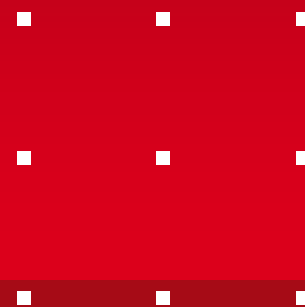




Voortdurend verbeteren

Modificaties Kerncentrale Borssele sinds 1973



Inleiding

Voortdurend verbeteren Kerncentrale Borssele

Een kerncentrale is een installatie die werkt met een proces dat grote gevolgen kan hebben als het niet wordt beheerst. Het besef hiervan is bij de exploitant alom aanwezig, het leidt tot een speciale verantwoordelijkheid: het garanderen van optimale bescherming van mens en milieu tegen de mogelijk schadelijke gevolgen van kernsplijting. Deze verantwoordelijkheid wordt samengevat in het begrip Nucleaire Veiligheid.

De definitie van Nucleaire Veiligheid bij EPZ luidt als volgt:

Nucleaire Veiligheid is het beschermen van mens en milieu tegen schadelijke effecten van radioactieve lozing en straling. Bij EPZ doen wij dat door het voortdurend verbeteren van techniek, organisatie en cultuur.

Dit document laat zien hoe de afgelopen veertig jaar via het voortdurend verbeteren van techniek, organisatie en bedrijfscultuur invulling is gegeven aan dit begrip. De maatregelen die deze risico's minimaliseren vormen de leidraad waarlangs verbeteringen werden doorgevoerd.

Risico en veiligheid

Centraal staan de begrippen risico en veiligheid. Bij een kerncentrale is het risico de kans om te overlijden of ziek te worden door blootstelling aan straling. Dit risico willen we voortdurend verminderen door de kans op blootstelling aan straling steeds verder te verkleinen.

Daarvoor verrichten de industrie, de overheid en de wetenschap samen een enorme inspanning. Dit gebeurt met een gamma aan maatregelen: wettelijke, technische, infrastructurele en gedragsbeïnvloeding. De motor hierachter zijn risicotolerantie (hoeveel risico we willen verdragen) en risicoperceptie (hoe we tegen risico's aankijken ofwel onze veiligheidsbeleving). Dit zijn dynamische fenomenen; ze veranderen voortdurend.

Kijk voor verandering van risicotolerantie bijvoorbeeld naar het verkeer: grote risico's die we vroeger heel gewoon vonden, worden nu niet meer geaccepteerd. In 1972 bedroeg het aantal verkeersslachtoffers 3.000 per jaar. Nu zijn er ongeveer 650 verkeersslachtoffers per jaar, terwijl het verkeer vele malen intensiever is geworden. Afgenomen risicotolerantie is de motor geweest voor het nemen van maatregelen om de risico's voortdurend te verminderen.

Net als in het verkeer is de risicotolerantie met betrekking tot de nucleaire industrie voortdurend afgenomen. Dit is de motor voor het voortdurend veiliger maken van onze kerncentrale.

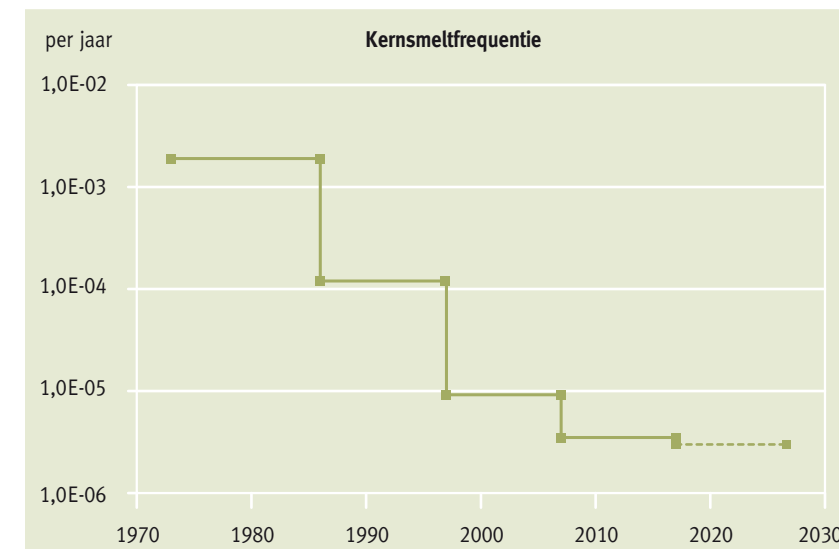
Net als risicotolerantie is ook risicoperceptie ofwel de beleving van veiligheid een dynamisch fenomeen. Zo is de samenleving in de loop der jaren ook anders gaan kijken naar de veiligheid rond een kerncentrale. Niet alleen het mogelijke aantal slachtoffers is de basis voor het nemen van maatregelen die risico's verkleinen, maar ook de effecten op de maatschappij als geheel. Een ongeval in een kerncentrale mag de maatschappij niet ontwrichten en niet tot onaanvaardbare economische en milieugevolgen leiden.

Veiligheid wordt positief beïnvloed door technische ontwikkelingen. Zo maken geavanceerde sensoren en datacommunicatie het autoverkeer steeds veiliger. Zaken als gordels, airbags, bewegingssensoren, constructieve aanpassingen, GPS en andere communicatievormen hebben afgelopen decennia voor steeds meer verkeersveiligheid gezorgd. Omdat onze risicoperceptie mee verandert, voelen we ons tegenwoordig niet veilig meer in een auto uit de zestiger jaren die deze voorzieningen niet heeft. De veiligheid van de kerncentrale groeide op dezelfde manier mee met het (maatschappelijk) belang dat aan risicovermindering werd toegekend.

Voortdurend verbeteren veiligheid

Onder druk van een almaar dominanter worden van het risicodenken werden verbeterde techniek en opgedane ervaring decennialang teruggevoerd op de kerncentrale. Daardoor werden risico's stap voor stap kleiner gemaakt. Veiligheid was en is dus nooit 'af' en kan altijd beter. Bij EPZ heet dit proces 'voortdurend verbeteren'. Het resultaat van dit proces is concreet terug te zien in de ontwikkeling van de EPZ-organisatie en de lay-out van de kerncentrale Borssele. Zo nam op alle niveaus de veiligheid toe. De organisatie groeide van circa 130 medewerkers in 1973 naar circa 350 medewerkers nu. Veel van deze extra medewerkers werken aan de veiligheid van de kerncentrale: meer analisten, meer ondersteuning door technische specialisten, meer brandweermensen, grotere wachtploegen, etc. Al deze medewerkers moeten aan veel strengere opleidings- en kwalificatie-eisen voldoen dan in de jaren zeventig. Ook de lay-out van de installatie is door de decennia heen ingrijpend gewijzigd door het aanbrengen van redundanties, nieuwe barrières en veiligheidssystemen. Als het ene veiligheidssysteem faalt, neemt een andere extra veiligheidsvoorziening het over.

Door alle fysieke en organisatorische maatregelen is de kans op een nucleaire gebeurtenis met effecten op mens en milieu de afgelopen veertig jaar zo'n 1.000 keer kleiner geworden.



Historische ontwikkeling nucleaire veiligheid

Toen met kernenergie werd begonnen (jaren zestig vorige eeuw) was er vooral euforie. Kernenergie zou elektriciteit "too cheap to meter" maken: gratis!

Voor de veiligheid vond men het voldoende dat de op dat moment ergst denkbare ongevallen met de kerncentrale waren meegenomen in het ontwerp. Het beheersen van deze ongevallen werd voldoende gegarandeerd geacht door een robuust en veilig ontwerp met veel staal, beton en actieve systemen.

Na verloop van jaren vond men een uitstekend ontwerp en een uitstekende bouw niet meer voldoende. Zowel de organisatie als de installatie bleken voor verbetering vatbaar. Zo bleek de human factor (menselijk handelen) behoorlijk van invloed op de veiligheid. Bovendien kwam er meer aandacht voor mogelijke nucleaire emissies en hun effecten op het milieu. Ook democratisering en de opkomst van Non Gouvernementele Organisaties (NGO's) hadden hun invloed. Angst voor de met zintuigen niet waarneembare straling deed de roep om verdere risicovermindering aanzwellen. Daarnaast kwamen door enkele incidenten en ongelukken zwakke plekken in bestaande kerncentrales en de bedrijfsvoering aan het licht.

Belangrijke veranderingen kwamen voort uit de drie grootste kernongelukken uit de geschiedenis. Dat waren Three Mile Island (USA 1979), Tsjernobyl (USSR 1986) en Fukushima (Japan, 2011). Deze ongelukken werden allemaal diepgaand geanalyseerd, de leerervaring leidde tot grote aanpassingen in de techniek en de organisatie van kerncentrales over de hele wereld.

Bij Three Mile Island ging het om kleine storingen die leidden tot grote gevolgen door ergonomisch slecht ontworpen apparatuur waardoor bedieningsfouten werden gemaakt. Toen het ongeval zich ontwikkelde, bleken de veiligheidsprocedures en het opleidingsniveau van operators onvoldoende.

Bij Tsjernobyl ging het om een onveilig ontworpen kerncentrale in combinatie met onveilig handelen van medewerkers (gebrekkige veiligheids-cultuur) gevolgd door inadequaat handelen van de Sowjetoverheid en gebrek aan internationale samenwerking bij de ongevalsbestrijding.

In Fukushima weerstond de centrale een extreme aardbeving maar ging het mis omdat bij het ontwerpen van de centrale geen rekening was gehouden met de op deze kustlocatie mogelijke tsunami's.

Naar aanleiding van deze ongevallen werden de meeste van de kern-centrales (nieuwe en bestaande) aangepast aan de veranderende inzichten in de veiligheidsrisico's. Sommige onveilige ontwerpen verdwenen. Van andere al bestaande kerncentrales bleek het basis-ontwerp zo goed, dat er nieuwe veiligheidssystemen aan konden worden toegevoegd. Bestaande veiligheidssystemen werden vervangen of verbeterd. Nu lijken deze kerncentrales alleen in de basis nog op de kerncentrales van toen.



Vergelijk de ontwikkeling van de veiligheid van kerncentrales met de verkeersveiligheid van ons wegennet. Een rijksweg ligt voor een groot deel nog steeds op het tracé uit de jaren dertig, maar is in de loop der jaren wel steeds veiliger gemaakt. Er kwam verlichting, verkeersstromen werden gescheiden, er kwamen vluchtstroken, vangrails, matrixborden die verbonden werden met lussen in het wegdek. De maximum snelheid werd aan banden gelegd en later zelfs dynamisch gemaakt: afhankelijk van het verkeersaanbod. En er kwam cameratoezicht vanuit een verkeersmanagement-centrale met goed opgeleid wachtpersoneel dat kan ingrijpen bij incidenten. Tegelijk werden wet- en regelgeving ook steeds strenger. De voortdurende verbeteringen zorgen ervoor dat de snelweg van nu alleen nog in de basis lijkt op de rijksweg van toen.

Het steeds verder verminderen van de risico's gebeurde in Borssele de eerste jaren op ad-hoc basis. Naar aanleiding van incidenten die in de wereld hadden plaatsgevonden verscheen de Back-Fitting nota van de overheid. Na twee decennia operationele ervaring werd dit verbeteren in Nederland door de wetgever via de vergunning geformaliseerd. Verplicht voert de kerncentrale Borssele twee- en tienjaarlijkse veiligheids-evaluaties uit op zoek naar mogelijkheden voor het verder verbeteren van technische, organisatorische, personele en administratieve aspecten. Kortom: tal van extra veiligheidssystemen, meer en veel beter opgeleid personeel en veel strengere wet- en regelgeving zorgen ervoor dat kern-centrale Borssele alleen in de basis nog lijkt op de centrale van 1973.

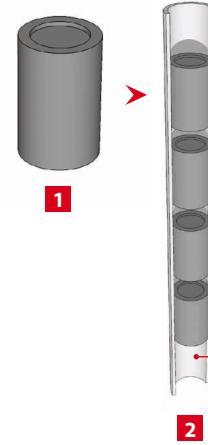


De veiligheidsprincipes van een kerncentrale zoals die van Borssele

Om de verbeteringen die in de afgelopen decennia zijn geïmplementeerd in perspectief te kunnen plaatsen, geven we hieronder een algemene uitleg over ontwerpaspecten van de kerncentrale. In de kern van een kerncentrale zit een grote hoeveelheid radioactieve stoffen. De hele veiligheidsfilosofie, al vanaf het prille begin, is er op gericht deze radioactieve stoffen onder alle denkbare omstandigheden binnen de centrale te houden. Hiervoor zijn vijf barrières ingebouwd die allen tot doel hebben de radioactieve stoffen binnen te houden.

1 Barrière 1 Splijtstoftablet

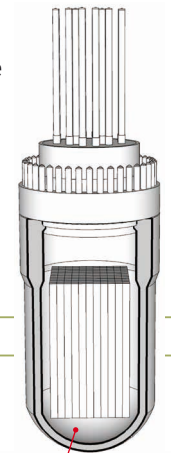
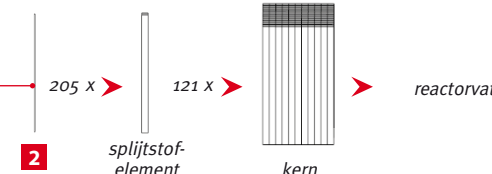
Het splijtstoftablet, gesinterd als porselein, is de eerste barrière. De radioactiviteit blijft voor ongeveer negentig procent opgesloten in de matrix van de splijtstof (uraniumoxide). Alleen de zeer vluchtige stoffen (gassen, jodium, cesium) verlaten het splijtstoftablet.



