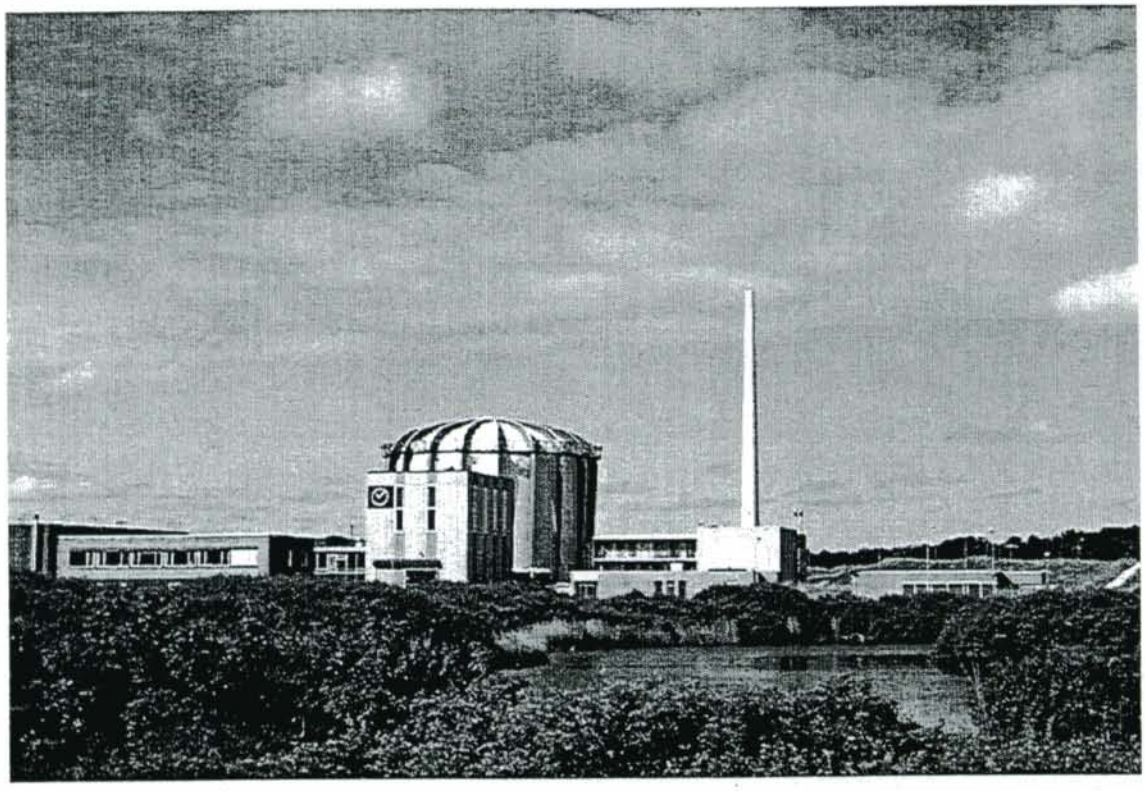
1204-38 (2e)

December 2003

Milieueffectrapport

Modificatie Hoge Flux Reactor (HFR) te Petten



NRG
IN EEN KEMA COMPANY

KEMA

INHOUD

		blz.
VERKLARENDE LIJST VAN BEGRIPPEN, SYMBOLEN EN VOORVOEGSELS		V.1
SAMENVATTING		S.1
1	Inleiding	1.1
1.1	Wat is de HFR	1.1
1.2	Waarom een Milieueffectrapportage	1.2
1.3	De procedure en de rolverdeling	1.3
1.4	Inhoud MER	1.4
2	Probleemstelling en doel	2.1
2.1	Probleemstelling	2.1
2.2	De functies van de HFR	2.1
2.3	Aanleiding tot de conversie en veiligheidsmaatregelen	2.2
2.4	Het stralings- en veiligheidsbeleid van de regering	2.2
2.5	Doelstelling van het voornemen	2.4
3	RANDVOORWAARDEN EN BESLUITVORMING	3.1
3.1	Inleiding	3.1
3.2	Randvoorwaarden	3.2
3.2.1	Wetgeving	3.2
3.2.2	Geldende vergunningen	3.4
3.2.3	Het beoordelingskader	3.4
3.2.4	Koelwaterrichtlijnen	3.9
3.2.5	Ruimtelijk, natuur- en landschapsbeleid	3.10
3.2.6	Overige overheidsvoorschriften	3.10
3.2.7	Beleid inzake radioactief afval	3.11
3.3	Besluitvorming	3.12
4	Voorgenomen activiteit en alternatieven	4.1
4.1	Voorgenomen activiteit	4.1
4.2	Hoge Flux Reactor	4.2
4.2.1	Algemene beschrijving van de huidige installatie	4.2
4.2.2	Kernsplijtingsproces	4.7
4.2.3	De installatie	4.9
4.2.4	Bedrijfsvoering	4.10
4.2.5	Reactorkern	4.11
4.2.6	Splijtstofelementen	4.12

4.2.7	Regelstaven	4.13
4.2.8	Reflectorelementen	4.15
4.2.9	Bestralingsposities	4.15
4.2.10	Reactorvat	4.15
4.2.11	Bassins en ontmantelingscel	4.16
4.2.12	Experimenten en bestralingen	4.18
4.2.13	Koeling	4.18
4.2.14	Energievoorziening	4.19
4.2.15	Radioactieve stoffen	4.19
4.2.16	Veiligheidssystemen	4.20
4.3	Omschakeling naar laagverrijkt uranium	4.21
4.3.1	Achtergrond	4.21
4.3.2	Buitenlandse ervaringen	4.22
4.3.3	Technische aspecten splijtstofomschakeling	4.24
4.3.4	Uitvoering en reactorfysische gevolgen	4.25
4.4	Veiligheidsverhogende maatregelen	4.28
4.4.1	Basis voor de maatregelen	4.28
4.4.2	Operationele, personele en administratieve maatregelen	4.30
4.4.3	Achtergrond technische maatregelen	4.31
4.4.4	Beschrijving technische maatregelen	4.32
4.5	Radiologische emissies en milieufactoren	4.36
4.5.1	Radiologische emissies	4.36
4.5.2	Emissies van radioactieve stoffen	4.37
4.5.3	Bewaking radiologische emissies	4.39
4.5.4	Omgevingsmeetnet stralingsniveau	4.40
4.6	Noodplannen	4.41
4.6.1	Noodplannen locatie Petten	4.41
4.6.2	Rampbestrijdingsplan	4.42
4.7	Conventionele milieuaspecten	4.43
4.7.1	Bedrijfsintern milieuzorgsysteem	4.43
4.7.2	Gevaarlijke stoffen en afvalstoffen	4.44
4.7.3	Bodemonderzoek	4.44
4.7.4	Brandbestrijding	4.45
4.8	Alternatieven in verband met de voorgenomen activiteit	4.45
4.8.1	Inleiding	4.45
4.8.2	Splijtstofalternatieven	4.47
4.8.3	Alternatieve veiligheidsmaatregelen	4.48
4.8.4	Verdergaande veiligheidsmaatregelen	4.50
4.8.5	Warmtebenutting koelwater	4.51
4.8.6	Meest milieuvriendelijke alternatief	4.52
4.8.7	Uit te werken alternatieven	4.52

5	Het milieu thans en met de voorgenomen activiteit	5.1
5.1	Inleiding	5.1
5.2	Bedrijfsgegevens	5.1
5.3	De locatie en haar omgeving	5.2
5.3.1	Locatie	5.2
5.3.2	Omgeving	5.4
5.4	Veiligheid	5.5
5.4.1	Inleiding	5.5
5.4.2	Ongevalsanalyses voor ontwerpongevallen	5.7
5.4.3	Risico-analyses van buiten-ontwerpongevallen	5.14
5.4.3.1	Doel risico-analyses	5.14
5.4.3.2	Werkwijze risicoanalyse	5.15
5.4.3.3	Resultaten risicoanalyse HFR	5.16
5.5	Radiologische belasting bij normaal bedrijf	5.21
5.5.1	Radiologische luchtkwaliteit	5.21
5.5.2	Radiologische waterkwaliteit	5.25
5.5.3	Radiologische belasting van de bodem	5.26
5.5.4	Directe straling	5.28
5.5.5	Totale stralingsbelasting omgeving	5.28
5.6	Radioactief afval	5.30
5.6.1	Soorten radioactief afval	5.30
5.6.2	Hoog-radioactief afval	5.30
5.6.3	Middel-radioactief afval	5.31
5.6.4	Laag-radioactief afval	5.32
5.7	Stralingsbelasting personeel	5.32
5.8	Conventionele waterkwaliteit	5.33
5.9	Geluid	5.35
5.10	Overige conventionele milieuaspecten	5.35

6	Vergelijking van de milieugevolgen van de voorgenomen activiteit en de alternatieven	6.1
6.1	Inleiding	6.1
6.2	Veiligheid	6.2
6.3	Radioactief afval	6.3
6.4	Stralingsbelasting personeel	6.4
6.5	Overige radiologische aspecten	6.4
6.6	Conventionele milieuaspecten	6.5
6.7	Meest milieuvriendelijke alternatief	6.5
6.8	Overzicht milieugevolgen en afweging van de alternatieven	6.6
6.8.1	Overzicht milieugevolgen alternatieven	6.6
6.8.2	Afweging alternatieven	6.6
6.9	Conclusies	6.8

7 Leemten in kennis en evaluatieprogramma 7.1
7.1 Inleiding 7.1
7.2 Leemten in kennis 7.1
7.3 Belang voor de besluitvorming 7.1
7.4 Evaluatieprogramma 7.2

LITERATUUR L.1

Bijlage A Nuclide inventarissen evenwichtskernen A.1

VERKLARENDE LIJST VAN BEGRIPPEN, AFKORTINGEN, SYMBOLEN EN EENHEDEN, VOORVOEGSELS EN ELEMENTEN

Begrippen

Actiniden	Groep chemische stoffen die ontstaan door invang van neutronen in uranium en zeer lang radioactief kunnen blijven
(radio)Activiteit	Eigenschap van stoffen met instabiele atomen, gekenmerkt door spontaan optredende veranderingen in de atoomkern waarbij ioniserende straling wordt uitgezonden (eenheid: becquerel, Bq)
Activeren	Radioactief maken van een materiaal onder invloed van neutroneninvangst
Aërosolen	Zeer kleine stofdeeltjes, die zich als gas gedragen
ALARA	As Low As Reasonably Achievable; zo laag als redelijkerwijs mogelijk
Alternatief	Redelijkerwijs in beschouwing te nemen alternatief voor de voorgenomen activiteit
Begingebeurtenis	(Veronderstelde) gebeurtenis, die het begin kan zijn van een ongeval, waarbij een verhoogde emissie van radioactieve stoffen optreedt
Bevoegd Gezag	Het gezag dat bevoegd is om een besluit te nemen op basis van bijvoorbeeld de Kew
Buitenontwerpongeval	Ongeval waartegen de installatie niet ontworpen is
Collectieve dosis	De gezamenlijke dosis van een groep mensen
Contaminatie	Besmetting met radioactieve stoffen
Depositie	Het op de bodem terechtkomen van (verontreinigende) stoffen
Detectiegrens	Begrenzing van meetapparatuur waaronder de te meten grootheid niet gesignaleerd kan worden

Dosis	Geabsorbeerde stralingsenergie per massa-eenheid (eenheid: Gray, Gy)
Dosisequivalent	Product van de dosis en de kwaliteitsfactor, waarin de biologische werkzaamheid van de diverse typen straling is verdisconteerd (eenheid: sievert, Sv)
Dosislimiet	Maximaal toelaatbare dosis vastgesteld door de overheid
Dosistempo	Stralingsintensiteit (dosis per tijdseenheid)
Ecologisch	De natuurlijke omstandigheden betreffend
Edelgassen	Gassen, die geen chemische verbinding met andere elementen kunnen vormen
Effectieve dosis	Dosiswaarde, die dient om het optreden van lange-termijn-effecten (kanker) te kunnen beoordelen
Emissie	Uitworp (lozing) van stoffen in het milieu
Equivalent geluidsniveau	Energetisch gemiddeld geluiddrukniveau over een bepaalde periode
Etmaalwaarde (geluid)	Hoogste waarde van het equivalente geluidsniveau
Exposietempo	Een maat voor de snelheid waarmee ioniserende straling in lucht geladen deeltjes produceert
Groepsrisico	De kans dat tijdens een ongeval direct of kort daarna meer dan tien dodelijke slachtoffers vallen
Halogenen	Groep elementen, die zich met metalen tot zouten kunnen verbinden
Hevelbreker	Voorziening die hevelwerking onderbreekt
Individueel risico	De kans dat een individu ten gevolge van een bepaalde activiteit in een bepaald jaar overlijdt
Initiatiefnemer	Degene die de voorgenomen activiteit wil ondernemen
Ingestie	Consumptie van (radioactief) voedsel

Inhalatie	Inademing (van onder andere radioactieve stoffen)
Ioniserende straling	Straling die een atoom of molecuul kan splitsen in een elektron en een geladen deeltje. Deze straling kan onderverdeeld worden in onder andere α-, β- en γ-straling,
Isotopen	Verschillende atomen van eenzelfde element met dezelfde chemische eigenschappen, echter met verschillend kerngewicht
Kosmisch	Het heelal betreffend
Kritisch (reactor)	Toestand waarbij evenveel vrije neutronen gevormd worden als ingevangen zodat de kettingreactie zichzelf in stand houdt
Meest milieuvriendelijke alternatief	Het alternatief waarbij de beste bestaande mogelijkheden ter bescherming van het milieu worden toegepast
Nuclide	Atoomsoort
Nulalternatief	Het alternatief, waarbij de voorgenomen activiteit niet wordt uitgevoerd In dit MER dus niet overschakelen op LEU en niet nemen van de geplande extra veiligheids-maatregelen
Onderkritisch (reactor)	Toestand waarbij onvoldoende vrije neutronen gevormd worden om een kettingreactie in stand te houden
Onderzoekslocatie Petten	Het gehele terrein te Petten waarbinnen de activiteiten van ECN, GCO, NRG en Tyco Healthcare-Mallinckrodt (THM) plaats vinden
Ongevalsanalyse (bij ontwerpongevallen)	Studie omtrent het verloop van een ongeval
Ongevalsscenario	Reeks van opeenvolgende gebeurtenissen tijdens een ongeval volgend op een begingebeurtenis
Ontwerpongeval	Ongeval waartegen bij het ontwerp veiligheids-voorzieningen zijn getroffen

Probabilistische veiligheids-analyse (PSA)	Analyse op basis van waarschijnlijkheidsrekening, ook wel een risicoanalyse genoemd: een systematisch onderzoek naar de kans van optreden van kernbeschadiging en naar de gevolgen voor de omgeving
Radioactieve stoffen	Stoffen, die ioniserende straling uitzenden
Radioactiviteit	Zie activiteit
Radiologisch	De leer over ioniserende straling betreffend
Radionuclide	zie nuclide
Reactorvat	Het aluminium vat dat de reactorkern omhult
Redundantie	Meervoudig uitvoeren van componenten of systemen bedoeld om falen van een functie (bijvoorbeeld koeling) door het falen van één component (bijvoorbeeld een pomp) te voorkomen.
Regelstaaf	Neutronenabsorberende staaf die tussen de splijtstof-elementen geschoven kan worden
Risico	Ongewenste gevolgen van een bepaalde activiteit verbonden met de kans, dat deze zich zullen voordoen
Risicoanalyse	Systematisch onderzoek naar de kans van optreden van kernbeschadiging en naar de gevolgen voor de installatie en de omgeving
Splijting	Het splijten (van atoomkernen) waarbij splijtings-producten, straling en warmte vrijkomen
Splijtstof	Het materiaal waarin in een kernreactor splijtingsreacties in stand worden gehouden
Splijtstofstaaf	Staaf waarin tabletten splijtstof zijn opgestapeld
Splijtstofelement	Een bundel splijtstofstaven
Straling	Zie ioniserende straling
Uitvoeringsalternatief	Alternatief voor een deel van de voorgenomen activiteit

Ventilatieschacht	Schoorsteenvormige ventilatie-uitlaat
Verrijkingsgraad	Gewichtspercentage uranium 235 van de totale uraniuminhoud
Vervalwarmte	Warmte die na afschakeling van de reactor blijft vrijkomen door radioactief verval
Vrijgavegrenzen	Grenzen waar onder radioactieve stoffen – al of niet voor bepaalde toepassingen - mogen worden vrijgegeven
Voorgenomen activiteit	De activiteit waarvoor vergunning gevraagd wordt. In dit MER omschakeling naar laagverrijkte splijtstof en het treffen van extra veiligheidsmaatregelen

Afkortingen

BIM	Bedrijfs Intern Milieuzorgsysteem
Bkse	Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen
BOOT	Besluit Opslag Ondergrondse Tanks
BsK	Besluit stralenbescherming Kernenergiewet
BZK	Ministerie van Binnenlandse zaken en Koninkrijksrelaties
CORA	Commissie Opberging Radioactief Afval
COVRA	N.V. Centrale Organisatie voor Radioactief Afval
CPR	Commissie Preventie Rampen
DWT	Decontamination and Waste Treatment: afdeling van NRG die met decontaminatie en afvalbehandeling van o.a. de HFR is belast
ECN	Energieonderzoek Centrum Nederland
EHS	Ecologische HoofdStructuur
Euratom	Europese Gemeenschap voor Atoomenergie
EZ	Ministerie van Economische Zaken
GCO	Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek (hier: initiatiefnemer)
HABOG	Hoog Actief Behandel/Opslag Gebouw bij de COVRA in Borsele voor hoogradioactief afval
HEU	Hoog verrijkt uranium (≥89%)
HFR	Hoge Flux Reactor
IAEA	International Atomic Energy Agency
IBC-criteria	Criteria die gehanteerd worden voor de opslag van afvalstoffen: isoleren, beheersen en controleren

ICRP	International Commission on Radiological Protection
INS	Integrale Normstelling Stoffen
IR	Individueel risico
IRI	Interuniversitair Reactor Instituut
JRC	Joint Research Centre: engelse benaming voor GCO.
Kew	Kernenergiewet
KFD	KernFysische Dienst
LEU	Laag verrijkt uranium (<19,85%)
LNV	Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij
m.e.r.	milieu-effectrapportage (de procedure)
MER	Milieu-effectrapport
MMA	Meest milieuvriendelijke alternatief
MEU	Midden hoog verrijkt uranium (boven 19,85% maar niet boven 89%)
NPK	Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding
NRG	Nuclear Research and consulting Grouo
NVR	Nucleaire Veiligheids Richtlijnen
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development (= OESO)
OLP	Onderzoeks Locatie Petten (het gehele terrein)
PbEG	Publicatie van de Europese Gemeenschap
PRA	Probabilistische Risico Analyse
PSA	Probabilistic Safety Analysis (= PRA)
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne

RVC	Reactor Veiligheid Commissie
RWS	Rijkswaterstaat
Stb.	Staatsblad
SZW	Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid
THM	Tyco Healthcare-Mallinckrodt
VA	voorgenomen activiteit
VR	Verwaarloosbaar risico (oud)
VROM	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
VS	Verenigde Staten van Amerika
V&W	Ministerie van Verkeer en Waterstaat
VWS	Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport
Wgh	Wet Geluidhinder
Wm	Wet milieubeheer
Wro	Wet ruimtelijke ordening
Wvo	Wet verontreiniging oppervlaktewateren
Wwh	Wet op de waterhuishouding

Symbolen, eenheden

a	jaar
bar	eenheid van druk, 10^5 N/m^2
Bq	becquerel; eenheid van activiteit, ter grootte van 1 desintegratie per seconde
°C	graad Celsius
Ci	curie = 3,7 x 10^{10} Bq
Cl^-	chloride
d	dag
dB(A)	geluidmaat: decibel (via A-filter gewogen)
g	gram
Gy	Gray
h	uur
J	joule, eenheid van arbeid (1 J = 1 Nm)
K	Kelvin, temperatuur in K = °C + 273
$L_{Ar,LT}$	langtijdgemiddeld beoordelingsniveau
L_{etmaal}	etmaalwaarde van het langtijdgemiddeld beoordelingsniveau
MW_{th}	thermische capaciteit uitgedrukt in Megawatt
pH	zuurgraad
Re	1 Re is de hoeveelheid radioactiviteit die bij complete inhalatie (Re_{inh}) of ingestie (Re_{ing}) een dosis geeft van 1 Sv
s	seconde

Sv	sievert; eenheid van dosisequivalent, uitgedrukt in energie per massa-eenheid
t	ton = 10^6 g
V	Volt
W	Watt, eenheid van vermogen, J/s

Voorvoegsels

P	peta = 10^{15}
T	tera = 10^{12}
G	giga = 10^9
M	mega = 10^6
k	kilo = 10^3
m	milli = 10^{-3}
μ	micro = 10^{-6}
n	nano = 10^{-9}

Belangrijkste elementen

Al	aluminium
Am	americium
Ar	argon
B	boor
Ba	barium
C	koolstof

Cd	cadmium
Cl	chloor
Co	kobalt
Cs	cesium
Eu	europium
Fe	ijzer
H	waterstof
^{3}H	tritium
I	jodium
K	kalium
Kr	krypton
Mn	mangaan
N	stikstof
Ni	nikkel
Pb	lood
Pu	plutonium
Si	silicium
Sr	strontium
U	uranium

SAMENVATTING VAN HET MER " MODIFICATIE HOGE FLUX REACTOR (HFR) TE PETTEN"

pag.

1 Inleiding 2

2 Probleemstelling en doel 4

3 Te nemen en eerder genomen besluiten 5

4 De voorgenomen activiteit en de alternatieven 7
4.1 Beschrijving van de HFR 7
4.2 Bestaande veiligheidsmaatregelen 8
4.3 Voorgenomen wijzigingen 9
4.4 De alternatieven 11

5 Bestaande milieutoestand en milieu-effecten voorgenomen activiteit 12
5.1 Afbakening 12
5.2 Veiligheid 12
5.3 Luchtkwaliteit en straling bij normaal bedrijf 14
5.4 Radioactief afval 15

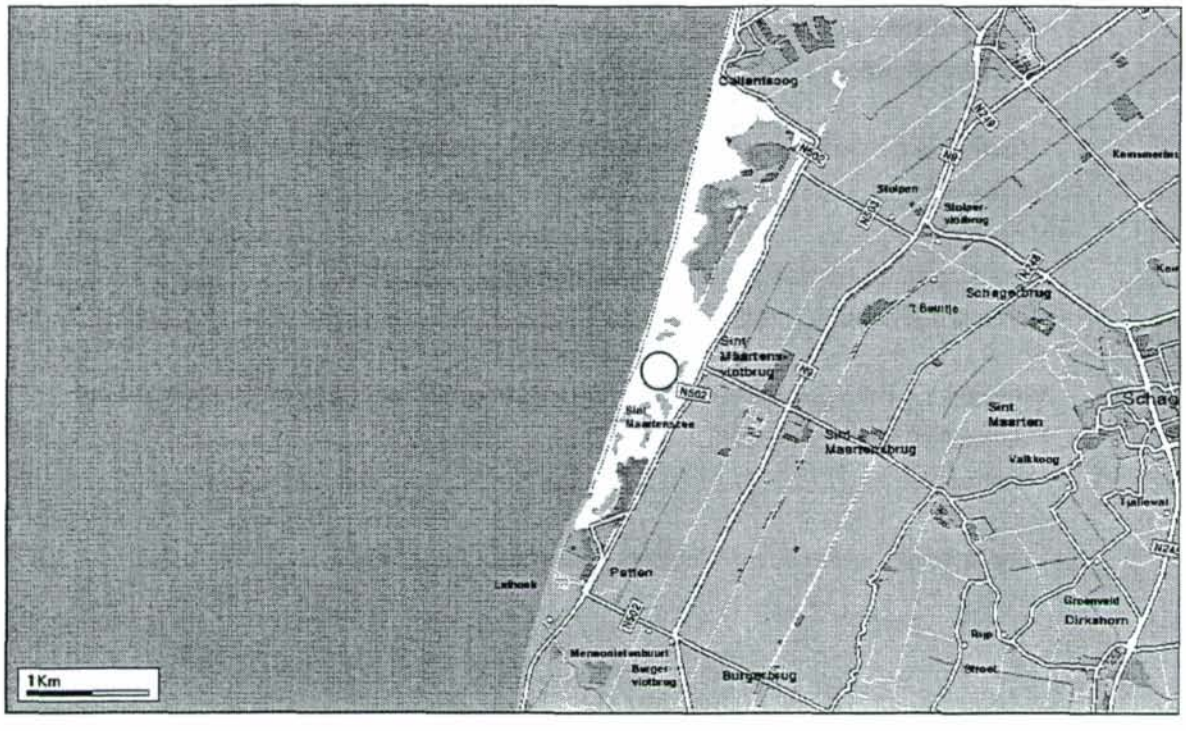
6 Vergelijking milieugevolgen van de voorgenomen activiteit en de alternatieven .. 15
6.1 Vergelijking alternatieven 15
6.2 Conclusies 16

7 Leemten in kennis en evaluatieprogramma 17

1 INLEIDING

De Hoge Flux Reactor (HFR) te Petten fungeert als neutronenbron voor toegepast en wetenschappelijk onderzoek, alsmede als producent van radio-isotopen voor medische en industriële toepassingen. Ook worden er nucleaire genezingsmethoden en geneesmiddelen ontwikkeld en toegepast.

