



Veiligheidsrapport Kernenergievergunning NRG Petten

Deel 6 Lage Flux Reactor
update 2013 t.b.v.
decommissioning

In opdracht van ECN

rev. nr.	datum	omschrijving
G	2013 15 10	Definitieve versie
F	2013 05 06	Commentaar review verwerkt
E	2013 03 28	Aangepast na uitbrengen onderbouwend rapport
D	2013 01 25	Definitief concept na verwerking commentaar RVC
C	2012 12 11	2 ^e concept, na verwerking commentaar Min EL&I
B	2012 10 17	1 ^e Concept
A		Pre-concept

auteur(s):

beoordeeld:

naam: Veiligheidsrapport goedgekeurd:

referentienr.: 23171/13.119501

57 pagina's 15-10-2013

© NRG 2013

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

Inhoudsopgave

Voorwoord	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Doel en structuur van het veiligheidsrapport	10
1.2 Voorkomen en beheersen van ongevallen	11
1.3 Inhoud van het veiligheidsrapport LFR	12
2 De Lage Flux Reactor	13
2.1 Het reactorgebouw	13
2.2 De LFR-hal	14
2.3 Ontwerp van de LFR	15
2.3.1 Reactorvat en reactorfysisch ontwerp	17
2.3.2 Het reactorkoelsysteem	19
2.3.3 Reactorfysische instrumentatie	20
2.3.4 Het reactorbeveiligings- en vergrendelingsstelsel	21
2.3.5 Experimentele reactorposities	21
2.4 De LFR splijtstofelementenopslag	23
2.5 Niet-reactorgebonden faciliteiten	23
2.6 Algemene voorzieningen	23
2.6.1 Elektrotechnische voorzieningen	24
2.6.2 Afvalwaterleidingen	24
2.6.3 Perslucht	24
2.6.4 Gebouwbeheersysteem	24
2.6.5 Beveiliging	24
3 Historie en bedrijfservaring	25
3.1 Historie	25
3.2 Bedrijfservaring	26
4 Radionuclideninventaris	27
4.1 Splijtstoffen	27
4.2 Radioactieve stoffen	27
4.2.1 Activeringsproducten	27
4.2.2 De startbron	28
4.2.3 Overige radioactieve stoffen	29
5 Ontmantelingsactiviteiten	31
6 Radioactief afval	33
6.1 Vrijkomende afvalstromen	33
6.1.1 Radioactief afval	33
6.1.2 Gemengd afval	33
6.1.3 Overig gevaarlijk afval	34
6.1.4 Materiaal voor hergebruik	34
6.2 Afvalbeheer	34
6.3 Lozingen	34
7 Veiligheidsevaluatie	35
7.1 Opzet van de evaluatie	35

7.2	Materiële voorzieningen en organisatorische maatregelen	35
7.2.1	Materiële voorzieningen	36
7.2.2	Organisatorische maatregelen	36
7.2.3	Brandpreventie, -detectie en -bestrijding	37
7.2.4	Ongevalbestrijding en noodplannen	38
7.3	Ongevalsscenario's	39
7.3.1	Evaluatie van gevaren en initiërende gebeurtenissen	39
7.3.2	Ontwerpongevallen	40
7.3.3	Buiten-ontwerpongevallen	41
7.3.4	Frequenties van optreden van de ongevallen	43
7.4	Ongevalsemissies	44
7.4.1	Interne brand	44
7.4.2	Vliegtuigongeval	45
7.4.3	Overzicht vrijzetting	46
7.5	Consequentie-analyse	47
7.5.1	Resultaten	47
7.5.2	Toetsing aan de wettelijke limieten	49
8	Stralingsbescherming	51
8.1	Stralingshygiënische voorzieningen	51
8.2	Maatregelen met betrekking tot stralingsbescherming	51
8.2.1	Maatregelen bij de behandeling van radioactief afval	51
8.2.2	Afscherming	52
8.2.3	Ventilatie	52
8.2.4	Meetapparatuur	52
8.2.5	Persoonlijke beschermingsmiddelen	52
8.2.6	Toegangscontrole	53
8.2.7	Registratie van de persoonsdoses	53
8.2.8	Opleiding en instructie met betrekking tot stralingsbescherming	53
9	Referenties	55
	Lijst van tabellen	57
	Lijst van figuren	57

Voorwoord

NRG-Petten beschikt over een vergunning op grond van artikel 15, onder b, van de Kernenergiewet, welke is gedateerd 2 augustus 2001 en laatstelijk gewijzigd op 14 augustus 2008, voor het in werking houden van diverse nucleaire installaties op de Onderzoekslocatie Petten (OLP). De aanvraag tot wijziging van deze vergunning heeft betrekking op de buitengebruikstelling en ontmanteling van de Lage Flux Reactor (LFR), alsmede op daarmee corresponderende en nog niet vergunde handelingen die daarvoor binnen de NRG-inrichting zullen moeten worden verricht, en waarvoor een vergunning ingevolge de Kernenergiewet is vereist.

Het veiligheidsrapport Kernenergiewetvergunning NRG Petten kent meerdere delen. Er is een algemeen deel en installatie-specifieke delen. Deel 6 gaat specifiek in op de LFR.

Deze update van dit deel van het veiligheidsrapport heeft tot doel de veiligheidssituatie tijdens het ontmantelingsproces van de LFR te beschrijven. Daarom omvat dit rapport een beschrijving van de LFR aan het begin van het ontmantelingsproces:

- intact, maar buiten bedrijf gesteld,
- alle splijtstofelementen, het koelwater en het bedrijfsafval verwijderd en afgevoerd,

als ook een beschouwing van de veiligheid tijdens de ontmanteling.



Samenvatting

Per december 2010 zijn de bedrijfsactiviteiten van de Lage Flux Reactor (LFR) in Petten gestopt. Voor de buitengebruikstelling en ontmanteling (ook wel aangeduid met de Engelse term ‘decommissioning’) van de LFR, en daarna afbraak van de LFR-hal, wordt op grond van artikel 15, onder b van de Kernenergiewet (Kew) een vergunningswijziging aangevraagd.

Voor de risicobeschouwing is het belangrijkste verschil met de operationele fase dat de splijtstof niet meer bij de reactor aanwezig zijn. Ook de ingekapselde bronnen, die onder meer voor kalibratie zijn gebruikt, zijn overgebracht naar andere faciliteiten of afgevoerd.

De radionuclideninventaris wordt nu gevormd door een kleine hoeveelheid splijtstof in splijtingskamers, de ²⁴¹Am-Be startbron, en activeringsproducten in afscherming (barietbeton), fundering, grafiet, metalen delen en het bismutfilter. In de beschrijving van de nuclideninventaris zijn de resultaten van recente monsternames en analyses meegenomen. Met deze analyses is een beter inzicht verkregen van de activering van barietbeton in het biologisch schild, de grafietmoderator en van het beton in de fundering.

Dit veiligheidsrapport beschrijft de ongevalsscenario's die de basis vormen voor de consequentieanalyse van de ontmantelingsfase van de LFR. Er zijn één ontwerpongeval (interne brand) en één buitenontwerpongeval (vliegtuigongeval) als maatgevend geïdentificeerd. Bij de interne brand wordt er van uit gegaan dat een hoeveelheid brandbaar materiaal in de hal, zoals pallets en meubilair vlam vat, bijvoorbeeld door vonkvorming bij slijpen. Bij het vliegtuigongeval, wordt aangenomen dat een militair jachtvliegtuig precies op de LFR neerstort en de reactor beschadigt. Het brandbare materiaal wordt in dat geval gevormd door kerosine uit het vliegtuig. Aangenomen wordt dat dan ook een klein deel van het grafiet in de reactor verbrandt.

De ten gevolge van deze ongevallen optredende emissies zijn beschreven, waarna de consequentieanalyse is uitgevoerd met behulp van het programma NUDOS2. De uitkomsten zijn ruim beneden de in de regelgeving gestelde normen.



1 Inleiding

Op de Onderzoekslocatie Petten (OLP) worden door NRG activiteiten uitgevoerd op het gebied van nucleaire technologie, met name voor medische doeleinden, veilige opwekking van kernenergie, radioactief afvalverwerking en stralingshygiëne. Het verkrijgen en in stand houden van kennis op nucleair gebied en de voortdurende innovatie van de nucleaire technologie is een belangrijke taak voor NRG. Uitgangspunt hierbij is dat de nucleaire technologie veilig, ecologisch verantwoord en efficiënt dient te worden aangewend. Ten behoeve van bovenstaande doeleinden worden de nucleaire installaties en laboratoria door NRG bedreven en geëxploiteerd.

Het hanteren van radioactieve stoffen, splijtstoffen en ioniserende straling uitzendende toestellen is op grond van de Kernenergiewet (Kew) geregeld. De Kernenergiewet heeft betrekking op de bescherming van mensen, planten, dieren en goederen. Daaronder valt de bescherming van de volksgezondheid van leden van de bevolking en werknemers op de arbeidsplaats tegen gevaren van ioniserende straling.

De beschreven activiteiten zijn op dit moment vergund in de NRG Kew-vergunning met kenmerk DGM/SAS/2001049111 van 2 augustus 2001, laatstelijk gewijzigd middels DGETM-PDNIV / 12102211 van 24 september 2012.

De Lage Flux Reactor (LFR) bevindt zich op de ECN/NRG Onderzoekslocatie in Petten. Op 28 september 1960 is de LFR voor het eerst kritiek gemaakt. Tot juni 1983 is de reactor voornamelijk bedreven met een 'éénplakskern' tot een vermogen van maximaal 10 kW.

In juni 1983 is vergunning verkregen om het thermisch vermogen van de reactor te verhogen tot 30 kW. Sinds de vermogensverhoging zijn de bedrijfskernen van de LFR uitsluitend opgebouwd geweest volgens de configuratie van de éénplakskern.

Per december 2010 zijn de bedrijfsactiviteiten van de LFR gestopt. Het besluit van NRG om de normale bedrijfsvoering van de LFR te beëindigen is genomen na een bedrijfseconomische evaluatie van het gebruik van deze installatie. Dit maakt het noodzakelijk om de LFR buiten gebruik te stellen en te ontmantelen. Voor deze buitengebruikstelling en ontmanteling (ook wel aangeduid met de Engelse term 'decommissioning') van de LFR, en daarna afbraak van de LFR-hal, wordt op grond van artikel 15, onder b van de Kernenergiewet (Kew) een vergunningswijziging aangevraagd.

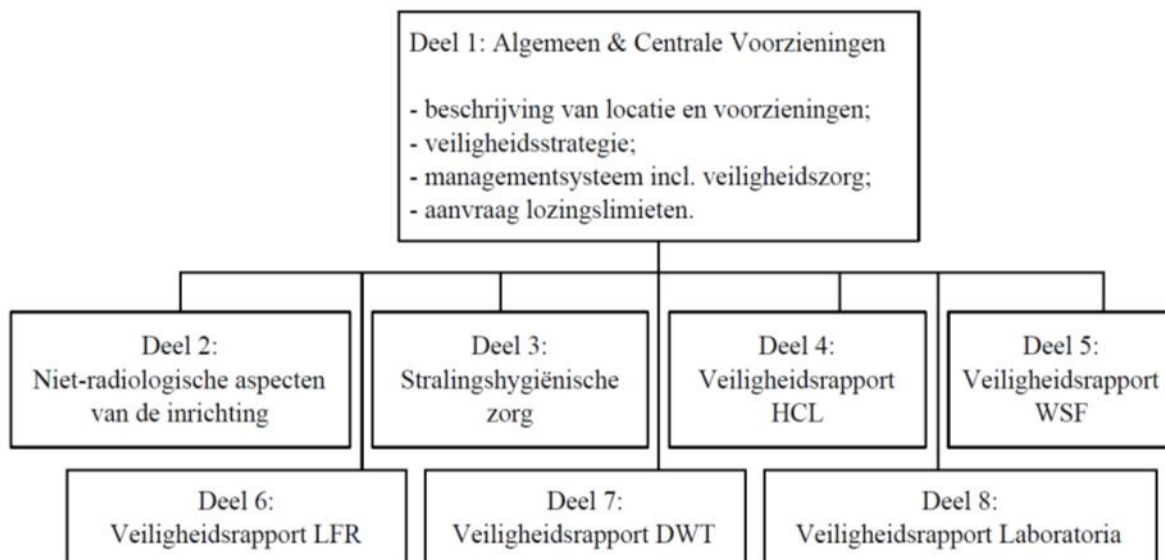
Eén van de documenten die nodig zijn voor de aanvraag van de vergunningswijziging is het veiligheidsrapport. Het veiligheidsrapport Kernenergiewetvergunning NRG Petten kent meerdere delen. Er is een algemeen deel en installatie-specifieke delen. Dit deel 6 van het veiligheidsrapport heeft betrekking op de Lage Flux Reactor (LFR), in het bijzonder op de buitengebruikstelling en ontmanteling ervan.

Het afvoeren van de splijtstofelementen naar de HFR en de afvoer van het bedrijfsafval en het primaire koelwater naar de DWT zijn geen onderdeel van de ontmanteling, omdat deze reeds onder de gebruiksvergunning zijn verwijderd uit de LFR-hal.

1.1 Doel en structuur van het veiligheidsrapport

Het “Veiligheidsrapport Kernenergiewetvergunning NRG-Petten” is opgesteld ten behoeve van de vergunningsverlening op basis van de Kernenergiewet. Het ‘integrale’ veiligheidsrapport levert een beschrijving van de constructie en bedrijfsvoering van de nucleaire faciliteiten, waarbij bijzondere aandacht wordt gegeven aan de maatregelen ter voorkoming van gevaar, schade of hinder tijdens normaal bedrijf, alsmede aan de beschermende maatregelen tegen gevaren voor werknemers en leden van de bevolking, die voortvloeien uit redelijkerwijs mogelijk te achten omstandigheden. Bij de beschrijvingen in het integrale veiligheidsrapport wordt aangegeven op welke wijze wordt voldaan aan de regelgeving.

Het integrale veiligheidsrapport bevat acht delen, onderverdeeld in drie delen met een algemeen karakter en vijf delen die speciale faciliteiten of inrichtingen betreffen. De delen van het veiligheidsrapport staan weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Structuur Veiligheidsrapport Kernenergiewetvergunning NRG-Petten

Het voorliggende deel beschrijft de installaties, de voormalige bedrijfsactiviteiten, de organisatie en de wijze waarop de veiligheid tijdens de buitengebruikstelling en ontmanteling van de ‘Lage Flux Reactor’ wordt gewaarborgd. Tevens wordt het veiligheidsniveau beschreven dat hierbij wordt gerealiseerd.

Als basis voor het opstellen en beoordelen van veiligheidstechnische gronden is gebruik gemaakt van de IAEA eisen en richtlijnen voor de buitengebruikstelling en ontmanteling van faciliteiten waar radioactief materiaal gehanteerd wordt. Het betreft onder andere NS-R-4: Safety of Research Reactors; en WS-G-5.2: Safety Assessment for the Decommissioning of facilities using Radioactive Material.

