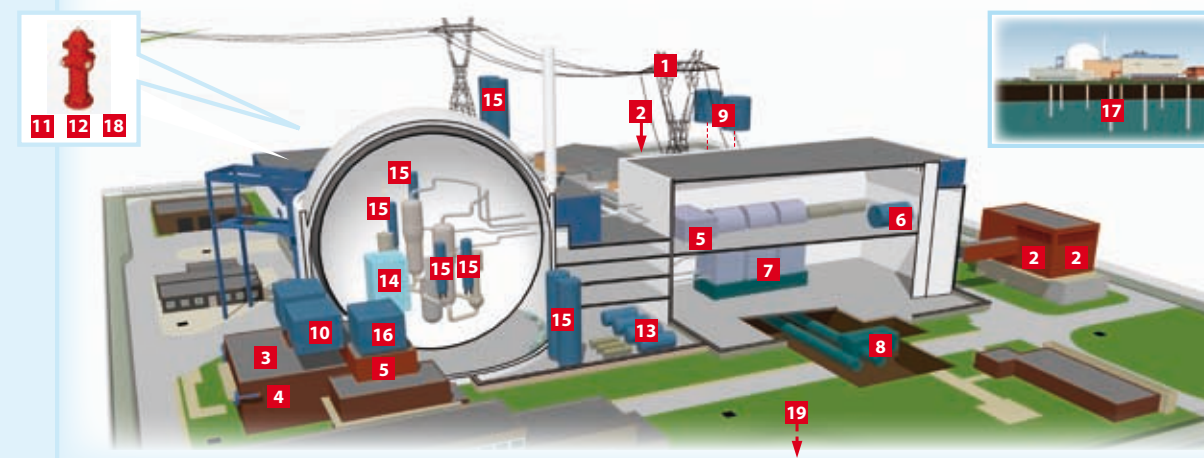
Verbetermogelijkheden: verlengen van de batterijduur met op de locatie aanwezige voorzieningen; aanspreekbaar maken ongebruikte dieselvorraden.



De kerncentrale heeft naast de Westerschelde een alternatieve mogelijkheid voor warmteafvoer met grondwater uit een achttal bronnenpompen. Indien noodzakelijk kan warmte door de inzet van watervoorraden aan de lucht worden afgestaan. Daarmee kan de centrale tot meer dan twee weken zonder externe hulp in een veilige toestand worden gehouden.

Verbeteringmogelijkheden: het met op de locatie aanwezige voorzieningen beschikbaar maken van nieuwe watervoorraden.

Overzicht van elektrische voeding (1 t/m 5) en beschikbaar water na het wegvallen van de hoofd en reserve koelsystemen (6 t/m 19):



- 1 Landelijk elektriciteitsnet
- 2 Dieselcentrales
- 3 Noodstroomdiesels
- 4 Snorkels
- 5 Batterijen
- 6 Voedingswatertank
- 7 Condensors
- 8 Deminwaterbassins
- 9 Deminwatertanks
- 10 Secundair reserve suppletiesysteem deminwaterbassins
- 11 Watertank lagedruk brandblussysteem
- 12 Blusvijver
- 13 Koelmiddelopslag tanks
- 14 Splitsstofopslagbassin
- 15 Kerninundatie voorraad- en buffertanks
- 16 Primair reservesuppletiesysteem waterbassins
- 17 Reserve noodkoelwatersysteem (reserve warmteput)
- 18 Openbaar waternet
- 19 Westerschelde

Module 5: Andere extreme gebeurtenissen

De beoordeling van andere extreme gebeurtenissen toont aan dat de kerncentrale goed bestand is tegen extreme gebeurtenissen. Er zijn vele onafhankelijke en ruimtelijk gescheiden voorzieningen. Veiligheidsystemen zonder programmeerbare functies maken de installatie goed bestand tegen ICT-dreigingen.

Module 6: Severe Accident Measures

In deze module beschrijft EPZ hoe zij is voorbereid op het bestrijden van een nucleair ongeval (en de gevolgen daarvan), als alle veiligheidsmaatregelen toch falen. Veiligheidswinst wordt behaald met draagbare hulpmiddelen die in veel extreme situaties nuttig zijn (generators, pompen). Een verbetermogelijkheid is het naar Amerikaans voorbeeld opstellen van *Extensive Damage Mitigation Guidelines* voor situaties met grote schade aan gebouwen en infrastructuur. Verder kan het Alarm Coördinatiecentrum voor alle omstandigheden geschikt gemaakt worden.



2. Nucleaire Veiligheid

Nucleaire veiligheid draait om het voorkomen van het vrijkomen van voor mens en milieu schadelijke nucleaire lozingen en straling.

Het atoomagentschap van de Verenigde Naties IAEA heeft daarvoor fundamentele veiligheidsprincipes aangegeven:

1. Managementverantwoordelijkheden:

- De exploitant zorgt voor een goede veiligheidscultuur op de kerncentrale.
- De exploitant is verantwoordelijk voor de nucleaire veiligheid.
- De overheid is verantwoordelijk voor een wettelijk kader en voor onafhankelijke vergunningverlening en handhaving.

2. Strategie van opeenvolgende verdedigingslijnes:

- Opeenvolgende verdedigingslijnes voorkomen dat een menselijke of mechanische fout leidt tot een radioactieve lozing met schadelijke effecten.
- Het beperken van de schadelijke effecten als het toch tot een radioactieve lozing komt.

3. Algemene principes:

- Gebruik maken van bewezen technieken en praktijken.
- Zorgen voor een goede kwaliteitsborging.
- Zelfevaluaties, gericht op verbeteren.
- Leren van anderen door collega-beoordelingen (*peer reviews*).
- Positief beïnvloeden van menselijk handelen en gedrag.
- Bij nieuwe inzichten of voorgenomen wijzigingen altijd de veiligheid beoordelen.
- Zorgen voor adequate stralingsbescherming.
- Zorgen voor ervaringsterugkoppeling en veiligheidsonderzoeken.
- Streven naar excellentie.

2.1 Verantwoordelijkheden in Nederlandse context

De nucleaire veiligheid is in Nederland duidelijk geregeld:

1. De overheid is verantwoordelijk voor vergunningverlening

De basis van de nucleaire veiligheid ligt vast in wetten, besluiten en de bedrijfsvergunning. Nederland heeft Nucleaire Veiligheidsregels die zijn gebaseerd op de *IAEA Safety Standards*. Hierin staat waaraan het ontwerp en de exploitatie van de kerncentrale moeten voldoen. De vergunning vraagt voortdurende toetsing of het bedrijven van de centrale gerechtvaardigd is. De centrale moet zodanig gebouwd zijn, onderhouden, verbeterd en bedreven worden dat de risico's en milieubelasting minimaal zijn. De Nederlandse acceptatiegrenzen van risico en milieubelasting mogen niet worden overschreden.

2. De vergunninghouder is verantwoordelijk voor de exploitatie

- EPZ verwoordt haar verantwoordelijkheid zo:
- Veiligheid is onze eerste prioriteit: veiligheid gaat dus vóór alles.
 - Veiligheid is voor ons streven naar uitmuntendheid door voortdurend verbeteren. Onze veiligheidscultuur is essentieel en krijgt doorlopend aandacht. Met structurele en incidentele veiligheidsonderzoeken wordt het veiligheidsniveau gecontroleerd en zoekt EPZ verbetermogelijkheden. Onafhankelijke, externe veiligheidsonderzoeken vullen de interne veiligheidsonderzoeken aan. Nieuwe inzichten leiden via periodieke investeringsrondes tot installatie- en veiligheidsverbeteringen.
 - Veiligheid betekent voor ons een pro-actieve houding. Voortdurend opleiden, trainen en beoordelen achten wij essentieel voor het voorkomen van menselijke fouten. EPZ heeft een eigen opleidingscentrum en een eigen opleidingsimulator met professionele instructeurs om veilig gedrag te trainen.

3. De overheid is verantwoordelijk voor handhaving

Ten slotte is er onafhankelijk extern toezicht op en handhaving van de nucleaire veiligheid. De Kernfysische Dienst (KFD) houdt namens de overheid toezicht op alle nucleaire activiteiten in Nederland en treedt daarbij handhavend op.

2.2 Opeenvolgende verdedigingslijnes

In de nucleaire industrie worden vijf onafhankelijke verdedigingslijnes onderscheiden:

1. Het voorkomen van procesverstoringen, defecten en fouten

Goed ontwerp, hoge bouwkwiteit, goed opgeleid personeel en correcte instructies kunnen voorkomen dat een volgende verdedigingslinie wordt aangesproken.

2. Het detecteren en het opvangen van verstoringen, defecten en fouten

Regelsystemen, foutherkenning, goed opgeleid personeel kunnen voorkomen dat veiligheidssystemen moeten worden ingezet.

3. Het voorkomen van ernstige schade aan de splijstofelementen

Automatische veiligheidssystemen, ongevalsprocedures, goed opgeleid en getraind personeel kunnen voorkomen dat denkbare gebeurtenissen tot schade aan de reactorkern zullen leiden.

4. Het voorkomen of beperken van ernstige schade aan de splijstof-elementen voor ondenkbare gebeurtenissen

(Gebeurtenissen die niet in het ontwerp zijn onderkend). Goed opgeleid personeel ondersteund door ongevalsprocedures en veiligheidsvoorzieningen kunnen (verdere) schade aan de kern voorkomen. Ook kunnen zij voorkomen dat radioactieve stoffen buiten de centrale raken.

5. Beperken van de gevolgen van radioactieve stoffen op het milieu

Een goed noodplan en een getrainde overheidsorganisatie kunnen de schadelijke effecten van vrijgekomen radioactieve stoffen op mens en milieu voorkomen of beperken.

Een belangrijke uitwerking van het concept van opeenvolgende verdedigingslijnes is het zogenaamde barrièreconcept. De kerncentrale kent vijf fysieke, passieve barrières die er voor zorgen dat de radioactieve stoffen in de splijstof niet bij mens en milieu kunnen komen.

Het is onmogelijk om van buitenaf in één gecoördineerde actie alle vijf de barrières te doorbreken om zo een nucleaire lozing te bewerkstelligen.

1 Barrière 1 Splijstof-tablet

Het splijstof-tablet, gesinterd als porselein, is de eerste barrière. De radioactiviteit blijft voor ongeveer negentig procent opgesloten in de matrix van de splijstof (uraniumoxide). Alleen de zeer vluchtige stoffen (edelgassen, jodium, cesium) verlaten de splijstof-tablet.



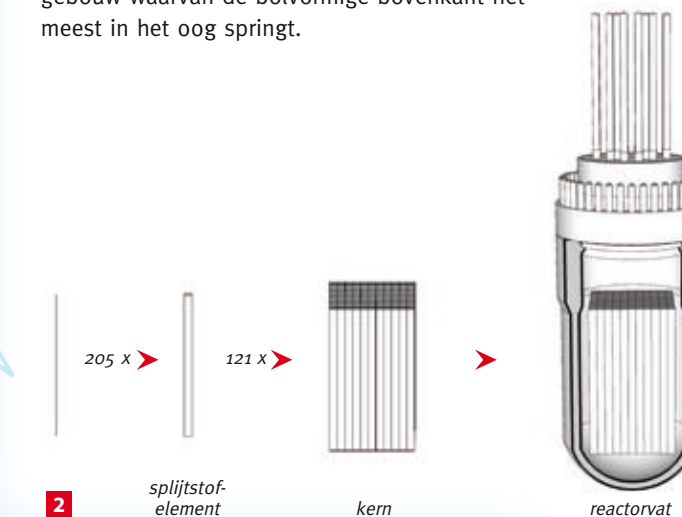
2 Barrière 2 Splijstof-staaf

De splijstof-tabletten zitten opgestapeld in een hermetisch gesloten buis van zirconium: gas- en vloeistofdicht. De splijstof-staaf houdt de meeste vluchtige radioactieve stoffen binnen.

De kern bestaat uit splijstof-tabletten opgesloten in splijstof-staven. Een bundel van 205 splijstof-staven vormt samen een splijstof-element.

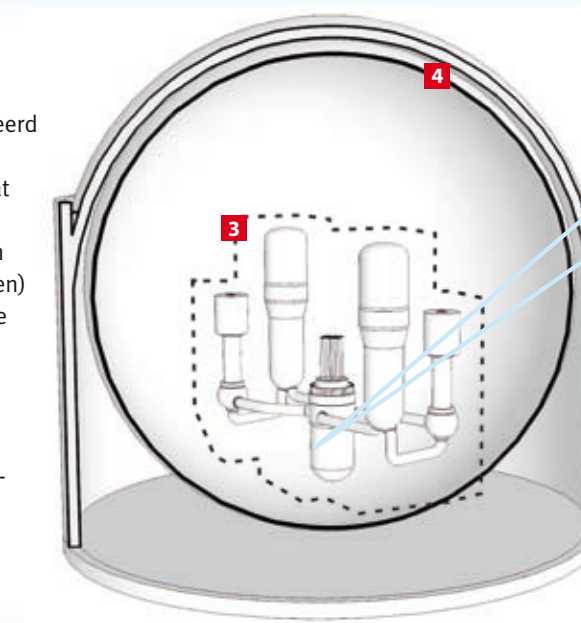
Hiervan zitten er 121 in de reactor. De kern zit opgesloten in het primair systeem, een gesloten circuit van dikke stalen pijpen, buizen, pompen en drukvaten. Het primaire systeem zit in gebunkerde gebouwen binnen het *containment*, een luchtdichte stalen bol.

Om deze totale nucleaire installatie staat een betonnen gebouw waarvan de bolvormige bovenkant het meest in het oog springt.



3 Barrière 3 Primair systeem

Het primair systeem is een gesloten circuit waarin koelmiddel (geconditioneerd water) wordt rondgepompt. Dit water staat onder een druk van 155 bar zodat het niet gaat koken. Vandaar de naam 'drukwaterreactor'. Het primair systeem (reactorvat, leidingen, stoomgeneratoren) bestaat uit sterk overgedimensioneerde (centimeters dikke) stalen onderdelen van de hoogste kwaliteit. Radioactieve stoffen kunnen hier niet uit. Het primair systeem zit in gebunkerde ruimtes. Het beton zorgt voor stralingsbescherming tijdens bedrijf en voor bescherming van de installatie voor onheil van binnenuit en buitenaf.



4 Barrière 4 Containment

Het primaire systeem zit opgesloten in een centimeters dikke stalen bol. Die zorgt ervoor dat radioactiviteit bij een incident niet naar buiten ontsnapt. De bol is een sterke luchtdichte constructie en kan interne gas- en stoomexplosies opvangen. Zo worden bij ongelukken emissies uit het primaire systeem tegengehouden.

5 Barrière 5 Reactorgebouw

Alle systemen zitten opgesloten in het reactor-gebouw, van buiten herkenbaar door de bovenste helft van de bol die in de kenmerkende betonnen koepel zit. Het gebouw vormt de laatste fysieke barrière tussen het primair systeem en het milieu. Andersom is het betonnen gebouw de eerste barrière voor onheil van buitenaf op weg naar de kern.

2.3 Veiligheidscultuur

De veiligheid van een kerncentrale wordt mede bepaald door de veiligheidscultuur in de organisatie. De manier waarop mensen zich (veilig) gedragen is van invloed op het minimaliseren van veiligheidsrisico's. Er is in- en extern toezicht; binnen de organisatie zijn medewerkers gewend om elkaar aan te spreken op veilig werken. Veilig werken wordt gestimuleerd tot een proces van voortdurend verbeteren.

Veiligheid is bij de kerncentrale Borssele gesystematiseerd:

- Er wordt gewerkt op basis van internationale normen;
- Deze regels zijn in procedures uitgewerkt en vastgelegd;
- Er wordt praktisch getraind op gedrag en het juist hanteren van de regels;
- Er wordt bij (internationale) collega's gekeken naar *best practices*, kennis wordt uitgewisseld;
- Er is op de werkvloer toezicht (zowel intern als extern) op de naleving en de prestaties. Regelmatig komen wettelijke toezichthouders en internationale *auditteams* naar onze kerncentrale;
- Deze inspecties zijn niet vrijblijvend. De regels en werkwijze worden verbeterd als inzichten veranderen of tekortkomingen worden gesignaleerd. Daarna volgt een nieuwe inspectie om te controleren wat er met de aanbevelingen is gedaan.

Verder is ook de 'zachte' kant van de veiligheidscultuur zoveel mogelijk tastbaar gemaakt door *'Management Expectations'* vast te leggen. EPZ maakt toegankelijk – en begrijpelijk – wat zij van haar medewerkers verwacht. Elke medewerker is aanspreekbaar op zijn of haar verantwoordelijkheid ten aanzien van de nucleaire veiligheid. Er wordt hierop geschoold en geoacht, individueel en in teamverband.



2.4 Opleidingen

Iemand die bij de kerncentrale werkt, besteedt tussen de vijftien en twintig dagen per jaar aan onderwijs. Het gaat bij EPZ om het opleiden van haar medewerkers én het ontwikkelen van kennis en persoonlijke vaardigheden. Niet alleen voor wat nodig is voor de huidige functie maar ook voor de toekomst.

Gemiddeld volgen jaarlijks enkele tientallen medewerkers (nieuw of nieuw in een functie) een praktische opleiding voor de benodigde installatiekennis. Daarnaast worden er jaarlijks meer dan tien 'opfriscursussen' georganiseerd om bestaande kennis op te frissen en nieuwe zaken bij te leren. Bij de opfriscursus zet EPZ ook externe cursusleiders in (van Tractebel, de Nuclear Research & consultancy Group en het Reactor Instituut Delft).



Simulator

De wachtmedewerkers van de kerncentrale trainen twee keer per jaar een week lang op de simulator in het Duitse Essen. Hier worden alle mogelijke en niet-voorzien praktijksituaties nagebootst die in een centrale kunnen plaatsvinden. Voor de kerncentrale gelden simulatortrainingen als een vergunningstechnische verplichting. Naast vakinhoudelijke en procedurele kennis, worden ook andere kwaliteiten getest. Gedragscompetenties zoals analytisch vermogen in stressvolle situaties, samenwerken in groepsverband en communicatieve vaardigheden zijn onderdeel van het lesprogramma.

Op de *Kraftwerkschule* in het Duitse Essen trainen onze operators op een simulator van onze kerncentrale. Alle gewone en ongewone procesomstandigheden komen aan de orde zodat operators goed voorbereid zijn. Simulatortrainingen zijn niet vrijblijvend, een operator kan zijn kwalificatie verspelen bij slechte prestaties.

EPZ kiest voor deelname in de *Kraftwerkschule* vanwege de internationale omstandigheden en de schaalvoordelen: diverse kerncentrales delen hier de beste simulatortechniek en de beste trainers.



Tijdens de simulatortraining bekwamen de wachtmedewerkers zich extra in de procedures voor in en uit bedrijfsname. Deze handelingen worden normaal alleen tijdens de splijststofwissel uitgevoerd. Dat betekent dat dus maar één wacht dit kan meemaken. Dat is te weinig om routine op te bouwen. Verder oefent de wacht allerlei grotere en kleinere storingen en scenario's in het kader van ernstige ongevallen. Met name het trainen van procedures en de werkdiscipline worden geoefend op de simulator.

Gedurende zijn of haar carrière volgt iedere operator twee keer per jaar een week lang simulatortraining voor het behoud van de licentie. Alle soorten oefeningen worden gedaan, variërend van kleine storingen (uitval ventilatiesysteem), grotere storingen (wegvallen voedingwater) of nog grotere (uitval elektriciteit).

Het verloop van een oefening in de simulator gaat als volgt:

- storing meldt zich
- wacht loopt de instructies af volgens geoefende scenario's

Toets:

- juiste diagnose
- juiste afhandeling incident
- onderlinge communicatie

Foute aanpak:

- oefening loopt verder
- evaluatie achteraf
- verbeterpunten meenemen
- oefening eventueel overnieuw

Als de ploeg afwijkt van het oefendoel grijpt de leraar in. De aanpak wordt altijd geëvalueerd om van verbeterpunten te blijven leren.

Overige trainingen kerncentrale

Het opleidingsniveau van EPZ's nucleaire medewerkers wordt permanent bewaakt en verhoogd. Dat wordt vooral zichtbaar bij de selectie van nieuwe regelzaalmedewerkers. Een technische HBO-opleiding is een minimale vereiste. Een psychologische toets is verplicht: kandidaten moeten stressbestendig zijn en een goed ontwikkeld analytisch vermogen hebben. Na de aanstelling volgt de medewerker tal van verplichte opleidingen en moet hij om zijn kwalificatie te behouden zijn kennis en vaardigheden voortdurend verbeteren en onderhouden.

Basisopleiding

De basisopleiding duurt anderhalf jaar. Nieuwe medewerkers krijgen klassikaal les voor hun theoretische kennis over onder meer fysica en reactorkunde. Daarna volgt praktijkonderwijs op de simulator op de *Kraftwerkschule* in Essen. Daar wordt geleerd de processen te bedienen en hoe er gereageerd wordt op storingen. Ook worden de communicatieprincipes van de zogenaamde *Human Performance* technieken getraind zoals het vierogenprincipe (een beslissing neem je nooit alleen), drie-weg communicatie (instructies herhalen), start-werkbespreking (tijd maken om werk door te nemen en vragen te kunnen stellen), zelfcontrole, situatiebewustzijn, enzovoort.

Na anderhalf jaar volgt examen in aanwezigheid van een geïmmitteerde van de overheid. Wie slaagt ontvangt een licentie voor een jaar om te mogen werken in een wachtploeg en gaat aan de slag onder begeleiding van een ervaren persoon.

Opfriscursus

Twee weken per jaar volgen EPZ's medewerkers een opfriscursus (herhalingscursus) om de theorie (fysica, techniek) levend te houden. Verder is er een gamma aan specifieke functiegerelateerde cursussen:

- Alarmplanoefeningen
- Brandweeroefeningen
- Iedere afdeling oefent apart eigen taken
- Trainingen menselijk gedrag
- *Toolbox meetings* om veilig werken voor te bereiden
- Speciaal voor de splijststofwisselperiode: workshops over algemene en specifieke zaken in het licht van de veiligheidscultuur. Er wordt uitleg gegeven over aanstaande werkzaamheden en hoe die worden uitgevoerd.

Alle individuele opleidingen en kwalificaties worden uiteraard nauwkeurig bijgehouden.

Internationale uitwisseling

Tenslotte zijn er nog internationale uitwisselingen met andere centrales of via IAEA-missies. Via *peer reviews* en *audits* worden *best practices* uitgewisseld en via aanbevelingen geleerd van elkaars ervaringen.

2.5 Veiligheidssystemen kerncentrale Borssele

De kerncentrale Borssele is gemaakt volgens een veilig ontwerp uit begin jaren zestig: robuust en eenvoudig. De Duitse techniek en de kwaliteit van de bij kerncentrale Borssele toegepaste materialen hebben de veiligheid van dit basisontwerp verder verhoogd.

De kerncentrale werd in 1973 operationeel. Iedere tien jaar wordt gekeken wat de stand van techniek aan veiligheidsverbeteringen mogelijk maakt. In 1983, 1993 en 2003 is de veiligheid geëvalueerd en zijn er verbeteringen doorgevoerd. De modificaties uit 1986 (100 miljoen euro), 1997 (250 miljoen euro) en 2007 (80 miljoen euro) zorgden voor grotere – achteraf ingebrachte – ontwerpveiligheid. De kerncentrale was al veilig toen zij in 1973 in bedrijf ging.

Reactor

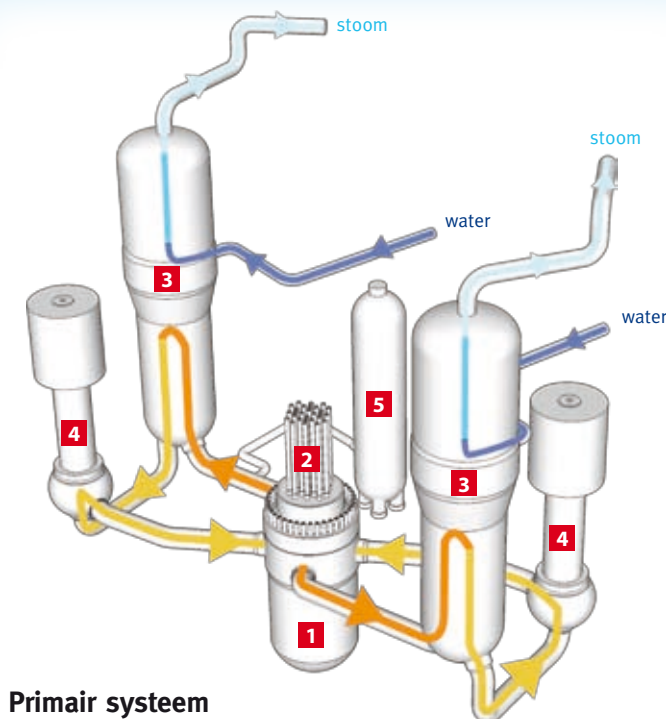
Een drukwaterreactor als de KCB is een veilig ontwerp. De fysische eigenschappen van de reactor zorgen er voor dat het splijtingsproces vanzelf stabiliseert als parameters te veel afwijken. Bij een te hoog vermogen stijgt de temperatuur in de reactor. Als gevolg van natuurkundige wetten neemt de splijtingssnelheid af. Het vermogen neemt hierdoor af en de temperatuur daalt. Daar komt geen technische ingreep aan te pas. Kort gezegd komt dit doordat het water en het uranium zodanige fysische eigenschappen hebben dat het kernsplijtingsproces afremt als de temperatuur hoger wordt. Zo'n eigenschap noemt men een inherent veilige eigenschap. Het kernsplijtingsproces is daardoor zeer stabiel en eenvoudig te beheersen. De bediening kan daardoor eenvoudig blijven, wat de kans op storingen verkleint.

Zolang de kern onder water blijft, kan daaraan geen schade ontstaan die leidt tot een onveilige situatie. Voor koeling en afscherming is er altijd water voorhanden. Dit wordt gewaarborgd door de verderop getoonde talrijke (redundante) systemen en buffervorraden.

Regelstaven

Het reactorvermogen wordt geregeld door aan het water in de reactor het neutronen-absorberende borium toe te voegen. Het veranderen van de concentratie is een langzaam proces. Snelle veranderingen in het reactorvermogen gebeuren met de zogenaamde 'regelstaven' **2**. Deze hangen boven in de reactor **1** en worden door operators in de regelzaal bediend. Als ze in de kern zakken, absorbeert het staafmateriaal neutronen. Het reactorvermogen neemt dan af.

De regelstaven hangen in een constructie boven de kern. Ze worden 'vastgehouden' door zeer gevoelige 'elektromagneten'. Die laten los als zij daarvoor een bevel krijgen of als parameters afwijken van wat normaal is. Zodra de 'handen' loslaten zorgt zwaartekracht ervoor dat de regelstaven in de kern vallen. De neutronen worden geabsorbeerd en het kernsplijtingsproces stopt onmiddellijk.



Primair systeem

In de reactor **1** vindt het kernsplijtingsproces plaats. Dat wordt beheerst met de regelstaven **2**. Koelmiddel zorgt voor de afvoer van warmte naar de stoomgenerator **3** en keert via de hoofdkoelmiddelpomp **4** terug naar de reactor. Het koelmiddel staat onder hoge druk waardoor het niet gaat koken. Drukverschillen worden opgevangen door de drukhouder **5**, vergelijkbaar met het expansievat op de c.v.-installatie thuis.

Lekdetectie

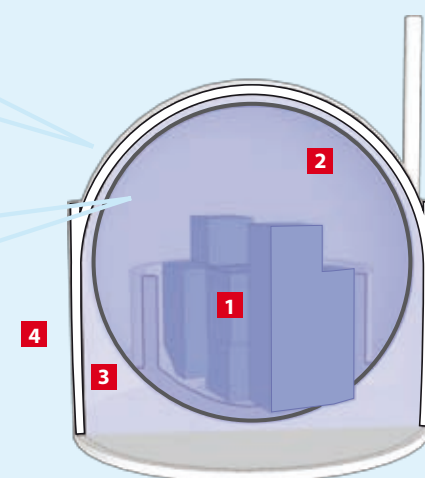
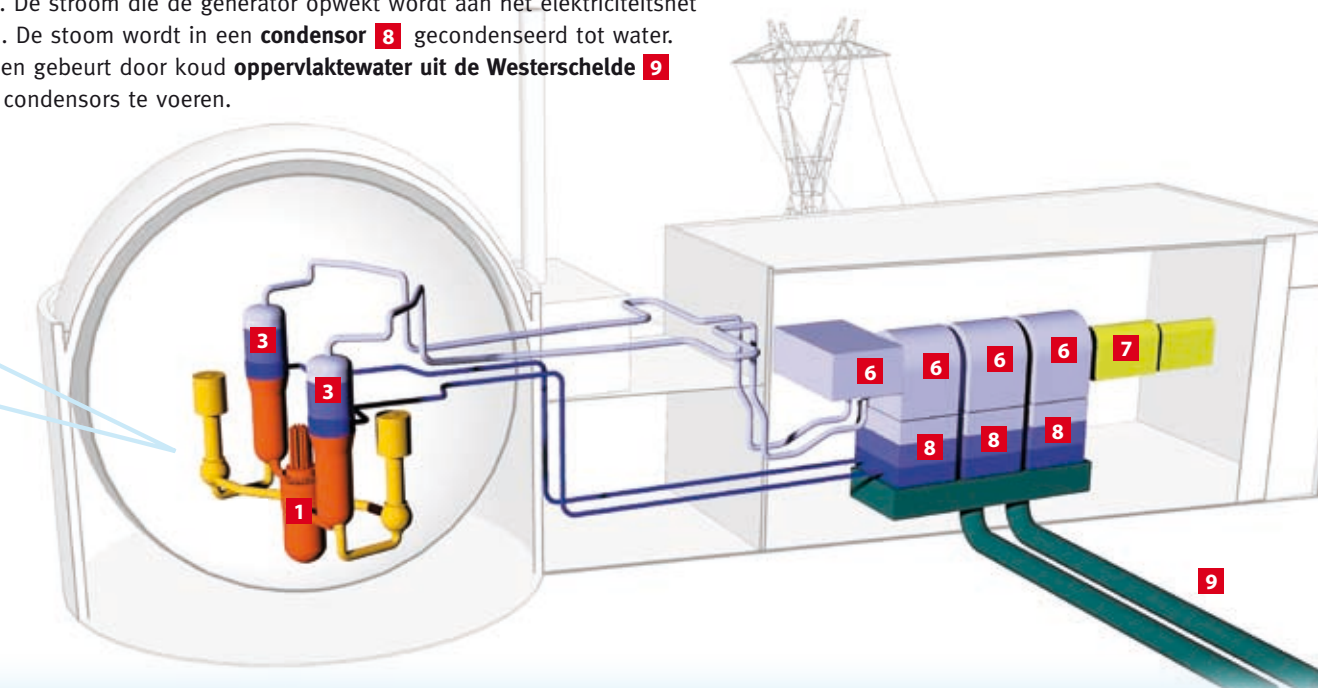
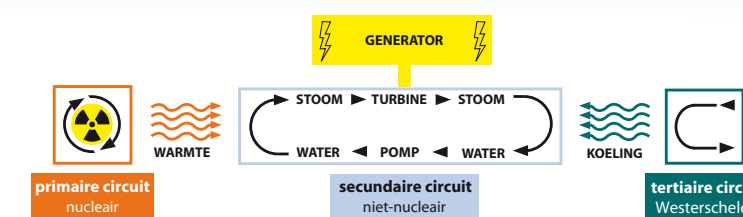
Vitale componenten, zoals kritische meet- en regelapparaten, worden periodiek gecontroleerd op lekdichtheid. Dit gebeurt met heliumdetectie. Helium, een klein atoom, wordt in een apparaat of component gebracht. Aan de buitenzijde controleert apparatuur of helium naar buiten lekt. Periodiek worden bijvoorbeeld de doorvoeringen van bedrading in de bolwand getest op dichtheid.