De reactor is een water gekoelde nucleaire onderzoeksreactor met een maximaal vermogen van 50 MW_{th}. De vergunninghouder is thans het Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek (GCO) van de Europese Commissie. De Nuclear Research and consultancy Group (NRG) beheert de reactor
De ligging van de HFR tussen Petten en Callantsoog is weergeven in figuur S.1.



Figuur S1 Situering van de HFR.

De milieueffect-rapportageprocedure is gevolgd in het kader van een aanvraag voor een nieuwe vergunning volgens de Kernenergiewet in verband met de volgende voorgenomen activiteit:

- omschakeling van hoog verrijkt uranium (HEU) als brandstof naar laag verrijkt uranium (LEU)
- veiligheidsverhogende maatregelen die voortvloeien uit een veiligheidsherevaluatie van de gehele installatie.

Volgens het Besluit m.e.r. (1994, inclusief latere wijzigingen) zijn dergelijke wijzigingen "m.e.r.-beoordelingsplichtig". Dit betekent dat het Bevoegde gezag beoordeelt of de wijzigingen zodanig zijn dat een milieueffectrapportage nodig is voor een evenwichtige besluitvorming. Omdat GCO in overleg met het bevoegd gezag op voorhand heeft besloten een MER op te stellen kan de beoordeling van de m.e.r.-plicht achterwege blijven.

De m.e.r.-procedure is begonnen met de bekendmaking van de startnotitie. Deze bekendmaking vond onder meer plaats in de Staatscourant van 31 oktober 2001. Op basis van de startnotitie en de reacties heeft de Commissie voor de milieueffectrapportage (Cmer) op 16 januari 2002 haar adviesrichtlijnen uitgebracht. Het Bevoegd Gezag heeft vervolgens op 22 april 2002 de richtlijnen voor het MER vastgesteld.

Na indiening van MER en vergunningaanvragen worden deze documenten ter inzage gelegd. Gedurende vier weken kan een ieder schriftelijk opmerkingen inbrengen. Ook kunnen opmerkingen mondeling worden ingebracht tijdens een openbare zitting, die door het Bevoegd Gezag wordt gehouden (zie figuur S2 voor de procedurestappen en –termijnen).

De initiatiefnemer van deze m.e.r.-procedure was aanvankelijk GCO, maar GCO heeft de procedure overgedragen aan:

NRG
t.a.v. de Directeur
Westerduinweg 3
Postbus 25
1755 ZG Petten

GCO en NRG verzoeken gezamenlijk de nieuwe vergunning te verlenen aan NRG.
Het bevoegd gezag voor wat betreft de KeW wordt gevormd door de Ministers van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), van Economische Zaken (EZ) en van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) en, omdat er medische stralings-

toepassingen in het geding zijn, de minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS). De ministers beslissen in overeenstemming met de ministers die het mede aangaat zoals die van Verkeer en Waterstaat (V&W), Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV).

De coördinatie berust bij het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM)
t.a.v. Directie Stoffen, Afvalstoffen, Straling / IPC 645
Postbus 30495
2500 GX Den Haag

2 PROBLEEMSTELLING EN DOEL

De redenen om de voorgenomen activiteit te ondernemen zijn tweeledig:

- het verkrijgen van hoogverrijkt uranium stuit op toenemende problemen bij de leverancier uit de Verenigde Staten omdat dit uranium misbruikt zou kunnen worden voor de fabricage van kernwapens. Laag verrijkt uranium is daar niet rechtstreeks bruikbaar voor.
- op grond van de uitgevoerde herevaluatie van de veiligheid zijn aanvullende maatregelen gewenst gebleken.

Derhalve luidt de doelstelling van de voorgenomen activiteit:

a) het op milieutechnische en economisch verantwoorde wijze ombouwen van de reactor van hoog (>89%) naar laag (<20%) verrijkt uranium
b) verhoging -daar waar nodig- van het veiligheidsniveau van de gehele HFR door het opheffen van afwijkingen ten opzichte van een volgens de huidige inzichten gewenst veiligheidsniveau.

Om de voorgenomen activiteit en de alternatieven te toetsen zijn milieu- en bedrijfseconomisch criteria vastgesteld. Deze zijn beschreven in paragraaf 2.2. van het MER.

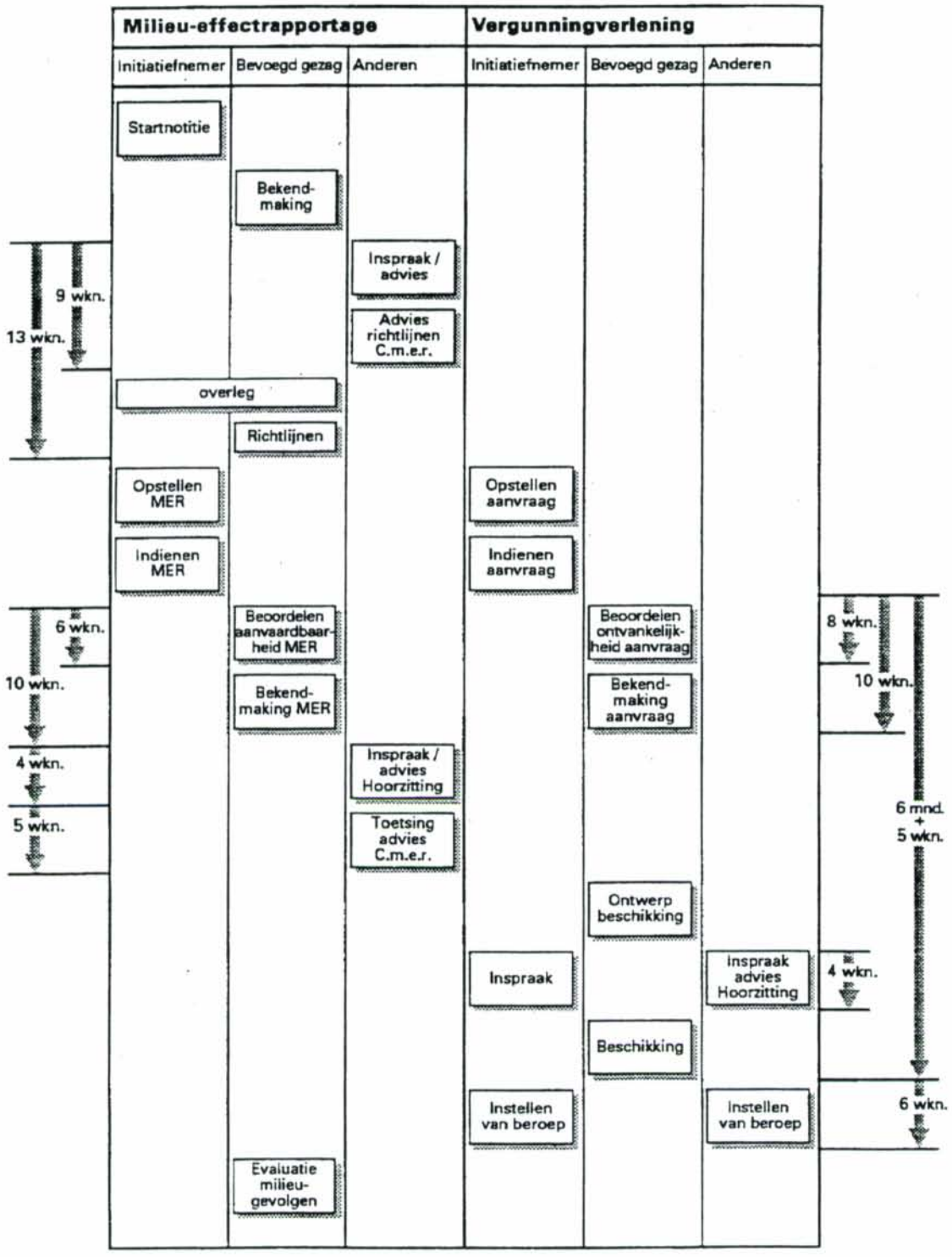
3 TE NEMEN EN EERDER GENOMEN BESLUITEN

De overheid dient het voornemen te toetsen aan haar beleid en regelgeving. De belangrijkste inhoudelijke toetsstenen zijn:

- Kernenergiewet met bijbehorende uitvoeringsbesluiten, zoals het Besluit stralingsbescherming en het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen.
- Besluit Milieueffectrapportage 1994
- Wet verontreiniging oppervlaktewateren
- Geldende vergunningen
- Risicobeleid en stralingsnormstelling
- Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding
- Beveiligingsrichtlijnen kerninstallaties

Dit MER is opgesteld ten behoeve van het besluit dat het Bevoegd Gezag moet nemen over de aangevraagde revisievergunning voor de Kew. Voor de samenstelling van het Bevoegd Gezag wordt verwezen naar hoofdstuk 1.

De procedures voor vergunningverlening krachtens de Kew zijn beschreven in de Algemene wet bestuursrecht en de Wet milieubeheer. De m.e.r.-procedure is geïntegreerd in de vergunningprocedure (zie figuur S2). Dat wil zeggen dat vergunningaanvraag en MER tegelijk worden ingediend en ook gecoördineerd worden behandeld.

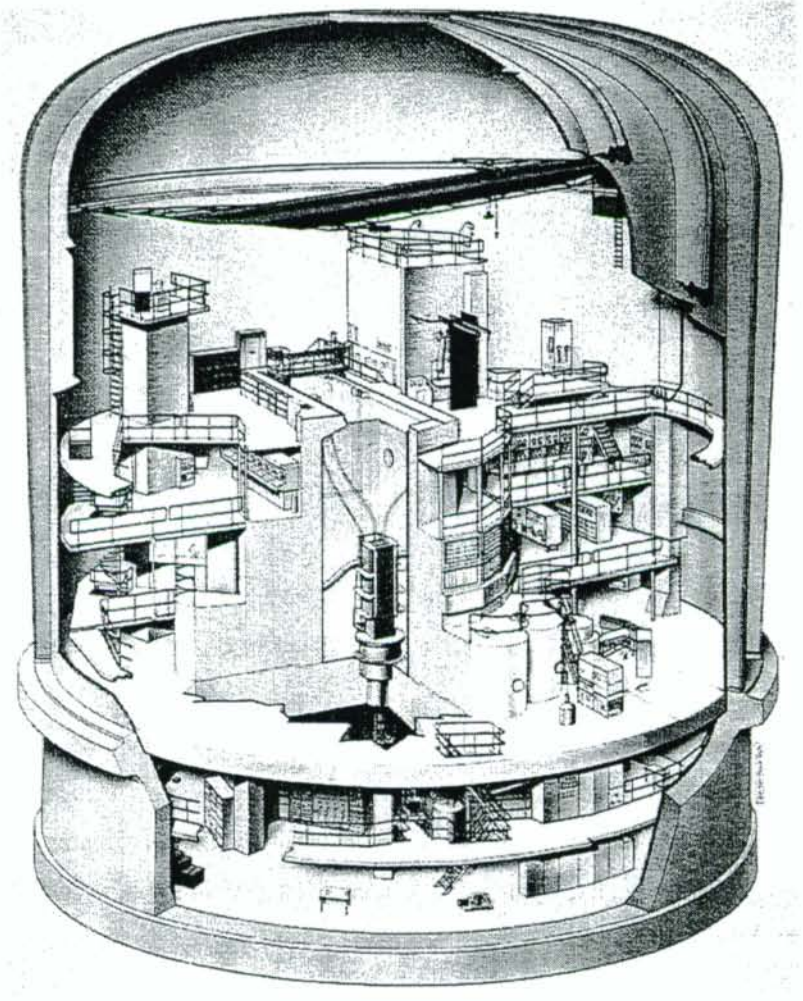


Figuur S2 Procedures m.e.r. en vergunningverlening

4 DE VOORGENOMEN ACTIVITEIT EN DE ALTERNATIEVEN

4.1 Beschrijving van de HFR

Figuur S3 geeft een schetstekening van de gedeeltelijk opengewerkte HFR.



Figuur S3 Schetstekening van de HFR

De reactor staat onder in het reactorgebouw. Dit gebouw bestaat voor het grootste deel uit een koepel van 1,2 cm dik staal met een diameter van 25 meter. Het reactorgebouw wordt op een geringe onderdruk gehouden om lekkage van radioactieve stoffen naar buiten te voorkomen.

Het reactorvat met daarin de reactorkern bevindt zich binnen het reactorbassin: een met dikke betonnen wanden omringd bassin van ongeveer 9 meter diep, gevuld met water. De splijtstof is opgenomen in splijtstofplaten, waarvan er (ruim) twintig in een splijtstofelement zitten. De

reactorkern is gevuld met splijtstof- en regelelementen. De regelelementen dienen om het vermogen te regelen. Bij de kernreactie komen diverse soorten straling (waaronder neutronen) en warmte vrij. De vrijkomende neutronen worden benut om de kettingreactie in stand te houden en voor bestralingsdoeleinden.

De onderste twee bordessen rond de reactor dienen om bestralingsexperimenten en meetinstrumenten op te stellen. Op het bovenste bordes laden en lossen HFR-medewerkers splijtstofelementen en voorwerpen die bestraald moeten worden.

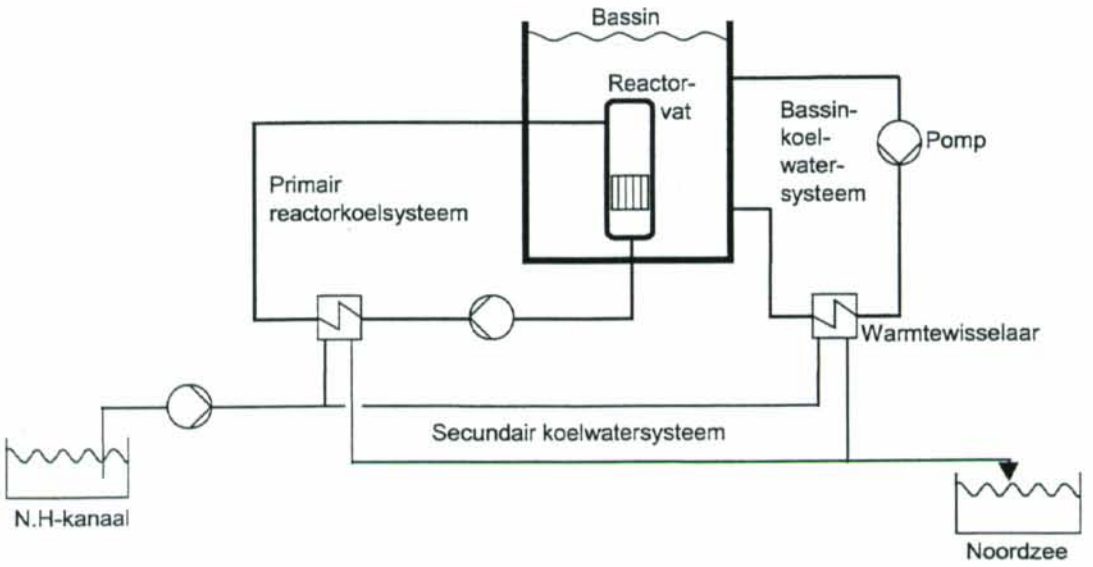
4.2 Bestaande veiligheidsmaatregelen

De HFR is uitgerust met diverse veiligheidssystemen, die gerangschikt kunnen worden naar de volgende functies:

1. afschakeling van de reactor
2. koeling van de splijtstof
3. insluiting van de radioactieve stoffen.

De eerste functie wordt gewaarborgd door het afschakelsysteem met de regelstaven die de neutronenstroom verminderen en aldus het kernsplijtingproces onderbreken.

De tweede functie wordt allereerst vervuld door het reactorkoelsysteem zoals weergegeven in figuur S4. Buiten de standaard koelwaterpompen zijn twee extra pompen beschikbaar waarvan er één op noodstroom en één op een dieselmotor draait. Daarnaast is het reactorvat voorzien van twee zogenaamde convectiekleppen die bij opening het bassinwater binnenlaten waardoor de (afgeschakelde) kern wordt gekoeld door middel van natuurlijke circulatie (=convectie). Ook is er nog een mogelijkheid om via een aansluiting bovenin het reactorvat water afkomstig uit de drinkwaterkelder naar de kern te voeren.



Figuur S4 Principeschema van de koelsystemen

De derde veiligheidsfunctie wordt gewaarborgd door de diverse barrières tussen de splijtstof en de omgeving, namelijk: de splijtstofbekleding, het reactorvat, het bassin en het reactorgebouw. Het reactorgebouw kan vrijwel luchtdicht worden afgesloten en is voorzien van ventilatiesystemen met filters, die het gebouw op onderdruk zetten en de radioactieve stofdeeltjes binnen houden.

Om te voorkomen dat de veiligheidsfuncties verloren gaan door het falen van een enkel systeem, is voorzien in de nodige reserve systemen. Daarbij zijn verschillende soorten systemen gekozen zodat het onwaarschijnlijk is dat alle systemen door dezelfde oorzaak (zoals bijvoorbeeld een extreme aardbeving) zullen falen.

4.3 Voorgenomen wijzigingen

De belangrijkste wijzigingen in verband met de lagere verrijking staan in tabel 4.1. De hoeveelheid splijtbaar uranium per element zal verhoogd worden, maar het aantal splijtstofplaten per element verlaagd, zodat per saldo de hoeveelheid splijtbaar materiaal in de kern met circa 20% toeneemt.

Tabel 4.1 Belangrijkste kenmerken van de voorgenomen splijtstofwijzigingen. De getalswaarden zijn als globaal op te vatten.

	Hoogverrijkte splijtstof	**Laagverrijkte splijtstof**
Type brandstof	Uranium/Aluminium legering	Uranium/Silicium legering in een aluminium matrix
Verrijkingsgraad (%)	ca. 91	< 20
Uraniumdichtheid ($g.cm^{-3}$)	1,1	4,8
Hoeveelheid uranium-235 (g/element)	450 (splijtstofelement) 310 (regelstaaf)	550 (splijtstofelement) 440 (regelstaaf)
Aantal splijtstofplaten per element/regelstaaf	23 (splijtstofelement) 19 (regelstaaf)	20 (splijtstofelement) 17 (regelstaaf)
Type slijtend gif	Borium poeder	Cadmium draden

Ter verhoging van de veiligheid wordt voorgesteld een achttal extra technische maatregelen (afgekort TM) te nemen, te weten:

- TM-1 Toevoegen van vacuümbrekers (hiervoor heeft de overheid reeds een "melding" geaccepteerd)
- TM-2 Drukvereffeningsleidingen tussen reactorvat en uitlaatleidingen
- TM-3 Verbinding van het reactorvat met het bassin
- TM-4 Vervangen van de dieselaangedreven koelpomp door een elektrische pomp met additionele accuvoeding
- TM-5 Beperking van de mogelijke gevolgen van de val van een splijtstofcontainer
- TM-6 Additioneel afschakelsysteem
- TM-7 Uitbreiding van de insluiting door het reactorgebouw
- TM-8 Installatie van een noodmonitoringpaneel

Deze maatregelen zijn voortgekomen uit de veiligheidsevaluatie. De maatregelen TM1-TM4 beogen de kans dat de kern niet of onvoldoende gekoeld wordt, verder te verlagen. TM5 beperkt de kans dat koelwaterleidingen tijdens bedrijf beschadigd zouden kunnen worden door de val van een container met splijtstof uit de hefkraan. TM6 biedt een extra mogelijkheid om de reactor af te schakelen als onverhoopt de andere systemen daarvoor zouden falen. TM-7 biedt extra garantie dat radioactieve stoffen bij een ernstig ongeval binnen de gebouwen blijven. TM-8 zorgt er voor dat de processen in de reactor ook in het geval dat de regelkamer door brand niet bruikbaar is, gevolgd en zo nodig bijgestuurd kunnen worden.

Dankzij deze maatregelen zijn de kansen op de belangrijkste, mogelijke oorzaken van ernstige ongevallen verminderd. De kans op kernbeschadiging bedraagt na het treffen van deze maatregelen eens per miljoen jaar[1], globaal een factor 40 lager dan zonder maatregelen.
Naast deze technische maatregelen zijn en worden operationele, personele en administratieve verbeteringen doorgevoerd. Zo is de verdeling van verantwoordelijkheden en bevoegdheden tussen GCO en NRG verduidelijkt en is een externe reactorveiligheidscommissie ingesteld.

4.4 De alternatieven

In paragraaf 4.2 van het MER zijn een aantal alternatieven beschouwd. Het betreft op hoofdlijnen:
- nulalternatief
- uitvoeringsalternatieven
- verdergaande veiligheidsmaatregelen
- het meest milieuvriendelijke alternatief.

Het nulalternatief beschouwt de situatie waarin het modificatieproject niet wordt uitgevoerd. De voorziening van nieuwe splijtstof loopt dan echter op termijn gevaar en de veiligheid wordt niet aan de huidige inzichten aangepast. Beide zijn voor de initiatiefnemer niet aanvaardbaar. Voor de overheid en de andere belanghebbenden zal met name een onnodig laag veiligheidsniveau niet aanvaardbaar zijn. Het nulalternatief is derhalve geen realistisch alternatief.

De uitvoeringsalternatieven zijn te onderscheiden in alternatieven voor de lagere verrijking en alternatieven voor de veiligheid. Er blijken geen realistische alternatieven voor lagere verrijking te zijn. In het MER is bijvoorbeeld aangetoond dat middelhoog-verrijkt uranium niet aanvaardbaar is uit proliferatie-oogpunt.

De onderzochte veiligheidsalternatieven blijken geen verbetering van de veiligheid.

Als verdergaande veiligheidsmaatregelen ten opzichte van het voornemen zijn onderzocht:
- lekkage van hoofdkoelwaterleidingen beperken
- lozing primair pompengebouw beperken

De milieu-effecten staan beschreven in de volgende paragrafen.

---

[1] Ter vergelijking: de IAEA verlangt voor onderzoeksreactoren een kernsmeltkans van minder dan eens per 10.000 jaar: een verschil van een factor 100.

5 BESTAANDE MILIEUTOESTAND EN MILIEU-EFFECTEN VOORGENOMEN ACTIVITEIT

5.1 Afbakening

In dit en het volgende hoofdstuk worden alleen die milieueffecten beschreven die door de voorgenomen activiteit beïnvloed worden. Derhalve worden onder meer de volgende milieueffecten niet beschreven: geluid, visuele beïnvloeding en landschap en permanente niet-radiologische milieuzaken.

5.2 Veiligheid

De veiligheid van kernreactoren wordt veelal langs twee lijnen benaderd: de ontwerp-ongevallen en de buiten-ontwerpongevallen. Deze twee benaderingen zijn ook voor de HFR gevolgd.

Ontwerp-ongevallen zijn de ongevallen waar de installatie op ontworpen is. Daarbij moet aangetoond worden dat de radiologische gevolgen van die ongevallen binnen de daarvoor geldende normen (=criteria) blijven. De ontwerpongevallen voor de HFR zijn vastgesteld op basis van internationale aanbevelingen van het IAEA[2]. Voor deze ongevallen zijn analyses uitgevoerd voor de thans gebruikte splijtstof en voor de splijtstof met lagere verrijking. Deze analyses hebben aangetoond dat bij de meeste ontwerpongevallen geen radioactiviteit vrij komt. In de gevallen dat wel radioactiviteit vrijkomt, blijven de doses juist onder de daarvoor geldende grenswaarden. Hierbij wordt wel aangetekend dat de voorgeschreven uitgangspunten voor deze berekeningen erg 'conservatief' zijn.

Buiten-ontwerpongevallen zijn de ongevallen die de installatie niet aantoonbaar kan beheersen. De kans dat deze zeer ernstige ongevallen optreden is echter zeer gering. De kansen en gevolgen worden beschreven in zogenaamde risico-analyses. Daarbij wordt eerst vastgesteld wat de kans is dat de kern wordt beschadigd. Voor de HFR is een enigszins beperkte risico-analyse uitgevoerd.