Voor de principes van het management- en veiligheidszorgsysteem en de ‘defence in depth’ filosofie wordt verwezen naar deel 1 van het veiligheidsrapport Kernenergiewetvergunning NRG Petten. Tevens is hier de inhoud van de technische specificaties, de decommissioning strategie en een beschrijving van centrale voorzieningen zoals de Interne Noodgevallen Organisatie (INO) opgenomen. De niet-

radiologische aspecten van de inrichting zijn in deel 2 gegroepeerd, terwijl de organisatie van de stralingshygiënische zorg en de bijbehorende verantwoordelijkheden in deel 3 zijn beschreven.

1.2 Voorkomen en beheersen van ongevallen

De ‘defence in depth’ filosofie ligt in het algemeen ten grondslag aan de nucleaire veiligheid, en daarom ook aan het veiligheidsontwerp van de LFR, zoals in deel 1 van het veiligheidsrapport nader is toegelicht. Daaraan is bij de LFR op de volgende wijze invulling gegeven.

Niveau 1: preventie

Bij het ontwerpen van de LFR is ernaar gestreefd:

- voldoende afscherming van straling te bieden, zowel voor de medewerkers als voor de bevolking in de omgeving.
- verspreiding van radioactieve stoffen te voorkomen.
- het radioactief materiaal zodanig op te slaan dat dit is beschermd tegen destructieve invloeden van buiten.
- door het (in deel 1 van het veiligheidsrapport beschreven) veiligheidszorgsysteem, en door procedures voor alle belangrijke handelingen, de veiligheid van de bedrijfsvoering in de LFR te waarborgen.

Tijdens de ontmanteling worden deze ontwerpeigenschappen successievelijk gedeclineerd en ontmanteld. In het detail plan van aanpak voor de ontmanteling en de (taak-)risicoanalyse die voorafgaand aan de buitengebruikstelling en ontmanteling worden opgesteld, zal worden zeker gesteld dat de veiligheid gewaarborgd blijft.

Niveau 2: beheersing

De randvoorwaarden voor de ontmanteling zullen worden vastgelegd in procedures en in het ontmantelingsplan. Hiernaast biedt de opleiding en ervaring van de medewerkers een extra zekerheid voor de beheersing van de ontmanteling. Het optreden van abnormale situaties, zoals een verhoogd stralingsniveau en de aanwezigheid van lucht-gedragen besmetting, wordt gedetecteerd met verschillende typen stralingsmeetinstrumenten.

Door adequaat reageren op de alarmeringen worden situaties voorkomen die tot ongevalssituaties zouden kunnen leiden.

Niveau 3: interventie

Maatregelen ter voorkoming en beheersing van ontwerpongevallen zijn beschreven in de hoofdstukken 2 en 7. Mocht een ongeval leiden tot het vrijkomen van radioactief materiaal binnen de LFR-hal, dan zorgt een luchtstofmonitor in combinatie met een afschakeling van de ventilatiesystemen ervoor dat deze stoffen niet in de omgeving verspreid zullen worden.

Niveau 4: mitigatie

Maatregelen op niveau 4 zijn vereist indien tijdens onvoorziene situaties condities optreden waarbij significante hoeveelheden radioactieve stoffen in de omgeving kunnen vrijkomen. De maatregelen op dit niveau zijn gericht op het beperken of voorkomen van de gevolgen van het vrijkomen van radioactieve stoffen in de omgeving. Om bij calamiteiten snel en efficiënt te kunnen optreden, worden goedgekeurde noodplannen gehanteerd, waarin ook de interne en externe communicatie is geregeld. Hiernaast zullen zo nodig door de overheid mitigerende maatregelen worden getroffen.

1.3 Inhoud van het veiligheidsrapport LFR

Dit veiligheidsrapport behandelt alle essentiële aspecten die voor een veiligheidstechnische beoordeling van de buitengebruikstelling en ontmanteling van de LFR nodig zijn.

Om een goed leesbaar veiligheidsrapport te maken, is er voor gekozen de onderbouwing en berekening van de effecten van de gepostuleerde ongevallen niet in detail te beschrijven in het veiligheidsrapport, maar in een apart rapport onder te brengen.

Hoofdstuk 2 beschrijft de locatie, het ontwerp, de ontmantelingsactiviteiten en de systemen die van belang zijn voor de veiligheid bij de LFR.

Hoofdstuk 3 geeft het historisch overzicht van de LFR, waarbij de nadruk ligt op stralingshygiëne en op ervaring met demontage en montage van reactoronderdelen tijdens groot onderhoud.

Hoofdstuk 4 bevat een globale beschrijving van de soorten en hoeveelheden en de wijze van gebruik van de nog aanwezige radioactieve stoffen. Verder wordt beschreven hoe de bewaking, de beveiliging en administratie van radioactieve stoffen geregeld zijn.

Hoofdstuk 5 geeft een beknopt overzicht van de geplande ontmantelingsactiviteiten.

Hoofdstuk 5 beschrijft de soorten, de verwachte hoeveelheden, de behandeling en de afvoer van het radioactief afval dat ontstaat bij de ontmantelingswerkzaamheden van de LFR en laboratoria.

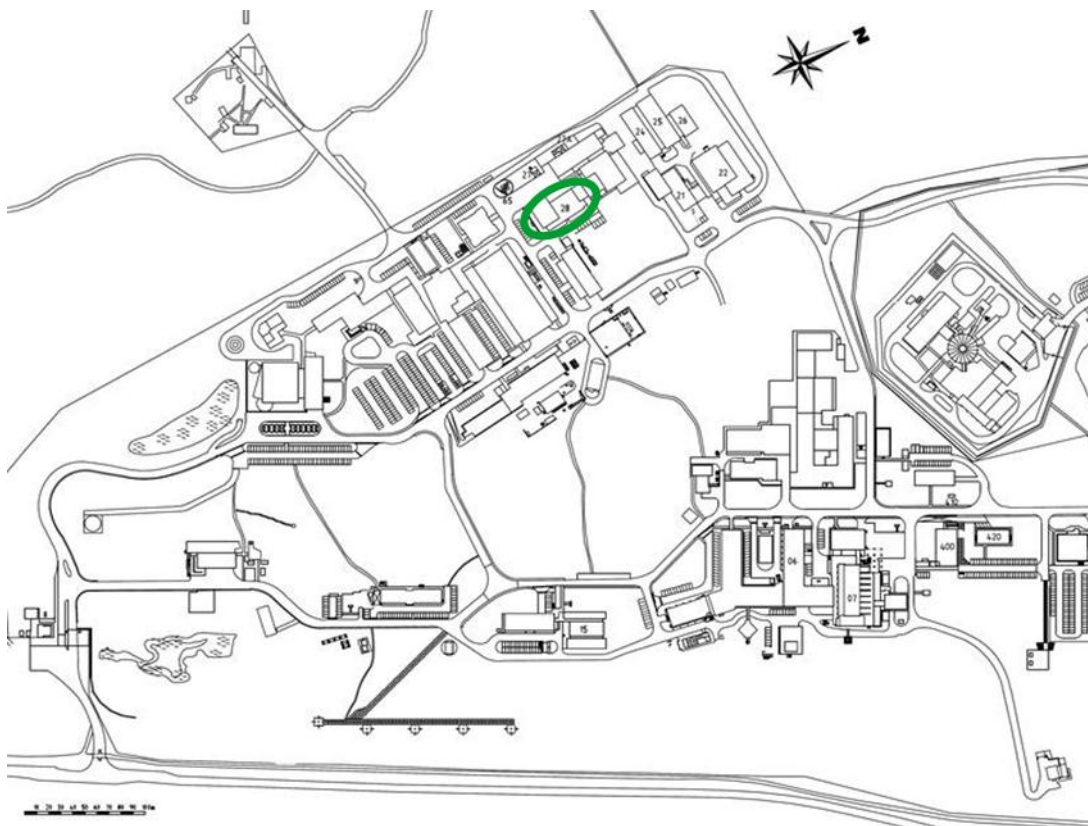
Hoofdstuk 7 geeft een overzicht van de getroffen veiligheidsmaatregelen (zowel materieel en organisatorisch) en een analyse van maatgevende ongevallen.

In hoofdstuk 8, tenslotte, wordt ingegaan op de stralingsbeschermingsaspecten van de LFR.

2 De Lage Flux Reactor

2.1 Het reactorgebouw

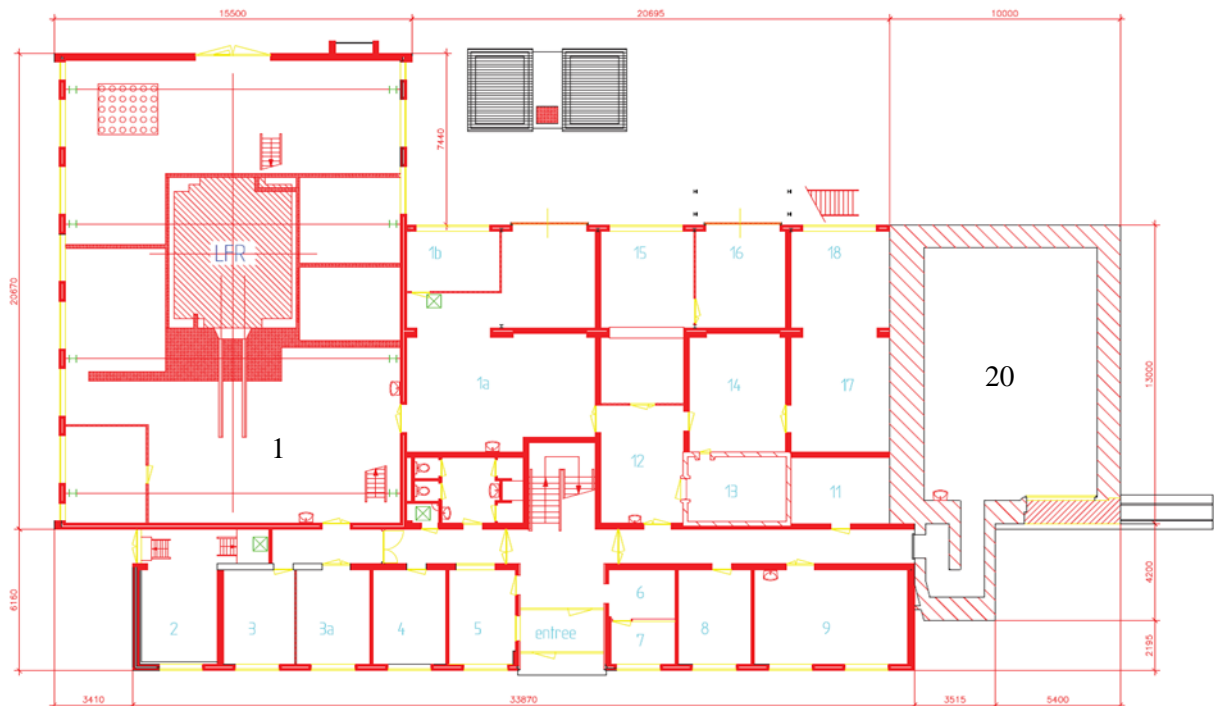
De Lage Flux Reactor (LFR) is gelegen in een aparte hal (de LFR-hal) in het Enrico FERMI Laboratorium (ook wel het Fermigebouw genoemd). Het Fermigebouw is gelegen in de zogenaamde westelijke vallei aan de westgrens van de Onderzoekslocatie Petten (OLP).



Figuur 2 Situering van het Fermigebouw (gebouw 28)

Het Fermigebouw bestaat uit drie delen (zie Figuur 3, waarin het zuiden naar links is gericht):

- de LFR-hal (zuidkant);
- de STEK-hal (noordkant);
- tussenbouw gelegen tussen de LFR-hal en de STEK-hal (kantoor- en laboratoriumruimte).



Figuur 3 Het Fermigebouw

De tussenbouw bevat kantoorvertrekken, laboratoria, meetzalen, een werkplaats en dienstruimten en is enerzijds via semi-gasdichte brandvertragende deuren verbonden met de LFR-hal (1); anderzijds via gasdichte deuren met de STEK-hal (20), die indertijd is ontworpen voor het uitvoeren van experimenten met kritieke reactoropstellingen. Die hal is momenteel in gebruik als radiologisch laboratorium voor verzamelen en tijdelijke opslag van radioactief materiaal in afwachting van afvoer naar COVRA.

2.2 De LFR-hal

Het maaiveld bij de LFR ligt op 6,5 m + NAP. De ondergrond wordt gevormd door een laag duinzand van ongeveer 10 m dik, gevolgd door een circa 5 m dikke laag met een geringe draagkracht met daaronder een zeer dikke tweede zandlaag met een aanzienlijke draagkracht. De hardstenen plaat onder het reactorblok is onafhankelijk van het reactorgebouw gefundeerd met heipalen van gewapend beton die reiken tot circa 1 m in de tweede zandlaag. In deze hardstenen plaat en in de betonnen vloer van de LFR-hal zijn geen andere leidingen bekend dan die van het koelwatersysteem, die zijn aangelegd tijdens de constructie.

De LFR-hal is een staalconstructie opgebouwd uit vier stalen spanten die het 8,8 m hoge dak ondersteunen en die de 14 m brede hal overspannen. De wanden van de 20 m lange hal worden gevormd door zelfdragende gemetselde muren met glas- en deuropeningen. De vloer van gewapend beton is voorzien van een slijtvaste, goed decontamineerbare deklaag.

Drie semi-gasdichte, brandvertragende deuren verschaffen toegang tot de LFR-hal vanuit het Fermigebouw. Daarnaast is de hal rechtstreeks toegankelijk van buiten via een vierde grote deur.

Deze deur is een semi-gasdichte dubbele stalen deur, met daarin een vluchtdeur voor personen. Alle deuren zijn voorzien van speciale afdichtingen in verband met het handhaven van een onderdruk in de LFR-hal. De ramen zijn niet te openen.

Onder de vloer, vrij van het grondwater, zijn de volgende bouwkundige voorzieningen aangebracht:

- een kelder voor onder meer de componenten van de koelsystemen;
- de fundering van het reactorblok op aparte heipalen.

De LFR-hal wordt geventileerd met gefilterde en voorverwarmde buitenlucht. De capaciteit van de afzonderlijke toe- en afvoerventilator was zo gedimensioneerd dat bij gesloten deuren onderdruk in de hal was gewaarborgd. Voor de verwarming zijn tevens heet-waterradiatoren geplaatst.

Tijdens bedrijf van de LFR werd de lucht boven de kern afgezogen. De uitgaande ventilatielucht werd gemonitord op Ar-41 emissies. Nu splijtstof uit de kern is verwijderd, kan het kern-ventilatiesysteem buiten werking worden gesteld of bij de ontmantelingswerkzaamheden als lokale ventilatie worden gebruikt.

In de LFR-hal is een elektrisch bedienbare bovenloopkraan met verrijdbare loopkat geïnstalleerd. De kraan rijdt op twee stalen liggers ondersteund door acht stalen H-profielen. De maximaal toelaatbare last van de hijsinrichting is 5 ton.

