

HOGE FLUX REACTOR TE PETTEN: EEN OVERZICHT

Herman Damveld, april 2013; hdamveld@xs4all.nl

<http://www.co2ntramine.nl>

Inleiding

In 1961 vond de eerste kernsplijting plaats in de toen splinternieuwe Hoge Flux Reactor (HFR) in het Noord-Hollandse Petten¹. De HFR diende aanvankelijk voor onderzoek naar materialen voor kerncentrales. Vanaf de jaren negentig is de productie van radioactieve stoffen voor medische toepassingen belangrijker geworden². In 1991 stond 15% van het gebruik van de HFR in het teken van medische toepassingen, de rest was kernenergie³. In 2003 was 60% voor medische toepassingen en kernenergie nog 40%. Sindsdien is het belang van de medische toepassingen toegenomen, maar een exact getal staat niet in recente openbare stukken. De HFR zorgt nu voor 30% van de wereldwijde vraag naar medische isotopen⁴.

De afgelopen 25 jaar is er regelmatig discussie geweest over de HFR. In de jaren negentig ging het vooral over de omschakeling van deze reactor van hoog- naar laagverrijkt uranium. Begin deze eeuw kwam de veiligheid ter discussie. De laatste jaren deden zich nogal wat ernstige storingen voor in de HFR die moeilijk te repareren waren. Dit als gevolg van de veroudering van de reactor.

Over deze drie kwesties gaat dit artikel.

Vijftig jaar reactorbedrijf in vogelvlucht volgens de exploitant Nuclear Research & consultancy Group (NRG)⁵.

In 1957 is in de duinen bij Petten gestart met de bouw van de HFR, die vier jaar later op 9 november 1961 voor het eerst in bedrijf kon worden gesteld. Nog tijdens de bouw in 1961 werd de reactor overgedragen aan de Europese Commissie. Tot mei 1968 draaide de reactor op een vermogen van 20 megawatt (MW), dat in 1970 is opgevoerd tot het huidige reactorvermogen van 45 MW.

In 1984 werd het reactorvat vernieuwd, waarvoor de reactor een jaar buiten bedrijf was. Op last van toenmalig Minister Pronk van VROM is de reactor in 2001 tijdelijk buiten bedrijf gesteld, vanwege zorgen over de veiligheidscultuur. Een inspectie van het Internationaal Atoom Energie Agentschap volgde waarna het reactorbedrijf in maart 2002 kon worden hervat.

De kernenergiewetvergunning voor de Hoge Flux Reactor ging in 2005 over van de Europese Commissie naar NRG. Met een gewijzigde vergunning kon de reactor daarna overschakelen van hoogverrijkt naar laag verrijkt uranium als reactorbandstof. 'Petten' was de eerste onderzoeksreactor in de wereld die deze overschakeling succesvol volbracht.

In 2008 ontdekte NRG tijdens een reguliere inspectie een technisch mankement in de hoofdkoelwaterleiding van de reactor, waarna NRG de reactor stillegde voor reparatie. In augustus 2010 werd de reactor na reparatie weer opgestart en de productie van medische isotopen en het energieonderzoeksprogramma hervat.

1. Omschrijving Hoge Flux Reactor

De Hoge Flux Reactor (HFR) werkte aanvankelijk op hoogverrijkt uranium en schakelt om naar laagverrijkt uranium. Bij de splijting van uranium ontstaan naast neutronen ook radioactief afval en warmte. De HFR is zo gebouwd dat de neutronenstroom veel sterker is dan in een kerncentrale als die te Borssele. Hieraan ontleent de HFR zijn naam: de flux is een maat voor

de intensiteit van de neutronenstroom. Een Hoge Flux Reactor is dus een reactor met een zeer sterke neutronenstroom.

En er is nog een verschil met Borssele. Bij die kerncentrale wordt de warmte gebruikt om elektriciteit op te wekken. De warmte van de uraniumsplijting van de HFR daarentegen wordt in zee geloosd via een vier kilometer lange kunststof buis met een loden mantel.

Door de hier beschreven hoge flux kan men een materiaal of een onderdeel dat men wil onderzoeken in korte tijd blootstellen aan een hoge mate van bestraling of radioactieve stoffen voor medische toepassingen maken.