2 Barrière 2 Splijtstofstaaf

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

De kern bestaat uit splijtstoftabletten opgesloten in splijtstofstaven. Een bundel van 205 splijtstofstaven vormt samen een splijtstofelement. 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. Het is vrijwel onmogelijk om van buitenaf in één gecoördineerde actie alle vijf de barrières te doorbreken om zo een nucleaire lozing te bewerkstelligen.



3 Barrière 3 Primair systeem

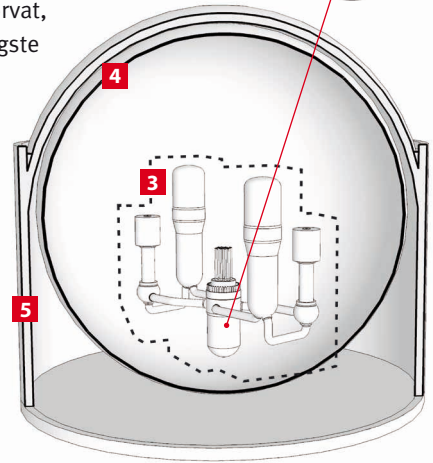
Het primaire systeem is een gesloten circuit waarin koelmiddel (geconditioneerd water) wordt rondgepompt. Dit water staat onder een druk van 155 bar zodat het niet gaat koken. Vandaar de naam 'drukwaterreactor'. Het primair systeem (reactorvat, leidingen, stoomgeneratoren) bestaat uit sterk overgedimensioneerde (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 reactorgebouw, 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.



Defence in depth

De filosofie die ten grondslag ligt aan de robuustheid van het ontwerp is die van defence in depth (DID). Er zijn verschillende verdedigings-linies, als de ene linie faalt dan volgen er nog verschillende andere verdedigingslinies.

De defence in depth filosofie in Borssele komt ook tot uitdrukking in de wijze van bedrijf voeren met de centrale en in het ontwerp van de bedrijfsvoerings- en veiligheidssystemen. We herkennen vijf niveau's binnen de DID filosofie. Niveaus 1 en 2 behoren tot de normale bedrijfsvoering.

Niveau 1: Voorkomen van verstoringen door middel van een betrouwbaar, stabiel en eenvoudig ontwerp. Techniek van een hoge kwaliteit, met ruime veiligheidsmarges door over-dimensionering. De installatie wordt bediend door goed gekwalificeerd en alert personeel met als doel het voorkomen van verstoringen.

Niveau 2: Een normale bedrijfsvoering wordt verzekerd door apparatuur die meteen en effectief ingrijpt als er afwijkingen zijn. Bij afwijkingen wordt de installatie door de bediening in een veilige toestand gebracht. De rol van het personeel is het detecteren, inschatten en opvangen van de verstoringen.

Niveau 3: Als de apparatuur faalt of als er zich abnormale omstandigheden voordoen, nemen ingebouwde veiligheidssystemen de taak over en brengen de centrale automatisch in een veilige toestand. Deze systemen zijn gebouwd om een vooraf gedefinieerde set van potentiële bedreigingen het hoofd te bieden (design based accidents).

Niveau 4: De mogelijke gevolgen van een ernstig ongeval worden beheerst. Op dit niveau worden middelen gebruikt die niet meer gericht zijn op het behoud van de kerncentrale, maar op het bestrijden van de gevolgen van het ongeluk. Zo kan bijvoorbeeld (zout) zeewater als koelmiddel worden ingezet. Dat is effectief voor de onmiddellijke ongevalsbestrijding, maar de kerncentrale wordt onbruikbaar.

Niveau 5: Er zijn van te voren noodscenario's gemaakt die in werking treden als al het voorgaande tekort schiet. Deze noodscenario's zijn gericht op het beperken van de gevolgen voor de omgeving.

De fysieke barrières (uranium matrix, zirconium cladding, staal, beton) die de radioactieve stoffen opsluiten moeten te allen tijde in stand worden gehouden. Daarvoor is de kerncentrale door de decennia heen uitgerust met een al maar groeiende uitrusting aan veiligheidssystemen. Die zijn er allemaal op gericht om onder alle omstandigheden het kernsplijtingsproces te stoppen, de kern te koelen en de vervalwarmte af te voeren.

Er zijn systemen die zorgen voor de absorptie van neutronen en er zijn koelsystemen. Om er voor te zorgen dat deze onder alle omstandigheden kunnen worden ingezet, zijn deze systemen:

- **redundant.** Dat wil zeggen meervoudig en overvloedig uitgevoerd.
- **divers.** Ze kennen een verscheidenheid in uitvoering. Ze werken op verschillende manieren volgens verschillende principes (via zwaartekracht, op stoom, met elektriciteit of zelfs met de hand).
- **ruimtelijk gescheiden.** Ze staan verspreid rond de installatie in afgescheiden (gebunkerden) ruimtes.
- **fail safe.** Als ze falen, doen ze dat op een veilige manier. Dat wil zeggen: als een klep niet open mag blijven staan, zal hij automatisch sluiten als hij in storing gaat.
- **single failure proof.** Als een belangrijk component faalt kan de centrale toch altijd in een veilige toestand worden gebracht.
- **van zeer hoge kwaliteit.** Streng fabricage- en testnormen, streng toezicht.
- **overgedimensioneerd.** De systemen zijn zodanig ontworpen dat ze in alle gevallen berekend zijn op hun taak waarbij er een ruime veiligheidsmarge is ingebouwd.

Wie meer wil weten over de werking van de kerncentrale of een overzicht wil van alle veiligheidssystemen kan twee publicaties downloaden op www.epz.nl.

1. [Blik in de BoI](#)
2. [Het Robuustheidsonderzoek](#) (stresstest) naar aanleiding van Fukushima.

Of doe via de website de interactieve rondleiding door de kerncentrale.

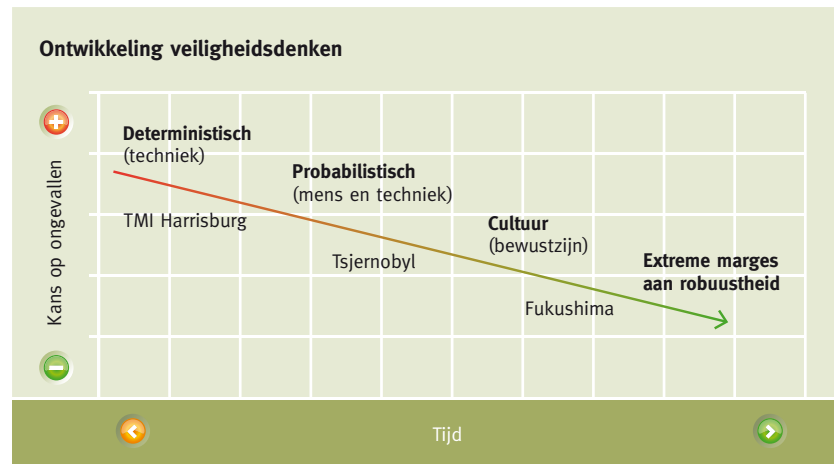
Ontwikkeling veiligheidsdenken

De bedrijfsvoering met een kerncentrale moet excellent zijn, de lat wordt ook hier steeds hoger gelegd, er wordt voortdurend verbeterd. Dit geldt op gebied van techniek, organisatie en cultuur.

Om vast te stellen hoe veilig een kerncentrale is, wordt per definitie conservatief (pessimistisch) naar de installatie gekeken. Men gaat altijd uit van het slechtst denkbare. Pas na uitgebreide veiligheidsanalyses die aantonen dat een kerncentrale veilig genoeg is, zal een centrale in bedrijf gaan. Er zijn in de loop der tijd drie onderzoeksmethodieken ontstaan, die alle nog steeds naast elkaar gebruikt worden.

De deterministische benadering

De deterministische aanpak is de oudste en meest formele benaderingswijze van de veiligheid van een kerncentrale. Hierbij wordt het ontwerp van de kerncentrale getoetst aan een lange lijst van mogelijke verstoringen. Onder conservatieve (pessimistische) aannamen worden de veiligheidssystemen diepgaand geanalyseerd. Met berekeningen worden zwakheden in het ontwerp opgespoord. Uiteindelijk moet worden aangetoond dat de veiligheidssystemen van de kerncentrale de veronderstelde ongevallen beheersen.



Door voortdurend verbeteren van de veiligheid aan de hand van de laatste inzichten, is de kerncentrale Borssele ten opzichte van 1973 duizend keer veiliger gemaakt.

De probabilistische benadering

Sinds de jaren '70 en '80 van de vorige eeuw wordt er ook 'probabilistisch' naar de kerncentrale gekeken. De probabilistische benadering maakt een berekening van de kans op en de gevolgen van een onvoorzien ernstig ongeluk met de kerncentrale. Deze zogenaamde 'buiten-ontwerp' ongevallen vormen dus de basis van de probabilistische benadering. Dit gebeurt vanuit het besef dat de kans dat er een ongeval plaats vindt wat je niet hebt voorzien niet nul is.

De probabilistische benadering gaat ervan uit dat er een kans is dat meerdere componenten kapot gaan én dat er een kans is dat de mens dit niet corrigeert. In een probabilistische veiligheidsanalyse (PSA) worden deze kansen bepaald en wordt berekend wat er gebeurt als er kansen worden gecombineerd. Zo wordt bepaald in hoeverre de kerncentrale bestand is tegen buiten-ontwerp ongevallen en wat de eventuele gevolgen voor de omgeving zijn.

Ter illustratie: we weten dat een airbag in een auto bij een aanrijding letsel voorkomt. Maar wat is de kans dat hij bij een ernstig ongeluk níet afgaat waardoor er toch letsel ontstaat? En wat is de kans dat hij onterecht wordt geactiveerd en daardoor juist een groot ongeluk veroorzaakt?

Voor kerncentrales worden wereldwijd faalkansen van componenten in databases bijgehouden.

De 'stresstest' of robuustheidsonderzoek

Na Fukushima (2011) gaat de sector nog een stap verder. Deze benadering onderzoekt niet of iets werkt en gaat ook niet uit van de kans dat iets gebeurt. De stresstest gaat uit van steeds zwaardere ongevalsomstandigheden – hoe onwaarschijnlijk ook – tot een kerncentrale bezwijkt. Een veronderstelde gebeurtenis wordt dus steeds zwaarder en extremer gemaakt, net zo lang tot de grens van de veiligheid bereikt wordt. In Borssele is dat op tal van vlakken gedaan (zie www.epz.nl). Een aansprekend voorbeeld is een ernstige overstroming. Er is gekeken hoe hoog het water tegen de kerncentrale moet staan, voor een reactor-ongeluk kan ontstaan. De conclusie is dat het water tot circa 9 meter boven NAP moet stijgen voor de kerncentrale onveilig wordt. Dat is zeer ver boven de Watersnoodramp van 1953 (4,70 boven NAP bij Borssele).

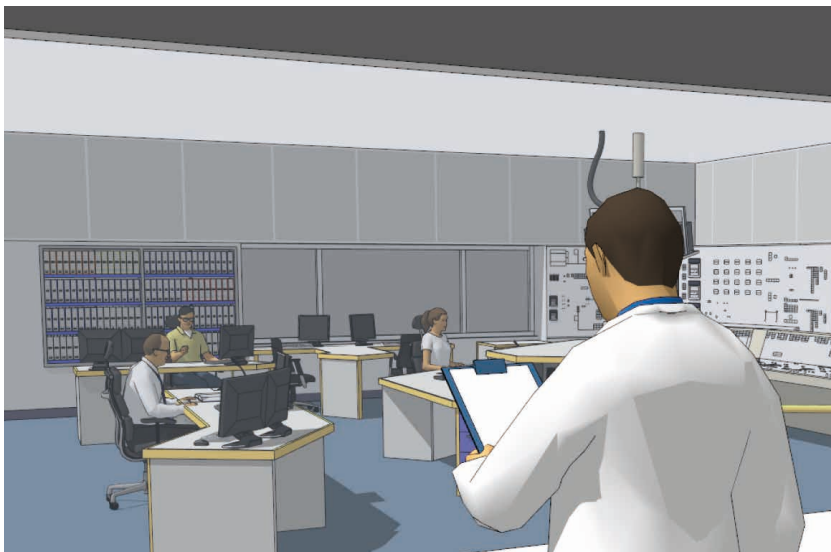
Het belang van de menselijke factor

Naast staal, beton en systemen is ook de mens (Human Factor) van invloed op de veiligheid. Immers: niet alleen de techniek maar ook de mens kan falen.

Het opeenvolgende falen van mens en techniek kan uiteindelijk leiden tot falen van de gehele installatie. Dit besef is bij alle medewerkers van de centrale aanwezig. Iedereen voelt zich dan ook verantwoordelijk voor de veiligheid.

Bij het opmerken van onveilige handelingen of onveilige situaties wordt direct actie ondernomen om de veiligheid te herstellen. In alle gevallen worden onveilige handelingen en situaties gemeld zodat de organisatie ervan kan leren, ook als de afwijking al direct is opgelost. Deze kennis wordt internationaal gedeeld zodat er ook van elkaar wordt geleerd. Zo wordt er voortdurend aan gewerkt om de menselijke prestatie steeds weer te verbeteren.