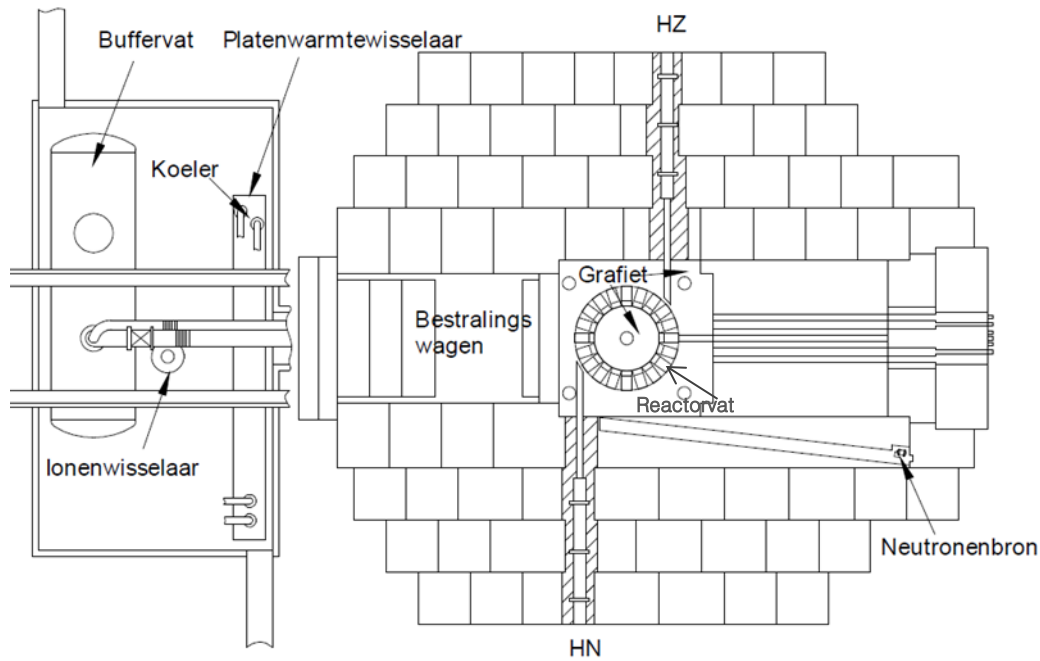
2.3 Ontwerp van de LFR

De LFR is een replica van de ARGONAUT-reactor die het Argonne National Laboratory destijds in bedrijf had. De reactor is modulair opgebouwd. Alle onderdelen zijn te verplaatsen met de bovenloopkraan (hefvermogen 5 ton). Losse onderdelen van de reactor zijn niet zwaarder dan 5 ton.

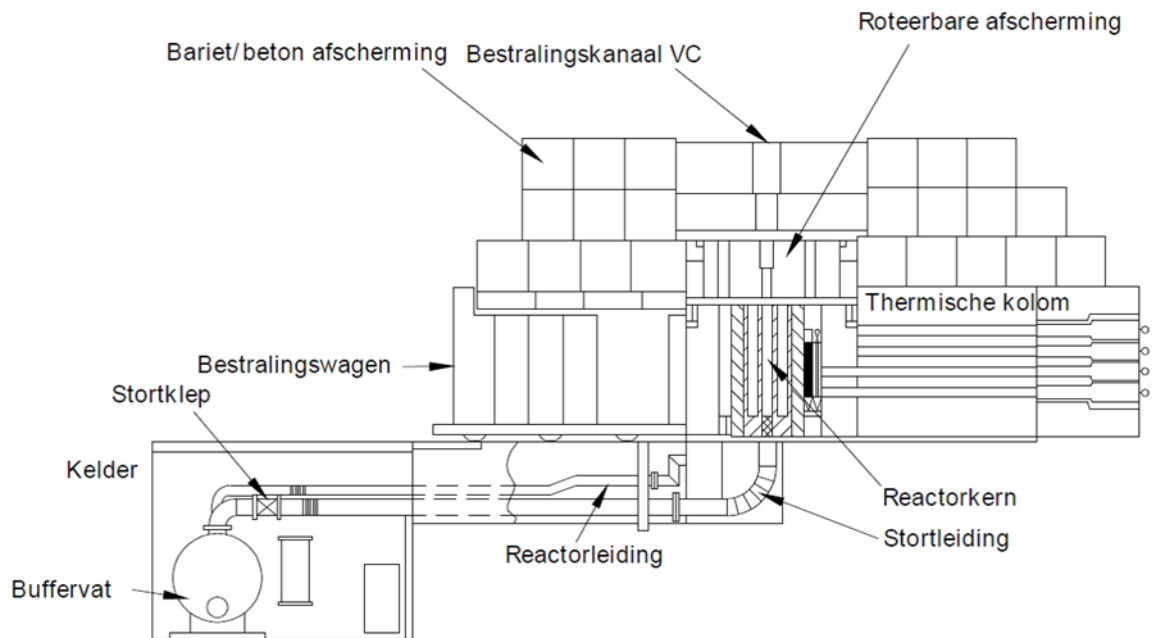
De LFR is een watergekoelde kernreactor die werd bedreven tot een thermisch vermogen van 30 kW. De nominale werkteemperatuur van het open reactorkoelsysteem bedroeg 45°C. Het cilindrische reactorvat met een buitendiameter van 0,9 m en een hoogte van 1,2 m bevat een ringvormige kernruimte met een inwendige grafietreflector. Het reactorvat is omgeven door een stapeling van grafietblokken (de uitwendige reflector) en daaromheen een stapeling barietblokken voor de afscherming van de ioniserende straling. De ringvormige ruimte tussen binnen- en buitenvat wordt de kernruimte genoemd. De splijtstofelementen bevonden zich in deze ruimte. Door de kernruimte stroomde gedemineraliseerd water dat als moderator en koelmedium dienst deed. Met de positionering van de splijtstofelementen kon een ringkern, een tweeplaskern en een éénplaskern worden opgebouwd.

De splijtstofelementen in de kernruimte waren op een vaste manier gerangschikt. De karakteristieke bedrijfskern van de LFR betrof de éénplaskern configuratie. De éénplaskern bevatte 24 grafietwiggén, 38 grafietblokken en 10 splijtstofelementen. De posities die niet bezet waren door splijtstofelementen werden met grafietblokken gevuld. De karakteristieke ²³⁵U lading van deze kern had een massa van circa 1,9 kg.

Horizontale en verticale doorsnedes zijn weergegeven in Figuur 4 en Figuur 5. Figuur 6 toont een foto van de reactor.



Figuur 4 Horizontale doorsnede van de LFR



Figuur 5 Verticale doorsnede van de LFR



Figuur 6 De LFR, gezien vanaf de oostzijde.

2.3.1 Reactorvat en reactorfysisch ontwerp

Het cilindrische reactorvat, met een buitendiameter van 0,9 m en een hoogte van 1,2 m, bevat een cilindrisch binnenvat met de inwendige grafietreflector. Dit binnenvat heeft een buitendiameter van 0,6 m en is net zo hoog als het reactorvat. Zowel het buitenvat als het binnenvat zijn van aluminium. Tijdens de nieuwbouw van de reactor in 1959 zijn eerst de betonblokken geplaatst. Daarna zijn de grafietblokken voor het buiten- en binnenvat ter plaatse op maat gezaagd en in het beton gezet. Dit houdt in dat het grafiet uit het beton verwijderd kan worden en de afschermdende werking van het beton in tact blijft.

De grafietwiggen en grafietblokken

De uitwendige afmetingen van de grafietkernelementen zijn circa 75 mm x 75 mm x 840 mm. Het grafiet is van het type Reactor Grade Graphite, dat slechts brand zal vatten bij temperaturen hoger dan 650°C. De grafietblokken en grafietwiggen werden omstroomd door het reactorwater. Om absorptie van reactorwater in het grafiet te vermijden, is het grafiet met een waterdichte laag bekleed (epoxyhars). Hierdoor werd de invloed van eventuele wateropname in grafiet op de modererende werking van het grafiet voorkomen.

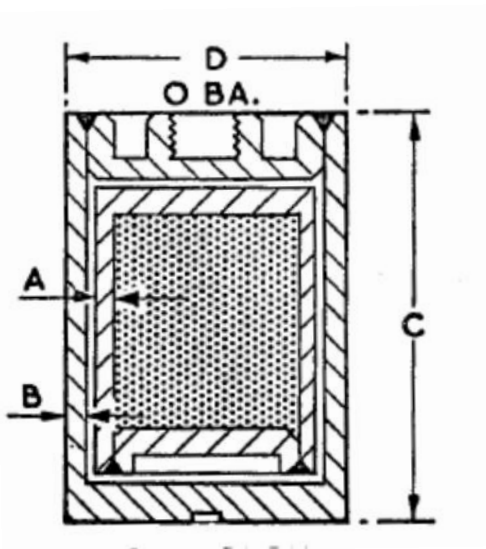
De startbron

Om de kettingreactie op gang te brengen, werd gebruik gemaakt van een ^{241}Am -Be neutronenbron. De bron werd vanuit de buitenste laag van de betonnen afscherming door middel van een zogenaamd 'pushpull'-systeem, tot aan de uitwendige grafietreflector bewogen. De startbron bestaat uit een tot pellets gevormd mengsel van ^{241}Am en Be. Dit materiaal is opgesloten in een dubbelwandige RVS container met de volgende afmetingen (zie ook Tabel 1 en Figuur 7).

Tabel 1 De afmetingen van de startbron

dimensie	[mm]
Wanddikte binnencilinder A	1,2
Wanddikte buitencilinder B	1,2
Lengte buitencilinder C	60
Diameter buitencilinder D	30

Zowel de binnen- als de buitencilinder zijn dichtgelast.



Figuur 7 De startbron van de LFR

Bij aanvang van de ontmanteling zit de startbron nog in de reactor.

De regel- en veiligheidsplaten

Er zijn vier neutronen-absorberende platen aanwezig, en twee veiligheidsplaten: één grofregelplaat en één fijnregelplaat. Het absorberende deel van de platen bevat cadmium.

De neutronen-absorberende platen werden via een mechanische overbrenging met een elektromotor op en neer bewogen in platte aluminium hulzen. Deze hulzen zijn dicht tegen de wand van het buitenvat in de grafietreflector geplaatst. De platen zijn elektromagnetisch gekoppeld aan het aandrijfmechanisme. Als tijdens bedrijf door wegvallen van de magneetstroom de koppeling zou worden verbroken, dan zou ten gevolge van de zwaartekracht en de veerkracht van een opgewonden stalen strip, de plaat naar beneden vallen.

De inwendige grafietreflector

De inwendige reflector wordt gevormd door een massieve stapeling Reactor Grade grafiet, welke in het gesloten aluminium binnenvat is geplaatst. Centraal in het binnenvat is een verticaal kanaal (VC) aangebracht waarin bestralingsexperimenten plaatsvonden.

De uitwendige grafietreflector

De reactorkern is omgeven door rechthoekige blokken van grafiet. De uitwendige maten van de grafietreflector zijn 1,5 m x 1,5 m met een hoogte van 1,2 m (zie Figuur 4). De minimale dikte van de uitwendige reflector bedraagt 30 cm. In de reflector zijn ruimten uitgespaard voor de regelplaten, de reactorwater retourleiding en de benodigde instrumentatie. Aan de westzijde van de uitwendige grafietreflector bevindt zich de zogenaamde thermische kolom, (zie Figuur 5). De thermische kolom is een grafietopstelling, met een doorsnede (b x h) van 1,56 m x 1,25 m en de lengte bedraagt 1,5 m. De kanalen in de thermische kolom zijn afgesloten met betonpluggen.

De afscherming

Ter afscherming van ioniserende straling tijdens bedrijf is gebruik gemaakt van betonblokken van barietbeton met een dichtheid van 3.500 kg/m^3 . De minimale dikte van de afscherming bedraagt 1,8 m (zie Figuur 4). De bovenkant van de reactor is afgeschermd met een 0,5 m dikke betonnen afschermplaat gevuld met ijzerhoudend beton met een hoge dichtheid (zie Figuur 5). Het centrale deel van de afschermplaat is roteerbaar en is voorzien van poorten met verwijderbare pluggen, waardoor de kernruimte bereikt kan worden. Deze topafscherming rust op een metalen raamwerk, geplaatst op de fundatie van de LFR-kern.

Het kernventilatiesysteem

De lucht boven de reactorkern werd tijdens bedrijf afgezogen door het kernventilatiesysteem, met 66 m^3 per uur.

Het kernventilatiesysteem is gerelateerd aan de bedrijfsvoering van de reactor. Het kan gedurende de ontmantelingswerkzaamheden buiten werking worden gesteld, of worden gebruikt voor lokale afzuiging.

2.3.2 Het reactorkoelsysteem

Het reactorkoelsysteem wordt gevormd door het primaire circuit, hier reactorwatercircuit genoemd, een warmtewisselaar en een secundair circuit. Het reactorwater werd gezuiverd via een filter en een kleine ionenwisselaar. Alle componenten van het reactorwatercircuit zijn geplaatst in de pompkelder, die onder de vloer van de LFR-hal aan de zuidzijde van de reactor is gesitueerd. De kelder vormt het laagste punt in het reactorwatercircuit.

Door de materiaalkeuze van de componenten van het koelwatersysteem is het mogelijk dat deze geactiveerd kunnen zijn en door het gebruik mogelijk licht besmet.

Reactorwatercircuit

Het reactorwater werd via een centrale leiding aan de onderkant van het reactorvat toegevoerd en stroomde door de ringvormige kernruimte langs de splijstofelementen en door de spleten tussen de grafietblokken omhoog. Het reactorwater in het reactorvat stond in open verbinding met de atmosferische lucht boven het reactorvat. Aan de bovenkant van de kernruimte stroomde het reactorwater onder invloed van de zwaartekracht via de retourleiding naar het buffervat onder in de kelderruimte. Het gedemineraliseerde reactorwater werd vanuit het buffervat eerst door een filter, vervolgens door de warmtewisselaar en daarna naar het reactorvat gepompt.

In het reactorwatercircuit zijn twee reactorwater-circulatiepompen geïnstalleerd, een ‘grote’ circulatiepomp en een kleine circulatiepomp.

Het secundair circuit

Het secundaire water werd uit een voorraadvat door de platenwarmtewisselaar gepompt en weer terug naar het voorraadvat.

Het waterstortmechanisme

De vulleiding aan de onderzijde van het reactorvat is met een stortleiding met een vlinderklep rechtstreeks verbonden met het buffervat. Wanneer de vlinderklep werd geopend stroomde het primair koelwater onder invloed van de zwaartekracht binnen 10 s uit het reactorvat in het buffervat en viel de reactor stil.

De warmtewisselaar

De warmtewisselaar bestaat uit een bak, die in de operationele fase met gedemineraliseerd water was gevuld, waarin zich twee sets plaatradiatoren bevinden. Door één set plaatradiatoren stroomde het reactorwater, door de andere set het secundaire water.

De huidige situatie

Het koelwater is onder de vigerende Kew-vergunning voorafgaande aan de feitelijke ontmantelingswerkzaamheden afgevoerd.