Voorkomen waterstofexplosie

Kerncentrale Borssele beschikt binnen het *containment* over een systeem dat waterstof als het ontstaat direct omzet in water. Dit systeem is passief, het heeft geen elektriciteit of aansturing nodig om te functioneren. Het werkt dus onder alle omstandigheden. In recombinatoren zorgt een katalysator (platina) voor een beheerste chemische reactie, zodat er geen explosieve situatie kan ontstaan.

Productieproces

Veilig afgeschermd door staal en beton bevindt zich in het hart van onze kerncentrale de 'kern' **1**. Hierin wordt warmte geproduceerd. Die ontstaat door het splijten van uranium- of plutoniumkernen, de splijtstof. De warmte wordt opgenomen door water van de primaire (nucleaire) kringloop dat onder hoge druk circuleert door het reactorvat **1**. Met de warmte wordt stoom gemaakt in de secundaire (niet-nucleaire) kringloop van de stoomgenerator **3**. De stoom drijft een turbine **6** aan. Die zit op een as die een generator **7** aandrijft. De stroom die de generator opwekt wordt aan het elektriciteitsnet geleverd. De stoom wordt in een condensor **8** gecondenseerd tot water. Dat koelen gebeurt door koud oppervlaktewater uit de Westerschelde **9** door de condensoren te voeren.



Drukstaffeling

- 1** De grootste onderdruk heerst direct rond het primair systeem.
- 2** Daarna volgt de overige ruimte binnen de stalen bol met iets minder onderdruk.
- 3** Vervolgens komt de ruimte tussen betonnen koepel en stalen bol met weer iets minder onderdruk.
- 4** Omgevingsdruk.

Voorkomen van nucleaire lozingen

De ventilatieschacht van de kerncentrale wordt ten onrechte vaak 'schoorsteen' genoemd. Hier wordt behandelde (gefilterde) lucht uit de binnenruimte geventileerd. Binnen het *containment* van de kerncentrale heerst onderdruk. Bij lekkage stroomt dus altijd lucht van buiten naar binnen. De onderdruk wordt permanent gemeten. Luchtbehandelinginstallaties zorgen voor de onderdruk en ventileren hun overtollige (gefilterde) binnenlucht op de ventilatieschacht. Deze lucht wordt voortdurend gecontroleerd op radioactiviteit. Van de ene naar de andere ruimte passeren medewerkers door een luchtsluit. De ruimtes rond het primaire systeem (met de grootste onderdruk) zijn hermetische gesloten en niet toegankelijk tijdens normaal bedrijf. Zo wordt voorkomen dat eventuele radioactieve gassen en verontreinigingen ongemerkt buiten de centrale kunnen komen.

Koeling

Of een kerncentrale nu in bedrijf is of stilligt voor onderhoud: de splijtstof in een drukwaterreactor moet altijd onder water staan. Dat is nodig om de (rest-)warmte die de splijtstof door radioactief verval zelf produceert af te voeren en om de radioactieve straling af te schermen. Zolang de kern is bedekt met water is er sprake van een beheersbare situatie.

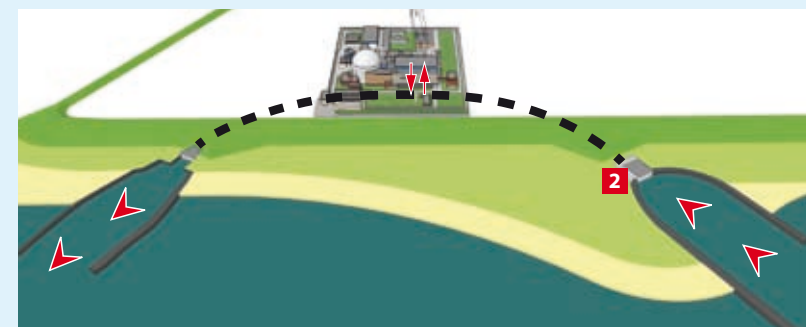
Er zijn meerdere systemen en watervoorraden die los van elkaar en onder alle omstandigheden er voor zorgen dat de kern bedekt blijft met water. Daarnaast zijn er systemen die zekerstellen dat onder alle omstandigheden de warmte van de kern kan worden afgevoerd. Deze systemen vullen elkaar aan of nemen het van elkaar over.

Beschrijving installatie

Dit zijn de twee **hoofdkoelmiddelpompen 1** van de kerncentrale. Deze pompen laten tijdens bedrijf koelmiddel circuleren door het primair systeem. Als beide pompen uitvallen wordt de reactor automatisch afgeschakeld en komt er een proces van natuurlijke circulatie op gang met voldoende capaciteit om de vervalwarmte van de kern af te voeren. Zonder pompen en zonder technische ingrepen, gewoon op grond van fysische eigenschappen. Dit is een tweede, belangrijke inherent veilige eigenschap van het ontwerp van de kerncentrale Borssele.

Tijdens normaal bedrijf en onderhoud:

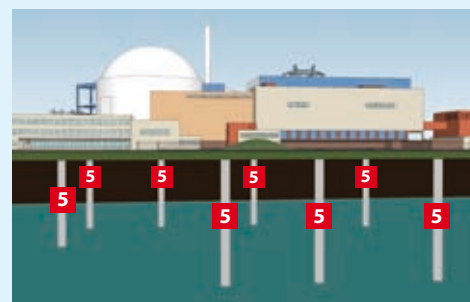
Als de kerncentrale elektriciteit produceert, wordt de stoomcyclus gekoeld met water uit de Westerschelde, opgepompt via de **koelwaterinlaat 2**.



Koelen gebeurt met **condensors 3** waarin oppervlaktewater ervoor zorgt dat stoom weer condenseert tot water waarna de stoomcyclus opnieuw start. In feite is dit koelcircuit geen onderdeel van het veiligheidssysteem maar een onderdeel van de elektriciteitsproductie.

Als de elektriciteitscentrale stilligt, moet de kern toch worden gekoeld voor de afvoer van restwarmte. De kettingreactie is gestopt, maar door radioactief verval produceert de kern nog altijd warmte. Het hoofdkoelmiddel voert deze warmte af via het **tussenkoelsysteem 4** naar dubbel uitgevoerde koelwaterleidingen met water uit de Westerschelde. Deze koelketen van drie, door warmtewisselaars gescheiden, kringen is dubbel uitgevoerd en voert de vervalwarmte van de reactor af naar de Westerschelde bij normale en storingsituaties. Deze twee systemen zorgen er dus voor dat warmte uit de kern kan worden afgevoerd.

Voor het (onwaarschijnlijke) geval dat Westerschelde-water niet beschikbaar is, heeft EPZ in 1997 een **back-up** systeem aangebracht dat gebruik maakt van acht **putten naar het zoute grondwater 5**.



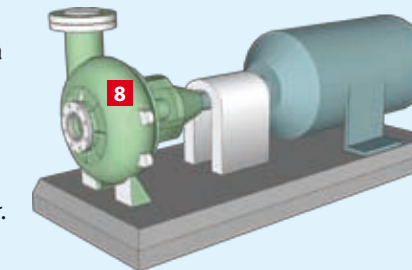
Met behulp van krachtige ondergrondse pompen kan zout grondwater opgepompt worden om de vervalwarmte af te voeren.

Tijdens verlies van koelwater door lekkage:

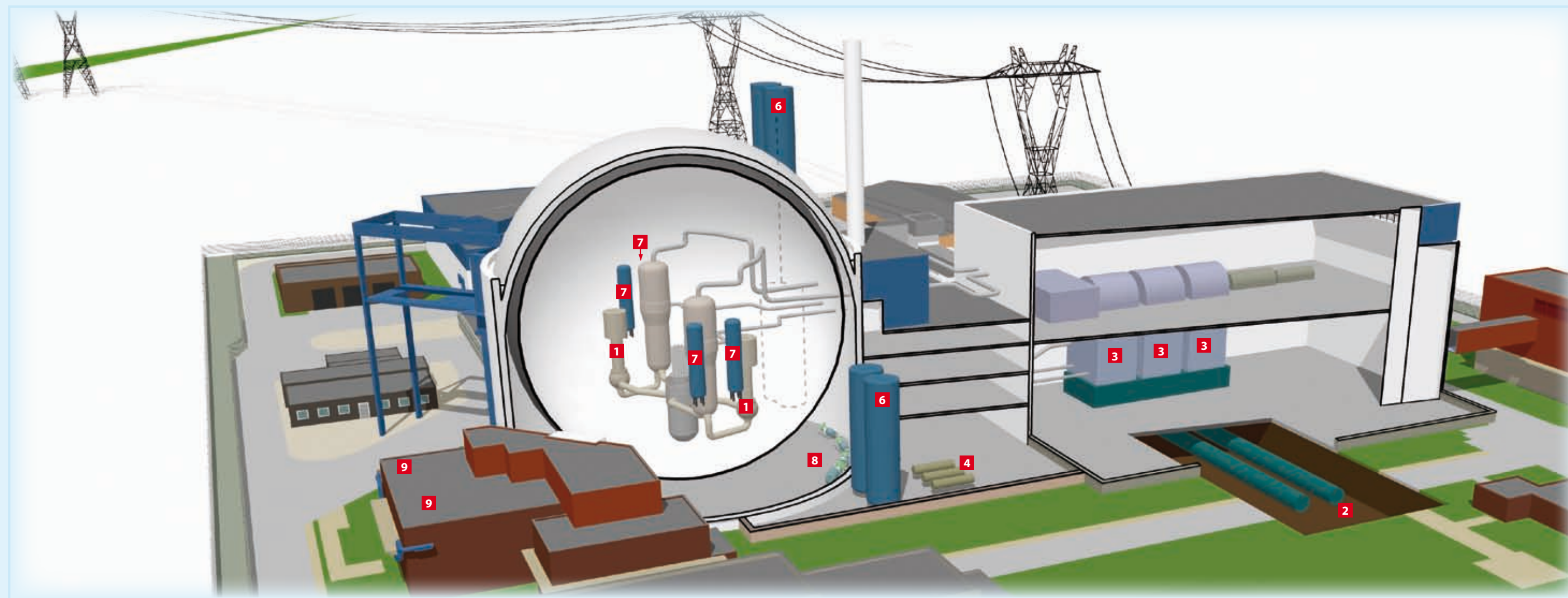
Vanuit deze **tanks 6** wordt bij een lek in het primaire circuit water aangevuld. Dit water is om de kern onder water te houden. De voorraad is 700 kubieke meter groot en kan op twee manieren worden aangesproken: onder hoge druk (110 bar) met een klein debiet of onder lage druk (8 bar) met een groot debiet, afhankelijk van de waterbehoefte. (Groot lek groot debiet, klein lek klein debiet). Deze tanks behoren tot het oorspronkelijke ontwerp en staan al sinds begin van de productie (1973) opgesteld.

In de bol staan **4 watertanks (2x2) 7** opgesteld. Bij drukverlies in het primaire systeem (wat duidt op een lek) gaat dit water automatisch stromen als de druk in het primaire systeem lager wordt dan 25 bar. In totaal bevatten de tanks 86 kubieke meter water. Ook dit systeem stamt uit 1973.

Als beide watervoorraden zijn uitgeput, betekent dit dat er bijna 780 kubieke meter water de bol ingevoerd is. Onder de bol zijn in 1973 **pompen 8** aangebracht die dit water terugvoeren naar de reactor.



Na het kernongeluk in Harrisburg (USA, 1979) zijn in 1984 op enige afstand van het reactorgebouw twee extra gebunkerde watervoorraden (2 x 200 kubieke meter) aangebracht met eigen **noodstroomvoorziening 9** plus nog eens twee keer 450 kubieke meter water voor onafhankelijke voedingswatervoorziening voor de stoomgeneratoren.



Noodstroom

De kerncentrale produceert elektriciteit en gebruikt tegelijkertijd ook zelf elektriciteit voor het bedienen van de installatie. Om zeker te stellen dat de kern te allen tijde met water bedekt blijft en de vervalwarmte wordt afgevoerd, zijn actieve componenten nodig zoals pompen die worden aangedreven met elektriciteit. Daarom zijn tal van (redundante) noodstroomvoorzieningen aangelegd.

De kerncentrale levert aan en betreft van het **landelijk elektriciteitsnet 1**. Omdat de elektriciteitsvoorziening kan wegvallen, zijn er aanvullende maatregelen nodig.

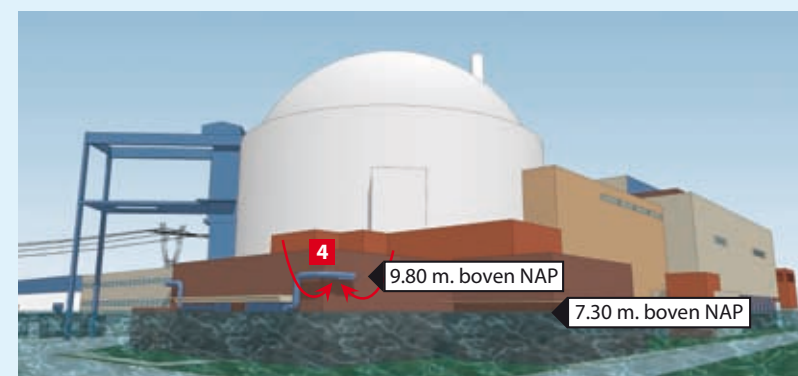
Noodstroomnet 1:

Rond de kerncentrale staan drie identieke **dieselcentrales 2** van 5 MW. Elk van deze drie dieselcentrales is sterk overgedimensioneerd en kan in haar eentje voorzien in de elektriciteitsbehoefte voor het afvoeren van de vervalwarmte. Deze diesels stammen uit het oorspronkelijke ontwerp en zijn in 1997 vervangen.

Noodstroomnet 2:

In 1986 zijn twee extra **noodstroomdiesels 3** in gebunkerde gebouwen aangebracht. Deze dieselcentrales van 1 MW kunnen elk afzonderlijk de kerncentrale in een veilige toestand houden.

In 2006 is de overstromingsveiligheid vergroot tot 7.30 meter boven NAP door de luchtinlaat van **'snorkels' 4** te voorzien op een hoogte van 9.80 meter boven NAP.



Als extra noodstroommaatregel bovenop alle andere heeft EPZ een mobiel diesel-aggregaat van 1 MW.

Reserve regelzaal

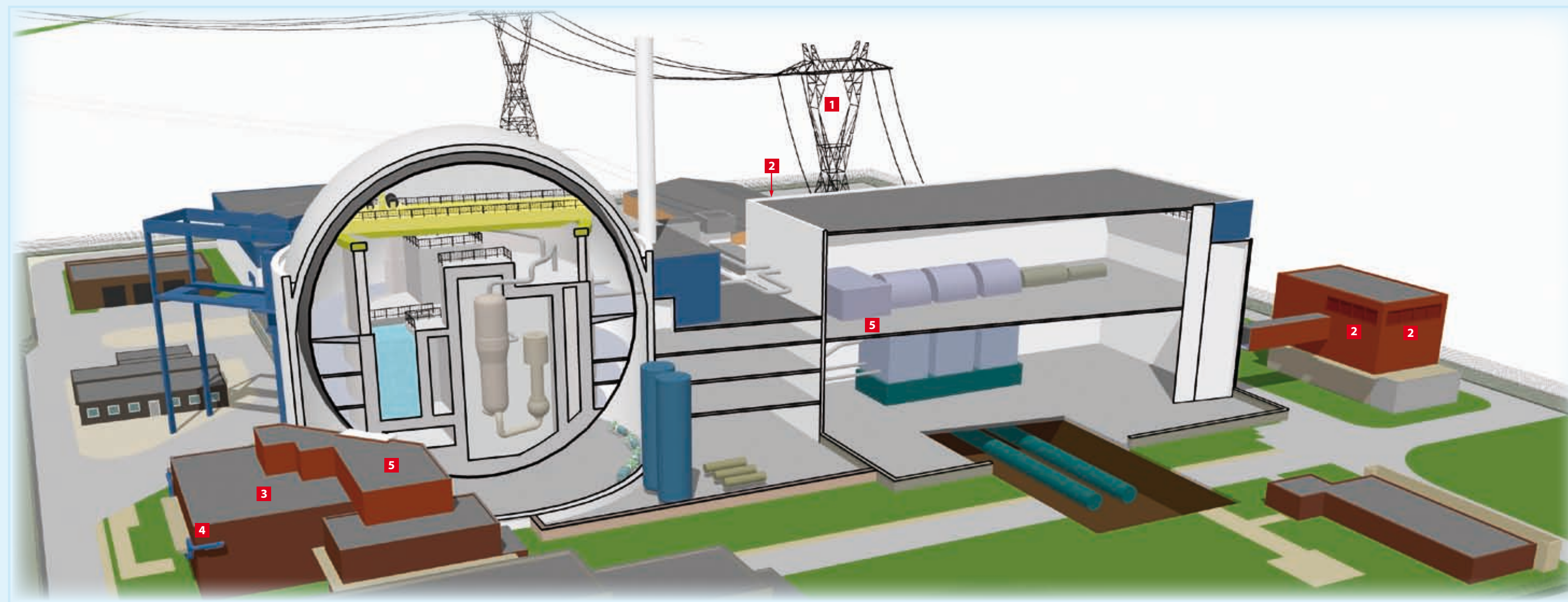
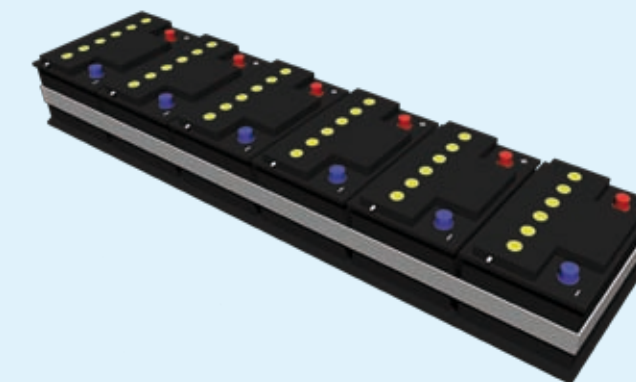
De kerncentrale gaat door de automatische bediening bij incidenten altijd veilig uit bedrijf en naar een veilige toestand.

Als de regelzaal met wachtpersoneel niet meer beschikbaar is, kan het afschakelingsproces vanuit een gebunkerde reserve regelzaal worden gestuurd. Een reserve wachtploeg volgt de automatische bediening van de kerncentrale en bewaakt de veilige toestand. Zonodig kan worden ingegrepen.

Batterijpakketten

De kerncentrale beschikt over meerdere pakketten met 24 en 220 Volt **batterijen 5**. Deze pakketten zorgen voor het opvangen van spanningsonderbreking. Hierdoor is de continuïteit van de stroomvoorziening gewaarborgd.

De batterijpakketten zijn ook bedoeld als back up bij een volledig verlies van alle (nood)stroomvoorzieningen. Als geen enkele elektriciteitsvoorziening meer mogelijk is, kunnen de batterijen gegarandeerd enkele uren de stroomvoorziening overnemen en de kerncentrale in een veilige toestand houden. In de tussentijd kunnen andere maatregelen worden genomen (herstarten noodstroomnetten, aanvoer van externe aggregaten). De batterijpakketten zijn hoogwaterdicht geïnstalleerd.



De regelzaal

In 1997 is de regelzaal van de kerncentrale opnieuw ingericht volgens de laatste inzichten van ergonomie en mens/machine-interactie. Op de regelzaal heerst rust en orde zodat het regelzaalpersoneel de volledige aandacht op het proces kan richten. Vergaderingen (wachtoverdracht, teambesprekingen) zijn functioneel.

Voor een onder alle omstandigheden veilige bediening zijn hier vier wachtmedewerkers aanwezig: één Wachtingenieur, één Plaatsvervangend Wachtingenieur en twee Hoofdwerktuigkundigen. Deze vier hebben specifieke taken. Daarom is de ruimte verdeeld in kwadranten, bemand door een operator met eigen taken en verantwoordelijkheden. Bij deze verantwoordelijkheden horen eigen instrumenten en in één geval ook documenten. Alles wat hij nodig heeft, vindt de betreffende Hoofdwerktuigkundige in zijn kwadrant. Dat voorkomt geloop en bevordert de rust en het overzicht. De documenten zijn geconcentreerd bij de Plaatsvervangend Wachtingenieur. Alle benodigde informatie zoals procedures en technische informatie staat op papier maar is ook digitaal beschikbaar.

De wachtploeg

De kerncentrale is een continubedrijf, de bediening vindt plaats vanuit de regelzaal die in ploegdiensten wordt bemand. EPZ stelt hoge eisen aan de medewerkers die vanuit de regelzaal de kerncentrale bedienen. Zij zijn geschoold op minimaal HBO-niveau en geselecteerd op eigenschappen als stressbestendigheid en het werken in teamverband.

Op het moment van indiensttreding krijgt het wachtpersoneel een *fulltime* opleiding van 1,5 jaar. Daarvan worden tien weken doorgebracht op de simulator in het Duitse Essen. Op deze simulator worden allerlei gewone en ongewone praktijkomstandigheden nagebootst (Zie ook 'Operations' op pagina 23). Verder krijgen *operators* nog eens vier weken theoretisch onderwijs in kernfysica bij NRG in Petten. Ook is er praktijkonderwijs in de vorm van stages bij verschillende bedrijfsonderdelen. Na anderhalf jaar volgt een examen onder toezicht van de Kernfysische Dienst, de toezichthouder van de overheid.

Gedurende hun hele carrière worden operators doorlopend geschoold. Vier weken per jaar volgen ze een 'opfrustraining' waarvan er twee worden doorgebracht op de simulator. Bij promotie volgt bij iedere carrièrestap opnieuw een *fulltime* opleiding die tot een jaar kan duren.

Buiten de regelzaal, in de installatie, zijn Werktuigkundigen aan het werk. Zij worden aangestuurd vanuit de regelzaal. Zij werken in de installatie, hebben een afgeronde technische MBO-opleiding gevolgd en een *fulltime* bedrijfsopleiding van zes maanden.

Alle medewerkers (op de regelzaal en in de installatie) beschikken over de benodigde vaardigheden vastgelegd in documenten zoals *Human Performance Tools* en de *Management Expectations*. Deze worden voortdurend aangepast aan nieuwe inzichten, er is controle op het onderhouden van kennis en vaardigheden via een systeem van competentie management.

Wachtingenieur

Houdt overzicht op de (procedurele) gang van zaken rond de bedrijfsvoering. Is verantwoordelijk voor de (nucleair) veilige en economische bedrijfsvoering tijdens zijn wacht. Bij storingen en bijzondere omstandigheden neemt de **Wachtingenieur 1** de juiste maatregelen met betrekking tot de reactorveiligheid en coördineert de acties in en rond de installatie.



Plaatsvervangend Wachtingenieur

Neemt een onafhankelijke positie in en toetst de dagelijkse gang van zaken aan de hand van de procedures. Achter de **Plaatsvervangend Wachtingenieur 2** staat een bibliotheek met alle procedures. Die beschrijven de normale gang van zaken plus de procedures die gelden onder bijzondere omstandigheden.



Op een speciaal paneel volgt de Plaatsvervangend Wachtingenieur de kritische veiligheidsfuncties van de kerncentrale. Denk hierbij aan de condities in het primaire systeem, de functionaliteit van het *containment* en de omstandigheden in de reactor.



Hoofdwerktuigkundigen

Een Hoofdwerktuigkundige 3 houdt in zijn kwadrant toezicht op het reactorbedrijf van de kerncentrale. Hij controleert de automatische bediening tijdens normaal bedrijf. Tijdens storingen handelt hij volgens voorgeschreven procedures en controleert het verloop van de afwikkeling van de storing. Als dat nodig is en wordt voorgeschreven, grijpt hij in.



Een andere Hoofdwerktuigkundige 4 houdt vanuit zijn kwadrant toezicht op de elektriciteitsproductie met de turbine en de generator van de kerncentrale. In principe is dit het niet-nucleaire gedeelte van de bedrijfsvoering tijdens normaal bedrijf. Tijdens storingen handelt hij volgens de voorgeschreven procedures en controleert het verloop van de afwikkeling van de storing. Als dat nodig is en wordt voorgeschreven grijpt hij in.

Procedures

EPZ kiest het beste van twee werelden:

- De hardware is van Duitse makelij en het beste dat op het gebied van kerntechnologie te krijgen was. De Duitse technologie gaat uit van de automatische bediening van de kerncentrale die menselijk ingrijpen tot een minimum beperkt.
- De procedures voor de bediening zijn van Amerikaanse origine. De Amerikaanse filosofie gaat er vanuit dat de mens altijd moet kunnen ingrijpen als de situatie dat vereist. Wanneer en hoe is nauwgezet vastgelegd in procedures. Kern van de zaak is dat de medewerkers altijd over de juiste informatie beschikken, de automatische bediening voortdurend controleren en alleen bij vooraf gedefinieerde situaties op een voorgeschreven manier ingrijpen.

Kortom: de kerncentrale kan zonder menselijk ingrijpen veilig worden afgeschakeld maar als het nodig is, zal de mens ingrijpen. Voor elke situatie geldt dat de kerncentrale altijd in een veilige toestand zal worden gebracht: automatisch of manueel.

Werkdiscipline

De wachtploeg werkt met:

1. **Het vier-ogen principe:** beslissingen of acties onderneem je nooit alleen.
2. **Specifieke communicatietechnieken:** hoe en wanneer geef je een instructie, hoe reageer je hierop terug.
3. **Start-werk-besprekingen:** voor je iets besluit of uitvoert, neem je vooraf door wat de bedoeling is en wat het resultaat moet zijn. Dit is het moment om onduidelijkheden weg te nemen of kritische vragen te stellen.
4. **Zelfcontrole:** je controleert altijd het resultaat van je eigen werk en communiceert hierover met je collega's.
5. **Situatiebewustzijn:** medewerkers zijn getraind om zich voortdurend bewust te zijn van het resultaat van handelingen of beslissingen.
6. **Rust op de regelzaal:** de Wachtingenieur ziet erop toe dat er rust en orde heerst op de regelzaal.



De Werktuigkundigen

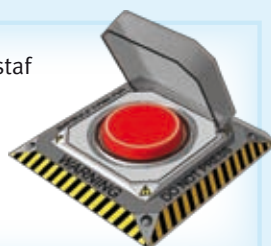


De Werktuigkundigen worden aangestuurd vanuit de regelzaal. De Werktuigkundigen controleren de installatie en voeren (bedienings-) instructies, tests en inspecties uit.

Alarmstaf

Met een knop kan de Wachtingenieur de alarmstaf bij elkaar roepen.

Vijftien functionarissen met uiteenlopende disciplines zijn volgens een schema van consignatiediensten direct oproepbaar.



Na een alarm komt de alarmstaf bijeen onder leiding van de geconsigneerde *Site Emergency Director* (SED). Die trekt op dat moment alle verantwoordelijkheden en bevoegdheden van de bedrijfsleiding naar zich toe voor de acties die nodig zijn.

De bediening van de kerncentrale blijft de verantwoordelijkheid van de Wachtingenieur die hierover met de *Site Emergency Director* communiceert. De SED zorgt voor de afwikkeling van het alarmplan.



De alarmstaf heeft een duidelijke taakverdeling. Er wordt een beleidsteam geformeerd en er wordt een contactpersoon bij de overheid geplaatst. Aan de hand van draaiboeken, procedures en informatiestromen wordt een indeling gemaakt: hoe ernstig is de betreffende storing en welke maatregelen horen daarbij?

Er wordt via het nationaal noodnet contact gelegd met de hulpdiensten en de overheid. Voor de afhandeling van ernstige incidenten zijn goede afspraken gemaakt met de overheid. Er wordt regelmatig geoefend.

Reserve wachtploeg

In extreme gevallen kan een reserve wachtploeg worden opgeroepen. Er is een reserve regelzaal van waaruit de bediening van de kerncentrale kan worden overgenomen als de normale regelzaal niet meer beschikbaar is.

Brandweer

De bevelvoerder is een *full time* professioneel en gediplomeerd brandweerman. Uit de wachtploeg van de kerncentrale en uit de wachtploeg van de kolencentrale komen elk twee medewerkers die Rijksgediplomeerd brandweerman zijn. Een zesde man komt uit de beveiligingsorganisatie en is de chauffeur-pompbediende.

Na maximaal tien minuten is ook de brandweer van de veiligheidsregio aanwezig.

Voor extreme branden beschikt EPZ over een *crash tender*, een schuimblusvoertuig dat ook op vliegvelden wordt gebruikt.



De 'noodstop-knop'

Het kernsplijtingsproces is bij bijzondere omstandigheden met één druk op de knop te stoppen. De regelstaven vallen dan in de reactor, de neutronen die de kernsplijting op gang houden, worden geabsorbeerd en de kettingreactie stopt onmiddellijk.

Ook de automatische bediening kan besluiten tot een *ReaktorSchnell-Abschaltung* (RESA) als bepaalde parameters of gebeurtenissen dat nodig maken. Handmatige bediening van de 'noodstop' is dus niet noodzakelijk.

Operating experience

De collega's in de wachtploegen worden bijgestaan door een ondersteunende afdeling die elders op het complex is gehuisvest. Die biedt ondersteuning bij operationele vragen.

Zeven medewerkers zijn *full time* bezig met het verbeteren van processen, procedures en storingsanalyses. Eigen storingen worden geanalyseerd en gedocumenteerd en gemeld aan de KFD. Ook internationale storingen bij collega-kerncentrales worden bekeken op hun relevantie voor de eigen bedrijfsvoering en vervolgens geanalyseerd. Op deze manier wordt operationele ervaring voortdurend verbeterd en actueel gehouden. Zo kan op storingen worden geanticipeerd en hun aantal geminimaliseerd.

Als er toch storingen optreden, wordt ervan geleerd. De opgedane kennis wordt vervolgens weer internationaal gedeeld.

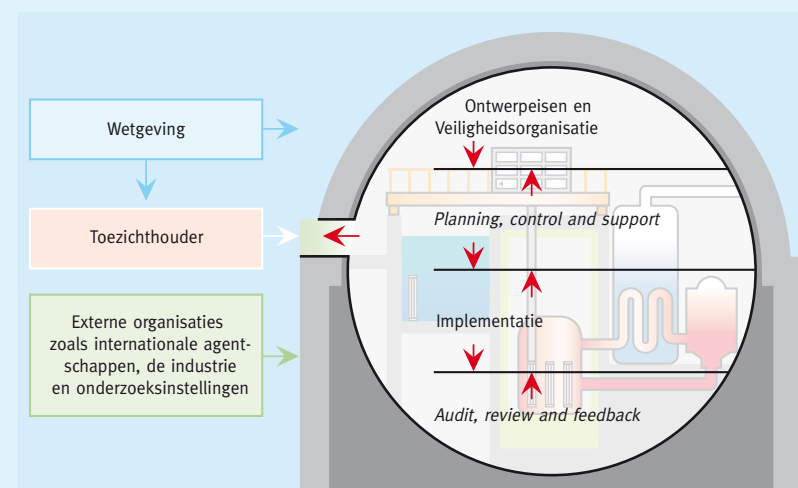


2.6 Voortdurend verbeteren veiligheid

Het streven naar voortdurend verbeteren is in de vergunning geregeld en is een nadrukkelijk onderdeel van het nucleair veiligheidsbeleid van EPZ. Een belangrijk element in dat proces is het leren van eigen en andermans ervaringen. De Storingswerkgroep analyseert de eigen bedrijfservaringen, waaronder incidentmeldingen, en beoordeelt bedrijfservaringen van collega-centrales met het doel de eigen nucleaire en arbeidsveiligheid verder te verbeteren.