Hieraan levert ook de analyse van menselijk gedrag een bijdrage. Als dit beter begrepen wordt, kan dit met training en bewustwording worden beïnvloed. Het gebruik van (simulator)trainingen, duidelijke procedures en technieken die fouten voorkomen zijn hierbij van groot belang.



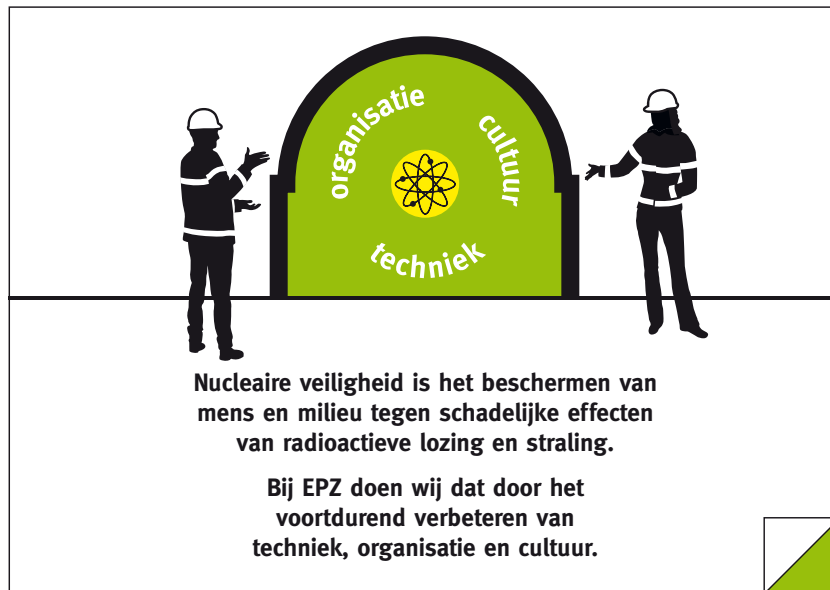
Verplichte periodieke simulatortrainingen voor regelzaalmedewerkers.

Veiligheidscultuur

Het management stimuleert een goede veiligheidsopvatting bij de medewerkers, dat noemen we de veiligheidscultuur. Die zorgt ervoor dat veiligheid integraal onderdeel is van elke operationele beslissing in de kerncentrale. Blijven we in bedrijf of gaan we uit bedrijf?

Alle medewerkers moeten zich verantwoordelijk voelen voor de nucleaire veiligheid. Daarvoor is het noodzakelijk dat alle medewerkers getraind zijn voor de taken die verricht moeten worden. Ze moeten de randvoorwaarden voor een veilige bedrijfsvoering kennen en alle handelingen verrichten conform veilige (gecontroleerde) procedures. Daarbij worden de medewerkers voortdurend getraind om alert te zijn op (kleine) afwijkingen en op het detecteren en opvangen van verstoringen en er voor te zorgen dat ze zich niet meer voordoen.

Het verbeteren van de veiligheidscultuur is een voortdurende inspanning, er wordt regelmatig kritische hulp van buitenaf ingeroepen om iedereen scherp te houden.



Extern toezicht op de veiligheid

Binnen de EPZ organisatie zijn er veel checks & balances die gericht zijn op veilig werken. Daarnaast zijn er veel externe organisaties die zich onafhankelijk van elkaar bezig houden met de veiligheid van de kerncentrale. We noemen de belangrijkste.

Externe Reactor Bedrijfsveiligheids Commissie (ERBVC)

De ERBVC ziet toe op 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.

Meer informatie hierover staat op www.epz.nl.

Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) voorheen Kernfysische Dienst (KFD)

Op 1 januari 2015 ging de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) van start. De ANVS richt zich onder meer op het ontwikkelen van beleid en wet- en regelgeving, vergunningverlening, toezicht en handhaving rondom nucleaire veiligheid en stralingsbescherming. De autoriteit zorgt ook dat Nederland is voorbereid op mogelijke stralingsincidenten.

De Kernfysische Dienst (KFD), de wettelijke toezichthouder op de kerncentrale, is opgegaan in de ANVS. De ANVS controleert of EPZ zich aan de vergunningsvoorwaarden houdt en of EPZ waar mogelijk actief verbeteringen initieert. Hierover rapporteert de ANVS aan de minister die ieder jaar verslag doet aan de Tweede Kamer.

Internationaal Atoomenergieagentschap (IAEA)

Het IAEA is er 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.

Op verzoek van de ANVS onderzoekt de IAEA hoe EPZ de kerncentrale bedrijft. Een Operational Safety Review Team (OSART) toetst EPZ drie weken lang tegen de recentste IAEA regelgeving en adviseert waar EPZ nog kan verbeteren.

World Association of Nuclear Operators (WANO)

De World Association of Nuclear Operators (WANO) is de internationale ‘brancheorganisatie’ van kerncentrales die toeziet op de continue verbetering van de veiligheid in de sector. Bij de WANO zijn alle elektriciteitproducerende kerncentrales in de wereld aangesloten.

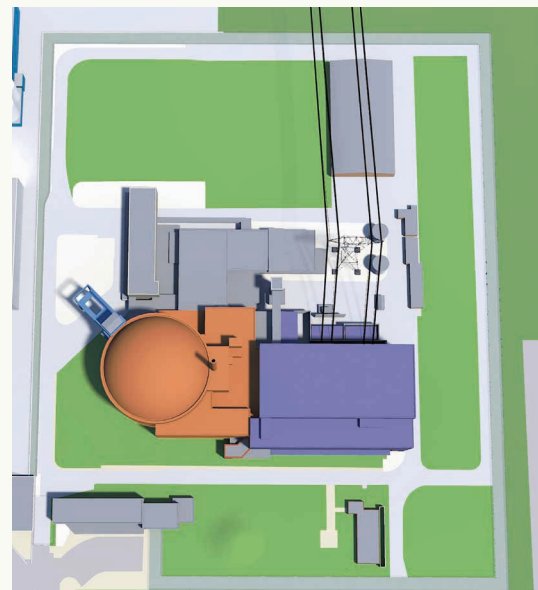
WANO is na het ongeval in Tsjernobyl opgericht met als doel onderling ervaringen uit te wisselen, van elkaar te leren en daardoor incidenten te voorkomen. Eén van de pijlers daarbij is een peer review, waarbij zo’n dertig internationale collega’s drie weken lang onderzoekt hoe EPZ haar centrale bedrijft en op welke gebieden EPZ nog kan verbeteren om daar tot de besten te behoren.

Lay out kerncentralecomplex 1973 - 2013

De KCB kwam in 1973 in bedrijf. Sindsdien is de kerncentrale voortdurend aangepast aan de stand der techniek. Dat is te zien aan het uiterlijk van het centralecomplex. Niet alleen werden er in (gebunkerde) gebouwen reservesystemen toegevoegd aan de kerncentrale, ook nam het aantal kantoor- en opslaggebouwen toe.

Er is in de loop van de decennia veel geleerd van gebeurtenissen, incidenten en ongelukken in andere kerncentrales. De lessen die uit deze gebeurtenissen werden getrokken vormden de basis voor het voortdurend verbeteren van de installatie en de organisatie van de KCB. Per tijdvak volgt daarvan een overzicht op hoofdlijnen.

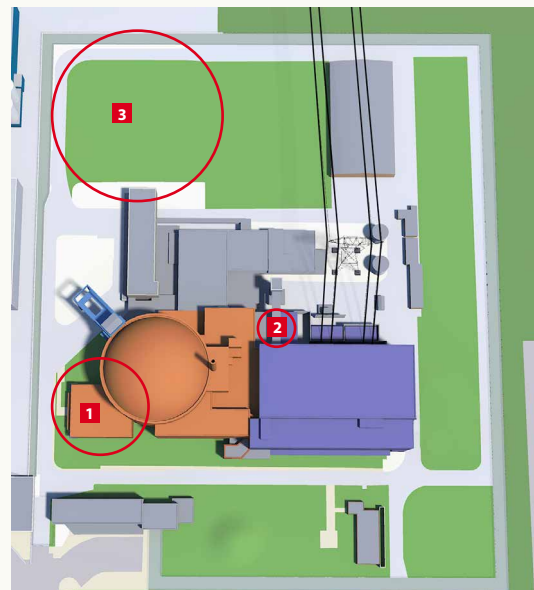
Decennium 1



Eerste lay-out KCB terrein

Ontwerp: passieve veiligheid, invloed van de mens geminimaliseerd.

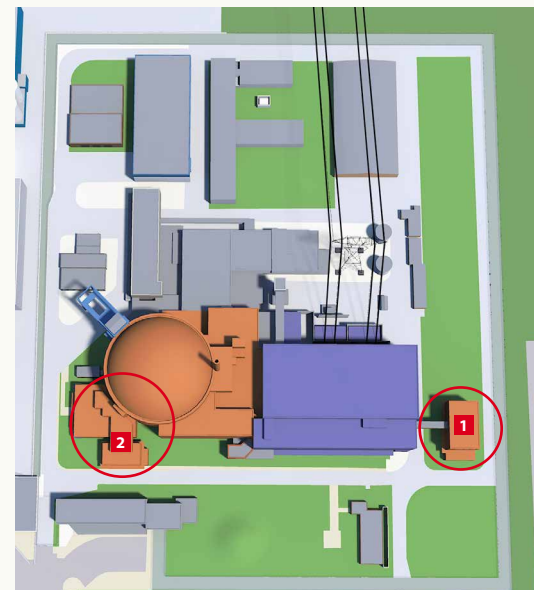
Decennium 2



Aanpassingen lay-out KCB terrein

- 1 Toevoeging gebunkerde reserve-veiligheidssystemen en voorraden voor noodstroom en koeling.
- 2 Uitbreiding noodstroomgeneratorgebouw met nieuwe noodstroomdiesel. Dit gebouw is in 1997 weer gesloopt.
- 3 Bijgebouwen.

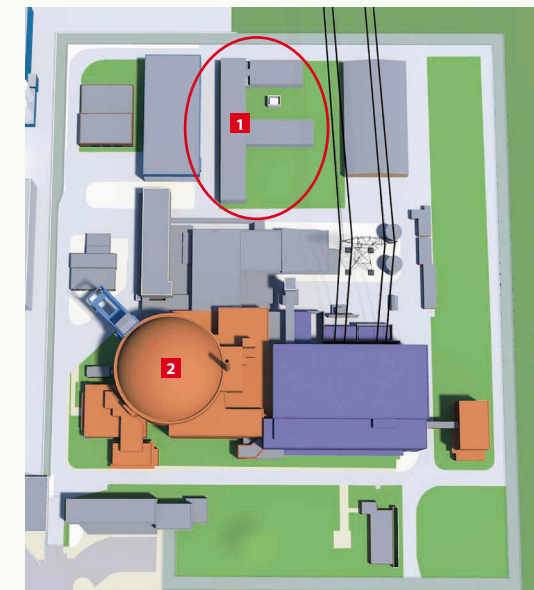
Decennium 3



Aanpassingen lay-out KCB terrein

- 1 Vernieuwen noodstroomstelsel met nieuw overstromingsbestendig gebouw.
- 2 Toevoeging gebunkerde elektronica en reserve regelzaal.
- 3 Netverbindingen naar kolencentrale.

Decennium 4



Aanpassingen lay-out KCB terrein

- 1 Kantoorgebouwen.
- 2 Verhogen veiligheidsmarges van bestaande systemen en gebouwen.
- 3 Crash tender.
- 3 Diesellostank.



Decennium 5



Aanpassingen lay-out KCB terrein

- 1 Aanleg extra 380 kV net-aansluiting.
- 2 Vergroten onafhankelijkheid van hulp van buitenaf door zelfvoorzienendheid.
- 3 Meer nadruk op realistische praktijktrainingen in samenwerking met bijvoorbeeld Defensie.



Onderverdeling modificaties

De modificaties die de afgelopen decennia zijn aangebracht aan de kerncentrale Borssele en de organisatie zijn te verdelen naar verschillende hoofdthema's. Leidend zijn uitbreiding van noodstroomvoorzieningen, aanpassingen in het systeem en uitbreiding van de koelmogelijkheden van de kern. Ook de organisatie is robuuster gemaakt door haar omvang, kennis en vaardigheden te vergroten.

Op de volgende pagina's is dat zichtbaar gemaakt met kleurkaders en de toevoeging stroom, systeem, water en mens.

- **Stroom** is nodig voor de bediening van de (nood)systemen.
- **Systeem** wijst op aanpassingen of uitbreidingen in de installatie zelf (ruimtelijke scheidingen, robuustere gebouwen etc).
- **Water** is nodig om (verval)warmte af te voeren, met andere woorden: om de kern onder alle (ongevals) omstandigheden te koelen.
- **De mens**, of te wel de organisatie, is als procesverantwoordelijke de verbindende factor. De organisatie moet weerbaar zijn en opgewassen tegen bijzondere omstandigheden in of rond het kerncentrale complex.