2.3.3 Reactorfysische instrumentatie

De reactorfysische instrumentatie bestaat uit diverse neutronen- en gammameetkanalen in of nabij de kern van de LFR. De nucleaire meetkanalen zijn gebruikt om de procesgrootheden te meten in de vorm van ioniserende straling of neutronen. Deze instrumentatie is niet meer in werking aan het begin van de ontmanteling.

2.3.4 Het reactorbeveiligings- en vergrendelingssysteem

Bij de LFR werden vier bedrijfstoestanden onderscheiden. Aan iedere bedrijfstoestand zijn voorwaarden verbonden, die geïmplementeerd zijn in het reactorbeveiligings- en vergrendelingssysteem:

1. UIT BEDRIJF; de reactor is uitgeschakeld.
2. STAND-BY; overgangstoestand waarbij reactorkern wordt gekoeld, terwijl de reactor subkritiek is.
3. BEDRIJF; de reactor is in vermogensbedrijf.
4. ONDERHOUD; uitzonderingstoestand waarbij de neutronenbron, de regelplaten, de veiligheidsplaten, de waterpomp of de vlinderklep in de stortleiding afzonderlijk kunnen worden getest. De motoren en de koppelingen worden dan via een sleutelschakelaar naar keuze gevoed.

Sinds eind 2010 is de reactor 'UIT BEDRIJF'. In het najaar van 2012 zijn de splijtstofelementen uit de LFR-hal verwijderd en overgebracht naar de HFR. De splijtstofelementen vallen nu onder de vergunning van de HFR (via vergunningswijziging DGETM-PDNIV / 12076353 van 27 juni 2012).

2.3.5 Experimentele reactorposities

De LFR is een onderzoeksreactor en is voor dit doel uitgerust met verschillende bestralingsposities waarin bestralingen kunnen worden uitgevoerd. De bestralingsposities zijn:

Het verticaal bestralingskanaal

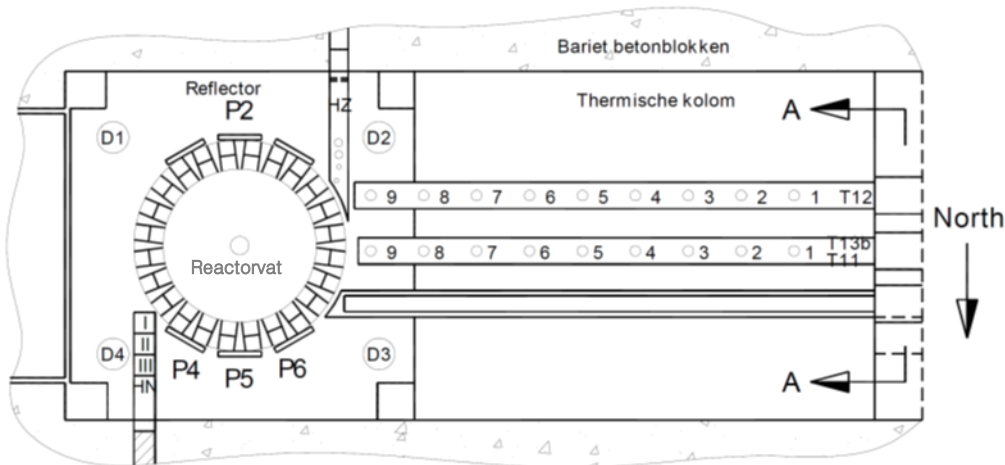
In de inwendige grafietreflector is een verticaal bestralingskanaal (VC) aanwezig. Dit kanaal is toegankelijk als de extra topafscherming boven de reactorkern is verwijderd.

Het horizontale bestralingskanalen

Twee horizontale bestralingskanalen, horizontaal noord (HN) en horizontaal zuid (HZ), lopen vanaf de buitenzijde van de afscherming tot de wand van het buitenvat (zie Figuur 4).

De thermische kolom

De thermische kolom is een grafietopstelling voor het uitvoeren van bestralingsexperimenten, voornamelijk met thermische neutronen. De bestralingsexperimenten konden worden geplaatst in uitsparingen in de horizontale grafietpluggen. Figuur 8 toont een bovenaanzicht van de thermische kolom. De reactorfysische instrumentatie is in drie kanalen van de thermische kolom geplaatst. Alle kanalen zijn afgesloten met betonpluggen.



Figuur 8 De thermische kolom, het reactorvat en de reflector (bovenaanzicht)

De pneumatische buizenpost systemen

Twee pneumatische buizenpostsystemen ('pneumatic rabbit system', PRS), welke gezien worden als onderdeel van de reactor, konden worden gebruikt voor seriematige bestralingen. Een permanente opstelling is geplaatst in een kanaal van de thermische kolom waarin cilindrische bestralingscapsules werden gebruikt. Het tweede systeem, het kleine shuttle systeem, kon voor gebruik geïnstalleerd worden in het verticale bestralingskanaal VC.

De bestralingswagen

Tegen de oostzijde van de grafietreflector is in de uitsparing van de afscherming een bestralingswagen geplaatst (zie ook Figuur 4 en Figuur 5). De bestralingswagen biedt een experimenteerruimte van variabele grootte, met een maximum van ongeveer 1 m³. Rond de experimentenruimte zijn afschermblokken aangebracht die de medewerkers een adequate afscherming tegen straling boden. Een verticaal bewegende loodschuif werd onder andere gebruikt als afscherming tussen de uitgereden bestralingswagen en de reactor als tijdens bedrijf kleine monsters op de bestralingswagen geplaatst of ervan weggenomen moesten worden.

De conversieplaat op de bestralingswagen

Om bestralingen met snelle neutronen mogelijk te maken werd gebruik gemaakt van een conversieplaat. Deze plaat was opgebouwd uit 18 LFR-splijtstofplaatjes. De splijtstof van de conversieplaat is tegelijkertijd met de splijtstof uit de kern en in de opslagfaciliteit afgevoerd naar de HFR en daar opgeslagen in afwachting van transport naar COVRA. Alleen de bestralingswagen, waar de conversieplaat op heeft gezeten, is nog aanwezig en zal onderdeel zijn van de ontmanteling.

De reactorkern

Tijdens bedrijf konden de koelkanalen in de reactorkern in bijzondere situaties als experimenteerruimte worden gebruikt.

2.4 De LFR splijtstofelementenopslag

De splijtstofelementen bevonden zich óf in de reactorkern óf in de pluggenopslag in de zuidwesthoek van de LFR-hal. Die opslagvoorziening is zo ontworpen dat kritiek worden van daarin opgeslagen LFR-splijtstofelementen was uitgesloten. De opslagfaciliteit bestaat uit zwaar beton, met daarin een array van 6x5 geventileerde verticale cilindrische buizen van circa 1,7 m diep. Tussen de buizen en het beton zit zand. De buizen staan in een onder het vloeroppervlak geplaatste bak gevuld met zwaar beton. In de opslagfaciliteit is geen gebruik gemaakt van water.

Net als de reactorkern, bevat de splijtstofopslagplaats geen splijtstof meer, alle splijtstof is in week 31 van 2012 afgevoerd naar de HFR en daar opgeslagen in afwachting van transport naar COVRA.

2.5 Niet-reactorgebonden faciliteiten

In de LFR waren diverse (meet)opstellingen voor practica van opleidingen en voor kalibratie van stralingsmeetapparatuur aanwezig. In de kalibratieopstelling werd gebruik gemaakt van ingekapselde bronnen, ook hoogactieve. Deze bronnen en bronnetjes voor practica zullen allemaal, voorafgaand aan de feitelijke ontmanteling, worden overgebracht naar andere gebouwen (voor hergebruik op een andere locatie) of worden afgevoerd.

2.6 Algemene voorzieningen

Op de Onderzoekslocatie Petten (OLP) zijn een aantal voorzieningen die de bedrijven op de OLP van dienst kunnen zijn, centraal georganiseerd. De volgende centrale voorzieningen zijn van belang voor het veiligheidsniveau van de LFR:

- bedrijfsbrandweer;
- gebouwbeheersysteem;
- elektrotechnische voorzieningen;
- leidingen;
- perslucht;
- beveiliging;
- bedrijfsnoodplan;
- voorzieningen voor beperking van gevolgen van ongevallen.

Naast de centrale voorzieningen, welke in deel 1: Algemeen & Centrale Voorzieningen zijn beschreven, is hieronder een overzicht gegeven van de bij de LFR aanwezige specifieke voorzieningen. Deze voorzieningen blijven tijdens de ontmanteling van de LFR beschikbaar totdat zij niet meer nodig zijn en volgens plan worden verwijderd of afgekoppeld.

2.6.1 Elektrotechnische voorzieningen

Bij de elektrotechnische voorzieningen wordt onderscheid gemaakt tussen de voorzieningen voor normaal bedrijf en de noodstroomvoorzieningen.

De noodverlichting in de LFR-hal wordt verzorgd door de noodstroomvoorziening op de OLP.

2.6.2 Afvalwaterleidingen

Eventueel drainwater, opgevangen in de pompkelder van de LFR, en sanitair afvalwater afkomstig van een radiologisch werkgebied, wordt naar een tweetal tanks in de wasteput buiten het Fermigebouw gepompt. Beide tanks, waarop niveaubewaking is aangebracht, zijn geplaatst in een betonnen bak en bevinden zich grotendeels ondergronds. Het opgeslagen afvalwater wordt naar de DWT-afvalwaterbehandeling afgevoerd en daar verwerkt.

De wasteput wordt gebruikt door andere radiologische faciliteiten in het Fermigebouw en kan een functie hebben tijdens de ontmanteling van de LFR-hal. De wasteput wordt niet beschouwd als onderdeel van de reactor en ligt buiten de LFR-hal.

2.6.3 Perslucht

In de LFR-hal worden de kleppen van het halventilatiesysteem met perslucht bediend. Perslucht is als een standaardvoorziening op de OLP aanwezig.

2.6.4 Gebouwbeheersysteem

Het gebouwbeheersysteem (GBS) is een geautomatiseerd bewakingssysteem van diverse installaties op de OLP. Het GBS is 24 uur per dag, 7 dagen per week, operationeel.

Voor de LFR zijn de volgende installaties aangesloten:

- toe- en afvoerventilator LFR-hal;
- niveaubewaking van de tanks in de wasteput .

Storingen aan deze installaties worden direct geregistreerd, automatisch gemeld aan een geconsigneerde medewerker en doorgegeven aan de manager die bij de ontmanteling verantwoordelijk is voor de LFR.

2.6.5 Beveiliging

Naast de centrale beveiliging bestaat de beveiliging van de LFR-hal zowel uit passieve als actieve beveiligingsmaatregelen. Hiertoe is de LFR-hal uitgerust met bewakingsinstrumentatie en gelden beveiligingsprocedures. Tevens is de LFR-hal voorzien van een inbraakmeldsysteem. De toegang tot de hal is door middel van een elektronisch bewakingssysteem beperkt.

3 Historie en bedrijfservaring

3.1 Historie

Voor het bevorderen en uitdiepen van het nucleaire onderzoek werd de Lage Flux Reactor (LFR) op 28 september 1960 door het toenmalig RCN in bedrijf genomen. De LFR is een replica van de ARGONAUT-reactor die het Argonne National Laboratory destijds in bedrijf had. ARGONAUT is het acroniem voor ARGONne Nuclear Assembly for University Training.

De LFR is gebouwd door Hawker Siddely Nuclear Power Co. Ltd. en oorspronkelijk geïnstalleerd in een tijdelijke behuizing nabij de huidige LFR-hal. Op 28 september 1960 is de LFR voor het eerst kritiek gemaakt. Het maximale vermogen van de reactor bedroeg 10 kW.

In juli 1962 was de bouw van het Enrico Fermi-laboratorium gereed en werd de LFR naar de LFR-hal van het Enrico Fermi-laboratorium verplaatst. Vanaf dat moment is het aantal bestralingen met de LFR toegenomen en zijn bestralingsposities aangepast en geautomatiseerd. In oktober 1963 is een motorisch aangedreven bestralingswagen geïnstalleerd. In 1965 is de opening naar de kern voorzien van een motorisch bediende verticale loodschuif om de afscherming bij uitgereden bestralingswagens te vergroten. Het pneumatische buizenpostsysteem is in 1966 aangevuld met een tweede snelle buizenpost voor onderzoek naar kortlevende isotopen. Tot juni 1983 is de reactor voornamelijk bedreven met een 'éénplakskern'. Dit is de kernconfiguratie met een minimale hoeveelheid splijtstof.

In juni 1983 is vergunning verkregen om het thermisch vermogen van de reactor te verhogen van 10 kW tot 30 kW. De hiervoor vereiste technische modificaties betroffen onder meer de tweede reactorwaterpomp met een grotere capaciteit en een verhoging van de capaciteit van de warmtewisselaar. Sinds de vermogensverhoging zijn de bedrijfskernen van de LFR uitsluitend opgebouwd geweest volgens de configuratie van de éénplakskern.

In het najaar van 2012 zijn de splijtstofelementen uit de LFR-hal verwijderd en overgebracht naar de HFR. De splijtstofelementen vallen nu onder de vergunning van de HFR (via vergunningswijziging DGETM-PDNIV / 12076353 van 27 juni 2012). Van hieruit zullen de splijtstofelementen definitief worden afgevoerd.

Naast de splijtstofelementen is ook het koelwater uit de LFR-hal verwijderd.

Voor zover uit documentatie is op te maken, zijn geen wijzigingen aangebracht aan de constructie van de LFR, aan de afscherming of aan water- en gasleidingen in het beton, die relevant kunnen zijn voor de ontmanteling van de LFR en voor de stralingshygiëne. Dit wordt bevestigd door de voormalige en huidige reactormanagers.



3.2 Bedrijfservaring

De LFR is anderhalf jaar na ingebruikname in een periode van 4 maanden overgeplaatst van het Wastegebouw (gebouw 24) naar het Fermigebouw. Behalve foto's is er van deze verhuizing geen documentatie te vinden. Het personeel dat heeft meegewerkt aan die verhuizing is niet meer bij NRG werkzaam.

Door de jaren heen zijn meerdere aanpassingen aan de reactor gedaan, waarbij de reactor deels moest worden ontmanteld en weer opgebouwd. Hierbij is de nodige ervaring opgedaan, ervaring en routine verkregen door medewerkers die op dit moment nog in dienst zijn van NRG.

Ook tijdens jaarlijks groot onderhoud is door werknemers van NRG veel ervaring opgedaan met de LFR. Tijdens het groot onderhoud werden, na 1 à 2 weken afkoeltijd, delen van de reactor en de afscherming verplaatst. Daarbij zijn alleen bijzondere hulpstukken gebruikt die in de hal aanwezig zijn. Er hoeven voor demontage en het hanteren van onderdelen dus geen aanvullende hulpstukken te worden aangeschaft. Bij groot onderhoud behoeft het personeel geen aanvullende persoonsbescherming ten opzichte van normale bedrijfsvoering. Het laatste groot onderhoud is uitgevoerd in april 2010.

In de 50 jaar lange bedrijfsvoering hebben zich geen incidenten voorgedaan die de veiligheid tijdens ontmantelen negatief beïnvloeden.