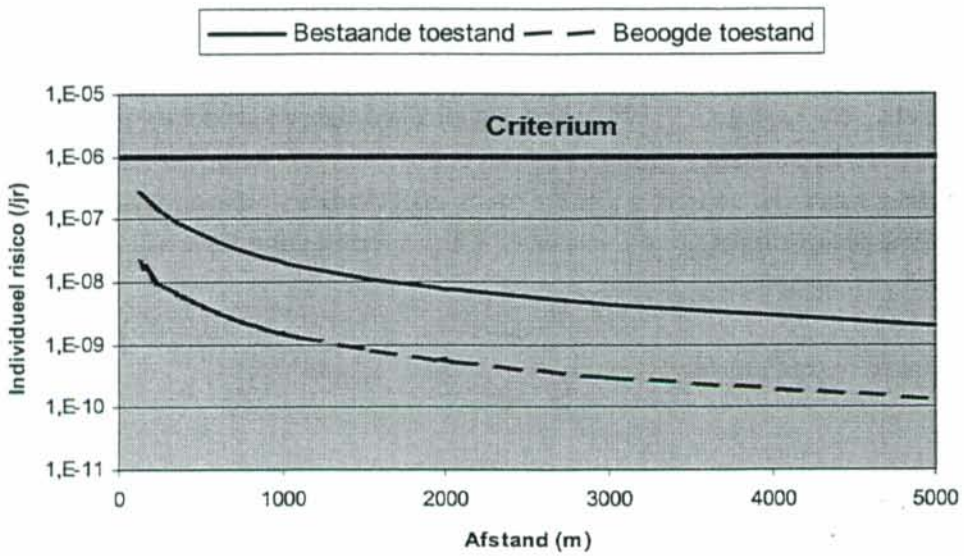
Voor zowel de bestaande als de beoogde situatie zijn de kansen berekend dat een persoon in de omgeving van de HFR overlijdt (individueel risico) respectievelijk dat tenminste 10 acute dodelijke slachtoffers (groepsrisico) vallen ten gevolge van een ongeval binnen de HFR.

---

[2] International Atomic Energy Agency

Individueel risico

Het maximale individuele risico treedt op aan de terreingrens op 150 meter afstand van de HFR (zie figuur S5). Deze kans bedraagt in de bestaande situatie 3.10^{-7} en in de beoogde situatie 2.10^{-8}, een verbetering van een factor 15. In zowel de huidige situatie als in de toekomstige situatie wordt ruim voldaan aan het algemene toetstingscriterium van de overheid voor het individueel risico, te weten 1.10^{-6}.



Figuur S5 Maximaal individueel risico als functie van de afstand voor de bestaande en beoogde installatie

Groepsrisico

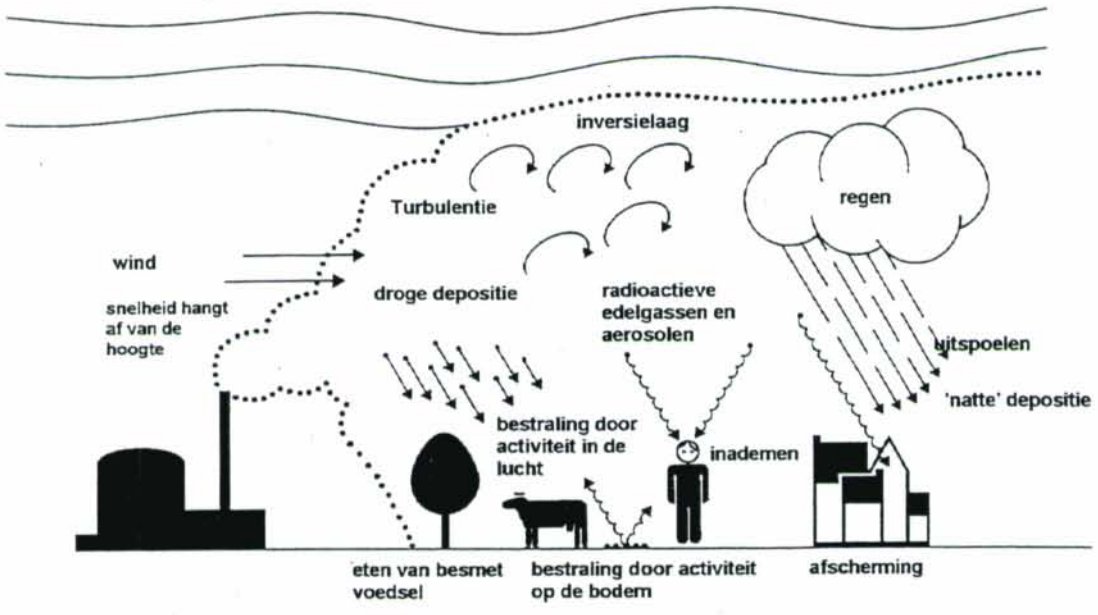
Uit de risicoanalyses blijkt dat van een groepsrisico zoals hiervoor omschreven zelfs geen sprake zal zijn bij extreem ongunstige aannamen. Dit geldt allereerst voor de bestaande situatie. Dankzij de aanvullende veiligheids-maatregelen worden de kansen op en gevolgen van ernstige ongevallen nog verder verkleind, zodat in de beoogde situatie zeker geen sprake van een groepsrisico zal zijn.

5.3 Luchtkwaliteit en straling bij normaal bedrijf

De geringe hoeveelheden radioactiviteit die de HFR tijdens normaal bedrijf loost, kunnen langs verschillende wegen mens en milieu belasten. Dit is schematisch weergegeven in figuur S6.

De verschillende bijdragen zijn met modellen berekend op grond van de werkelijk opgetreden emissies, zoals de laatste jaren gemeten en op grond van de verschillende thans vergunde limieten. De maximale waarde van de totale stralingsbelasting blijkt op te treden op circa 800 meter ten noordoosten van de HFR en bedraagt in de bestaande situatie afgerond 0,57 µSv/jaar. De toegestane dosislimiet bedraagt 0,1 mSv/jaar. De maximale belasting ligt dus globaal een factor 175 onder de limiet. Noch de voorgenomen verlaging van de verrijkingsgraad van de splijtstof, noch de veiligheidsverhogende maatregelen hebben wezenlijke invloed op de emissies tijdens normaal bedrijf. In de beoogde situatie blijft de maximale stralingsbelasting daarom gelijk aan de huidige stralingsbelasting. De stralingsbelasting vanwege de reguliere emissies blijft dan ook eveneens zeer ruimschoots binnen de toegestane dosislimiet.

Ook de stralingsbelasting van het personeel blijft nagenoeg ongewijzigd.



Figuur S6 Schematische weergave van de verspreiding van radioactiviteit uit de HFR en blootstellingswegen naar mens en milieu

5.4 Radioactief afval

De gebruikte splijtstof- en regelelementen moeten afgevoerd worden als hoog-radioactief afval. De hoeveelheden en de activiteit daarvan zijn opgenomen in tabel 5.1.

Tabel 5.1 Gemiddelde productie van hoog-actief afval per jaar in de huidige situatie en bij de beoogde situatie

	huidige situatie	**beoogde situatie**
Aantal elementen en regelelementen	≤82 per jaar	≤82 per jaar
Activiteit:		
• Splijtingsproducten	≤13.000 TBq /jr	≤14.000 TBq /jr
• Actiniden	≤150 TBq /jr	≤1600 TBq /jr

Uit de tabel blijkt dat het aantal elementen in de afvalfase globaal gelijk blijft, doch dat de activiteit een kleine 20% toeneemt. Deze toename vergt geen andere voorzieningen voor de verwijdering of berging.

In de HFR komt voorts enige middel- en laag-radioactief afval vrij. Deze hoeveelheden zijn radiologisch echter gering en worden niet significant door de voorgenomen activiteit beïnvloed.

6 VERGELIJKING MILIEUGEVOLGEN VAN DE VOORGENOMEN ACTIVITEIT EN DE ALTERNATIEVEN

6.1 Vergelijking alternatieven

Op andere aspecten dan veiligheid, zoals radioactief afval, stralingsbelasting van personeel en continue radioactieve emissies, bleken de alternatieven in het algemeen geen invloed te hebben. Daarom worden die aspecten in deze paragraaf niet beschreven.

Verder is gebleken dat de alternatieven zich alleen op het gebied van buiten-ontwerp-ongevallen enigszins van elkaar onderscheiden. Om die reden zijn in onderstaande tabel alleen de resultaten van de buiten-ontwerp-analyses bijeen gebracht.
Hierbij wordt er aan herinnerd dat zelfs bij het meest ernstige ongevalsscenario er geen sprake is van een groepsrisico, zodat het groepsrisico niet als een beoordelingscriterium wordt meegenomen.

Tabel 6.8.1 Relatieve verbeteringen van de veiligheid door de verdergaande veiligheids-maatregelen ten opzichte van de voorgenomen activiteit.

Legenda: LLB lekkage leidingen beperken
LPB lozing primair pompengebouw beperken
MMA meest milieuvriendelijke alternatief

Milieueffect	Geldend criterium	Beoogde situatie	LLB	LPB	MMA
Buiten-ontwerpongevallen:					
• Kans op kernbeschadiging (per jaar)	1.10^{-4}	1.10^{-6}	-20%	0%	-20%
• Individueel risico (per jaar)	1.10^{-6}	2.10^{-8}	-20%	-25%	-40%

Uit de tabel blijkt dat in de beoogde situatie reeds ruimschoots aan de geldende criteria voldaan wordt. De aanvullende veiligheidsmaatregelen (LLB en LPB) blijken weliswaar enige verbetering te bieden, maar deze is beperkt. De aanvullende maatregelen blijken anderzijds dermate ingrijpend en kostbaar dat deze naar de mening van de initiatiefnemer niet opwegen tegen de geringe veiligheidswinst.

Het MMA bestaat uit de voorgenomen activiteit inclusief de verdergaande veiligheids-maatregelen. Met het MMA is een zekere extra veiligheidswinst te boeken. De bedrijfsmatige en financiële bezwaren tegen het MMA zijn echter gelijk aan die tegen de extra veiligheidsmaatregelen.

6.2 Conclusies

Uit het voorgaande kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

De huidige situatie en de voorgenomen activiteit

1. Het verlagen van de verrijkingsgraad is noodzakelijk om de proliferatiesrisico's te beperken en de continuïteit van het functioneren van de HFR te waarborgen. Er is geen alternatief dat redelijkerwijs toegepast zou kunnen worden
2. De veiligheid van de HFR wordt dankzij de voorgenomen maatregelen aanzienlijk verbeterd. Aan de overheidscriteria voor ontwerpongevallen wordt en zal worden voldaan. Op basis van een beperkte risico-analyse wordt verder geconcludeerd dat (zeer) ruimschoots aan de risicocriteria voor ernstige ongevallen werd en zal worden voldaan.

3. Buiten een beperkte verhoging van de activiteit van het radioactieve afval, zijn er geen significante negatieve milieueffecten.

De alternatieven

4. De resterende risico's na het treffen van de voorgenomen veiligheidsmaatregelen, zijn qua grootte tamelijk gelijkwaardig. Door het ontbreken van een of enkele dominante bronnen is het zeer moeilijk effectieve aanvullende maatregelen te ontwerpen. De alternatieven hebben geen belangrijke andere gevolgen dan de veiligheid.
5. Het veiligheidsverhogend effect van de geformuleerde verdergaande maatregelen is gering en de kosten en bedrijfsmatige bezwaren zijn zeer groot. Daarom ziet de initiatiefnemer af van het toepassen van deze extra maatregelen.
6. Het Meest milieuvriendelijke alternatief biedt weliswaar enige extra veiligheid, maar de kosten zijn dermate hoog en de bedrijfsmatige bezwaren zo groot, dat de initiatiefnemer– mede gelet op het reeds ruimschoots voldoen aan alle overheidscriteria op het gebied van veiligheid – afziet van implementatie van het MMA en vergunning verzoekt voor het implementeren van de voorgenomen maatregelen.

7 LEEMTEN IN KENNIS EN EVALUATIEPROGRAMMA

De belangrijkste leemten in kennis voor dit project zijn:

- de exacte kernsamenstelling in de verschillende fasen van de conversie
- reikwijdte en onzekerheidsmarges in de veiligheidsanalyses

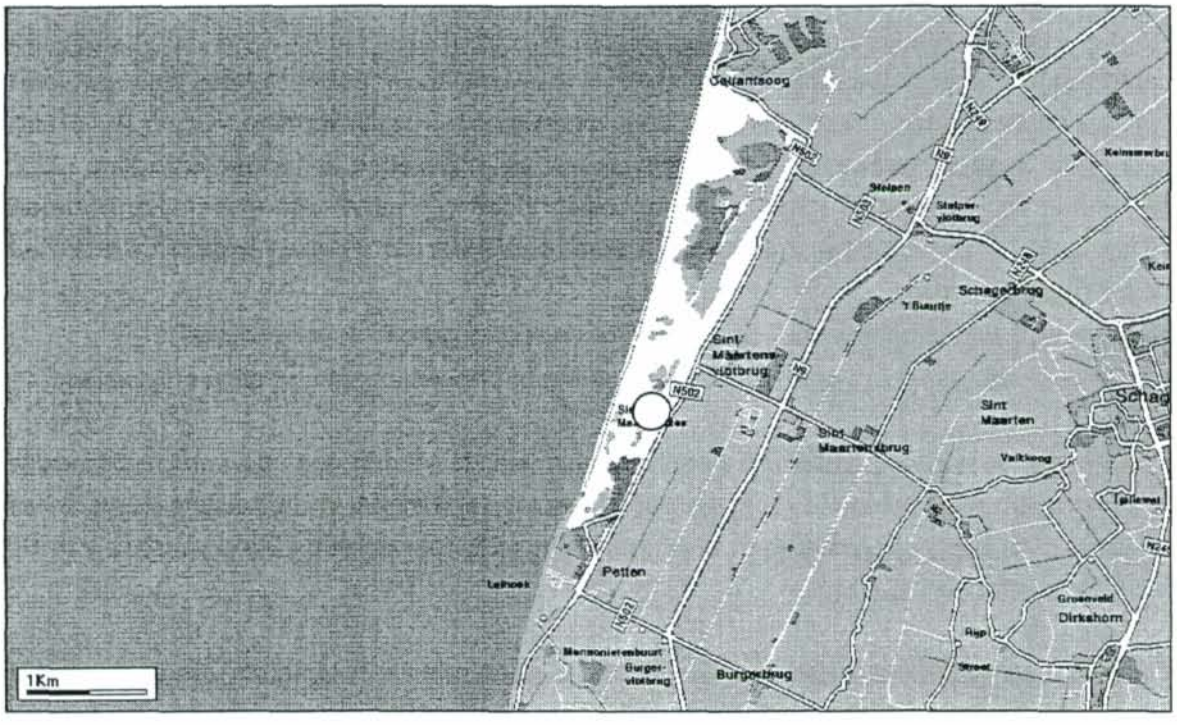
De leemten zijn niet van belang voor de besluitvorming omdat voldoende ruime marges zijn aangehouden. In het MER is een aanzet gegeven voor een evaluatieprogramma, waarin de belangrijkste milieugevolgen van het project, zoals de veiligheid en de radioactieve emissies naar de lucht, zijn opgenomen.

1 INLEIDING

1.1 Wat is de HFR

De Hoge Flux Reactor (HFR) te Petten fungeert als neutronenbron voor civiel, technologisch en wetenschappelijk onderzoek, alsmede als producent van radio-isotopen voor medische en industriële toepassingen. De ontwikkeling en toepassing van nucleaire genezingsmethoden en geneesmiddelen nemen een belangrijke plaats in. Op deze functies wordt uitgebreider ingegaan in hoofdstuk 4.

Het betreft een water gekoelde nucleaire onderzoeksreactor met een maximaal vermogen van 50 MW_{th}. Ter vergelijking: de kerncentrale Borssele heeft een thermisch vermogen van circa 1360 MW_{th}. De vergunninghouder van de HFR is thans het Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek (GCO) van de Europese Commissie. De Nuclear Research and consulting Group (NRG)[1] is belast met de bedrijfsvoering en de commerciële exploitatie van de reactor. De ligging van de HFR tussen Petten en Callantsoog is weergeven in figuur 1.1.



Figuur 1.1 Situering van de HFR

[1] Een onderneming ontstaan uit een fusie van de nucleaire activiteiten van ECN en KEMA

GCO als vergunninghouder en NRG als bedrijfsvoerder van de HFR hebben in overleg met het Bevoegd Gezag besloten een milieueffect-rapportage te starten in verband met de volgende voorgenomen activiteit:

- omschakeling van hoog verrijkt uranium (HEU) als brandstof door laag verrijkt uranium (LEU)
- mogelijke veiligheidsverhogende wijzigingen die voortvloeien uit een veiligheids-herevaluatie van de gehele installatie.

Het MER zal dienen ter onderbouwing van een aanvraag voor een Kernenergiewet-(KeW) (revisie)vergunning (inclusief een vergunning voor afvoer van radioactieve afval naar NRG). Het betreft een zogenaamd inrichtings-MER, dat wil zeggen dat het uitsluitend betrekking heeft op de activiteiten vallend onder de HFR.

1.2 Waarom een Milieueffectrapportage

Volgens het Besluit m.e.r.(1994, inclusief latere wijzigingen) bestaat voor de voorgenomen activiteit een zogenaamde beoordelingsplicht. Dit betekent dat het Bevoegde gezag (zie paragraaf 1.3) beoordeelt of de wijziging of de omstandigheden zodanig zijn dat een milieueffectrapportage nodig is voor een evenwichtige besluitvorming. Op lijst D van genoemd Besluit betreffende beoordelingsplichtige activiteiten is onder categorie 22.3 genoemd "de wijziging of uitbreiding van een inrichting waarin kernenergie kan worden vrijgemaakt.", waarbij onder meer wordt gerefereerd naar de gevallen waarin de activiteit betrekking heeft op:

- "een wijziging van de soort, hoeveelheid of verrijkingsgraad van de splijtstof" of
- "het aanbrengen van systemen ter voorkoming of beheersing van ernstige ongevallen".

De eerstgenoemde activiteit is met het verlagen van de verrijkingsgraad van de brandstof zonder meer aan de orde. Er blijken ook beperkte wijzigingen in de veiligheidssystemen gewenst. De wijzigingen vloeien voort uit de veiligheidsherevaluatie die op verzoek van de overheid heeft plaats gevonden.

Omdat de aanvankelijke initiatiefnemer GCO in overleg met het bevoegd gezag op voorhand heeft besloten een MER op te stellen kan de formele beoordeling van de m.e.r.-plicht achterwege blijven.

1.3 De procedure en de rolverdeling

De m.e.r.-procedure is begonnen met de bekendmaking betreffende ontvangst en ter inzage legging van de startnotitie. Deze bekendmaking vond onder meer plaats in de Staatscourant van 31 oktober 2001. Na deze bekendmaking is een ieder gedurende de wettelijke periode in staat gesteld om inbreng te leveren ten aanzien van de in het MER te beschouwen alternatieven en de milieu-beïnvloeding van het voornemen. Op basis van de startnotitie en de reacties heeft de Commissie voor de milieueffectrapportage (Cmer) op 16 januari 2002 haar adviesrichtlijnen uitgebracht. Op grond van dit advies en dat van de andere wettelijke adviseurs heeft het Bevoegd Gezag op 22 april 2002 richtlijnen voor het op te stellen milieueffectrapport vastgesteld. Het onderhavige MER is gebaseerd op deze richtlijnen.

Na indiening van MER en vergunningaanvragen worden deze documenten ter inzage gelegd. Gedurende een termijn van tenminste een maand kan een ieder opmerkingen schriftelijk inbrengen. Ook kunnen opmerkingen mondeling worden ingebracht tijdens een openbare zitting, die door het Bevoegd Gezag wordt gehouden (zie paragraaf 3.3 voor de procedurestappen en –termijnen).

De initiatiefnemer van deze m.e.r.-procedure was aanvankelijk GCO, maar GCO heeft de procedure overgedragen aan:

NRG
t.a.v. de Directeur
Westerduinweg 3
Postbus 25
1755 ZG PETTEN

GCO en NRG verzoeken gezamenlijk de nieuwe vergunning te verlenen aan NRG.
Het bevoegd gezag voor wat betreft de KeW wordt gevormd door de Ministers van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), van Economische Zaken (EZ) en van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) en omdat er medische stralingstoepassingen in het geding zijn, de minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS). De ministers beslissen in overeenstemming met de ministers die het mede aangaat zoals die van Verkeer en Waterstaat (V&W) en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV).

De coördinatie berust bij het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM)
t.a.v. Directie Stoffen, Afvalstoffen, Straling / IPC 645
Postbus 30495
2500 GX Den Haag

1.4 Inhoud MER

De inhoud van het MER volgt globaal de systematiek van de richtlijnen en ziet er als volgt uit. In hoofdstuk 2 wordt de probleemstelling aangegeven en het daaruit afgeleide doel van de voorgenomen activiteit. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de van overheidswege reeds genomen en nog te nemen besluiten met betrekking tot het voornemen en de regelgeving die de overheid bij haar besluiten in acht moet nemen. In hoofdstuk 4 worden de bestaande installatie alsmede de voorgenomen activiteit beschreven en worden de alternatieven voor deze activiteit uitgewerkt. In hoofdstuk 5 worden de bestaande toestand en de autonome ontwikkelingen van het milieu op en rond de locatie behandeld en worden daarnaast de milieugevolgen van de voorgenomen activiteit beschreven. In hoofdstuk 6 worden de milieugevolgen van de voorgenomen activiteit en de alternatieven met elkaar vergeleken. Hoofdstuk 7 tenslotte geeft de op het moment van afronding van het rapport bestaande leemten in kennis, alsmede een aanzet voor een evaluatie die binnen drie jaar na de totstandkoming van het voornemen dient plaatst te vinden.

Het MER is opgesteld onder eindverantwoordelijkheid van NRG. Bij de totstandkoming is gebruik gemaakt van advieswerkzaamheden van KEMA Nederland B.V., GCO en NRG.

2 PROBLEEMSTELLING EN DOEL

2.1 Probleemstelling

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de achtergrond waartegen het voornemen is ontwikkeld. Deze achtergrond heeft enerzijds te maken met de functies die de HFR vervult en anderzijds met het overheidsbeleid dat op dit soort activiteiten primair van toepassing is. De functies worden geschetst om duidelijk te maken dat de HFR inspeelt op bepaalde legitieme maatschappelijke behoeften. Uiteraard moeten de activiteiten passen binnen het beleid dat de Nederlandse overheid voert. Daarbij gaat het in dit hoofdstuk niet om allerlei specifieke randvoorwaarden. Die specifieke randvoorwaarden in de vorm van allerlei milieubeleid en -regelgeving worden in hoofdstuk 3 weergegeven. Het gaat in dit hoofdstuk slechts om dat beleid dat wezenlijk met de functies van de HFR verbonden is.

2.2 De functies van de HFR

In 1958 is Nederland gestart met de bouw van de HFR ten behoeve van het onderzoek naar de veilige opwekking van kernenergie. In 1962 werd het beheer van de reactor overgedragen aan de Europese Gemeenschap voor Atoomenergie (Euratom), die deze taak later aan het Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek (GCO) van de Europese Commissie heeft gedelegeerd. De exploitatie is voor een groot deel afhankelijk van bijdragen uit onderzoeksfondsen van de Europese Unie, Nederland, Duitsland en Frankrijk. Kenmerkend voor een Hoge Flux Reactor is de hoge energiedichtheid die er mee bereikt kan worden.

Het einde van de technische levensduur van de reactor is uitgaande van een thermisch vermogen van 60 MW op 2015 bepaald. Omdat het vermogen in de praktijk lager is dan 50 MW is een bedrijfsperiode tot na 2015 technisch verantwoord.

Enkele jaren geleden is geconcludeerd dat vanwege teruglopende onderzoeksbudgetten voor de continuïteit van de HFR een grotere marktgerichtheid noodzakelijk is. Deze koerswijziging heeft concreet tot gevolg dat het accent van wetenschappelijk onderzoek voor een deel verschoven is naar externe dienstverlening. De productie van radionucliden (meestal radio-isotopen genoemd) voor medische en industriële toepassingen vormt een belangrijk groeigebied.

2.3 Aanleiding tot de conversie en veiligheidsmaatregelen

Om de vereiste hoge energiedichtheid te kunnen behalen was aanvankelijk hoog verrijkt uranium (HEU) noodzakelijk, dat wil zeggen uranium waarin door bepaalde processen (verrijking) een hoog (>89 gewichtsprocenten uranium) percentage van het splijtbare uranium-235 aanwezig is. Nadeel van dit type brandstof is dat het in beginsel ook gebruikt kan worden voor de fabricage van kernwapens.