Decennium 2

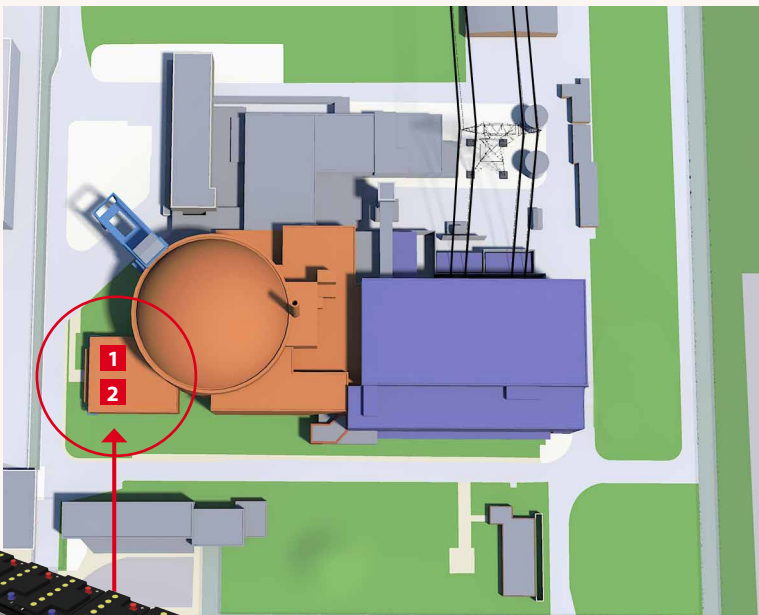
De eerste modificaties

De evaluatie en leerervaring van Three Mile Island (TMI/Harrisburg) en nieuwe regelgeving leidden in de jaren tachtig van de vorige eeuw tot de eerste grotere modificatie van kerncentrale Borssele. Het deterministisch ontwerp werd uitgebreid om bestand te zijn tegen meer ongewenste gebeurtenissen, extra veiligheidssystemen werden toegevoegd, bedienend personeel werd beter opgeleid (Human Performance) en door nieuwe beheersprocedures ondersteund. In deze periode worden de eerste gebunkerde reservesystemen gebouwd.

stroom

Extra noodstroomdiesels in gebunkerde gebouwen

Er worden twee extra noodstroomdiesels in de bunkers geplaatst, bestand tegen overstromingen van 7.30 meter boven NAP. Deze zijn extra naast de bestaande noodstroomdiesels. In de bunker komen batterijen die bij een total station black out de bediening van de instrumentatie garanderen voor een periode van enkele uren.



- 1 1986: Gebunkerd water + 2 diesels
- 2 Batterijen voor instrumentatie gebunkerd

systeem

Verbeteren overstromingsniveau

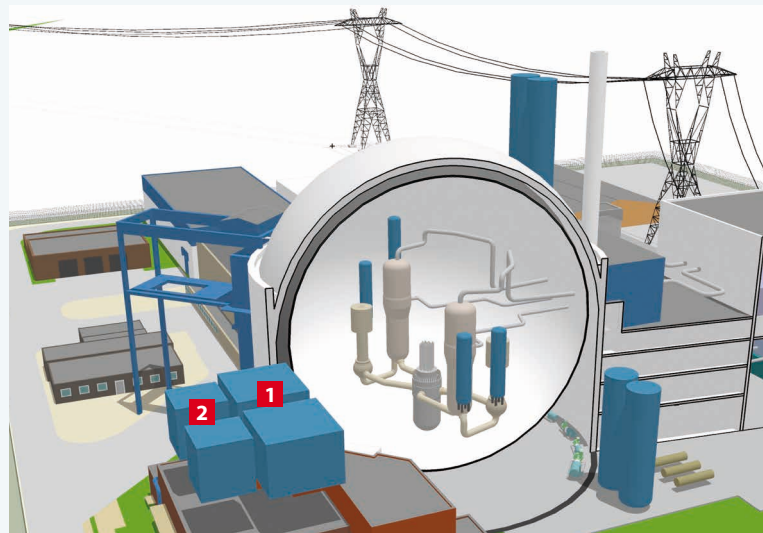
Het overstromingsniveau van de kerncentrale wordt aangepast. Bij een overstroming met golven tot 7.30 meter boven NAP is de kerncentrale nog steeds veilig. Ter indicatie, de overstroming van 1953 bereikte in Borssele een hoogte van 4.70 meter boven NAP.



water

Verbeteren watervoorraden

In de gebunkerde gebouwen naast de kerncentrale worden grote voorraden noodkoelwater opgeslagen.

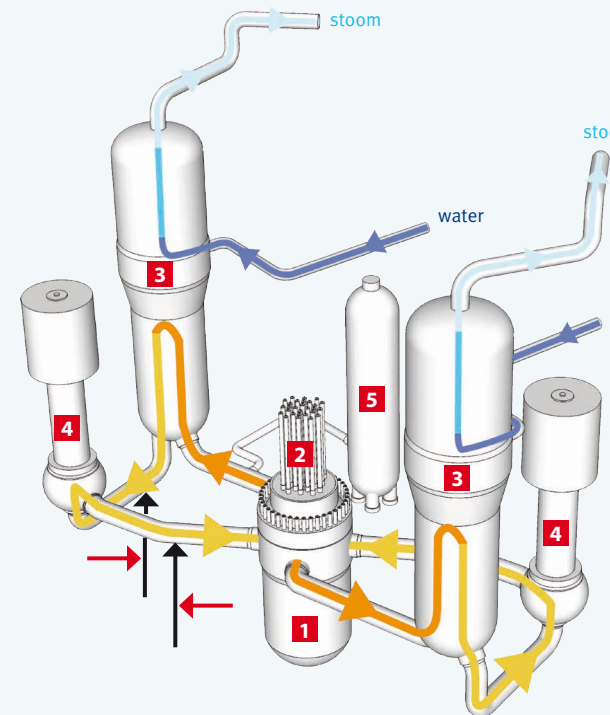


- 1 Secundair reserve suppletiesysteem deminwaterbassins, 2 bassins van 450 m³
- 2 Primair reservesuppletiesysteem waterbassins, 2 bassins van 200 m³

water

'80: Reserve waterinjectiesysteem

Er komt een extra waterinjectiesysteem naast de al bestaande veiligheidsinjectie. Dit reserve systeem kan het gebunkerde noodkoelwater in het primaire systeem injecteren bij verlies van koelmiddel.



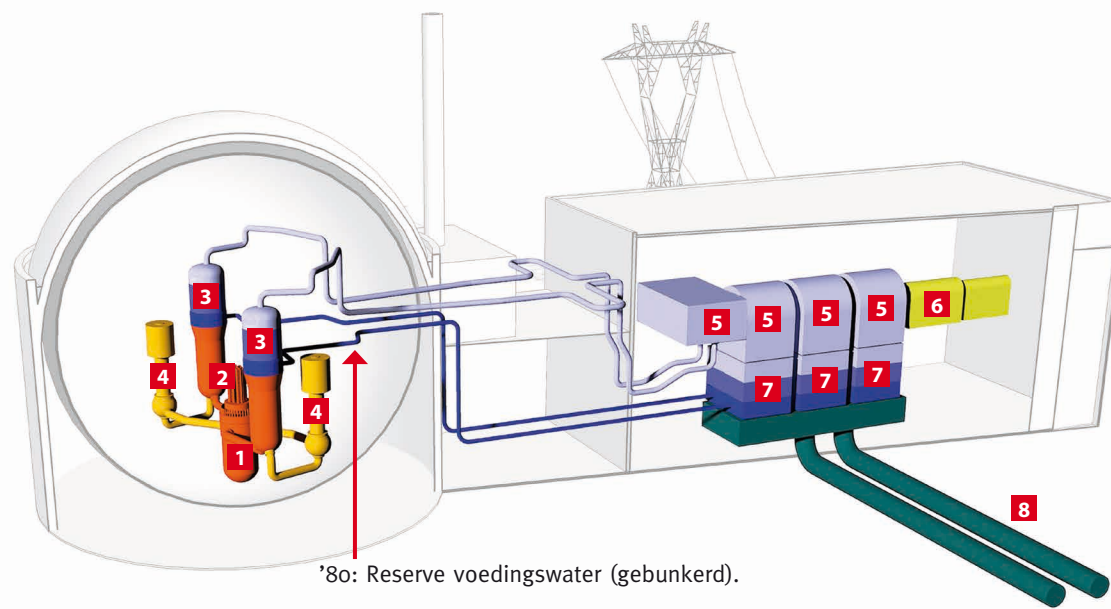
- '70: Veiligheidsinjectie
- '80: Reserve veiligheidsinjectie

- 1 Reactorvat
- 2 Regelstaven
- 3 Stoomgenerator
- 4 Hoofdkoelmiddelpomp
- 5 Drukhouder

'80: Extra reserve voedingswatersysteem

Er komt een extra systeem dat gebunkerd voedingswater kan injecteren in de stoomgeneratoren zodat deze niet droogkoken. Dit secundaire systeem kan op deze manier het primaire systeem blijven koelen bij verlies van secundair water.

- 1 Reactorvat
- 2 Regelstaven
- 3 Stoomgenerator
- 4 Hoofdcoelmiddelpomp
- 5 Turbine
- 6 Generator
- 7 Condensor
- 8 Oppervlaktewater uit de Westerschelde



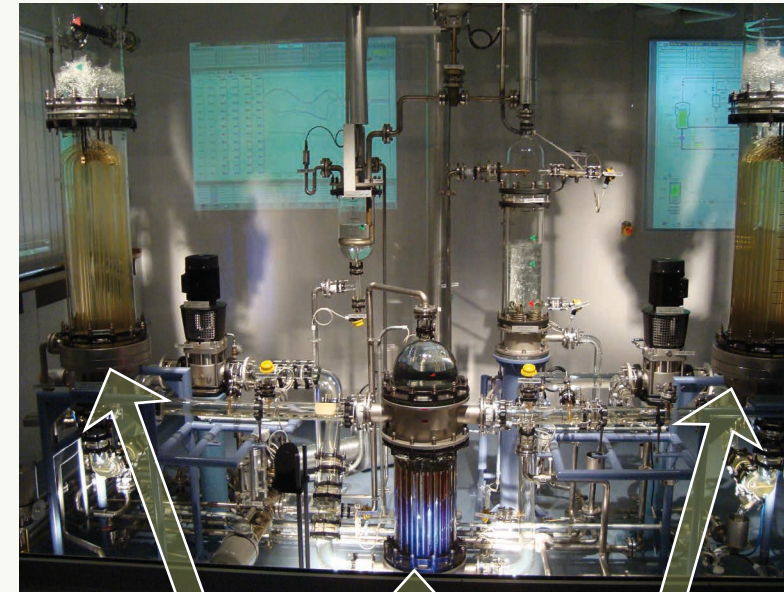
'80: Reserve voedingswater (gebunkerd).

'80: Additionele ongeval-instrumentatie

Er wordt additionele ongeval-instrumentatie aangebracht zodat door operators ook onder extreme ongeval-condities proces-informatie kan worden vergaard.



De ongevalprocedures worden tegen het licht gehouden en met de Amerikaanse kennis up to date gemaakt. Leerervaring van TMI, de menselijk factor heeft wezenlijke invloed op het ongevalsverloop. Menselijk handelen in ongevalssituaties wordt nader vastgelegd in Procedures. Er wordt gestart met de ontwikkeling van Functie Herstel Procedures die in ongevalssituaties richting geven aan het herstellen van een veilige situatie van de kerncentrale. Ook komt de filosofie van de Human Factor in Defence in Depth in zwang: zorgen voor verdedigingsbarrières die elkaar opvolgen. Bezwijkt de ene verdediging, dan volgt een nieuwe linie haar op. De Human Factor barrière wordt vastgelegd in procedures.

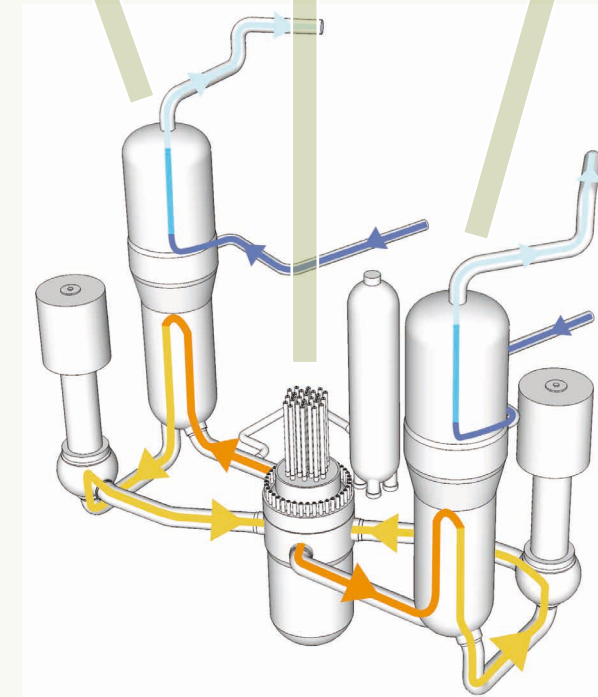


Beschrijving glasmodel

Het glasmodel is een replica van de kerncentrale Borssele in glas op een schaal van 1:10. Het glasmodel is gebouwd met als doel de effecten van het ongeluk in Three Mile Island (USA 1979) duidelijk te maken (droogkoken van de reactor als gevolg van een openstaande afsluiter in de drukhouder).

Naast de simulatie van TMI kunnen nog allerlei andere effecten gesimuleerd worden zoals de uitval van een hoofdcoelmiddelpomp waarbij het omdraaien van de stroomrichting in de loop zichtbaar wordt gemaakt. Belangrijke onderdelen zijn het reactorvat, stoomgeneratoren, hoofdcoelmiddelpompen, drukhouder en afblaastank. In het reactorvat zit een verwarmingselement wat zorgt voor een temperatuur van 120 graden en de druk in het model wordt opgebouwd tot 2 bar. Water wordt omgezet in stoom en stroming, condensatie en waterslag worden zichtbaar gemaakt.