4 Radionuclideninventaris

Het bedrijven van de LFR impliceert het voorhanden hebben van splijtstof. Op dit moment zijn de splijtstofelementen al afgevoerd, net als overige ingekapselde bronnen ten behoeve van experimentele opstellingen in de LFR-hal.

In de reactor bevindt zich nog een neutronenbron (de startbron), die om praktische redenen pas tijdens de ontmanteling uit de LFR verwijderd kan worden.

Als gevolg van het reactorbedrijf zijn radioactieve stoffen ontstaan, door activering van onder meer het beton van de afscherming en het grafiet, als ook metalen delen van de LFR.

Het primaire koelwater van de reactor is voorafgaand aan de aanvang van de ontmanteling conform de voorschriften van de vigerende vergunning voor verwerking afgevoerd naar de waterbehandeling van DWT (Decontamination and Waste Treatment).

4.1 Splijtstoffen

Het bedrijven van de LFR impliceert het voorhanden hebben van splijtstof. De splijtstofelementen bevonden zich óf in de reactorkern of in de pluggenopslag in de zuidwesthoek van de LFR-hal. Om bestralingen met snelle neutronen mogelijk te maken was als experimentele faciliteit een conversieplaat met splijtstof beschikbaar. In enkele pluggen bevond zich voorts een aantal gesloten laboratoriumbronnen met splijtstof ten behoeve van het onderzoek op het gebied van 'Splijtstofbewaking'.

De LFR-splijtstofelementen zijn overgebracht naar de HFR in afwachting van een definitieve afvoerroute. Ook de splijtstof uit de conversieplaat is naar de HFR afgevoerd.

In de LFR bevindt zich op het moment van schrijven van het voorliggende rapport nog een geringe hoeveelheid splijtstof in de zogenaamde splijtingskamers (minder dan 1 gram). Deze splijtingskamers werden gebruikt voor experimenten en waren tijdens bedrijf niet voortdurend in de reactor aanwezig. Het is de bedoeling deze splijtingskamers nog voor aanvang van de ontmanteling te verwijderen, maar dit is afhankelijk van de praktische uitvoerbaarheid en logistiek.

De ontmanteling zal niet eerder aanvangen dan maart 2014. De reactor is dan al ruim 3 jaar buiten bedrijf.

4.2 Radioactieve stoffen

4.2.1 Activeringsproducten

In verschillende materialen in de LFR heeft activering plaatsgevonden. Bij de ontmanteling wordt rekening gehouden met activering in de volgende materialen:

- (Bariet) beton
- Grafiet
- Metaal (waaronder aluminium en bismut)

In februari 2013 zijn enkele boringen uitgevoerd waarbij monsters van funderingsbeton, barietbeton van de afscherming en grafiet van de externe reflector zijn genomen. Hoewel de steekproefgrootte klein is, geeft het onderzoek wel een indicatie van de te verwachten activiteit die door activering is ontstaan. Ongeveer in een bol met een straal van circa 1,5 m rond de kern van de reactor is het grafiet en beton vergunningplichtig.

- **Barietbeton (biologisch schild)**

In het barietbeton van het biologisch schild zijn ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{152}Eu en ^{154}Eu aangetroffen.

De activering is niet homogeen. De hoogst gemeten waarde aan de noordzijde is ruwweg een factor 100 hoger dan aan de zuidzijde. Het ligt in de lijn der verwachting dat de noordzijde meer geactiveerd is, omdat de éénplakskern zich aan die zijde van het reactorvat bevindt.

- **Funderingsbeton**

In de monsters die genomen zijn uit de fundering zijn alleen lage concentraties radionucliden gevonden. Onder de kern kon echter niet een boring worden uitgevoerd. Naar verwachting zullen direct onder de kern wel hogere concentraties radionucliden worden aangetroffen. Omdat de fundering zelf bij het zwaarste ongeval niet tot significante verspreiding van stof in de omgeving zal leiden, wordt de fundering bij de risicoanalyse verder buiten beschouwing gelaten.

- **Grafiet**

Bij de boringen zijn drie monsters van de buitenkant van de grafietreflector genomen, twee aan de zuidzijde en 1 aan de noordzijde van de kern.

Alle drie de monsters zijn vergunningplichtig. Als de buitenkant van de reflector al vergunningplichtig is, zal dichterbij de kern de specifieke activiteit nog hoger zijn. De werkelijke nuclidensamenstelling kan daar pas worden bepaald tijdens het ontmantelen omdat de binnenkant van de reactor eerder niet bereikbaar is.

- **Metalen**

Constructie- en afschermingsmaterialen zoals staal, aluminium en lood zullen in de nabijheid van de kern geactiveerd zijn. De mate waarin is niet bekend. Bij activering van aluminium zelf ontstaan alleen kortlevende radionucliden met een halveringstijd van minder dan een dag, zoals ^{28}Al , ^{24}Na en ^{27}Mg . Sporenelementen in aluminium kunnen wel langer levende activeringsproducten geven.

- **Bismut filter**

Op de afschermingswagen van de LFR kon een bismutfilter geplaatst worden ten behoeve van radiobiologische experimenten. Het bismut werd tijdens gebruik geactiveerd waarbij ^{210}Po gevormd werd.

4.2.2 De startbron

De startbron van de LFR is een ^{241}Am -Be neutronenbron. Bij aanvang van de ontmanteling bevat de bron ongeveer $1,7 \cdot 10^{11}$ Bq ^{241}Am en is daarmee een hoogactieve bron.

4.2.3 Overige radioactieve stoffen

Naast bovengenoemde bronnen van radioactieve stoffen is in de LFR-hal en reactor bij aanvang van de feitelijke ontmanteling geen significante hoeveelheid radioactieve stoffen meer aanwezig. De opgeslagen kalibratiebronnen en andere bronnen zullen bij aanvang van de feitelijke ontmanteling uit de LFR-hal zijn verwijderd voor hergebruik elders of afgevoerd naar COVRA.

De mogelijk resterende besmettingen zijn klein en dragen niet significant bij aan de radionucliden-inventaris. Restbesmettingen zijn niet van belang voor de consequentie-analyses van ontwerp- en buiten-ontwerpongevallen.



5 Ontmantelingsactiviteiten

De ontmanteling van de LFR, met aansluitend decontaminatie en afbraak van de LFR-hal zal in een aantal deelactiviteiten plaatsvinden, zoals hieronder is aangegeven.

Dit stappenplan zal voorafgaande aan de start van de feitelijke ontmanteling verder gedetailleerd worden uitgewerkt in het detail Plan van Aanpak (PvA).

Ervaring met decommissioning projecten bij NRG en elders leert dat de oorspronkelijke planning en stappen in het PvA op grond van voortschrijdend inzicht in de loop van het project aangepast zullen moeten worden. Hierbij kunnen zowel ALARA als technische of kostenargumenten een rol spelen. Het detail PvA kan op basis van expert judgement en voortschrijdend inzicht dus gedurende het gehele project aangepast worden.

Het NRG managementsysteem voorziet in procedures voor omgang met dergelijke veranderingen. Een systeem van werkvergunningen en interne toestemmingen waarborgt dat dit veilig en verantwoord gebeurt.

Door een goede afstemming van capaciteit en logistiek en op basis van *expert judgement* kunnen de verblijftijden van medewerkers naast radioactieve objecten en materialen beperkt worden en kunnen de te ontvangen doses bij de uit te voeren handelingen zo laag mogelijk worden gehouden. Dit zal in meer detail worden beschreven in het ALARA-plan.

Een aantal werkzaamheden is al tijdens de normale bedrijfsvoering van de LFR uitgevoerd. Zo zijn de splijfstofelementen inmiddels afgevoerd en is het meubilair voor zover mogelijk uit de hal verwijderd. Het koelwater is voor aanvang van de ontmanteling onder de vigerende vergunning afgevoerd.

In het nog op te stellen Safety, Health & Environment werkplan als ook het ALARA-plan zal worden aangetoond dat de radiologische en conventionele risico's voor de werkers op de OLP zo laag zijn als redelijkerwijs mogelijk is en voldoen aan alle geldende normen op dat gebied. Afgaande op de situaties die tijdens de ontmanteling worden aangetroffen, kan op basis van expert judgement, het ALARA-plan en het SHE-plan het detailplan worden aangepast. Gedurende de ontmanteling zal het uitgaand materiaal continu gecontroleerd worden op radioactieve stoffen. Hiervan worden logboeken bijgehouden.

Bij de ontmanteling en de decontaminatie zal afval vrijkomen. Radioactief afval wordt in principe direct afgevoerd naar COVRA. Als dit niet mogelijk is, dan wordt het – binnen de NRG Kew-vergunning – in afwachting van afvoer naar COVRA tijdelijk opgeslagen.

De ontmanteling bestaat uit de volgende uit te voeren deelactiviteiten:

Tabel 2 Stappen in de ontmanteling van de LFR en de decontaminatie en afbraak van de LFR-hal

Stap	Deelactiviteit	
1	<i>Betonboring en radionuclideninventarisatie</i> ¹	
2	<i>Plaatsen van aanvullende voorzieningen</i> ¹	A Aanpassen ventilatiesysteem B Aanbrengen zonering C Aanpassen elektriciteit console
3	Afvoeren van materiaal uit de LFR-hal, onder begeleiding van een (A)LSD	A Kantoor ontruimen B LFR-hal ontruimen
4	Verwijderen topafscherming en roterende afscherming	
5	Verwijderen hoogstralende componenten	A Regelplaten B Startbron C Binnenkern D Binnenvat E Losse componenten buitenvat
6	Buitenkern indien nodig met bladlood afschermen	
7	Bestralingswagen weg en loodschuif dicht	
8	Kelder zo veel mogelijk leeg	
9	Verwijderen thermische kolom	
10	Afscherming terugbrengen:	A Loodschuif B Bordes boven reactor C Blokken van boven tot ter hoogte van het vat D Blokken rondom de reactor
11	Op basis van <i>expert judgement</i> : A Rest van het buitenvat, inclusief systemen B Rest van de afscherming	
12	Ontmanteling vloer naar aanleiding van boringen en analyses:	A Fundering reactor B Fundering hal C Pluggen
13	Vrijgavemetingen hal, vloer en bodem	
14	Weghalen en vrijgeven ventilatiesysteem en CRM	
15	Afbraak hal en bovenloopkraan, met SC begeleiding	
16	Vrijgave terrein	
17	Eindrapportage	

¹ Deze stappen zijn reeds uitgevoerd voor aanvang van de ontmantelingswerkzaamheden, maar is een bepalende stap voor de feitelijke ontmanteling.

6 Radioactief afval

6.1 Vrijkomende afvalstromen

Bij decommissioning projecten worden verschillende afvalstromen geïdentificeerd, die op verschillende wijzen worden behandeld en afgevoerd. Naast radioactief afval komt er bij de ontmanteling van de LFR en daarop volgende decontaminatie en afbraak van de LFR-hal ook ander conventioneel afval vrij. Hieronder worden de afvalstromen opgesomd. Al het operationele afval, de splijtstofelementen en de splijtstofhoudende conversieplaat zijn reeds uit de LFR-hal verwijderd.

6.1.1 Radioactief afval

Vast afval

Het vast radioactief afval bestaat voor een belangrijk deel uit geactiveerde componenten; zoals het reactorvat, grafiet en zwaar beton van het biologisch schild en het beton in de vloer direct onder de reactor als ook secundair radioactief afval dat ontstaat tijdens de ontmanteling. Vast radioactief afval wordt door COVRA opgehaald en naar hun opslagfaciliteiten getransporteerd.

Vloeibaar afval

Het koelwater van de reactor is al eerder afgevoerd. Wellicht dat bij decontaminatie van installatieonderdelen een geringe hoeveelheid vloeibaar radioactief afval ontstaat. Dit wordt via de reguliere route overgebracht naar de Decontamination & Waste Treatment facility (DWT) en daar verwerkt.

Gasvormig afval

Tijdens de bedrijfsvoering ontstond gasvormig ⁴¹Ar ten gevolge van activering van de lucht boven de reactorkern. Nu de reactor niet meer in bedrijf is, wordt er geen gasvormig afval meer gevormd. Tijdens de ontmantelingswerkzaamheden is er kleine kans op luchtgedragen radioactiviteit, waarvoor passende maatregelen getroffen zullen worden, zoals voorkoming van stofvorming, ventilatie en/of aanvullende persoonsbescherming.

6.1.2 Gemengd afval

Vast afval dat zowel radioactieve stoffen boven de vrijstellingsgrens als chemisch gevaarlijke stoffen bevat kan als radioactief afval aan COVRA worden aangeboden. Hieronder vallen de geactiveerde cadmium regelplaten en het bismutfilter.

6.1.3 Overig gevaarlijk afval

In het Fermigebouw is in de kruipruimte onderzoek gedaan naar de aanwezigheid van asbest. Hierbij is een hechtgebonden asbesthoudende buis gevonden. Bij een recent asbestonderzoek (type A) is verder geen asbest meer gevonden.

6.1.4 Materiaal voor hergebruik

Bij het afbreken van de LFR-hal zal circa 650 m³ beton en steenpuin vrijkomen. Naar verwachting is dit materiaal vrij van radioactiviteit en geschikt voor hergebruik.

6.2 Afvalbeheer

De afvalbehandeling zal plaatsvinden bij de DWT. De tijdelijke opslag van radioactief materiaal zal plaatsvinden in een speciaal daarvoor aangewezen locatie in of nabij het Fermigebouw (in afwachting van transport naar de DWT of naar COVRA), en afhankelijk van het dosistempo van het afval bij de DWT of bij de Waste Storage Facility (WSF) (na behandeling, in afwachting van transport naar COVRA).

6.3 Lozingen

Tijdens de normale bedrijfsvoering werd de lozing in lucht vrij uitsluitend bepaald door de emissie van ⁴¹Ar. Dit nuclide wordt niet meer gevormd nu de reactor niet meer in bedrijf is.

Bij de ontmanteling kan stofvorming optreden. Lozing van stof naar de omgeving wordt voorkomen door de in uitgaande ventilatie aanwezige HEPA-filters. Eventueel optredende lozingen zullen lager zijn dan 5 Re_{inh}, de huidige LFR-limiet voor lozingen in lucht.

7 Veiligheidsevaluatie

Dit hoofdstuk geeft de kern weer van de veiligheidsanalyse van de ontmanteling van de LFR. Het veiligheidsniveau van de LFR is oorspronkelijk gegeven door het ontwerp van de reactor en wordt mede bepaald door en is afhankelijk van de materiële beveiligingen en organisatorische maatregelen die ongewenste gevolgen kunnen voorkomen of beheersen.

Dit hoofdstuk heeft betrekking op de gevolgen van ongevallen voor mensen buiten de NRG-inrichting, waarbij als inrichtingsgrens de terreingrens van de OLP wordt gehanteerd.

Met de afvoer van de splijtstofelementen is de belangrijkste bron van risico weggenomen.

7.1 Opzet van de evaluatie

In dit hoofdstuk worden allereerst de materiële voorzieningen en organisatorische maatregelen beschreven, welke - naast de ontwerpkenmerken - een veilige ontmanteling van de LFR waarborgen. Vervolgens worden inleidende gebeurtenissen en de mogelijke gevolgen daarvan beschouwd en de resultaten van de met het programma NUDOS2 berekende gevolgen voor de omgeving gepresenteerd.