Onder invloed van het non-proliferatieverdrag en van de quasi monopoliepositie van de brandstofleverancier uit de Verenigde Staten is voor de HFR het verkrijgen van HEU steeds problematischer geworden. Voordeel voor NRG van Amerikaanse leveranciers is dat zij wettelijk verplicht zijn gebruikte elementen terug te nemen, zodat NRG daarmee tevens zekerheid over de afvoer van deze elementen heeft.

De eerste plannen voor conversie van HEU naar LEU dateren reeds uit de jaren tachtig. Vanwege de mindere prestaties en andere nadelen van LEU achtte beheerder GCO uitvoering destijds echter niet wenselijk. Inmiddels zijn de specificaties van LEU dusdanig gewijzigd en zijn de neutronen-berekenings-methoden zo ver ontwikkeld dat conversie wel verantwoord is.

2.4 Het stralings- en veiligheidsbeleid van de regering

De stralingsbescherming in Nederland is gebaseerd op drie principes (zie het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen en het Besluit Stralingsbescherming):

1 *Rechtvaardiging*
Dit principe wil zeggen dat een activiteit pas wordt toegestaan als de sociale, economische en andere voordelen opwegen tegen de gezondheidsschade die er het gevolg van kunnen zijn

2 *Optimalisatie*
Optimalisatie wordt gezien als de invulling van het ALARA-beginsel (As Low As Reasonably Achievable). In dit kader wordt gestreefd naar zo laag als redelijkerwijs mogelijke emissies en blootstelling. Hierbij wordt rekening gehouden met maatschappelijke en economische factoren en met zowel milieuhygiënische als arbeidshygiënische aspecten

3 *Dosislimieten*
Dit zijn maximaal toegestane doses, die in geen geval overschreden mogen worden om een minimum beschermingsniveau te garanderen.

De principes 2 en 3 worden uitgebreid behandeld in hoofdstuk 3. Derhalve wordt in dit hoofdstuk slechts het eerste beginsel behandeld. Op de HFR toegepast vraagt het eerste beginsel of de onderzoeks- en medische toepassingen van de HFR niet zonder straling bereikt kunnen worden. Dit is niet het geval. Voorbeelden van de unieke mogelijkheden van de HFR op medisch gebied zijn:

- met de radio-isotopen van de HFR worden jaarlijks miljoenen medische behandelingen binnen Europa uitgevoerd. De radio-isotopen worden benut voor diagnostiek (90%) en voor therapie, inclusief pijnbestrijding (10%). De eerste soort wordt voor circa 75% in reactoren vervaardigd, de tweede soort voor 100%. De HFR is binnen Europa marktleider op dit gebied
- de experimentele bestraling van tumoren biedt perspectief op medische behandeling van die tumoren.

Op initiatief van de Minister van VROM heeft een werkgroep de opdracht gekregen om te onderzoeken of er mogelijkheden zijn om de levering van radio-isotopen in toekomst zekerder te stellen dan thans het geval is, wanneer zich onverhoopt veiligheids-problemen voordoen. De werkgroep schrijft in haar rapport (WG, 2003) dat Petten de ideale plek is voor dit soort activiteiten omdat de bestralingsfaciliteit (HFR), de Molybdeenfabriek en de productie van generatoren en radiofarmaca zich op één terrein bevinden. Dit voorkomt onder meer transporten met radioactieve materialen over grote afstanden. Voorts doet de werkgroep de volgende aanbeveling:
"*Om te voorkomen dat Europa bij het definitief sluiten van de HFR afhankelijk wordt van Zuid-Afrika of Canada wordt aanbevolen dat Nederland binnen de EU er voor pleit dat er in dat geval binnen Europa een vervangende reactor wordt gebouwd voor de productie van medische isotopen en bij voorkeur op een locatie waar ook de overige productiefaciliteiten aanwezig zijn.*"

Wat betreft materiaalonderzoek kunnen als voorbeelden genoemd worden:

- transmutatietests van nucleair afval om de "levensduur" van dit afval te verkorten
- verouderingsbeproevingen van materialen voor nucleaire toepassingen
- tests voor materialen die bij kernfusie kunnen worden ingezet
- bepaling (veiligheids)eigenschappen splijtstoffen.

Met deze voorbeelden wordt duidelijk geïllustreerd dat de toepassingen niet zonder de reactor mogelijk waren geweest zodat daarmee het functioneren van de HFR gerechtvaardigd is.

In lijn met internationale aanbevelingen vraagt de Nederlandse overheid van bedrijvers van nucleaire vermogensinstallaties om de veiligheid ten minste eenmaal per 10 jaar te

toetsen aan de " stand der techniek". De aanpak alsmede een aantal richtlijnen staan in de Nota Backfitting (KFD, 1991) van de Kernfysische Dienst van het ministerie van VROM. Naar analogie van deze werkwijze heeft NRG op verzoek van de overheid de veiligheid van de HFR geherëvalueerd. De uitwerking daarvan heeft geleid tot de aanvullende maatregelen (en hun alternatieven) die in dit MER beschreven worden. Parallel aan het opstellen van het MER is gewerkt aan een geactualiseerd Veiligheidsrapport. Meer informatie over de aanpak en de resultaten staat vermeld in hoofdstuk 4 en verder.

2.5 Doelstelling van het voornemen

Uit het voorgaande volgt dat de doelstelling van de voorgenomen activiteit omschreven kan worden als:

a) het op milieutechnische en economisch verantwoorde wijze ombouwen van de reactor van hoog (>89%) naar laag (<20%) verrijkt uranium
b) verhoging -daar waar nodig- van het veiligheidsniveau van de gehele HFR door het opheffen van afwijkingen ten opzichte van een volgens de huidige inzichten gewenst veiligheidsniveau.

De milieucriteria volgens welke het initiatief beoordeeld dient te worden zijn:

- waarborgen van de veiligheid
- minimaliseren volgens het ALARA-beginsel van:
  - stralingsbelasting omwonenden
  - stralingsbelasting personeel
  - hoeveelheden en activiteit radioactief afval
  - overige milieu-effecten.

De bedrijfseconomische criteria van de initiatiefnemer zijn:

- behoud van de huidige gebruiksmogelijkheden
- minimaliseren van de kosten.

3 RANDVOORWAARDEN EN BESLUITVORMING

3.1 Inleiding

De voorgenomen modificaties van de HFR dienen uitgevoerd te worden met inachtneming van de bestaande regelgeving en eerder genomen besluiten van overheidsorganen. Dit geldt zowel voor de voorgenomen activiteit als voor de beschreven alternatieven. In dit hoofdstuk zullen de randvoorwaarden behandeld worden, die van invloed (kunnen) zijn op de voorgenomen activiteit en op de toetsing van de milieubeïnvloeding in dit MER.

In paragraaf 3.2 zal een toelichting gegeven worden op de volgende voor de besluitvorming relevante randvoorwaarden:

- wetgeving:
  - Kernenergiewet met bijbehorende uitvoeringsbesluiten, zoals het besluit stralingsbescherming
  - Besluit Milieueffectrapportage 1994
  - Wet milieubeheer
  - Algemene wet bestuursrecht
  - Wet verontreiniging oppervlaktewateren
  - Wet op de waterhuishouding
- geldende vergunningen
- risicobeleid en stralingsnormstelling
- Regeling analyse gevolgen ioniserende straling voor het milieu
- nota's inzake radioactief afval
- koelwaterrichtlijnen
- ruimtelijk en natuur- en landschapsbeleid
- Nationaal plan voor de kernongevallenbestrijding
- Beveiligingsrichtlijnen kerninstallaties.

In paragraaf 3.3 wordt aangegeven ten behoeve van welke besluiten het MER wordt opgesteld en door welke overheidsinstantie(s) deze besluiten zullen worden genomen.

Het MER is opgesteld met inachtneming van de richtlijnen daarvoor zoals vastgesteld door het Bevoegd Gezag in april 2002.

3.2 Randvoorwaarden

3.2.1 Wetgeving

Kernenergiewet (Stb. 1963-82)
De Kernenergiewet (Kew) is een raamwet die betrekking heeft op activiteiten waarbij met ioniserende straling wordt gewerkt of waarbij deze straling vrijkomt. Het doel van de wet is volgens de Memorie van Toelichting:

- de bevordering van een goede ontwikkeling betreffende het vrijmaken en het gebruik van radioactieve stoffen en van ioniserende straling uitzendende apparatuur
- bescherming tegen de gevaren die zijn verbonden aan het gebruik van radioactieve stoffen en ioniserende straling.

De wet heeft betrekking op:

- nucleaire veiligheid
- de volksgezondheid
- de bescherming op de arbeidsplaats tegen de gevaren van radioactieve stoffen en ioniserende straling
- het bevorderen van de milieuhygiëne.

De Kernenergiewet kent meerdere vergunningstelsels die alle relevant zijn voor de HFR, namelijk voor het wijzigen van een inrichting (artikel 15, onder b), het voorhanden hebben van splijtstoffen (artikel 15, onder a) en het voorhanden hebben, toepassen en zich ontdoen van radioactieve stoffen (artikel 29, eerste lid). Een en ander wordt nader uitgewerkt in het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen (Stb. 1969-403). Het besluit bevat algemene regels met betrekking tot de gegevensverstrekking over de (wijzigingen in) inrichtingen. Het Besluit stralingsbescherming (Stb. 2001-397) bevat bepalingen met betrekking tot de principes en de normstelling voor stralings-bescherming (zie verder par. 3.2.3).

De Kew en de bovengenoemde besluiten zijn de afgelopen jaren geharmoniseerd met Europese wetgeving met name:

- Richtlijn 96/29/Euratom inzake de basisnormen voor de bescherming van de gezondheid van de bevolking en der werkers tegen de aan ioniserende straling verbonden gevaren (PbEG 1996, L 159)
- Richtlijn 97/43/Euratom uitgevaardigd inzake de bescherming van personen tegen de gevaren van ioniserende straling in verband met medische blootstelling (PbEG 1997, L 180/22).

Besluit milieu-effectrapportage 1994

Volgens het Besluit m.e.r. bestaat voor de voorgenomen activiteit een beoordelingsplicht. Op lijst D van beoordelingsplichtige activiteiten is onder categorie 22.3 genoemd "de wijziging of uitbreiding van een inrichting waarin kernenergie kan worden vrijgemaakt.", waarbij onder meer wordt verwezen naar de gevallen waarin de activiteit betrekking heeft op:

- "een wijziging van de soort, hoeveelheid of verrijkingsgraad van de splijtstof" of
- "het aanbrengen van systemen ter voorkoming of beheersing van ernstige ongevallen".

De m.e.r.-beoordelingsplicht houdt in dat het bevoegd gezag dient te beoordelen of een MER dient te worden opgesteld. Deze beoordeling hoeft niet plaats te vinden, omdat de initiatiefnemer in overleg met het bevoegd gezag op voorhand heeft besloten een MER op te stellen. Deze procedure is beschreven in hoofdstuk 7 van de Wet milieubeheer (zie figuur 3.3.1).

Wet milieubeheer (Stb. 1993-80)

Een milieueffectrapport moet tot stand worden gebracht overeenkomstig de bepalingen, waaronder inhoudelijke vereisten, van hoofdstuk 7 van de Wet milieubeheer (Wm) betreffende "Milieu-effectrapportage".

Algemene wet bestuursrecht (Stb. 1994-1)

Voor zover niet geregeld in de Algemene wet bestuursrecht, bevat de Wm ook regels met betrekking tot procedures voor vergunningen en coördinatie bij vergunning-aanvragen alsmede voor bedenkingen en beroep tegen besluiten.

Wet verontreiniging oppervlaktewateren (Stb. 1969-536)

Voor lozing van afvalstoffen, verontreinigde of schadelijke stoffen, in welke vorm ook, op oppervlaktewateren "door middel van een werk" moet men een vergunning hebben op grond van de Wet verontreiniging oppervlaktewateren (Wvo). "Werk" wordt in de literatuur en jurisprudentie geïnterpreteerd als een pijp, geul of iets dergelijks, als het maar niet verplaatsbaar is. Afvalstoffen, verontreinigde of schadelijke stoffen, in welke vorm ook, interpreteert de wetgever zo ruim dat elke mogelijke lozing eronder valt, thermische lozingen inbegrepen. De HFR is Wvo-plichtig vanwege de lozing van koelwater op de Noordzee. Daarnaast wordt conventioneel afvalwater geloosd op het riool alsmede licht radioactief afvalwater naar de zuiveringsinstallaties van DWT voor de gehele Onderzoekslocatie Petten (zie figuur 5.3.2).

Wet op de waterhuishouding *(Stb 1989-285)*
Volgens deze wet en meer in het bijzonder een uitvoeringsregeling van de Wet (Stb. 1990) is een vergunning vereist voor lozen van meer dan 5000 m^3 water per uur op rijkswater of voor het onttrekken van meer dan 100 m^3 water per uur. Aangezien de onttrekking door de HFR meer is dan deze 100 m^3 is de HFR vergunningplichtig ingevolge de Wwh.

3.2.2 Geldende vergunningen

De oorspronkelijke vergunning ingevolge de Hinderwet dateert van 17 oktober 1962, gevolgd door een groot aantal wijzigingsvergunningen. Ingevolge artikel 85 van de Kernenergiewet (Kew), worden de Hinderwetvergunningen sinds 1 januari 1970 geacht te zijn verleend op grond van de Kew. Sindsdien zijn daarop een aantal wijzigingsbeschikkingen ingevolge de Kew gevolgd. Een volledig overzicht van de thans geldende vergunningen is in de nieuwe vergunningaanvraag opgenomen.

Voorts zijn er onder meer vergunningen voor de inname en het lozen van koelwater.

3.2.3 Het beoordelingskader

3.2.3.1 Wettelijk kader Kernenergiewet

Het wettelijk kader is gebaseerd op de volgende drie principes van stralingsbescherming die zijn neergelegd in het Besluit stralingsbescherming (Bs)(Stb. 2001-397):

- *rechtvaardiging* (art. 4 Bs)
  Dit principe wil zeggen dat een activiteit pas wordt toegestaan als de sociale, economische en andere voordelen opwegen tegen de gezondheidsschade die er het gevolg van kan zijn. Bij de gezondheidsschade gaat het om de schade voor alle direct betrokkenen: werknemers en overige leden van de bevolking. Reeds vergunde activiteiten kunnen opnieuw worden getoetst wanneer een nieuwe vergunning wordt aangevraagd.
  In een ministeriële regeling (Stcrt. 2002-248) is, gelet op de criteria, van een aantal toepassingen aangegeven dat deze generiek gerechtvaardigd zijn. De HFR wordt met name genoemd onder categorie I.B.3 "Onderzoek en experimenten", categorie I.B.5 "Productie van onderzoeks- en therapeutische middelen", en onder categorie II.A.1 "Therapie" (Boron Neutron Capture Therapy). Deze categorie-aanduidingen, die overigens in de Kew-vergunningaanvraag dienen te worden aangegeven,

betekenen in beginsel dat de rechtvaardiging van de HFR-activiteiten niet (verder) hoeft te worden onderbouwd.

- *optimalisatie /ALARA* (art. 5 Bs)
  Optimalisatie wordt gezien als de invulling van het ALARA-beginsel (As Low As Reasonably Achievable). In dit kader wordt gestreefd naar zo laag als redelijkerwijs mogelijke emissies en blootstelling. Hierbij wordt rekening gehouden met maatschappelijke en economische factoren en met zowel milieuhygiënische als arbeidshygiënische aspecten. Voor de volledigheid wordt opgemerkt dat het ALARA-beginsel ook is opgenomen in de Wet milieubeheer (artikel 8.11 lid 3).
  Bij wijze van een globale invulling van ALARA kunnen door de overheid dosisbeperkingen voor specifieke activiteiten worden gesteld. Dosiswaarden zijn dus vooral bedoeld als hulpmiddel om ALARA toe te passen. In het risicobeleid van een aantal jaren geleden werd nog gesproken over een verwaarloosbaar individueel risico (VR) vanwege één bron van 10^{-8} per jaar. Tegenwoordig speelt het VR-niveau geen rol meer. In plaats daarvan wordt nu gesproken over het *secundair niveau*. Onder dit niveau wordt geen volledige risicoanalyse gevraagd, en heeft de ALARA-motivering geen hoge prioriteit.
- *dosislimieten* (art. 6, 48, 49 Bs; art. 18 Bkse)
  Dit zijn maximaal toegestane doses, die in geen geval overschreden mogen worden om een minimum beschermingsniveau te garanderen. In het Besluit stralingsbescherming is de dosislimiet bij normaal bedrijf voor omwonenden op 1 millisievert per jaar gesteld (0,1 millisievert per bron). Als arbeidslimiet voor blootgestelde werknemers geldt 20 millisievert per jaar. Rekenregels en de toetsings-methoden met betrekking tot de dosisniveau's (omgevingsequivalente, equivalente en effectieve doses) worden gegeven in de "ministeriële Regeling analyse gevolgen ioniserende straling voor het milieu" (Stcrt. 2002, 73)

3.2.3.2 Risiconormering ontwerp-ongevallen

Ontwerpongevallen zijn ongevallen waartegen een installatie ontworpen is. Voor de dosiscriteria voor ontwerpongevallen wordt, afhankelijk van de kans van optreden van een ontwerpongeval, het dosiscriterium vastgesteld via een getrapte schaal: hoe kleiner de kans, hoe groter de toelaatbare dosis.

In tabel 3.2.1 zijn de kansgebieden met de bijbehorende maximale dosiswaarden aangegeven Het kansgebied $F \geq 10^{-1}$ heeft betrekking op normaal bedrijf. De dosiscriteria zijn bedoeld om de kans op sterfte ten gevolge van lange-termijn effecten te beperken. Met lange-termijn effecten worden ziektes bedoeld zoals kanker die zich vele

jaren na de bestraling kunnen openbaren. Dit in tegenstelling tot korte-termijn effecten, die het gevolg zijn van een zodanige beschadiging van organen, dat deze niet of verminderd functioneren. Deze effecten treden op binnen enkele uren of weken. Ze worden echter alleen waargenomen indien een zekere (hoge) drempelwaarde wordt overschreden. Ter vermijding van korte-termijn-effecten ten gevolge van jodiumopname door de schildklier is in een aanvullend criterium de maximale schildklierdosis gesteld op 500 mSv.

Tabel 3.2.1 Dosiscriteria voor kinderen en volwassenen als functie van het kansgebied. Bron: Bkse art. 18-2

Gebeurtenis frequentie F (per jaar)			**Effectieve dosis H_{eff} (mSv)[1)]**	
			Volwassene	**Kind**
	F	$\geq 10^{-1}$	0,1	0,04
$10^{-1} >$	F	$\geq 10^{-2}$	1	0,4
$10^{-2} >$	F	$\geq 10^{-4}$	10	4
$10^{-4} >$	F	$\geq 10^{-6}$	100	40

1) Ter vermijding van korte-termijn effecten geldt in alle gevallen een dosiscriterium van 500 mSv voor de schildklier (H_{th})

3.2.3.3 Risiconormering ernstige ongevallen

Bij de vergunningverlening wordt getoetst op normen ten aanzien van het zogenaamde individueel risico en het groepsrisico.

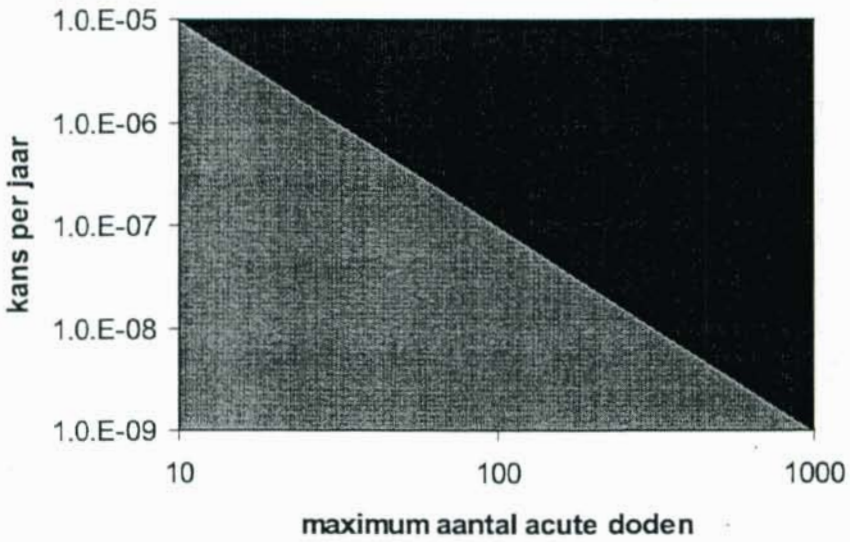
Individueel risico

Uitgangspunt voor de bepaling van het individueel risico (IR) is de multi-functionaliteit van de omgeving van een bron. Een bedrijf mag door zijn aanwezigheid geen extra belemmeringen opleveren voor de realistisch te achten gebruiksmogelijkheden (Stb. 1996-44). Het maximaal toelaatbaar (toegevoegd) individueel risico voor leden van de bevolking bedraagt voor alle stralingsbronnen tezamen 10^{-5} per jaar en vanwege één bron 10^{-6} per jaar. Deze risico's drukken de kans uit dat een persoon ten gevolge van de ongevalsemissies van een bron direct of op latere leeftijd komt te overlijden. Hierbij wordt steeds de emissie over één jaar beschouwd en wordt de toegevoegde kans op overlijden ten gevolge van dezelfde emissie in de rest van het leven van deze persoon toegerekend aan datzelfde jaar. Zo komt bijvoorbeeld een risico van 10^{-6} overeen met

een kans van één op de miljoen dat een persoon ten gevolge van de jaaremissie van een bron gedurende zijn verdere leven komt te overlijden. Om de hoogte van het risico van een bron te berekenen dient een risico-analyse te worden gemaakt.

Groepsrisico

Bij grote *ongevallen* waarbij vele slachtoffers direct tijdens het ongeval of kort daarna kunnen vallen, wordt bovendien rekening gehouden met de maatschappelijke ontwrichting die dit teweeg zou kunnen brengen. Hieraan is vorm gegeven door middel van het zogenaamde groepsrisico. Het criterium voor het groepsrisico beoogt maatschappelijke ontwrichting te voorkomen door te stellen dat de kans op ongevallen met meer dan tien acute doden ten hoogste 10^{-5} per jaar mag zijn. Voor meer dan 100 acute doden is de maximaal toelaatbare kans gesteld op 10^{-7}. Een factor 10 meer acute doden levert dus een toelaatbare kans die een factor 100 lager ligt, enzovoort (zie figuur 3.2.1). Het verwaarloosbare niveau van het groepsrisico is hier gesteld op een factor 100 lager dan het maximaal toelaatbare niveau.



Figuur 3.2.1 Grenzen aan het toelaatbare groepsrisico. Het gebied rechtsboven is niet toelaatbaar op grond van het Nederlandse risicobeleid

3.2.3.4 Veiligheidsnormen en -richtlijnen (IAEA)

Sinds 1974 onderhoudt het Internationale Atoomenergie Agentschap (IAEA) een stelsel van veiligheidsnormen en richtlijnen voor *kernenergiecentrales* (serie nr. 50), de zogenaamde Codes and Safety Guides. Het IAEA beveelt het gebruik van deze Codes en Safety Guides in de lidstaten aan als middel ter verzekering van een veilige toepassing van kernenergie. De Codes beschrijven de hoofddoelstellingen en voorwaarden waaraan moet worden voldaan en de Safety Guides geven mogelijke manieren van uitvoering weer. In de afgelopen jaren zijn door de Nederlandse overheid de voorschriften in de Codes - deels geamendeerd - vastgesteld en gepubliceerd in de reeks Nucleaire Veiligheidsregels (NVR)

Vanaf 1992 heeft de IAEA een nieuwe serie richtlijnen (nr. 35) gepubliceerd die specifiek betrekking hebben op *onderzoeksreactoren*. Deze richtlijnen zijn te beschouwen als het belangrijkste toetsingskader voor de veiligheidsherevaluatie. Voor zover toepasbaar worden daarnaast aan enkele veiligheidsrichtlijnengetoetst. Het betreft met name (JRC, 1997):

- IAEA Safety Series No. 35-G 1. Safety Assessment of Research Reactors and Preparation of the Safety Analysis Report. 1994
- IAEA Safety Series No. 35-G 2. Safety in the Utilization and Modification of Research Reactors. 1994
- IAEA Safety Series No. 35-S 1.Code on the Safety of Nuclear Research Reactors: Design. 1992
- IAEA Safety Series No. 35-S 2. Code on the Safety of Nuclear Research Reactors: Operation. 1992
- IAEA Safety Series No. 35-G 6 (Draft). Operational Limits and Conditions of Research Reactors. August, 1997
- IAEA (Draft). Code of Conduct on the Safety of Research Reactors. Draft accepted by IAEA open-ended meeting of 19 December 2002.

