

445 bedrijfsstoringen kerncentrale Borssele

Noodstroomvoorziening zwakke plek

Herman Damveld

Bijgewerkt tot 29 juni 2020

De overheid brengt vanaf 1980 jaarlijks een overzicht uit van storingen en ongevallen in de kerncentrales. Uit die overzichten blijkt dat zich tot juni 2020 in de kerncentrale Borssele 445 bedrijfsstoringen hebben voorgedaan.^{1 2 3} Daarbij vielen regelmatig belangrijke veiligheidsvoorzieningen uit. In 1981, 1984, 1986, 1987, 1989, 2006, 2010, 2011, 2013, 2014 en 2015 zijn er problemen geweest met de noodstroomvoorziening en de dieselaggregaten. In mei 2015 bleek dat verschillende accu's niet voldeden aan de eis dat ze in noodsituaties minstens een uur lang stroom konden leveren voor de bediening van de centrale.⁴ Dat de noodstroomvoorziening en de dieselaggregaten niet werkten, kwam dus niet alleen in Fukushima, maar ook in Borssele voor.⁵ Het is dan ook niet vreemd dat de exploitant EPZ op 6 april 2016 heeft aangegeven "dat een extra batterij (accu's) wordt geplaatst op het tweede noodstroomnet" en dat "twee aansluitpunten voor een mobiele dieselgenerator (worden) aangebracht op het eerste noodstroomnet. Hierdoor kan een mobiel noodstroomaggregaat worden aangesloten in het geval dat de stroom van het externe net, het eigen bedrijf en de noodstroomgeneratoren uitvallen."^{6 7} Op 4 augustus 2018 sloeg de kerncentrale automatisch af. Dat had schade tot gevolg aan een hoofdkoelmiddelpomp, die van wezenlijk belang is voor het afvoeren van de warmte die vrijkomt bij de kernsplijting in Borssele. De exploitant EPZ nam de kerncentrale op 16 september 2018 weer in bedrijf.^{8 9 10 11 12} Uit detailonderzoek bleek dat de oorzaak ligt bij een transistor op één van de printplaten. Uit voorzorg heeft EPZ alle printplaten van dit type in dit meervoudig uitgevoerde beveiligingssysteem in februari 2019 vervangen.¹³

Noodstroomvoorzieningen

In de kerncentrale Borssele zijn steeds opnieuw problemen met noodstroomvoorzieningen. Die problemen kunnen blijkbaar maar niet opgelost worden. Dit blijkt uit een nieuwe analyse van storingen in de kerncentrale Borssele. Vooral de laatste jaren zijn er vrijwel elk jaar problemen met noodstroomvoorzieningen en dieselaggregaten. Uit het overzicht blijkt dat zulke problemen zich voordeden in 1978, 1979, 1981, 1984, 1986, 1987, 1989, 2006, 2010, 2011, 2013, 2014 en 2015.

Noodstroomvoorzieningen zijn een belangrijk onderdeel van de veiligheid van een kerncentrale. Die moeten er namelijk voor zorgen dat alle veiligheidssystemen kunnen blijven werken als de reguliere stroomvoorziening uitvalt.

Dat de noodstroomvoorziening en de dieselaggregaten in Fukushima niet langer werkten was een belangrijke reden voor de ramp in de kerncentrale in maart 2011. Maar ook in de kerncentrale Borssele komt dat dus regelmatig voor.

Gelukkig is het tot nu toe niet echt fout gegaan in Borssele, maar een aantal keren zijn stappen op weg naar een ernstig ongeluk gezet. In antwoord op Kamervragen over de gebeurtenissen tot en met 2010 stelde de toenmalige minister Verhagen hierover op 19 april 2011 dat Borssele "geen bijzonder gevaar" liep bij storingen.¹⁴

Maar in feite erkent de minister dat er ter dege gevaar is geweest want, zo somt hij op in zijn antwoord:

- "In 1986 is de noodstroomvoorziening aangepast."
- "In 1991 is een extra voorziening aangelegd die er voor zorgt dat de kerncentrale na afschakeling gedurende 45 minuten zonder externe voeding of noodstroom nog vervalwarmte kan afvoeren".

- “In 1994 is de omschakeling voor de eigen elektriciteitsvoorziening na afschakeling van de reactor ... verbeterd”.
- “In 1997 zijn de dieselgeneratoren van het eerste noodstroomnet vervangen”, hebben ze “een grotere capaciteit, met eigen onafhankelijke koelsystemen en met een verbeterde aansturing”;
- “In de noodprocedures wordt sinds 2006 ook rekening gehouden met het niet beschikbaar zijn van externe elektrische voedingen gedurende een langere periode.”

Al deze maatregelen zouden niet nodig geweest zijn, als de hier genoemde storingen niets hadden voorgesteld. Maar ook na 2010 zijn er problemen geweest met de noodstroomvoorzieningen. De maatregelen die minister Verhagen noemde in 2011 waren blijkbaar onvoldoende, want vanaf 2010 zijn er, met uitzondering van 2012, elk jaar problemen geweest met de noodstroomvoorziening.

Het is dan ook niet vreemd dat de exploitant EPZ op 6 april 2016 heeft aangegeven “dat een extra batterij (accu’s) wordt geplaatst op het tweede noodstroomnet” en dat “twee aansluitpunten voor een mobiele dieselgenerator (worden) aangebracht op het eerste noodstroomnet. Hierdoor kan een mobiel noodstroomaggregaat worden aangesloten in het geval dat de stroom van het externe net, het eigen bedrijf en de noodstroomgeneratoren uitvallen.” Tevens wordt een tweede onafhankelijke netverbinding aan het landelijke (380 kV) elektriciteitsnet met een ondergrondse kabel geïnstalleerd. “Deze nieuwe aansluiting kan worden gebruikt als de bestaande 150 kV aansluiting niet beschikbaar is. Tevens zal deze nieuwe aansluiting worden gebruikt als vervanging van de voeding vanuit de kolencentrale van EPZ die eind 2015 uit bedrijf is gegaan.”^{15 16} In totaal gaat het om een “elftal maatregelen gericht op het verbeteren van de nucleaire veiligheid.” Hierover kan men van 7 april 2016 tot en met 18 mei 2016 een zienswijze indienen.¹⁷

Op 23 mei 2016 reageerde minister Schulz op een verzoek van Greenpeace en WISE om de kerncentrale meteen te sluiten.¹⁸ Ze stelde: “De KCB heeft elektriciteit nodig om zichzelf te kunnen koelen wanneer deze uitgeschakeld staat. Hiervoor heeft de kerncentrale onder andere een directe aansluiting met het elektriciteitsnet, vijf dieselgeneratoren en accu’s. Daarnaast heeft de kerncentrale een extra, tweede verbinding met het elektriciteitsnet via de nabijgelegen kolencentrale, deze tweede aansluiting is verplicht.” De kolencentrale sloot in november 2015 maar, stelt de minister: “De alternatieve voeding voor de kerncentrale komt, via transformatoren van de kolencentrale met behulp van een ondergrondse kabel, vanuit het 150kV elektriciteitsnet. De verbinding die daar verantwoordelijk voor is blijft intact en in gebruik tot volgend jaar een nieuwe tweede verbinding met het 380kV elektriciteitsnet gerealiseerd is. (...) De kolencentrale zelf was geen alternatieve voeding van de kerncentrale. Er was alleen voeding naar het elektrische net. Het al dan niet draaien van de kolencentrale heeft daarom geen invloed op de veiligheid of op de vergunning van de KCB zolang de tweede verbinding van de kerncentrale aan het elektriciteitsnet via de kolencentrale intact blijft.”¹⁹