De internationale nucleaire gemeenschap is zeer gericht op kennisdeling. De filosofie is om zoveel mogelijk te leren van elkaars ervaringen. Zowel *best practices* als storingen en incidenten worden inhoudelijk met elkaar gedeeld. Er zijn nieuwsservices die hierin een belangrijke rol spelen en tal van kernenergiedeskundigen bezoeken internationale conferenties op hun vakgebied. EPZ doet aan alle initiatieven mee. Ook de bekende organisaties (IAEA, WANO, Europese Commissie) spelen een belangrijke rol in het verzamelen en beschikbaar stellen van kennis en ervaring.

De verzamelde *'operating experience'* wordt door de EPZ-organisatie geanalyseerd en beoordeeld op de bruikbaarheid ervan voor de eigen bedrijfsvoering. Zo is na de aardbeving en tsunami in Japan meteen wereldwijd een onderzoek uitgevoerd op basis van de beschikbare kennis. Ook in de KCB is onderzocht wat de effecten op de eigen kerncentrale kunnen zijn en wat daarvan geleerd kan worden voor de eigen situatie. De resultaten van deze bevindingen zijn gepubliceerd op www.kerncentrale.nl. EPZ nodigt geregeld de *World Association of Nuclear Operators* (WANO) uit om met een groep van zo'n 25 collega's de medewerkers van de KCB gedurende drie weken te observeren en te beoordelen. De KFD nodigt geregeld de IAEA uit voor een soortgelijke beoordeling.

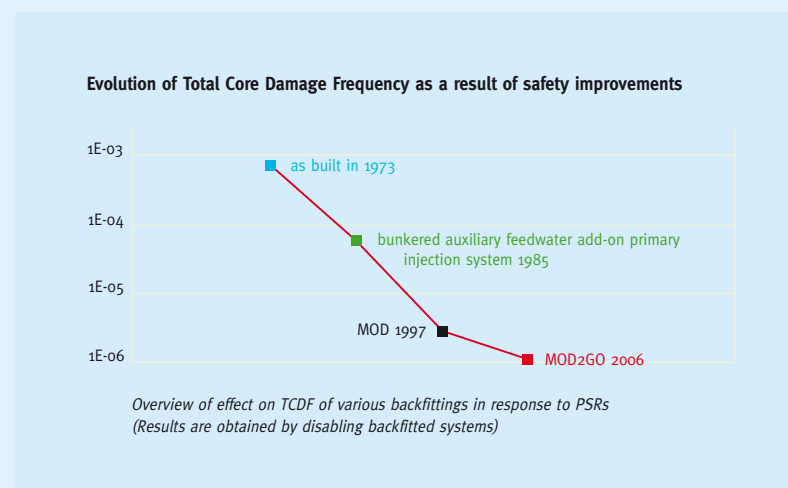


Tienjaarlijkse VeiligheidsEvaluaties (10EVA's)

Er wordt permanent gekeken naar internationale veiligheidsinzichten en vergeleken met *'state of the art'* bij collega-kerncentrales. Elke tien jaar voert EPZ een groot onderzoek uit om te bezien welke mogelijkheden er zijn om de veiligheid van de centrale nog verder te vergroten. Dergelijke onderzoeken in 1983, 1993 en 2003 hebben geleid tot aanpassingen die de kerncentrale telkens zo'n tien keer veiliger maakten. Zo zijn in 1986, 1997 en 2006 verbeteringen doorgevoerd waardoor de kerncentrale nu duizend keer veiliger is dan in 1973.

Tienjaarlijkse veiligheidsevaluaties zijn internationaal een bekend en breed geaccepteerd middel om de veiligheid te verbeteren. In Nederland is de methode zelfs opgenomen in de vergunning. Nederland gebruikt deze evaluatie om de centrale en de organisatie te vergelijken met de internationale *'state-of-the-art'* in ontwerp en exploitatie. Een 10EVA is een vorm van zelfevaluatie waarvan het resultaat wordt beoordeeld door de Kernfysische Dienst (KFD) die aanvullende onderzoeksvragen kan stellen. De veiligheid van de centrale wordt beoordeeld aan de hand van de geldende (en toekomstige) regelgeving en de (best) beschikbare techniek of organisatie-inzichten. De bevindingen worden vertaald in mogelijke verbeteringen die worden getoetst op hun relevantie en uitvoerbaarheid. Als hierover overeenstemming is tussen overheid en EPZ, wordt een implementatieproject gestart.

De eerste tienjaarlijkse veiligheidsevaluatie leidde tussen 1983 en 1986 tot een veiligheidsinvestering van circa 100 miljoen euro. Er werden twee extra onafhankelijke veiligheidssystemen aangebracht voor het zekerstellen van (nood)koeling. Ook noodstroomnet 2 in gebunkerde gebouwen, bestand tegen aardbevingen, gasexplosies en overstromingen werd aangelegd.



De tweede tienjaarlijkse veiligheidsevaluatie leidde tussen 1993 en 1997 tot een investering van 250 miljoen euro. De regelzaal van de kerncentrale werden volledig vervangen en ingericht volgens de laatste ergonomische inzichten. In een gebunkerd gebouw werd een reserve regelzaal gebouwd. Voor opleiding en training werd een simulator gebouwd van de kerncentrale en werden er *Severe Accident Management Guidelines* opgesteld. Het reactorbeveiligingssysteem werd vervangen en uitgebreid voor meer ongevalsscenario's. De regelzaalmedewerkers hoeven de eerste 30 minuten geen actie te ondernemen om een ongeval te beheersen. Er werd een extra aardbevingsbestendig noodkoelstelsel voor de kern en het splijststofopslagbassin aangelegd. Alle redundante onderdelen van de noodkoelstelsels werden fysiek van elkaar gescheiden. Het noodstroomnet 1 (stammend uit 1973) en een groot aantal veiligheidskleppen werden vervangen, op de ventilatiemogelijkheden van het *containment* werden filterstraten aangebracht. Daardoor kan druk worden afgevoerd naar de atmosfeer zonder grote hoeveelheden radioactiviteit te lozen. In het *containment* kwamen waterstofrecombinatoren die voorkomen dat (explosief) waterstofgas zich ophoopt. Ook werden brandbestrijdings- en aardbevingsmaatregelen getroffen.

De derde tienjaarlijkse veiligheidsevaluatie (2001 – 2007) leidde tot een investering van 80 miljoen euro in (hoofdzakelijk) de verbetering van de veiligheidssystemen voor buitenontwerpongevallen. Zo werd de onafhankelijkheid van het externe (gebunkerd) noodstroomnet 2 verbeterd. Er werd een gasdetectie- en ontstekingsstelsel aangebracht voor het onschadelijk maken van gaswolken die mogelijk vanaf de Westerschelde (LPG-tankers) de kerncentrale bereiken. De regelzaal werd beschermd tegen giftige gassen. Verder werden een extra veilige koelpomp aangebracht in het splijststofopslagbassin, een extra aardbevingsbestendig noodkoelpomp voor de afvoer van vervalwarmte en werden de beschikbare waterhoeveelheid (noodkoelmiddel) en diesel (noodstroom) vergroot. Nieuwe aansluitingen op het reactorgebouw maken het mogelijk om van buitenaf water in te brengen om te koelen. Snorkels op de gebunkerde gebouwen zorgen voor extra overstromingsveiligheid, de hijsinstallatie voor de splijststofcontainers werd veiliger gemaakt. Er werd een crash tender aangeschaft voor (kerosine)brandbestrijding en tenslotte werden nog enkele kleinere hardwarematige en procedurele verbeteringen doorgevoerd. Op dit moment loopt de vierde tienjaarlijkse veiligheidsevaluatie. Omdat iedere 10EVA wordt opgevolgd door een investeringsproject blijft de centrale op (internationaal) hoog niveau, zelfs op een vergelijkbaar veiligheidsniveau als nieuwe drukwatercentrales.

Probabilistic Safety Assessment (PSA)

De *Probabilistic Safety Assessment* (PSA) wordt wereldwijd gebruikt voor het bepalen van de veiligheid van kerncentrales. Er zijn drie *'PSA-levels'*, niveaus waarmee via kansberekening de veiligheid van en rond een kerncentrale worden berekend. Er bestaan tussen landen onderling grote verschillen hoe ver men hier mee gaat. De meeste centrales in de wereld hebben inmiddels een *Level 1* model waarmee de kans op kernsmelt wordt berekend na gebeurtenissen die in de centrale zelf kunnen optreden en na externe gebeurtenissen zoals

overstroming, aardbeving, en dergelijke. Veel centrales hebben inmiddels ook *Level 2* waarmee de kans en omvang van een nucleaire lozing worden bepaald. *Level 3* geeft het risico voor de bevolking.

Level 3 is nog tamelijk zeldzaam. Een klein aantal kerncentrales, waaronder de KCB, heeft een complete PSA tot en met *Level 3* voor interne en externe gebeurtenissen. In Nederland wordt deze PSA voortdurend actueel gehouden en bij de exploitatie gebruikt: dit heet een *Living PSA*.

Uitleg PSA

Er zijn twee verschillende methoden in gebruik om het ontwerp van een kerncentrale te bepalen. Beide methoden hebben voor- en nadelen. Zij vullen elkaar goed aan en worden daarom steeds vaker beide gebruikt. In beide gevallen wordt eerst een lijst gemaakt met alle gebeurtenissen die je maar kan verzinnen. Daarna kijk je welke bij een bepaalde centrale werkelijk zouden kunnen plaatsvinden.

De eerste en oudste methode is de zogenoemde deterministische methode. Daarbij moet voor elke gebeurtenis die kan plaatsvinden worden bewezen dat die wordt beheerst en dus niet tot kernsmelt leidt. Hoe je dat moet bewijzen is in de nucleaire regelgeving vastgelegd. Deze ontwerpregels leggen conservatieve ('voorzichtigheidshalve aan te nemen') regels op voor de bewijsvoering. Daardoor ontstaan extra marges ten opzichte van wat werkelijk nodig is. Dat is in de nucleaire wereld een algemeen principe: onzekerheden opvangen in extra marges.

De tweede methode is de probabilistische methode. Deze maakt gebruik van kansberekening. Daarbij wordt van elke gebeurtenis de kans bepaald dat zij ook werkelijk plaatsvindt. Er wordt een model van de centrale gemaakt dat tot in detail beschrijft met welke systemen de gevolgen van zo'n gebeurtenis kunnen worden beperkt. Net als in de deterministische methode moet worden aangetoond dat daarmee de gebeurtenis wordt beheerst. Van alle gemodelleerde componenten is bekend wat de kans is dat deze kapot gaan. Die kansen zijn ook in het model opgenomen. Ook acties die men wel of juist niet moet nemen zijn gemodelleerd plus de kans dat ze onjuist worden uitgevoerd. Om zo'n model goed te maken, zijn dus heel veel analyses nodig.

Drie niveaus

Inmiddels kennen we voor de PSA drie niveaus:

- **Niveau 1** berekent de kans op ernstige beschadiging of smelten van splijstofelementen
- **Niveau 2** berekent de kans dat er radioactieve stoffen in het milieu komen en wat de omvang daarvan is
- **Niveau 3** berekent wat het risico is voor omwonenden

PSA resultaten van de kerncentrale Borssele

Kerncentrale Borssele heeft een PSA tot en met niveau 3. In de PSA van de KCB is tevens het splijtstofopslagbassin gemodelleerd.

Resultaten Level 1

De totale kernsmeltfrequentie wordt vooral bepaald door de 95 procent van de tijd dat de centrale in bedrijf is: circa één keer per 1.000.000 jaar voor alle interne gebeurtenissen en één keer per 1.300.000 jaar voor alle externe gebeurtenissen.

De resterende 5 procent van het jaar (uit bedrijf, onderhoud) bedraagt de totale kernsmeltfrequentie gemiddeld circa één keer per 70.000 jaar.

Over een heel jaar bedraagt de totale kernsmeltfrequentie voor alle interne en externe gebeurtenissen circa één keer per 500.000 jaar.

Resultaten Level 2

Omdat de tijdsduur tussen start ongeval en de eventuele lozing invloed heeft op de gevolgen is een onderverdeling gemaakt. Voor de beperking van de gevolgen voor de omwonenden zijn vooral de vroege lozingen van belang. In 1,1 procent van de kernsmeltongevallen komt het tot een snelle lozing.

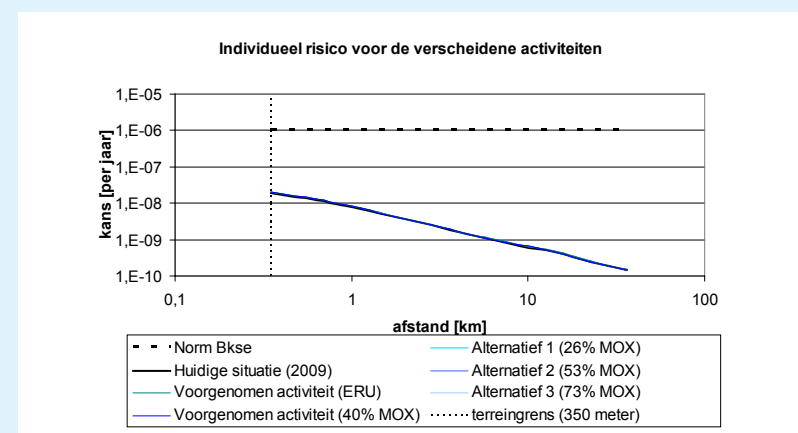
- **Vroege lozingen:** binnen 12 uur
1 x per 43.000.000 jaar ($2,34 \cdot 10^{-8}$ /jr.)
- **Late lozingen:** tussen 12 en 72 uur
1 x per 32.000.000 jaar ($3,14 \cdot 10^{-8}$ /jr.)
- **Zeër late lozingen:** na 72 uur
1 x per 630.000 jaar ($1,59 \cdot 10^{-6}$ /jr.)
- **Geringe lozingen:** (kernsmelt gestopt voor *containment* falen)
1 x per 2.100.000 jaar ($4,75 \cdot 10^{-7}$ /jr.)

Resultaten Level 3

Het plaatsgebonden risico hangt af van de afstand tot de centrale.

Op de terreingrens is dit 1 x per 33.000.000 jaar ($1,2 \cdot 10^{-8}$), dat is ruim onder de grens van 1 x per 1.000.000 jaar (10^{-6}).

Het groepsrisico ligt met 1 x per 180.000.000 voor 10 directe slachtoffers eveneens ruim onder de toelaatbare waarde van 1 x per 100.000 jaar.



Gebruik van de PSA in de kerncentrale Borssele

Bij het maken van de PSA van kerncentrale Borssele heeft de Kernfysische Dienst de ontwikkeling nauwgezet gevolgd. De IAEA heeft meerdere onafhankelijke onderzoeken laten doen door het *International Probabilistic Safety Assessment Review Team* (IPSART). Elke Tienjaarlijkse Veiligheids-evaluatie wordt bekeken of de PSA nog steeds voldoet aan de laatste richtlijnen en zo nodig daaraan aangepast. De recentste IPSART vond in 2010 plaats, waarbij de IAEA heeft geoordeeld dat de PSA actueel wordt gehouden, goed wordt gebruikt en dat de kwaliteit is zeker gesteld.

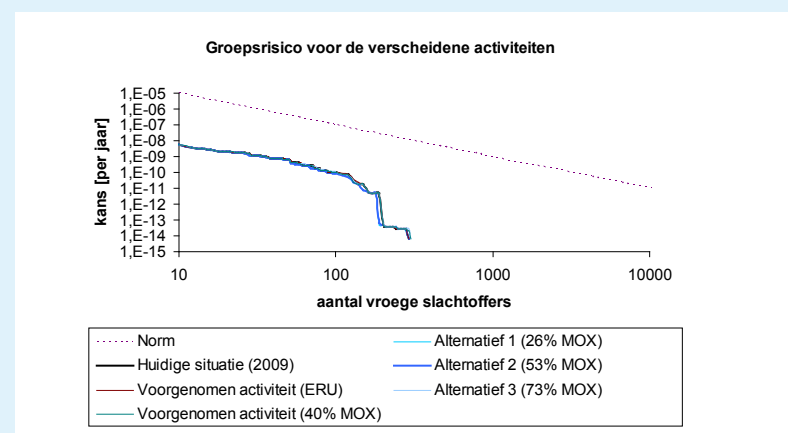
De PSA wordt in kerncentrale Borssele voortdurend gebruikt om te zien wat het voor de veiligheid betekent als een veiligheidssysteem defect is of voor onderhoud even uit bedrijf genomen moet worden. Bij het plannen van werkzaamheden wordt de PSA gebruikt om de veiligheid zo hoog mogelijk te houden.

De 'Living' PSA wordt in kerncentrale Borssele telkens aangepast om gemeten faalkansen en installatiewijzigingen in het model te verwerken. De berekende totale kernsmeltfrequentie verandert daardoor telkens een beetje.

Voordelen van een PSA

Een PSA geeft vooral goed inzicht in sterktes en zwaktes van het ontwerp van een kerncentrale. Als een bepaalde veronderstelde gebeurtenis grote invloed heeft op de kernsmeltfrequentie, weet je waar je (preventieve) maatregelen moet nemen. Je weet waar de veiligheid met het grootste effect verbeterd kan worden. Bovendien laat een PSA zien wat het voor de veiligheid betekent als een veiligheidssysteem defect is of voor onderhoud even uit bedrijf wordt genomen. Zichtbaar wordt of en hoeveel een wijziging de installatie veiliger maakt.

De PSA is daarmee een prima hulpmiddel bij het nemen van besluiten die betrekking hebben op de nucleaire veiligheid. De PSA laat ook goed de trend in de ontwikkeling van het veiligheidsniveau van een bepaalde kerncentrale zien. Kerncentrale Borssele is stapsgewijs de afgelopen dertig jaar zo'n duizend keer veiliger geworden.



Nadelen van een PSA

Hoe nuttig een PSA ook is, het is slechts een model van de werkelijkheid waarin zaken over het hoofd kunnen zijn gezien. De gedetailleerdheid van het model, de volledigheid van de gebeurtenissen, de nauwkeurigheid faalkansen: allemaal zaken die de kwaliteit van een PSA beïnvloeden. Het is dus mogelijk dat daardoor een te grote of juist een te lage kans wordt berekend. Daarom is de uitkomst van een PSA in principe niet zonder meer geschikt om in absolute termen het veiligheidsniveau van een centrale aan te geven. Ook kun je niet goed het veiligheidsniveau van verschillende centrales vergelijken zonder inzicht in de kwaliteit van de betreffende PSA-modellen.

Ook in de PSA zitten onzekerheden. Berekend wordt wat dat voor de uitkomsten betekent.

Nieuwe ontwikkelingen

EPZ heeft onlangs vergunning gekregen om naast de gebruikelijke Uraniumoxide-elementen (UOX) ook maximaal 40 procent mengoxide-elementen (MOX) te gebruiken. MOX-elementen zijn elementen waarbij het splijtbare Uranium (^{235}U) is vervangen door Plutonium (^{239}Pu) uit een eerdere splijtstofcyclus. Meer hierover is te vinden op www.mengoxide.nl. ^{239}Pu gedraagt zijn in de reactor vrijwel hetzelfde als ^{235}U . Voor het verloop van steringen zijn er enkele kleine verschillen merkbaar:

- De eerste 46 uur na afschakeling is de vervalwarmteproductie van MOX-elementen kleiner dan van UOX-elementen. Dat is gunstig voor de storingsbeheersing aangezien vrijwel alle steringen in veel minder tijd tot een veilige, gecontroleerde situatie kunnen worden gebracht. Het verschil is echter zo gering dat dit effect nauwelijks opvalt.
- Na 46 uur is de vervalwarmteproductie van MOX-elementen groter dan die van UOX-elementen. Aangezien dan de vervalwarmteproductie al veel kleiner is dan in de eerste uren na afschakeling van de reactor, geeft dat geen problemen. Daar staat wel een iets grotere warmteproductie in het splijtstofopslagbassin tegenover. Bij zeer langdurige uitval van alle koelmogelijkheden kan deze grotere vervalwarmteproductie eerder tot splijtstofschade leiden, vooral in het splijtstofopslagbassin. Ook hier is het verschil zo gering dat het effect nauwelijks merkbaar is.

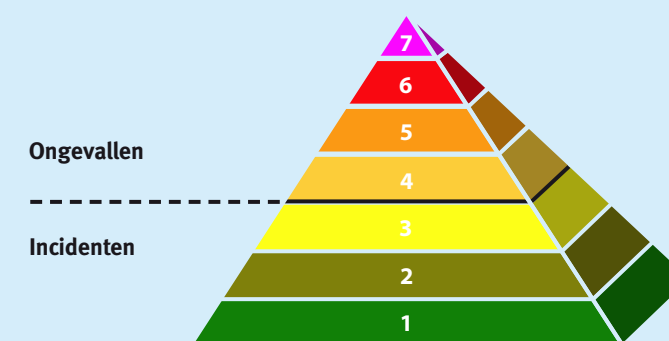
- De samenstelling van de verschillende radioactieve stoffen in MOX-elementen is anders dan in UOX-elementen. De verschillen zijn gering, omdat UOX-elementen in de loop van de jaren dat ze in de reactor zitten steeds meer gaan lijken op MOX-elementen. Over het geheel genomen bevat een MOX-element een iets schadelijker inhoud dan UOX-elementen. Het officiële rapport van het robuustheidsonderzoek (www.kerncentrale.nl) geeft getalsmatig de veranderingen weer.

Het Milieu Effect Rapport bij de vergunningaanvraag laat zien dat zowel de verandering in de kans op een kernsmelt als de verandering in de gevolgen van een radioactieve lozing na kernsmelt zeer gering zijn. Dit MER is op www.mengoxide.nl na te zien.

INES meldingen

Bij de internationale transparantie en kennisdeling hoort ook het melden van steringen, veiligheidsincidenten en ongelukken. De *International Nuclear Event Scale* (INES) is ingevoerd door het Internationaal Atoomenergie Agentschap (IAEA). Net als de schaal van Richter geeft de INES de 'zwaarte' aan van een nucleair incident. Elke stap op de schaal van één tot zeven vergroot de 'zwaarte' tien keer ten opzichte van het vorige niveau. Wereldwijd melden kerncentrales hun veiligheidsincidenten, voorzien van een schaalniveau. Ook EPZ doet dit open en transparant. Melden wordt aangemoedigd, jaarlijks rapporteert de Kernfysische Dienst aan de Tweede Kamer over de opgetreden steringen in alle Nederlandse nucleaire installaties.

De meeste meldingen in kerncentrale Borssele hebben het karakter van een INES 0 of die hebben geen relevantie voor de veiligheid. Het zwaarste incident (INES 2) werd in 1996 gemeld toen een klep onbedoeld en onopgemerkt bleef open staan. Hierop zijn maatregelen genomen die dit voortaan onmogelijk maken.



- 7 Zeer ernstig ongeval (Tsjernobyl, Fukushima)
- 6 Ernstig ongeval
- 5 Ongeval met risico buiten het bedrijfsterrein (Harrisburg)
- 4 Ongeval zonder risico buiten het bedrijfsterrein
- 3 Ernstig incident
- 2 Incident
- 1 Anomalie

2.7 Toezicht op de veiligheid

Onafhankelijk toezicht is een essentieel middel om, in dit geval de nucleaire veiligheid, zeker te stellen. Wij kennen zowel interne als externe toezichthouders. Binnen het bedrijf heeft EPZ verantwoordelijkheden, taken en bevoegdheden gescheiden om onafhankelijk toezicht te faciliteren.

2.7.1 Toewijziging van taken en bevoegdheden

Directeur EPZ

De directeur EPZ is verantwoordelijk voor de veilige bedrijfsvoering met de kernenergiecentrale.

Hoofd Kerncentrale

Het Hoofd Kerncentrale is door de directeur EPZ belast met de directe verantwoordelijkheid voor de veilige bedrijfsvoering van de kerncentrale. Hij heeft daarbij bevoegdheden die door de directeur zijn verleend.

Plant Manager Kerncentrale

De Plant Manager Kerncentrale heeft de dagelijkse leiding over de kerncentrale en gaat over operationele en economische beslissingen. Op het gebied van veiligheid laat hij zich gevraagd en ongevraagd adviseren door het Hoofd Kerncentrale.

Manager Nucleaire Veiligheid

De Manager Nucleaire Veiligheid geeft gevraagd en ongevraagd advies aan de Plant Manager. Hij neemt een onafhankelijke positie in. Indien noodzakelijk overlegt hij rechtstreeks met de KFD.

2.7.2 Interne toezichthouders

Reactor Bedrijfsveiligheidscommissie (RBVC)

Nucleaire veiligheid heeft altijd een overtreffende prioriteit bij het bedrijven van een kerncentrale. Er wordt voortdurend gecontroleerd of de bedrijfsvoering zich hieraan houdt. Dit wordt gecontroleerd door de Reactor Bedrijfsveiligheids Commissie (RBVC) die bestaat uit specialisten en managers uit de eigen organisatie van EPZ. De RBVC is als het ware de spiegel waarin EPZ zichzelf op regelmatige basis bekijkt. De RBVC neemt een onafhankelijke positie in, los van de hiërarchie bij EPZ. De commissie adviseert het Hoofd Kerncentrale.

De RBVC toetst processen en gehanteerde werkwijzen aan de meest recente internationale normen, houdt *reviews* en kan gerichte inspecties laten houden door de afdeling kwaliteitszorg. De RBVC heeft ook een luisterend oor en functioneert als niet-hiërarchische *review*commissie. Als een medewerker een onveilige situatie signaleert, kan hij zich wenden tot de RBVC. Overigens heeft EPZ ook twee onafhankelijke vertrouwenspersonen en een klokkenluidersregeling.

Storings- en ALARA-werkgroep

Naast de RBVC is er een aantal werkgroepen die zich met specialistische deelterreinen bezighouden. De 'storingswerkgroep' en de 'stralingsbeschermingswerkgroep' (ALARA) zijn de belangrijkste. Zij doen voorstellen voor te nemen maatregelen of maken beleid dat het aantal storingen en de hoeveelheid opgelopen dosis (medewerkers) zo klein mogelijk moet houden. ALARA staat voor *As Low As Reasonably Achievable* en geldt voor de op te lopen stralingsdosis voor medewerkers.

Medewerkers

Het signaleren en rapporteren van verbetermogelijkheden wordt aangemoedigd. Organisatorische maatregelen zoals een klokkenluidersregeling, vertrouwenspersonen en niet-hiërarchische rapportagemogelijkheden bieden medewerkers de mogelijkheid (anoniem) zorgen en misstanden aan te kaarten.

2.7.3 Externe toezichthouders

Externe Reactor Bedrijfsveiligheidscommissie (ERBVC)

De ERBVC adviseert de directeur EPZ over de veiligheid, het veiligheidsbeleid, de toetsing aan en afstemming met internationale veiligheidsnormen en regelgeving. De ERBVC beoordeelt ook of de (interne) RBVC adequaat functioneert. Deze (internationale) groep van deskundigen moet voorkomen dat de interne deskundigen een tunnelvisie ontwikkelen.

Drie keer per jaar komt de ERBVC bij elkaar om het veiligheidsniveau van de kernenergiecentrale te beoordelen en de resultaten met de directeur te bespreken. Immers: het gevaar bestaat dat als je dagelijks in de spiegel kijkt, veranderingen in wat je ziet niet opvallen. Wettelijk is vereist dat er minimaal twee maal per jaar wordt vergaderd. De externe deskundigen toetsen in een schaduw-*review* de bedrijfsvoering, processen en het onderhoud onafhankelijk en technisch vakinhoudelijk aan de hand van de internationale *'state of the art'*.

World Association of Nuclear Operators (WANO)

De *World Association of Nuclear Operators* (WANO) is de internationale 'brancheorganisatie' van kerncentrales die toeziet op het voortdurend verbeteren van de veiligheid in de sector. Bij de WANO zijn alle elektriciteitsproducerende kerncentrales in de wereld aangesloten. Door het organiseren van veiligheidsonderzoeken (*Peer Reviews* en *Technical Support Missions*) kijken deskundigen van kernenergiecentrales uit de hele wereld in elkaars installaties. Het doel is om van elkaar te leren door elkaar te beoordelen. Medewerkers van EPZ worden aangemoedigd om zelf ook aan de WANO-missies mee te doen. Regelmatig zijn medewerkers van EPZ voor *peer reviews* bij andere kerncentrales.

De deskundigen baseren hun oordeel vooral op waarnemingen in de kerncentrale en interviews met medewerkers. Zij doen aanbevelingen voor verbeteringen. Een *peer review* is een interne aangelegenheid, volgens internationale afspraken worden resultaten niet openbaar gemaakt. De *'teamleader'* rapporteert de eindconclusie aan het management van de betreffende kerncentrale dat vervolgens actie onderneemt. Na twee jaar komt er een vervolgonderzoek om te beoordelen wat er met verbeterpunten is gedaan. De WANO bezocht EPZ voor het laatst in 2008. In 2010 is een *follow-up review* geweest waarbij bleek dat EPZ de aanbevelingen uit 2008 goed had opgevolgd. Voor 2012 staat een nieuwe missie gepland.

De Kernfysische Dienst (KFD)

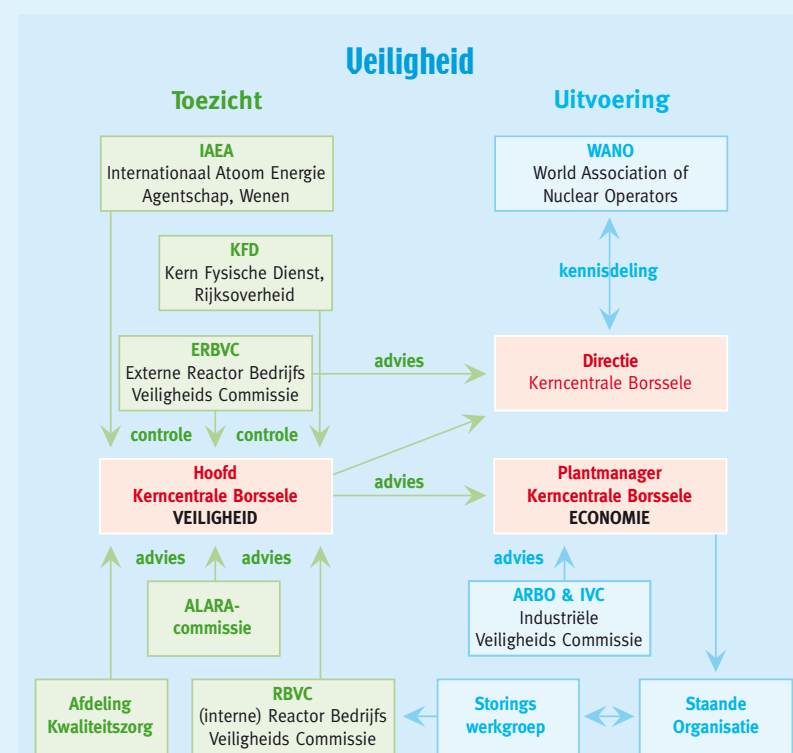
De Kernfysische Dienst (KFD) is de wettelijke toezichthouder op de kerncentrale. De KFD controleert of EPZ zich aan de vergunningsvoorwaarden houdt. Het toezicht betreft alle voorschriften die de vergunning aan de exploitatie van de kerncentrale heeft verbonden, waaronder het streven naar voortdurende verbetering. Hierover rapporteert de KFD aan de minister die ieder jaar verslag doet aan de Tweede Kamer.