Voor zover relevant wordt getoetst aan:

- Nucleaire Veiligheidsregels NVR-1.1. Safety Code for Nuclear Power Plant Design. (Adaption of the IAEA Code SS 50-C-D). Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid en Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Den Haag 1989
- Nucleaire Veiligheidsregels NVR-1.2. Safety Code for Nuclear Power Plant Operation (Adaption of the IAEA Code SS 50-C-O). Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid en Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Den Haag 1989.

- NVR-1.3. Nucleaire veiligheidsregel, Hoofdregel kwaliteitsborging voor de veiligheid van kerncentrales. Bewerking van IAEA Code Safety Series 50-C-QA (Rev.1), Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid en Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag 1989

De gewenste toetsing aan de stand der techniek voor de HFR is vastgelegd in het document "Reference Licensing Basis for a Test Reactor" (GCO, 1999).

3.2.4 **Koelwaterrichtlijnen**

De koeling van het reactorvat vindt plaats via koelwater dat wordt onttrokken uit het Noord-Hollands kanaal en na de opwarming wordt geloosd in de Noordzee. De (voorlopige) richtlijnen van de Commissie Koelwater Normen ten aanzien van lozingen van koelwater en thermisch verontreinigd proceswater geven het volgende aan (CKN, 1983):

- de temperatuur van het koelwater in het koelsysteem (tevens maximum lozingstemperatuur) mag maximaal 30 °C bedragen
- de richtlijn geeft ook aanbevelingen voor het temperatuurverschil tussen uitlaat en inlaat. Aangezien dergelijke eisen niet in de vergunning voor de HFRstaan, wordt daar hier niet op ingegaan

In het algemeen wordt dus de maximale lozingstemperatuur gesteld op 30 °C. Slechts een klein aantal koelwaterlozers heeft toestemming, vaak op basis van historische gronden, om een hogere lozingstemperatuur te hanteren. Dit geldt ook voor de HFR. In de uit 1982 daterende Wvo-vergunning is een maximum lozingstemperatuur van 34°C opgenomen (alsmede een maximum hoeveelheid van 2500 m^3 per uur). Omtrent het temperatuurverschil is in de vigerende WVO-vergunning geen eis opgenomen.

Voor de goede orde wordt opgemerkt dat het koelwater van de reactor afkomstig is uit een secundair systeem, dat via een warmtewisselaar door het ingenomen koelwater wordt gekoeld (zie figuur 4.2.6). Met het geloosde koelwater worden bijgevolg geen radioactieve stoffen worden geloosd.

3.2.5 Ruimtelijk, natuur- en landschapsbeleid

De HFR bevindt zich in het smalle duingebied tussen de Westerduinweg en de kustlijn op circa 1 km ten zuidwesten van St. Maartenszee en op circa 2,5 km ten noordoosten het dorp Petten in de provincie Noord-Holland (zie figuur 4.2.1).

Een groot deel van het duingebied van IJmuiden tot aan Den Helder behoort tot de (provinciale) Ecologische Hoofd Structuur EHS (SGR, 1993) (Provincie Noord-Holland, 2002). Dit is een stelsel van bestaande natuurgebieden, te ontwikkelen natuurgebieden en verbindingszones. Delen zijn aangewezen als natuurmonument c.q. aangemeld als beschermd gebied op grond van de Europese Habitatrichtlijn en de Vogelrichtlijn. Dit geldt voor de duinen van Den Helder tot Callantsoog en van Schoorl en Bergen (Habitat-gebied) en voor het Zwanenwater (Habitat- en Vogelrichtlijngebied). Voorts is het Zwanenwater aangewezen als stiltegebied. Volledigheidshalve dient te worden aangegeven dat ook de Noordzee het beschermingsregime van de EHS en de EU-richtlijnen geniet.

Voor de goede orde wordt er op gewezen dat de locatie van de HFR zelf geen deel uitmaakt van beschermd gebied. Op het terrein van de onderzoekslocatie is het Bestemmingsplan "Onderzoeks- en bedrijfsterrein Petten" uit 1996 van toepassing (Gemeente Zijpe, 1996). Eventuele aanvragen om een bouwvergunning worden aan dit bestemmingsplan getoetst.

3.2.6 Overige overheidsvoorschriften

Volgens de Kew (art. 40) berust de algemene zorgplicht voor de voorbereiding en coördinatie van *ongevallenbestrijding* met betrekking tot zogeheten categorie A-objecten bij de Minister van VROM en de minister(s) wie het aangaat. De Minister van VROM vervult een coördinerende rol bij de kernongevallenbestrijding. De Minister van Binnenlandse Zaken heeft coördinerende taken ten aanzien van de rampbestrijding en is op rijksniveau verantwoordelijk voor de toepassing van de Wet rampen en zware ongevallen (Stb. 1993-503). Art. 41 van de Kew vormt de basis voor de implementatie van het Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding (NPK) in de planfiguren van de Wet rampen en zware ongevallen. In de gemeentelijke ramp- en rampbestrijdings-plannen en in de provinciale coördinatieplannen dient op basis van dit artikel aandacht besteed te worden aan de kernongevallenbestrijding zoals neergelegd in het NPK. Dit geldt zowel voor ongevallen met categorie A-objecten (het accent ligt voor de lokale overheden op maatregelen en voorschriften ter bestrijding) als voor ongevallen met categorie B-objecten (met het accent op coördinatie en bestrijding). De gevolgen van een ongeval bij de HFR blijven naar verwachting binnen de gemeentegrens, zodat het

rampbestrijdingsplan voor de locatie afgestemd is op een categorie B object. Het Rampbestrijdingsplan ten behoeve van de onderzoekslocatie Petten dateert van mei 2002 (Gemeente Zijpe, 2002).

De Beveiligingsrichtlijnen kerninstallaties van het Ministerie van EZ bevatten richtlijnen voor een aantal beveiligingsmaatregelen. Het gaat hierbij om materiële, organisatorische en personele beveiliging. Deze richtlijnen zijn voor de HFR van toepassing. Voor de ramp- en noodplannen wordt verwezen naar paragraaf 4.6.

3.2.7 Beleid inzake radioactief afval

In het algemene afvalbeleid is als uitgangspunt neergelegd dat de opslag of stort van niet-verwerkbaar afval moet voldoen aan de zogenaamde IBC-criteria (Isoleren, Beheersen en Controleren). Een bergingswijze die niet aan deze criteria voldoet wordt afgewezen.

Het Nederlandse overheidsbeleid heeft bepaald dat de opslag van uit Nederland afkomstig radioactief afval in Nederland moet plaatsvinden door één centrale organisatie op één locatie (Tweede Kamer, 1984). Deze organisatie is de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) en haar opslaglocatie bevindt zich in de Gemeente Borsele. De uitgangspunten van de nota zijn nog onverkort geldig. Het radioactieve afval van de HFR wordt bij COVRA opgeslagen waarmee het voldoet aan de bovengenoemde uitgangspunten.

De regering heeft in 1993 besloten dat opslag van radioactief afval in de diepe ondergrond alleen kan worden toegelaten mits het afval terugneembaar is (Tweede Kamer, 1993). In 2001 heeft de Commissie Opberging Radioactief Afval (CORA) de terugneembare berging in de ondergrond opnieuw beoordeeld (CORA, 2001). Dit heeft niet geleid tot een nieuw regeringsstandpunt, inhoudende dat voorlopig wordt gekozen voor langdurige bovengrondse opslag van al het in Nederland gegenereerde radioactief afval bij COVRA (Tweede Kamer, 2002). Bij COVRA is recent een gebouw voor opslag van hoogradioactief afval (HABOG) gereed gekomen, waarin onder meer gebruikte splijtstof van de HFR zal worden opgeslagen.

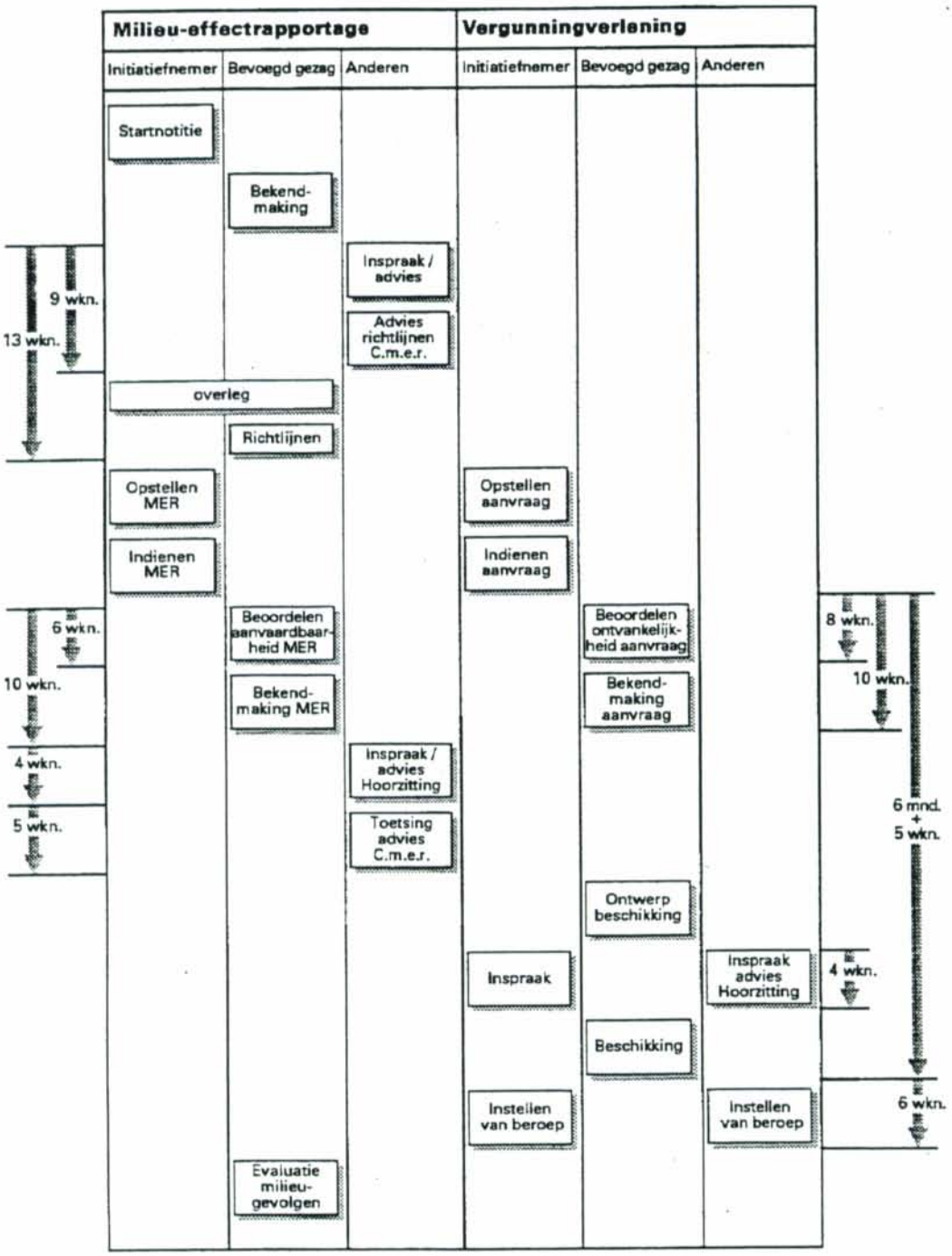
3.3 Besluitvorming

Dit MER is opgesteld ten behoeve van de te nemen besluiten inzake de revisievergunning voor de Kew. Er is geen afzonderlijke vergunning Wet milieubeheer noodzakelijk, omdat alle activiteiten, uitgezonderd de (niet-radiologische) lozingen naar het oppervlaktewater, worden gereguleerd in de Kew-vergunning.

De Kew-vergunning wordt aangevraagd bij de bevoegde ministers van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), van Economische Zaken (EZ), en van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW). De ministers beslissen in overeenstemming met de ministers die het mede aangaat zoals die van Verkeer en Waterstaat (V&W), Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV) en Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS).

De procedures voor vergunningverlening krachtens de Kew zijn beschreven in de Algemene wet bestuursrecht en de Wet milieubeheer. De m.e.r.-procedure is geïntegreerd in de vergunningprocedure (zie figuur 3.3.1). Dat wil zeggen dat de vergunningaanvraag en het MER tegelijk worden ingediend en ook voor het overige overeenkomstig de Wet milieubeheer gecoördineerd worden voorbereid en behandeld. Ten aanzien van alle besluiten over deze vergunningen geldt dat deze voorafgegaan worden door inspraak- en adviesprocedures, terwijl tegen de besluiten beroep mogelijk is.

Na afgifte van de beschikking (het verlenen van de vergunning door het Bevoegd Gezag) bestaat de mogelijkheid tot beroep bij de Raad van State.



Figuur 3.3.1 Schema koppeling m.e.r. aan vergunningsprocedure Kew (Wet milieubeheer) / Algemene wet bestuursrecht)

4 VOORGENOMEN ACTIVITEIT EN ALTERNATIEVEN

4.1 Voorgenomen activiteit

In dit hoofdstuk wordt in paragraaf 4.2 de huidige technische installatie van de HFR beschreven. Vervolgens worden in de paragrafen 4.3 en 4.4 de voorgenomen wijzigingen van de splijtstof en van de veiligheidsmaatregelen gepresenteerd. De huidige emissies, de noodplannen en de conventionele milieuaspecten staan in de paragrafen 4.5-4.7. In paragraaf 4.8 worden tenslotte de alternatieven besproken.

De milieugevolgen in de huidige en de toekomstige situatie respectievelijk van de alternatieven, worden beschreven in hoofdstuk 5 respectievelijk 6.

In tabel 4.1.1 zijn de voorgenomen activiteit en de alternatieven in schemavorm aangegeven. De voorgenomen activiteit en de alternatieven worden in de volgende paragrafen nader onderbouwd en uitgewerkt.

Tabel 4.1.1 Overzicht van de voorgenomen activiteit en de alternatieven

Alternatieven	**omschrijving**	**paragraaf**
Voorgenomen activiteit	bedrijven HFR met laagverrijkte splijtstof en aanvullende veiligheidsmaatregelen	4.2-4.7
Nulalternatief	bedrijven van de HFR met de huidige, hoogverrijkte splijtstof en zonder aanvullende veiligheids-maatregelen	4.2 en 4.8.1
Splijtstof-alternatieven	alternatieven voor LEU	4.8.2
Veiligheids-alternatieven	Alternatieve uitvoeringen voor de veiligheidsmaatregelen conform de paragraaf 4.4	4.8.3
Verdergaande veiligheids-maatregelen	Aanvulling op de geplande veiligheidsmaatregelen	4.8.4
Warmtebenutting koelwater	Inzet van het koelwater van de HFR voor verschillende nuttige toepassingen	4.8.5
meest milieuvriendelijke alternatief	combinatie van de meest milieuvriendelijke uitvoeringsalternatieven	4.8.6

4.2 Hoge Flux Reactor

4.2.1 Algemene beschrijving van de huidige installatie

De reactor werd op 9 november 1961 voor het eerst in bedrijf genomen, waarna een bedrijfsperiode volgde met een maximaal thermisch vermogen van 20 MW. Vervolgens werd het bedrijfsvermogen verhoogd tot respectievelijk 30 MW en vanaf 1970 tot 45 MW. De vergunning staat 50 MW toe.

In de Hoge Flux Reactor vinden met behulp van neutronen bestraling onderzoek, ontwikkeling en dienstverlening plaats op het gebied van:

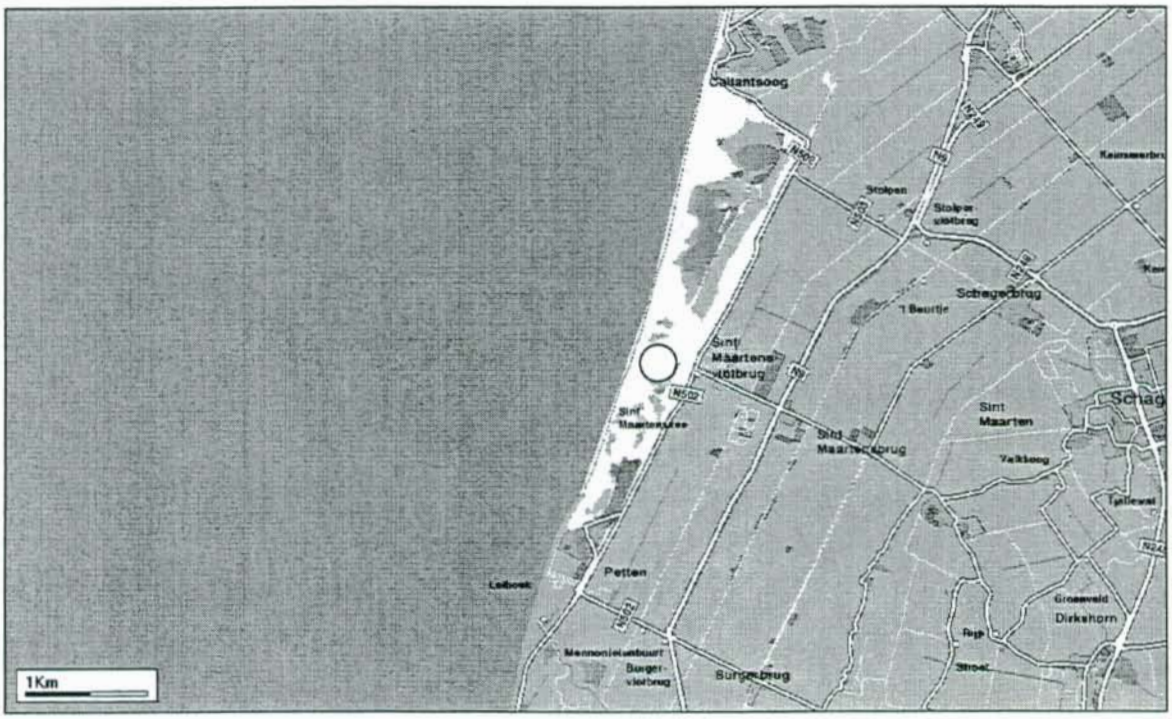
- beproeving van materiaalmonsters, splijtstoffen en componenten van in bedrijf zijnde of nog te bouwen nucleaire installaties
- kernfysica
- fysica van de vaste stof
- productie van radio-isotopen voor medische (inclusief pijnbestrijding) en industriële toepassingen
- radiotherapie (bestraling van patiënten en proefdieren)
- radiochemie
- neutrografie (niet destructief materiaalonderzoek)
- radiobiologie.

Ter toelichting op de medische radio-isotopen kan het volgende worden gezegd. Dit zijn radioactieve stoffen die in ziekenhuizen gebruikt worden voor diagnose, pijnbestrijding en behandeling. Ieder jaar worden in Europese ziekenhuizen circa 12 miljoen medische handelingen verricht met behulp van deze radio-isotopen, waarvan de HFR circa 60% produceert. De ontwikkeling van nucleaire geneesmiddelen is nog volop gaande. In dit kader worden allerlei proefbestralingen in de HFR uitgevoerd.

Het gebruik van de HFR voor technologisch onderzoek staat in nauwe relatie tot onderzoek- en ontwikkelingsprogramma's van:

- nationale onderzoekcentra in Europa en centra van landen buiten Europa
- projecten van het Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek
- het IAEA te Wenen
- de industrie, zowel nationaal als internationaal.

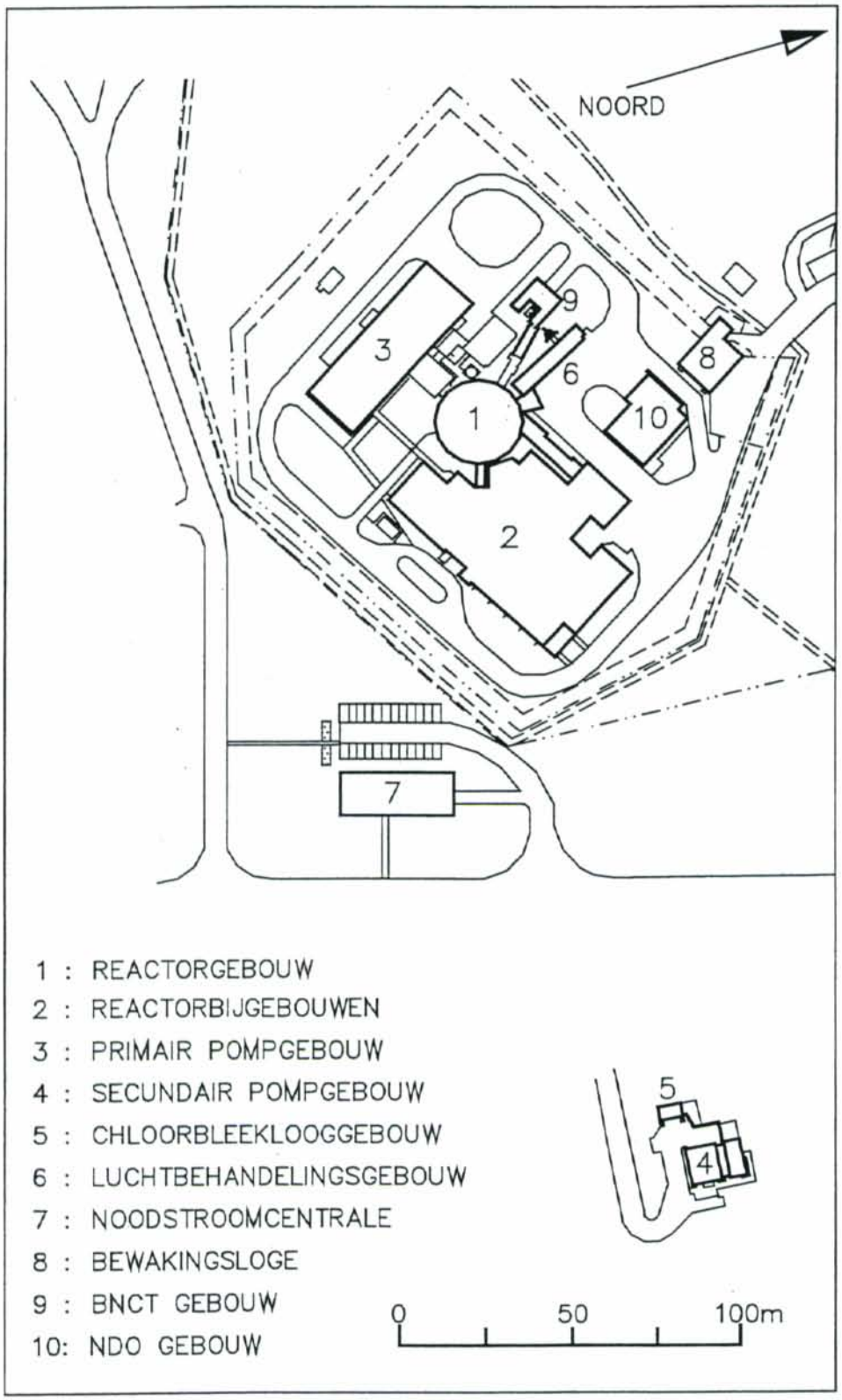
Het gebouwencomplex van de HFR is gelegen op het terrein van het GCO te Petten in de provincie Noord-Holland op ongeveer 50 km ten noorden van Amsterdam. De reactor is gelegen op ca. 2,5 km ten noorden van het dorp Petten (zie figuur 4.2.1).