445 BEDRIJFSSTORINGEN KERNCENTRALE BORSSELE

Geschiedenis Borssele

Op 25 oktober 1973 kwam de kerncentrale Borssele officieel in bedrijf²⁰ en was daarmee 40 jaar oud. Op het moment dat deze mijlpaal bereikt werd, leverde de Borssele geen stroom: de kerncentrale had vanaf september 2013 last van een storing die niet snel te verhelpen was. Borssele behoort nu tot de 10 procent oudste kerncentrales ter wereld; de oudste kerncentrale is 46 jaar.²¹ De VVD-PvdA-regering besloot op 20 maart 2013 om de bedrijfsduur van de kerncentrale Borssele te verlengen tot 2034²²: dan zou de kerncentrale 60 jaar zijn

1. DEFINITIES INCIDENTEN OF STORINGEN

De overheid brengt sinds 1980 jaarlijks een overzicht uit van de storingen in kerninstallaties. Dit gebeurt vanaf 1980 omdat de Tweede Kamer er niet eerder naar had gevraagd. Eerst na het ongeluk in 1979 met de Amerikaanse kerncentrale Harrisburg wilde de Kamer de gegevens. De gegevens komen via de Kernfysische Dienst naar de Tweede Kamer.

Vanaf augustus 1990²³ hanteert de overheid de "Internationale Nucleaire Gebeurtenissen Schaal", een initiatief van het Internationale Atoom Energie Agentschap (IAEA) en het Nucleaire Energie Agentschap van de OESO van mei 1990²⁴.

De minister van Sociale Zaken stelde hierover: "Wereldwijd bestond de ervaring dat soms onbeduidende voorvallen in kerninstallaties aanleiding waren tot onnodige verwarring en angst bij de bevolking omdat er geen eenduidige maat was om de ernst van een voorval af te meten"²⁵.

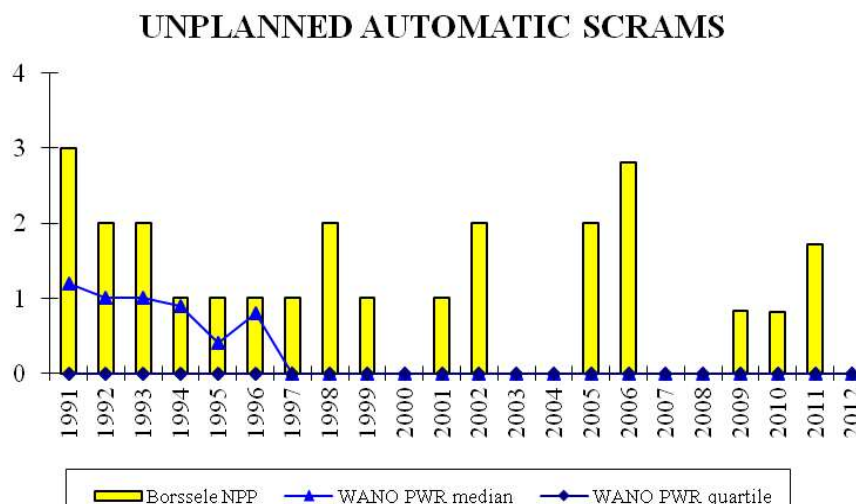
De internationale schaal kent zeven niveaus, die alleen betrekking hebben op nucleaire of radiologische veiligheid. Gebeurtenissen op niveau 1, 2 of 3 heten voortaan "incidenten", bij niveau 4 tot en met 7 gaat het om "ongevallen". De kernrampen bij Tsjernobyl en Fukushima zijn niveau 7, de kernsmelting bij Harrisburg niveau 5.

Gebeurtenissen zonder veiligheidsbelang krijgen de aanduiding niveau nul en heten "storingen", hoewel niveau 1 ook de omschrijving "storingen" krijgt. Bij een storing is sprake van "functionele of operationele afwijkingen welke geen risico met zich mee brengen maar die duiden op een gebrek aan veiligheidsvoorzieningen".²⁶

2. 445 BEDRIJFSSTORINGEN

Hieronder volgt een overzicht van de bedrijfsstoringen in de kerncentrale Borssele vanaf 1973 tot en met oktober 2013. Over de jaren 1973 tot 1980 beschikken we niet over gegevens van de regering, maar maken we dankbaar gebruik van het speurwerk van de stichting Laka te Amsterdam. Wel is het zo dat blijkens de toelichting van de minister van Sociale Zaken bij het eerst gegeven overzicht "de opgetreden storingen ... in 1980 globaal qua aantal en ernst overeenkomen met de voorgaande jaren"²⁷.

Figuur 1 Noodstops kerncentrale Borssele als voorbeeld storingen



Bron: Ministerie van Economische Zaken, "Convention on Nuclear Safety (CNS), National Report of the Kingdom of the Netherlands for the Sixth Review Meeting in April 2014, juli 2013."²⁸

3. BELANGRIJKSTE STORINGEN

Hieronder volgt een korte beschrijving van de belangrijkste "storingen" in de kerncentrale Borssele. De beschrijvingen hebben een technisch karakter. Vooral in de eerste jaren was de informatie van de overheid dermate summier dat moeilijk te bepalen was waarom bepaalde voorvallen ernstig waren.

De minister van Sociale Zaken is slechts één keer ingegaan op de oorzaken van storingen, toen hij stelde dat ongeveer 30 procent van de storingen veroorzaakt wordt door verkeerde menselijke handelingen ²⁹

TABEL 1
OVERZICHT BEDRIJFSSTORINGEN KERNCENTRALE BORSSELE

jaar	aantal
1973	4
1974	6
1975	3
1976	3
1977	4
1978	3
1979	2
1980	17
1981	16
1982	11
1983	7
1984	11
1985	7
1986	8
1987	17
1988	10
1989	25
1990	18
1991	23
1992	20
1993	21
1994	17
1995	8
1996	14
1997	15
1998	10
1999	8
2000	12
2001	9
2002	10
2003	6
2004	8
2005	13
2006	17
2007	5

2008	6
2009	3
2010	9
2011	8
2012	3
2013	4
2014	2
2015	3
2016	3
2017	4
2018	7
2019	3
2020	1

TOTAAL	445

1973³⁰

In december scheurt een stoomleiding, waardoor de centrale 14 dagen uit bedrijf is.

1974³¹

De kerncentrale is in 1974 herhaaldelijk stilgelegd voor ‘kleine lekkages en inspecties’.

1975³²

In februari 1975 werd de kerncentrale stilgelegd omdat bij inspectie allerlei mankementen werden ontdekt, zoals lekkages en beschadigingen aan splijststofelementen. De reparatie duurde twee maanden.

1976³³

Bij de splijststofwisseling in maart 1976 blijken twee splijststofelementen lekkages te vertonen.

1977³⁴

De kerncentrale moest in november stilgelegd worden omdat door een storm het koelwatercircuit verstopt dreigt te raken door graspollen, wrakhout en ander materiaal.

1978^{35 36}

Als Kamerleden als voorbereiding op het Kamerdebat over het ongeluk in Harrisburg in december 1979 op bezoek gaan bij de kerncentrale in Borssele en (een deel van) de logboeken inzien, blijkt dat er in januari 1978 een ernstige storing was. Vier kleppen van het noodkoelsysteem stonden toen verkeerd, waardoor het noodkoelsysteem niet had kunnen functioneren als er iets mis was gegaan. Bij een breuk in het primaire koelsysteem had men niet meer dan een half uur de tijd gehad om het koelsysteem alsnog in orde te krijgen. De exploitant van de kerncentrale die deze ernstige zaak geheim had gehouden, spreekt van een ‘menselijke fout’.