2. Van hoog- naar laagverrijkt uranium

De exploitant van de HFR vroeg eind 2003 een vergunning aan voor de omschakeling van hoog- naar laagverrijkt uranium. Daar ging een lange strijd aan vooraf die bijna tot sluiting van de HFR had geleid.

De HFR werkte vanaf het begin op hoogverrijkt uranium. Het Amerikaanse ministerie van Energie leverde de brandstof voor de reactor. Het gaat hier om hoogverrijkt uranium van kernwapenkwaliteit. Tot 1988 nam de Verenigde Staten de gebruikte brandstof terug en zorgde ook voor verse brandstof.

Eind jaren zeventig kwam er verandering in het Amerikaanse beleid. Hoogverrijkt uranium is geschikt voor de aanmaak van kernwapens. Om te voorkomen dat landen of groeperingen via hoogverrijkt uranium voor onderzoeksreactoren kernwapens zouden gaan maken, besloot de regering de levering van dit hoogverrijkt uranium op termijn te stoppen. Sindsdien dringt de Amerikaanse regering erop aan in plaats van hoogverrijkt het veel minder gevaarlijke laagverrijkt uranium te gebruiken. Vele buitenlandse onderzoeksreactoren zijn intussen omgeschakeld. Ook in Petten vonden proeven plaats. Het Amerikaanse ministerie van Energie trok hieruit de conclusie dat de omschakeling in Petten mogelijk is^{6 7}.

De Tweede Kamer volgde de ontwikkeling aanvankelijk met argusogen. Met name de PvdA en in mindere mate D66 hebben er in talloze vragen en debatten bij de regering op aangedrongen dat de omschakeling naar laagverrijkt uranium tot stand zou komen⁸. In de jaren tachtig ging de regering niet in op de verzoeken van de PvdA en D66. Dat veranderde toen de PvdA in de regering kwam. De toenmalige minister van Economische Zaken Andriessen stelde in 1991 dat de regering de omschakeling van hoog- naar laagverrijkt uranium verwelkomt⁹. Het bleef echter bij het verwelkomen.

De regering van de Verenigde Staten schreef in maart 1993 een brief met ernstige kritiek op de onderzoeksreactor te Petten. Het ging hier om het feit dat de HFR kon afzien van het gebruik van hoogverrijkt uranium maar dat niet wilde. Als reactie hierop schreven de exploitanten van de HFR in april 1994 alsnog stappen te zullen ondernemen voor die omschakeling.

Maar in feite gebeurde er nog steeds niets. Eind 1998 was de opslagruimte bij de reactor bijna vol. De centrale kan niet blijven draaien zonder opslagruimte. Dat zou sluiting van de HFR betekenen en dat was een reden waarom de Europese Commissie aandrang op omschakeling naar laagverrijkt uranium¹⁰. Daarop ging de exploitant van de HFR eind 1999 alsnog akkoord met omschakeling naar laagverrijkt uranium¹¹. Dat loste twee problemen op. Amerika wilde tijdelijk vers hoogverrijkt uranium leveren en de gebruikte brandstof terugnemen. De overeenkomst hiervoor werd in 2000 ondertekend, maar toen had het transport naar de VS nog niet plaatsgevonden en dreigde de HFR alsnog te moeten sluiten. Daarop verleende de toenmalige milieuminister Pronk heel snel een vergunning voor transport en tijdelijke bovengrondse opslag van gebruikte brandstof bij de COVRA in Zeeland, de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval. De vergunning werd eerst twee keer vernietigd door de Raad van State wegens onzorgvuldigheden in de aanvraag. Maar op 20 september 2000 mocht het eerste transport plaatsvinden.¹² Met de Verenigde Staten werden afspraken vastgelegd over de aan- en afvoer van brandstofelementen totdat de omschakeling voltooid is.

De omschakeling van hoogverrijkt uranium (HEU) naar laagverrijkt uranium (LEU) begon in de herfst van 2005 en was in 2006 voltooid. Daarmee werd een lange periode van discussie over de omschakeling afgesloten.^{13 14 15 16 17}

De gebruikte brandstof met laagverrijkt uranium gaat naar de COVRA voor opslag gedurende tientallen jaren. Eind 2011 stonden bij de COVRA 26 vaten met in totaal 821 splijtstofelementen van onderzoeksreactoren opgeslagen,¹⁸ maar hoeveel precies van de HFR wordt niet aangegeven.