Het doel is om operators in opleiding de werking van het primaire systeem inzichtelijk te maken.



Decennium 3

De modificaties naar aanleiding van de eerste tienjaarlijkse evaluatie

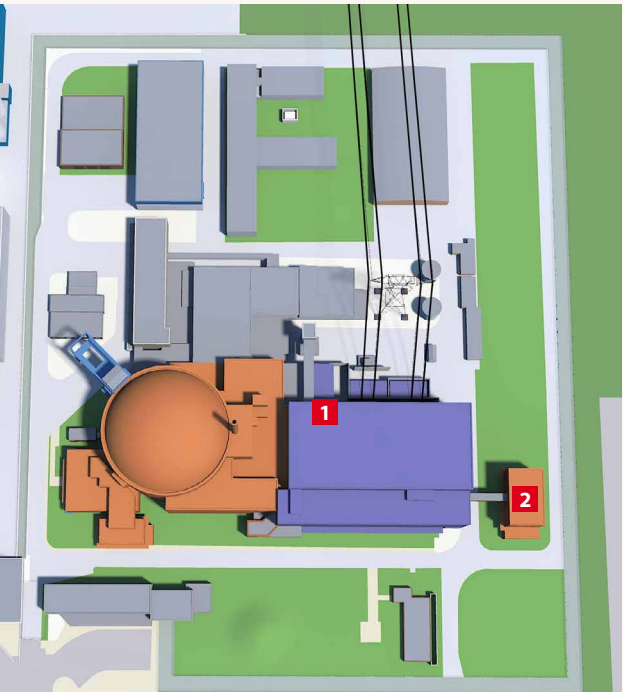
De eerste formele tienjaarlijkse evaluatie bij de KCB vond plaats na het ongeval in Tsjernobyl. Hoewel het ontwerp van de Tsjernobyl-reactor op geen enkele manier lijkt op dat van Borssele, is er na dit ongeluk wel zeer goed gekeken naar wat geleerd kon worden. Naast het aanbrengen van veel extra veiligheidssystemen die onder meer voorkomen dat er ongecontroleerde radioactieve emissies naar het milieu kunnen plaatsvinden, wordt er vooral veel verbeterd op het gebied Human Performance. Immers, Tsjernobyl bracht (overigens net als bij het TMI-ongeluk) aan het licht dat de menselijke factor het ongevalsverloop enorm kan beïnvloeden.

De veiligheidscultuur, opleiding en procedurematig handelen staan na Tsjernobyl in het centrum van de belangstelling. De regelzaal in Borssele wordt hierop aangepast. Er komt een eigen simulator waarop het wachtpersoneel regelmatig allerlei scenario's traint, waaronder ongeval-scenario's. Waterstofrecombinatoren voorkomen dat er zich

explosief waterstof in het containment kan ophopen. Een filterstraat tussen het containment en de ventilatieschacht minimaliseert de radioactieve emissies bij (gecontroleerde) lozingen naar de atmosfeer tijdens een ongeval.

stroom

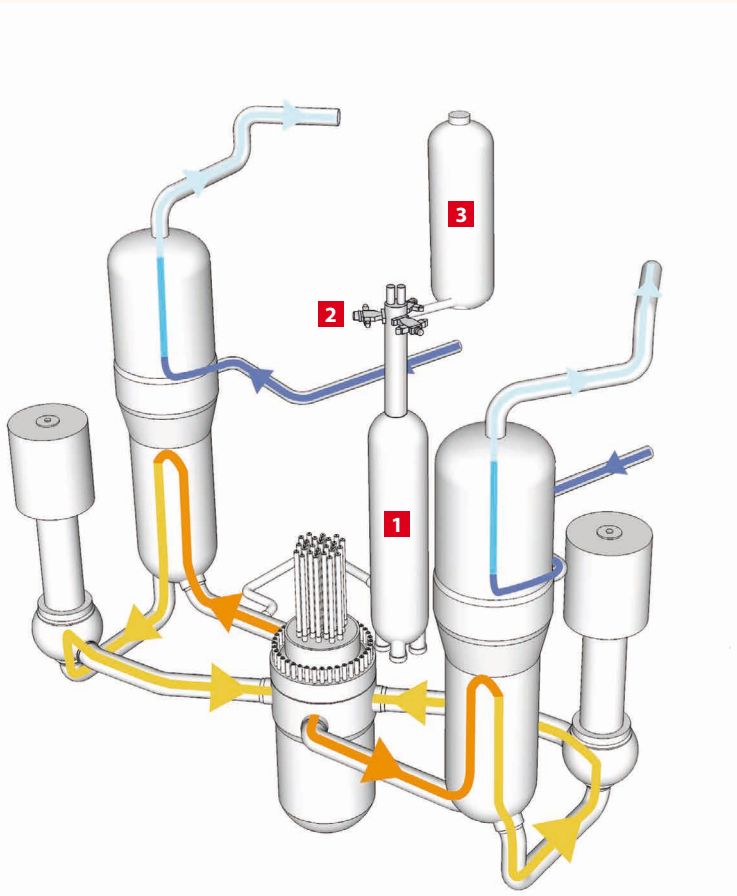
1997: Vervanging + plaatsing reserve noodstroomdiesel(s)
De bestaande noodstroomdiesels worden vervangen. Op grotere afstand van het containment worden twee nieuwe noodstroomdiesels bijgeplaatst in een overstromingsbestendig gebouw. Er wordt een reserve regelzaal gebouwd van waaruit de KCB kan worden bediend als de eerste regelzaal niet meer beschikbaar is.



- 1 1997: vervanging 1 diesel
- 2 1997: vervanging 2 diesels

systeem

Nieuw stoomafblaassysteem met tandem-kleppen
Op de drukhouder, het 'expansievat' van het primaire systeem van de kerncentrale worden meervoudig uitgevoerde en meervoudig te bedienen veiligheidskleppen aangebracht. De zogenaamde tandem-kleppen kunnen bij onverantwoord oplopende druk in het primaire systeem stoom afblazen binnen het containment. Ze kunnen onder alle omstandigheden en op verschillende manieren ook weer worden gesloten.

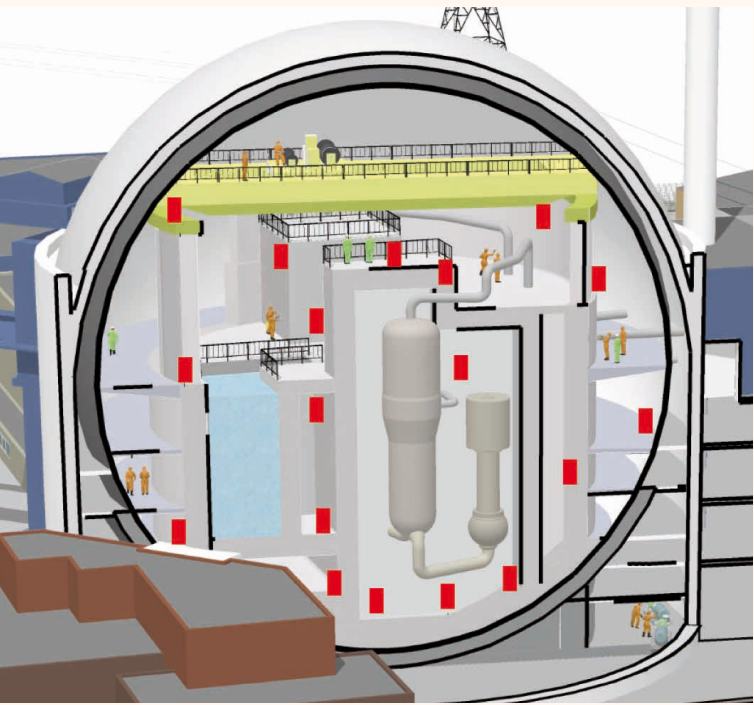


- 1 Drukhouder
- 2 Tandem-kleppen
- 3 Afblaastank

systeem

'Veiligheidsventiel' containment krijgt filter
Er wordt een filter aangebracht tussen het containment en de ventilatieschacht. Dit filter haalt het overgrote deel van de radioactieve stoffen uit de afgeblazen lucht uit het containment naar de atmosfeer bij een ongeval. De gefilterde lucht wordt geloosd naar de ventilatieschacht.

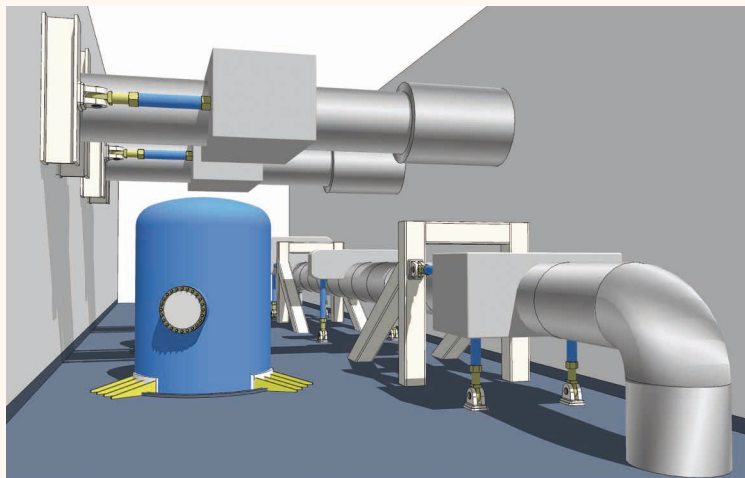
In het containment worden waterstofrecombinatoren aangebracht. Deze katalysatoren zetten waterstof om in water. Dit zijn passieve systemen, ze hoeven niet te worden bediend en gebruiken geen stroom of andere krachtbron en doen dus onder alle omstandigheden hun werk. Waterstof ontstaat uit de reactie van zirconium en water bij zeer hoge temperatuur. De katalysator (recombinator) recombineert dit met de aanwezige zuurstof weer tot water. Een waterstofexplosie zoals bij TMI en (later) Fukushima wordt hiermee voorkomen.



- Waterstofrecombinatoren

Verbeteren aardbevingsbestendigheid

Hoewel de kerncentrale Borssele niet in een aardbevingsgevoelig gebied is gebouwd, wordt tijdens de modificatie in de jaren negentig de kerncentrale wel aardbevingsbestendig gemaakt. Steunconstructies en schokabsorbers zullen bij een aardbeving pijpbreuk en het bezwijken van vitale installatiedelen voorkomen.



Verbeteren noodkoelwatervoorziening d.m.v. putten

Mocht in het uiterste geval de Westerschelde niet beschikbaar zijn voor koelwater: er worden acht putten naar het (zoute) grondwater geslagen waaruit ruim voldoende noodkoelwater kan worden geput om de kern te koelen.



Probabilistic Safety Analysis (PSA)

Sinds 1992 maakt EPZ gebruik van een probabilistische methode (PSA) die goed inzicht geeft in sterktes en zwaktes van het ontwerp van de kerncentrale.

Als uit de PSA naar voren komt dat een bepaalde veronderstelde gebeurtenis grote invloed heeft op de kernsmeltfrequentie, weet EPZ waar (preventieve) maatregelen genomen moeten worden. De PSA geeft aan 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.

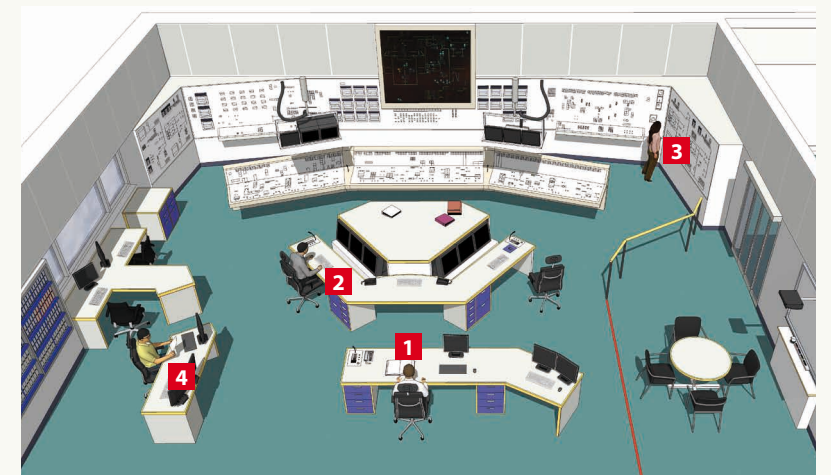
Extra personeel in de regelzaal

De regelzaal wordt grondig aangepast. De bemanning is dan al uitgebreid met een vierde persoon: de plaatsvervangend wachtingenieur. Taken en verantwoordelijkheden worden strikter en duidelijker gescheiden. De plaatsvervangend wachtingenieur houdt afstand tot het proces, observeert de gang van zaken, waakt over de te volgen procedures en bewaakt de vitale veiligheidsfuncties.

- 1 Wachtingenieur
- 2 Hoofdwerktuigkundige nucleair
- 3 Hoofdwerktuigkundige conventioneel
- 4 Plaatsvervangend Wachtingenieur

Verplichte opleiding op de simulator

De bediening van de kerncentrale onder normale, bijzondere en ongevalscondities wordt consequent en regelmatig geoefend in de simulator van de KCB die in het Duitse Essen wordt gebouwd. De opleiding op de simulator is verplicht. Wie het examen niet haalt, verliest zijn bevoegdheid om te werken op de regelzaal.