23 december 1979 ^{37 38}

In december 1979 was er een ernstige storing in de centrale Borssele die nog veel ernstiger had kunnen aflopen: de koeling viel uit nadat een storing aan een stuurklep ‘inventief’ was verholpen met een stuk hoekstaal. Een elektrische noodvoedingspomp nam het over, maar één

noodpomp was te weinig. Een tweede is echter in reparatie en een derde wil niet starten, ook na herhaalde pogingen niet. Er werd weer 'inventief' opgetreden door "het opentrekken van een snelafsluiter en deze met een plaat te blokkeren." Een ongebruikelijke procedure, maar ook een ongewenste. Want ze had als gevolg dat "de beveiligingen buiten werking gesteld werden". Dit kwam pas in oktober 1982 in de openbaarheid als interne documenten gepubliceerd worden in Vrij Nederland.

1980³⁹

In dit jaar kwamen er een aantal lastige lekken voor in het primaire systeem - het watersysteem rond het hart van de reactor - (2 juni), bij ventilatiekleppen van het reactorin-sluitsysteem (3 december) en bij het noodkoelsysteem (16 december).

1981⁴⁰

Op 2 maart startte de kerncentrale op na een splijtstofwisseling. Een klep in het secundaire systeem werd daarbij geopend en wilde niet meer dicht. Hierdoor kookte één van de stoomgeneratoren droog, waardoor de kerncentrale moest afschakelen. Daarbij ontstond tevens een lekkage bij de dichting van het mangat-deksel van de drukhouder.

Op 7 maart raakte één van de drie *noodvoedingwaterpompen defect* en omdat een andere pomp in reparatie was, werd niet voldaan aan de eis dat twee pompen in bedrijf moeten zijn. Met de handbediening werd een noodstop uitgevoerd.

1982⁴¹

Er werden op 26 februari werkzaamheden uitgevoerd op de plek waar koelwaterleidingen naar de turbinehal gaan. Daarbij raakte de coating op de buitenkant van een leiding in brand, hetgeen gepaard ging met een sterke rookontwikkeling. De rook drong ook door in aangrenzende ruimten. Na brandalarm en inschakeling van de bedrijfs- en gemeentebandweer werd de brand geblust.

1983⁴²

Tijdens de inbedrijfstelling na een splijtstofwisseling op 6 maart werd een lekkage vastgesteld in de condensor. De condensor is het deel van de centrale waar de stoom die door de turbine is geblazen voor stroomopwekking wordt afgekoeld, condenseert, met koelwater uit de Westerschelde. Een los geraakte steun had enige condensorpijpen beschadigd. Door de lekkage kwam zout zeewater in het secundaire systeem. De reactor werd afgeschakeld. Later besloot men de condensor te vervangen.

1984⁴³

Door een extreem lage waterstand kon op 12 januari geen koelwater meer worden ingenomen uit de Westerschelde: het koelwater-inlaatgebouw kwam droog te staan. Daarop werd besloten de centrale af te schakelen en *de noodkoeling die op diesel werkt in bedrijf* te nemen. De neven- en noodkoelwaterpompen waren namelijk automatisch afgeslagen. Vervolgens trad een elektrische storing op, met als gevolg dat stoom moest worden afgeblazen. Eén afblaasklep bleek echter niet te bedienen te zijn als gevolg van de elektrische storing. De warmteafvoer vond toen plaats via een andere klep. Na drie kwartier kon door de opkomende vloed weer koelwater worden ingelaten. Bij de analyse van het ongeluk bleek dat de druk in het stoomsysteem zo hoog is geweest, dat de veiligheidskleppen open hadden moeten gaan. Maar dat is niet gebeurd. Uit onderzoek kwam naar voren dat de kleppen vastzaten door corrosie (roest).

Conclusie: gelukkig heeft zich al de tijd dat deze kleppen hebben vastgezet geen pijpbreuk of iets dergelijks voorgedaan, want dan zou door oplopende druk het hart van de reactor onder

toenemende druk hebben gestaan met eventueel catastrofale gevolgen.

1985 ⁴⁴

Bij het testen van een nieuw watertoevoersysteem bleek op 18 april dat een klep in het leidinggedeelte tussen de pomp en de hoofdkoelmiddelleiding in de open stand niet voldoende water doorliet. Men stelde vast dat het om fabricagefout ging.

1986 ⁴⁵

Op 27 februari tijdens een brandstofwisseling werd een nieuwe transformator in bedrijf genomen. Deze voorziet de centrale van elektriciteit vanuit het hoogspanningsnet wanneer de centrale zelf buiten bedrijf is. Bij het testen van de transformator ontstond een storing en viel de elektrische voeding uit. Door een menselijke fout kwam slechts één noodstroomdieselaggregaat in werking. *Geen van de drie noodkoelwaterpompen deed het en daardoor verloor het noodstroomdieselaggregaat zijn koelwatervoorziening en viel uit. Door inschakeling van de elektrische verbindingen met de kolencentrale die vlak naast de kerncentrale staat, werd de kerncentrale van stroom voorzien.*

De kerncentrale kan niet zonder stroom, want er moeten altijd pompen blijven werken die koelwater laten circuleren. Zonder stroom weet men in de controlekamer niet meer hoe de stand in de centrale is.

In antwoord op vragen van het voormalige Kamerlid Kees Zijlstra (PvdA) schreef de minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid dat de storing van 27 februari internationaal is gemeld "vanwege het tijdelijk wegvallen van een aanzienlijk deel van de wisselstroomvoorziening in de centrale". Volgens de minister kwam de storing voort uit een beproeving die geen gevolgen kon hebben vanwege de genomen maatregelen, namelijk het van tevoren ontladen van de splijststofelementen uit de kern en een extra elektrische voeding vanuit de naastgelegen kolencentrale. ⁴⁶ We kunnen hieruit concluderen dat het uitvallen van de betreffende transformator bij vol bedrijf (met beladen reactorkern) én in het geval de aanvoer van elektriciteit uit de kolencentrale het niet doet (of de kolencentrale stil ligt) tot een ernstig ongeval kan leiden.

1987 ⁴⁷

Er ging op 10 oktober iets mis terwijl de centrale in vol bedrijf was. Uit de overheidsgegevens wordt niet duidelijk wat er precies aan de hand was. In ieder geval moest overgeschakeld worden op stroomlevering uit het elektriciteitsnet om de kerncentrale van stroom te kunnen voorzien. Deze omschakeling mislukte echter: er ontstond een noodstroom-situatie. Via een noodstop schakelde de reactor automatisch af. Twee noodstroom aggregaten kwamen in bedrijf, waarvan er één na zeven minuten uitviel. De functie werd overgenomen door het derde paraat staande noodstroomdieselaggregaat.

Vervolgens vielen de koelpompen, de noodkoelwaterpompen en de nevenkoelwaterpompen uit. *Van de drie diesel-aangedreven pompen werkte er slechts één. Dit voorkwam dat door onvoldoende koeling een kernsmelting op zou kunnen treden.*

1988 ⁴⁸

Op 9 april, tijdens het uitvoeren van de jaarlijkse noodstroombeproevingen viel één van de drie noodstroomdiesels uit. Een andere noodstroomdiesel kwam wel in bedrijf. Tevens viel één van de drie nood- en nevenkoelwaterpompen uit. De beide andere nood- en nevenkoelwaterpompen kwamen nu afwisselend in bedrijf.

Voor de centrale had de storing geen veiligheidstechnische gevolgen, daar de storing zich voordeed aan het einde van de splijststofwisselstop, met lage vervalwarmte van de reactorkern,

meldt de minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. Mogen we daaruit concluderen dat een dergelijke storing wel veiligheistechnische gevolgen zou hebben gehad bijvoorbeeld aan het begin van de wisselstop, wanneer de vervalwarmte van de reactorkern nog hoog is?