7.2 Materiële voorzieningen en organisatorische maatregelen

Tijdens de ontmanteling zullen de verschillende voorzieningen en veiligheidssystemen worden afgebroken. Het bestaande managementsysteem biedt in principe voldoende zekerheid voor veilig en verantwoord ontmantelen. Waar nodig zal door aanvullende procedures en instructies de veiligheid verder worden gewaarborgd. Niet-standaard werkwijzen met radioactieve stoffen worden pas uitgevoerd na instemming van de Algemeen stralingsdeskundige (ASD).

Tijdens de ontmanteling worden verstoringen in de bedrijfsvoering voorkomen door voorzieningen in het ontwerp alsook door in procedures en werkinstructies vast te leggen voorschriften. Waar mogelijk wordt gebruik gemaakt van veiligheidsvoorzieningen die al tijdens de operationele fase in gebruik waren. De veiligheidsvoorzieningen zijn gebaseerd op de volgende ontwerpeisen:

- Adequate afscherming en opsluiting van het geactiveerde beton rondom de kern, tot op het moment van daadwerkelijke ontmanteling;
- Adequate beveiliging tegen lozingen naar de omgeving.

Daarnaast zullen aanvullende voorzorgsmaatregelen de bescherming van werknemers en de omgeving waarborgen:

- Uitgebreide stralingshygiënische metingen
- Instellen stralingshygiënische zones

7.2.1 Materiële voorzieningen

De volgende getroffen voorzieningen zijn van belang voor deze veiligheidsbeschouwing, welke gedurende de ontmanteling en decontaminatie in werking zullen blijven:

- Adequate beveiliging tegen abnormale lozingen naar de omgeving:
 - De LFR-hal is semi-gasdicht uitgevoerd. De in- en uitlaat van het halventilatiesysteem zijn uitgerust met snel-sluitende kleppen.
 - Ongecontroleerde verspreiding van radioactieve stoffen vanuit de LFR-hal naar de omgeving wordt vermeden door middel van filters in de uitgaande ventilatie. Met behulp van de ventilatie wordt een constante onderdruk in de hal verkregen. Met behulp van een luchtstofmonitor wordt de kwaliteit van de lucht in de hal gemonitord.
- Uitgebreide stralingshygiënische metingen:
 - Voorafgaand aan de ontmanteling is een zogeheten stralingsatlas opgesteld. Hiertoe is in het werkgebied van de ontmanteling met handmonitoren voor zover bereikbaar, gemeten wat de stralingsniveaus zijn van de LFR. De stralingsatlas wordt gebruikt voor de planning van werkzaamheden voor de stralingshygiënische bescherming van de werknemers en is onderdeel van de ‘stralingsatlas en radiologische inventarisatie LFR en LFR-hal’. Dit is een ‘levend document’ waarin alle relevante radiologische metingen worden geregistreerd.
 - Gedurende de ontmanteling wordt op daarvoor relevante tijdstippen (bijvoorbeeld na verwijdering van afscherming of afvoer van sterkstralende bronnen) de stralingsatlas bijgewerkt.
- Instellen stralingshygiënische zones:
 - Rondom de reactor wordt een zonering aangebracht. Aan de hand van de wetgeving betreffende radiologische laboratoria wordt een classificatie van de zones aangebracht en worden de vereiste maatregelen getroffen. Ook worden er tussen-opslagplekken gecreëerd voor verschillende categorieën afval.

Naast de ontwerpkenmerken hebben de materiële voorzieningen voornamelijk betrekking op de brandpreventie, -detectie en -bestrijding.

7.2.2 Organisatorische maatregelen

De organisatorische maatregelen betreffen LFR-specifieke procedures en algemene geldende procedures met betrekking tot preventie en mitigatie van ongewenste gebeurtenissen, tijdens bedrijf maar ook tijdens de ontmanteling.

Algemene doelen

- De afscherming van aanwezige bronnen van radioactiviteit is dusdanig, dat de hoeveelheid radioactief materiaal geen aanleiding mag geven tot ontoelaatbare stralingsdoses.
- De instrumentatie in vaste opstelling is aanwezig voor het detecteren en alarmeren van de volgende situaties:
 - verhoogde plaatselijke stralingsniveaus;
 - stofbesmetting van de lucht in de hal;
 - optreden van verhoogde emissies naar de omgeving;
 - optreden van brand in de gebouwr ruimten.
- De kwaliteit, veiligheid en beveiliging (en milieu) van NRG worden geborgd in het managementsysteem van NRG.
- De verantwoordelijkheden ten aanzien van de veiligheid en het optreden in normale- en noodsituaties zijn vastgelegd in het 'Algemeen Voorschrift Veiligheid, Gezondheid, Welzijn en Milieu' en de regeling 'Interne Noodgevallen Organisatie'. De rol van de *manager LFR* wordt daarbij ingevuld door de manager die bij de ontmanteling verantwoordelijk is voor de LFR.

Organisatorische maatregelen LFR

- Veiligheidsgerelateerde wijzigingen aan installaties mogen conform vastgelegde procedures slechts met interne toestemming van de ASD en na schriftelijke goedkeuring van de manager die bij de ontmanteling verantwoordelijk is voor de LFR worden geïmplementeerd.
- Het ontmantelingsplan dient als basis voor de ontmanteling.
- Waar nodig gelden speciale voorschriften aangaande besmettings- en stralingscontrole met betrekking tot het verkeer van goederen en personen tussen zones in het gebouw en tussen het gebouw en de buitenomgeving.
- Materialen die niet (meer) gebruikt worden, worden zoveel mogelijk en zo snel als redelijkerwijs mogelijk afgevoerd.
- Medewerkers ontvangen opleiding en instructie.
- Aanvullende deskundigheid en stralings- en besmettingsmeetapparatuur is beschikbaar.
- Een gedisciplineerde houding ten aanzien van het voorkomen van contaminatie.

7.2.3 Brandpreventie, -detectie en -bestrijding

Brandpreventie, -detectie en -bestrijding in de werkruimten zijn essentiële aandachtspunten, daar brand kan leiden tot een verlies van opsluiting van radioactieve stoffen en verspreiding van deze stoffen.

In essentie berust het omgaan met brand bij NRG op drie pijlers, namelijk:

- Brandpreventie door minimaal gebruik van brandbare materialen en minimaliseren van ontstekingsbronnen.
- Vroegtijdige detectie van een eventuele brand.
- Blussen van de brand, variërend van handmatig c.q. automatisch inkomende blussystemen tot de inzet van de bedrijfsbrandweer.

Brandpreventie

- De muren en deuren binnen de LFR zijn brandwerend dan wel brandvertragend uitgevoerd.
- Het toevoeren van brandbare gassen is niet toegestaan, tenzij onder speciaal, in overleg met de brandweer, voorgeschreven bepalingen.
- Voor het in gebruik hebben van brandbare vloeistoffen gelden de standaard voorschriften, tenzij andere voorwaarden in overleg met de bedrijfsbrandweer zijn vastgelegd.
- De bedrijfsbrandweer maakt geregeld controle-ronden.
- De brandmelders geven automatisch melding aan de Centrale Meldpost van de bedrijfsbrandweer met indicatie van de locatie van de melding.

Brandbestrijding

- Bij de toegangsdeur hangen beknopte instructies voor melding van brand of ongeval
- Bij brandmelding via de Centrale Meldpost is de bedrijfsbrandweer binnen 6 minuten ter plaatse.
- Iedere medewerker kan via het alarmnummer een brandmelding doorgeven aan de Centrale Meldpost. Vanuit de LFR-hal kan ook melding gedaan worden via een brandmeldknop.
- Er staan draagbare en mobiele brandbestrijdingsmiddelen opgesteld op diverse plaatsen in de LFR-hal.
- De brandbestrijdingsmiddelen worden jaarlijks gecontroleerd door de bedrijfsbrandweer.
- Voor het Fermigebouw is een ‘aanvalsplan’ en ‘looproute’ voor de bedrijfsbrandweer vastgelegd.

7.2.4 Ongevalbestrijding en noodplannen

Plaatselijke uitvoeringsregeling

Gebaseerd op de Interne Noodgevallen Organisatie (INO) zijn voor de LFR uitvoeringsregelingen opgesteld, waarin de locatie-specifieke verantwoordelijkheden, bevoegdheden en te nemen acties in geval van alarm en ongeval zijn vastgelegd. Dit noodplan omvat tevens een overzicht van beschikbare middelen. Voorafgaand aan de feitelijke uitvoering van de ontmanteling zullen (taak)risicoanalyses worden uitgevoerd.

Het optreden van de bedrijfsbrandweer binnen de LFR-hal bij ‘brand- en sluitrondes’ en bij brand, is aan regels gebonden betreffende de toegang tot gebieden met een potentieel verhoogd stralingsniveau en de te gebruiken brandbestrijdingsmiddelen.

Melding en alarmering

De melding van een (bijna)-ongeval en een noodsituatie, de eventuele opschaling van het alarmniveau en de activering van de Interne Noodgevallen Organisatie en bijbehorende meldingen rapportagelijnen, zijn in een algemene procedure vastgelegd en verankerd in het Management Systeem.

7.3 Ongevalsscenario's

De opzet en het wettelijke kader van de ongevalsanalyse is in deel 1 van het veiligheidsrapport [1] nader beschreven.

Bij de beschouwing van mogelijke storingen en de te behandelen ongevallen is gebruik gemaakt van relevante IAEA publicaties [2, 3, 4] en het veiligheidsrapport deel 6 zoals dat van toepassing was tijdens de bedrijfsvoering.

De analyse bestaat uit:

- Inventarisatie van gevaren en initiërende gebeurtenissen.
- Evaluatie van het verloop en de mogelijke gevolgen van ongevallen.

Hierbij wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde “graded approach”. Dit houdt in dat de mate van detaillering van de analyse in verhouding is met de risico's. Als al op eenvoudige wijze duidelijk gemaakt kan worden dat de risico's beheerst worden en vallen binnen de geldende normen, dan is geen nadere analyse met bijvoorbeeld uitgebreide rekenpakketten noodzakelijk.

Bij het analyseren van ongevalsscenario's wordt onderscheid gemaakt tussen interne factoren (zoals storingen in apparatuur en brand) en externe factoren (zoals aardbevingen en windhozen). Ook wordt doorgaans onderscheid gemaakt in “ontwerpongevallen” en “buiten-ontwerpongevallen”. Buiten-ontwerpongevallen zijn ongevallen waarmee in het ontwerp van de LFR niet expliciet rekening is gehouden. In feite is dit onderscheid voor decommissioning van de LFR niet van toepassing; in het ontwerp van de LFR is geen rekening gehouden met de uiteindelijke decommissioning.

7.3.1 Evaluatie van gevaren en initiërende gebeurtenissen

In 2000 is een veiligheidsanalyse van de Lage Flux reactor gemaakt. Daarbij werd onderzocht wat de risico's voor de omgeving zijn van voorziene ongevallen (ongevallen waar rekening mee is gehouden in het ontwerp) en buiten-ontwerpongevallen (ongevallen die niet zijn meegenomen in het ontwerp van de reactor en waar deze niet tegen bestand is). Een voorbeeld van deze laatste categorie is een vliegtuigongeval. Het vliegtuig wordt gedacht neer te storten op de LFR, waarbij de reactor totaal beschadigd wordt. Daarbij ontstaat een brand die er voor zorgt dat vluchtige stoffen en vrijkomend stof in de lucht worden gebracht, waar deze zich over de omgeving verspreiden.

De meest recente analyse is uitgevoerd in de periode tijdens de zogenoemde “stresstest”, de wereldwijde analyse van de veiligheid van kernreactoren in het licht van de ramp in Fukushima.

Bij al de bovengenoemde analyses was de analyse voor de LFR gebaseerd op een reactor waarbij alle tijdens normaal gebruik aanwezige splijtstof nog in de LFR-hal aanwezig is, dan wel in de reactor of in de splijtstofopslagplaats, als ook de voor in die hal uitgevoerde kalibraties benodigde bronnen. Bij al deze analyses is aangetoond dat de risico's laag zijn en binnen alle geldende normen en criteria vallen. Uit beveiligingsoverwegingen zijn echter de documenten waarin de analyses zijn uitgewerkt vertrouwelijk van aard.

De risicoanalyse van de operationele fase is opgebouwd uit aan aantal onderdelen die zijn onderbouwd in afzonderlijke rapporten. In die analyse werd de gevaarstelling voor het overgrote deel gevormd door de splijtstoffen en splijttingsproducten in de reactor. Zoals ook in het voorgaande beschreven, is met het verwijderen van de splijtstofelementen uit de reactor, de grootste bron van radioactieve stoffen verdwenen. Kriticititeit kan niet meer optreden. Het is daarom niet langer zinvol de volgende rapporten te herzien:

- Criticality analysis for the Low Flux Reactor fuel storage; C.M. Sciolla, 20166/00.34378/C, juni 2000.
- Seismische evaluatie van de ‘Hot Cell Laboratories’, ‘Waste Storage Facility’ Lage Flux Reactor en noodstroomcentrale; J.H. Fokkens, N. Bakker, 20166/99.29870/C, 3 maart 2000.
- Evaluatie van de aardbevingsbestendigheid van de LFR splijtstofopslag; N. Bakker, J.H. Fokkens. 20166/00.32115/C, 9 juni 2000.
- Simulatie van enkele ongevalsituaties in de kern van de Lage Flux Reactor; F. Dekker, 20166/00.31676/C, 12 juli 2000.

De resterende gevaren hebben betrekking op de nog aanwezige radioactieve stoffen zoals beschreven in Hoofdstuk 4.

7.3.2 Ontwerpongevallen

Van de voor de operationele fase beschreven ontwerpongevallen zijn alleen “*verlies van netspanning*” en “*interne brand*” nog relevant. Alle overige ontwerpongevallen hadden betrekking op een reactor waar nog splijtstof in aanwezig is.

Bij decommissioning worden nieuwe risico’s geïntroduceerd die in de operationele fase nog niet van toepassing waren. De belangrijkste zijn:

- Verhoogd stralingsniveau door opeenhoping van radioactieve stoffen in een (tijdelijke) opslagzone.
- Openen van radioactieve stoffen bevattende installatiedelen
- Zagen in besmette of geactiveerde onderdelen
- Werken met chemische stoffen
- Hijsen en werken op hoogte
- Werken met brandbare gassen (bijvoorbeeld voor snijbranders)
- Kortsluiting (en elektrocutie) bij werken aan onder elektrische spanning staande installaties

Dit zijn situaties die bij NRG tot de normale bedrijfsvoering behoren. Er bestaan daarvoor dus procedures, werkvoorschriften en instructies hoe daarmee moet worden omgegaan. De risico’s zijn gecontroleerd en beheerst en eventuele blootstelling valt binnen alle gangbare normwaarden. Bij ontmanteling van de LFR zullen ook dergelijke procedures, werkvoorschriften en instructies van toepassing zijn. In het nog op te stellen *Safety, Health & Environment werkplan* als ook het *ALARA-plan* zal worden aangetoond dat de hiermee geassocieerde radiologische en conventionele risico’s zo laag zijn als redelijkerwijs mogelijk is en voldoen aan alle geldende normen op dat gebied.