Duitse centrale introduceert Amerikaanse ongevalsprocedures

Het beste van twee werelden. Zo laat zich de veiligheidsfilosofie bij de kerncentrale Borssele in Decennium 3 zich het eenvoudigste beschrijven. Een combinatie van een Duits ontwerp waarbij de centrale zelf in staat is ongewenste gebeurtenissen te beheersen en Amerikaanse ongevalsprocedures die de mens ondersteunen bij controle van de automatische acties en flexibiliteit biedt tot aanvullende maatregelen als het ongevalsverloop dat nodig maakt.

In de eerste twee decennia ontwikkelde men op basis van operationele ervaringen in de wereld procedures per scenario. Ieder denkbaar ongeval werd voorzien van een set procedures die voorschreef hoe er per gebeurtenis moet worden gehandeld. Deze filosofie heeft enkele nadelen. Er is altijd de mogelijkheid van een onbekend scenario dat niet is voorbereid; er kunnen twee scenario's tegelijkertijd optreden of een scenario wordt niet herkend (verkeerde diagnose).

In de Verenigde Staten (Westinghouse) ontwikkelde men een set Emergency Operating Procedures die worden toegevoegd aan de bediening van de KCB in bijzondere situaties.



De ongevalsprocedures die in Decennium 3 werden ontwikkeld voorzien in:

- Optimale beheersing van ongevallen die verlopen volgens een bekend scenario
- Monitoring van kritische veiligheidsfuncties
- Ongevalsdiagnose op basis van symptomen
- Procedures voor het herstel van de kritische veiligheidsfuncties

Het doel van deze procedures is om tijdens een ongevalssituatie in alle gevallen te kunnen handelen. Zowel in gevallen dat een diagnose gesteld kan worden, maar ook als de oorzaak van een ongeluk niet duidelijk is. Het handelen is gericht op het monitoren en zonodig herstellen van de veiligheidsfuncties van de centrale en het in alle gevallen voorkomen dat splijtingsproducten in het milieu terechtkomen.

Internationale ongevalsprocedures en richtlijnen

De ongevalsprocedures op de regelzaal worden in overeenstemming gebracht met de laatste stand van de internationale standaard. De procedures worden herschreven op basis van op mogelijke gebeurtenissen gebaseerde scenario's. Enkele jaren later worden aan de standaard procedures ook nog Severe Accident Management Guidelines (SAMG's) toegevoegd. Hierin staat beschreven wat de ultieme richtlijnen zijn bij zeer zware kernongelukken waarbij alle 'normale' richtlijnen en middelen uitgeput zijn geraakt.



Decennium 4

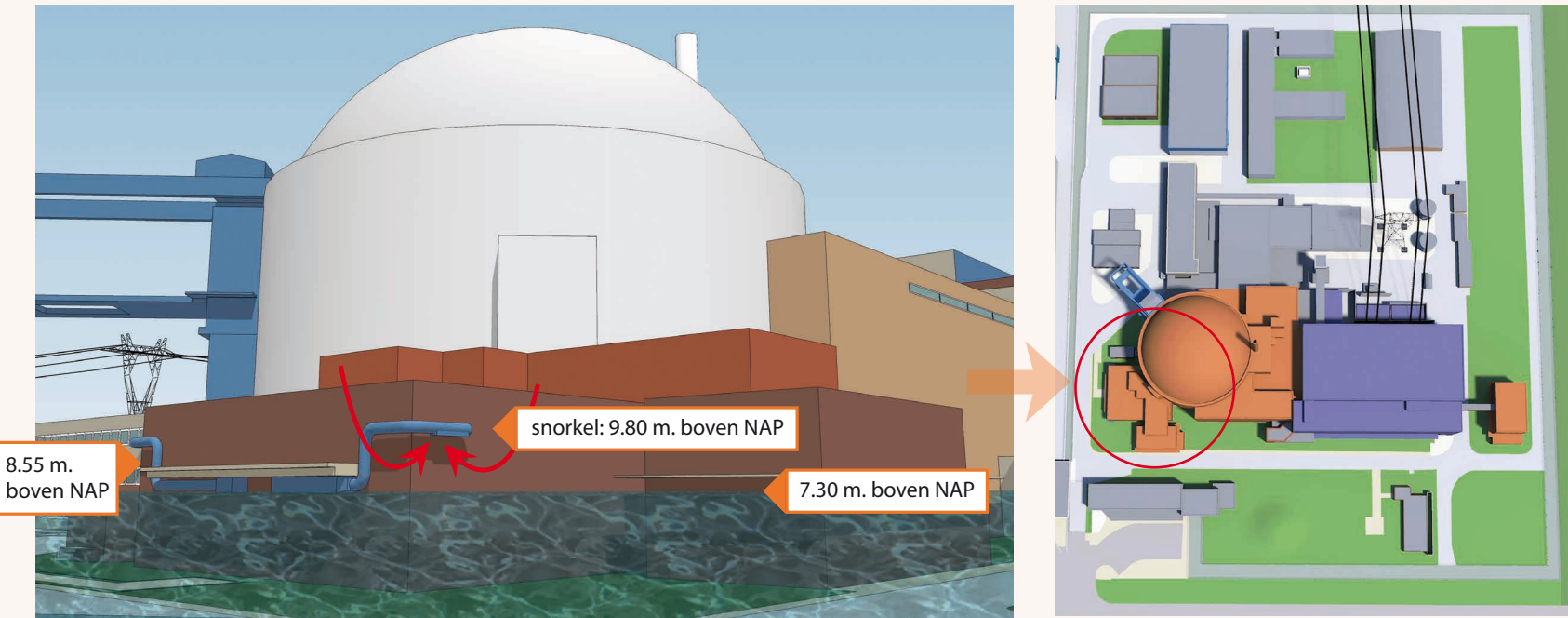
De derde modificaties

In het eerste decennium van de 21^{ste} eeuw is het vooral fine tunen van de status quo. Immers: de grote modificaties en Human Performance-maatregelen als gevolg van de leerervaring van TMI en Tsjernobyl zijn al doorgevoerd in de installatie en de organisatie.

Het blijkt dat verbeteren nog steeds mogelijk is, maar de ingrijpende aanpassingen uit de eerdere decennia blijven nu achterwege. Verbeteren gebeurt met behulp van leerervaring van internationale kennis over storingen en het vergroten van de autonomie ('zelfredzaamheid' na externe gebeurtenissen met omvangrijke schade aan de infrastructuur).

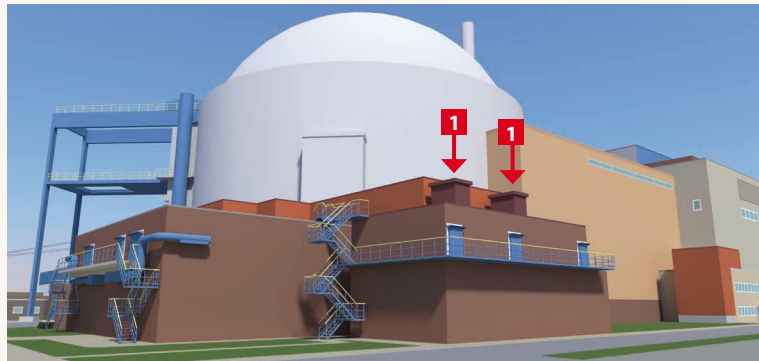
Verbeteren overstromingsniveau noodstroomvoorzieningen

Het blijkt mogelijk om het overstromingsniveau redelijk eenvoudig verder naar boven aan te passen: van 7.30 naar 8.55 meter boven NAP door de noodstroomdiesels te voorzien van snorkels en ruimtelijk te scheiden naar twee verschillende richtingen. De snorkelhoogte van 9.80 meter boven NAP zorgt voor extra marge in verband met de golfhoogte.



2006: Extra flexibiliteit door verbinding noodstroomnetten

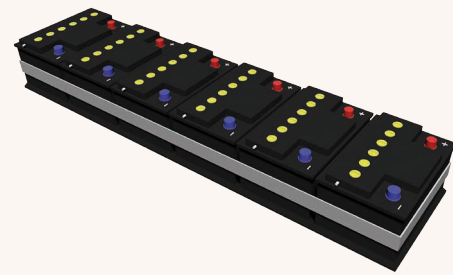
Deze twee gebouwtjes bovenop de gebunkerde systemen maken de koppeling mogelijk van de twee noodstroomnetten die de KCB heeft. Die kunnen hierdoor zowel afzonderlijk van elkaar als gecombineerd de stroomvoorziening op het complex overnemen als het landelijk elektriciteitsnet niet beschikbaar is. Dit zorgt voor extra flexibiliteit van noodstroomvoorziening in ongevalsomstandigheden en dus voor extra veiligheid.



1 Twee transformatoren om noodstroomnetten 1 en 2 met elkaar te verbinden.

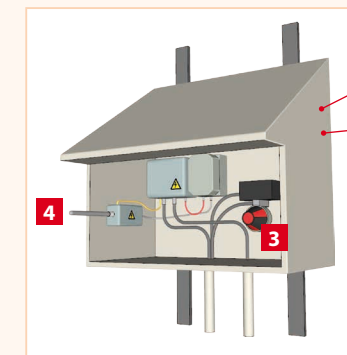
2006: Verbeteren batterijcapaciteit

De gebunkerde batterijcapaciteit voor de noodvoeding van de instrumentatie wordt uitgebreid, van minimaal twee uur naar minimaal zeven uur.

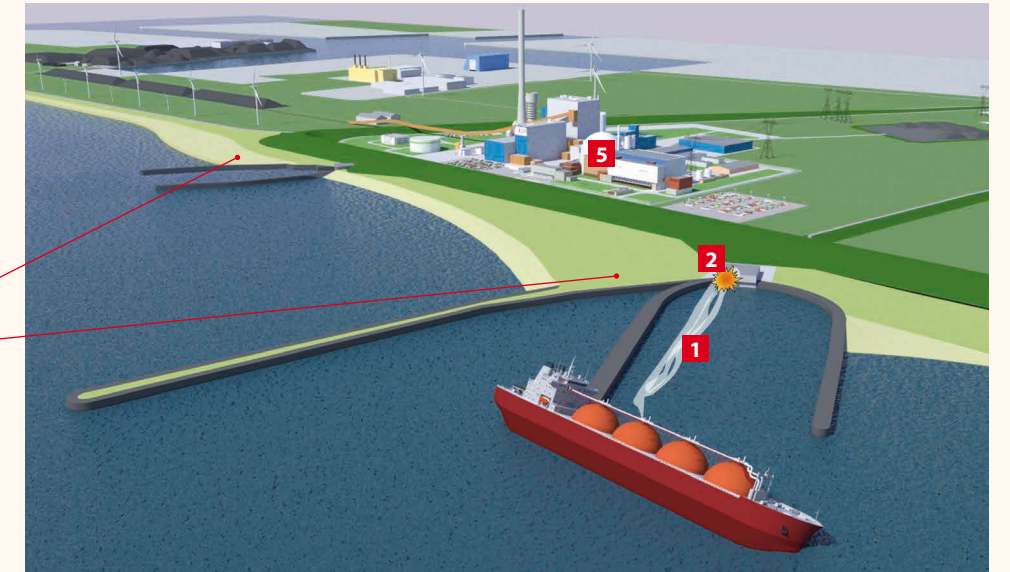


2006: Gecontroleerd luchtbehandelingssysteem

Er komt gasdetectie en -ontsteking op de dijk voor de kerncentrale. Mocht er na een scheepvaartongeluk een explosieve gaswolk vanaf de Westerschelde naar de kerncentrale drijven, dan wordt deze tijdig gedetecteerd en tot ontbranding gebracht. De regelzaal krijgt een uitgebreider gecontroleerd luchtbehandelingssysteem zodat toxische gaswolken geen effect hebben op het bedienend personeel.

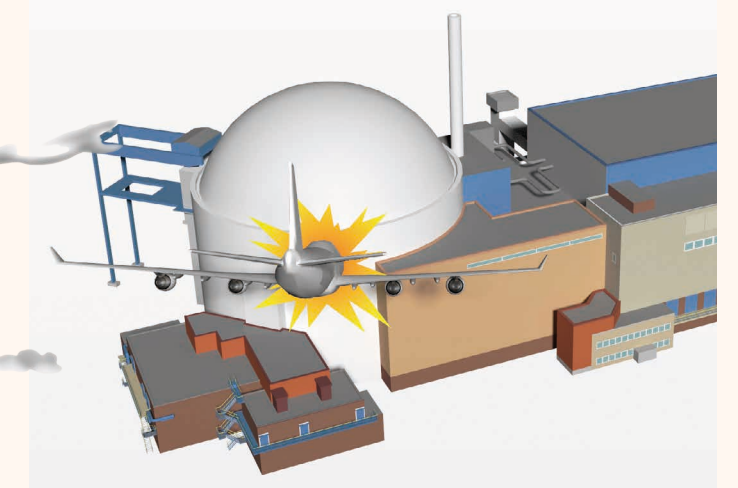


- 1 Gaswolk
- 2 Ontstekingslocatie
- 3 Detectoren
- 4 Ontstekers
- 5 Luchtbehandeling regelzaal



2006: Verbeteren veiligheid door aanschaf crash tender

Als gevolg van de terreuraanval op de Twin Towers in New York (9/11 in 2001), wordt op enige afstand van de kerncentrale een crash tender (schuimblusvoertuig) opgesteld. Bij een vliegtuig-ongeluk of gerichte aanval kan hiermee een kerosinebrand worden bestreden.