Op 4 oktober vielen door kortsluiting in een stekker twee regelstaven in de kern. Het ging hier om een montagefout tijdens de bouw van de centrale, die tot nu toe niet was ontdekt.

1989 ⁴⁹

Volgens de minister van Sociale Zaken en werkgelegenheid steeg het aantal meldingen ten opzichte van vorig jaar: "Door de invoering van de storingswerkgroep en het kwaliteitszorgsysteem worden er meer storingen in een verbeterde veiligheidscultuur binnen de organisatie gemeld". Het lijkt er dus op alsof tot nu toe wegens laksheid niet alles gemeld is. Geluk gehad dat het niet echt is fout gegaan?

De minister merkt op dat er maar liefst zeven storingen plaats vonden aan de noodstroomdieselgeneratoren.

Op 25 april werd het brandmeldsysteem getest. Daarbij trad een storing op, waardoor het ventilatiesysteem van een aantal gebouwen uitviel. De temperatuur in het containment steeg tot 48 graden Celsius. Daarop zette het personeel enkele luchtkoelers aan. De software van het brandmeldsysteem werd daarop door de leverancier aangepast. Op 31 augustus was het systeem weer geheel bedrijfsgeraad.

1990 ⁵⁰

De kerncentrale werd in 1990 geplaagd door een verlengde stilstand van zo'n zes weken van de splijtstofwisselstop. Dit doordat er enkele bouten losgeraakt waren van een hulpconstructie van het reactorvat. Het ging om drie bevestigingsbouten van de kernopvangconstructie onder in het reactorvat. Na de ontdekking op 13 februari van een los stuk metaal ging men op zoek naar de drie bouten. Ze zijn gebroken door de zogeheten interkristallijne spanningscorrosie. In antwoord op vragen van het Kamerlid Kees Zijlstra schreef de minister van Sociale Zaken dat de betreffende constructie zich op 20 meter onder water bevindt ⁵¹. Alle handelingen zoals het verwijderen van de bouten, moesten daarom met op afstand bediende apparatuur worden uitgevoerd. Daarna werd de kernopvangconstructie uit het reactorvat gehesen voor inspectie.

1991 ⁵²

Borssele werd in 1992 twee keer uit bedrijf genomen voor reparaties. Bij de opstart na de splijtstofwisseling in maart bleek een afsluiter niet volledig lekdicht te zijn. Deze reparatie duurde drie weken.

Op 6 september trad een lekkage op in één van de stoomgeneratoren. Omdat de lekkage toenam werd besloten de centrale uit bedrijf te nemen. Uit onderzoek kwam naar voren dat het om slijtage ging als gevolg van spanningscorrosie (roest). Bij inspectie bleek de tweede stoomgenerator hetzelfde verschijnsel te vertonen. De stoomgenerator-pijpjes die lek of aangetast waren, werden van een plug voorzien, waarna de centrale op 2 november weer in bedrijf kwam.

1992 ⁵³

Op 28, 29 en 30 mei raakten de zeven in de koelwaterinlaat overbelast door een grote hoeveelheid kwallen. De kerncentrale werd uit bedrijf genomen om de hoofdkoelwaterpompen te kunnen stoppen. De oorzaak van de kwallenplaag was een aanhoudende oostenwind in combinatie met eb in de Westerschelde en een snelle opwarming van het zeewater. Om herhaling te voorkomen werden er visnetten voor het inlaatkanaal gespannen. Tijdens deze gebeurtenissen trad een herhaalde storing aan de stoomaf-

blaaskleppen van het secundaire systeem op. Na reparatie kwam de centrale op 2 juni weer in bedrijf.

1993⁵⁴

Behalve op het overzicht over 1993 van de minister van Sociale Zaken baseren wij ons op gegevens uit Duitse bron.

Op 21 april ontdekte men een defect in de condensor met aansluitend een lekkage in een ventiel van het voedingswatersysteem. De kerncentrale lag daardoor 8 dagen stil.

Op 14 november werd de centrale stilgelegd wegens ernstige toename van gras in de koelwaterinlaat. Dat duurde drie dagen. In 1993 liep het personeel in totaal een stralingsbelasting van 1170,89 milliSievert op, tegen 1252,74 in 1992. Het eigen personeel ontving 300,73 milliSievert. Personeel dat werd ingehuurd voor onderhoud en reparaties liep het grootste deel van de stralingsbelasting op: 870,16 milliSievert.

1994⁵⁵

Begin september werd de kerncentrale enkele dagen tot stilstand gedwongen wegens gebrek aan koelwater. Mosselen verhinderden de aanvoer van koelwater.

1996⁵⁶

Tijdens werkzaamheden binnen het containment constateerde een onderhoudsmonteur op 21 november dat er lucht naar binnen stroomde via een drukontlastleiding. Deze leiding behoort afgesloten te zijn door vier afsluiters die zich buiten het containment bevinden. Meters in de regelzaal gaven aan dat deze afsluiters dicht waren, zodat men dacht dat de sluiters dicht waren, terwijl ze in feite open stonden. De overheid geeft niet aan hoe lang de afsluiters open hebben gestaan en beperkt zich tot de mededeling dat er alleen buitenlucht naar binnen is gestroomd. Deze storing werd beoordeeld op niveau 2. We kunnen ons dus afvragen, wat er gebeurd zou zijn als er een ongeval in de centrale had plaats gevonden: hadden vrijkomende radioactieve stoffen dan ook zonder meer naar buiten kunnen stromen?

1997⁵⁷

Bij een inspectie trof men op 30 juni stekkers aan in het reactorbeveiligingssysteem. Dit waren stekkers die vier dagen eerder bij een reparatie waren aangebracht en verwijderd hadden moeten worden. Als men deze stekkers niet had ontdekt, zouden een serie beveiligingssignalen niet automatisch in werking zijn gekomen. De beveiliging zou men dan met de hand hebben moeten inschakelen.

1998⁵⁸

Bij een test op 16 oktober werd vastgesteld dat meters van de noodkoeling twee keer zoveel koelwater aanwijzen als in werkelijkheid aanwezig is. Dit komt door een foute berekening bij vervanging van onderdelen in 1985, dus 13 jaar eerder. Sindsdien is deze afwijking ook bij de periodieke controles niet opgemerkt. Tussen januari en april deed zich vier keer een situatie voor waarbij de kerncentrale een noodstop moest maken.⁵⁹

1999⁶⁰

Op 21 september stelde men vast dat een beveiligingssignaal voor het automatisch starten van koeling van de kern het niet doet. Dit koelsysteem zou men met de hand in werking hebben moeten stellen, als beide nakoelsystemen uitgevallen zouden zijn.

2000⁶¹

Het luchtafzuigstelsel werkte op 11 augustus onvoldoende. Men ging er van uit dat er

voldoende tijd was voor reparatie, maar de volgende dag bleek dat de reparatie binnen een uur uitgevoerd had moeten worden of dat men de centrale stil had moeten leggen. Geen van beide is gebeurd.

2001⁶²

In de kerncentrale Borssele constateerde men op 29 september een verstopping van een aftapleiding van de ruimte rond het reactorvat. Daardoor bleef er in strijd met de voorschriften geboreerd water achter. Uit evaluatie bleek dat het reactorvat niet was aangetast. Er werden maatregelen genomen om zeker te stellen dat de ontwatering goed functioneert.

2002⁶³

Op 29 oktober viel de stroomaanvoer van buiten uit. Zo ontstond een noodstroomsituatie. De reactor stakelde daardoor af.