Deze paragraaf ging tot nu toe over de omschakeling van hoog- naar laagverrijkt uranium en de kwesties die daarmee samenhangen als aan- en afvoer van brandstof. De HFR is echter wel een reactor met een hoge flux gebleven met als kenmerk de productie van een intense neutronenstroom voor onder meer het maken van radioactieve stoffen (isotopen) voor medische toepassingen.

De neutronenstroom van de HFR wordt naar zogeheten targets gestuurd. Dit zijn capsules met meestal enkele grammen hoogverrijkt uranium. Na de vangst van een neutron uit de laagverrijkte uraniumbrandstof splijt het hoogverrijkt uranium in de target in brokstukken. Er ontstaan zo verschillende kernsplijtingsproducten waarvan er twee van belang zijn voor medische toepassingen: Jodium-131 en Molybdeen-99. Deze targets zijn gemaakt van hoogverrijkt uranium, afkomstig uit de Verenigde Staten. Maar dit land wil dat de HFR ook wat targets betreft overschakelt op laagverrijkt uranium.

In het jaarverslag over 2011 van NRG staat dat er “voorbereidend werk wordt uitgevoerd om te kunnen omschakelen naar targets met laagverrijkt uranium. De Verenigde Staten wil dat namelijk via het Global Threat Reduction Initiative. De HFR kan rond 2015 gereed zijn voor de omschakeling van de targets van hoog- naar laagverrijkt uranium.”¹⁹ Dan is de HFR dus helemaal omgeschakeld.

3. Storingen en gebrek aan veiligheidscultuur

Bij de HFR deden zich regelmatig storingen voor en traden problemen met de veiligheidscultuur op. Vanaf 1980 publiceert de Kernfysische Dienst jaarlijks een overzicht van de storingen in kerninstallaties. Vanaf 1996 zijn ook gegevens van de HFR opgenomen. Tot en met 2011 (het laatste jaar waarover gegevens bekend zijn) gaat het om 52 storingen^{20 21}.

Tabel 1

Storingen HFR

1996	0
1997	0
1998	1
1999	1
2000	2
2001	1
2002	2
2003	5
2004	3
2005	3
2006	4
2007	3
2008	5
2009	5
2010	15

Enkele voorbeelden

In **1968** smolt een capsule met uranium, waardoor er radioactief jodium in het water kwam en edelgas geloosd werd via de schoorsteen. Iedereen die een taak had in de HFR kwam dagenlang het gebouw niet uit en sliep op een veldbed.²²

Eind jaren zeventig werd het reactorvat bros door de neutronenstraling. Daarop ging de HFR eind 1983 dicht en kwam met een **nieuw reactorvat op 14 februari 1985** weer in bedrijf. Vervanging ging zonder stralingsproblemen, omdat het reactorvat zelf nauwelijks radioactief werd door de neutronenstraling. De exploitant van de HFR stelde in 1999 uit te gaan van een levensduur van het nieuwe vat tot 2015. Dat staat ook in een rapport van de Europese Commissie uit 1997²³.

In **1987** kwamen door oververhitting via het waterbassin radioactieve stoffen in de reactorhal terecht. Daarbij werd echter niemand besmet.²⁴

De exploitant van de HFR stelde op 2 september **2001** een bedrijfsvoorschrift op naar aanleiding van een scheurindicatie die gedaan is tijdens de driejaarlijkse inspectie van het reactorvat. De scheur die al eerder gemeten was, bleek groter te zijn dan eerder gedacht.²⁵