Bij normale bedrijfsvoering is er gemiddeld twee dagen per week een inspecteur van de KFD aanwezig voor haar toezichthoudende taak. Tijdens de 'onderhoudsstop' is de KFD dagelijks met meerdere inspecteurs aanwezig. Zij houdt veelal ter plekke toezicht en controleert het werk. Zij kijkt of vergunningen worden nageleefd, of technische specificaties en werkwijzen kloppen en of wijzigingen aan installaties wel mogen worden uitgevoerd. Naast dit technische werk houdt de KFD ook toezicht op de organisatiestructuren en processen, veiligheidsmanagement, menselijk gedrag, verbetermanagement en de veiligheidscultuur. Ook bij de aan- en afvoer van radioactieve stoffen houdt de KFD scherp toezicht.

Internationaal Atoom Energie Agentschap (IAEA)

Het IAEA is opgericht om het vreedzaam gebruik van splijtstoffen te bevorderen en houdt internationaal toezicht op het veilig en vreedzaam gebruik van kernenergie. Het IAEA is een autonome organisatie binnen de Verenigde Naties. Met het ondertekenen van de *Convention on Nuclear Safety* heeft de Nederlandse overheid zich verplicht de nucleaire veiligheid en toezicht periodiek te laten toetsen door de overige landen die deze conventie hebben ondertekend. Het IAEA draagt zorg voor deze *'peer review'* en ondersteunt de landen bij het waarborgen en verbeteren van de nucleaire veiligheid. In juni 2011 hadden 72 landen deze conventie ondertekend.

Het IAEA wordt regelmatig door de KFD in kerncentrale Borssele uitgenodigd voor een onafhankelijk veiligheidsonderzoek, inspectie of *second opinion*. Zo zijn er de laatste jaren in kerncentrale Borssele veel IAEA-missies van één tot drie weken geweest. Een drie weken durende *Operational Safety Review Team* (OSART) is de 'overheidstegenhanger' van een WANO *Peer Review Team*. De resultaten van OSART-missies zijn openbaar. Alle missies krijgen een opvolging waarbij wordt gecontroleerd of aanbevelingen zijn opgevolgd.



3. Rapportage robuustheidsonderzoek

Aardbeving

Algemeen

De aardkorst bestaat uit meerdere schollen die onafhankelijk willen bewegen maar die elkaar op de grensvlakken tegenhouden. Als de schollen ten opzichte van elkaar verschuiven, meestal met een flinke ruk, ontstaat een aardbeving. De plaats waar die ontstaat noemen we het hypocentrum, meestal diep onder het aardoppervlak. De plaats recht erboven noemen we het epicentrum. De trillingen verspreiden zich ondergronds vanuit het hypocentrum en bovengronds vanuit het epicentrum.

De sterkte van de aardbeving wordt meestal uitgedrukt met de schaal van Richter: de hoeveelheid energie die in het hypocentrum vrijkomt. De gevolgen op het aardoppervlak hangen sterk af van de diepte van het hypocentrum en de afstand tot het epicentrum.

Deze gevolgen worden in Europa algemeen uitgedrukt met de intensiteits-schaal van Mercalli. De schaal van Mercalli kent twaalf stappen van steeds sterker waargenomen gevolgen van een aardbeving, variërend van I 'Niet gevoeld, slechts door seismometers geregistreerd' tot XII 'Buitengewoon catastrofaal. Algemene verwoesting. Verandering in het landschap. Scheuren in rotsen. Talloze vernielingen.'

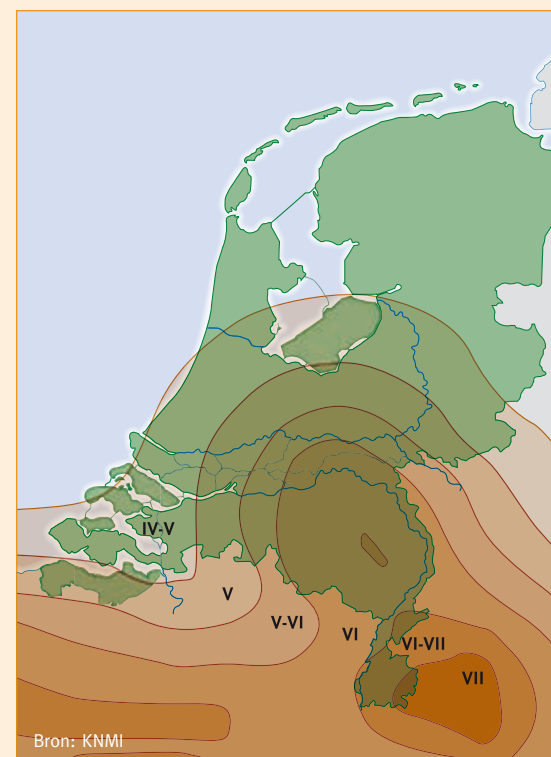
Deze beschrijvende schaal vereist geen metingen, waardoor ook aardbevingen uit de overlevering ingeschaald kunnen worden. Behalve in de schaal van Mercalli kan de intensiteit op een bepaalde plek ook worden uitgedrukt in 'g', de horizontale en een verticale versnelling. EPZ hanteert in dit onderzoek 'g'.

De ontwerpeis is dat de KCB aantoonbaar aardbevingbestendig is tot:

- (ruim) 5 op de schaal van Richter
- VI ½ op de schaal van Mercalli
- Een g-kracht (versnelling) van 0,075 g.

De seismologie van Nederland en haar buurlanden is goed in kaart gebracht. De kerncentrale Borssele staat in een seismisch zeer stabiel gebied. De aardbevingseis voor kerncentrale Borssele zijn gebaseerd op de hoogste intensiteit die in dit gebied is waargenomen: V ½ op de schaal van Mercalli. Hierop is een veiligheidsmarge van 1 gezet, waarmee de ontwerpeis voor de kerncentrale uitkomt op Mercalli VI ½. Deze waarde laat zich, op basis van de bodemgesteldheid ter plaatse van de centrale, omrekenen in een versnelling van 0,06 g aan de oppervlakte en 0,075 g op de ondersteunende bodemlaag van de heipalen.

De zeer zware, betonnen gebouwen van de kerncentrale zijn van zichzelf al goed bestand tegen aardbevingen. Voor het primaire (nucleaire) gedeelte wordt gebruik gemaakt van systemen waarvan de aardbevingbestendigheid uitvoerig is getest omdat ze ook in andere centrales worden gebruikt (die wel in aardbevinggebieden staan).



Richter wordt gebruikt voor het uitdrukken van de kracht van een aardbeving.
Mercalli wordt gebruikt voor het uitdrukken van het verwoestende effect van een beving.
g wordt gebruikt om de versnelling (trilling in de bodem) uit te drukken.

Bij de modificatie van 1997 zijn extra aardbevingmaatregelen doorgevoerd. De nucleaire gebouwen zijn bestand gemaakt tegen een horizontale versnelling van 0,1 g (ontwerpeis).

In het robuustheidsonderzoek wordt uitgezocht hoeveel marge er boven op deze ontwerp-aardbevingbestendigheid zit. Met andere woorden: wat is de zwaarste aardbeving die de KCB hebben kan, voor het tot een nucleair ongeluk komt.

Aardbevingen en de kerncentrale Borssele

Aardbevingbestendigheid van de KCB tot VI ½ op de schaal van Mercalli is de ontwerpeis. In werkelijkheid is de centrale veiliger gemaakt dan nodig is. In de ruime omgeving van Borssele zijn geen brongebieden voor een aardbeving met een effect van VI ½ op de schaal van Mercalli.

De zwaarste geregistreerde aardbeving trad in 1938 op, toen het Belgische Kortrijk werd getroffen door een aardbeving van V ½ Mercalli. Kortrijk ligt op ongeveer 100 kilometer afstand van de kerncentrale. De KCB is ontworpen op een aardbeving die één stap zwaarder is dan die in Kortrijk.

Een aardbeving van VI ½ op de schaal van Mercalli zou volgens kansberekening in Borssele één keer in de 30.000 jaar kunnen optreden. In het Verenigd Koninkrijk mag de 'ontwerp-aardbeving' voor een kerncentrale één keer in de 10.000 jaar optreden. In Duitsland (aardbevingsgevoeliger) één keer in de 100.000 jaar. Nederland zit hier tussenin. De ontwerpeis is dus correct.

Als de KCB getroffen wordt door een (ontwerp-)aardbeving, gaat de kerncentrale uit bedrijf. Er ontstaat geen relevante schade aan het complex,

de nucleaire veiligheid is niet in het geding. Echter, zelfs bij totale ontreding van de omgeving, ontstaat geen gevaarlijke situatie. De eerste tien uur na de aardbeving is er immers geen menselijk ingrijpen nodig om de kerncentrale automatisch in een veilige toestand te houden. Er is daardoor tijd om mensen (in moeilijke omstandigheden na een aardbeving) aan te voeren en af te lossen of om andere maatregelen te treffen.

Bij KCB ingestelde verdediging tegen aardbevingen

Er zijn bij de KCB zes opeenvolgende verdedigingslijnes tegen de dreiging van een aardbeving.

1. Alles begint bij de keuze van de locatie: Borssele ligt in een gebied met weinig risico op een aardbeving. De bodem is ook niet geneigd bevingen die elders plaatsvinden te versterken tot boven de ontwerpeis. Het ontwerp van de kerncentrale en alle bijgebouwen is bovendien robuust en daardoor van zichzelf al in hoge mate aardbevingsbestendig.
2. Vervolgens is het ontwerp van de kerncentrale er op gericht dat ook bij het verlies van functies (om welke reden ook) de veiligheid gewaarborgd blijft. Als deze systemen toch falen, nemen andere systemen het over.
3. Bij het aardbevingsbestendig maken van de centrale is conservatief tewerk gegaan. Gebouwen en structuren zijn met ruime marge bestendig tegen een 'ontwerp-aardbeving'.
4. Als vitale onderdelen bij een veel zwaardere aardbeving toch falen, beschikt de kerncentrale over standaard middelen en procedures om de effecten te beheersen en de centrale in een veilige toestand te houden.
5. Mochten deze handelingen onvoldoende blijken, treden speciale procedures in werking: *Severe Accident Measures*. Hiermee worden de effecten van een nucleair ongeluk bestreden (zie de module *Severe Accident Measures*).
6. In laatste instantie worden de voorbereidingen en draaiboeken geactiveerd om de gevolgen buiten de centrale zo veel mogelijk te beperken.

Mercalli

De intensiteits-schaal van Mercalli is in 1902 ontworpen door de Italiaan Giuseppe Mercalli (1850-1914). De Mercallischaal houdt rekening met de afstand tot het epicentrum en de mate waarin de grond de trillingen doorgeeft. De Mercalli-schaal kent 12 niveaus die worden aangegeven met Romeinse cijfers.

Sterkte	Uitwerking/Gevolgen
I	Niet gevoeld, slechts door seismometers geregistreerd.
II	Nauwelijks gevoeld, alleen onder gunstige omstandigheden gevoeld.
III	Zwak, door enkele personen gevoeld. Trilling als van voorbijgaand verkeer.
IV	Vrij sterk, door velen gevoeld. Trillingen als van zwaar verkeer. Rammelen van ramen en deuren.
V	Sterk, algemeen gevoeld. Opgehangen voorwerpen slingeren. Slappende mensen worden wakker.
VI	Lichte schade. Schrikreacties. Voorwerpen in huis vallen om. Lichte schade aan minder solide huizen.
VII	Behoorlijke schade. Schade aan veel gebouwen. Schoorstenen breken af. Golven in vijvers. Kerkklokken geven geluid.
VIII	Zware schade. Algehele paniek. Algemene schade aan gebouwen. Zwakke bouwwerken gedeeltelijk vernield.
IX	Verwoestend. Veel gebouwen zwaar beschadigd. Schade aan funderingen. Ondergrondse pijpleidingen breken.
X	Buitengewoon verwoestend en extreme schade. Verwoesting van vele gebouwen. Schade aan dammen en dijken. Grondverplaatsing en scheuren in de aarde.
XI	Catastrofaal. Algemene verwoesting van gebouwen. Rails worden verbogen. Ondergrondse leidingen vernield.
XII	Buitengewoon catastrofaal. Algemene verwoesting. Verandering in het landschap. Scheuren in rotsen. Talloze vernielingen.

De KCB voldoet aan de ontwerp-eis voor aardbevingen

Een externe deskundige van EPZ heeft eerst de aardbevingsbestendigheid van de kerncentrale geanalyseerd voordat gekeken is hoe sterk de centrale maximaal is. Beschikbare documentatie is gecontroleerd en nagerekend, de kerncentrale is fysiek geïnspecteerd. Aangetoond is, dat de centrale voldoet aan de ontwerp-norm: VI ½ op de schaal van Mercalli en een kracht (versnelling) van 0,075 g.

Bedieningsapparatuur die een effect op de veiligheid van de kerncentrale kan hebben, is aardbevingsbestendig. Voor de afschakeling van de reactor **1** (inlaten van regelstaven, injectie van geboreerd water) is door Siemens/KWU in de jaren tachtig van de vorige eeuw proefondervindelijk aangetoond dat de in kerncentrale Borssele geïnstalleerde onderdelen aardbevingsbestendig zijn.

Er ontstaan geen onoverkomelijke overstromingen als gevolg van gebroken leidingen **2** door aardbevingen.

Brandpreventie is gerealiseerd door **compartmentering 3** van de gebouwruimtes en door minimaal gebruik van brandbare materialen.

Alle **installatiedelen 4** die van invloed (kunnen) zijn op de nucleaire veiligheid zijn in 1997 aardbevingsbestendig gemaakt (warmtewisselaars, pijpen, vloeistoftanks).

Reserve- en veiligheidssystemen die verlies van koelmiddel compenseren zijn bestand tegen een 'ontwerp-aardbeving'. Bij totaal verlies van koelcapaciteit (inclusief koelwater uit de aardbevingsbestendige diepe bronnen) kunnen de **reserve watervoorraden 5** in het *containment* worden aangesproken. In het ultieme geval kan nog zout water uit de Westerschelde worden aangevoerd.

Er zijn isolerende maatregelen getroffen tegen de effecten van stoomleidingbreuk. Als buiten de kerncentrale bij een aardbeving een **stoomleiding 6** breekt, heeft de hete stoom geen effect op de omstandigheden in de kerncentrale. Binnen in de kerncentrale zijn stoomleidingen aardbevingsbestendig.

Het verlies van elektriciteit uit het landelijk elektriciteitsnet wordt gecompenseerd door de eigen **noodstroomvoorziening 7**.

Aardbevingen buiten het ontwerpbereik van de KCB

Dit robuustheidsonderzoek geeft EPZ voor het eerst aanleiding om te kijken in hoeverre de KCB bestand is tegen aardbevingen die zwaarder zijn dan VI ½ Mercalli. Vanwege de geologische situatie is er niet eerder aanleiding geweest om dit te onderzoeken. Daarom zijn er ook geen *assessments* of praktische onderzoeken hiernaar gedaan. Achteraf is vastgesteld op basis van schattingen en informatie uit beschikbare bronnen wat de (geschatte) marge van de kerncentrale is tegen aardbevingen zwaarder dan VI ½ Mercalli.

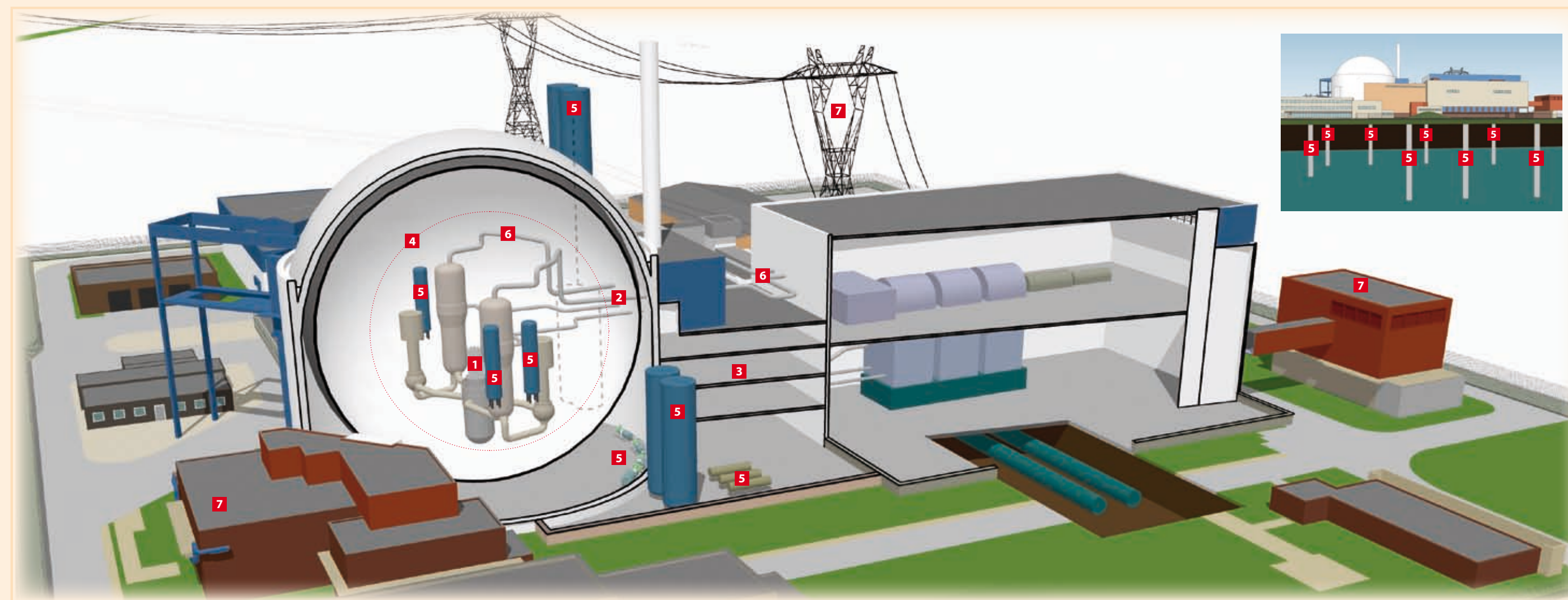
- Er is gebruik gemaakt van een door EPRI voorgeschreven theoretische analysemethode.
- Daarnaast is gebruik gemaakt van enkele praktische studies die zijn uitgevoerd naar vergelijkbare kerncentrales in aardbevinggebieden: Neckarwestheim 1 (Duitsland) en Gösigen (Zwitserland). Voor deze centrales is bij de bouw al wel vastgesteld hoe groot de weerstand tegen aardbevingen is. Hieruit blijkt dat dit type centrales tot een factor 2 van hun ontwerp-eis kunnen verwerken.

Het onderzoek komt tot de volgende bevindingen:

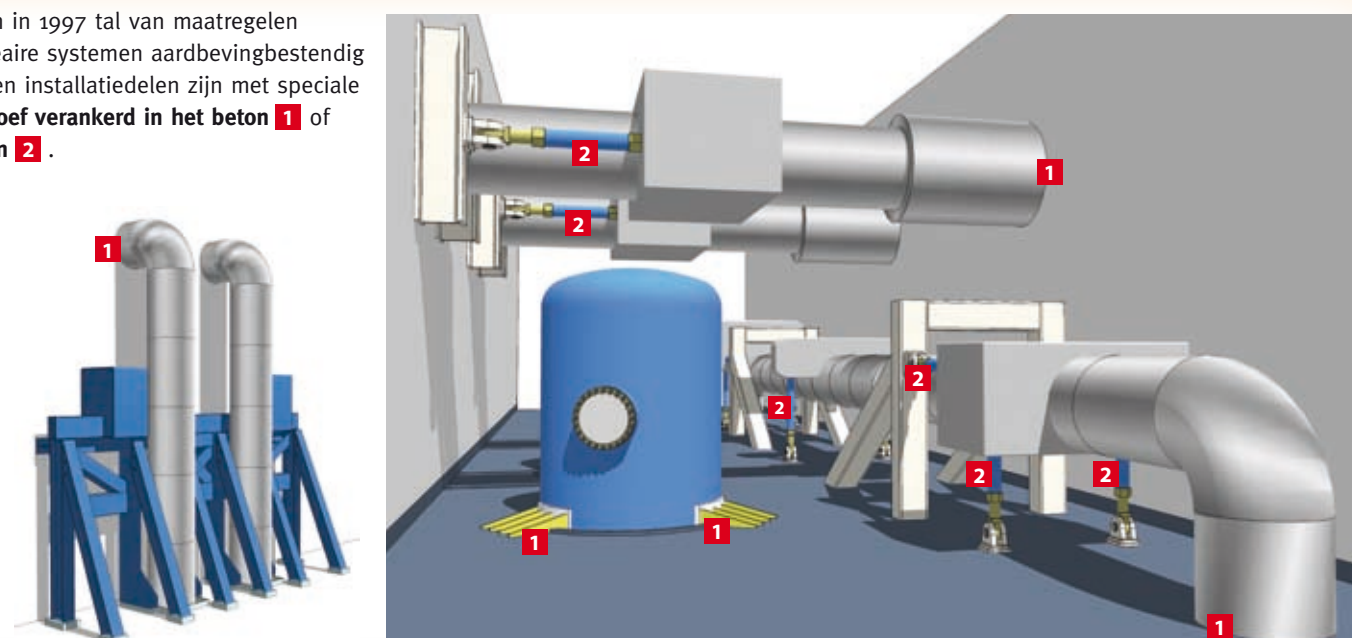
- Op basis van alle beschikbare gegevens en theoretische benadering is voor het reactorgebouw van de kerncentrale Borssele een aangenomen weerstand tegen een versnelling van 0,15 g aangetoond (afgezet tegen de ontwerp-eis van 0,075 g).
- Van de gebunkerde bijgebouwen met de veiligheids- en reservesystemen is bekend dat de weerstand tegen aardbevingen beduidend hoger ligt dan 0,3 g. Deze gebouwen bepalen echter niet de aardbevingsbestendigheid van de centrale; die wordt uitsluitend bepaald door het reactorgebouw.
- De essentiële hulp- en veiligheidssystemen rond de reactor en het reactorgebouw zijn alle aantoonbaar bestand tegen versnellingen van 0,3 g. Diesels voor noodstroom zijn van nature al trillingbestendig, de behuizingen van noodstroomnet 1 en 2 zijn zwaar uitgevoerd of gebunkerd en daardoor bestand tegen krachten van een zware aardbeving. Hetzelfde geldt voor de reserve- en noodkoelsystemen. Het is aannemelijk dat voor enkele van de watersystemen een hogere marge bestaat, maar deze kan niet worden aangetoond zonder uitgebreide analyse. Aangenomen wordt dat de (nood-)koelsystemen van de KCB een hoge betrouwbaarheid hebben op het gebied van aardbevingsbestendigheid. De grens wordt echter bepaald door het reactorgebouw.
- Het splitsstofopslagbassin is uitgerust met afsluiters die bij pijpbreuk zorgen dat het water niet uit het bassin loopt. Uit studies naar Neckarwestheim 1 (Duitsland) en Gösigen (Zwitserland) blijkt een aardbevingsbestendigheid van 0,3 g.

Combinaties

Een aardbeving, gevolgd door een overstroming beïnvloedt niet de overstromingsbestendigheid van de (hulp)gebouwen. Voegen tussen de verschillende gebouwen zijn voorzien van waterkeringen die de maximaal optredende opening van 83 mm kunnen opvangen.



In de kerncentrale zijn in 1997 tal van maatregelen getroffen om de nucleaire systemen aardbevingbestendig te maken. Leidingen en installatiedelen zijn met speciale constructies **bevingproef verankerd in het beton 1** of **trillingvrij opgehangen 2**.



Conclusie

De veiligheidsmarge voor de aardbevingsbestendigheid wordt bepaald door de laagst gevonden waarde. Dat is een versnelling van 0,15 g (naar beneden afgerond) die wordt aangetoond voor het reactorgebouw. Aangezien de ontwerpis voor de kerncentrale Borssele 0,075 g is, betekent de waarde van 0,15 g een veiligheidsmarge van 0,075 g.

De methode die is gehanteerd voor het bepalen van de aardbevingsbestendigheid van de KCB is gebaseerd op *engineering judgement*. Hierbij is gebruik gemaakt van conservatieve uitgangspunten. Voor het nauwkeurig vaststellen van de marges zijn onderzoeken nodig die meer tijd vergen. In het kader van de lopende 10 EVA zal een dergelijk onderzoek wel worden uitgevoerd.

Verbetermogelijkheden module 1: Aardbeving

S3	Onzekerheid over de marges in geval van een aardbeving wordt beperkt met nader seismisch onderzoek. Gepland voor 10EVA13.
P1	'Extensive Damage Management Guides' (EDMG) en trainingsprogramma. Voorbeelden zie pagina 65.
M8	Het waarborgen van de beschikbaarheid van vaste brandblusvoorzieningen na een aardbeving in vitale delen van de installatie (watertransport voor koeling).
M10	Het waarborgen van de beschikbaarheid van het drukafblaassysteem van het <i>containment</i> na een aardbeving.

Overstroming

Begingeburtenissen overstroming

EPZ gaat bij de interpretatie van het robuustheidsonderzoek uit van de volgende begingeburtenissen die een overstroming kunnen veroorzaken:

- **Hoogwater in combinatie met stormvloed**
In 1953 werd ons land getroffen door een stormvloed van circa 5 meter boven NAP (4,70 meter bij Borssele). Voor het robuustheidsonderzoek wordt er vanuit gegaan dat de zeedijk faalt en deze begingeburtenis leidt tot een overstroming. De waterstand wordt vervolgens stelselmatig verhoogd. Net zolang tot een nucleaire lozing kan ontstaan.
- **Tsunami**
Zeldzaam in de Noordzee maar niet ondenkbaar. Er is een tsunami bekend die 8.000 jaar geleden optrad na een zeebeving en een landafschuiving in Noorwegen. Ook tsunamis buiten de Noordzee kunnen een (gering) effect hebben op de Noordzeekusten. Het maximale effect op de Nederlandse kust is berekend op een golf van 1,4 meter. Treedt een tsunami op in combinatie met de geregistreerde zwaarste superstorm bij springtij (1953, 4,70 boven NAP) dan ontstaat een vloed van maximaal 6,1 meter boven NAP. Deze begingeburtenis valt zowel binnen het ontwerpniveau van de zeedijk als van de centrale. Een tsunami doet geen beroep op de veiligheidsmarge van de kerncentrale.

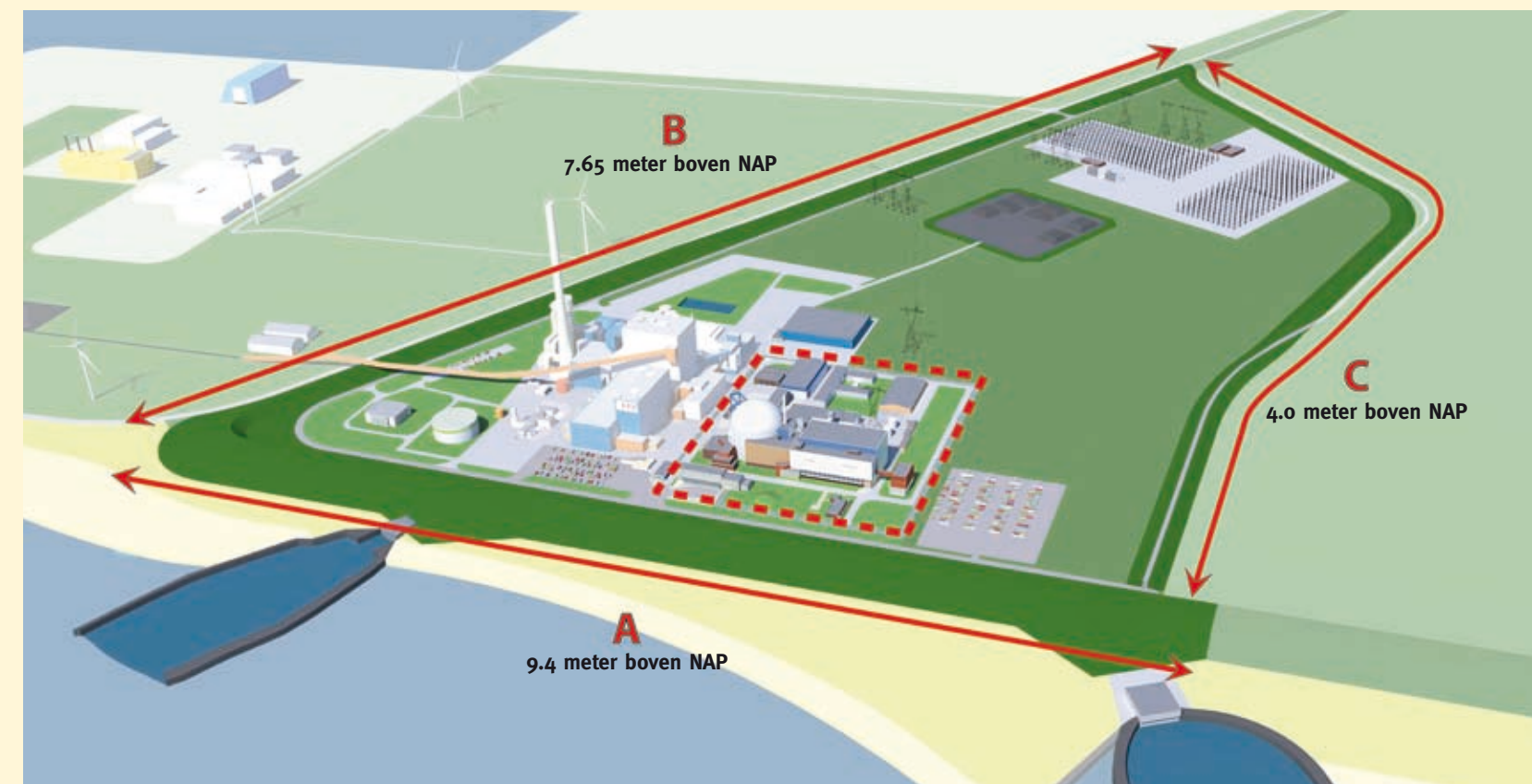
▪ **Koelwaterleidingbreuk**

De maximale hoeveelheid koelwater stroomt over het bedrijfsterrein. Bij een half uur niet-ingrijpen leidt dit tot een overstroming van maximaal 8 centimeter. De laagste deuropening bevindt zich op 20 centimeter.

De bestaande voorbereiding op overstromingssituaties

De kerncentrale wordt omringd door een eigen dijkkring die het complex beschermt tegen directe overstromingen vanuit de Westerschelde en indirecte overstromingen door dijkbreuken elders. Komt het desondanks tot een overstroming van het complex, dan is het ontwerp van de KCB hierop afgestemd.

In het algemeen is vastgesteld dat de kerncentrale volledig functioneert bij een overstroming van 5 meter boven NAP. In principe is het mogelijk om onder deze omstandigheden met de kerncentrale veilig stroom te blijven produceren voor het landelijke net. Met andere woorden: bij een vergelijkbare overstroming als in 1953 kan de kerncentrale veilig in bedrijf blijven als dat gevraagd wordt én veilig uit bedrijf als dat moet. Bijvoorbeeld als de schakelinrichting verderop in het achterland onbruikbaar wordt. Op de veiligheid van de kerncentrale heeft deze overstroming geen effect maar in de praktijk wordt de kerncentrale in deze situatie uit bedrijf genomen.



De kerncentrale blijft veilig als het water doorstijgt naar een extreme waterstand van 7.30 meter boven NAP. Alle vitale gebouwen en installatieonderdelen voldoen aan deze overstromingsnorm; van een aantal vitale gebouwen is nu ook een hoger overstromingsniveau vastgesteld. Een inspectieregime zorgt ervoor dat de overstromingsveiligheid periodiek wordt verzekerd. Vast staat dat de kerncentrale veilig uit bedrijf gaat en stabiel blijft door de vele overstromingsbestendige koel- en veiligheidssystemen en noodstroomvoorzieningen. De kerncentrale is ontworpen om bij deze waterstand minimaal 72 uur 'als een eiland te opereren'.