2003⁶⁴

Eind september werd duidelijk dat de kalibratie van de niveau-indicatie in de reactorput over het hoofd was gezien gedurende de jaarlijkse splijststofwisseling. Volgens de technische specificaties had dit wel moeten. In overleg met de KFD is dit op 18 oktober alsnog gedaan. Daarvoor moest de reactor tijdelijk uit bedrijf worden genomen. Genoemde niveau-indicator speelt een belangrijke rol als er zich een ernstig ongeluk voor zou doen, waarbij koelmiddelverlies optreedt.

Oktober 2004⁶⁵

Er werden drie lekke splijststofstaven gevonden. Bij één staaf trof men een gaatje aan, dat waarschijnlijk veroorzaakt is door een los metaaldeeltje dat bleef zweven en slijtage aan de omhulling van de staaf veroorzaakt heeft.

September 2005⁶⁶

Na de jaarlijkse splijststofwisselstop kwam de centrale weer in bedrijf. Men besloot het opwarmen van de centrale te onderbreken vanwege een kleine reparatie. Daarbij vergat men een afsluiter van een nakoelpomp dicht te doen. Daardoor ontstonden trillingen in het leidingwerk waar niet tijdig op werd gereageerd. Daardoor brak een kleine leiding af en kwam 3 kubieke meter reactorwater in een ruimte die ontworpen is om lekkages op te vangen. De leiding werd gelast. Bij deze storing bleek dat toepasselijke bedrijfsprocedures ontbraken.

2006⁶⁷

Volgens het ministerie van VROM was in 2006 het aantal storingen in de kerncentrale Borssele hoger dan in de voorgaande tien jaren. Gemiddeld waren het er tien per jaar, tegen zeventien in 2006. Het ministerie noemt dit een “ongewenste trend” en wilde daarom “verbetermaatregelen”. Dertien van deze storingen waren terug te voeren op vier gemeenschappelijke oorzaken. Twee ongevallen hadden een externe oorzaak, namelijk storingen in het elektriciteitsnet. In vier gevallen ging het om een hoog waterniveau in een stoomgenerator. *Vier gebeurtenissen waren reactorsnelafschakelingen en in drie gevallen trad een noodstroomsituatie op.* Op 8 mei was er tien seconden geen noodstroom; Op 11 juni explodeerde tijdens normaal vermogensbedrijf een stroomtransformator in het 150 kV station Borssele. Hierdoor ontstond er brand in het 150 kV station, werden turbine en reactor afgeschakeld en kwamen de drie noodstroom dieselgeneratoren in bedrijf. Op 15 juli moest door een foutieve instelling van de hoofdkoelmiddelpomp de centrale op noodstroom overschakelen.

2007⁶⁸

15 september 2007

Wateroverlast in het koelwaterinlaatgebouw

Tijdens de inbedrijfname van de centrale wordt het hoofdkoelwatersysteem van KCB na een onderhoudsperiode weer bedrijfs gereed gezet. Tijdens het vullen van de hoofdkoelwaterleiding van de kerncentrale vanuit de in bedrijf zijnde kolencentrale blijkt een deel van het koelwaterinlaatgebouw onder water te lopen. Door de opgeroepen alarmstaf is besloten de hoofdkoelwaterpompen van de kolencentrale uit bedrijf te nemen en de assistentie van de regionale brandweer op te roepen voor het leeg pompen van de ondergelopen pompkelders. Parallel worden, overeenkomstig de instructies, preventieve maatregelen getroffen voor het geval beide strangen van nood- en nevenkoelwatersysteem niet beschikbaar zouden raken. Nadat de pompkelders zijn leeggepompt, wordt vastgesteld dat aftapafsluiters van de hoofdkoelwaterleiding nog in geopende stand staan waardoor de lekkage kon plaats vinden.

2008⁶⁹

Op 24 april 2008 bij de inbedrijfname van de centrale na de splijtstofwisselperiode is een geringe lekkage ontstaan onderaan een van de twee stoomgeneratoren. De installatie heeft op dat moment een temperatuur van 295 graden Celsius. De lekkage van het primaire water treedt op in een leiding uit de bodem van de stoomgenerator. De dampvorming in de installatieruimte leidt tot het aanspreken van diverse brandmelders en het automatisch afsluiten van de ventilatie van het containment. De installatie is daarop in een drukloze toestand gebracht. Voor het verwijderen en onderzoek van de leiding is de kern ontladen uit het reactorvat en is het primaire waterniveau in de stoomgenerator verlaagd. Uit het schadeonderzoek blijkt dat de lekkage is veroorzaakt door een los materiaaldeeltje. Door de wervelingen in het dode pijpstuk is lokaal slijtage ontstaan in de 5 mm dikke wand.

2009⁷⁰

Op 3 april 2009, een dag voordat de centrale zou worden afgeregeld voor de jaarlijkse splijtstofwisselperiode, treedt een geringe lekkage op in een olie-retourleiding van de regelkleppen van de turbine. Deze lekkage veroorzaakt een oliewalm die ter plaatse bewaakt wordt. Na enige uren ontstaat er een beginnende brand die snel wordt geblust door de bedrijfsbrandweer, waarbij wordt besloten dat de inzet van de gemeentelijke brandweer Borsele niet nodig is. De turbine wordt vanuit de regelzaal handmatig afgeschakeld, waardoor het reactorvermogen gereduceerd wordt tot 30% en de geproduceerde stoom via de turbineomloop kleppen rechtstreeks wordt afgevoerd naar de condensor. De centrale levert daarbij geen elektriciteit meer aan het externe net.

Ook waren er in 2009 twee meldenswaardige storingen: een geringe lozing van vloeibare activiteit (ca. 1 MBq Co-60 en Cs-137) via het nood- en nevenkoelwatersysteem in de Westerschelde op 27 september 2009 en een kleine lekkage aan een stomp van een van de twee boorzuurvoorradetanks op 8 december 2009.

2010⁷¹

In 2010 zijn bij KCB negen meldingsplichtige ongewone gebeurtenissen opgetreden. De belangrijkste gebeurtenissen begin van het jaar, op 4 en 11 januari 2010. *De noodstroomdiesel van noodstroomnet 1 startte niet op tijdens de uitvoering van periodieke beproevingen.* De oorzaak was in beide gevallen het te traag openen van een luchtklep. “De achterliggende oorzaak is niet met zekerheid vastgesteld”, lezing we in de rapportage van de regering. Na overleg met de leverancier is besloten de kleppen van alle drie de noodstroomdiesels te vervangen.

Op 29 december werd een lek ontdekt in een ondergrondse leiding van het conventionele koelwatersysteem naar de bedrijfstrafo. Daardoor is 60 tot 65 kubieke meter koelwater weggestroomd. Het koelwater bevat een conserveringsmiddel: de grond is daarvoor chemisch verontreinigd. Er is een plan van aanpak opgesteld, maar of dat ook is uitgevoerd, staat niet in de rapportage.

2011⁷²

Het overzicht van de storingen over 2011 verscheen pas op 27 februari 2013. In dat jaar zijn er bij KCB acht storingen voorgekomen, waarvan drie “van enig belang” (INES-niveau 1). We staan hier stil bij één storing.

Op 20 juni 2011 was er een storing aan één van de drie *noodstroomdieselgeneratoren*. Tijdens onderhoudswerkzaamheden kwam deze in bedrijf, hoewel dat niet gepland was. Bij verder onderzoek naar deze storing werd geconstateerd dat een defecte printplaat de oorzaak was. Vervolgens werden nog drie defecte printplaten ontdekt. Deze printplaten zijn nodig voor het automatisch starten en toeschakelen van de noodstroomdiesels. Handmatig starten was wel mogelijk. De defecte printplaten zijn niet eerder ontdekt omdat na onderhoud niet de juiste standaard beproeving voor herkwalificatie van de noodstroomdiesel werd toegepast. Als er een situatie was geweest, waar noodstroom van wezenlijk belang was, hadden de drie *noodstroomdieselgeneratoren het dus niet gedaan*, luidt onze conclusie.