Figuur 4.2.1 Situering van de HFR

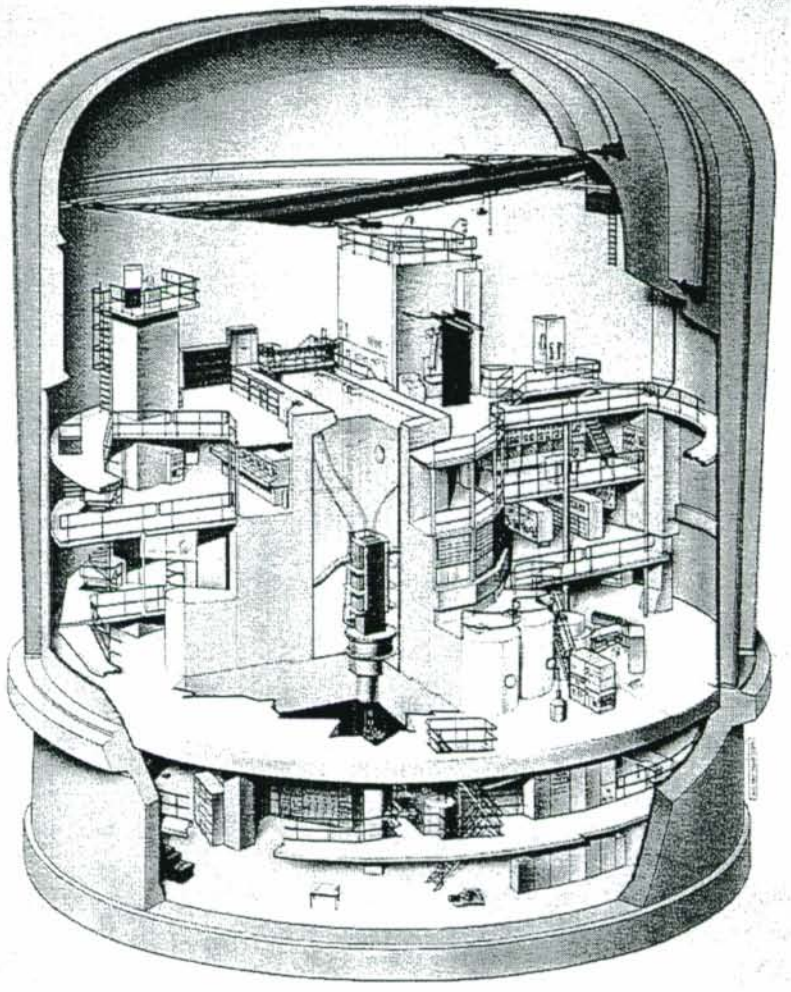
Het HFR-terrein, gesitueerd aan de noordzijde van de onderzoekslocatie Petten, ligt in het duingebied dat ter plaatse ongeveer 1 km breed is en dat de aangrenzende akkers scheidt van de zee. De duinen lopen parallel aan de kustlijn en hebben ter plaatse maximaal een hoogte van ongeveer 18,5 m. De plattegrond van het terrein is weergegeven in figuur 4.2.2. De exacte grenzen van de inrichting staan in de vergunningaanvraag.

De reactor en de bassins zijn ondergebracht in een stalen koepelvormig gebouw, het reactorgebouw (zie figuur 4.2.3), dat de nucleaire systemen isoleert van de omgeving. De warmtewisselaars en pompen van de koelsystemen zijn ondergebracht in het naastgelegen primaire pompengebouw. Figuur 4.2.4 geeft een meer gedetailleerd beeld van de reactor.

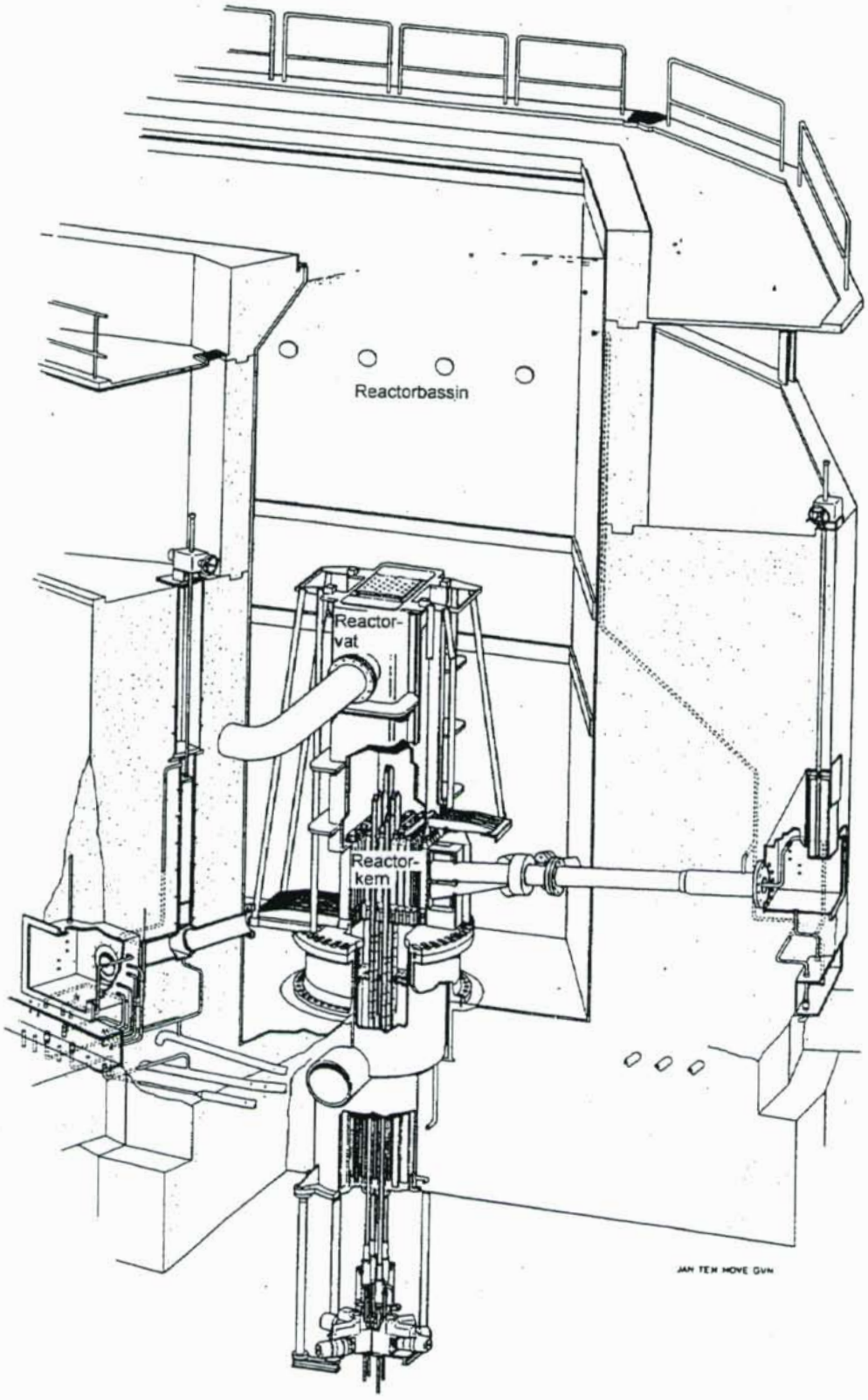


1 : REACTORGEBOUW
2 : REACTORBIJGEBOUWEN
3 : PRIMAIR POMPGEBOUW
4 : SECUNDAIR POMPGEBOUW
5 : CHLOORBLEEKLOOGGEBOUW
6 : LUCHTBEHANDELINGSGEBOUW
7 : NOODSTROOMCENTRALE
8 : BEWAKINGSLOGE
9 : BNCT GEBOUW
10: NDO GEBOUW

Figuur 4.2.2 Plattegrond van de HFR



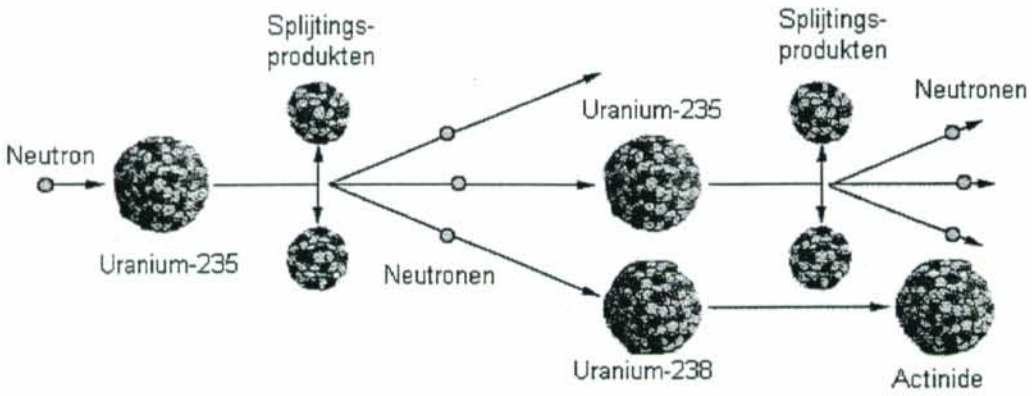
Figuur 4.2.3 Doorsnede door het reactorgebouw



Figuur 4.2.4 Doorsnede door reactorbassin en reactorvat

4.2.2 Kernsplijtingsproces

Als brandstof voor een kernreactor dient met name uranium. Door middel van het zogenaamde kernsplijtingsproces wordt uit dit uranium energie gewonnen. Dit proces wordt hier kort toegelicht. Alle materie is opgebouwd uit atomen. Dit zijn zeer kleine deeltjes die bestaan uit een kern waaromheen een aantal nog kleinere deeltjes, elektronen, zwermt. De atoomkern bestaat uit een aantal deeltjes, te weten neutronen en protonen. In de natuur voorkomend uranium bestaat voornamelijk uit een mengsel van uranium-238 en uranium-235[1]. Voor het splijtingsproces is in een reactortype als de HFR alleen uranium-235 bruikbaar.



Figuur 4.2.5 Het kernsplijtingsproces

Wordt een uranium-235 kern getroffen door een neutron dan kan dit neutron ingevangen worden in de kern (zie figuur 4.2.5), als gevolg waarvan de kern uiteenvalt ("splijt") in twee kleinere kernen. Er ontstaan dan twee lichtere atomen, zogenaamde splijtingsproducten. Bij het splijten van een kern komen ook enkele neutronen en een hoeveelheid energie vrij. De energie wordt omgezet in warmte. De vrijgekomen neutronen kunnen op hun beurt weer kernsplijtingen bij andere uraniumatomen veroorzaken. Op deze wijze ontstaat een kettingreactie.

---

[1] het nummer slaat op het atoomgewicht, dat gelijk is aan de som van neutronen en protonen in de kern

Ook een uranium-238 kern kan een neutron invangen. Deze splijt hierdoor echter niet zodat juist een zwaarder element, actinide genoemd, wordt gevormd.

Als er evenveel neutronen worden gevormd als er weer verdwijnen, is sprake van een continu en stabiel splijtingsproces. De reactor is dan kritisch. De neutronen verdwijnen doordat ze worden ingevangen in een uraniumkern maar ook door invangst in andere materialen (zoals experimenten in de kern) of doordat ze uit de kern treden. Deze uit de kern tredende neutronen worden gebruikt voor bestralingen, onderzoek en experimenten buiten de reactor.

Om de kettingreactie te regelen wordt het overschot aan neutronen dat bij de kernsplijtingen vrijkomt weggevangen. Hiervoor worden regelstaven gebruikt, bestaande uit materialen die neutronen absorberen. Deze regelstaven fungeren als een soort spons. De regelstaven die in de HFR worden gebruikt hebben als "spons" de stof cadmium. Door het op en neer bewegen van de regelstaven worden minder of meer neutronen ingevangen, waardoor het aantal splijtingen per seconde toe- of afneemt en daardoor de hoeveelheid geproduceerde warmte toe- of afneemt. Bij afschakeling van de reactor worden door het inbrengen van de regelstaven zoveel vrije neutronen weggenomen dat het overblijvende aantal te gering is om een continu splijtingsproces in stand te houden. Het proces stopt dan in zeer korte tijd doordat de reactor onderkritisch wordt.

Daarnaast wordt in de splijtstofelementen het zogenoemde slijtende neutronengif toegepast. Dit neutronengif vangt eveneens neutronen weg. Bij een nieuw splijtstofelement worden relatief veel neutronen weggevangen, maar dit neemt gedurende het in bedrijf zijn van een splijtstofelement af. Door het gif wordt de overreactiviteit van nieuwe splijtstof-elementen in de reactorkern beperkt. Doordat hiermee de opbrand van de splijtstof wordt gecompenseerd, wordt ook de benodigde regelstaafbeweging beperkt.

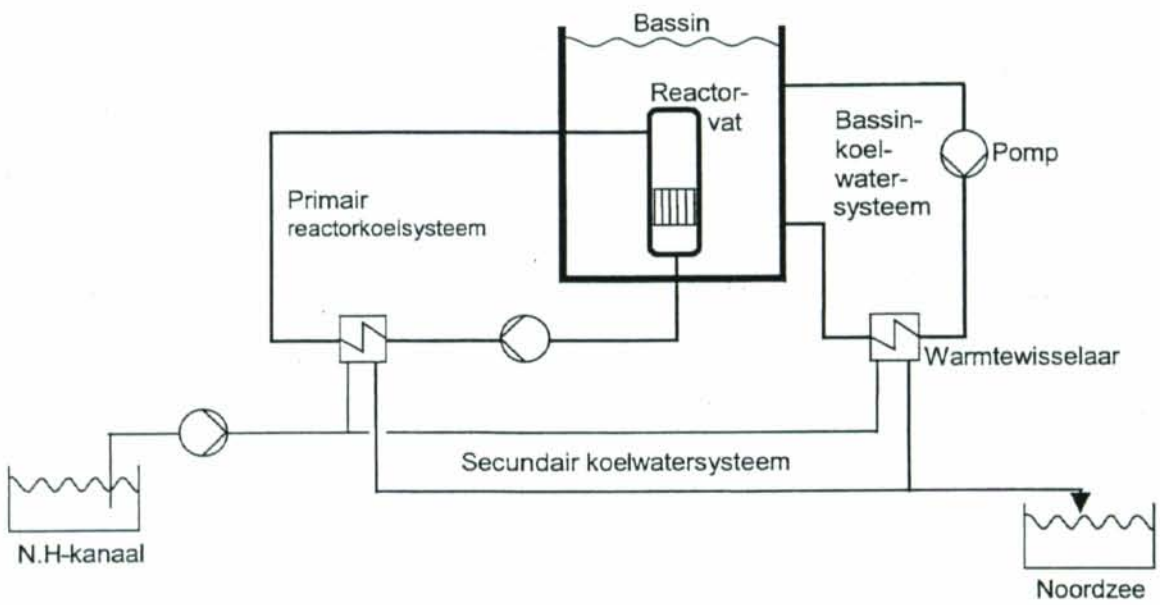
Om de neutronen geschikt te maken voor het splijtingsproces moeten ze worden afgeremd door een zogenaamde moderator. Dit gebeurt bij de HFR met behulp van gedemineraliseerd water. Dit water dient tevens voor de afvoer van de opgewekte warmte.

Het gehalte van uranium-235 bedraagt in het in de natuur voorkomende uranium circa 0,7%. Dit gehalte is te laag om in een reactor zoals de HFR een continu splijtingsproces te kunnen bewerkstelligen en wordt daarom kunstmatig verhoogd. Dit wordt het verrijken van de splijtstof genoemd. Het procentuele massa-aandeel uranium-235 van de totale uranium-inhoud wordt de verrijkingsgraad genoemd. Momenteel bedraagt de verrijkingsgraad bij de HFR ruim 90%. Een belangrijke voorgenomen wijziging betreft het verlagen hiervan tot kleiner dan 20%.

De bij het kernsplijtingsproces gevormde splijtingsproducten en actiniden zijn radioactief en vervallen onder uitzending van straling uiteindelijk naar stabiele, niet-radioactieve atomen. Dit wordt radioactief verval genoemd. Hierbij komt ook warmte vrij (vervalwarmte), echter veel minder dan bij de kernsplijting zelf.

4.2.3 **De installatie**

De HFR behoort tot het type reactor waarin gedemineraliseerd water wordt gebruikt als koelmiddel en moderator[2]. Het nominale reactorbedrijfsvermogen bedraagt momenteel 45 MW. Het maximaal vergunde thermische vermogen is 50 MW. In de reactorkern komen door middel van het kernsplijtingsproces de benodigde neutronen vrij. Hierbij wordt warmte geproduceerd. De reactorkern is in een reactorvat geplaatst, dat gekoppeld is aan het primaire reactorkoel-systeem ten behoeve van de afvoer van de warmte (zie figuur 4.2.6). Het reactorkoelsysteem voert met behulp van pompen water door de kern. Dit water wordt door middel van warmtewisselaars gekoeld door het secundaire koelwater-systeem, dat koelwater uit het Noord-Hollands kanaal pompt. Het koelwater uit het kanaal wordt, na opwarming in de warmtewisselaars, naar zee afgevoerd. Het water van het reactorkoelsysteem en van het secundair koelwatersysteem blijven hierbij strikt gescheiden.



Figuur 4.2.6 Principeschema van de koelsystemen

[2] neutronen vertrager

Het reactorvat is geplaatst in een bassin gevuld met water (zie figuren 4.2.4 en 4.2.6). Hierdoor wordt de in de reactor vrijkomende straling afgeschermd en worden het vat en de in de bassins (zie paragraaf 4.2.11) opgeslagen elementen gekoeld. Het bassinwater is gescheiden van het water in het reactorkoelsysteem en wordt gekoeld met het bassinkoelwatersysteem dat op zijn beurt ook middels een warmtewisselaar wordt gekoeld met water uit het Noord-Hollands kanaal.

4.2.4 **Bedrijfsvoering**

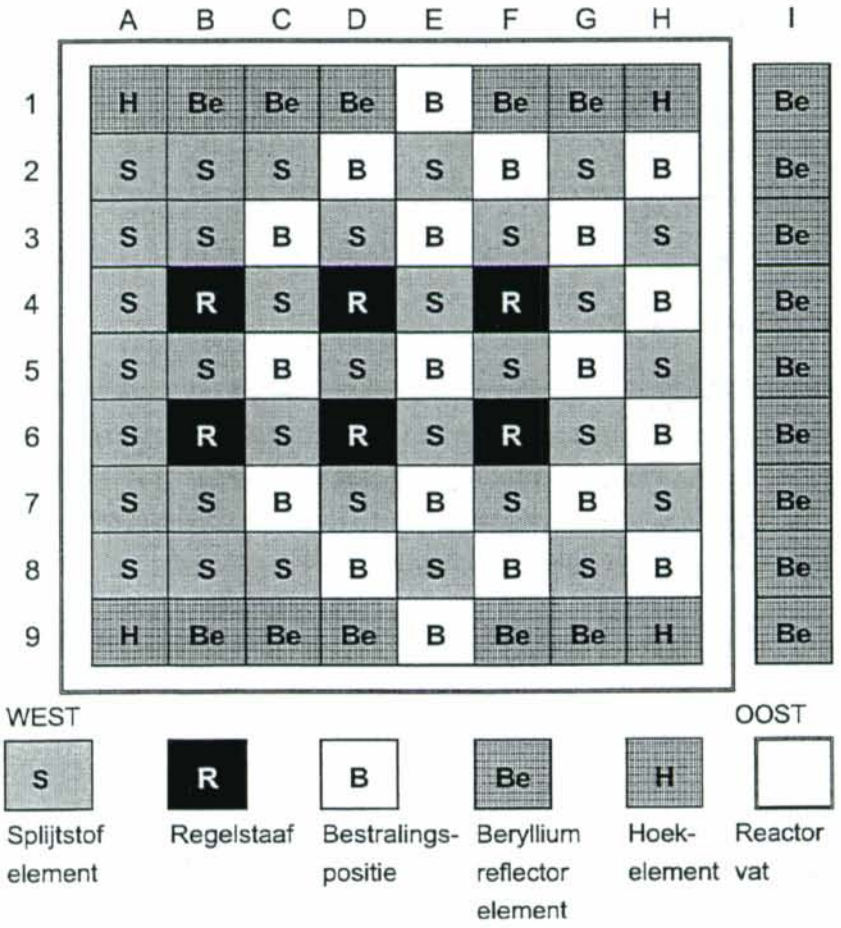
De reactor wordt normaal automatisch en bij specifieke acties handmatig bediend vanuit de regelzaal. Het proces wordt beveiligd door het reactorbeveiligingsysteem, dat ingrijpt als bepaalde veiligheidslimieten worden onder- of overschreden.

Momenteel bedraagt de reactorcyclusduur gemiddeld circa 28 dagen, waarvan de reactor bijna 25 dagen op nominaal vermogen in bedrijf is en ruim drie dagen als reactorstopperiode beschikbaar zijn. Deze stopperiodes worden gebruikt voor het verwisselen en verversen van splijtstofelementen en "experimenten" en het plegen van onderhoud. Naast de korte reactorstops zijn er per jaar normaal twee langere stopperioden. De langere reactorstops vallen in het voorjaar en in de zomer en worden benut ten behoeve van periodieke inspecties, normaal en groot onderhoud en modificaties. Gemiddeld over het jaar bedraagt de reactorbeschikbaarheid 75%.

Nadat de splijtstof van de elementen grotendeels is verbruikt (opgebrand), worden de elementen in een opslagbassin geplaatst en -na een afkoelperiode van minimaal 6 maanden- getransporteerd naar de COVRA in Borsele of een andere verwerker. Deze transporten worden in aparte transportvergunningen geregeld.

4.2.5 Reactorkern

De reactorkern bestaat uit 72 (8 x 9) kerncomponenten, die zich binnen het reactorvat bevinden, zie figuur 4.2.7.



Figuur 4.2.7 Voorbeeld van een kernsamenstelling

De binnenafmeting van het reactorvat bedraagt ter hoogte van de reactorkern circa 62 cm bij 73 cm. In de kern zijn normaal de volgende componenten geplaatst:

- splijtstofelementen (circa 33)
- regelstaven (normaal 6, max. 8)
- reflectorelementen van beryllium (circa 19)
- hoekelementen (met beryllium vulplug) (4)
- (aluminium) vulelementen voor bestralingsposities (ca. 10 in de kern en 9 daarbuiten).

Buiten het reactorvat bevindt zich aan de oostzijde nog een rij met negen posities waarin reflectorelementen of elementen met bestralingsexperimenten worden geplaatst, al naar gelang de experimentele behoefte.

De opbouw van de reactorkern uit de genoemde componenten kan verschillen van het voorbeeld in figuur 4.2.7. Hierbij wordt echter altijd voldaan aan de vergunningslimieten en -voorwaarden die hiervoor gesteld zijn, onder meer op het gebied van de reactiviteit en de koeling.

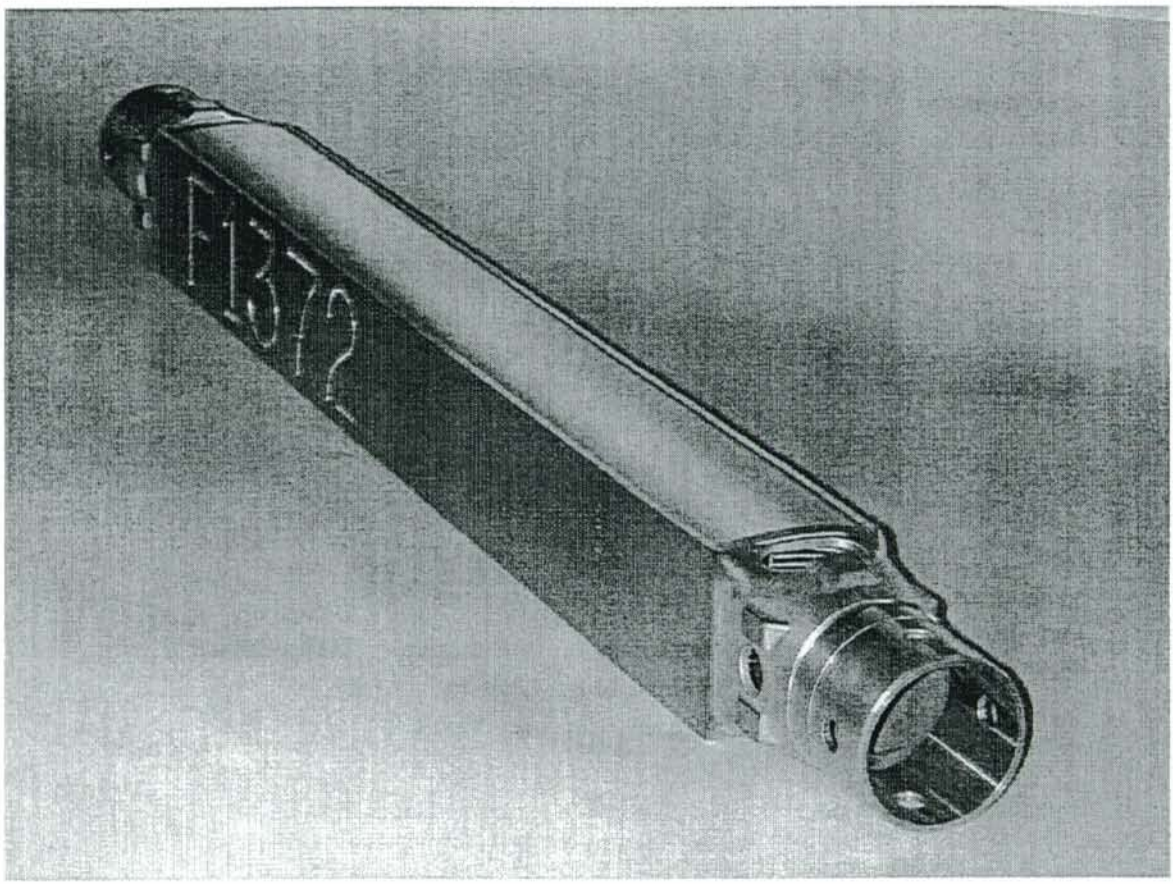
De verschillende kerncomponenten worden in de volgende paragrafen kort behandeld.