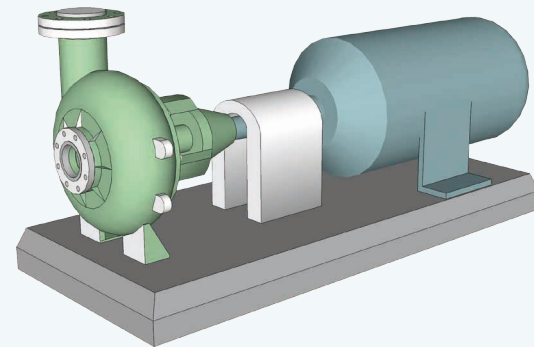
Duidelijke communicatie naar de medewerkers

EPZ besteedt veel aandacht aan de menselijke factor door de kernwaarden van het bedrijf en de verwachtingen van het management te communiceren naar de medewerkers. Er is specifieke aandacht voor de vaardigheden van de medewerkers: wat hebben zij nodig om dit waar te maken (trainingen).



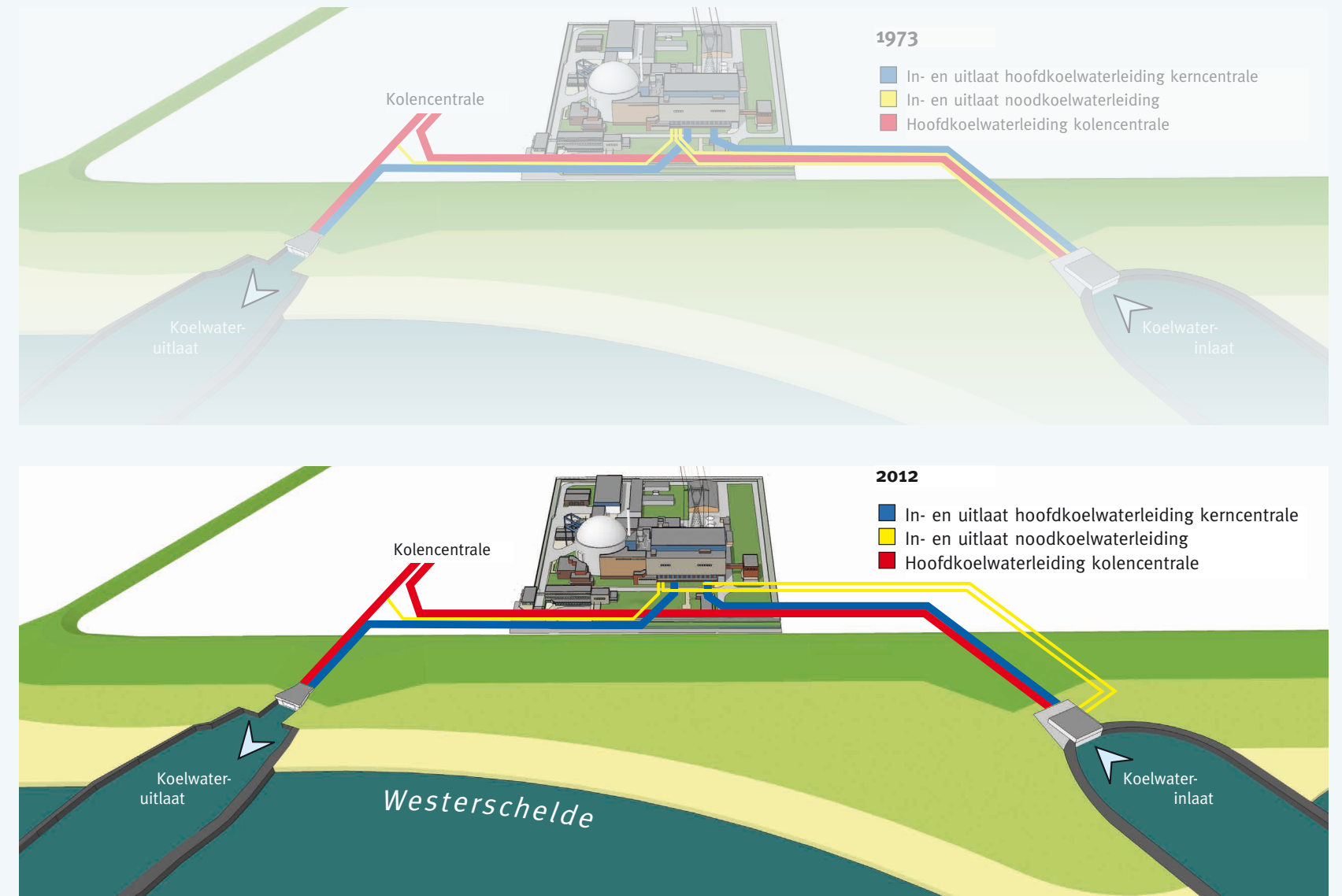
2006: Additionele pompen

Er komen extra pompen – bestand tegen externe gebeurtenissen – voor koeling van de splijtstof in het primaire systeem en het opslag-bassin in een ongevalssituatie.



2012: Verbeteren veiligheid door omleggen aanvoer koelwaterleidingen

De noodkoelwaterleidingen van de kerncentrale worden op grotere afstand van de gewone hoofdkoelwaterleidingen gelegd. Dit zorgt voor extra veiligheid: mocht de hoofdkoelwaterleiding breken, dan zal de grote hoeveelheid koelwater die daardoor over het complex spoelt niet de noodkoelwaterleiding kunnen wegspoelen.



Decennium 5

Voorgenomen en reeds uitgevoerde Modificaties en Human Performance maatregelen na Fukushima

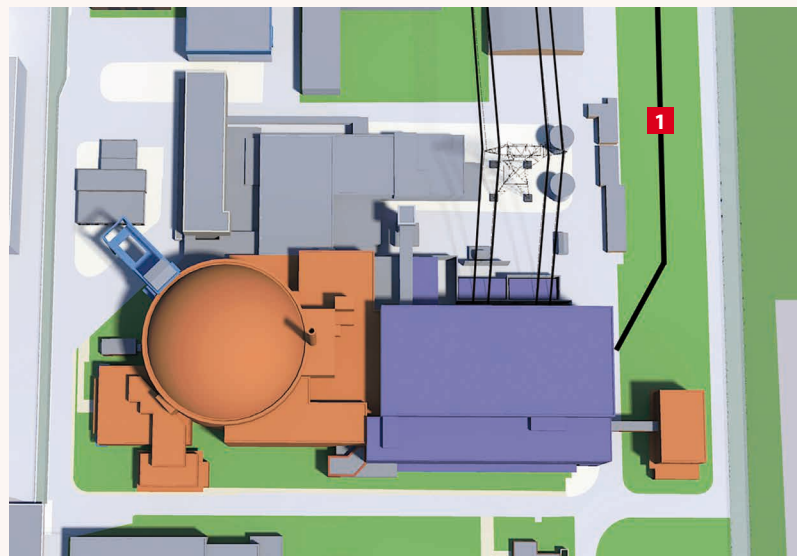
De conclusie van het geëvalueerde Robuustheidsonderzoek is dat de enige Nederlandse kerncentrale ruime veiligheidsmarges heeft, bovenop de gestelde ontwerpisen. Daarnaast zijn er diverse verbeterpunten geïdentificeerd die na realisatie de veiligheid van de centrale nog verder verhogen. Ook werd er naar antwoorden gezocht op situaties waarin niets meer normaal functioneert. Er komen meer mogelijkheden voor lokale (handmatige) bediening met mobiele middelen.

stroom

Extra redundantie met een extra 380 kV aansluiting op het openbare elektriciteitsnet

Een kerncentrale levert stroom aan het elektriciteitsnet, maar de kerncentrale neemt ook elektriciteit af voor de bediening van de eigen installaties. Vanuit nieuwe regelgeving voor extra redundantie dient de kerncentrale over twee netaansluitingen op onafhankelijke hoogspanningsnetten te beschikken. Mocht door (ongeval-) omstandigheden de reguliere netaansluiting onbeschikbaar raken, dan kan de centrale in bedrijf blijven door snelle omschakeling naar het andere net.

De KCB krijgt naast de bestaande aansluiting op het 150 kV net een extra aansluiting op het 380 kV net. Dit vergroot de mogelijkheden om stroom uit het openbare net te betrekken voor eigen gebruik. Naast deze netaansluitingen, heeft de kerncentrale tal van (nood-) stroom mogelijkheden.



1 380 kV net

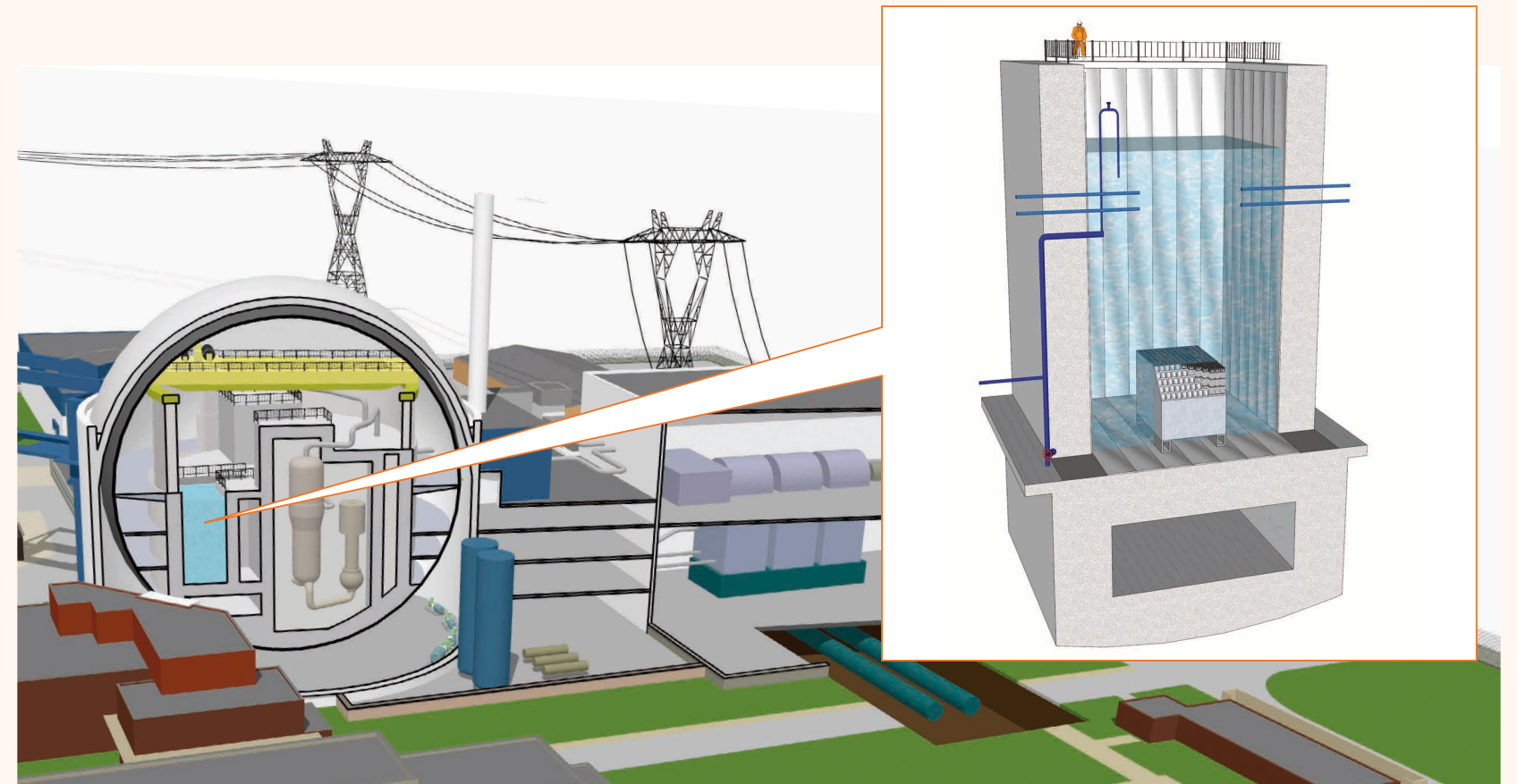
systeem

Uitbreiding koeling splijststofopslagbassin

Als gebruikte splijststof uit de reactor komt, blijft deze enige jaren in opslag in de kerncentrale om gekoeld te worden. Dat gebeurt diep onder water in het splijststofopslagbassin (SOB). Als de gebruikte splijststof weinig warmte meer produceert, wordt zij afgevoerd voor recycling.

Het ongeluk in de kerncentrales in Fukushima maakte duidelijk dat extra mogelijkheden voor het koelen van gebruikte splijststof onder extreme ongevalcondities cruciaal zijn. Zolang gebruikte splijststof bedekt is met water blijft deze stabiel. Door verdamping kan splijststof droog komen te staan, waarna de splijststofomhulling door oververhitting kan bezwijken. In dat geval komen radioactieve stoffen vrij in het reactorgebouw.