2012⁷³

3 februari 2012: Ongepland afschakelen van de reactor als gevolg van bevriezing van meetapparatuur. De leidingen konden bevroren doordat deze meetleidingen zich recht tegenover de toevoerkanalen van de ventilatie van het machinehuis bevinden en de buitenlucht-temperatuur in de avond tot onder de -7°C daalde.

21 maart 2012

Eén van de voorzieningen die moeten voorkomen dat, bij een lek in de toevoerleiding van het koelsysteem, het splijststofopslagbassin leegloopt en de daarin aanwezige splijststofelementen onbedekt raken, werkten niet goed. Dat werd bij een inspectie vastgesteld. In ongevalsituaties zou - indien geen gebruik zou worden gemaakt van andere mogelijkheden om het waterniveau op peil te houden - het waterniveau zodanig zijn gezakt dat de splijststofelementen in dat geval gedeeltelijk onbedekt zouden zijn geraakt waarbij er kans op splijststofschade zou ontstaan. *Gelukking heeft zich deze situatie niet voorgedaan, want dan hadden we een kernsmelting mee kunnen maken, is onze conclusie.*

29 januari 2013⁷⁴

Op 29 januari 2013 viel een deel van de interne noodstroomvoorziening uit, terwijl de kerncentrale in bedrijf was. De centrale is vervolgens uit bedrijf genomen. Tijdens werkzaamheden van het noodstroomsysteem is een beschadiging opgetreden. Bij het testen van elektrische apparatuur en het nadien inschakelen van een pomp was kortsluiting ontstaan in een schakelkast. Als gevolg van de kortsluiting is in de schakelkast hitte vrijgekomen die de schade heeft veroorzaakt.

Herfst 2013^{75 76}

Op vrijdag 13 september is de kerncentrale uit bedrijf genomen wegens schade aan de generatorkoelers. Uit inspectie bleek dat bij de generatorkoelers koelribben zijn afgebroken waarvan delen in de generator zijn terecht gekomen. De generator is gedemonteerd, geïnspecteerd en gereinigd, een arbeidsintensief karwei dat drie weken duurde. Er loopt een

onderzoek naar de oorzaak van het stukgaan van deze relatief nieuwe koelers. De kapotte koelers worden niet gerepareerd, maar vervangen door nieuwe. Deze zijn niet uit voorraad leverbaar en worden nieuw geproduceerd. Door de levertijd van deze onderdelen zal de kerncentrale naar verwachting nog circa twee maanden, dus tot eind 2013, uit bedrijf zijn. November 2014⁷⁷

Op 21 november 2014 meldde EPZ dat bij het uitvoeren van een test van een onderdeel van de noodstroominstallatie van KCB is afgeweken van eisen die zijn vastgelegd in de Technische Specificaties van de centrale. Tijdens de test werden meer spanningsbronnen losgekoppeld dan volgens de Technische Specificaties is toegestaan. De noodstroominstallatie had wel van stroom kunnen worden voorzien als dat nodig was geweest.

20 Mei 2015⁷⁸

Op 20 mei 2015 meldt EPZ dat in de Kerncentrale Borssele, die op dat moment buiten bedrijf is vanwege het jaarlijks onderhoud, bij het ophijsen van het deksel van het reactorvat complicaties zijn ontstaan. Het hijsblok van de hijskraan is bij het optillen scheef gaan hangen, waardoor kabels tegen het blok aanliepen. Daarop is besloten om het deksel weer terug te plaatsen. EPZ heeft inmiddels vastgesteld dat bij de revisie van het hijsblok door de leverancier fouten zijn gemaakt. Hijstesten voorafgaand aan de onderhoudsstop hebben dit defect niet aan het licht gebracht. EPZ is nog bezig met het achterhalen van de basisoorzaken van het kraandefect en zal maatregelen nemen om herhaling te voorkomen

15 juli 2016⁷⁹

Op 15 juli 2016 meldt EPZ dat diezelfde dag de kerncentrale Borssele gedurende een korte periode automatisch is afgeschakeld tijdens een geplande beproeving. De oorzaak van deze afschakeling bleek een omgewisselde bedrading van twee kleppen. De omwisseling van deze bedrading is direct hersteld. Na controle van de bedrading van de andere kleppen is de reactor volgens procedure weer opgestart. EPZ voert een onderzoek uit om vast te stellen wat de achterliggende oorzaak van deze storing is om eventuele verbetermaatregelen te kunnen nemen.

5 december 2017⁸⁰

EPZ meldt dat één van de verbindingen waarmee de Kerncentrale Borssele met het hoogspanningsnetwerk in Nederland is verbonden, korte tijd is uitgevallen. De oorzaak daarvan ligt buiten het terrein van de centrale. De centrale startte daarop automatisch de noodstroomdiesel die de betreffende stroomvoorziening vervangt. De centrale is voorbereid op dit soort situaties. Alle nood- en veiligheidssystemen hebben naar behoren gefunctioneerd. Na 12 minuten was de storing in het netwerk buiten de centrale verholpen.

19 februari 2018⁸¹

EPZ meldt dat een deel van het noodstroomnet van de kerncentrale kortstondig niet beschikbaar was. De voedingskabel naar dat deel van het noodstroomnet was bij graafwerkzaamheden beschadigd geraakt. De centrale startte daarop automatisch de noodstroomdiesel die de betreffende stroomvoorziening overneemt. De centrale is voorbereid op dit soort situaties. Binnen 10 seconden was de voeding van het noodstroomnet weer in werking. Na 50 minuten was de reguliere aansluiting op het elektriciteitsnet weer hersteld.

4 augustus 2018^{82 83 84 85 86}

Op 4 augustus 2018 is in de loop van de middag de kerncentrale Borssele automatisch uit bedrijf gegaan na de ontdekking van een elektronische storing in het

reactorbeveiligingssysteem. Het reactorbeveiligingssysteem zorgt er voor dat bij afwijkingen de reactor automatisch wordt afgeschakeld. Het onderzoek naar de storing heeft uitgewezen dat een tweetal elektronica-modules vervangen moesten worden. Dat was op 17 augustus gebeurd en het reactorbeveiligingssysteem is na testen in orde bevonden.

Bij deze storing zijn enkele ongewone combinaties van aan- en afgeschakelde componenten zijn ontstaan en dat leidde tot schade, die de exploitant EPZ omschreef als 'nevenschade'. Eén van de twee hoofdkoelmiddelpompen werd namelijk niet afgeschakeld terwijl het reactorbeveiligingssysteem wel de bijbehorende smeerolietoevoer afsloot. Daardoor werd één van de lagers van deze pomp beschadigd. Tijdens het demonteren bleek dat ook andere onderdelen van deze pomp te lijden hebben gehad. Een onderdeel is naar de leverancier opgestuurd om weer 'als nieuw' te worden gemaakt. Als deze niet gereviseerd kan worden, moet er misschien een ander exemplaar worden vervaardigd. Daarom kon EPZ op 17 augustus niet zeggen wanneer de kerncentrale weer in bedrijf komt. Terwijl EPZ aanvankelijk uitging van 2 weken werd de opstartdatum 16 september.⁸⁷

De ANVS schreef hierover op 3 juni 2019: "Naast het onderzoek dat EPZ uitvoert naar de automatische afschakeling door storing in het reactorbeveiligingssysteem (4 augustus 2018), voert ook de ANVS zelf een aanvullend onderzoek uit naar de achterliggende oorzaken van deze ongewone gebeurtenis. De ANVS wil met dit onderzoek inzicht krijgen in het proces en de achtergronden die gerelateerd zijn aan deze gebeurtenis met als doel ook zelf veiligheidsrelevante lessen er uit de gebeurtenis te trekken. De resultaten van beide onderzoeken zullen in gezamenlijkheid worden besproken."⁸⁸