Eind 2001 stuurde een medewerker van de HFR, Paul Schaap, een zwartboek naar de overheid. Daarin beschreef hij gesjoemel met regels²⁶. Operators zouden relevante informatie over incidenten niet in het logboek mogen schrijven. Daarop kreeg Schaap ontslag²⁷. De overheid nam de zaak echter serieus op en besloot de HFR tijdelijk te sluiten op 5 februari 2002²⁸. De toenmalige milieuminister Jan Pronk wilde een onderzoek naar de veiligheidscultuur bij de HFR. Dat onderzoek werd uitgevoerd door het Internationaal Atoom Energie Agentschap (IAEA) te Wenen²⁹. De overheid - intussen een nieuwe regering - stelde een "verbeterprogramma veiligheidscultuur" op. In 2003 schreef staatssecretaris Van Geel van Milieu aan de Tweede Kamer dat ook de vergunning van de HFR toe is aan herziening. Als voorbereiding op de vergunningaanvraag die hij eind 2003 verwachtte, vindt onderzoek plaats naar de veiligheid van de HFR "als geheel", schreef de staatssecretaris. Het ging hier om het technisch ontwerp, de organisatie, het beheer en de gevolgen van mogelijke ongevallen. Al dit onderzoek diende ertoe om het veiligheidsconcept van de reactor die in de vijftiger jaren ontworpen is, te vergelijken met wat nu als stand van de techniek wordt beschouwd. Op basis hiervan zal een integraal verbeterplan worden opgesteld en uitgevoerd bij de nieuwe vergunning.

Het reactorvat vertoont haarscheuren bij een lasnaad. De vraag is of die haarscheuren in omvang zullen toenemen. Van Geel stelde dat uit analyses blijkt dat de lasnaad niet blootgesteld wordt aan grote temperatuurschommelingen en hoge drukken. Daarom is de kans dat de haarscheuren zullen uitgroeien tot een ontoelaatbare scheur vrijwel nihil, zodat volgens Van Geel het reactorvat zeker tot het jaar 2015 zal meegaan.

Een zeer grote breuk op de meest ongunstige plaats in de hoofdkoelmiddelleiding van de HFR kan leiden tot het smelten van de kern: dit is het zogeheten Veldmansscenario. Volgens Van Geel is de kans hierop eens in de tien miljoen jaar. Via een extra voorziening, namelijk twee kleppen op het reactorvat, wordt de tijd om actie te ondernemen bij het Veldmansscenario

verlengd van enkele minuten tot meer dan een uur. Daarmee kan de kans op kernsmelten worden uitgesloten, stelde Van Geel.^{30 31}

In **2004** was er arbeidsonrust bij de HFR en kwamen veiligheidsproblemen naar buiten. De overheid verscherpte daarop het toezicht. Volgens Van Geel was de veiligheidscultuur intussen zoveel verbeterd dat het toezicht is teruggebracht tot eens in de twee weken.

In **maart 2004** stelde de exploitant van de HFR: "HFR was, is en blijft een veilige onderzoeksreactor". In juli en december 2004 bleek echter dat de milieupolitie in september en oktober van het jaar daarvoor (2003) overtredingen van de regels had aangetroffen. Ook stelde Paul Schaap dat regelmatig grote hoeveelheden afvalwater ongefilteld via een 4,4 kilometer lange lozingspijp in zee waren terechtgekomen, waarbij de lozingsnormen tussen de 100 en 1000 keer werden overschreden.³²

In maart **2005** heeft de rechtbank te Alkmaar drie bedrijven bij de nucleaire centrale te Petten veroordeeld voor milieuovertredingen. Ze kregen elk een boete van 25.000 euro. De rechtbank sprak van " laksheid ten aanzien van de naleving" van de milieuvoorschriften.^{33 34 35}

In augustus **2008** stopte de reactor nadat een gasbellenspoortje in het primaire koelwatersysteem werd ontdekt. Uit onderzoek bleek dat het ging om corrosie in een leiding. "Om de bedrijfszekerheid op het oude niveau terug te brengen, voorzien wij een vervanging van het aangetaste leidingdeel dat in beton is gegoten", stelde Juliette van der Laan van NRG Communications in januari 2009: "Een haalbaarheidsstudie hiervoor is onlangs met positief resultaat afgerond. Op basis van de kennis van vandaag schatten wij op dit moment in over circa 18 maanden dit uitgevoerd te kunnen hebben." NRG wilde de HFR zo snel mogelijk opstarten met noodmaatregelen, vanwege het belang van hervatting van de productie van medische isotopen en het nucleaire onderzoeksprogramma.³⁶

De regering heeft NRG in februari 2009 toch toestemming gegeven om de HFR tijdelijk weer in bedrijf te nemen tot 1 maart 2010, "hoewel de HFR niet aan de kernenergiewetvergunning voldoet, omdat de integriteit van het primaire systeem wordt bedreigd". Dit "in het licht van een acuut wereldwijd tekort aan radioactieve medische isotopen." In februari 2009 lagen alle Europese reactoren voor de productie van medische isotopen namelijk stil voor noodzakelijk onderhoud.³⁷

NRG nam daarop de reactor in februari **2010** uit bedrijf voor de reparatie aan de koelwaterleiding.