In dit robuustheidsonderzoek is vervolgens verder gekeken naar overstromingen die hoger zijn dan 7.30 meter boven NAP, los van de vraag hoe waarschijnlijk die zijn. Vastgesteld is hoe de veiligheid van de kerncentrale zich ontwikkelt en hoe hoog de veiligheidsmarge van de kerncentrale is bij een steeds zwaarder wordende overstroming. Er blijkt sprake van een marge van circa een meter bovenop de 7.30 meter boven NAP. Tot een waterstand van 8.55 meter boven NAP is de veiligheid van de kerncentrale gegarandeerd. Daarna zal iedere golf wat water naar binnen spoelen. Na verloop van tijd kunnen systemen uitvallen. Dit is niet nader onderzocht.

Waarom 7.30 meter boven NAP?

De overstromingsveiligheid van 7.30 meter boven NAP is gebaseerd op een overstromingskans van één keer per miljoen jaar. Dat komt nabij kerncentrale Borssele neer op een stormvloed van 6.18 meter boven NAP (statisch) met een binnendijkse golfoploop van 7.29 meter boven NAP (dynamisch). Deze getallen zijn afkomstig van Rijkswaterstaat, er is rekening gehouden met geofysische factoren als bodemdaling en zeespiegelstijging. Om praktische redenen is het overstromingspeil bij EPZ afgerond op 7.30 meter boven NAP.

Is de overstromingsveiligheid op orde?

Uit dit CSA-onderzoek blijkt dat 7.30 meter boven NAP gehaald wordt. De overstromingsniveaus worden bewaakt door een inspectieprogramma en worden periodiek geëvalueerd in de tien jaarlijkse veiligheidsevaluaties (10EVA's). Mogelijke verbeteringen worden in de daaropvolgende investeringsrondes uitgevoerd (zoals in 1997 en 2006 ook is gebeurd). Op dit moment (oktober 2011) is het uitgangspunt van 7.30 meter boven NAP nog steeds geldig; in 2012 wordt het overstromingspeil getoetst aan nieuwe gegevens van Rijkswaterstaat. Zonodig wordt het peil aangepast aan nieuwe inzichten.

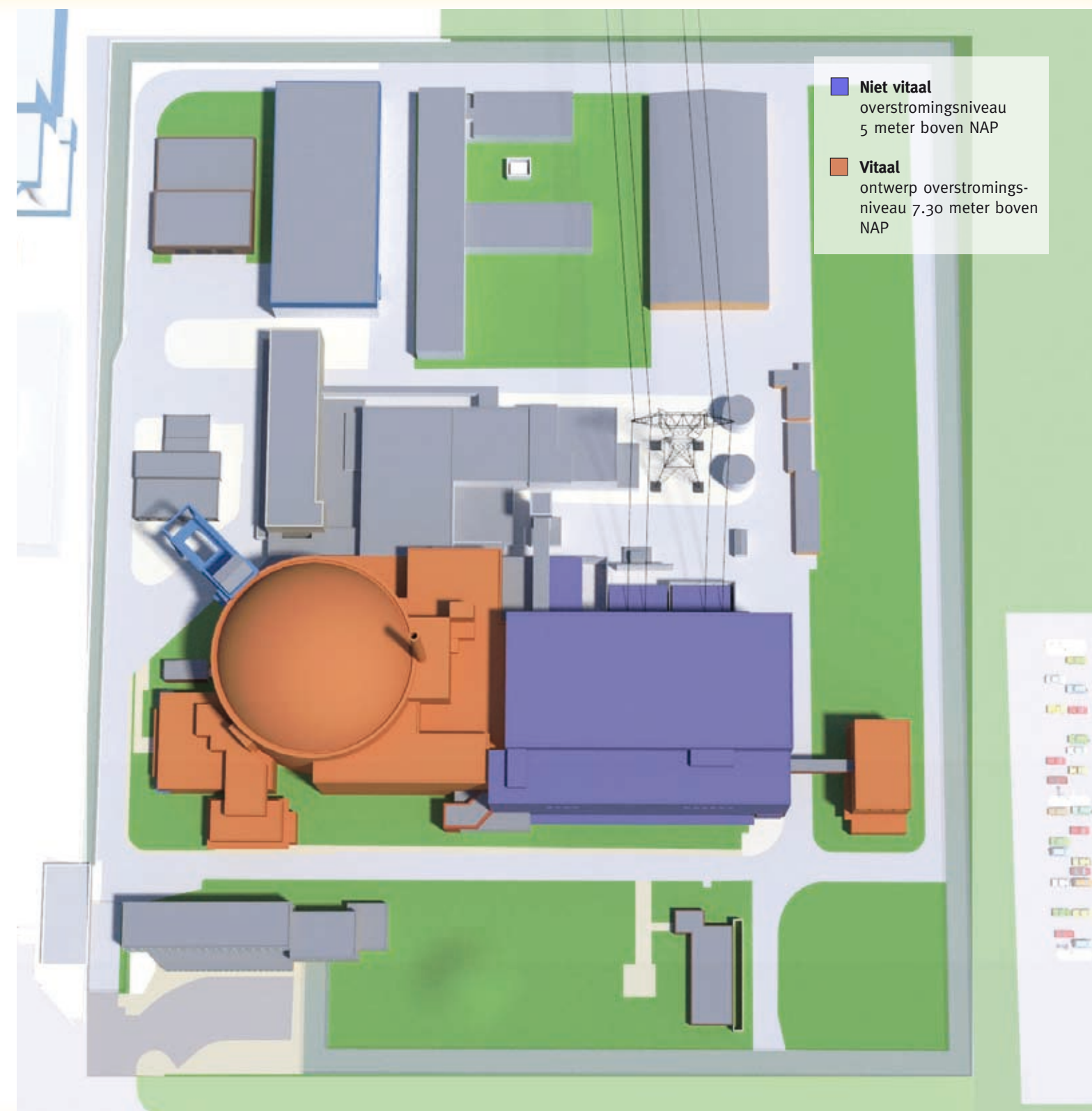
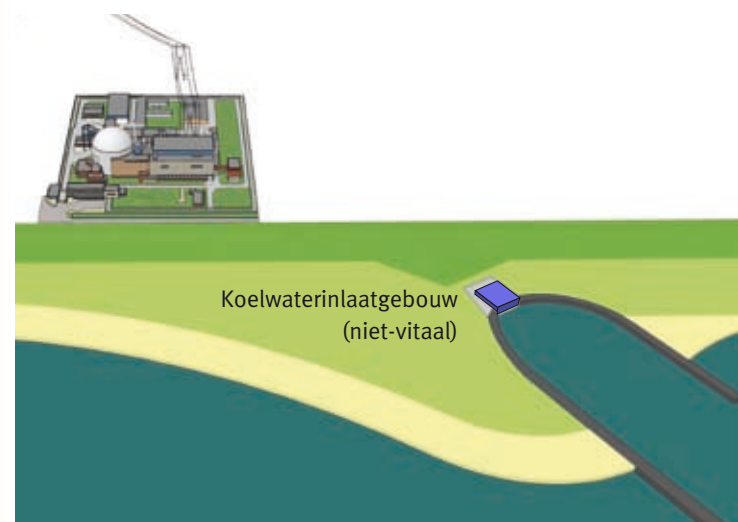
Veiligheidsmarge

Uit het robuustheidsonderzoek blijkt een veiligheidsmarge van ruim een meter. Pas bij een langdurige overstroming van meer dan 8.55 meter boven NAP ontstaat een situatie waarbij de nucleaire veiligheid gevaar kan gaan lopen.

- **Niet vitale gebouwen zijn beschermd tot een lager peil**
Niet alle gebouwen en systemen zijn nodig om de kerncentrale in een veilige toestand te houden. De meeste kantoren en bijgebouwen mogen verloren gaan. Ook de installaties voor de productie en transport van elektriciteit voor het openbare net mogen falen. De gebouwen die 'alleen' nodig zijn voor de 'normale' elektriciteitsproductie zijn daarom niet waterdicht. Wel is de installatie in deze gebouwen op een hoogte gebracht van minimaal 6.70 meter boven NAP zodat er bij een overstroming van 5 meter boven NAP in principe nog stroom geproduceerd kan worden.

- **Vitale gebouwen en systemen**
Wat beslist niet mag falen, zijn
 - de gebouwen met nucleaire systemen
 - de gebouwen met systemen die nodig zijn voor het koelen van de kern

De vitale bijgebouwen met noodstroominstallaties (diesels en batterijpakketten) plus andere noodsystemen zoals de reserve regelzaal staan om de bol heen en zijn volgens ontwerp waterdicht tot 7.30 meter en in de praktijk tot 8.55 meter boven NAP. De bol met daarin de reactor en de kern en alle radioactieve stoffen (inclusief de opgebrande splijtstof) is hermetisch gesloten. Toegang is mogelijk tot een hoogte van 18.70 meter boven NAP.



Robuustheidsscenario's

Het robuustheidsonderzoek gaat uit van overstromingen die steeds zwaarder worden. Gekeken is naar wat de kerncentrale hebben kan. Als ergens twijfel over is, wordt er van uitgegaan dat het betreffende onderdeel verloren gaat (of mag gaan). De overstromingen worden steeds zwaarder gemaakt tot de centrale bezwijkt en een nucleair ongeluk zich kan gaan ontwikkelen.

Veilig scenario 1: een overstroming van 5 tot 6.70 meter boven NAP

Hoewel de koelwaterinlaat waterdicht is tot 7.40 meter boven NAP gaat dit scenario toch uit van het verlies van koelwater uit de Westerschelde. De wanden van het koelwaterinlaatgebouw zijn namelijk gebouwd op een waterstand van 5 meter boven NAP. EPZ gaat er daarom vanuit dat dit gebouw bezwijkt. Koeling op de Westerschelde valt dan weg, er wordt teruggevallen op de noodkoel-systemen die bij deze waterstand normaal zullen functioneren.

In dit scenario wordt aangenomen dat elektriciteit wordt betrokken uit de twee eigen noodstroomnetten en hoogstwaarschijnlijk uit het landelijke elektriciteitsnet.



Veilig scenario 2: een overstroming van 6.70 tot 7.30 meter boven NAP

In dit scenario wordt er vanuit gegaan dat

- Het openbare stroomnet faalt
- Het eerste eigen noodstroomnet faalt. Twee van de drie diesels zijn weliswaar beschermd tot 8 meter boven NAP (en blijven tot dat niveau zeker beschikbaar), maar voor het robuustheidsonderzoek wordt aangenomen dat het eerste net faalt.
- Het tweede noodstroomnet neemt de elektriciteitsproductie over. Dit noodstroomnet blijft gegarandeerd beschikbaar en is ontworpen voor een waterstand van 7.30 meter boven NAP en naar nu blijkt tenminste 8.55 meter boven NAP.
- Alle locaties die betreden moeten worden, zijn bij deze waterstand nog bereikbaar.
- Alle noodkoelsystemen kunnen in deze situatie worden bediend.
- De reactor wordt in een stabiele toestand gebracht en gehouden, ook als deze open is (voor onderhoudswerk).



- Er is voldoende voorraad voor minimaal 72 uur eilandbedrijf. Diesel, bestemd voor het eerste noodstroomnet, voegt hier nog 158 uur aan toe.

Kritiek scenario 3: overstromingen hoger dan 7.30 meter boven NAP

Bij deze waterstand of hoger neemt EPZ aan dat bijgebouwen naast de reactor overstroomd raken. Als dat lang duurt ontstaat er schade aan de elektrische bediening van de reserve nakoelpompen.

- De pompen zelf zijn waterdicht en kunnen via een noodvoorziening worden herstert waardoor koeling van de reactor wordt voortgezet.
- Als de reserve nakoelpompen uitvallen is er voldoende water voor meer dan 72 uur koeling van de kern, zowel bij een gesloten reactor als in open toestand (onderhoud).

De koeling van de gebruikte splijtstof is tot 13.70 meter boven NAP gegarandeerd.

De noodstroominstallaties blijven functioneren.

- Twee van de drie diesels uit het eerste noodstroomnet zijn beschermd tot 8 meter boven NAP. Eén daarvan kan 158 uur spanning geven.
- Het tweede noodstroomnet blijft gegarandeerd functioneren. De deuren zitten op 8.55 meter boven NAP en de luchtinlaat op 9.80 meter boven NAP. De aansluitingen op de installatie zijn waterdicht.

De diesels kunnen 72 uur spanning leveren.



Eindscenario: langdurige overstroming hoger dan 8.55 meter boven NAP

Aangenomen wordt dat vanaf een waterstand van 8.55 meter boven NAP ook het gebouw met het tweede noodstroomnet gaat overstromen. Dit zal geleidelijk gebeuren zodat de wachtploeg dit aan ziet komen en maatregelen kan nemen. Echter, uiteindelijk valt ook dit net uit.

- Na het uitvallen van de diesels zal eerst worden overgeschakeld op de batterijpakketten in dit gebouw. Hiermee wordt voorzien in de elektriciteitsbehoefte van de bedieningsinstrumenten.
- In een van de andere bijgebouwen staat op 11.50 meter boven NAP een batterijpakket waarmee de koelsystemen van de reactor nog enkele uren kunnen worden bediend. Het is niet zeker of dit gebouw sterk genoeg is om deze overstroming te weerstaan en de batterijpakketten nog beschikbaar zijn.

Als ook de batterijen niet meer beschikbaar zijn, kan er handmatig nog gekoeld worden (*bleed & feed*).

Bij een langdurige overstroming die hoger is dan 8.55 meter boven NAP, zal de nucleaire veiligheid in het geding komen. Door het één voor één wegvallen van alle veiligheidssystemen en het uitputten van de koelwatervoorraden, kunnen de kern en het splijtstofopslagbassin niet meer worden gekoeld.



- Na het wegvallen van de koeling in de kern ontstaat binnen enkele uren een situatie waarbij de aanwezige splijtstof door de hitte uiteenvalt.
- In het slechtste geval gaat na 16 uur het water in het bassin met de opgeslagen oude splijtstof door de temperatuur koken.
- Na ruim drie dagen (80 uur) tot twee weken steken de toppen van de gebruikte splijtstofelementen boven water uit. In de dagen daarna zal splijtstofschade ontstaan.

Het is vrijwel onmogelijk om de maximale overdruk van het *containment* te bereiken. Gebeurt dat toch dan zal via filters worden geventileerd op de buitenlucht. Dit betekent praktisch dat er met de stoom ook geringe hoeveelheden radioactieve stoffen (edelgassen) in het milieu gebracht worden. Zonder ingrijpen van buitenaf komt het uiteindelijk tot een nucleaire lozing.

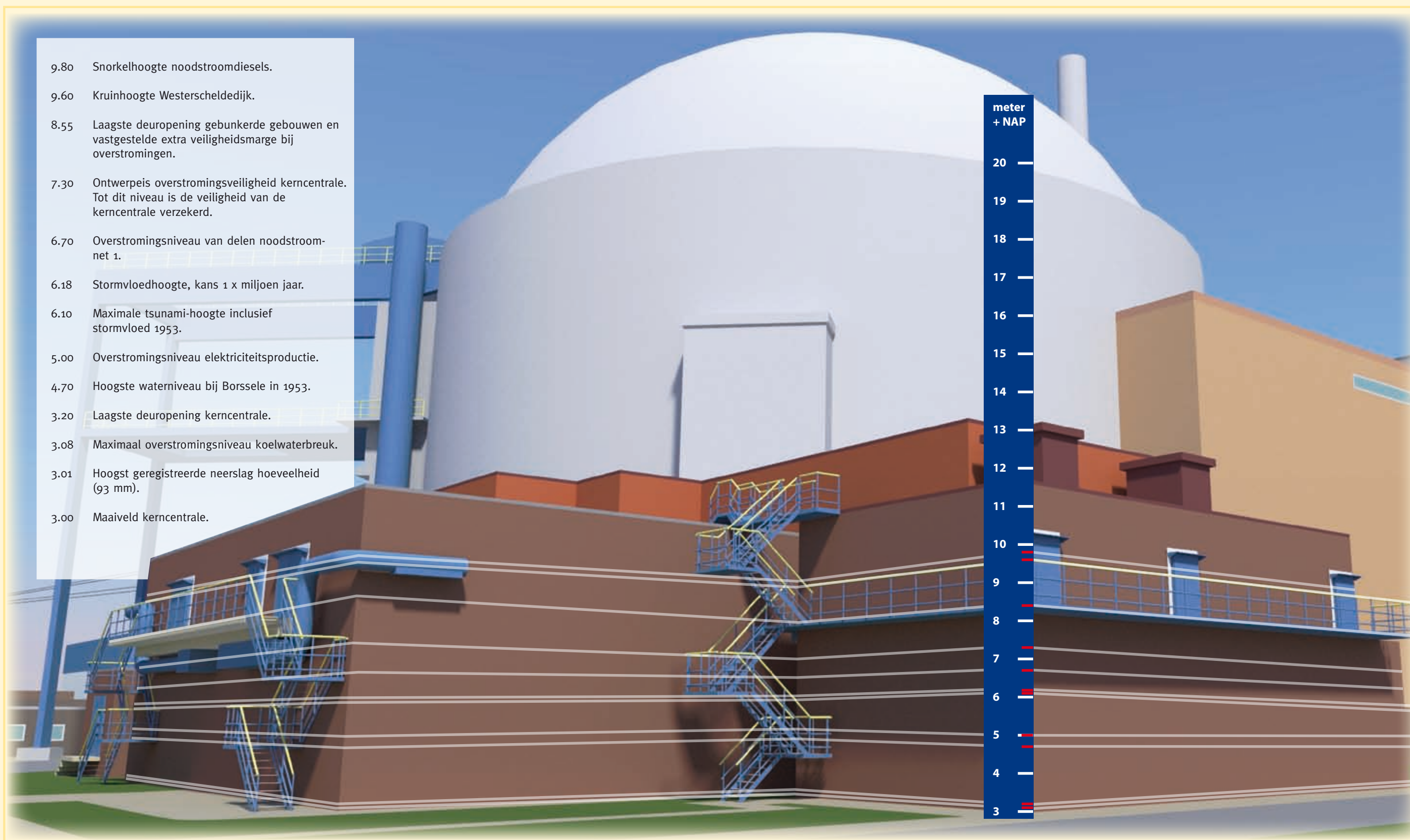
Conclusie

Er is een overstromingsmarge bovenop de ontwerphoogte van 7.30 meter boven NAP.

- Bij een overstromingshoogte van 7.30 meter boven NAP moeten mogelijk de reserve nakoelpompen handmatig worden gestart.
- Bij een overstromingshoogte van 8.55 meter boven NAP begint het water via de deuren gedoseerd het gebunkerde gebouw binnen te dringen.
- Omdat niet is aangetoond dat deze deuren waterdicht zijn, wordt hier de grens getrokken.
- Mocht waterdichtheid van de deuren blijken dan is de eerstvolgende opening de 'snorkel' van de diesels op 9.80 meter boven NAP.

De KCB heeft dus een marge aangetoond tot 8.55 meter boven NAP. Het vaststellen van verdere marge vergt meer onderzoek.

Verbetermogelijkheden module 2: Overstroming	
S2	In 10EVA13 zullen maatregelen onderzocht worden voor het verder vergroten van de marges in geval van overstroming.
P1	'Extensive Damage Management Guides' (EDMG) en trainingsprogramma. Voorbeelden zie pagina 65.
M1	Voorzieningen die het Alarm Controle Centrum (<i>Emergency Response Centre</i>) tijdens alle voorziene ongevallen operationeel houden.
M2	Opslagvoorzieningen die toegankelijk zijn voor de alarmorganisatie na alle voorziene ongevallen (mobiele apparatuur, gereedschap en materialen).
M6	Mogelijkheid om ongebruikte voorraden dieselolie over te brengen naar actieve dieselgeneratoren.
M7	Het voorzien in onafhankelijke spraak- en datacommunicatie onder ongunstige condities, zowel intern als extern (bijvoorbeeld satelliet-telefoons).
M11	Bescherming gebunkerde gebouwen tegen watergolven bij extreem hoog water maakt de kerncentrale volledig onafhankelijk van de zeedijk.



Extreem weer

Deze module van het robuustheidsonderzoek analyseert de weerstand van de kerncentrale tegen extreme weerscondities. Vastgesteld worden de veiligheidsmarges die er zijn ten opzichte van de wettelijke eisen waaraan de kerncentrale moet voldoen.

De volgende scenario's zijn onderzocht:

1. Hoge en lage watertemperatuur in de Westerschelde
2. Extreem hoge en lage luchttemperatuur
3. Extreme wind
4. IJsvorming op de installatie
5. Zware regenval
6. Zware sneeuwval
7. Blikseminslag
8. Realistische combinaties van bovengenoemde

Scenario 1: Temperatuur Westerschelde

Uitgangspunten:

- Over een jaar genomen is de daggemiddelde temperatuur van de Westerschelde ongeveer 11°C.
- De gemeten meest extreme temperaturen zijn -1,1°C en 23,2°C.
- Uit analyses blijkt dat tot een daggemiddelde van 25°C er voldoende koeling is.
- Een minimum daggemiddelde temperatuur is niet gespecificeerd.

De hoogst gemeten piek in de Westerschelde bij kerncentrale Borssele is 23,2°C. Bij een zeewatertemperatuur van 25°C wordt de kerncentrale volgens voorschriften uit bedrijf genomen. Gebeurt dit niet, dan grijpt de automatische bediening in. Na afschakeling is een Westerscheldetemperatuur van 30°C voldoende om de reactor te koelen. De temperatuur mag zelfs verder stijgen (39°C na 1 dag) omdat er voor de afvoer van verval-warmte steeds minder koelwater nodig is (de reactor produceert namelijk steeds minder warmte). Uiteindelijk kan de Westerscheldetemperatuur tot boven de 39°C stijgen en nog steeds de afgeschakelde reactor voldoende koelen. Naast de koeling door de Westerschelde kan er ook gekoeld worden met grondwater en de stoomgeneratoren.

Scenario 2: Luchttemperatuur

Er zijn geen maximale of minimale buitenlucht temperaturen vastgesteld voor het bedrijven van de kerncentrale. Voor specifieke binnenruimtes gelden er wel maxima. Zo mag vanwege arbo-eisen bijvoorbeeld de temperatuur op de regelzaal niet boven de 25°C komen. In het *containment* mag de temperatuur oplopen tot 60°C. Langdurig hoger is niet wenselijk om de ruimtes en aanwezige installaties in goede conditie te houden. Een eventuele kortdurende overschrijding heeft hierop geen effect. Airconditioners en verwarming regelen de temperatuur van de binnenruimtes.

Zeer lage temperatuur kan van invloed zijn op:

- de kwaliteit van diesel en de capaciteit van batterijen,
- het bevriezen van koelmiddel in de dieselmotoren (elektriciteit, pompen),
- het bevriezen van (brandweer)water.

Voor zover dieselvoorraden en koelmiddelen zich buiten bevinden, zijn ze tot -18°C beschermd. Batterijen, dieselvoorraden en koelmiddelen die zich binnen bevinden, zijn onder andere door verwarmingssystemen tegen vorst beschermd.

Vorst reikt hooguit tot een diepte van 70 centimeter. De brandweersystemen op het terrein zijn beschermd tegen vorst door ze op een diepte van 80 centimeter in te graven. Brandweerleidingen worden daarnaast droog buiten gebruik gesteld zodat bevriezen niet mogelijk is.

Scenario 3: Extreme wind

De installatie is door EPZ onderzocht op kwetsbaarheid voor stormen met windsnelheden tot 202 kilometer per uur op 40 meter hoogte en tornado's met windsnelheden tot 450 kilometer per uur (kans 1/miljoen jaar). Berekend is, dat in beide gevallen de gemiddelde kracht van de wind niet hoger is dan de gemiddelde statische luchtdruk als gevolg van een explosie van 0,1 bar. De kerncentrale is hier ruimschoots tegen bestand en kan drie tot vier keer deze druk verwerken.

Bijzondere aandacht is gegeven aan 'wind missiles', door de storm aangevoerde projectielen. Hoewel deze schade kunnen aanrichten en zelfs de koppeling aan het landelijke energienet kunnen verbreken, beschikt de kerncentrale Borssele over veiligheidssystemen om dit verlies te compenseren. De vitale onderdelen van de kerncentrale zijn vliegtuigbestendig en daarmee ook bestendig tegen door de wind aangevoerd onheil.

Verder is onderzocht wat het effect is van depositie van door de wind aangevoerd zeezout. In extreme gevallen moet de koppeling met het landelijk elektriciteitsnet tijdelijk verbroken worden voor reiniging van componenten. In deze gevallen neemt de meervoudig uitgevoerde eigen stroomvoorziening van de kerncentrale het over.

Scenario 4: IJsvorming in de Westerschelde

Bij een watertemperatuur van min 1°C treedt in de (zoute) Westerschelde ijsvorming op. Dat is een proces met lange aanloop zodat het zich laat voorspellen, waardoor er geanticipeerd kan worden. De laatste decennia is ijsgang twee keer voorgekomen (1984, 1994). Ijs kan de inname van koelwater bemoeilijken en uiteindelijk verhinderen.

Bij de kerncentrale wordt ijsvorming in de roosters van de koelwaterinlaat bestreden met hete lucht. Ook kan de innamecapaciteit worden verminderd tot twee procent waardoor de stroomsnelheid omlaag gaat en het water onder het ijs vandaan gezogen wordt zodat ijsschotsen niet worden meegezogen en waterinname blokkeren. In het uiterste geval wordt overgeschakeld op reservekoeling op het (brakke) grondwater.

Alle koelwaterleidingen liggen vorstvrij in de grond.

Scenario 5: Zware regenval

Eén keer in de duizend jaar kan een lokaal 24-uursgemiddelde tot 108 millimeter vallen. In de nabijheid van Borssele zijn de afgelopen vijftig jaar twee pieken gemeten: 81 en 93 millimeter.

Er is gecontroleerd hoe de centrale is voorbereid op extreme regenval. Deuropeningen zitten op 200 millimeter boven het maaiveld, de maximale

overstromingshoogte als gevolg van regen is berekend op 80 millimeter. Een 24-uurs gemiddelde van 2.000 millimeter (wat tot een overstroming van 5 meter zal leiden) wordt als niet-realistisch beschouwd. De daklast van de vitale gebouwen is gecontroleerd op de maximale gemeten hoeveelheid regen in 24 uur (93 millimeter). Ook de 48-uurssituatie is doorgerekend. Deze neerslaghoeveelheden leiden niet tot schade aan de daken, ook niet bij geblokkeerde regenwaterafvoer.

Scenario 6: Zware sneeuwval

Alle gebouwen op het terrein zijn gebouwd volgens geldende voorschriften en kunnen minimaal een sneeuwbelasting aan van 0,7 kiloNewton per vierkante meter. Vitale gebouwen kunnen minimaal het vijfvoudige aan.

Zie de figuur voor de vertaling in maximale meters sneeuw per gebouw.



Scenario 7: Blikseminslag

De gebouwen op het terrein zijn beschermd tegen blikseminslag door een geaard net van afleiders (klasse 1, NEN 1014). De gebouwen zijn van gewapend beton en vormen door hun aard ook een kooi van Faraday. Dat is een kooivormige constructie van elektrisch geleidend materiaal zoals koper of ijzer die er voor zorgt dat statische elektrische velden niet tot binnen de kooi kunnen doordringen. Ook grondkabels zijn voorzien van bliksembeveiliging. Als een blikseminslag heviger is, dan waar het beveiligingsnet voor is uitgelegd, kan elektronica beschadigd raken. In het ernstigste geval kan door uitval van de elektriciteit koelwaterinname wegvallen. De kerncentrale zal overschakelen op een van de vele noodstroomvoorzieningen.

Scenario 8: Mogelijke combinaties van extreem weer

1. *Hoge luchttemperatuur en hoge watertemperatuur*; een hoge luchttemperatuur is een kortdurend fenomeen (schommelingen dag/nacht) en heeft geen snelle invloed op de koelwatertemperatuur. Er kan geen acute situatie ontstaan.
2. *Lage luchttemperatuur en lage watertemperatuur sneeuw*; extreme wind en ijsafzetting: een sneeuwjacht kan luchtinlaten verstoppen. Vanwege dit gevaar zijn vitale onderdelen uitgerust met luchtinlaten op verschillende windrichtingen. Bovendien zijn essentiële luchtinlaten zo geconstrueerd (neerwaarts) dat ze moeilijk dichtsneeuwen. Ijsafzetting kan tot kabelbreuken leiden tussen de centrale en het landelijk net. In die gevallen wordt overgeschakeld op de eigen stroomvoorziening.
3. *Extreme wind, extreme regenval en blikseminslag*; het gaat om drie verschillende fenomenen met ieder eigen gevolgen. Omdat deze elkaar niet versterken, worden de gevolgen hierboven afgedekt bij de afzonderlijke behandeling ervan.
4. *Extreme wind met sneeuw*; Verlies van verbinding met het elektriciteitsnet is mogelijk, de centrale gaat als 'eiland' verder. De dieselcentrales op het terrein beschikken over luchtinlaten op verschillende windrichtingen zodat die niet allemaal tegelijk dicht kunnen sneeuwen.

Conclusie

De algemene conclusie over de veiligheidsmarge bij extreem weer is dat extreem weer geen invloed heeft op de veiligheid van de kerncentrale. Er zijn voldoende veiligheidsmaatregelen ingebouwd die mogelijke invloeden neutraliseren.

Verbetermogelijkheden module 3: Extreem weer

P3 Ontwikkel checklijsten voor controlerondes en benodigde acties na diverse niveaus van voorziene gebeurtenissen.

Verlies van elektrische voeding en mogelijkheden voor warmteafvoer

De kerncentrale beschikt over tal van waarborgen om onder alle omstandigheden de kern te kunnen koelen. Daarbij zijn elektrische voeding en een mogelijkheid om de warmte ergens naar af te voeren essentieel. In deze module wordt gezocht naar de veiligheidsmarge van de kerncentrale Borssele bij verlies van steeds meer elektrische voorzieningen, warmteafvoermogelijkheden en combinaties van die twee scenario's.

Verlies van elektrische voeding

De kerncentrale maakt niet alleen elektriciteit, maar gebruikt ook zelf stroom voor de bediening van de (veiligheids)systemen. De kerncentrale is toegerust voor het opvangen van storingen in de elektriciteitsvoorziening. Er zijn meervoudig uitgevoerde back-up mogelijkheden op de locatie aanwezig die de elektriciteitsvoorziening van elkaar over kunnen nemen nadat het landelijk net is weggefallen.

Eerder in deze uitgave is toegelicht (op pagina 16) hoe de (nood-)stroomvoorziening bij de kerncentrale is opgezet. Kort samengevat zijn er zeven elkaar opvolgende (of elkaar vervangende) elektriciteitsvoorzieningsmogelijkheden:

1. Stroom van de eigen generator

Dit is de normale situatie als de centrale elektriciteit levert. Door een netstoring kan de centrale zich automatisch loskoppelen van het elektriciteitsnet. De centrale regelt dan razendsnel terug naar het vermogen dat nodig is om zichzelf te voeden.

2. Stroom uit het landelijk net

De centrale heeft twee onafhankelijke 150 kV-verbindingen met het elektriciteitsnet: één voor elektriciteitslevering en één voor voeding vanuit het elektriciteitsnet. Als de turbine of de generator als gevolg van een storing wordt afgeschakeld, valt de centrale terug op het landelijk elektriciteitsnet. Dit is tevens de normale situatie als de centrale uit bedrijf is.