In het Jaarverslag van de ANVS over 2019 staat dat "er in 2019 vanuit de ANVS veel aandacht geweest (is) voor de afhandeling van de storing in het reactorbeveiligingssysteem die op 4 augustus 2018 is opgetreden en het onderzoek naar de oorzaak en achtergrond van het ontstaan van deze storing. Op basis van deze onderzoeken heeft de ANVS de voorlopige INES-0 inschaling van het incident opgehoogd naar een INES-1 inschaling, waarmee wordt aangegeven dat deze storing weliswaar niet veiligheidsrelevant was, maar wel dat de gevolgschade beperkt had kunnen worden indien de zwakte in het systeem eerder was aangepakt. EPZ heeft de benodigde aanpassingen aan het systeem inmiddels grotendeels uitgevoerd en zal in 2020 de laatste aanpassingen doen. Hierdoor wordt de gevolgschade bij een eventuele toekomstige storing geminimaliseerd."⁸⁹

29 juli 2019⁹⁰

De kerncentrale Borssele staakte de elektriciteitslevering na een transformatorstoring. De kernreactor werd in een veilige toestand gebracht totdat de storing was verholpen.

4. CONCLUSIE

De overheid brengt vanaf 1980 jaarlijkse overzichten uit van storingen in de kerncentrales, terwijl er een aantal gegevens bekend zijn uit de jaren daarvoor. Uit de overzichten blijkt dat zich sinds 1980 in de kerncentrale Borssele 445 bedrijfsstoringen hebben voorgedaan. Daarbij vielen regelmatig een aantal belangrijke veiligheidsvoorzieningen uit. Gelukkig is het tot nu toe niet echt fout gegaan, maar een aantal keren zijn stappen op weg naar een ernstig ongeluk gezet.

De bedrijfsstoringen werden onder meer veroorzaakt door problemen met de noodstroomvoorziening, de brandbeveiliging, de diverse koelsystemen, de inname van koelwater uit de Westerschelde en door een open verbinding tussen de reactor en de buitenlucht.

TOELICHTING: WERKING KERNCENTRALE BORSSELE

De kerncentrale Borssele is een drukwaterreactor. De centrale is, in grote lijnen als volgt opgebouwd⁹¹. Het reactorvat met daarin de uraniumstaven vormt tezamen met de verbindende leidingen een aparte kringloop. Men noemt dit het primaire circuit. Het water in het primaire circuit wordt onder een hoge druk gezet. Daarom gaat het water niet koken. Dit water, ook hoofdkoelmiddel genoemd, draagt zijn warmte in de stoomgenerator over aan een tweede water- en stoomkringloop, het secundaire circuit. In dit tweede circuit ontstaat wel stoom. Die drijft een turbine aan. De turbine-as is met de as van een generator verbonden. In de generator ontstaat door het ronddraaien van een rotor elektriciteit.

De stoom die door de turbine is gegaan moet weer tot water worden gecondenseerd. Dat gebeurt in de condensor. Het water uit de condensor gaat terug naar de stoomketel om daarna opnieuw in stoom te worden omgezet.

Borssele heeft vanuit het reactorvat twee gelijke en parallel geschakelde hoofdkoelmiddelkringlopen. Elk van deze twee kringlopen van het primaire circuit heeft een stoomgenerator en een circulatiepomp met de daarbij behorende leidingen. Op één van deze twee kringlopen is de drukhouder aangesloten, waarmee er voor gezorgd wordt dat de druk zoveel mogelijk constant blijft.

De turbine bestaat uit vier gedeelten: een hoge druk-huis en drie lage druk-huizen. De condensatie-installatie bestaat uit drie condensoren. De voor de condensoren benodigde hoeveelheid koelwater van 63.000 kubieke meter per uur komt uit de Westerschelde.

- ¹ <http://laka.org/info/publicaties/anderen/2015-07-KCB-storingen.pdf>, 13 juli 2015.
- ² <https://wisenederland.nl/overzicht-ongelukken-Borssele>, 26 april 2016.
- ³ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2017/04/18/rapportage-ongewone-gebeurtenissen-in-nederlandse-nucleaire-inrichtingen-in-2016>, 18 april 2017.
- ⁴ <http://epz.nl/actueel/onderhoudsstop-kerncentrale-borssele-vervroegd>, 12 mei 2015.
- ⁵ http://www.onjo.nl/Item.2569.0.html?no_cache=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=41568, 25 maart 2011.
- ⁶ <http://epz.nl/sites/default/files/files/20160405%20Toelichting%20verbeteringen-vergunning.pdf>, 6 april 2016.
- ⁷ https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2016Z10010&did=2016D20711, 23 mei 2016.
- ⁸ <https://epz.nl/actueel/update-automatische-afschakeling-kerncentrale-borssele>, 5 augustus 2018.
- ⁹ <https://epz.nl/actueel/update-automatische-afschakeling-kcb>, 7 augustus 2018.
- ¹⁰ <https://epz.nl/actueel/update-automatische-afschakeling-kcb-1>, 17 augustus 2018.
- ¹¹ <https://www.omroepzeeland.nl/nieuws/107835/Opstarten-kerncentrale-op-zijn-vroegst-in-oktober>, 27 augustus 2018.
- ¹² <https://epz.nl/actueel/kerncentrale-borssele-weer-bedrijf>, 16 september 2018
- ¹³ [https://epz.nl/sites/default/files/files/EPZ%20Transistor%20infosheet\(1\).pdf](https://epz.nl/sites/default/files/files/EPZ%20Transistor%20infosheet(1).pdf), 23 januari 2019.
- ¹⁴ <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2011/04/19/antwoord-op-vragen-over-het-bericht-dat-de-kerncentrale-van-borssele-meermaals-ontsnapt-zou-zijn-aan-een-ramp.html>, 19 april 2011.
- ¹⁵ <http://epz.nl/sites/default/files/files/20160405%20Toelichting%20verbeteringen-vergunning.pdf>, 6 april 2016.
- ¹⁶ <http://epz.nl/actueel/epz-voert-veiligheidsverbeterende-maatregelen-door>, 6 april 2016.
- ¹⁷ <http://www.autoriteitnvs.nl/actueel/nieuws/2016/04/07/ontwerp-revisievergunning-epz>, 6 april 2016.
- ¹⁸ <http://www.greenpeace.nl/Global/nederland/report/2016/klimaat%20en%20energie/Handhavingsverzoek%20Borssele%20noodstroomvoorziening.pdf>.
- ¹⁹ https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2016Z10010&did=2016D20711, 23 mei 2016.
- ²⁰ <http://epz.nl/over-epz/bedrijfshistorie/historie-kerncentrale>.
- ²¹ <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalByAge.aspx>, juli 2015.
- ²² <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/kernenergie/documenten-en-publicaties/vergunningen/2013/03/20/kennisgeving-definitieve-vergunning-verlenging-ontwerpbedrijfsduur-kcb.html>, 20 maart 2013.
- ²³ Tweede Kamer, 16226, nr 10.
- ²⁴ Persbericht NEA, 18 mei 1990.
- ²⁵ Tweede Kamer, 21800, XV, nr 18, p 29, 7 november 1991.
- ²⁶ Persbericht NEA, 18 mei 1990.
- ²⁷ Tweede Kamer, 16226, nr 10.
- ²⁸ <http://www.government.nl/ministries/ez/documents-and-publications/reports/2013/07/01/convention-on-nuclear-safety-sixth-review-meeting-in-april-2014.html>, 1 juli 2013.
- ²⁹ Tweede Kamer, 16226, nr. 6.
- ³⁰ <http://www.kernenergieinnederland.nl/files/19731231-ongelukken.pdf>.
- ³¹ <http://www.kernenergieinnederland.nl/files/19741231-ongelukken.pdf>.
- ³² <http://www.kernenergieinnederland.nl/files/19751231-ongelukken.pdf>.
- ³³ <http://www.kernenergieinnederland.nl/files/19761231-ongelukken.pdf>.
- ³⁴ <http://www.kernenergieinnederland.nl/files/19771231-ongelukken.pdf>.
- ³⁵ <http://www.kernenergieinnederland.nl/files/19781231-ongelukken.pdf>.
- ³⁶ <http://www.kernenergieinnederland.nl/node/152>.
- ³⁷ http://www.kernenergieinnederland.nl/faceted_search/results/taxonomy%3A211.212%2C134.
- ³⁸ <http://www.kernenergieinnederland.nl/files/19791223-vn.pdf>, 8 oktober 1982.
- ³⁹ Tweede Kamer, 16226, nr 10.
- ⁴⁰ Tweede Kamer, 17100, XV, nr 55.
- ⁴¹ Tweede Kamer, 17600, XV, nr 121.
- ⁴² Tweede Kamer, 16226, nr. 5.
- ⁴³ Tweede Kamer, 16226, nr 6.
- ⁴⁴ Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, brief DGA/KFD/86/7287, 11 juli 1986.
- ⁴⁵ Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, brief DGA/KFD/87/10660/GrJ, 4 augustus 1987.
- ⁴⁶ Tweede Kamer, 20800, XV, nr 21, p 46.
- ⁴⁷ Tweede Kamer, 16226, nr. 8.
- ⁴⁸ Tweede Kamer, 16226, nr 9.
- ⁴⁹ Tweede Kamer, 16226, nr. 10.
- ⁵⁰ Tweede Kamer, 16226, nr. 11.
- ⁵¹ Tweede Kamer, Vergaderjaar 1989-1990, Aanhangsel 500, 30 maart 1990.
- ⁵² Tweede Kamer, 16226, nr. 13.
- ⁵³ Tweede Kamer, 16226, nr. 14.
- ⁵⁴ VGB Kraftwerkstechnik 74 (1994), Heft 4, p 303; Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, brief SZW/KFD/94/0080/RoA, 10 oktober 1994.