De reparatie van de aluminium koelwaterleiding die zich in het beton bevindt, was gericht op het vernieuwen van een aantal lokaties in de leiding. Om de medewerkers tegen straling vanuit de reactorkern te beschermen, werd een op maat gemaakte stralingsafscherming geplaatst in en om het reactorvat. Vervolgens werd de koelwaterleiding vanuit de ruimte onder de vloer benaderd door het beton te verwijderen. Na inspectie van de aluminium leidingen besloot NRG in overleg met de autoriteiten de reparatie lokaal uit te voeren. Dit betekende dat de aangetaste delen werden verwijderd, waarna op die lokaties nieuw aluminium leidingmateriaal werd ingelast. Voordat de leiding opnieuw in beton werd gegoten, vond een uitgebreid inspectie- en testprogramma plaats. De bevoegde autoriteiten waren bij de beoordeling van deze tests aanwezig. Op **9 september 2010** kwam de HFR daarop weer in bedrijf.³⁸

In april **2012** startte de HFR weer na het jaarlijkse groot onderhoud. De productie van medische isotopen en het energieonderzoeksprogramma in de reactor zijn daarmee hervat na een reactorstop van ruim een maand voor preventief onderhoud en inspecties. De nadruk viel op onderhoud aan het koelsysteem en er zijn diverse tests en inspecties uitgevoerd. Hieruit is

gebleken dat de hal lekdicht is en het reactorvat in goede conditie is evenals de koelwaterinlaatleidingen.³⁹

In de herfst van **2012** werd een verhoogde concentratie tritium in het grondwater rondom de HFR vastgesteld. Dit tritium is afkomstig van een aangetaste leiding van een van de hulpsystemen van de reactor. Dat is het resultaat van een intensief onderzoeksprogramma dat NRG in oktober 2012 aankondigde naar aanleiding van periodieke grondwatermetingen. De leiding is hierop direct buiten gebruik gesteld om te zorgen dat er geen tritium in het grondwater meer terechtkomt.

De tritiumbron is tijdens de reguliere onderhoudsstop (sinds 11 november 2012) van de HFR geïdentificeerd. Voor de aangetaste leiding is een alternatief leidingsysteem voorhanden, dat voorlopig tijdens onderhoudsstops ingezet kan worden. NRG heeft deze tijdelijke oplossing voorgelegd aan de toezichthouder, de Kernfysische Dienst. Bij een formele positieve beoordeling van dit alternatief, zal de reactor weer worden opgestart. Ondertussen wordt er gewerkt aan vervanging van de aangetaste leiding.⁴⁰

NRG is in **maart 2013** gestart met de eerste fase van het saneren van het grondwater. Op de plekken waar de verhoogde concentraties tritium zijn gemeten, de zogenaamde hot spots, is gestart met het oppompen van het grondwater. Dagelijks wordt zo'n 1000 liter water opgepompt en via het bedrijfsafvalwatercircuit afgevoerd. Het opgepompte water wordt gemeten zodat we een goed beeld krijgen van de effectiviteit van de sanering. Door de sanering van het grondwater op de hot spots wordt de zogenoemde bron weggenomen en neemt de concentratie van het tritium in het grondwater af. Hierna start fase twee met de sanering van het resterende grondwater.⁴¹

In **november 2012** is een afwijking ontdekt in het koelwatersysteem van de Hoge Flux Reactor (HFR) te Petten. “Het is een nog niet eerder geconstateerd effect”, deelde Cora Blankendaal, persvoorlichter van de exploitant NRG, op 14 februari 2013 mee: “een beperkt verloop van bassinwater naar het primaire koelwatersysteem. Bij normaal bedrijf gaat er een beperkte hoeveelheid water van het primaire systeem naar het bassin. Het water van het primaire koelwatersysteem wordt dan automatisch aangevuld.” De HFR is vanaf november 2012 uit bedrijf. Het is niet bekend wanneer de reactor gerepareerd is: “NRG werkt momenteel aan een oplossing die wordt getoetst, gekwalificeerd en beoordeeld door de bevoegde autoriteiten”, stelde Blankendaal.⁴²