4.2.6 **Splijtstofelementen**

Een splijtstofelement heeft een dwarsdoorsnede van circa 8 bij 8 cm^2, een totale lengte van ruim 92 cm en bevat 23 parallelle splijtstofplaten (zie voor het splijtstofelement figuur 4.2.8 en voor de platen het splijtstofdeel in figuur 4.2.9) [3]. Iedere splijtstofplaat heeft een lengte van ruim 62 cm. De splijtstof in de plaat bestaat uit een uranium-aluminium legering in een aluminium matrix met aan weerszijden aluminium bekledingsplaten.

De verrijking van het uranium (met uranium-235) is tenminste 89% (High Enriched Uranium, HEU). De twee vlakke zijplaten van het splijtstofelement (voorzien van identificatienummer) ondersteunen de splijtstofplaten en bevatten slijtend neutronengif.

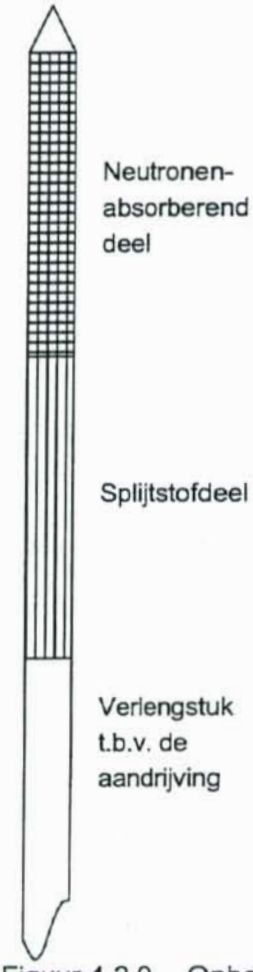
[3] De vermelde afmetingen in deze paragraaf zijn ter wille van de eenvoud afgerond.

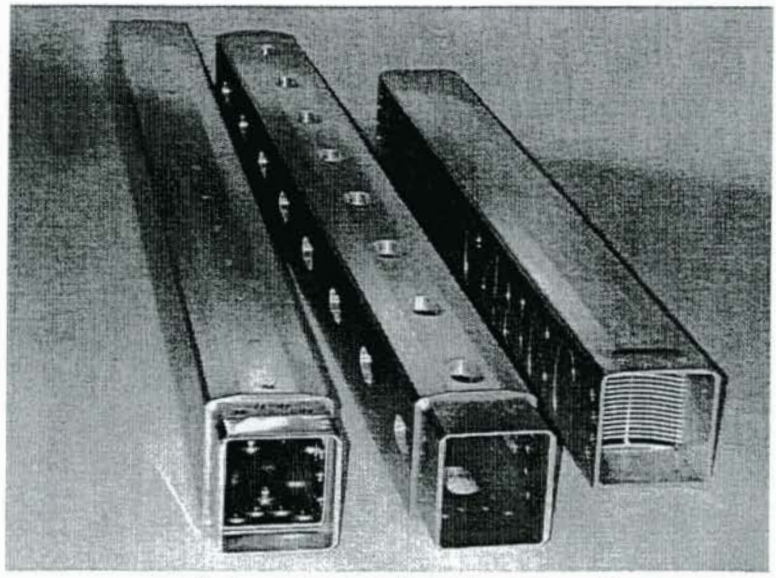


Figuur 4.2.8 HEU-splijtstofelement

4.2.7 **Regelstaven**

De regelstaven dienen om het aantal vrije neutronen te regelen. Zij bestaan uit drie gedeelten (zie figuur 4.2.9). Het bovenste gedeelte is voorzien van neutronenabsorberend cadmium. Het inbrengen van dit deel in de kern door het omlaag bewegen van een regelstaaf, verlaagt het vermogen van de reactor. Daaronder bevindt zich een gedeelte met splijtstof (vergelijkbaar met een splijtstofelement maar met minder splijtstof). Het inbrengen van dit deel in de kern (en het daarmee tegelijkertijd uit de kern halen van het cadmium) verhoogt het vermogen van de reactor. Onder dit deel bevindt zich een aluminium verlengstuk dat gekoppeld is met de regelstaafaandrijving.





Figuur 4.2.9 Opbouw van een regelstaaf

De regelstaafaandrijvingen, die de staven op en neer bewegen, bevinden zich in een ruimte onder het reactorvat. Bij een ernstige storing of bij uitval van de stroomvoorziening valt de koppeling tussen de regelstaaf en de aandrijving weg waardoor de staven vanzelf (door de zwaartekracht en met de koelwaterstroom mee) naar beneden bewegen. Daarmee geraakt het uranium buiten de kern en komt het neutronenabsorberende deel van de regelstaven in de kern terecht (reactorafschakeling of "scram"). Hierdoor wordt de reactor direct afgeschakeld. Het aantal regelstaven is ruim voldoende om de reactor af te schakelen.

4.2.8 Reflectorelementen

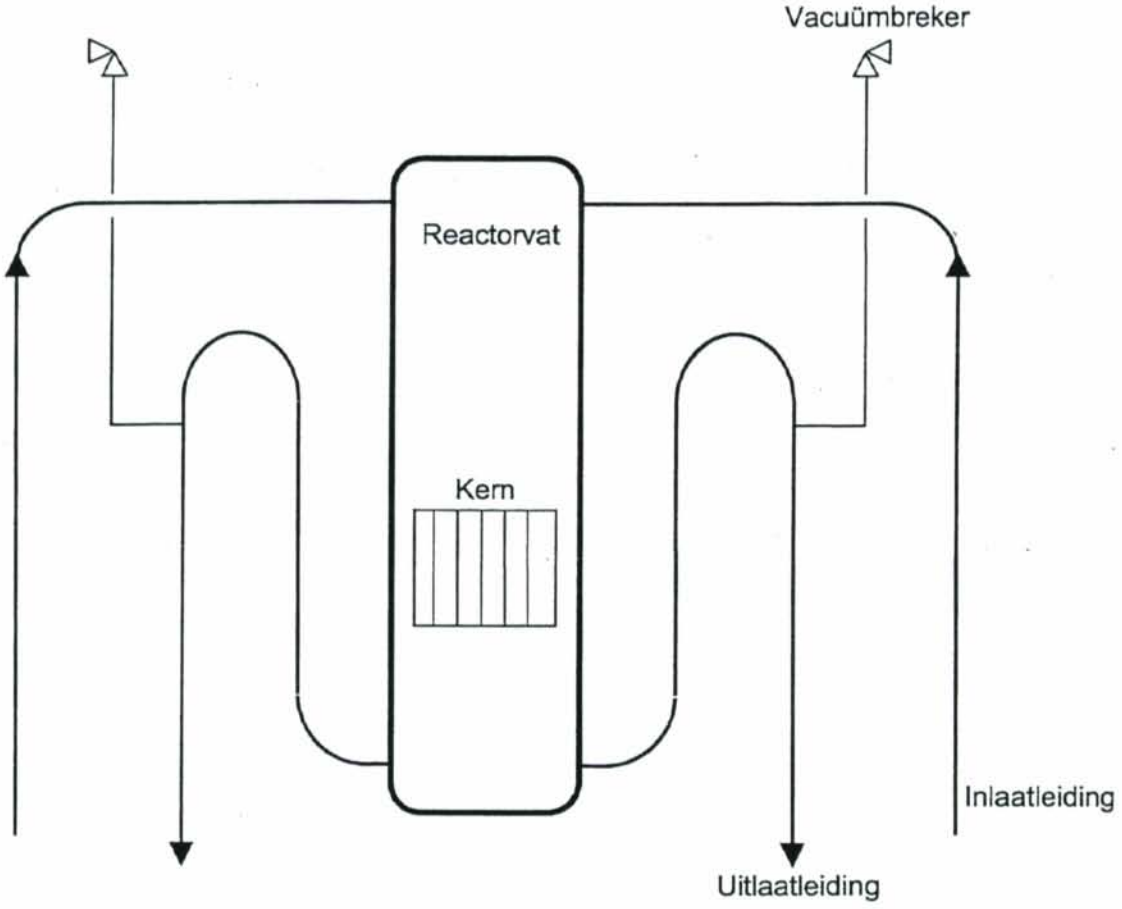
De reflectorelementen (evenals de hoekelementen) zijn rondom de kern geplaatst en hebben als doel neutronen naar de kern terug te reflecteren. Hierdoor wordt de neutronenflux in de kern verhoogd. Aan één zijde van de kern zijn geen reflectorelementen geplaatst ten behoeve van het verbeteren van de bestralingscondities voor radio-isotopen aan die zijde van het reactorvat.

4.2.9 Bestralingsposities

De bestralingsposities zijn voorzien van zogenaamde vulelementen. In een vulelement kan een experiment worden geplaatst. Indien in een vulelement geen experiment is geplaatst dan wordt deze voorzien van een plug die ervoor zorgt dat het element in thermohydraulisch en reactorfysisch opzicht optimaal functioneert.

4.2.10 Reactorvat

Het reactorvat is 5,4 m hoog met wanddikten van 4 tot 5 cm en is gemaakt van een aluminium legering. De ontwerpdruk van het vat is 3,9 bar, de bedrijfsdruk circa 2,5 bar (overdruk). Bovenin en onderin het reactorvat bevinden zich twee inlaat- respectievelijk uitlaatleidingen voor het koelwater. De uitlaatleidingen zijn voorzien van vacuümbrekers (zie figuur 4.2.10) die voorkomen dat bij lekkage van een koelwateruitlaatleiding het reactorvat leeg geheveld kan worden.



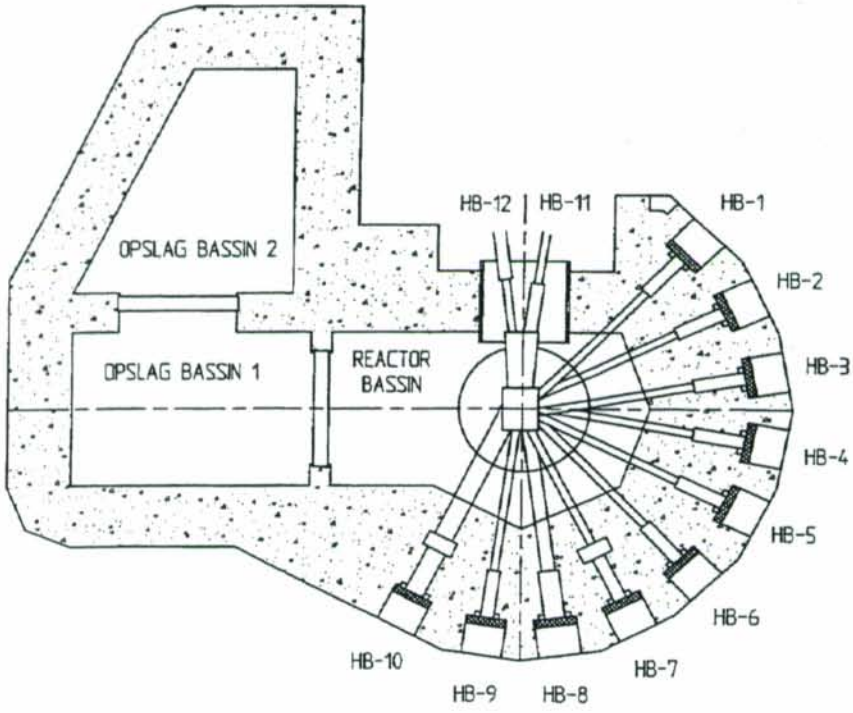
Figuur 4.2.10 Principeschema van de reactor in- en uitlaatleidingen met vacuümbrekers
Toelichting bij figuur 4.2.10. Zonder de vacuümbreker zou de uitlaatleiding het reactorvat kunnen leegzuigen. Doordat de vacuümbreker (een klep naar de reactorhal) bij lage waterdruk automatisch opent, wordt voorkomen dat de uitlaatleiding het vat kan leeg hevelen en de kern droog komt te staan

4.2.11 **Bassins en ontmantelingscel**

Te onderscheiden zijn drie bassins (zie figuur 4.2.11):

- het reactorbassin, waarin het reactorvat staat met de horizontale bestralingsbuizen en waarin bestralingsexperimenten tijdelijk kunnen worden opgeslagen
- opslagbassin 1, waarin kerncomponenten (zoals splijtstofelementen), bestralings-experimenten of ander radioactief materiaal in afwachting van gebruik dan wel afvoer worden opgeslagen. Tevens worden hier de voorbereidingen getroffen voor het transport van de geproduceerde radio-isotopen

- opslagbassin 2, dat gebruikt wordt voor tijdelijke opslag van gebruikte splijtstofelementen en transport en opslag van sterk radioactieve objecten, waaronder experimenten en experimentele faciliteiten.



Figuur 4.2.11 Horizontale doorsnede van de bassins met de horizontale bestralingsbuizen (HB)

Het waterniveau in de bassins is doorgaans 8,7 m water. Onder normale bedrijfsomstandigheden staat het reactorbassin ten behoeve van de koeling en van de verplaatsing van componenten en experimenten in open verbinding met bassin 1 en via dit bassin met bassin 2. Het water in de bassins fungeert als afscherming en koeling van de zich in die bassins bevindende radioactieve objecten.

Boven bassin 2 is een ontmantelingcel geplaatst. Deze ontmantelingcel, voorzien van de benodigde gereedschappen en afscherming, wordt gebruikt voor het bewerken van experimenten of andere radioactieve objecten.

4.2.12 Experimenten en bestralingen

Er zijn diverse posities in of bij de reactor ten behoeve van experimenten of andere bestralingen. Experimenten kunnen in de kern worden geplaatst en tegen de buitenkant van het reactorvat (zie figuur 4.2.7) worden gepositioneerd. Daarnaast zijn er aan de buitenkant van het reactorvat (in het bassin) ook posities voor de productie van radio-isotopen. Verder wordt neutronenstraling, door middel van zogenaamde horizontale bestralingsbuizen die vanaf de buitenzijde van het reactorvat door het bassin lopen, geleid naar experimenteer-posities in het reactorgebouw aan de buitenzijde van het bassin, bijvoorbeeld voor patiëntenbestraling (zie figuur 4.2.11).

Naast de genoemde bestralingsposities voor neutronenbestraling zijn er faciliteiten voor het bestralen met gammastraling. Dit wordt onder meer gedaan voor het controleren van de stralingsbestendigheid van materialen en componenten en het steriliseren van onderdelen voor medische toepassingen. Deze faciliteiten bevinden zich in het bassin en maken gebruik van de gammastraling afkomstig van gebruikte splijtstofelementen.

Voorafgaand aan ieder nieuw type bestraling of experiment worden een ontwerp- en veiligheidsrapport opgesteld die aan de overheid ter goedkeuring worden voorgelegd.

4.2.13 Koeling

De koeling van de *reactorkern* vindt plaats door middel van het rondpompen van gedemineraliseerd water in het gesloten primaire reactorkoelsysteem, bestaande uit het reactorvat, een vervaltank (ten behoeve van het verval van kortlevende radioactieve stoffen), ionenwisselaars in een parallelstrang (ten behoeve van reiniging), drie koelwaterpompen en drie warmtewisselaars. In figuur 4.2.6 is een principeschema van de koelsystemen gegeven met daarin de belangrijkste van deze componenten (in enkelvoud weergegeven). Naast de drie grote koelwaterpompen zijn er nog twee kleinere pompen (1 elektrisch, 1 diesel-aangedreven) beschikbaar. Deze worden in werking gesteld bij afgeschakelde reactor of indien de grote pompen uitvallen, bijvoorbeeld bij een storing van de externe stroom-voorziening.

Het koelwater stroomt van boven naar beneden door de reactorkern. De inlaattemperatuur van het primaire koelwater varieert tussen 35 en 56 °C; de opwarming van het koelwater over de kern bedraagt ongeveer 9 °C bij een reactorvermogen van 45 MW. De nominale druk in het reactorvat bedraagt circa 2,5 bar (overdruk).

In de warmtewisselaars wordt de warmte van het primaire koelsysteem overgedragen aan het secundaire koelwatersysteem Dit systeem onttrekt koelwater aan het Noord-Hollands kanaal en voert het weer af naar de Noordzee, nadat het koelwater de warmtewisselaars is gepasseerd. Dankzij dit systeem van warmtewisselaars wordt geen radioactiviteit aan het ingenomen koelwater toegevoegd. De secundaire koelwaterstroom bedraagt maximaal 2500 m^3/uur en is afhankelijk van de inlaattemperatuur van het koelwater. Jaargemiddeld bedraagt de secundaire koelwaterstroom momenteel circa 1600 m^3/uur. De koeling van het *water in de bassins* vindt plaats met het bassinkoelwatersysteem, dat de warmte eveneens afvoert via warmtewisselaars aan het secundaire koelsysteem.

4.2.14 **Energievoorziening**

De externe elektriciteitsvoorziening wordt aangeleverd vanaf het regionale 50 kV station. Verder zijn in het HFR-complex nog onafhankelijke passieve elektriciteitsbronnen beschikbaar, in de vorm van accu's met omvormers. Naast deze voorzieningen bestaat er op de OLP een noodstroomvoorziening, verzorgd door een automatisch werkend dieselgeneratorsysteem. Hiertoe zijn drie dieselgeneratoren opgesteld in een apart gebouw dat buiten de hekken van het HFR-terrein op het terrein van de onderzoekslocatie staat. Deze dieselgeneratoren kunnen ook worden ingezet ten behoeve van andere faciliteiten op de locatie, maar de elektriciteitsvoorziening van de HFR heeft altijd de hoogste prioriteit.

4.2.15 **Radioactieve stoffen**

Het potentiële gevaar van een nucleaire installatie wordt voornamelijk gevormd door de radioactieve inhoud van de reactorkern. Het kenmerk van radioactieve stoffen is dat hun atoomkernen instabiel zijn. Ze vervallen volgens fysische wetten, zonder uitwendige invloed, naar een stabiele toestand onder uitzending van ioniserende straling. Deze straling kan schade toebrengen aan levende organismen.

De onbestraalde splijtstof bevat slechts weinig radioactiviteit. Tijdens het "opbranden" van de splijtstof ontstaan ten gevolge van het splijtingsproces aanzienlijke hoeveelheden radioactiviteit. De splijtingsproducten die in de splijtstofelementen opgesloten blijven, vormen verreweg de grootste bijdrage aan de totale hoeveelheid radioactiviteit die in de installatie aanwezig is.

Ook buiten de splijtstofelementen kunnen zich radioactieve stoffen bevinden. Deze worden enerzijds gevormd door activering van constructiematerialen en anderzijds door in het

primaire koelmiddel voorkomende stoffen. Daarnaast bevindt zich een hoeveelheid radioactieve stoffen in de bestralingsexperimenten en de productiefaciliteiten.

De toe- en afvoer van radioactieve stoffen en splijtstoffen gebeurt per vrachtwagen met behulp van specifieke voorzieningen, zoals speciaal daarvoor ontworpen containers met voldoende afscherming en eventueel koeling.

4.2.16 **Veiligheidssystemen**

Met betrekking tot de veiligheid is de bedrijfsvoering van de HFR er op gericht dat:

- denkbare storingen en/of ongevallen zoveel mogelijk worden voorkomen. Het gaat hierbij om gebeurtenissen als het falen van een component of een systeem, menselijk falen of extreme externe omstandigheden
- de omgeving (naast uiteraard de medewerkers en de installatie) beschermd wordt tegen de gevolgen van een eventueel ongeval. Aan deze doelstelling dienen ontwerp en veiligheidssystemen te beantwoorden
- gevolgbeperkende maatregelen ter beschikking staan in het onwaarschijnlijke geval dat zich een ernstig ongeval voordoet. Het betreft hier noodplannen (intern en extern) voor bestrijding, ontruimingen en daarmee verband houdende voorzieningen (zie paragraaf 4.6).

De HFR is uitgerust met diverse veiligheidssystemen, die gerangschikt kunnen worden naar de volgende drie veiligheidsfuncties:

1 afschakeling van de reactor
2 koeling van de splijtstof
3 insluiting van de radioactieve stoffen.

De eerste veiligheidsfunctie wordt gewaarborgd door het afschakelsysteem met de regelstaven die de neutronenstroom verminderen en aldus het kernsplijtingproces onderbreken. Daarnaast heeft de HFR enkele inherente veiligheidskenmerken doordat de reactorkern zodanig is ontworpen dat bij ongewenste verstoringen, zoals een toename van de temperatuur of door koken of lekkage van het reactorwater, het reactorvermogen dankzij de natuurkundige eigenschappen van de splijtstof en het koelwater vanzelf afneemt.

De tweede veiligheidsfunctie wordt gewaarborgd door koeling via het reactorkoelsysteem. Als extra voorziening dienen daarbij twee additionele pompen waarvan er één op noodstroom en één op een dieselmotor functioneert. Daarnaast is het reactorvat voorzien van twee zogenaamde convectiekleppen die bij opening het bassinwater binnenlaten

waardoor de (afgeschakelde) kern wordt gekoeld door middel van natuurlijke circulatie (=convectie). Als extra koelwater-voorziening is er nog de mogelijkheid om via een aansluiting boven in het reactorvat water afkomstig uit de hoger gelegen drinkwaterkelder naar de kern te voeren.

De derde veiligheidsfunctie wordt gewaarborgd door de diverse barrières tussen de splijtstof en de omgeving, namelijk de splijtstofbekleding, het primaire systeem inclusief het reactorvat, het bassin en het reactorgebouw. Het reactorgebouw kan vrijwel luchtdicht worden afgesloten en is voorzien van ventilatiesystemen met filters, die radioactieve stofdeeltjes binnen houden.

Om te voorkomen dat de veiligheidsfuncties verloren gaan door het falen van een enkel systeem, is voorzien in de nodige redundantie (reserve systemen) en diversiteit (onafhankelijkheid van systemen). Een voorbeeld van redundantie zijn de twee hiervoor genoemde additionele pompen in het reactorkoelsysteem, waarbij het functioneren van één van deze pompen al voldoende is. Een voorbeeld van diversiteit betreft de kernkoeling op twee verschillende en onafhankelijke wijzen, namelijk door middel van pompen in het reactorkoelsysteem of door middel van natuurlijke circulatie van bassinwater.

4.3 Omschakeling naar laagverrijkt uranium

4.3.1 Achtergrond

In 1961 werd de HFR zoals vele andere onderzoeksreactoren gestart met een zogenaamde "US splijtstofcyclus", waarbij de Verenigde Staten hoogverrijkte splijtstof leverde en na gebruik weer terugnam. In 1976 veranderde de Verenigde Staten haar beleid ten aanzien van de levering van hoogverrijkte splijtstof met het doel:

- het aantal locaties in de wereld waar hoogverrijkt uranium voorradig is terug te brengen
- de transporten van dit uranium te verminderen.

Deze beleidsonderdelen zijn alle bedoeld om misbruik voor de aanmaak van kernwapens zo veel mogelijk te voorkomen of te beperken. Met dat oogmerk neemt de VS in het algemeen ook opgebrande splijtstof terug.

GCO heeft in de jaren tachtig al eens een mogelijke overgang naar laagverrijkte splijtstof bezien. Toen is besloten dit niet te doen vanwege technische problemen en de voldoende beschikbaarheid van hoogverrijkte splijtstof. Voorts werd besloten om voortaan de in Europa beschikbare hoogverrijkte splijtstof te gebruiken en deel te nemen in de COVRA voor opslag

van de elementen na gebruik. Sindsdien is de situatie zowel op het gebied van levering als terugname veranderd. Omdat er in Europa geen hoogverrijkte splijtstof meer wordt gemaakt, wordt het steeds moeilijker om aan deze splijtstof te komen. Hoewel nu ook Russisch hoogverrijkt materiaal op de markt is, maken de moeilijke formele procedures deze optie niet aantrekkelijk vanwege de onbetrouwbaarheid van de levering van splijtstof. Tevens is de politieke en maatschappelijke acceptatie hiervan twijfelachtig. Tenslotte hebben de Verenigde Staten aangegeven de terugname van verbruikte splijtstof te willen hervatten op voorwaarde dat zou worden overgestapt op laagverrijkte splijtstof.