Verlies van netspanning

Bij verlies van netspanning stopt de ventilatie en wordt de kraan spanningsloos.

De kraan heeft een beveiliging waardoor de last blijft hangen bij verlies van spanning.

De ventilatie verzorgt de ruimteventilatie. Bij decommissioning zal bij werkzaamheden waarbij radioactief stof in verspreidbare vorm kan vrijkomen gewerkt worden met lokale afzuiging of adembescherming. De stofconcentraties zullen niet hoog zijn. Bij spanningsverlies wordt de lucht niet meer via de filters afgevoerd en zou via andere wegen naar buiten kunnen komen. Er is echter geen drukverschil met de omgeving, dus de drijvende kracht is laag. Bovendien worden de werkzaamheden bij verlies van netspanning gestaakt. De stofconcentratie in de ruimte is dermate laag dat bij spanningsverlies geen significante emissie naar buiten optreedt.

Interne brand

In het ontwerp van de LFR zijn voorzieningen getroffen om het ontstaan en de verspreiding van brand zoveel mogelijk te voorkomen. In de LFR-hal zijn nagenoeg geen brandbare materialen aanwezig. Met het verwijderen van de splijtstofelementen uit de kern, zijn de belangrijkste risico's van de reactor in bedrijf intussen geëlimineerd.

Het gebruikte grafiet in de reactor zal slechts bij zeer hoge temperaturen vlam vatten. Tevens zijn diverse brandwerende voorzieningen aangebracht en worden er geen brandgevaarlijke of explosieve materialen gebruikt. Daarom is het optreden van interne brand of explosie onwaarschijnlijk. Door de continue brandbewaking met automatische melders zal een eventuele brand al in een vroeg stadium opgemerkt worden. Voorafgaand aan de uitvoering van de ontmanteling zal het plan van aanpak verder worden gedetailleerd. Daarbij zal ook worden aangegeven wanneer de brandmelders (al dan niet tijdelijk) buiten bedrijf worden gesteld en welke (aanvullende) procedures dan in werking treden. Door de toegepaste afscherming van de reactor kern, betonblokken met een totale dikte van minimaal 1,8 meter, zal de verspreiding van een van buiten de kern ontstane brand naar het grafiet sterk worden vertraagd.

Het grafiet zal tijdens de ontmanteling gedurende een korte periode niet afgeschermd worden door de betonblokken. Door in die periode brandgevaarlijke werkzaamheden (zoals lassen en slijpen) te vermijden, zal de kans op brand nog lager worden gehouden. Als die werkzaamheden toch nodig zijn, zal door aanvullende maatregelen het gevaar tijdens die werkzaamheden worden geminimaliseerd, bijvoorbeeld door het permanent posteren van een brandwacht bij de LFR. Desalniettemin wordt het scenario van de interne brand meegenomen in de analyse.

7.3.3 Buiten-ontwerpongevallen

Bij gebeurtenissen met extern geweld, zoals aardbevingen, diende de integriteit van de LFR gewaarborgd te blijven. Zoals bovenstaand al gememoreerd is, is de mogelijke uitwerking van de ontwerpaardbeving met maximale intensiteit in 2000 nader geanalyseerd. Deze analyses hebben aangetoond dat de mogelijke gevolgen van de ontwerpaardbeving slechts beperkte gevolgen heeft voor de constructie, waarbij de kern niet wordt beschadigd. Nu de splijtstofelementen niet meer in de reactor aanwezig zijn, kan geen

kriticiteit meer optreden. Als het natuurgeweld van dien aard is dat de integriteit van de LFR faalt, dan zijn de radiologische risico's van verspreiding van bijvoorbeeld geactiveerd betonstof verwaarloosbaar ten opzichte van de schade voor de omgeving door het natuurgeweld.

Orkanen, windhozen en bliksem kunnen alleen in uitzonderlijke situaties schade aan de LFR-hal veroorzaken. Schade aan de reactor kan een mogelijk gevolg zijn van vallende constructies van de LFR-hal. Door de toegepaste afscherming van de reactorkern, betonblokken met een totale dikte van minimaal 1,8 meter, is schade aan de reactorkern zeer onwaarschijnlijk. Het Fermigebouw, inclusief de LFR-hal, is met bliksemafleiders beveiligd. Tegen de tijd dat de afscherming grotendeels verwijderd is, zijn ook de startbron en het bismutfilter al verwijderd. Bij beschadiging van de nog resterende geactiveerde betonblokken en grafielementen zal geen significante verspreiding van radioactieve stoffen buiten de terreingrens optreden.

Op de Onderzoekslocatie Petten zijn twee waterstofopslagtanks aanwezig ten behoeve van onderzoek aan brandstofcellen. De grote afstand van de LFR-hal tot deze waterstofopslagtanks en de aanwezigheid van een tussengelegen gebouw zijn de belangrijkste schade-beperkende factoren. Berekeningen wijzen uit dat deze gebeurtenis maximaal tot ruitbreuk zal leiden. Op grond hiervan mag worden gesteld dat de aanwezigheid van deze waterstofgasvoorziening op het OLP-terrein geen significant risico oplevert voor de LFR.

Het belangrijkste risico bij overstroming in een reactor is optreden van kriticiteit. Ook hierbij geldt dat dit risico niet meer bestaat nu de splijtstofelementen elders zijn opgeslagen. De LFR ligt op een hoogte van 6,50 m +NAP. Het is dus onwaarschijnlijk dat de LFR onder water zal lopen bij een overstroming. De nog aanwezige radioactieve stoffen zijn ingekapselde bronnen op min of meer homogeen verdeeld in massieve materialen als beton. Er zal bij overstroming geen significante verspreiding van radioactieve stoffen optreden.

In het veiligheidsrapport van 2000 zijn drie inleidende gebeurtenissen voor buiten-ontwerpongevallen als maatgevend geïdentificeerd; “vliegtuigongeval”, “zware aardbeving” en “ongeval munitietransport”. Bij een vliegtuigongeval worden de radionucliden door de hoge temperatuur die optreedt ten gevolge van de bijkomende brand vrijgemaakt. Vervolgens worden de radionucliden door de temperatuurstijging omhooggevoerd in de lucht en verder verspreid.

Het ontstaan van brand kan worden gezien als bijkomend risico van een aardbeving. Een brand kan in een dergelijke situatie ontstaan door het optreden van kortsluiting. Echter, het ontstaan van aanzienlijke brand door een aardbeving is zeer onwaarschijnlijk. De radiologische gevolgen van een ernstige brand zijn beschouwd in paragraaf 7.4.1. Aangezien de mogelijke gevolgen van een vliegtuigongeval maatgevend zijn, is alleen dat ongeval als een buiten-ontwerpongeval beschouwd.

Bij een ongeval met een munitietransport op de OLP naar het naastgelegen schietterrein, treedt geen brand in de LFR op, alleen fysieke beschadiging van gebouw en installatie. Daarom zijn de gevolgen van een vliegtuigbrand maatgevend en worden de andere initiële gebeurtenissen niet verder beschouwd.

7.3.4 Frequenties van optreden van de ongevallen

In de voorgaande paragrafen zijn één ontwerpongeval (interne brand) en één buiten-ontwerpongeval (vliegtuigongeval) geselecteerd voor verdere analyse.

Interne brand

De hoeveelheid brandbaar materiaal in de LFR hal is laag. Daarnaast zal als er brand ontstaat in de LFR hal, deze door de automatische brandmelders en door de tijdens de werkzaamheden aanwezige medewerkers, snel gedetecteerd worden. Omdat de bedrijfsbrandweer elke dag van het jaar, 24 uur per dag op de OLP operationeel is, zal een beginnende brand binnen enkele minuten in de kiem gesmoord worden. Voordat er radioactieve stoffen vrij kunnen komen, is de brand geblust.

Sinds de bouw van de LFR heeft er geen brand plaatsgevonden. Ook dat geeft een indicatie van de lage kans op brand.

Tijdens sloopwerkzaamheden is de kans op brand in zijn algemeenheid groter dan tijdens de reguliere bedrijfsvoering. De brandweerstatistieken worden echter gekleurd door de gevolgen van vandalisme en van kortsluiting door achterstallig onderhoud in leegstaande panden. Bij de LFR-hal zijn zowel vandalisme als achterstallig onderhoud echter niet aan de orde. Vuurgevaarlijke werkzaamheden zoals slijpen en snijden met een brander, zijn bij de modulair opgebouwde LFR vrijwel niet noodzakelijk. Door de eerder genoemde technische en procedurele brandpreventiemaatregelen en de kleine hoeveelheid (makkelijk) brandbaar materiaal in de LFR-hal, mag er daarom van uit worden gegaan dat de kans op het verder ontwikkelen van een beginnende brand tot een brand waarbij verspreiding van radionucliden tot een verhoogde dosis leidt, nog steeds zeer klein is.

Deze kleine kans op brand wordt ondersteund door de ervaring bij andere Argonaut reactoren. Er heeft nog nooit brand plaatsgevonden bij groot onderhoud of decommissioning van andere Argonaut reactoren in de wereld.

Aangenomen wordt, dat de kans van optreden van een flinke brand waarbij significante hoeveelheden radioactieve stoffen in de lucht worden gebracht, ligt tussen 10^{-2} en 10^{-4} .

Vliegtuigongeval

De kans op het neerstorten van een vliegtuig op de LFR-hal is minder dan $2 \cdot 10^{-8}$ per jaar. Dit is de voor Nederland gemiddelde kans per oppervlak ter grootte van de LFR dat een militair jachtvliegtuig neerstort. De periode van ontmanteling en de periode dat het grafiet gehanteerd wordt is echter vele malen korter dan dat (enkele weken tot maanden). Verwacht wordt, dat het grafiet binnen 1 maand uit de LFR-hal verwijderd en afgevoerd is. Voor de conservatieve analyse is de kans in een heel jaar berekend.

7.4 Ongevalsemissies

Bij beide scenario's treedt brand op. De hoeveelheid brandbaar materiaal in de LFR-hal is zeer gering. De enige significante bron van brandbaar materiaal is het grafiet. Daarnaast zal houtachtig materiaal aanwezig zijn in de vorm van pallets en meubilair.

De verbrandingssnelheid van de grafietblokken in de LFR zal ten gevolge van het lage specifieke oppervlak (oppervlak per volume-eenheid) laag zijn.

7.4.1 Interne brand

Bij een brand in de LFR-hal, loopt, als er voldoende houtachtig materiaal aanwezig is, de temperatuur in een half uur op tot ca. 800 °C. De bedrijfsbrandweer is enkele minuten na alarmering aanwezig, dus het is zeer onwaarschijnlijk dat deze temperatuur daadwerkelijk bereikt zal worden. De massieve blokken beton en grafiet warmen nog langzamer op. Conservatief wordt in de analyse aangenomen dat een temperatuur van 700 °C bereikt wordt.

Splijstof

Bij het scenario "interne brand" wordt er van uitgegaan de splijtingskamers door de brand beschadigen en dat de inhoud gedeeltelijk wordt vrijgezet. De mate waarin de radionucliden vrijkomen is afhankelijk van de temperatuur. Overeenkomstig eerdere analyses worden de in Tabel 3 vrijzettingsfracties gebruikt.

Tabel 3 Ontsnappingspercentage splijstof bij interne brand

nucliden	Ontsnappingspercentage [%]
Edelgassen (Kr, Xe)	100
I	60
Cs, Ru	20
Te	5
Ce, Eu, Sb, Rh, Zr	1
Ba, Sr en overige nucliden	0,1

Beton

Aangenomen wordt dat het beton intact blijft bij een interne brand. Door de trage opwarming treedt er geen emissie van radionucliden daaruit op.

Grafiet

Aangenomen wordt dat, zelfs als het grafiet niet is afgeschermd door het beton, de opwarming van de massieve grafietblokken zo traag plaats vindt dat geen significante radionuclidenemissie daaruit optreedt.

Bismut filter

Voor het bismutfilter is aangenomen dat 100% van het in het filter aanwezige polonium bij brand vrijkomt.

Startbron

De radioactieve inhoud van de startbron is opgesloten in een dubbelwandige dichtgelaste RVS bronhouder. De startbron zit opgeborgen in het biologisch schild. Bij een interne brand zal de startbron intact blijven en er zal geen emissie van radionucliden daaruit optreden.

7.4.2 Vliegtuigongeval

Bij het vliegtuigongeval wordt er van uitgegaan dat de inslag van de zware motor van een militair jachtvliegtuig grote schade aanricht in de reactor. Daarbij verbrandt 900 liter kerosine.

De temperatuur tijdens de brand wordt mede bepaald door de hoeveelheid en aard van de brandbare stoffen en de zuurstoftoevoer. De verbrandingstemperatuur van koolwaterstoffen zoals kerosine loopt snel op tot zo'n 1100 °C.

De NRG brandweer heeft niet de middelen voor het blussen van een brand van dergelijke omvang. Er moet assistentie komen van de gespecialiseerde brandweer van vliegveld 'de Kooy' in Den Helder. De afstand die daarbij afgelegd moet worden is 20 km. De grootste warmteontwikkeling zal dan ook optreden gedurende de eerste 30 minuten. Het scenario is gebaseerd op een brandduur van 30 minuten.

Splijfstof

Aangenomen wordt, dat alle splijtingskamers beschadigen door de inslag en dat de volledige inventaris daaruit wordt vrijgezet.

Beton

Aangenomen wordt dat 1% van het barietbeton (en dus ook 1% van de radionuclideninventaris van dit beton) als fijn stof in de atmosfeer wordt gebracht.

Grafiet

Conservatief wordt aangenomen dat, ondanks de lage verbrandingssnelheid van de grote blokken grafiet toch circa 2% van al het in en rond de reactor aanwezige grafiet in 30 minuten kan verbranden. Daardoor zal ook 2% van de in het grafiet aanwezige radionucliden vrijkomen en in de atmosfeer worden gebracht.



Bismutfilter

Analoog als bij de interne brand komt al het polonium uit het bismutfilter vrij.

Startbron

Aangenomen wordt, dat de bronhouder beschadigt door de inslag en dat de volledige inventaris daaruit wordt vrijgezet.

7.4.3 Overzicht vrijzetting

De uit voorgaande paragrafen volgende vrijzettingspercentages zijn samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 4 Overzicht vrijzettingspercentages [%]

Bron / nucliden	Interne brand	vliegtuigongeval
Splijtingskamers		
- Edelgassen (Kr, Xe)	100	100
- I	60	100
- Cs, Ru	20	100
- Te	5	100
- Ce, Eu, Sb, Rh, Zr	1	100
- Ba, Sr en overige nucliden	0,1	100
Barietbeton (alle nucliden)	0	1
Grafiet (alle nucliden)	0	2
Bismutfilter (Po)	100	100
Startbron (Am)	0	100

7.5 Consequentie-analyse

Wettelijke limieten

De resultaten van de risicoanalyse dienen te voldoen aan de in onderstaande tabel opgenomen limietwaarden voor ontwerpgevallen.