Er is een “intensief onderzoeksprogramma” gestart om “de veiligheid en betrouwbaarheid van de reactor en de overige faciliteiten van NRG voor de rest van de beoogde levensduur te borgen. Dit is gelet op de leeftijd van de reactor - ruim 50 jaar – noodzakelijk. Uit het programma zullen technische en organisatorische maatregelen en noodzakelijke investeringen voortvloeien; wat hiervoor nodig is wordt in fase twee verder uitgewerkt. Met een team van interne en externe specialisten werkt NRG aan dit project, aldus een persbericht van NRG op 26 februari 2013.”⁴³ NRG heeft op 19 maart 2013 besloten de Hoge Flux Reactor niet op te starten voor begin **mei 2013**.⁴⁴

Terwijl er in 2009 een wereldwijd tekort aan radioactieve medische isotopen dreigde door de stilstand van de HFR, is daar nu niets over bekend. Blijkbaar zijn er nu voldoende isotopen beschikbaar, ook zonder de HFR.

4 Tot slot

De HFR kan op verschillende manieren belicht worden. Vanaf het begin werd het belang voor de verdere ontwikkeling van kernenergie benadrukt. De afgelopen 20 jaar ging het vooral over het toenemende belang voor medische isotopen. Dit zijn belangrijke onbetwistbare feiten.

In dit artikel wijzen we echter op schaduwkanten van de HFR: het aanvankelijk gebruik van uranium van kernwapenkwaliteit en de veiligheidsproblemen. De laatste jaren komt één onontkoombare schaduwkant steeds meer aan het licht: de veroudering van de HFR waardoor onderdelen het begeven. De HFR is nu een machine die hetzij lange tijd hapert, dan wel op volle toeren draait en zo nummer twee in de wereld kan blijven voor de productie van radioactieve stoffen voor medische toepassingen. Het ziet er nu naar uit dat de machine weer lange tijd hapert.

¹ http://www.nrg.eu/nl/nuclear-services/nieuws/item/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=55&cHash=595dd437af036c705de73d9c92253836, 8 november 2011.

² G. Verbong e.a., “Op weg naar de markt. De geschiedenis van ECN 1976-2001”, Uitgave ECN, 2001, pp 134-144..

³ De Minister van Economische Zaken, J. E. Andriessen, Tweede Kamer, vergaderjaar 1991-1992, 21 666, nr. 5, 29 januari 1992, <http://www.laka.org/notas/andriessen.pdf>.

⁴ http://www.kiviniir.net/media/Techniekpromotie/Thema_sKIVINIRIA/Zorg_en_techniek/Presentaties_tijdens_Jaarcongres/W302_Voorwaarden_voor_een_stralende_toekomst_voor_radio-isotopen_-_de_Haas.pdf, 11 oktober 2012.

⁵ http://www.nrg.eu/nl/nuclear-services/nieuws/item/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=55&cHash=595dd437af036c705de73d9c92253836, 8 november 2011.

⁶ Technisch Weekblad, 14 oktober en 9 december 1998.

⁷ Congress of the United States, House of Representatives, 17 juli 1991.

⁸ Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, Aangangsel 1709; Tweede Kamer, vergaderjaar 1990-1991, Aangangsel 1377; Ministerie EZ, antwoorden 5 januari 1993; Ministerie EZ, DPV/OV-0834/95, 7 april 1995.

⁹ http://ressourcesgd.kb.nl/SGD/19901991/PDF/SGD_19901991_0001569.pdf.

¹⁰ Volkskrant, 3 en 5 december 1998; Algemeen Dagblad, 2 december 1998.

¹¹ Technisch Weekblad, 16 juni 1999.

¹² <http://www.kernenergieinnederland.nl/node/459>;

<http://www.greenpeace.nl/Global/nederland/report/2010/2/chronologie-petten.pdf>.