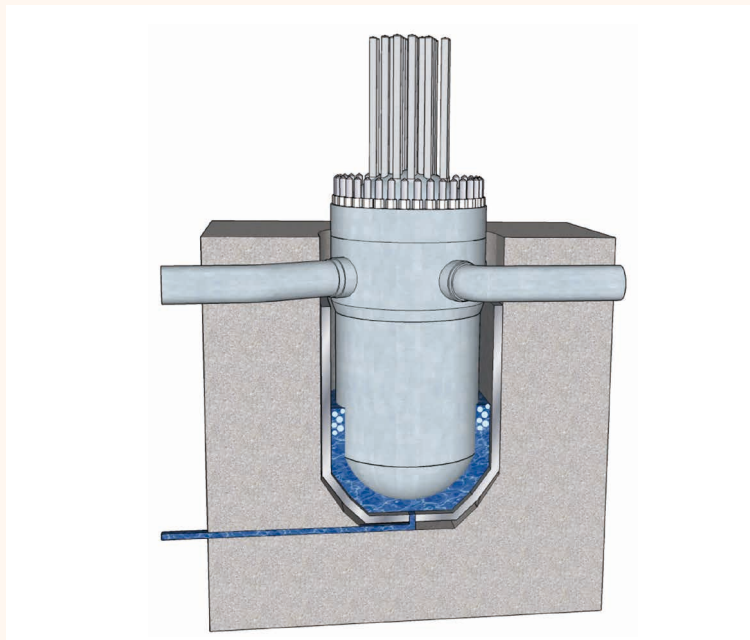
De bestaande systemen in de kerncentrale Borssele zijn al zodanig aangepast dat watertoevoer mogelijk is zonder het containment te betreden. Dit wordt uitgebreid met een mogelijkheid om van buiten de centrale via gebunkerde leidingen water naar het SOB toe te voeren. Er worden additionele aanzuig- en afvoerleidingen en een hevelbreker aan het bassin aangebracht.



Externe vatkoeling

EPZ bereidt een mogelijkheid voor om onder extreme condities de buitenkant van het reactorvat van buitenaf te koelen. Dit is de stand der techniek in moderne reactoren en kan mogelijk ook in Borssele worden toegepast.

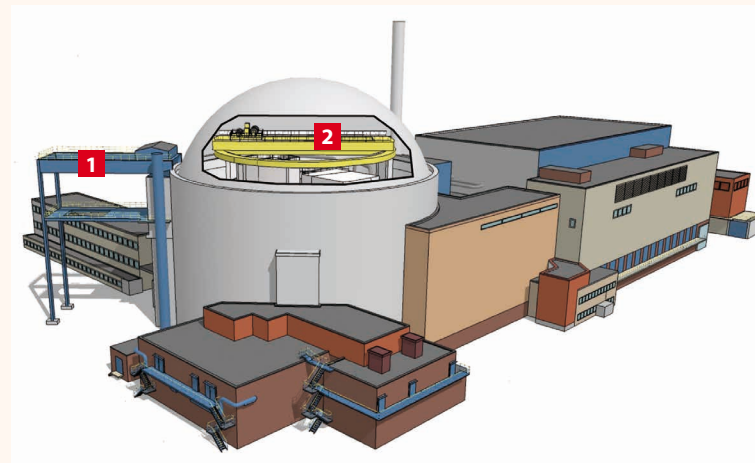
Normaal gesproken wordt de kern in het reactorvat gekoeld via bestaande of reserve leidingen. Er zijn grote watervoorraden en vele reserve systemen om dit ook onder (extreme) ongevalscondities te kunnen doen. Zelfs als dit primaire systeem door breuk of het wegvallen van pompen niet meer beschikbaar is, kan nog worden gekoeld. Echter, omdat er tussen het reactorvat en de betonnen omhulling nog een luchtgekoelde ruimte zit, kan hierin nog een extra nood-koelsysteem worden aangebracht. Als alle andere systemen onbeschikbaar raken, kan zo het reactorvat nog aan de buitenzijde worden gekoeld met (brandblus)water. Zo ontstaat een extra koelmogelijkheid die de veiligheid verder vergroot (voorkomen vat-falen).



2014: Upgrade polaire kraan en portaalkraan

Er wordt vastgesteld dat de kranen nog kunnen worden verbeterd door deze te voorzien van een redundante (reserve) aandrijving en kabels.

De polaire kraan wordt gebruikt voor zwaar werk in het containment (bijvoorbeeld voor het hijsen van splijtstofcontainers) – de portaalkraan voor het in- en uithijsen van materiaal in de bol. Bij het stilvallen van de kraan kan met een redundante aandrijving de last in een veilige toestand worden gebracht.



1 Portaalkraan
2 Polaire kraan

Opwaardering Reactor Regeling/Begrenzing

Het Reactor Control & Limitation System (RCLS) is het systeem dat de reactor van de KCB regelt en begrenst. Dit is een analogo systeem dat dateert uit de jaren zeventig van de vorige eeuw en dat voortdurend is onderhouden, uitgebreid en aangepast aan de stand van de techniek. Met het beschikbaar komen van digitale systemen die voldoende betrouwbaar zijn om te kunnen worden toegepast in een kerncentrale, voorziet EPZ uitwisseling van bestaande analoge elektronica door een digitaal systeem van procescomputers.

Naast dit preventief onderhoud is er tegelijkertijd gekeken naar het aanbrengen van extra functionaliteit die de nucleaire veiligheid verder verhoogt en zich bewezen heeft in jongere kerncentrales.

Met de mogelijke nadelen als cybercrime, wordt in het ontwerp rekening gehouden. De procescomputers zullen van buiten de kerncentrale niet te benaderen zijn (geen netwerkverbindingen) en uitvoerig worden beveiligd tegen ongeautoriseerd benaderen van binnen het bedrijf.

Voor het reactorbeveiligingssysteem blijft de bewezen analoge techniek gehandhaafd, waardoor cybercrime op dat niveau wordt voorkomen.



OngevalsRespons Faciliteit & Opslag Mobiele Middelen

Eén van de zaken die na Fukushima is geleerd, is het belang van OngevalsRespons voorzieningen die ook na de meest extreme scenario's nog steeds operationeel zijn. Daarnaast is het belang van de aanwezigheid en beschikbaarheid van mobiele hulpmiddelen en gereedschappen aangetoond.

EPZ beschikt over beide. Echter, de huidige OngevalsRespons Faciliteit zou in sommige zeer extreme situaties onbruikbaar kunnen raken. Daarom gaat EPZ nieuwe OngevalsRespons voorzieningen treffen voor deze zeer extreme situaties. Daarnaast worden voorzieningen getroffen voor de opslag van mobiele middelen.

Uitgangspunt van de stresstest is uitval van alle elektrische voeding en koeling. Dit betekent dat alle bestaande (veiligheids)-systemen worden verondersteld niet meer te werken. Dit ondanks alle redundantie, diversiteit, reserve en (gebunkerde) uitvoering. EPZ kan dan met mobiele hulpmiddelen toch de kernkoeling waarborgen. Water wordt dan met brandbluspompen direct in de stoomgeneratoren en het splijtstof opslagbassin geïnjecteerd. Ook kan EPZ mobiele aggregaten inzetten voor noodstroom.

Om de mogelijkheden te verruimen gaat EPZ universele brandweeraansluitingen aanbrengen op installatiedelen zodat elke voorhanden waterbron ook door personen van buiten EPZ kan worden ingezet om splijtstof te koelen. Uiteraard alleen bij extreme ongevalssituaties. Daarnaast voorziet EPZ extra gebunkerde koelmogelijkheden rechtstreeks op de primaire kring, het splijtstof opslagbassin en de ruimte rond het reactorvat.



Versterken autarkie

Mocht er – om welke reden ook – geen personeel meer aanwezig zijn, dan brengt de installatie zichzelf naar een veilige toestand. De KCB kan zich vervolgens zonder menselijk ingrijpen minimaal tien uur zelfstandig redden. Daarvoor zijn automatisch werkende systemen en genoeg diesel- en watervoorraden op het complex aanwezig. Deze tien uur is gebaseerd op één shift van het wacht-personeel plus marge.

EPZ gaat deze onafhankelijkheid vergroten. In deze filosofie wordt aangenomen dat het meer tijd kan kosten om de bediening van de centrale weer door personen over te laten nemen, zodat de centrale in staat moet zijn zich langer zelfstandig te redden.

Met deze vergroting van de autarkietijd verruimt EPZ haar marge voor het arriveren van personeel van buiten de centrale onder extreme omstandigheden. Overigens: Fukushima heeft laten zien dat onder de zeer extreme (maatschappij-ontwrichtende) omstandigheden van een aardbeving en tsunami personeel binnen acht uur aanwezig is.

Versterken autonomie-tijd

De KCB heeft voldoende diesel- en watervoorraden om de centrale na uitval van de externe stroomvoorziening tenminste 72 uur in een veilige toestand te houden. Uit het robuustheidsonderzoek na Fukushima blijkt dat met de bestaande voorraden de veilige toestand tot zeker 14 dagen zonder externe hulp verlengd kan worden. Met aanvullende mobiele voorzieningen kunnen deze voorraden makkelijker worden benut. Met deze verlenging van de autonomie-tijd verruimt EPZ haar marge voor het invoeren en arriveren van (internationale) hulp onder extreme omstandigheden.

Robuustere procedures na Fukushima

Het ongeluk met de kerncentrale in Fukushima maakte duidelijk dat onder zeer extreme omstandigheden moet worden teruggevallen op ultieme procedures om de kerncentrale in een veilige toestand te houden. Ook als alles stuk is, moet de veiligheid nog kunnen worden gewaarborgd.

Er wordt ingezet op Extensive Damage Mitigation Guides, procedures die zich vooral richten op het koelen van splijtstof met alternatieve (mobiele) middelen. Ook worden er procedures opgesteld om dit voor langere tijd onder moeilijke omstandigheden vol te houden, zoals het wisselen van aanvals- en wachtploegen, het transporteren van menskracht en materieel met bijzondere middelen (boten, waad-trucks, helikopters en meetwagens). En er komen procedures om flexibel om te kunnen gaan met voorhanden middelen.

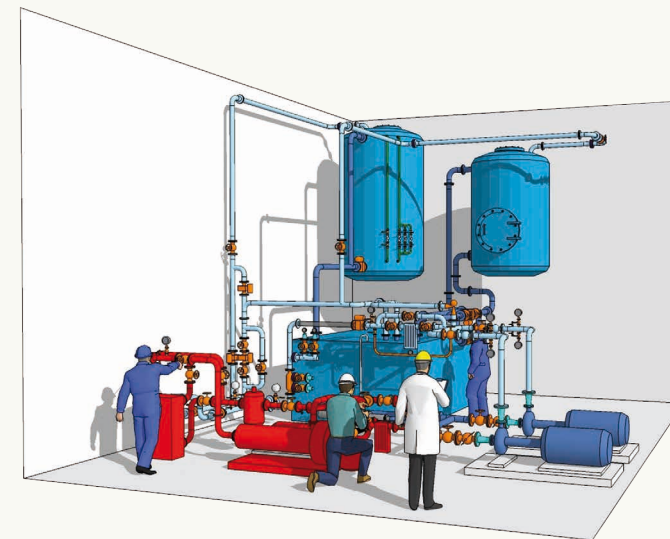


Werkpraktijksimulator

In de werkpraktijksimulator wordt een deel van de installatie nagebouwd als trainingsomgeving waarin verschillende situaties geoefend worden. Door de gesimuleerde installatie wordt water rondgepompt, er zitten filters, afsluiters, pompen en uiteraard meet- en regeltechniek in. De installatie heeft dezelfde onderdelen, kleuren en kenmerken als in de kerncentrale.

In de werkpraktijksimulator kan de hele werkpraktijk getraind worden van de werkvoorbereiding tot en met de uitvoering en de werknabespreking. De trainingsmogelijkheden zijn enorm. Van het lopen van een eenvoudige controleronde tot het ontdekken van een stralingshotspot of het uitvoeren van allerlei werkzaamheden. In plaats dat operators in een klaslokaal aanhoren wat je doet als je een olie lekkage tegenkomt worden ze geconfronteerd met een ‘echte’ olie lekkage. Er zijn ongeveer tachtig van dit soort variabelen ingebouwd die in verschillende combinaties getraind kunnen worden.

De werkpraktijksimulator levert een bijdrage aan het verminderen van het aantal storingen die het gevolg zijn van menselijk handelen gerelateerd aan de werkpraktijk.



Toekomst simulator

De KCB regelzaalsimulator speelt een cruciale rol bij de opleiding van het regelzaalpersoneel van de kerncentrale. Naast normale bedrijfsvoering wordt in de simulator vooral geoefend als voorbereiding op ongewenste gebeurtenissen door storingen en incidenten.

De regelzaalsimulator brengt op elk moment iedere gewenste praktijksituatie binnen bereik en – minstens zo belangrijk – ook ongewenste. De regelzaalsimulator werd vanaf 1997 operationeel. Na de oplevering zijn steeds kleinere en grote modificaties uitgevoerd. Hierdoor wordt steeds zo goed mogelijk de actuele toestand van de kerncentrale gesimuleerd. Zo is bijvoorbeeld de turbineregeling gewijzigd bij de installatie van een nieuwe turbine in 2007.

In 2014 is een nieuw kernmodel toegevoegd waardoor ook de effecten van MOX splijtstof gesimuleerd kunnen worden. Bovendien is het mogelijk geworden om wijzigingen in de samenstelling van de kern gemakkelijk aan te passen zodat altijd getraind wordt met een actuele samenstelling van de reactorkern.

De mogelijkheden van simulatie zijn de laatste jaren enorm toegenomen. Dit wordt vooral veroorzaakt door de verhoging van de snelheid en geheugencapaciteit van de computers waarmee gesimuleerd wordt. Hierdoor wordt het mogelijk het realistisch gehalte van de simulator verder te verhogen waardoor beter kan worden ingespeeld op ongewenste gebeurtenissen.

In dit decennium worden alle recente aanpassingen zoals de regelstaafbesturing verwerkt zodat de simulator weer helemaal up to date is.



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

20 juli 2015