3. Noodstroomnet 1

Met Noodstroomnet 1 kunnen alle veiligheidssystemen en belangrijke bedrijfssystemen van elektriciteit worden voorzien. Het systeem heeft twee luchtgekoelde en één watergekoelde dieselgeneratoren. Het ontwerp is zodanig dat één noodstroomdiesel volstaat. Twee diesels hebben een eigen voorraad dieselolie voor 72 uur, de derde één voor 24 uur.

4. Noodstroomnet 2

Noodstroomnet 2 heeft twee eigen 10 kV-verbindingen met het landelijke elektriciteitsnet. Daarnaast heeft het systeem twee watergekoelde dieselgeneratoren van een ander type als Noodstroomnet 1. Elke diesel heeft een eigen voorraad voor ten minste 24 uur. Daarnaast voorziet een gemeenschappelijk voorraadtank in nog eens 48 uur. Met Noodstroomnet 2 kunnen de gebunkerde veiligheidssystemen van de kerncentrale van elektriciteit worden voorzien.

5. Kolencentrale

De centrale kan op verschillende manieren vanuit de naastgelegen kolencentrale worden gevoed.

6. Mobiele noodstroomgenerator

Op het terrein staat een mobiele noodstroomvoorziening met diesel voor minimaal tien uur.



7. Accu's

Batterijpakketten voor het opvangen van spanningsonderbreking en als ultieme back up als hiervoor genoemde voorzieningen falen. De ontwerp-eis voor batterijduur is twee uur.

Begingeburtenissen

Voor dit robuustheidsonderzoek is gekeken naar de volgende scenario's, oplopend in ernst:

1. verlies van alle spanning uit het landelijk net

- Noodstroomnetten 1 en 2 worden respectievelijk geactiveerd.

2. falen landelijk net en falen noodstroomnet 1

- Noodstroomnet 2 wordt geactiveerd.
- Een stoomaangedreven pomp zorgt voor koeling zonder dat daar elektriciteit voor nodig is.

3. falen noodstroomnet 1 en 2

- De mobiele dieselgenerator wordt aangesloten.
- Een aansluiting op de naastgelegen kolencentrale wordt geactiveerd.
- Extra mobiele dieselgenerator wordt opgeroepen.
- Een stoomaangedreven pomp zorgt voor koeling zonder dat daar elektriciteit voor nodig is.

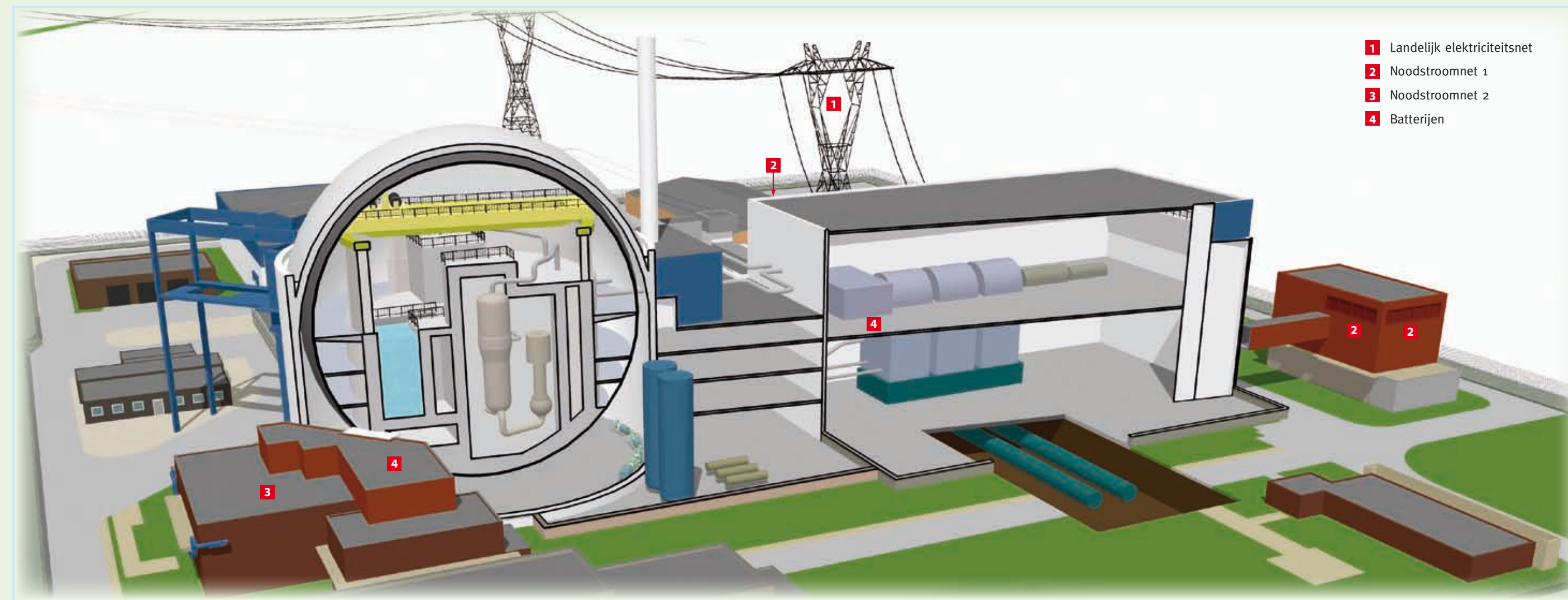
4. Falen mobiele noodstroomdiesel en aansluiting op kolencentrale

- Voeding wordt alleen door de diverse batterijen verzorgd. Via omvormers leveren deze ook 380 V wisselstroom voor grotere componenten. Het ontwerp vereist een batterijduur van minimaal twee uur. De batterijen kunnen vier tot tien uur stroom leveren.
- Een stoomaangedreven pomp zorgt voor koeling zonder dat daar elektriciteit voor nodig is.

Daarna kan een nucleair ongeluk ontstaan door verlies aan mogelijkheden.

Mogelijke maatregelen voor extra marge

Voor dit robuustheidsonderzoek is naar maatregelen gekeken om noodstroommogelijkheden te verruimen en de duur van de noodstroomvoorzieningen te verlengen.



- 1 Landelijk elektriciteitsnet
- 2 Noodstroomnet 1
- 3 Noodstroomnet 2
- 4 Batterijen

Verlies van warmteput (heat sink)

De kern produceert:

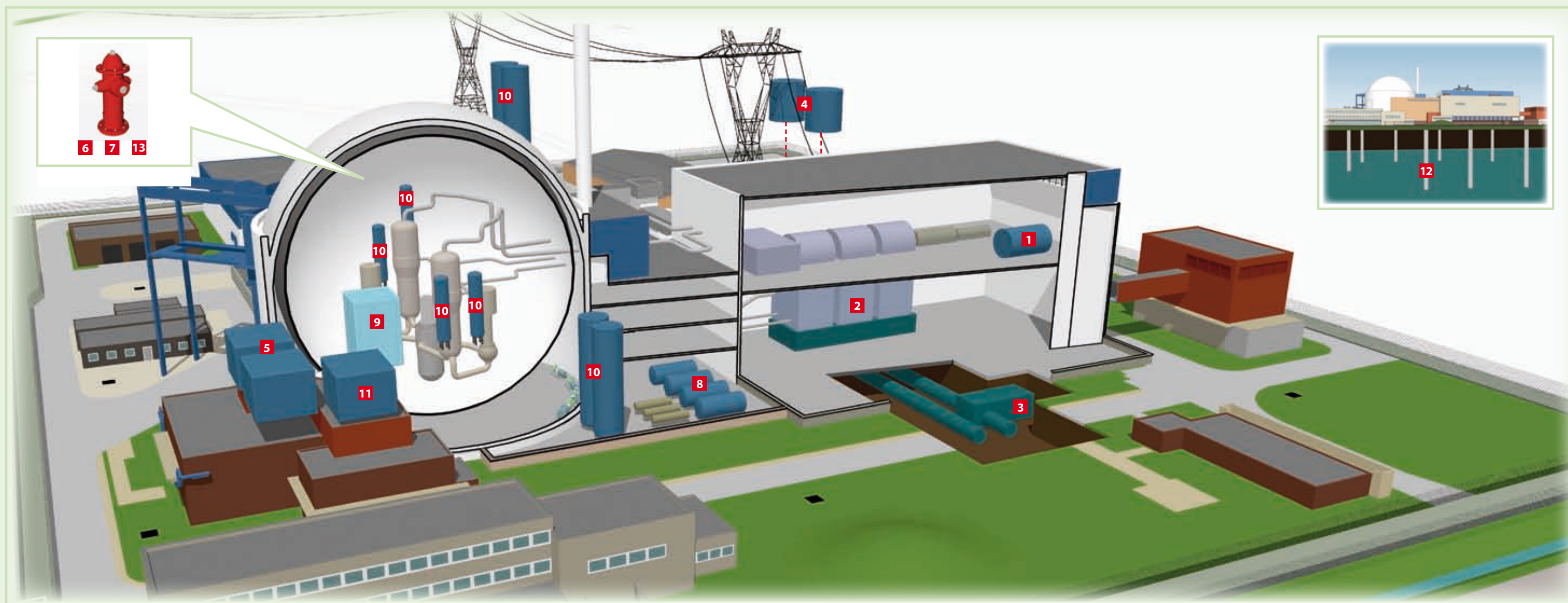
- veel warmte tijdens bedrijf.
- minder warmte nadat de reactor is uitgeschakeld: vervalwarmte.

Warmte moet altijd worden afgevoerd. Dat gebeurt naar wat in jargon een ‘warmteput’ wordt genoemd. Een ‘warmteput’ is een medium dat oneindig warmte uit een kerncentrale kan opnemen zodat essentiële onderdelen kunnen worden gekoeld. De kerncentrale Borssele beschikt over twee warmteputten:

- de Westerschelde is de normale warmteput.
- het grondwater (de warmteput als de Westerschelde niet beschikbaar is).

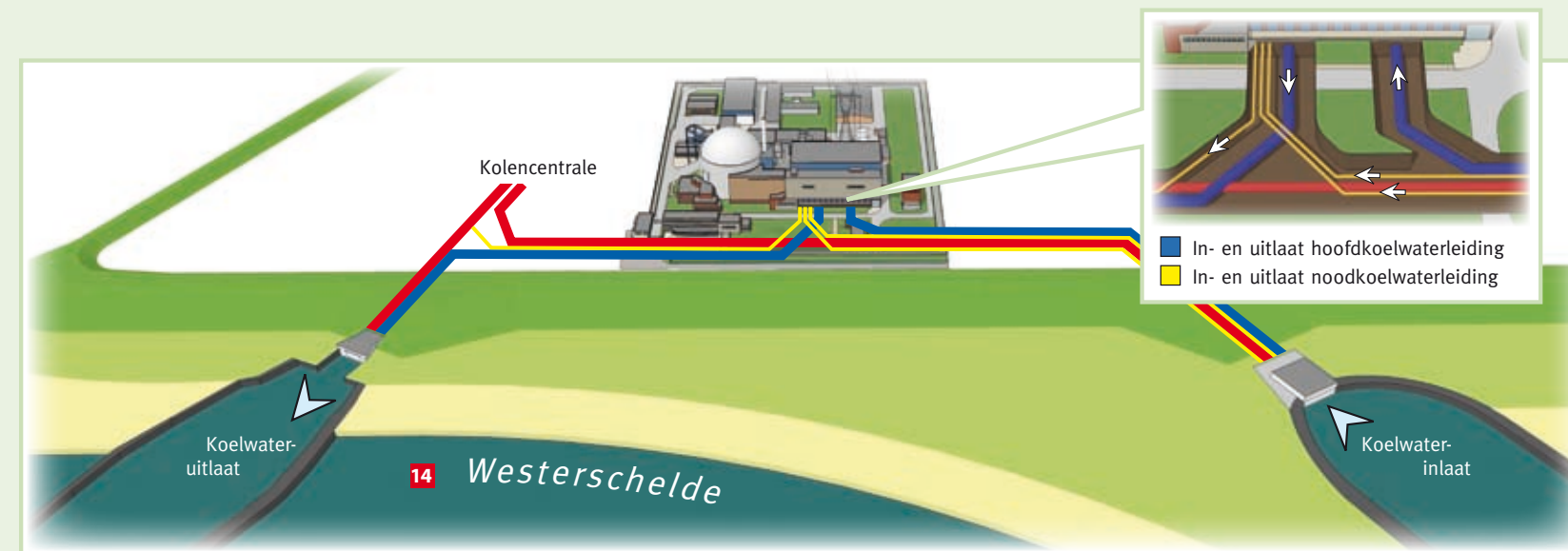
Zolang de kern in het reactorvat van de kerncentrale is bedekt met water, wordt deze gekoeld en blijft de nucleaire veiligheid gegarandeerd. De kerncentrale is uitgerust met tal van systemen die onafhankelijk van elkaar ervoor zorgen dat de kern bedekt blijft en de nucleaire systemen gekoeld worden (zie pagina 14).

Ook de atmosfeer is een ‘warmteput’, zij het dat deze ‘eindig’ is in gebruik. In bijzondere omstandigheden wordt via stoom warmte afgevoerd naar de atmosfeer. Deze warmteput kan echter niet oneindig lang worden gebruikt omdat de centrale in deze specifieke omstandigheden eigen watervoorraden gebruikt. Als de watervoorraden op raken, kan niet meer op de atmosfeer worden gekoeld.



Overzicht van beschikbaar water na het wegvalen van de hoofd en reserve koelsystemen:

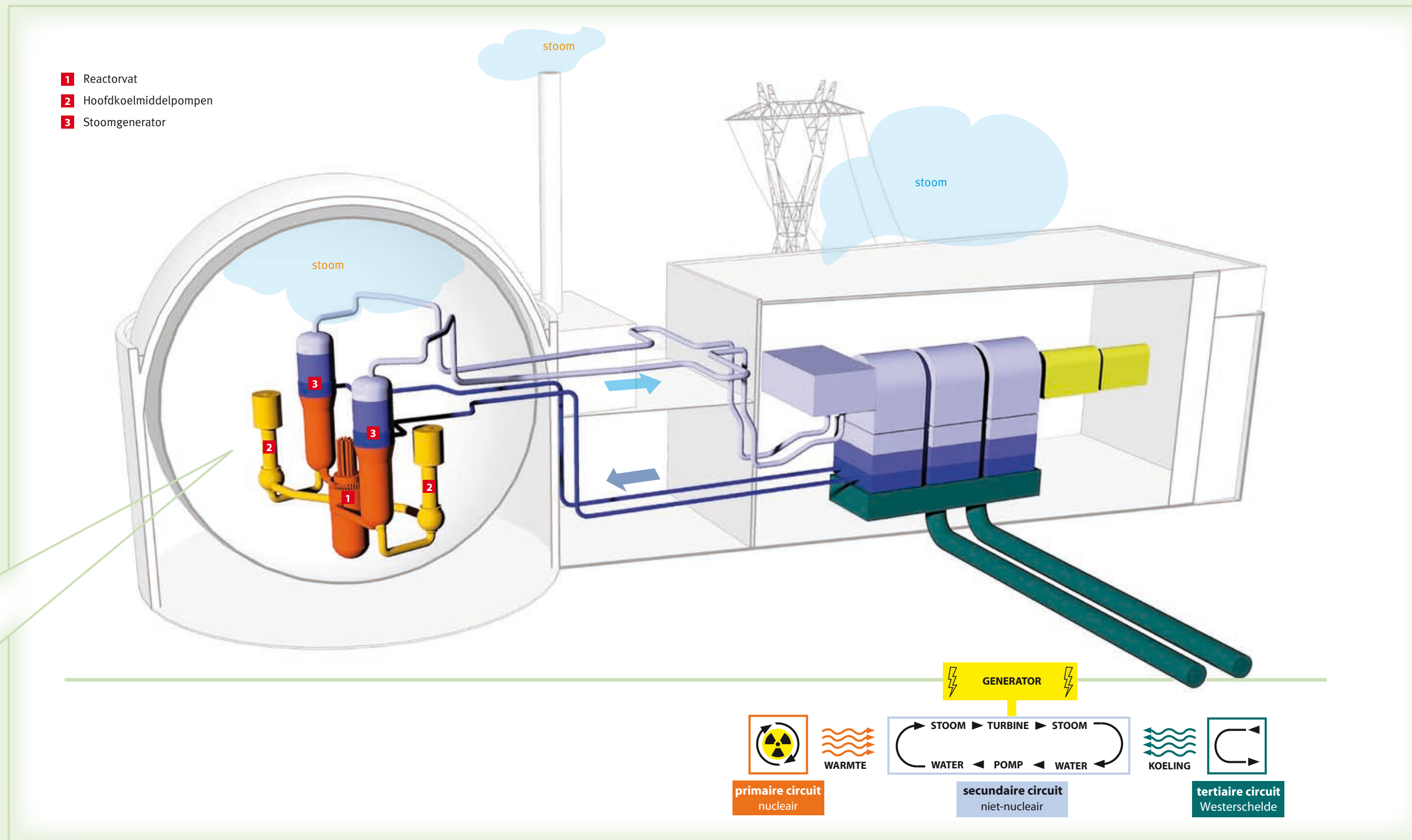
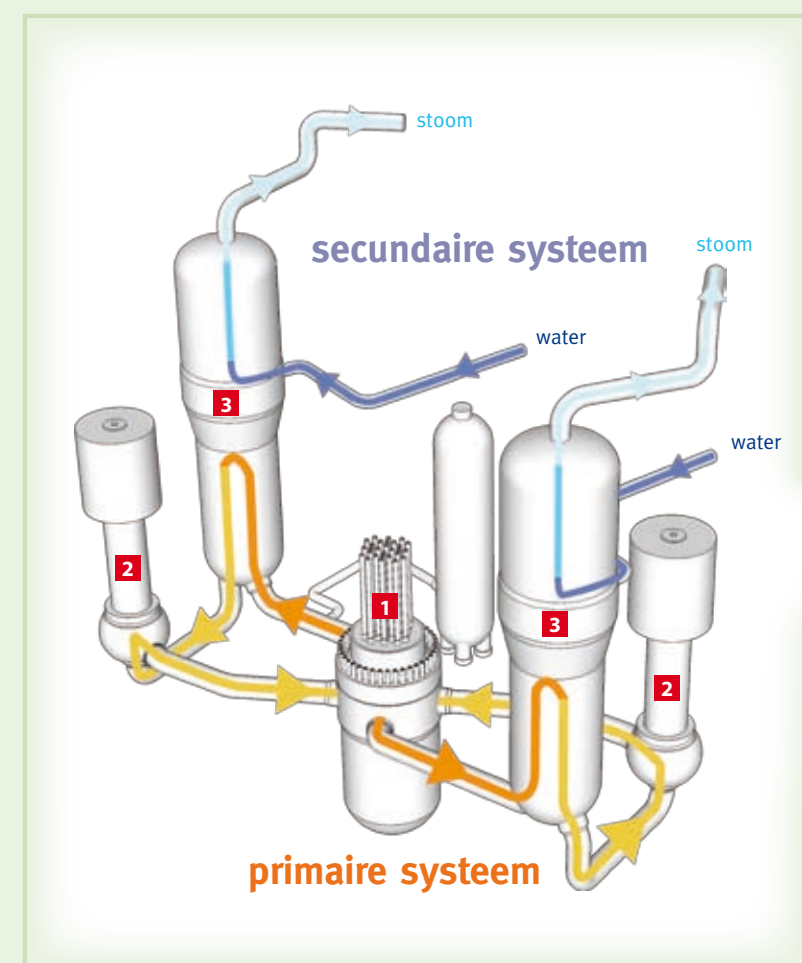
	Waterbron of voorraad	Kubieke meters water (m³)	Opmerkingen
1	Voedingswatertank	185	
2	Condensers	41	
3	Deminwaterbassins	268	
4	Deminwatertanks	814	2 tanks van 407 m³
5	Secundair reserve suppletiesysteem deminwaterbassins	900	2 tanks van 450 m³
6	Watertank lagedruk brandblussysteem	1.200	
7	Blusvijver	1.600	Op aanliggend terrein kolencentrale
8	Koelmiddelopslagtanks	250	
9	Splijstofopslagbassin	565	Water opname tot aan de top van de gebruikte splijstof
10	Kerminundatie voorraad- en buffertanks	765,2	
11	Primair reservesuppletiesysteem waterbassins	400	
12	Reserve noodkoelwatersysteem (reserve warmteput)	oneindig	8 diepe putten
13	Openbaar waternet	oneindig	Normaal: 50 m³/uur. Noodgevallen: 180-200 m³/uur
14	Westerschelde	oneindig	Door brandweer met pompwagens



Begingeburtenissen

Voor dit robuustheidsonderzoek zijn de volgende in ernst oplopende scenario's onderzocht.

1. Verlies van de primaire warmteput de Westerschelde, bijvoorbeeld door onbeschikbaarheid van de hoofd-, nood- en nevenkoelmiddelleidingen of een scheepsongeluk.
2. Verlies van zowel de primaire als de alternatieve warmteput doordat tevens de acht diepe grondwaterputten falen.
3. Verlies van de primaire warmteput in combinatie met gedeeltelijk verlies van elektriciteit door onbeschikbaarheid van het landelijk elektriciteitsnet en onbeschikbaarheid noodstroomnet 1.
4. Verlies van de primaire warmteput in combinatie met volledig verlies van elektriciteit door falen of uitputting van alle elektriciteitsvoorzieningen uitgezonderd de batterijen.



Twee fasen voor warmteafvoer

Na het afschakelen van de reactor stopt het kernsplijtingsproces en daarmee het grootste deel van de warmteproductie. Splijtingsproducten produceren echter nog lange tijd warmte tijdens het verval tot stabiele atomen. Na het afschakelen onderscheiden we twee fasen: afkoelen en nakoelen.

1. Afkoelen 3 uur tot 20 dagen

In deze fase moeten we meer warmte dan alleen de vervalwarmte afvoeren. De temperatuur van tonnen ijzer en tonnen water in de primaire kringloop moet uiteindelijk omlaag gebracht worden tot een niveau waarop de warmteafvoer onbepaalde tijd kan worden gehandhaafd.

2. Nakoelen onbepaalde duur

In deze fase is de temperatuur van de primaire kringloop zo laag dat alleen nog de vervalwarmte afgevoerd hoeft te worden.

Als alle koelmogelijkheden zijn uitgeput, kan een moeilijk te beheersen nucleair ongeluk ontstaan. Als dat moment is bereikt, schakelt EPZ over op *Severe Accident Management Guidelines* (zie module 6). In dit stadium spelen ook de veiligheidsorganisaties van de overheid een rol.

Vier alternatieve afkoelscenario's

Na het wegvallen van de Westerschelde voor de warmteafvoer zijn er vier hoofdscenario's om met de overgebleven systemen en watervoorraden de koeling van de kern voort te zetten. Deze scenario's kunnen in volgorde van prioriteit als volgt worden samengevat:

Afkoelen: 3 uur tot 20 dagen met eigen watervoorraden

1. De warmte van de primaire kringloop wordt via warmtewisselaars (stoomgeneratoren) naar de secundaire water-stoom-kringloop afgevoerd en vervolgens naar de atmosfeer afgeblazen, watertoevoer via het noodvoedingswatersysteem.

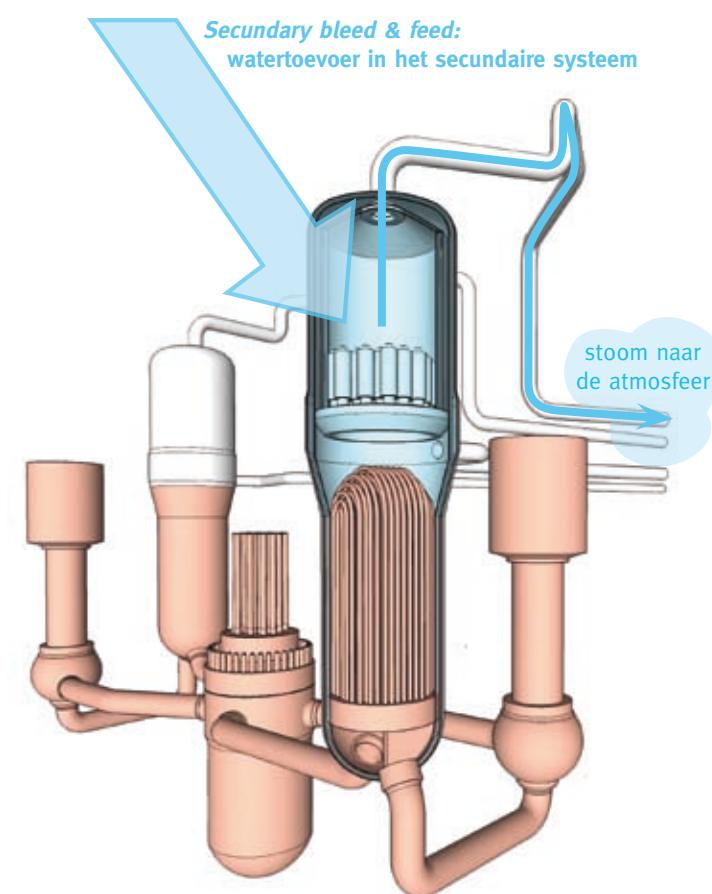
Alle watervoorraden in het noodvoedingswatersysteem worden gebruikt. De watervoorraden kunnen worden aangevuld vanuit het deminwatersysteem, met het brandblussysteem en met een brandweerpompwag van bijvoorbeeld de Westerschelde. De kleppen van het hoofdstoomsysteem worden geopend om (niet-nucleaire) stoom te ventileren op de buitenlucht.

2. De warmte van de primaire kringloop wordt via de stoomgeneratoren naar de secundaire water-stoom-kringloop afgevoerd en vervolgens naar de atmosfeer afgeblazen, watertoevoer via het gebunkerde reserve voedingswatersysteem.

Het reserve suppletiesysteem voedt vanuit zijn eigen, gebunkerde watervoorraden het secundaire systeem. Ook in dit scenario wordt via kleppen (niet-nucleaire) stoom geventileerd op de buitenlucht. De watervoorraden kunnen worden aangevuld vanuit het deminwatersysteem, met het brandblussysteem en met een pompwag van bijvoorbeeld de Westerschelde.

3. Secondary bleed & feed.

Dit is een methode waarbij druk uit de ene stoomgenerator wordt benut als stuwdruk om koelwater naar de andere stoomgenerator te transporteren. De warmte wordt naar de atmosfeer afgeblazen. Met deze strategie zijn diverse alternatieve watervoorraden te benutten.

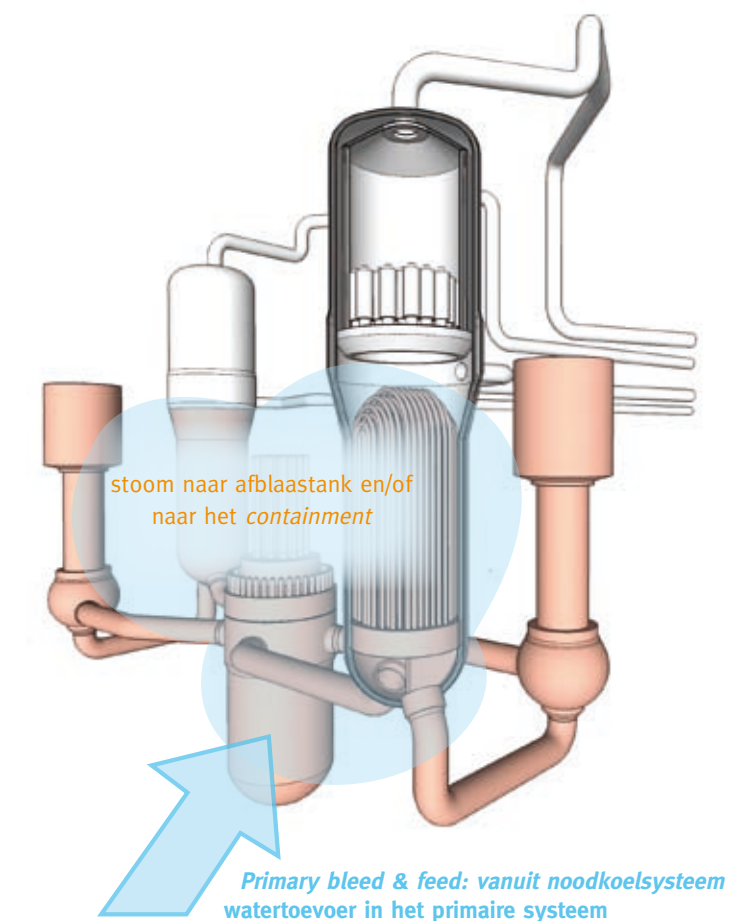


4. Primary bleed & feed.

Dit is een methode waarbij de warmte via afblaaskleppen naar de afblaastank in het *containment* wordt afgevoerd. De druk in het primaire systeem wordt laag genoeg gemaakt om alternatieve watervoorraden aan te kunnen boren. Stoom wordt niet afgeblazen naar de atmosfeer. De druk in het *containment* loopt daardoor wel steeds verder op en zal na enkele dagen moeten worden afgeblazen naar de atmosfeer. De drukontlasting van het *containment* zal worden geopend en de (mogelijk radioactieve) stoom wordt door filters voor 99,9 procent ontdaan van radioactieve stoffen voor zij in de atmosfeer terechtkomt.

De 'afkoelfase' kan lang worden volgehouden, afhankelijk van de beschikbare watervoorraden.

- De kern kan afhankelijk van de omstandigheden binnen enkele uren zijn gekoeld tot het gewenste temperatuurniveau voor het normale nakoelsysteem (onder 180°C).
- Indien het normale nakoelsysteem niet beschikbaar is, kan het alternatieve nakoelsysteem vanaf 13 uur na afschakelen in gebruik genomen worden. Alle hoofdscenario's bieden meer dan deze 13 uur tijd.
- Desgewenst kan de 'afkoelfase' worden verlengd tot 14 dagen.
- Als water uit het drinkwaternet of de Westerschelde wordt ingezet, is er geen tijdslimiet.



Nakoelen (vervalwarmteafvoer): 10 tot 16 uur met eigen (interne) water-voorraden

Als de reactor is afgekoeld, volgt de fase van het (langdurig) nakoelen van de kern voor de afvoer van vervalwarmte. Het nakoelen begint als de kern is afgekoeld tot de gewenste temperatuur en druk (voor het normale nakoelsysteem onder 180°C/30 bar en voor het reservenakoelsysteem onder 120°C/13 bar).

Voor het nakoelen zijn twee hoofdscenario's beschikbaar:

1. Koeling via het normale nakoelsysteem

Dit systeem kan in gebruik worden genomen zodra de temperatuur en druk zijn gedaald tot onder 180°C en 30 bar. Tijdens nakoelbedrijf maakt het normale nakoelsysteem deel uit van de primaire kringloop en draagt zijn warmte via een warmtewisselaar af aan een secundaire kringloop: het nucleair tussenkoelsysteem. Deze draagt zijn warmte via een warmtewisselaar af aan water dat door deze warmtewisselaar wordt gepompt via het brandblussysteem, drinkwatersysteem, brandweerpomp, of andere koelmiddelen.

2. Koeling via het reserve nakoelsysteem

Dit systeem kan in gebruik worden genomen zodra de temperatuur en druk dalen tot 120°C en 13 bar en ten minste 13 uren sinds de afschakeling van de reactor zijn verstreken. Het gebunkerde reserve nakoelsysteem maakt dan deel uit van de primaire kringloop en draagt zijn warmte via een warmtewisselaar af aan de reserve warmteput (grondwater). Zo nodig kan in plaats van grondwater het water uit het brandblussysteem of ander water worden gebruikt.