¹³ <http://www.volkskrant.nl/vk/nl/2844/Archief/archief/article/detail/495872/1998/12/05/Petten-bant-de-Bom.dhtml>, 15 december 1998.

¹⁴ http://nl.wikipedia.org/wiki/Kernreactoren_Petten.

¹⁵ <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/vergunningen/2010/12/15/evaluatierapport-mer-modificatie-hoge-flux-reactor-petten-evaluatie-mer-modificatie-hfr-petten.html>, 15 december 2010.

¹⁶ <http://www.greenpeace.nl/Global/nederland/report/2010/2/chronologie-petten.pdf>, november 2009.

¹⁷ EVALUATIE MER MODIFICATIE HFR PETTEN IKC-NUMMER: 41341, OpdenKamp Adviesgroep B.V., juli 2010.

¹⁸ <http://www.covra.nl/infocentrum>, Jaarrapport 2011.

¹⁹ http://www.nrg.eu/uploads/media/NRG_jaarverslag_2011.pdf, p 20.

²⁰ Overzichten te vinden op de volgende twee links:

http://www.kernenergieinnederland.nl/faceted_search/results/taxonomy%3A239%2C134;

http://www.kernenergieinnederland.nl/faceted_search/results/taxonomy%3A239%2C134?page=1;

²¹ <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.

²² C. D. Andriess, “De republiek der kerneleerden”, Uitgeverij BetaText, 2000, p. 31.

²³ Commissie van de Europese Gemeenschappen, Brussel, 14 april 1997, COM (97) 150 def.

²⁴ <http://www.kernenergieinnederland.nl/node/331>.

²⁵ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/behandelddossier/25422/kst-25422-11?resultIndex=166&sorttype=1&sortorder=4>, 5 februari 2002.

²⁶ Nieuwsblad van het Noorden, 25 oktober 2001.

²⁷ Nieuwsblad van het Noorden, 10 december 2001, 5 en 7 februari 2002.

²⁸ Tweede Kamer, vergaderjaar 2001-2002, 25422, nr. 11.

²⁹ <http://www.kernenergieinnederland.nl/node/479>.

³⁰ <http://www.laka.org/nieuws/2003/brieftkpetten.pdf>, 4 maart 2003.

³¹ <https://www.parlementairemonitor.nl/9353000/1/j9vvijSepmj1ey0/vi3alfeibpzd>, 3 juli 2003.

³² http://alkmaar.sp.nl/petten/petten_december_2006.pdf;

-
- ³³ <http://www.greenpeace.nl/Global/nederland/report/2010/2/chronologie-petten.pdf>, november 2009.
- ³⁴ C. D. Andriess, “De republiek der kerneleerden”, Uitgeverij BetaText, 2000.
- ³⁵ Volkskrant, 26 maart 2005.
- ³⁶ Technisch Weekblad, 31 januari 2009, p 1; . <http://www.technischweekblad.nl/gasbelletjes-hfr-petten-op-lastige-plek.78227.lynkx>.
- ³⁷ Technisch Weekblad 21 februari 2009, p 1; . <http://tw.lynkx-01.nl/default.lynkx?id=63365>.
- ³⁸ http://www.nrg.eu/nl/nuclear-services/nieuws/item/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=19&cHash=3b9142ec15f54aa2fe66e05bdec7e96c, 9 september 2010.
- ³⁹ http://www.nrg.eu/nl/nuclear-services/nieuws/item/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=83&cHash=f35b123af1c5477b5b2599ec84f8d707, 6 april 2012.
- ⁴⁰ http://www.nrg.eu/nl/nuclear-services/nieuws/item/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=105&cHash=72f15481659d6ab8d5108785bd2c67a8, 20 november 2011.
- ⁴¹ http://www.nrg.eu/nl/nuclear-services/nieuws/item/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=122&cHash=3ad784304a6ce13951ea742863bad795, 7 maart 2013.
- ⁴² Technisch Weekblad 8 maart 2013.
- ⁴³ <http://tinyurl.com/byacrvv>, 26 februari 2013.
- ⁴⁴ http://www.nrg.eu/nl/nuclear-services/nieuws/item/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=124&cHash=2baa6cb862cf056beb61e864330e439b, 19 maart 2013.