Tabel 5 Toetsingscriteria Bkse limieten voor ontwerpgevallen

Gebeurtenisfrequentie F per jaar	Maximaal toegestane effectieve dosis*	
	personen vanaf 16 jaar	personen tot 16 jaar
$F \geq 10^{-1}$	0,1 mSv	0,04 mSv
$10^{-1} > F \geq 10^{-2}$	1 mSv	0,4 mSv
$10^{-2} > F \geq 10^{-4}$	10 mSv	4 mSv
$F < 10^{-4}$	100 mSv	40 mSv

*maximale schildklierdosis is 500 mSv.

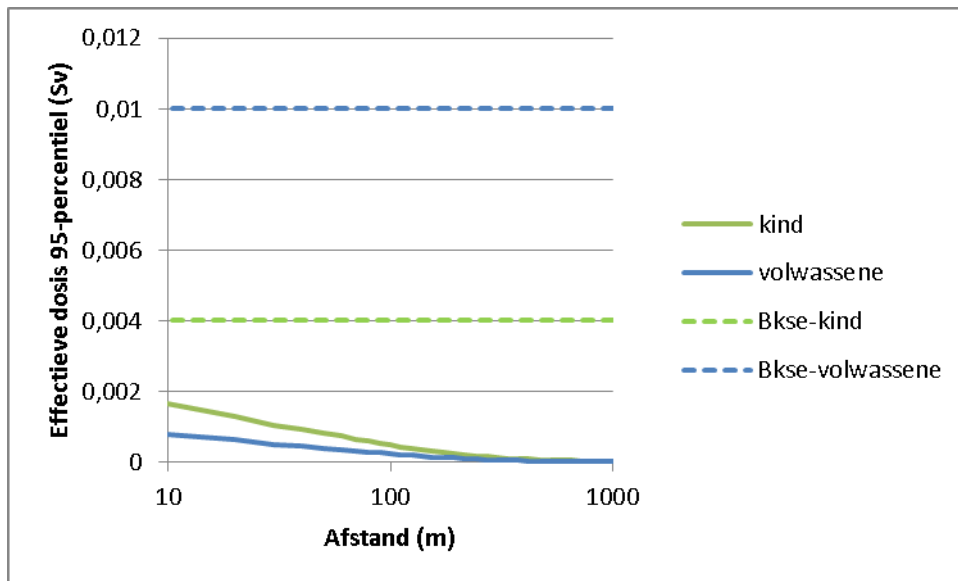
De toetsingscriteria voor de risico's bij buiten-ontwerpgevallen zijn:

- Een kans van 10^{-6} per jaar dat een persoon, die zich permanent en onbeschermd buiten de desbetreffende inrichting zou bevinden, overlijdt als gevolg van een buiten-ontwerpgeval.
- Een kans van 10^{-5} per jaar dat buiten de desbetreffende inrichting een groep van tenminste 10 personen direct dodelijk slachtoffer is van een buiten-ontwerpgeval, of voor n maal meer direct dodelijke slachtoffers een kans die n^2 maal kleiner is.

7.5.1 Resultaten

Gevolgen van het ontwerpgeval "interne brand"

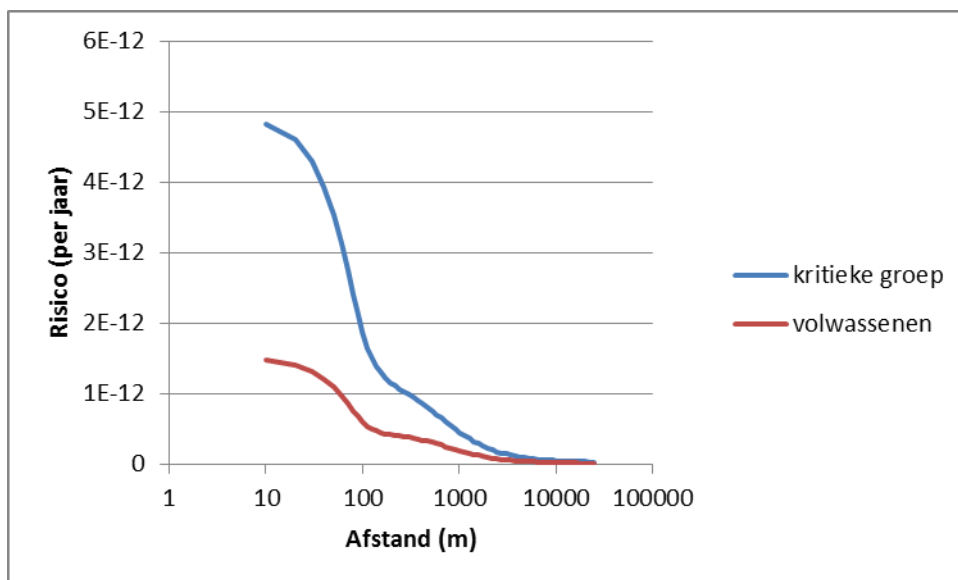
Figuur 9 geeft het resultaat van de NUDOS berekening. De 95-percentiel van de effectieve dosis bedraagt maximaal bijna 2 mSv. De orgaanweegfactor voor de schildklier in de effectieve dosis bedraagt 0,05, zodat de schildklierdosis niet groter dan 40 mSv kan zijn. Dit is ruim beneden de norm van 500 mSv hiervoor uit het Bkse.



Figuur 9 Effectieve dosis (95-percentiel) als functie van de afstand voor het ontwerpgeval "interne brand"

Gevolgen van het buiten-ontwerpgeval "vliegtuigongeval"

De resultaten van de NUDOS2 berekeningen zijn weergegeven in figuur 10 en figuur 11. De risico's zijn berekend voor de range tussen 10 meter en 25 km. De berekende risico's worden gedomineerd door de blootstellingspaden grond dosis en ingestie.



Figuur 10 Maximale risico's voor de kritieke groep (kinderen) en volwassenen ten gevolge van buiten-ontwerpgevallen als functie van de afstand tot de bron



Figuur 11 Contourplot van het risico (10^{-12} per jaar - kinderen) op de OLP

De maximale dosis in de eerste 24-uur na het ongeval (exclusief ingestie) is ongeveer 20 mSv. Dit is veel lager dan de drempelwaarde voor deterministische effecten.

Mitigerende maatregelen om de blootstellingen te beperken zijn daarbij niet beschouwd.

7.5.2 Toetsing aan de wettelijke limieten

Voor het ontwerp ongeval interne brand zijn de 95-percentiel doses berekend. Deze zijn ruim beneden de limieten uit het Bkse.

Voor het buiten-ontwerp ongeval vliegtuiginslag zijn de individuele risico's en het groepsrisico berekend. Deze zijn ruim beneden de norm uit het Bkse.



8 Stralingsbescherming

In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de specifieke implementatiekenmerken van de stralingshygiënische zorg bij de LFR. Voor toelichting op de algemene wijze van implementatie van de stralingshygiënische zorg en over de waarborging van het ALARA-beginsel binnen NRG, wordt verwezen naar deel 1: Algemeen & Centrale Voorzieningen van het Veiligheidsrapport Kernenergiewetvergunning NRG-Petten.

8.1 Stralingshygiënische voorzieningen

Ontwerpvoorzieningen

Bij de ontmanteling van de LFR wordt de stralingsbelasting beperkt door:

- het toepassen van voldoende afscherming tegen directe straling;
- het voorkomen van radioactieve besmetting van personen;
- het minimaliseren van verblijftijden in ruimten met een verhoogd stralingsniveau;
- het handhaven van een zo groot mogelijke afstand tot een stralend object.

Hierbij wordt het ALARA-beginsel in acht genomen.

Indeling in stralingszones

De LFR-hal blijft tot het moment van vrijgave aangemerkt als gecontroleerde zone met beperkte toegang, zowel vanuit een stralingshygiënisch oogpunt, als met het oog op conventionele veiligheid. Hiernaast worden specifieke gebieden met een verhoogd stralingsniveau en besmettingsrisico ingericht. Die zones zijn afgebakend en daardoor niet vrij toegankelijk. De indeling van de stralingszones en de bijbehorende beperkingen worden in overleg met de stralingsdeskundige vastgelegd en zo nodig tijdens de ontmanteling aangepast aan de veranderende werkplek.

8.2 Maatregelen met betrekking tot stralingsbescherming

8.2.1 Maatregelen bij de behandeling van radioactief afval

Voor het radioactief afval dat vrij zal komen bij de ontmanteling van de LFR worden tussen-opslagplekken gecreëerd voor verschillende categorieën afval. Deze tussen-opslagplekken bevinden zich in een zone met beperkte toegang. Het afval zal vervolgens zo snel als redelijkerwijs mogelijk uit de LFR-hal verwijderd en afgevoerd.

Overige maatregelen bij de behandeling van radioactief afval kunnen zijn:

- Op afstand bedienbare apparatuur.
- Persoonlijke bescherming, zoals stofjassen, adembescherming of half-blouse.
- Het plaatsen van tijdelijke afscherming.

Welke maatregelen gebruikt worden is afhankelijk van de situatie. Dit zal verder worden uitgewerkt in het Plan van Aanpak en het ALARA-plan.

8.2.2 Afscherming

De afscherming is van primair belang bij het toepassen van het ALARA-beginsel. Uit de bedrijfservaring is gebleken dat buiten de radiologische zones de ontvangen dosis kleiner is dan 1 mSv per jaar. Dit zal tijdens de ontmantelingswerkzaamheden niet anders zijn. In het nog op te stellen ALARA-plan zal worden aangegeven waar en wanneer afscherming zal worden toegepast.

8.2.3 Ventilatie

De kernventilatie is voorzien van filters om verspreiding van deeltjes naar de omgeving te voorkomen. De gebouwlucht wordt gemonitord door middel van een luchtstofmonitor. Door sluiten van de klep in het uitgaande ventilatiesysteem kan worden voorkomen dat radioactieve stoffen in de atmosfeer worden verspreid.

8.2.4 Meetapparatuur

Ter detectie van het stralingsniveau in de LFR-hal zijn diverse typen vast opgestelde stralingsmeetinstrumenten voorhanden. Tijdens ontmanteling wordt het stralingsniveau in de LFR-hal continu bewaakt door drie gammamonitoren en de radioactiviteit in de lucht door een luchtstofmonitor. De gammamonitoren meten continu het gammastralingsniveau op verschillende plaatsen in de LFR-hal. Het meetsignaal is indicatief voor het stralingsniveau afkomstig van de reactorkern. Eén van deze monitoren geeft een audiovisueel alarm bij overschrijding van de grenswaarde.

Naast bovenstaande instrumenten is er een groot aantal draagbare meetapparaten aanwezig voor het bepalen van lokale stralingsniveaus en besmettingen. Verder zullen alle medewerkers zijn uitgerust met ambtelijke en elektronische persoonsdosimeters.

8.2.5 Persoonlijke beschermingsmiddelen

Wanneer de werkzaamheden hier aanleiding toe geven zullen adequate persoonlijke beschermingsmiddelen worden toegepast. Dit zal in het nog op te stellen detail Plan van Aanpak en ALARA-plan nader worden uitgewerkt.

8.2.6 Toegangscontrole

De LFR-hal is een gecontroleerde zone met beperkte toegang. Toestemming voor het betreden van de hal wordt verkregen van de manager die tijdens de ontmanteling verantwoordelijk is voor de LFR of van daartoe door de manager gemachtigde personen. Voor werkzaamheden die worden uitgevoerd door derden, wordt een werkvergunning aangevraagd. Op deze werkvergunning is aangegeven aan welke radiologische beperkingen de werkzaamheden zijn onderworpen en welke persoonlijke beschermingsmiddelen dienen te worden toegepast. De werkvergunning wordt opgemaakt door de *floor-* of projectmanager.

Indien iemand het gecontroleerde gebied voor het eerst betreedt, krijgt hij instructie inzake stralingshygiënische aspecten, kleding, toegangsregels, vluchtroutes, alarm, etc.

De verantwoordelijkheden ten aanzien van de veiligheid en het optreden in normale- en noodsituaties zijn vastgelegd in het 'Algemeen Voorschrift Veiligheid, Gezondheid, Welzijn en Milieu' en de regeling 'Interne Noodgevallen Organisatie'.

8.2.7 Registratie van de persoonsdoses

In de radiologische zones dienen personen een dosismeter te dragen. Deze wordt geanalyseerd, waarna de gemeten waarde wordt geregistreerd en bewaard. Indien een dosis, hoger dan is afgesproken in het ALARA plan, is geconstateerd, wordt een onderzoek ingesteld en worden gepaste maatregelen genomen.

8.2.8 Opleiding en instructie met betrekking tot stralingsbescherming

Alle nieuwe medewerkers krijgen instructies over procedures en verantwoordelijkheden. De inhoud van deze instructies, waarbij de stralingshygiënische aspecten van de werkzaamheden een prominente plaats innemen, is afhankelijk van de taken van de medewerker.

Bij NRG zijn voldoende gekwalificeerde werknemers aanwezig. Centraal is geregistreerd wie welke opleiding heeft gevolgd. Waar nodig zullen aanvullende instructies en trainingen worden verstrekt.



9 Referenties

- [1] *Veiligheidsrapport NRG Petten – Deel 1 Algemene en centrale voorzieningen*, F.S. Draaisma, NRG K5004/07.83013, 2007
- [2] *Safety assessment for the decommissioning of facilities using radioactive material*, IAEA safety standards series WS-G-5.2, 2008
- [3] *Safety of research reactors*, IAEA Safety requirements NS-R-4, 2005
- [4] *Decommissioning of nuclear power plants and research reactors*. IAEA safety guide WS-G-2.1, 1999



Lijst van tabellen

Tabel 1	De afmetingen van de startbron	18
Tabel 2	Stappen in de ontmanteling van de LFR en de decontaminatie en afbraak van de LFR-hal	32
Tabel 4	Ontsnappingspercentage splijtstof bij interne brand	44
Tabel 5	Overzicht vrijzettingspercentages [%]	46
Tabel 6	Toetsingscriteria Bkse limieten voor ontwerpongevallen	47

Lijst van figuren

Figuur 1	Structuur Veiligheidsrapport Kernenergievergunning NRG-Petten.....	10
Figuur 2	Situering van het Fermigebouw (gebouw 28).....	13
Figuur 3	Het Fermigebouw	14
Figuur 4	Horizontale doorsnede van de LFR.....	16
Figuur 5	Verticale doorsnede van de LFR.....	16
Figuur 6	De LFR, gezien vanaf de oostzijde.	17
Figuur 7	De startbron van de LFR.....	18
Figuur 8	De thermische kolom, het reactorvat en de reflector (bovenaanzicht)	22
Figuur 9	Effectieve dosis (95-percentiel) als functie van de afstand voor het ontwerpongeval "interne brand"	48
Figuur 10	Maximale risico's voor de kritieke groep (kinderen) en volwassenen ten gevolge van buiten-ontwerpongevallen als functie van de afstand tot de bron	48
Figuur 11	Contourplot van het risico (10^{-12} per jaar - kinderen) op de OLP	49