- ⁵⁵. atomwirtschaft, oktober 1994, p 657.
- ⁵⁶. Ministerie VROM, DGM/SVS/97110075.
- ⁵⁷. Ministerie SZW, RT98-347.256.
- ⁵⁸. Ministerie van SZW, RT99-224.256.
- ⁵⁹. VGB KraftwerksTEchnik, 7/99, p. 26.
- ⁶⁰. Inspectie Milieuhygiëne, RT00-240.256.
- ⁶¹. Inspectie Milieuhygiëne, RT01-170.256.
- ⁶². Inspectie VROM, RT02-415.256.
- ⁶³. Ministerie VROM, 23 september 2003, RT03-308.256.
- ⁶⁴. Ministerie VROM, september 2004, RT04-200.256.
- ⁶⁵. Inspectie VROM RT05-120.256
- ⁶⁶. Inspectie VROM, RT06-025.256
- ⁶⁷. Inspectie VROM, RT07-135.256
- ⁶⁸. Ministerie van VROM, Storingsrapportage 2007, Rapportage van ongewone gebeurtenissen in de Nederlandse nucleaire installaties in 2007.
- ⁶⁹. Ministerie van VROM, Rapportage van ongewone gebeurtenissen in de Nederlandse nucleaire inrichtingen in 2008, 31 augustus 2009
- ⁷⁰ http://www.vrominspectie.nl/Images/VI-2010-14%20Rapportage%20nucleaire%20inrichtingen%202009_tcm293-287519.pdf, 30 augustus 2010.
- ⁷¹ <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2011/11/14/storingsrapportage-2010.html>, 14 november 2011, p 7 en 11.
- ⁷² <http://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ez/documenten-en-publicaties/rapporten/2013/02/27/rapportage-van-ongewone-gebeurtenissen-in-nederlandse-nucleaire-inrichtingen-in-2011.html>, 27 februari 2013.
- ⁷³ <http://www.rijksoverheid.nl/bestanden/documenten-en-publicaties/rapporten/2013/09/09/rapportage-van-ongewone-gebeurtenissen-in-nederlandse-nucleaire-instellingen-in-2012/rapportage-van-ongewone-gebeurtenissen-in-nederlandse-nucleaire-instellingen-in-2012.pdf>, 30 september 2013.
- ⁷⁴ http://www.ilent.nl/onderwerpen/leefomgeving/nucleaire-veiligheid/ongewone_gebeurtenissen_2013/kerncentrale_borssele_kcb/index.aspx.
- ⁷⁵ <http://epz.nl/actueel/kerncentrale-uit-bedrijf-na-schade-generatorkoelers>, 19 september 2013.
- ⁷⁶ <http://epz.nl/actueel/update-defecte-generatorkoelers-kerncentrale>, 9 oktober 2013.
- ⁷⁷ <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2015/06/30/rapportage-ongewone-gebeurtenissen-in-nederlandse-nucleaire-inrichtingen-in-2014.html>, 29 juni 2015.
- ⁷⁸ <https://www.autoriteitnvs.nl/actueel/nieuws/2016/06/29/rapportage-ongewone-gebeurtenissen-in-nederlandse-nucleaire-inrichtingen-in-2015>, 29 juni 2016.
- ⁷⁹ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2017/04/18/rapportage-ongewone-gebeurtenissen-in-nederlandse-nucleaire-inrichtingen-in-2016>, 18 april 2017.
- ⁸⁰ <https://www.autoriteitnvs.nl/ongewone-gebeurtenissen/kerncentrale-borssele>
- ⁸¹ <https://www.autoriteitnvs.nl/ongewone-gebeurtenissen/kerncentrale-borssele>.
- ⁸² <https://epz.nl/actueel/update-automatische-afschakeling-kerncentrale-borssele>, 5 augustus 2018.
- ⁸³ <https://epz.nl/actueel/update-automatische-afschakeling-kcb>, 7 augustus 2018.
- ⁸⁴ <https://epz.nl/actueel/update-automatische-afschakeling-kcb-1>, 17 augustus 2018.
- ⁸⁵ <https://www.omroepzeeland.nl/nieuws/107835/Opstarten-kerncentrale-op-zijn-vroegst-in-oktober>, 27 augustus 2018.
- ⁸⁶ <https://www.autoriteitnvs.nl/documenten/rapporten/2019/06/03/rapportage-ongewone-gebeurtenissen-in-nederlandse-nucleaire-inrichtingen-in-2018>, 3 juni 2019.
- ⁸⁷ <https://epz.nl/actueel/kerncentrale-borssele-weer-bedrijf>, 16 september 2018.
- ⁸⁸ <https://www.autoriteitnvs.nl/documenten/rapporten/2019/06/03/rapportage-ongewone-gebeurtenissen-in-nederlandse-nucleaire-inrichtingen-in-2018>, 3 juni 2019.
- ⁸⁹ <https://magazines.autoriteitnvs.nl/anvs-jaarverslag/2020/01/toezicht-en-handhaving>, 22 mei 2020.
- ⁹⁰ <https://www.autoriteitnvs.nl/actueel/nieuws/2020/06/29/nucleaire-inrichtingen-meldden-11-ongewone-gebeurtenissen-in-2019>, 29 juni 2020.
- ⁹¹⁷⁸ C. Andriess, "Kernenergie in beweging", Amsterdam, 1982, hoofdstuk 4.