Conclusie verlies van koeling

Bij behoud van elektrische voeding er zijn voldoende middelen rond de kerncentrale aanwezig om:

- de afkoelfase met eigen voorraden tot 14 dagen vol te houden;
- vervolgens de nakoelfase (afvoer van vervalwarmte) met eigen voorraden tot 16 uur vol te houden;
- het koelen van het splijstofopslagbassin 14 dagen vol te houden;
- met het reservenakoelsysteem het koelen ongelimiteerd vol te houden.

Daarna is externe wateraanvoer door gebruik van mobiele pompen nodig. Als de afkoelfase wordt opgerekt tot 14 dagen kan deze periode benut worden voor het voorbereiden van de nakoelfase met extern water.

Verlies elektriciteit in combinatie met verlies van warmteput

Bij verlies van elektriciteit worden stap voor stap alle noodstroomvoorzieningen ingeschakeld (zie hierboven). In dit robuustheidsonderzoek wordt vervolgens aangenomen dat deze (na verloop van tijd) één voor één falen. Pas als alle noodstroomvoorzieningen hebben gefaald, ontstaat een volledig verlies van spanning in combinatie met verlies van warmteput (Westerschelde en grondwater).

Gevolgen voor de kern

Er is geen elektriciteit meer en de 'warmteput' is volledig weggefallen.

Voor de afkoelfase gelden dezelfde vier hoofdscenario's als hiervoor, maar de bruikbare watervoorraad in het eerste scenario is beperkt tot de voedingswatertank. Er is voldoende water voor de drie uur die nodig is om af te koelen. De stoomaangedreven noodvoedingswaterpomp voedt hierbij de stoomgeneratoren.

Voor de nakoelfase (vervalwarmteafvoer) is alleen het hoofdscenario met het reservenakoelsysteem mogelijk.

Splijstofopslagbassin

Bij het nucleaire ongeluk in Fukushima speelde het bassin met gebruikte splijstof een rol. Gebruikte splijstof produceert vervalwarmte en moet daarom worden gekoeld. Voor koeling (en stralingsafscherming) wordt gebruikte splijstof enkele jaren onder water bewaard in een speciaal bassin. Dit **bassin 1** met **gebruikte splijstof 2** wordt gekoeld en staat bij de kerncentrale Borssele in het *containment*. Daardoor blijft de inhoud van het bassin na het wegvalen van de koeling altijd binnen het *containment*. Zowel de geproduceerde stoom als eventuele radioactieve bestanddelen worden ingesloten.

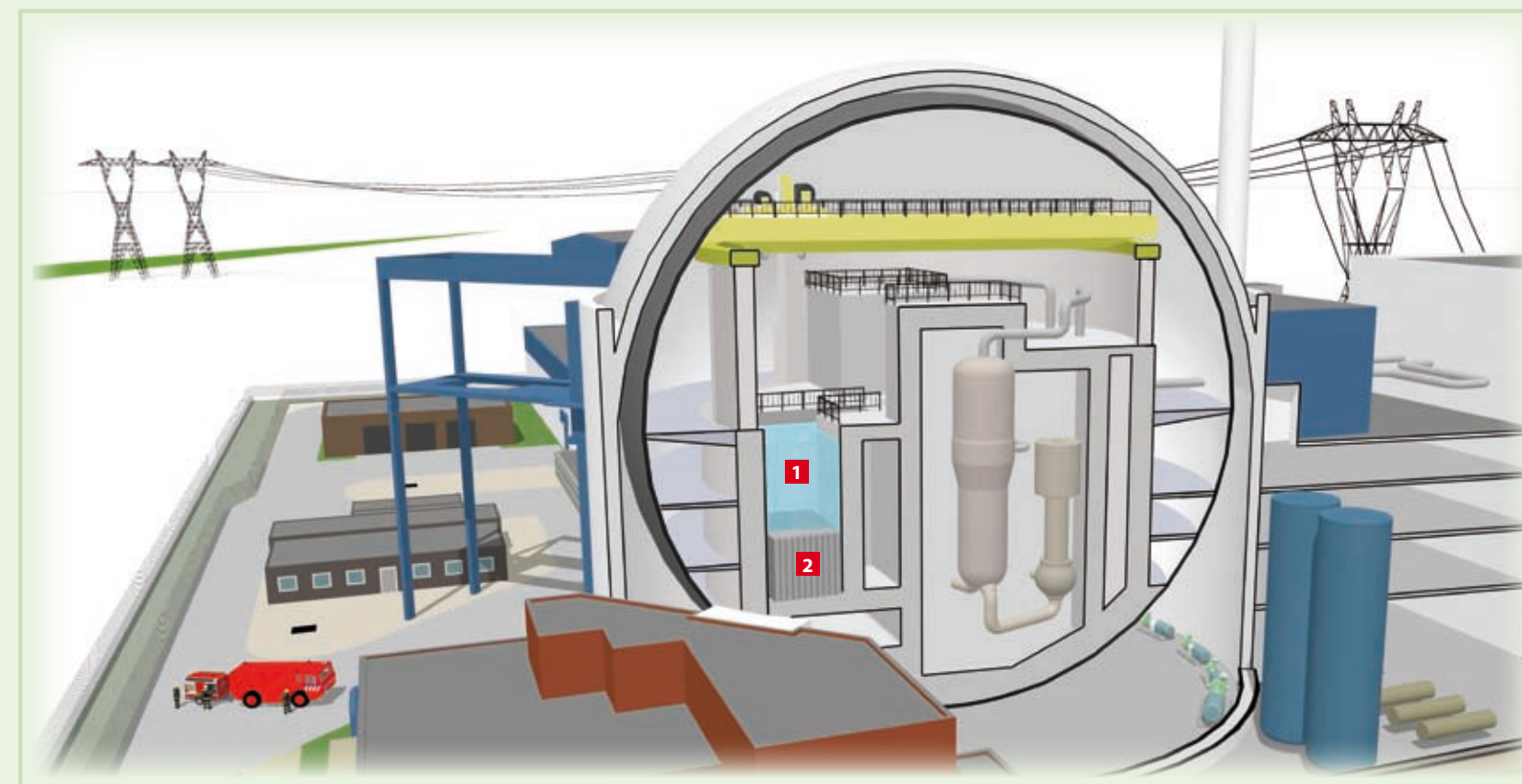
Voor het robuustheidsonderzoek wordt er vanuit gegaan dat de maximale hoeveelheid gebruikte splijstof is opgeslagen in het bassin. Daardoor is de warmteproductie maximaal.

Zolang er elektriciteit en warmteput zijn, kan het bassin worden gekoeld. In oplopende ernst van de begingebourtenissen vallen beide uiteindelijk weg.

Er zijn drie hoofdscenario's:

1. Normale koelcircuits waarbij de warmte via de normale warmtewisselaar aan brandbluswater of ander beschikbaar water wordt afgegeven in plaats van aan Westerscheldewater.
2. Reserve koelsysteem waarbij de warmte aan de alternatieve warmteput (grondwater) wordt afgegeven. Bij verlies van de grondwatervoorziening kunnen het vaste bluswatersysteem of brandweerpompen een andere beschikbare watervoorraad gebruiken.
3. Verdamping van het water. Hiervoor heeft het bassin een wateroverschot van 565 m³, voordat de bovenkant van de splijstofelementen bloot komen te liggen. Het bassin wordt in dit scenario voortdurend bijgevuld om het waterniveau op peil te houden.

Als er niets wordt gedaan en er geen water wordt aangevoerd naar het bassin, verdampt het water. Na 84 uur komen de toppen van de gebruikte splijstofelementen bloot te staan. De gebruikte splijstofelementen zullen onder de eigen temperatuur bezwijken, radioactieve stoffen verspreiden zich in het *containment* (maar niet in het milieu).

**Conclusie**

Er zijn bij gelijktijdig verlies van elektriciteit en beide warmteputten (Westerschelde, grondwater) voldoende alternatieve mogelijkheden om het koelen van de gebruikte splijstof door het bijvullen van het bassin langer dan veertien dagen vol te houden.

Voorwaarden zijn de beschikbaarheid van brandweerpompen, slangen en het openbare drinkwaternet.

Verbetermogelijkheden module 4: Verlies van elektrische voeding en mogelijkheden voor warmteafvoer

S1	Een onafhankelijk reserve koelsysteem voor het splijstofopslagbassin. In 10EVA13 zal dit onderzocht worden.
S4	In 10EVA13 zullen mogelijkheden onderzocht worden voor het versterken van de externe stroomvoorziening (netkoppeling).
P1	'Extensive Damage Management Guides' (EDMG) en trainingsprogramma. Voorbeelden zie pagina 65.
P2	Waarborgen van het op tijd uitvoeren van de benodigde acties voor watertoevoer, in geval van uitval van wisselspanning tijdens bedrijf met gedeeltelijk gevuld primair systeem, door training van de procedure.
M3	Een mogelijkheid voor het bijvullen van het splijstofopslagbassin zonder het <i>containment</i> binnen te gaan.
M5	Beperken aansluittermijn van de mobiele dieselgenerator tot twee uur.
M6	Mogelijkheid om ongebruikte voorraden dieselolie over te brengen naar actieve dieselgeneratoren.

Andere extreme gebeurtenissen

De KCB is ontworpen tegen door de mens veroorzaakte en andere extreme gebeurtenissen. Voor sommige is daar vanaf de bouw al rekening mee gehouden, andere veiligheidsmaatregelen zijn later ingebracht als vervolg op de Tienjaarlijkse Veiligheidsevaluaties.

Interne explosies

Binnen de kerncentrale wordt gewerkt met systemen die onder hoge druk staan of anderszins explosiegevoelig zijn. Bij het ontwerp van de installatie is hiermee rekening gehouden. Voor het robuustheidsonderzoek wordt verondersteld dat ondanks het ontwerp, het toch tot explosies komt. Verondersteld wordt dat een aantal vitale gebouwen getroffen wordt door een explosie, waarna de gevolgen in kaart worden gebracht.

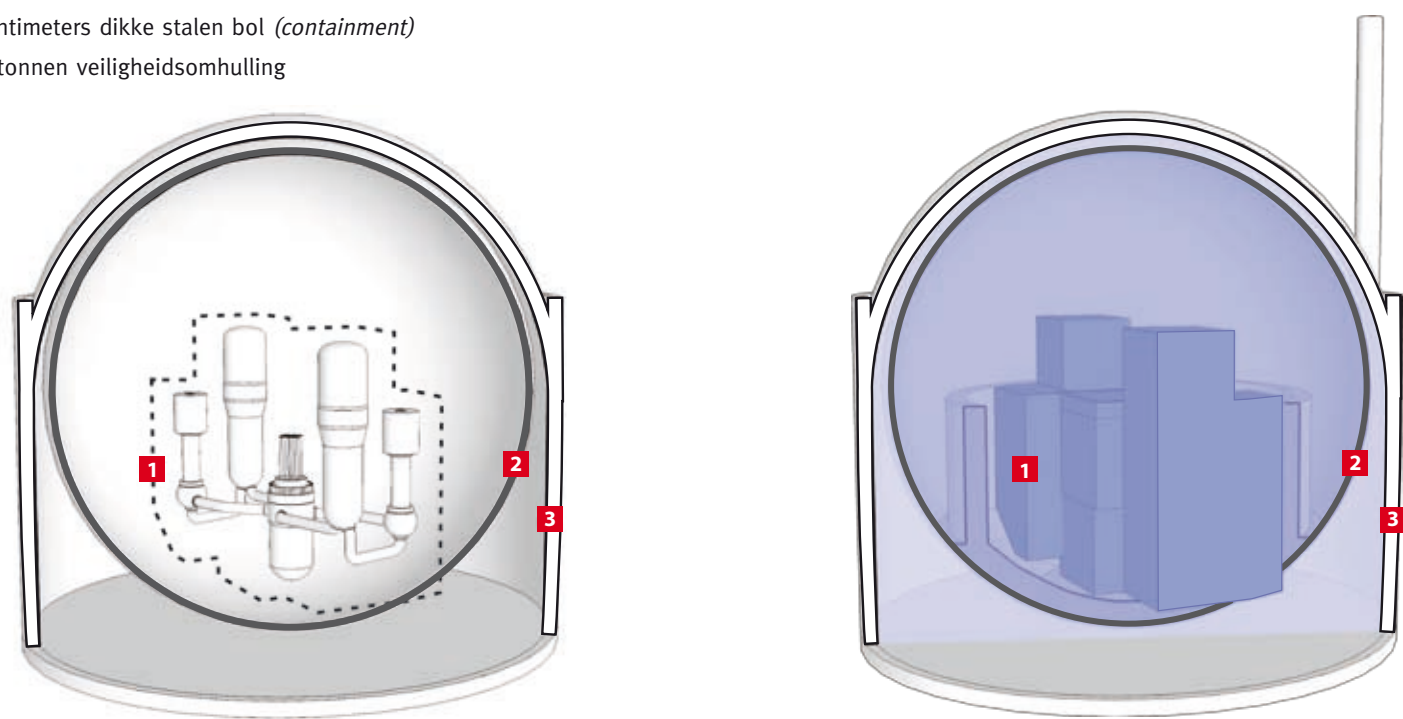
Vanwege ruimtelijke scheiding van (veiligheids)systemen en spreiding over meerdere (explosiebestendige) gebouwen, kan een interne explosie nooit groot genoeg zijn om een veiligheidsprobleem te veroorzaken. Volledig verlies van koelmogelijkheden van de kern en de gebruikte splijtstof is uitgesloten.

Externe explosies

Explosies die elders in de industriële omgeving van de kerncentrale plaatsvinden, kunnen drukgolven veroorzaken die mogelijk schade veroorzaken aan de kerncentrale. De kerncentrale is ontworpen op drukgolven van 0,1 bar en 0,15 bar bij weerkaatsing van de drukgolf op de gebouwen. Onderzoek naar de omgeving van de kerncentrale levert op dat er geen industriële (of militaire) locaties en activiteiten zijn die een voldoende grote bedreiging vormen. Bedreigend zijn explosies die een drukgolf veroorzaken die groter is dan 0,1 tot 0,15 bar binnen de hekken van het centralecomplex. Deze drempel wordt niet gehaald.

Een uitzondering vormen scheepsongelukken waarbij een LPG-tanker is betrokken. Hoewel deze schepen goed beveiligd zijn tegen ongelukken, is het theoretisch mogelijk dat een grote gaswolk in de buurt van de kerncentrale tot ontploffing komt.

- 1 Primaire systeem in gebunkerde ruimtes
- 2 Centimeters dikke stalen bol (*containment*)
- 3 Betonnen veiligheidsomhulling



Er zijn twee scenario's:

1. Het gas komt direct na de aanvaring tot ontploffing.
2. Het **ontploffte gas 1** drijft naar het centralecomplex en **ontploft 2** daar.

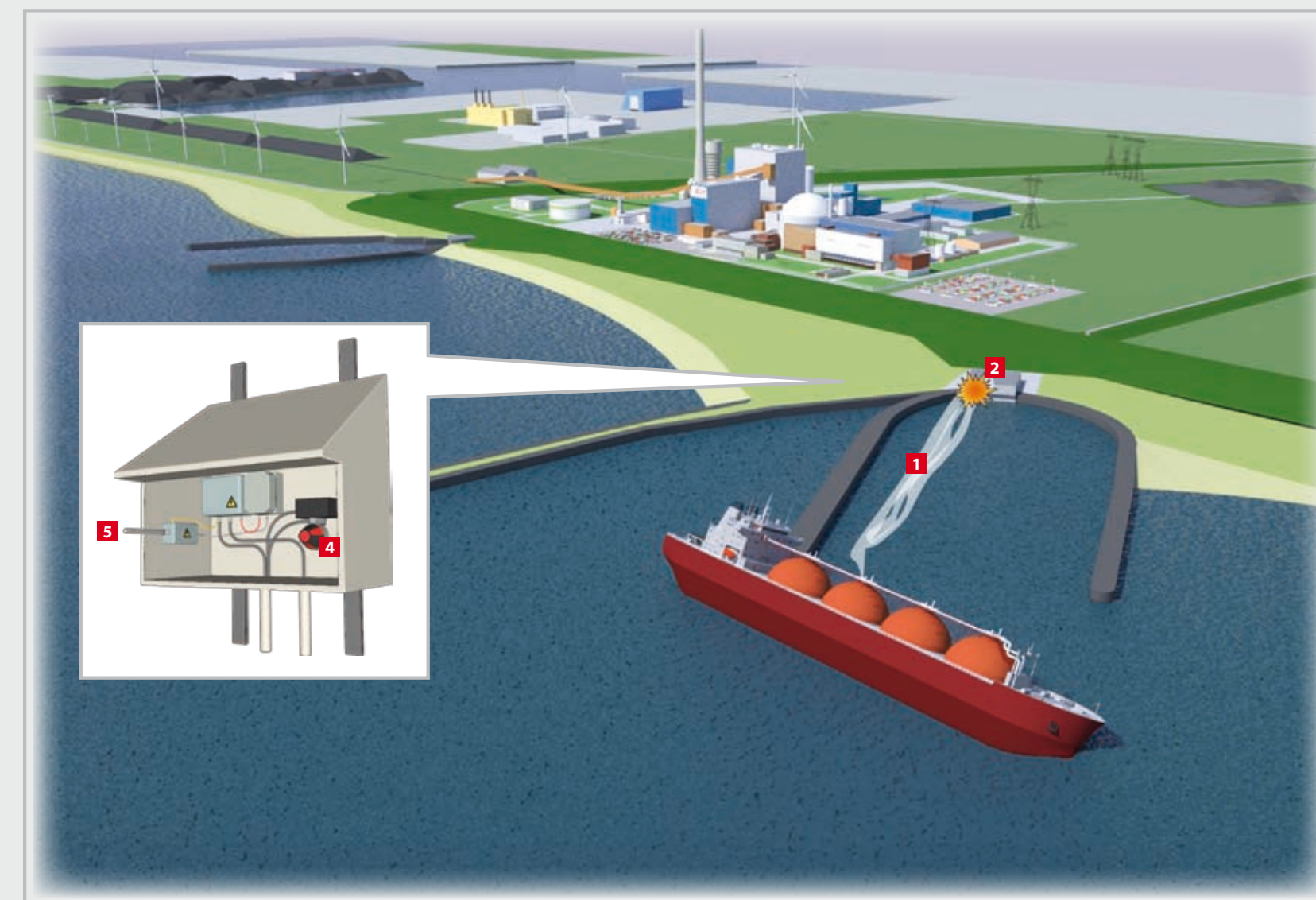
In beide gevallen krijgt de KCB te maken met thermische en drukeffecten. Daarom zijn alle vitale (veiligheids)systemen en gebouwen voor koeling en elektriciteit gecontroleerd op brand- en explosiebestendigheid.

Als gas uit een LPG tanker direct ontploft, komt de drukgolf op het terrein van de KCB niet boven de 0,1 bar. De hitte-intensiteit is bedreigend voor mensen die zich op het terrein bevinden, maar de regelzaalmedewerkers lopen geen gevaar. Ook zal de hitte de gebouwen van de kerncentrale niet beschadigen.

Als een LPG-wolk richting de KCB beweegt, zal dat over het wateroppervlakte gebeuren (LPG is zwaarder dan lucht). Op de dijk staan twee

detectoren 4 en **ontstekers 5** die de gaswolk buitendijks tot ontbranding brengen. De drukgolf blijft onder de 0,1 bar, maar de hitte intensiteit zal het complex beschadigen en slachtoffers maken. De vitale systemen zullen hitte en druk overleven, waarna de centrale automatisch veilig uit bedrijf gaat. De belangrijkste gebouwen (reactorgebouw, gebouwen met hulp- en veiligheidssystemen zoals de reserve regelzaal) kunnen drukgolven van 0,3 tot 0,54 bar doorstaan.

Nadat de kerncentrale automatisch naar een veilige toestand gaat, is de autarkieperiode van tien uur (veilig zonder menselijk ingrijpen) lang genoeg om maatregelen te treffen op het gebied van personeel en materieel.



Interne brand

Bij het ontwerp van de kerncentrale en de later ingebrachte veiligheidsmaatregelen is uitgebreid aandacht besteed aan preventie, detectie en bestrijding van brand. Er is gebruik gemaakt van brandwerende of onbrandbare materialen, vitale installatiedelen zijn meervoudig en gescheiden uitgevoerd, interne ruimtes gecompartmenteerd. Per locatie zijn specifieke detectie- en blusinstallaties aangelegd.

Voor het robuustheidsonderzoek wordt er vanuit gegaan dat vitale ruimtes en installatiedelen worden getroffen door brand.

De conclusie is dat ook bij een zeer grote brand die tegelijkertijd woedt in verschillende gebouwen verspreid over het terrein de nucleaire veiligheid gewaarborgd is. Er zijn bij alle scenario's voldoende systemen om de kern te koelen.



De brandweerorganisatie van EPZ beschikt over een ex-militaire *crash tender*. Dit schuimblusvoertuig kan worden ingezet bij transportongevallen en grote vloeistofbranden.

Externe brand

De dichtstbijzijnde potentiële oorzaak van een grote brand is de naastgelegen kolencentrale. De diverse brandhaarden zijn beoordeeld en blijken geen directe bedreiging voor de kerncentrale te zijn. Indirecte gevolgen, zoals het verlies van het externe net, vallen onder de gebeurtenissen die door het ontwerp worden beheerst.

Vliegtuigongeluk

Vliegtuigbestendigheid van de KCB is geen oorspronkelijke ontwerp eis en pas in de jaren negentig van de vorige eeuw ingebracht. Omdat de kerncentrale niet op een aanvliegroute voor grote verkeersvliegtuigen ligt, is rekening gehouden met een botsing door een klein vliegtuig. In de buurt ligt namelijk een klein vliegveld voor, met name, recreatieverkeer.

Na 9/11 2001 is er onderzoek gedaan naar 'buiten ontwerp ongevallen' met vliegtuigen. Van zustercentrales van kerncentrale Borssele is bekend dat zij bestand zijn tegen een impact met een *Starfighter* jachtvliegtuig of een Boeing 707 passagiersvliegtuig. Van Amerikaanse kerncentrales is aangetoond dat de gevolgen van een impact van een Boeing 767 beheerst kunnen worden.

Voor de kerncentrale Borssele tonen analyses aan dat een middelgroot verkeersvliegtuig het *containment* niet zal doorbreken. Het is bekend dat het *containment* een flinke marge over heeft voor een zwaardere impact. Echter, voor nog grotere toestellen zoals de Boeing 767 kan de weerstand van het *containment* niet worden aangetoond.

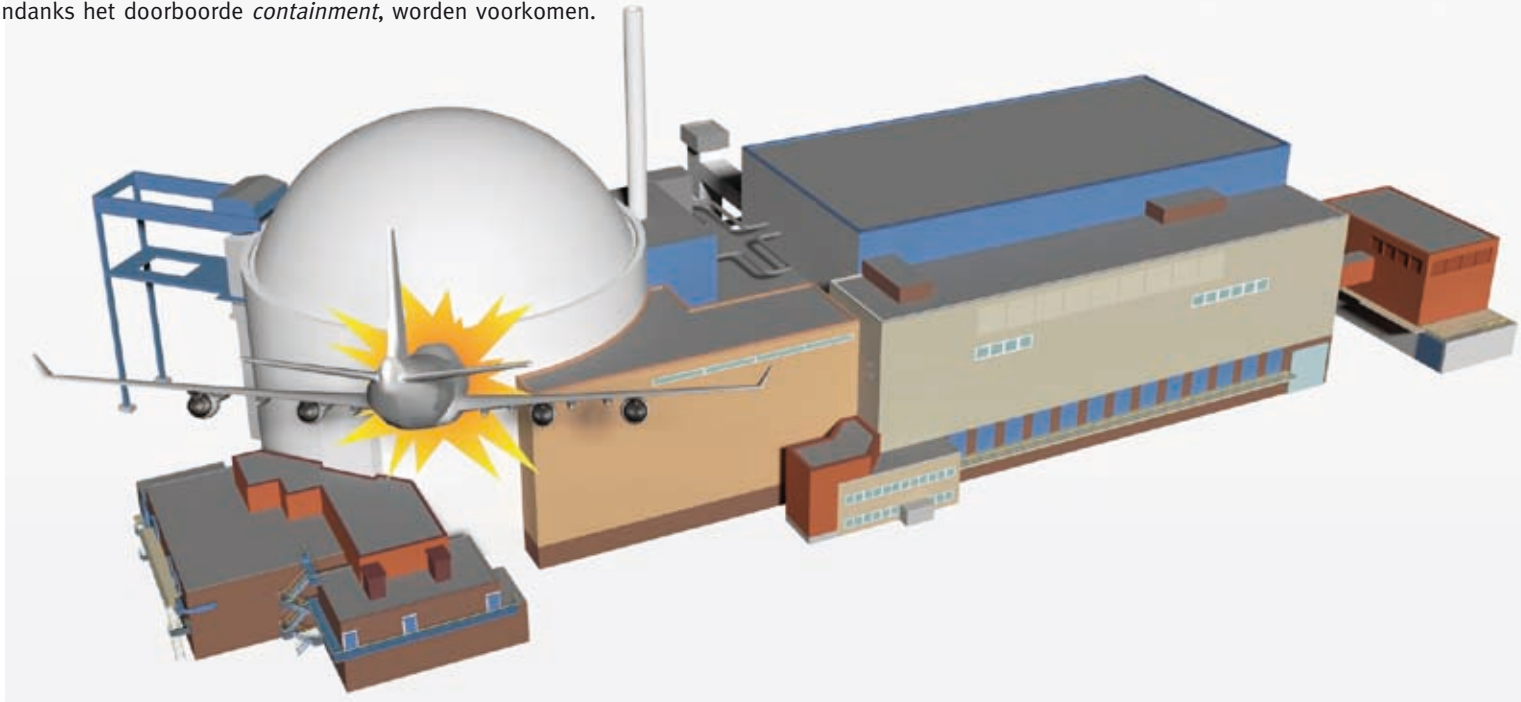
Voor dit robuustheidsonderzoek wordt uitgegaan van een vliegtuigongeluk met een Boeing 747 uit vier verschillende richtingen. Het vliegtuig raakt direct één of meer vitale gebouwen en er volgt een kerosinebrand.

Er zijn vier scenario's vastgesteld voor het verloop van het incident. Een deel wordt al afgedekt in de bestaande *Severe Accident Management Guidelines*. Voor de specifieke kenmerken in deze scenario's zijn aanvullende draaiboeken geschreven voor het bestrijden van de gevolgen. Daarin is ook bijstand door de overheid opgenomen.

Gedetailleerde mededelingen over scenario's en maatregelen worden vanuit security overwegingen niet gedaan.

Boeing 747 op het (theoretische) moment van impact. De schade rondom het inslagpunt zal enorm zijn (kantoren, turbinehal, etc.). Door de spanwijdte en de constructie van het vliegtuig zullen veel onderdelen op de kerncentrale afketsen. Het *containment* raakt door de motoren waarschijnlijk beschadigd. Het reactorvat zit diep in het *containment* goed beschermd in een eigen bunker.

De automatische bediening van de kerncentrale grijpt in. Eventueel met ondersteuning van *Severe Accident Management Measures* (menselijk ingrijpen) wordt de kern gekoeld. Een kerosinebrand wordt bestreden met de *crash tender* die op afstand staat. Daardoor kan een nucleaire lozing, ondanks het doorboorde *containment*, worden voorkomen.



Giftige gassen

Mogelijke bronnen voor verspreiding van toxische gassen kunnen de transportsector, de omliggende industrie of voorraden van EPZ zelf zijn. Een ongeluk met toxische gassen zal geen bedreiging zijn voor de installatie, mogelijk wel voor het bedienend personeel. Relevant voor de nucleaire veiligheid is het mogelijke effect op medewerkers in de regelzaal, de reserve-regelzaal en in de vitale ruimtes met (nood)bedieningsapparatuur.

De regelzaal is uitgerust met een luchtbehandelingsinstallatie die is voorzien van filters en detectoren. In geval van een alarm kan worden overgegaan op recirculatie van lucht. Ook beschikken de medewerkers over hervulbare persluchtmaskers.

Ook als de luchtbehandeling faalt en de regelzaalmedewerkers niet meer beschikbaar zijn, ontstaat geen gevaarlijke situatie. Een opgeroepen reserve wachtploeg kan (eventueel vanuit de reserve regelzaal) de kerncentrale bedienen.

Grote netverstoringsen

De kerncentrale is gekoppeld aan het landelijk net voor levering en betrekking van elektriciteit. In het landelijk elektriciteitsnet kunnen verstoringen optreden zoals kortsluiting, frequentieverstoringsen, overspanning of spanningsdips.

Hoewel de onderzochte scenario's kunnen leiden tot grote economische schade door kapotte transformatoren en schade aan turbines en andere componenten, is er geen effect op de nucleaire veiligheid. Bij grote verstoringen wordt de koppeling met het elektriciteitsnet verbroken en opereert de kerncentrale als een eiland met een eigen elektriciteitsvoorziening.

ICT-bedreigingen

Millennium-bug-achtige gebeurtenissen of computervirussen bedreigen ICT-systemen. In de kerncentrale vindt bediening hoofdzakelijk plaats met niet-ICT gestuurde instrumentatie. Ondersteunende ICT-systemen die procesinfor-



matie presenteren, zijn echter wel van buiten de kerncentrale benaderbaar, bijvoorbeeld door toezichthouders en leveranciers. Theoretisch kan via deze ingang procesinformatie worden verstoord waardoor verwarring ontstaat bij de regelzaalmedewerkers.

Regelzaalmedewerkers zijn getraind om in geval van nood geen gebruik te maken van de gepresenteerde procesinformatie. Als regelzaalmedewerkers ongemerkt valse informatie krijgen gepresenteerd over de conditie van de kerncentrale, zal dit geen effect hebben op de nucleaire veiligheid. De automatische bediening maakt geen gebruik van software en staat dus los van de theoretisch benaderbare ICT-systemen.

Interne overstromingen

In de primaire, secundaire en noodsystemen zijn grote hoeveelheden water aanwezig. Door breuk of lek kunnen ruimtes overstroomd raken. Per systeem is vastgesteld hoeveel water er naar welke ruimte uit kan stromen. Ook is vastgesteld tot welke overstromingshoogte dit leidt en welke instrumenten onder water komen te staan. Tenslotte is gekeken naar externe overstromingsbronnen (uit omliggende systemen) die de situatie kunnen verergeren.

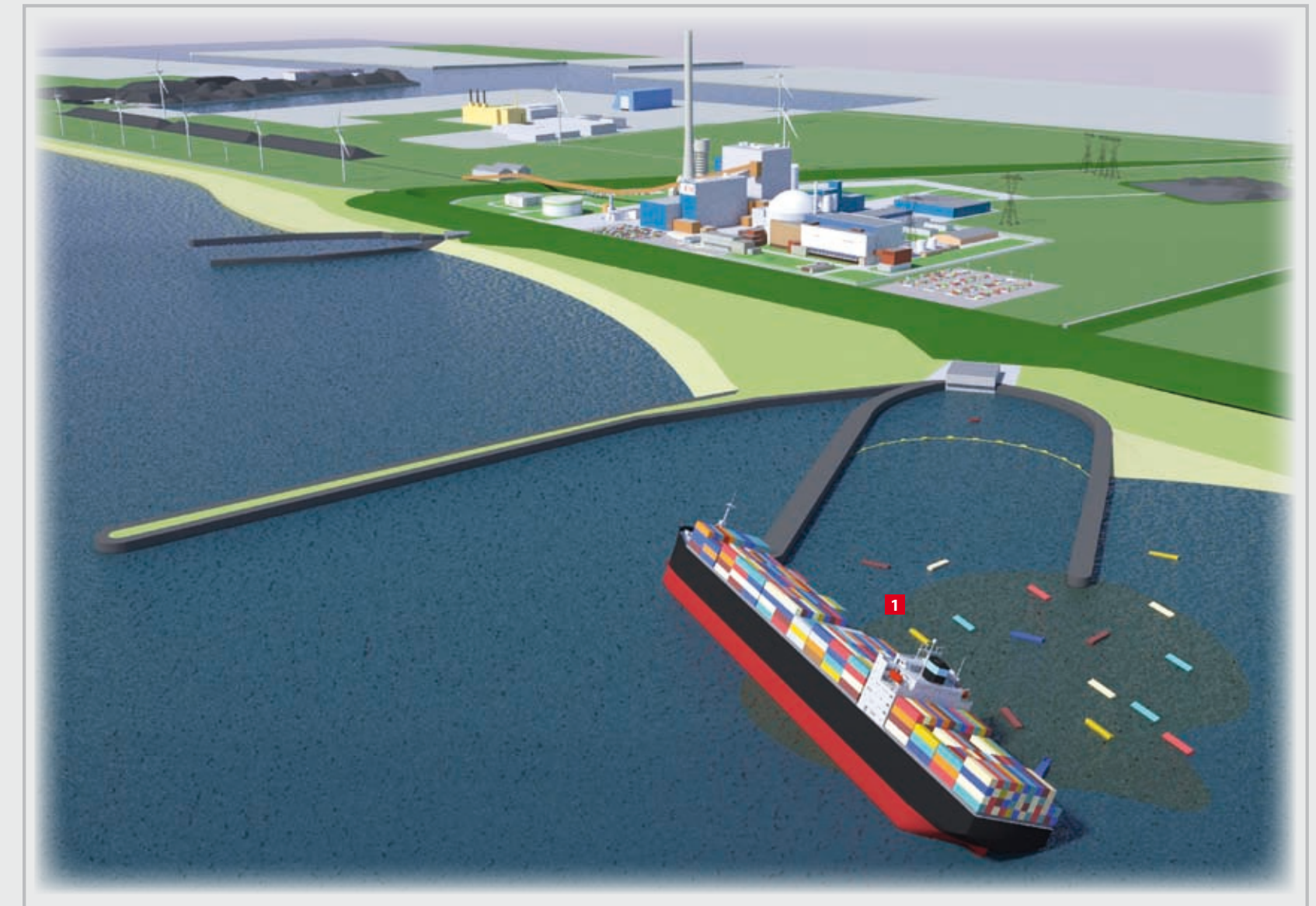
Door compartimentering, redundanties in systemen en overstromingsbestendigheid van de relevante onderdelen blijkt dat geen enkel intern overstromingsscenario een effect heeft op de nucleaire veiligheid.

Blokkering koelwaterinlaat

Een blokkade van de **koelwaterinlaat** 1 kan meerdere oorzaken hebben, zoals:

- het stranden van een schip.
- een biologische fenomeen (kwallen).

Als koelwater plotseling wegvalt wordt de kerncentrale uit bedrijf genomen of gaat automatisch uit bedrijf. Er wordt overgegaan op één van de (meerdere) mogelijkheden om af te koelen of na te koelen.



Severe Accident Management

In de kerncentrale Borssele is alles er op gericht om te voorkomen dat procesverstoringen leiden tot schade aan de splijststofelementen. Tegelijk is EPZ er op voorbereid om te kunnen handelen als splijststofschaade niet meer is uit te sluiten. Er zijn procedures, afspraken en materieel om te voorkomen dat splijststofschaade tot gevolgen buiten de centrale leidt. Als ook dat niet meer kan worden voorkomen, treden procedures in werking om de gevolgen te beperken.

Deze procedures zijn gebundeld in zogenaamde *Severe Accident Management Guidelines* (SAMG's).

De SAMG's worden gehanteerd door de Alarmorganisatie van EPZ die bijeen wordt geroepen om ernstige incidenten te bestrijden.

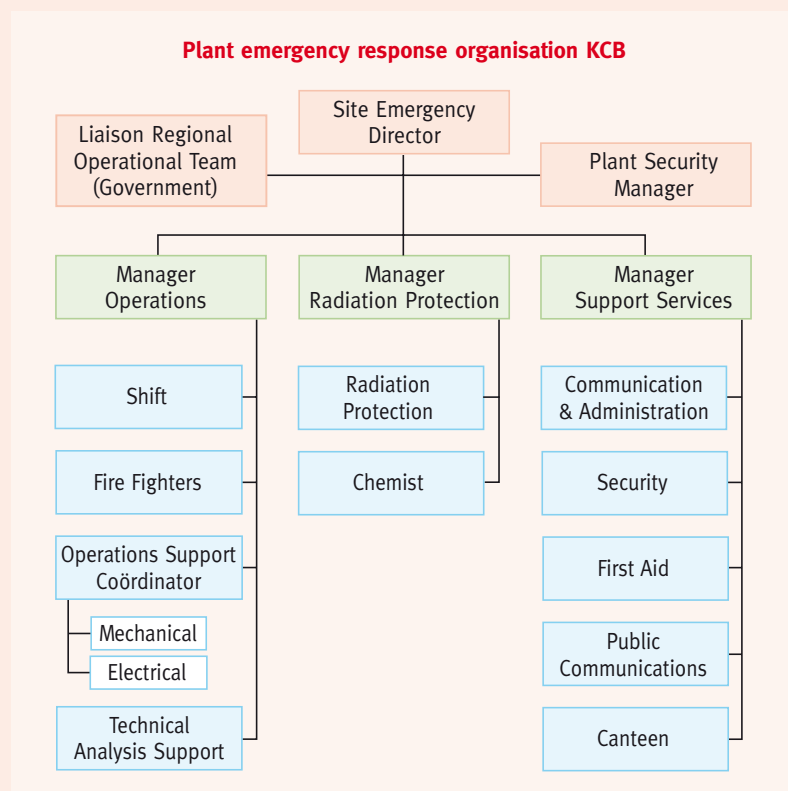
Procedures voor de beheersing van procesverstoringen

- Voor 'gewone' storingsen zijn er Storingeninstructies. Hiermee wordt na een foutmelding de normale bedrijfsvoering weer hersteld.
- Voor bijzondere en zeldzame storingsen zijn de Nood Bedienings Procedures (NBP). Bij deze storingsen hoeven de regelzaalmedewerkers de eerste dertig minuten geen bedieningen uit te voeren omdat het reactorbeveiligingssysteem ingrijpt. Aan de hand van de NBP's en procesparameters volgen de regelzaalmedewerkers het verloop van de storing en houden rekening met bijkomende storingsen.
- Als de storing zich voortzet en een veiligheidsfunctie faalt, dan neemt een regelzaalmedewerker een onafhankelijke positie in tijdens dit proces. Aan de hand van de Functie Herstel Procedures (FHP) checkt hij het verloop van de storingsafhandeling door de collega's en het automatische reactorbeveiligingssysteem. Er wordt gecontroleerd of er geen zaken over het hoofd worden gezien.
- Als de storingsafhandeling faalt, kunnen de splijststofelementen ernstig beschadigd raken en een kernsmeltscenario ontstaan. In dat geval spreken we van een nucleair ongeval en wordt overgegaan op de *Severe Accident Management Guidelines* (SAMG's). Daarmee beschermen de medewerkers de overblijvende barrières tussen de nucleaire inhoud van de kern en het milieu. Met de SAMG's wordt een lozing van radioactieve stoffen naar de omgeving voorkomen of beperkt.

Alarmorganisatie

Voorbereid zijn op een nucleair ongeluk begint bij het structureren van de responsorganisatie. Door het toeschrijven van taken en verantwoordelijkheden en deze ook duidelijk te scheiden en te omschrijven, weten mensen wat zij moeten doen in bijzondere omstandigheden. Cruciale functies worden over meerdere personen verdeeld zodat er rondom de klok personen beschikbaar zijn om de responsorganisatie te bemensen. Ook is goed gekeken naar het vermijden van 'gelijktijdigheid'. Een voorbeeld: wie een belangrijke functie op de regelzaal vervult, kan niet tegelijkertijd een functie in de alarmstaf vervullen.

Het resultaat van het structureren van taken en verantwoordelijkheden en deze verdelen over (meerdere) mensen leidt tot de interne alarmorganisatie



met een éénhoofdige leiding. Die krijgt de verantwoordelijkheid zodra de chef van de wacht (tijdens normaal bedrijf) een ernstig afwijkende gebeurtenis constateert. De responsorganisatie kan met een druk op de knop worden geactiveerd, via consignatiediensten is de bemanning van de alarmorganisatie altijd paraat.

Werkwijze alarmorganisatie

De alarmorganisatie activeert de regionale en landelijke overheidsdiensten (onder andere Veiligheidsregio Zeeland, KernFysische Dienst). Verder onderhoudt de alarmorganisatie contacten met de *Krisenstab* in Duitsland. De *Krisenstab* is de alarmstaf van de leverancier van de KCB en beschikt over alle details van de kerncentrale. Tenslotte kan de alarmorganisatie via de regionale meldkamer in Middelburg direct assistentie inroepen van hulpdiensten; er is bijvoorbeeld een contract met regionale ziekenhuizen voor directe hulp bij (stralings)ongevallen.

Elk incident wordt door de wacht op basis van een procedure afgehandeld. Daarin staat precies vermeld wanneer de alarmorganisatie wordt geactiveerd. Onder leiding van de *Site Emergency Director* wordt vervolgens bepaald hoe en op welke schaal er gereageerd wordt. Zonodig wordt vanuit de KCB een *liaison* gedetacheerd bij het Regionaal Operationeel Team (ROT) van de Veiligheidsregio. De *liaison* van EPZ staat in contact met de *Site Emergency Director* op de kerncentrale en kan ter plekke het beleidsteam van de Veiligheidsregio adviseren en informeren over de stand van zaken op de kerncentrale. Zaken van openbare orde worden door de overheid afgehandeld. Alle mogelijke (en veel onmogelijk geachte) gebeurtenissen zijn voorbereid

en worden regelmatig geoefend. Regelzaalmedewerkers trainen het afhandelen van extreme gebeurtenissen op de simulator in het Duitse Essen. Het voorbereid-zijn van deze operationele mensen is cruciaal. Daardoor hoeft de leiding van de alarmorganisatie zich niet bezig te houden met de bediening van de centrale. De alarmstaf kan zich volledig concentreren op het bestrijden van het incident, de coördinatie van de hulpverlening en de contacten met externe partijen.

De kerncentrale beschikt over procedures en de benodigde inzetbare hardware voor het geval een nucleaire ongeval zich dreigt te ontwikkelen tot een lozing van radioactieve stoffen naar de omgeving. Daaronder zijn brandweerwagens met pompen en een *crash tender* (blusvoertuig voor vloeistofbranden) en er staat een mobiele noodstroomdiesel op het terrein. Verder beschikt EPZ over een groot magazijn voor reserve installatiedelen en contracten voor bevoorrading.

Voor communicatie en huisvesting van de alarmorganisatie beschikt de KCB over een commandobunker met telecommunicatievoorzieningen (radioverbindingen, nationaal noodnet, internet, telefax). Met alle interne en externe partijen kan via meerdere kanalen worden gecommuniceerd.

Belemmerende factoren

De commandobunker is voor de meeste gebeurtenissen beschikbaar, maar in sommige gevallen (zoals bij overstromingen) moet naar een reserve-locatie in de kerncentrale worden uitgeweken. Deze reservelocatie kan nog verder worden verbeterd. Ook wordt gekeken naar reservelocaties op wat grotere afstand van de kerncentrale.

Bij ernstige verwoesting van de omgeving en de infrastructuur (bijvoorbeeld: overstroming), kan het zijn dat medewerkers en materieel niet over de normale toegangswegen bij de centrale kunnen komen. In dat geval kunnen deze bijvoorbeeld via helikopters worden aan- en afgevoerd. Er is op de locatie voldoende ruimte om te landen. De truck voor verplaatsing van de mobiele dieselgenerator heeft in dat geval moeite de locatie te bereiken.

Een overstroming of aardbeving kan de toegang tot de gebouwen van de centrale bemoeilijken waardoor dat meer tijd kost dan normaal. De centrale kan tien uur zonder menselijk ingrijpen een veilige, gecontroleerde toestand handhaven. Op de locatie zijn meerdere, grote voorraden dieselolie en water. Met middelen waarmee eenvoudig grote hoeveelheden dieselolie of water naar de juiste plek worden gebracht kan tijd worden gewonnen wat extra veiligheidsmarge creëert.

Interne en externe communicatievoorzieningen kunnen als gevolg van bijvoorbeeld overstroming of aardbeving onbruikbaar raken. Er zijn meerdere, onafhankelijke communicatiemiddelen, maar het is niet ondenkbaar dat ze in zo'n situatie niet of slechts beperkt werken. Nieuwe, aanvullende communicatiemiddelen die 'ongevoelig' zijn voor extreme gebeurtenissen kunnen nuttig zijn.

Instrumentatie voor de bediening van (vitale systemen) van de kerncentrale is ontworpen voor extreme omstandigheden waaronder 'kernsmelt-omstan-

digheden'. Belangrijke informatie wordt met meerdere, onafhankelijke metingen vergaard. In de SAMG's zijn ook tabellen met informatie opgenomen voor situaties waarin cruciale instrumentatie toch faalt.

Risico's voor medewerkers en hulpverleners bij het bestrijden van een incident

Nederland kent dosislimieten voor publiek en medewerkers. EPZ heeft voor haar medewerkers lagere dosislimieten vastgesteld. Bij een (dreigend) nucleair ongeval gelden voor specifieke acties hogere limieten. Medewerkers worden zoveel mogelijk tegen straling beschermd, de dosis die zij oplopen wordt geregistreerd. Wie zijn maximale dosis bereikt, wordt gewisseld. In zeer extreme situaties kan het nodig zijn langdurig personeel in te zetten en wordt een beroep op externen gedaan. Dergelijke ondersteuning is momenteel niet geformaliseerd.

Stralingslimieten KCB

Wettelijke limiet	20 mSv per jaar
EPZ bedrijfslimiet	3 mSv per jaar
Normaal jaargemiddelde bij EPZ	0,5 mSv

Ongevalsoomstandigheden

Levensreddende handelingen	500 mSv
Operationele handelingen	100 mSv
Ondersteunende (logistieke) handelingen	100 mSv

Als er sprake is van een nucleair ongeval, zal het *containment* de radioactiviteit binnenhouden. Indien nodig kan de druk in het *containment* via zeer robuuste filterstraten worden afgeblazen op de buitenlucht. Door de filtering heeft dat een beperkte radioactieve emissies als gevolg.

In al deze omstandigheden zullen cruciale posities op de centrale worden bemand. Mensen worden gewisseld om de individuele dosis zo veel mogelijk te beperken of als zij hun dosislimiet bereiken. Vitale ruimtes zijn gas- en stralingsdicht en beschikken over eigen luchtbehandelingsinstallaties om medewerkers en hulpverleners te beschermen.

Conclusie organisatie

De KCB beschikt over een adequate organisatie die in overeenstemming is met wettelijke voorschriften en is ingebed in een grotere overheidsorganisatie om de gevolgen van een nucleair incident te bestrijden. Verantwoordelijkheden en taken zijn duidelijk toegeschreven en verdeeld over meerdere functionarissen. Er zijn afspraken voor internationale ondersteuning en er wordt met regelmaat getraind en geoefend.

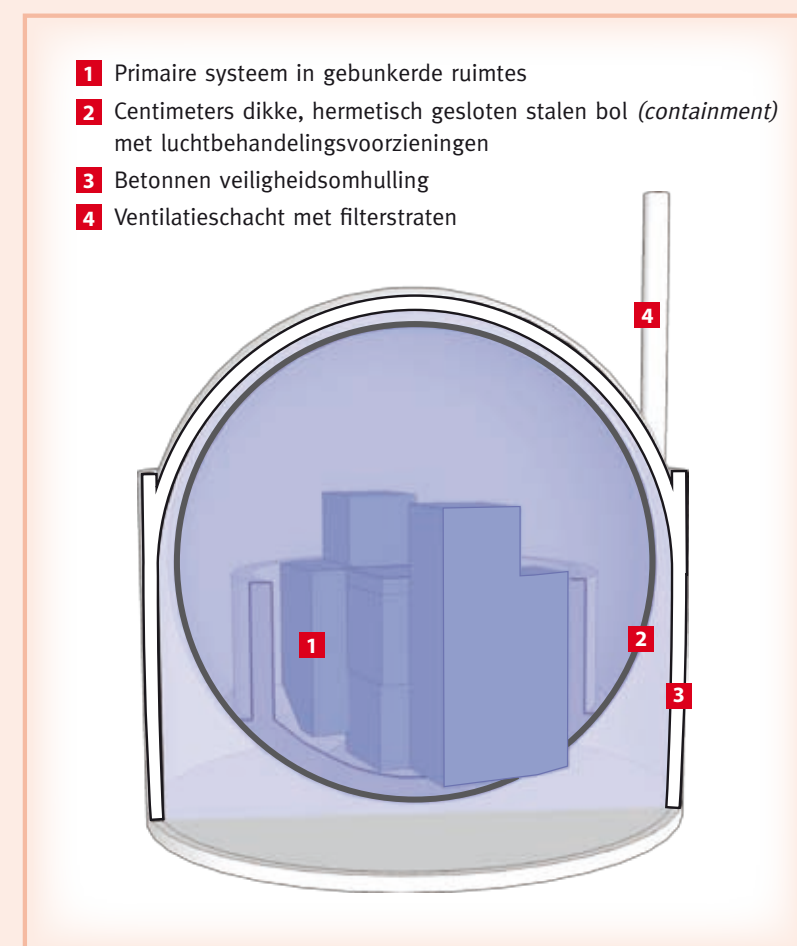
Maatregelen in de diverse fases bij het scenario verlies van kernkoeling

De eerste fases, waarin nog geen splijstofschaade optreedt, zijn beschreven in module 4. In deze fases worden procedures gebruikt voor het voorkomen van splijstofschaade.

Fase met splijstofschaade, reactorvat intact

In deze fase worden de SAMG's gebruikt, waarmee de overblijvende barrières worden beschermd. Daarnaast wordt kernsmelt bestreden en gewerkt aan een stabiele, gecontroleerde toestand van de centrale. Ten slotte wordt de 'nazorgfase' voorbereid om deze stabiele toestand gedurende een lange termijn zeker te stellen.

Eén van de te beschermen barrières is het nog intacte reactorvat. In kerncentrale Borssele is het niet mogelijk het reactorvat van buitenaf te koelen. Bescherming van het reactorvat is daardoor alleen mogelijk door water naar het primaire systeem te brengen om de splijststof te koelen.



Fase na falen van het reactorvat

Als het reactorvat faalt, komt het gesmolten deel van de kern in aanraking met het onderliggende beton. De gesmolten massa zal zich langzaam verspreiden. Acties zijn er vervolgens op gericht om (delen van) de kern te koelen buiten het reactorvat, maar binnen het *containment*.

Maatregelen ter bescherming van het *containment*

De belangrijkste barrière bij ernstige splijstofschaade is het *containment* (de bol). Aan de hand van de SAMG's worden acties gericht op het beschermen van het stalen *containment*. De bol zorgt voor de insluiting van de radioactieve materialen die uit de kern vrijkomen. Zolang het *containment* standhoudt, vindt er geen radioactieve lozing naar de omgeving plaats die waartegen de bevolking beschermd moet worden.

- Om het *containment* tegen overdruk te beschermen, kan gesproeid worden met water (koelen) waarna de druk afneemt. Sproeien met water en chemicaliën (*scrubbing*) is bovendien een adequaat middel om splijtingsproducten uit de lucht te 'wassen'. Ook kan het *containment* via filterstraten worden 'ontlucht'. Door kleppen te openen, wordt overdruk (via filters) afgeblazen naar de omgeving. De radioactieve emissies zijn gering.
- Oververhitte splijstofelementen reageren met stoom, waarbij waterstof vrijkomt. Om een waterstofexplosie te voorkomen, zorgen waterstof-recombinatoren ervoor dat waterstof zonder ontbranding gebonden wordt aan zuurstof tot water. De recombinatoren hebben (platina) katalysatoren en functioneren zonder elektriciteit of bedieningsingrepen. In de KCB zijn deze recombinatoren alleen nodig in scenario's met ernstige splijstofschaade. Zij zijn speciaal ontworpen en geïnstalleerd voor die extreme omstandigheden. In het uiterste geval kan waterstof via filters geventileerd worden op de buitenlucht.
- De KCB beschikt niet over een '*core catcher*', een voorziening die de kern opvangt als hij door het *containment* heen smelt. Een gesmolten kern buiten het reactorvat kan alleen worden gekoeld door via het primaire systeem water toe te voeren.
- Een gesmolten kern reageert met beton waarbij opnieuw waterstof ontstaat. In de KCB is carbonaatrijk beton gebruikt waardoor vooral onbrandbaar kooldioxide ontstaat. Daarnaast ontstaat (giftig) koolmonoxide, de recombinatoren zetten ook koolmonoxide om in kooldioxide.

De SAMG's maken gebruik van instrumentatie om de condities in het *containment* te kunnen bewaken en monitoren zoals druk- en temperatuurmetingen, waterstofconcentratieingen en bemonstering van de atmosfeer in het *containment*.

Conclusie maatregelen ter bescherming van het *containment*

De overall conclusie van het robuustheidsonderzoek is dat binnen de beschikbare mogelijkheden van het ontwerp de KCB goed is voorbereid met maatregelen om het *containment* te beschermen.

Maatregelen tot beperking van radioactieve emissies

In de SAMG's zijn diverse strategieën en acties geformuleerd om, als het tot een radioactieve emissie komt, deze te beperken. Luchtkoelinstallaties, sproeiinstallaties (water met chemicaliën), recirculatievoorzieningen en gefilterde ventilatie moeten de hoeveelheid radioactiviteit beperken die bij overdruk naar de omgeving wordt geventileerd. Deze voorzieningen worden ingezet bij een beschadigde kern en bij het droogkoken van het bassin met gebruikte splijststof.

Conclusie maatregelen tot beperking van radioactieve emissies

De voorbereidingen zijn adequaat bevonden.

Verbetermogelijkheden module 6: Severe Accident Management

P1	'Extensive Damage Management Guides' (EDMG) en trainingsprogramma. Voorbeelden zie pagina 65.
M1	Voorzieningen die het Alarm Controle Centrum (<i>Emergency Resposn Centre</i>) tijdens alle voorziene ongevallen operationeel houden.
M2	Opslagvoorzieningen die toegankelijk zijn voor de alarmorganisatie na alle voorziene ongevallen (mobiele apparatuur, gereedschap en materialen).
M7	Het voorzien in onafhankelijke spraak- en datacommunicatie onder ongunstige condities, zowel intern als extern (bijvoorbeeld satelliettelefoons).

Verbetermogelijkheden

Er is een inventarisatie gemaakt van maatregelen waarmee de robuustheid van de kerncentrale (mogelijk) kan worden vergroot. In enkele gevallen is dat meteen duidelijk en zijn maatregelen al genomen of al in gang gezet. Dit betreft vooral de rubrieken M en P. In andere gevallen is nader onderzoek nodig waar nog dit jaar mee wordt begonnen (rubriek M). De omvangrijkste studies in rubriek S worden begin 2012 ingepland.

Het onderstaande overzicht is onderverdeeld in vier rubrieken:

M **Maatregelen waarbij de implementatie waarschijnlijk tot modificaties in de installatie leidt.**

Nader onderzoek moet uitwijzen welke uitvoering van deze maatregel tot een optimaal leidt.

S **Studies om uitspraken (engineering judgement) over belangrijke marges nader te onderbouwen.**

Studies die moeten uitwijzen of een potentiële maatregel realiseerbaar is en tot de gewenste verbetering leidt. Deze studies vergen meer tijd, capaciteit en de betrokkenheid van externe deskundigen. Enkele studies zijn al in de lopende Tienjaarlijkse Veiligheidsevaluatie opgenomen, anderen zullen begin 2012 worden ingepland.

P **Procedures waarmee in extreme situaties de marges tot kernschade of tot een nucleaire lozing verder kunnen worden vergroot.**

Op het gebied van ongevalsbeheersmaatregelen (*Severe Accident Measures*) is EPZ voorbereid. Echter, improvisatie met beschikbare hulpmiddelen op basis van de bevindingen ter plekke is een belangrijke taak van de alarmorganisatie. Daarbij kunnen voorbereide werk-instructies de implementatietijd van een handeling bekorten.

H **Overzicht van (extra) aan te schaffen hulpmiddelen uitsluitend voor gebruik door de alarmorganisatie.**

Door snelle beschikbaarheid en inzet wordt de autonomie van de kerncentrale vergroot.

Maatregelen die de veiligheidsmarge vergroten	
M1	Voorzieningen die het Alarm Coördinatie Centrum (<i>Emergency Respons Centre</i>) tijdens alle voorziene ongevallen operationeel houden.
M2	Opslagvoorzieningen die toegankelijk zijn voor de alarmorganisatie na alle voorziene ongevallen (mobiele apparatuur, gereedschap en materialen).
M3	Een mogelijkheid voor het bijvullen van het splijststofopslagbassin zonder het <i>containment</i> binnen te gaan.
M4	Extra mogelijkheden voor het bijvullen van het splijststofopslagbassin vergroot het aantal succespaden.
M5	Beperken aansluittermijn van de mobiele dieselgenerator tot twee uur.
M6	Mogelijkheid om ongebruikte voorraden dieselolie over te brengen naar actieve dieselgeneratoren.
M7	Het voorzien in onafhankelijke spraak- en datacommunicatie onder ongunstige condities, zowel intern als extern (bijvoorbeeld satelliettelefoons).
M8	Het waarborgen van de beschikbaarheid van vaste brandblusvoorzieningen na een aardbeving in vitale delen van de installatie (watertransport voor koeling).
M9	Het verlengen van de autarkietijd voorbij tien uur zou de installatie in het algemeen meer robuust maken.
M10	Het waarborgen van de beschikbaarheid van het drukafblaassysteem van het <i>containment</i> na een aardbeving.
M11	Bescherming gebunkerde gebouwen tegen watergolven bij extreem hoog water maakt de kerncentrale volledig onafhankelijk van de zeedijk.

Studies naar mogelijkheden die de veiligheidsmarge verder vergroten of die *engineering judgement* bekrachtigen

Binnen de beschikbare tijd van het robuustheidsonderzoek konden geen uitgebreide studies worden gedaan. Daarom is in een aantal gevallen conservatieve *engineering judgement* gebruikt voor het vaststellen van marges.

S1	Een onafhankelijk reserve koelsysteem voor het splijststofopslagbassin. In 10EVA13 zal dit onderzocht worden.
S2	In 10EVA13 zullen maatregelen onderzocht worden voor het verder vergroten van de marges in geval van overstroming.
S3	Onzekerheid over de marges in geval van een aardbeving wordt beperkt met nader seismisch onderzoek. Gepland voor 10EVA13.
S4	In 10EVA13 zullen mogelijkheden onderzocht worden voor het versterken van de externe stroomvoorziening (netkoppeling).
S5	Uitgebreider gebruik van stoom als krachtbron voor het aandrijven van pompen en generatoren (bij verlies van elektriciteit).
S6	Uitgebreidere studie naar de impact op de veiligheidsfuncties van het neerstorten van verschillende vliegtuigen.
S7	In 10EVA13 zullen waterstofanalyses en -studies worden bekeken en waar nodig worden vernieuwd of uitgebreid.

Procedures kunnen de organisatie en de installatie robuuster maken ten aanzien van externe invloeden

	<p><i>'Extensive Damage Management Guides'</i> (EDMG) en trainingsprogramma. Voorbeelden:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Bijvullen van het splijststofopslagbassin ■ Directe injectie van brandbluswater in het splijststofopslagbassin met een flexibele slang ■ Koeling van het splijststofopslagbassin met het reserve bassinkoelsysteem aangevuld met het brandblussysteem ■ Koppeling van het koudwatersysteem aan de zuigzijde van de bassinkoelpompen ■ Procedure voor koeling van het splijststofopslagbassin (overvullen, bijvullen) ■ Flexibele slang aansluitingen aan het bassinkoelsysteem en het splijststofopslagbassin ■ Procedures voor het van personeel voorzien van de reserve regelzaal
P1	<ul style="list-style-type: none"> ■ Procedure voor directe injectie door het brandblussysteem in het reserve noodkoelwatersysteem ■ Gebruik van autonome mobiele pompen ■ Mogelijke methodes voor reparatie van grotere bassinlekkages ■ Procedure voor het transporteren van eigen personeel naar de locatie ■ Procedure voor het tewerkstellen van personeel voor langere termijn ■ Koppeling van noodstroomnet 1 en 2 ■ Koppeling van de kolencentrale met noodstroomnet 1 ■ Het op tijd ontkoppelen van lager gelegen elektrische rails in geval van overstroming ■ Alternatieve watertoevoer naar het brandblussysteem
P2	Waarborgen van het op tijd uitvoeren van de benodigde acties voor watertoevoer, in geval van uitval van wisselspanning tijdens bedrijf met gedeeltelijk gevuld primair systeem, door training van de procedure.
P3	Ontwikkel checklijsten voor controlerondes en benodigde acties na diverse niveaus van voorziene gebeurtenissen.

Hardware is nodig voor de uitvoering van de bovengenoemde procedures.

Hieronder voorbeelden van apparatuur die aangeschaft wordt (niet uitputtend)

- Mobiele hoogvolume pomp
- Mobiele hoogdruk pomp
- Diverse flexibele slangen
- Lekreparatie materialen
- Mobiele dieselgeneratoren
- Elektronische persoonlijke dosimeters
- Wettelijke persoonlijke dosimeters
- Kleding
- Zaklampen
- Slijp- en boormachines
- Handgereedschap

Begrippenlijst

ALARA	<i>As Low As Reasonably Achievable</i>	N.A.P.	Normaal Amsterdams Peil
CDF	<i>Core Damage Frequency</i>	N.B.P.	Nucleair Basis Peil
COVRA	Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval	N.O.P.	Nucleair Ontwerp Peil (<i>Nuclear Design Level</i>)
ENSREG	<i>European Nuclear Safety Regulator Group</i>	NPK	Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding
EPRI	<i>Electric Power Research Institute</i>	NS 1	Nood Stroom net 1 (<i>Emergency Grid 1</i>)
ERO	<i>Emergency Response Organisation</i>	NS 2	Nood Stroom net 2 (<i>Emergency Grid 2</i>)
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i>	OSART	<i>Operational Safety Review Team</i>
FHP	Functie Herstel Procedure (<i>Function Restoration Procedure</i>)	PSA	<i>Probabilistic Safety Analysis</i>
INES	<i>International Nuclear Event Scale</i>	ROT	Regionaal Operationeel Team
KCB	Kerncentrale Borssele (NPP Borssele)	SAMG	<i>Severe Accident Management Guidelines</i>
KFD	Kernfysische Dienst (<i>Nuclear Safety Department</i>)	SED	<i>Site Emergency Director</i>
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut	SMA	<i>Seismic Margin Assessment</i>
KWU	<i>Kraftwerk Union</i>	SOER	<i>Significant Operating Experience Report</i>
MMI	<i>Modified Mercally Intensity</i>	TCDF	<i>Total Core Damage Frequency</i>
MOX	<i>Mixed Oxides</i>	VGB	<i>Vereinigung der Grosskraftwerksbetreiber</i>
mSv	milliSievert	WANO	<i>World Association of Nuclear Operators</i>
MW	Megawatt		

Contactgegevens

**N.V. Elektriciteits-Produktie­maatschappij
Zuid-Nederland EPZ**

Zeedijk 32, 4454 PM Borssele
Postbus 130, 4380 AC Vlissingen
Telefoon 0113 - 356 000
E-mail: info@epz.nl
Websites: www.kerncentrale.nl, www.epz.nl