Tegen deze achtergrond heeft GCO in 1999 besloten de conversie naar laagverrijkte splijtstof door te voeren.

4.3.2 Buitenlandse ervaringen

Sinds begin jaren 80 zijn er testen uitgevoerd met splijtstof en splijtstofelementen met laag verrijkt uranium (LEU) in de vorm van uranium-silicium. Vanaf eind jaren 80 is begonnen met de bedrijfsvoering met deze splijtstofelementen. Sindsdien is de conversie van hoog naar laag verrijkte splijtstof bij een groot aantal van de onderzoeksreactoren in de wereld, waaronder de HOR[4]-reactor van het Interfacultair Reactor Instituut (IRI) in Delft, met goede resultaten uitgevoerd. In tabel 4.3.1 is een overzicht gegeven van onderzoeksreactoren die zijn overgestapt op LEU-splijtstof met uranium-silicium of die van plan zijn dat te gaan doen. Slechts enkele reactoren blijven hoog-verrijkte splijtstof gebruiken.

Een goed voorbeeld van een met de HFR vergelijkbare reactor die de conversie inmiddels heeft doorgevoerd is de OSIRIS reactor in Frankrijk. Deze heeft een soortgelijke conversie ondergaan als die voorgenomen is bij de HFR waarbij vanaf 1995 in 18 maanden de reactorkern geleidelijk is vervangen door LEU brandstofelementen.

---

[4] Hoger Onderwijs Reactor

Tabel 4.3.1 Onderzoeksreactoren die momenteel bedrijf voeren met LEU uranium-silicium splijtstof, dat van plan zijn te gaan doen of dat gedaan hebben voor hun sluiting

Nr.	Land	Plaats	Reactor	Vermogen [MW]	Toepassing LEU gedurende/sinds/ gepland vanaf:
1	USA	Columbus, Ohio	Ohio State U.	0.5	1988
2	Zweden	Nyköping	R2	50	1990
3	Denemarken	Roskilde	DR-3 (2)	10	1990 - 2000
4	Oostenrijk	Seibersdorf	ASTRA (2)	8	1990 - 1999
5	USA	Ames, Iowa	Iowa State U. (2)	0.01	1991 - 1998
6	Duitsland	Geesthacht	FRG-1	5	1991
7	Pakistan	Islamabad	PARR	10	1991
8	Canada	Chalk River	NRU	125	1992
9	USA	Rolla, Missouri	U. Missouri	0.2	1992
10	USA	Manhattan, NY	MCZPR (2)	0	1992 - 1997
11	Japan	Oarai	JMTR	50	1993
12	USA	Rhode Island	RINSC	2	1993
13	Zwitserland	Würenlingen	SAPHIR (2)	10	- 1994
14	Turkije	Cekmce	TR-2 (2)	5	1994 - 1999
15	USA	Charlottesville, VA	U. Virginia (2)	2	1994 - 1998
16	Frankrijk	Saclay	OSIRIS	70	~1995
17	Zuid-Korea	Taejon	HANARO	30	1995
18	Duitsland	Berlijn	BER-II	10	1997
18	Japan	Tokai	JRR-4	3.5	1998
20	Nederland	Delft	HOR	2	1998
21	Indonesië	Jakarta	RGS-GAS	30	~1998
22	Japan	Tokai	JRR-3	20	~1998
23	Brazilië	Sao Paulo	IAE-R1	5	~1999
24	Canada	McMaster Univ.	MNR	5	1999
25	Griekenland	Athene	GRR-1	5	1999

Nr.	Land	Plaats	Reactor	Vermogen [MW]	Toepassing LEU gedurende/sinds/ gepland vanaf:
26	Chili	Santiago	La Reina	5	~2000
27	Zweden	Nyköping	R2-0	1	2000
28	USA	Lowell, Mass.	U. Mass.	1	2000
29	Canada	Chalk River	MAPLE 1(1)	10	2002
30	Canada	Chalk River	MAPLE 2(1)	10	2003
31	Australië	Lucas Heights	ANSTO RR(1)	20	~2005
32	Nederland	Petten	HFR	45	~2006
33	Japan	Kyoto Univ.	KUR	5	~2006
34	Portugal	Lissabon	RPI	1	~2006
35	Duitsland	Jülich	FRJ-2	23	~2006
36	Zuid-Afrika	Pelindaba	SAFARI-1	20	~2006

(1) Nieuwe reactor die zal opstarten met LEU uranium-silicium splijtstof

(2) Reactor uit bedrijf genomen

Voor zover er gegevens van deze reactoren beschikbaar zijn, blijken de veiligheids- en milieugevolgen neutraal of positief terwijl evenmin belangrijke bedrijfsmatige complicaties zijn opgetreden.

4.3.3 Technische aspecten splijtstofomschakeling

Voor de HFR is een optimalisatiestudie uitgevoerd naar het type LEU-splijtstof. Parameters waren de splijtstofplaat- en bekledingsdikte, het aantal platen per element, het type splijtstof, de uranium-dichtheid en de hoeveelheid slijtend gif per element. Twee chemische verbindingen zijn onderzocht als splijtstofmateriaal, namelijk een verbinding van uranium met silicium en een van uranium met molybdeen. Het resultaat van deze studie was de constatering dat de splijtstof met molybdeen niet voldoende gekwalificeerd was waardoor toepassing hiervan enkele jaren vertraging op zou leveren. Dit resulteerde in de keuze voor uranium met silicium met 20 platen per element en een verrijkingsgraad net onder de 20 procent. Hiermee is het verlies in de neutronenstroom acceptabel, kan de cyclus eventueel worden verlengd met enkele dagen en blijft het thermohydraulisch gedrag goed. Een hogere verrijkingsgraad zou politiek moeilijker liggen omdat splijtstof met een verrijkingsgraad boven 20% wordt gekwalificeerd als middelhoog verrijkt (MEU, Medium Enriched Uranium) in plaats van het gewenste laagverrijkt. Een nog lagere verrijkingsgraad zou een verlaging van de

(thermische) neutronenfluxen tot gevolg hebben, terwijl voor experimenten en isotopen-productie zo hoog mogelijke fluxen vereist zijn.

Van de voorgestelde LEU splijtstofelementen zijn er verschillende in de HFR getest. Momenteel vindt beproeving in de HFR van het prototype splijtstofelement plaats, welke exact gelijk is aan de nieuwe elementen.

4.3.4 Uitvoering en reactorfysische gevolgen

Ontwerp splijtstofelementen

De belangrijkste kenmerken van de huidige en de nieuwe splijtstofelementen zijn weergegeven in tabel 4.3.2.

Tabel 4.3.2 Belangrijkste kenmerken HEU en LEU splijtstof- en regelelementen. De getalswaarden zijn als globaal op te vatten

	HEU	LEU
Type brandstof	Uranium/Aluminium legering	Uranium/Silicium legering in een aluminium matrix
Verrijkingsgraad (%)	ca. 91	< 20
Uraniumdichtheid ($g.cm^{-3}$)	1,1	4,8
Hoeveelheid uranium-235 (g/element)	450 (splijtstofelement) 310 (regelstaaf)	550 (splijtstofelement) 440 (regelstaaf)
Aantal splijtstofplaten per element/regelstaaf	23 (splijtstofelement) 19 (regelstaaf)	20 (splijtstofelement) 17 (regelstaaf)
Type slijtend gif	Borium poeder	Cadmium draden

Het grootste verschil tussen de elementen is de verrijkingsgraad. De totale hoeveelheid splijtbaar uranium-235 per kernlading neemt met circa 20% toe.

Effect op de overige onderdelen van de reactor

De integriteit van de draagconstructie voor de elementen in de reactor is opnieuw berekend voor de nieuwe elementen. De druk op het onderste rooster wordt enigszins verhoogd, maar blijft ruim binnen de geldende veiligheidsmarges. Ook zullen de regelstaven en andere veiligheidssystemen op dezelfde wijze blijven werken. De lozingen van radioactieve stoffen

alsmede de wijze van meting van straling en activiteit zullen globaal eveneens onveranderd blijven.

Wijzigingen in nucleaire karakteristieken

Vergeleken bij de HEU-kern zal de overreactiviteit[5] iets toenemen, het effect van de regelstaven iets minder zijn en de afschakelmarge[6] iets kleiner zijn. Ook zal de neutronenstroom iets verminderen. De waarden van deze grootheden hangen enigszins af van het gekozen splijtstofherladings-patroon. Maar aan de huidige veiligheidsrelevante vergunningsvoorwaarden voor de afschakelmarge van de HFR die momenteel voor de HEU-kern gelden wordt ook in het LEU-geval voldaan. Deze voorwaarden zijn:

- de maximum overreactiviteit van de kern mag niet groter zijn dan een vastgestelde waarde (15% dk/k)
- de reactor moet subkritisch blijven voor elke kernconfiguratie en gedurende de gehele cyclus, met de twee meest effectieve regelstaven geheel uitgetrokken en de andere volledig ingedreven
- de reactor moet subkritisch blijven met alle regelstaven uitgetrokken over een lengte corresponderend met de helft van hun reactiviteitswaarde.

Wijzigingen in thermohydraulische karakteristieken

De thermohydraulische karakteristieken betreffen de kenmerken van de koeling van de splijtstof en van de afvoer van de geproduceerde warmte door het koelwater. De conversie zal de thans gestelde thermohydraulische limieten niet overschrijden. Er zijn metingen uitgevoerd aan de drukval over een splijtstofelement en aan de koelwaterstroom in een testopstelling. Hieruit bleek dat de hydraulische karakteristieken praktisch identiek zijn voor het HEU en het LEU element. Wel is berekend dat het temperatuurverschil tussen splijtstofplaatoppervlak en het midden van de plaat voor het LEU-geval groter kan zijn dan voor het HEU-geval.

Effect op het verloop van denkbare en hypothetische storings- en ongevalssituaties

De noodstroomvoorziening, noodkoelings- en noodafschakelingssystemen hoeven als gevolg van de conversie niet veranderd te worden. Door de verhoogde activiteit van de LEU-kern ten opzichte van de HEU-kern (zie verder) zal bij eventuele ongevallen met lozing van radioactiviteit buiten het reactorgebouw de hoeveelheid radiotoxiciteit in het milieu kunnen toenemen. Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 5.4 inzake de veiligheidsanalyses.

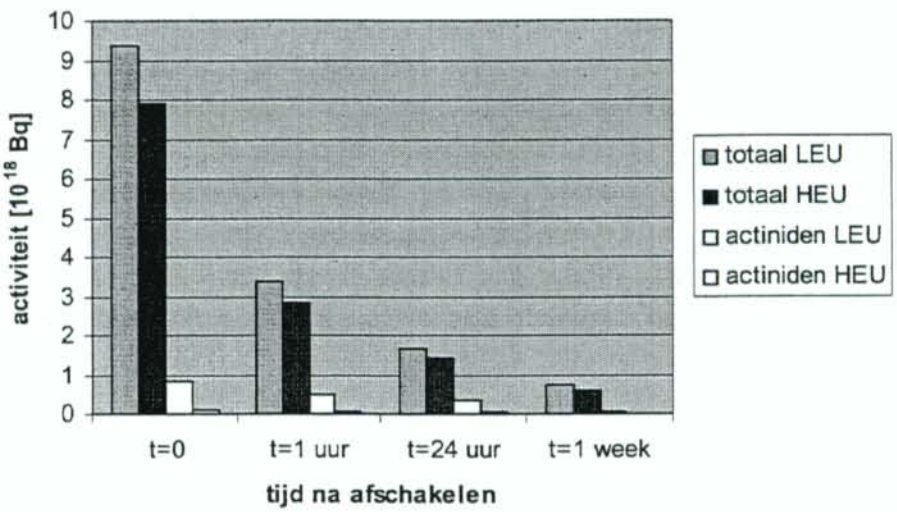
---

[5] De mate waarin reactiviteit ligt boven het niveau om kritisch te worden. Overreactiviteit is nodig om verbruik van de brandstof te compenseren.

[6] Het verschil tussen de afschakelcapaciteit van de regelstaven en de benodigde afschakelcapaciteit. Dit verschil is dus extra afschakelcapaciteit als veiligheidsmarge

Effect op de radio-isotopische samenstelling van de HFR-kern

De totale activiteit van de HFR reactorkern zal na de HEU-LEU conversie met circa 18% kunnen stijgen (zie figuur 4.3.1). Dit wordt enerzijds veroorzaakt door een hoger percentage actiniden in de LEU-splijtstof, en anderzijds door de voor LEU verhoogde splijtstofmassa per element. Het hogere percentage actiniden (met name neptunium, plutonium, americium en curium) wordt veroorzaakt door het sterk verhoogde aandeel uranium-238 in LEU (80%) ten opzicht van HEU (7%). Deze actiniden ontstaan na neutronenabsorptie in dit uranium (zie paragraaf 4.2.2 Kernsplijtings-proces). Het grootste deel van deze activiteit wordt veroorzaakt door kortlevende splijtingsproducten. Circa een tiende deel van de LEU-kern bestaat uit langer levende actiniden. In het begin is de actinidenhoeveelheid ongeveer tien maal zo hoog in het LEU-geval als in het HEU-geval. Deze verhouding zakt na verloop van tijd, maar blijft groter dan één.



Figuur 4.3.1 Activiteit van totale reactorkern van de HFR en van de actiniden in het HEU- en LEU-geval

Effect op de veiligheid van de hantering van nieuwe en bestraalde splijtstofelementen

De eisen aan de opslag van de splijtstofelementen blijven onveranderd. Ook de hoeveelheid opgebrande splijtstofelementen zal niet significant wijzigen. Bij de opslag van splijtstof-elementen is verder van belang dat de hoeveelheid splijtstof niet kritisch kan worden, dat wil zeggen dat het kernsplijtingsproces niet op gang mag komen. Om dit te voorkomen moet er voor worden gezorgd dat de zogenaamde effectieve vermenigvuldigingsfactor[7] van de

[7] De effectieve vermenigvuldigingsfactor k_{eff} is een maat voor de mate waarin een kettingreactie van kernsplijtingen zelfonderhoudend is. Bij een k_{eff} =1 houdt de kettingreactie zich juist in stand, en bij k_{eff}

gezamenlijke splijtstof in opslag altijd kleiner is dan 1. Er zijn berekeningen gedaan aan de effectieve vermenigvuldigingsfactor van de splijtstof in de opslagrekken voor onbestraalde en bestraalde splijtstof. Voor de rekken voor verse splijtstof bereikt deze in de meest ongunstige situatie maximaal een waarde van 0,68, en voor de rekken voor bestraalde splijtstof een waarde van 0,77, circa 3% meer dan in het geval van HEU-splijtstof, maar nog altijd ver onder de internationaal maximaal toegestane waarde van 0,92.

Opgebrande LEU-elementen zullen, na een afkoelperiode in het bassin van enkele jaren waarin de vervalwarmte voldoende is afgenomen, in daarvoor geschikte transportcontainers worden afgevoerd.

Overgangsfase

Tijdens de overgangsfase zullen een aantal gemengde kernen worden toegepast waarin zowel HEU- als LEU-splijtstofelementen worden toegepast. Na iedere cyclus worden een aantal gebruikte HEU-elementen verwijderd en vervangen door nieuwe LEU-elementen, net zo lang totdat alle splijtstofelementen zijn vervangen door LEU-elementen. Bij elke volgende kern stijgt dus het aantal LEU-elementen, en daalt het aantal HEU-elementen. Tijdens deze overgangsperiode blijft voldaan worden aan de geldende veiligheidsvoorschriften zoals die momenteel voor de HEU-kernen gelden. De milieugevolgen zullen globaal tussen die van de HEU- en LEU-kern in liggen. Omdat de milieugevolgen van beide slechts marginaal verschillen, zijn er geen goede redenen om de conversie periode te bekorten of te verlengen

4.4 Veiligheidsverhogende maatregelen

4.4.1 Basis voor de maatregelen

De HFR heeft in de periode 2001-2003 een algehele veiligheidsherevaluatie ondergaan met als doel om na te gaan of de installatie en de bedrijfsvoering voldoen aan de huidige stand der techniek ten aanzien van nucleaire veiligheid en stralingsbescherming. Deze veiligheids-herevaluatie betreft een toetsing aan het vergunningskader zoals dat met de overheid is afgestemd. Dit vergunningskader (GCO, 1999) is gebaseerd op richtlijnen van de IAEA (Serie 35) en van de Nederlandse overheid (NVR's). In dit vergunningskader en derhalve in de veiligheidsherevaluatie, zijn twee afzonderlijke onderdelen te onderscheiden namelijk de

---

<1 dooft hij uit; hoe kleiner k_{eff}, hoe sneller het uitdoven. Een zichzelf onderhoudende kettingreactie is uiteraard alleen gewenst in een reactor, nooit in een opslagfaciliteit.

operationele, personele en administratieve (OPA) voorschriften en de technische (T) voorschriften.

Naast de genoemde toetsing van het vergunningskader zijn er in het kader van de veiligheidsherevaluatie veiligheidsanalyses en een risicoanalyse uitgevoerd volgens de huidige eisen, waarmee de mogelijke gevolgen van ongevallen bij de HFR voor de omgeving zijn geanalyseerd (zie paragraaf 5.4). De resultaten van deze analyses hebben geresulteerd in verbeterpunten. Een voorbeeld hiervan is de relatief hoge bijdrage aan het risico van de huidige installatie als gevolg van een breuk in een primaire inlaatleiding of de val van een splijtstofcontainer. Op deze punten zijn daarom veiligheidsverhogende maatregelen voorzien.

Een ander onderdeel van de veiligheidsevaluatie betrof de evaluatie van veiligheids-ervaringen bij soortgelijke onderzoeksreactoren.

Daarnaast hebben een aantal andere activiteiten plaatsgevonden die voor, zover van toepassing, zijn meegenomen in de totstandkoming van de maatregelen. Deze activiteiten betreffen:

1 IAEA-missie met betrekking tot de veiligheidscultuur
2 Inspecties met betrekking tot de historische lasdefecten in het reactorvat
3 Betoninspecties in het reactorgebouw
4 Evaluatie van de zetting van de gebouwen
5 Discussies en analyses met betrekking tot het "Veldman"-scenario
6 Discussies en analyses naar aanleiding van opmerkingen van prof. Andriesse.

ad.1: De invoering van de resultaten van de IAEA-missie met betrekking tot de veiligheidscultuur is al gestart, in samenhang met de verbeterpunten uit de veiligheidsherevaluatie op operationeel, personeel en administratief gebied (zie paragraaf 4.4.2).

ad.2 t/m 4: De resultaten van deze inspecties zijn afgestemd met het bevoegd gezag. Zij gaven geen aanleiding tot directe acties maar zullen in de toekomst wel vervolgd blijven worden. Dit is gerapporteerd door de Staatssecretaris van VROM aan de Tweede Kamer (Tweede Kamer, 2003a).

ad.5: Het zogenoemde "Veldman"-scenario (de breuk van een inlaatleiding) was onderdeel van de veiligheidsherevaluatie. Dit scenario heeft mede als basis gediend voor het totstandkomen van de technische maatregelen.

ad.6: Als gevolg van de discussies naar aanleiding van opmerkingen van prof. Andriesse is, op initiatief van de overheid, een "expertdebat" georganiseerd in januari 2003. De discussie betrof met name de mogelijkheid tot het snel uitbewegen van de regelstaven na een breuk van een primaire koelwaterleiding, en de mogelijkheid van een resulterende ernstige vermogensexcursie. Gezamenlijk is uiteindelijk geconcludeerd dat een dergelijke vermogens-excursie niet kan optreden. Dit is gerapporteerd door de Staatssecretaris van VROM aan de Tweede Kamer (TWEEDE KAMER, 2003 b).

De veiligheidsherevaluatie en de overige genoemde activiteiten hebben geresulteerd in een aantal verbeterpunten. Een groot deel hiervan betreft verbeteringen met geringe milieu-gevolgen die dan ook niet vergunningsplichtig zijn. Voor een aantal wijzigingen dient echter wel een veranderingsvergunning aangevraagd te worden. Deze worden in de onderhavige aanvraag meegenomen.

4.4.2 Operationele, personele en administratieve maatregelen

De veiligheidsherevaluatie op operationeel, personeel en administratief (OPA) gebied betrof diverse operationele aspecten op alle niveaus van de betrokken organisaties. In het algemeen bleek in de alledaagse praktijk aan de voorschriften en de daarbij van toepassing zijnde documenten te worden voldaan. Bepaalde gebieden verdienen echter nadere aandacht. De verbeteringen betreffen met name de volgende punten:

1 verbetering en uitwerking van de interfaces tussen de twee organisaties die de bedrijfsvoering van de HFR betreffen (GCO als eigenaar en toenmalige vergunninghouder en NRG als bedrijver). Dit met betrekking tot de taken, verantwoordelijkheden en bevoegdheden
2 verbetering van de structuur van de veiligheidstechnische specificaties
3 integratie en revisie van diverse kwaliteitsdocumenten om een complete en meer samenhangende set kwaliteitsdocumenten te krijgen
4 integratie en verbetering van de procedures op het gebied van stralingsbescherming en contaminatie teneinde onnodige complexiteit van de organisatie weg te nemen
5 verbetering van het proces van systematische en periodieke terugkoppeling van bedrijfservaring
6 aanpassing en uitbreiding van het mandaat, bezetting en bevoegheid van de reactorveiligheidscommissies
7 verbetering van de integratie en afstemming van de noodplanning met name ten aanzien van de betrokken organisaties.

De invoering van deze punten is merendeels al gestart en zal de komende jaren in overleg met de overheid verder worden gecompleteerd. Zo is er bijvoorbeeld reeds een externe reactorveiligheidscommissie ingesteld en goedgekeurd binnen de vergunning (zie punt 6).

4.4.3 Achtergrond technische maatregelen

Zoals aangegeven in paragraaf 4.4.1 heeft de veiligheidsherevaluatie op technisch gebied geresulteerd in een aantal verbeterpunten ten opzichte van de gestelde voorschriften en de uitgevoerde analyses. De volgende technische maatregelen (TM) die zijn voorzien om deze in te vullen, worden hieronder opgesomd en vervolgens kort behandeld:

- TM-1 Toevoegen van vacuümbrekers
- TM-2 Drukvereffeningsleidingen tussen reactorvat en uitlaatleidingen
- TM-3 Verbinding van het reactorvat met het bassin
- TM-4 Vervangen van de dieselaangedreven koelpomp door een elektrische pomp met additionele accuvoeding
- TM-5 Beperking van de mogelijke gevolgen van de val van een splijtstofcontainer
- TM-6 Additioneel afschakelsysteem
- TM-7 Verbetering van de insluiting van het reactorkoelsysteem.
- TM-8 Installatie van een noodmonitoringpaneel

De belangrijkste redenen voor het uitvoeren van juist deze maatregelen zijn:

- de maatregelen TM-1 t/m 3 zijn nodig om het verloop van de ontwerpongevallen (zie paragraaf 5.4.2) op een goede wijze te beheersen. Dit betreft dan met name het ongeval van de breuk van een primaire inlaatleiding. Ook wordt hiermee de grote bijdrage van dit ongeval aan de huidige kernbeschadigingsfrequentie beperkt, zoals berekend met de risicoanalyse (zie tabel 5.4.6)
- de maatregel TM-4 zorgt voor een meer betrouwbare noodstroomvoorziening bij de beheersing van ongevallen. Daarnaast heeft dit een gunstig effect op de aanwezige brandlast doordat de dieselvoorraadtank niet meer nodig is
- maatregel TM-5 is nodig om het risico als gevolg van de mogelijke val van een splijtstofcontainer te beperken. In de huidige risicoanalyse (zie tabel 5.4.6) blijkt dit ongeval een dominante bijdrage te leveren
- maatregel TM-6 komt eveneens voort uit de risicoanalyse omdat de mogelijkheid van het op langere termijn niet afschakelen van de reactor bij diverse ongevallen een relatief significante bijdrage levert
- maatregel TM-7 komt voort uit het beperken van de radiologische gevolgen van de breuk van een primaire leiding in het primair pompgebouw. Daarnaast is dit om deterministische

redenen van belang om de insluitfunctie van het reactorgebouw in alle gevallen te waarborgen.

- Maatregel TM-8 komt met name voort uit de brandanalyse. Bij een brand die de regelkamer uitschakelt is het van belang op een andere locatie belangrijke procesparameters te kunnen monitoren.

In de richtlijnen voor dit MER is gevraagd naar fasering van de maatregelen. Daarvoor zijn geen milieurelevante redenen aanwezig. In beginsel is een snelle uitvoering van alle voorgenomen maatregelen gewenst. Dit geldt zowel voor de omschakeling naar lagere verrijking als voor de extra veiligheidsmaatregelen.

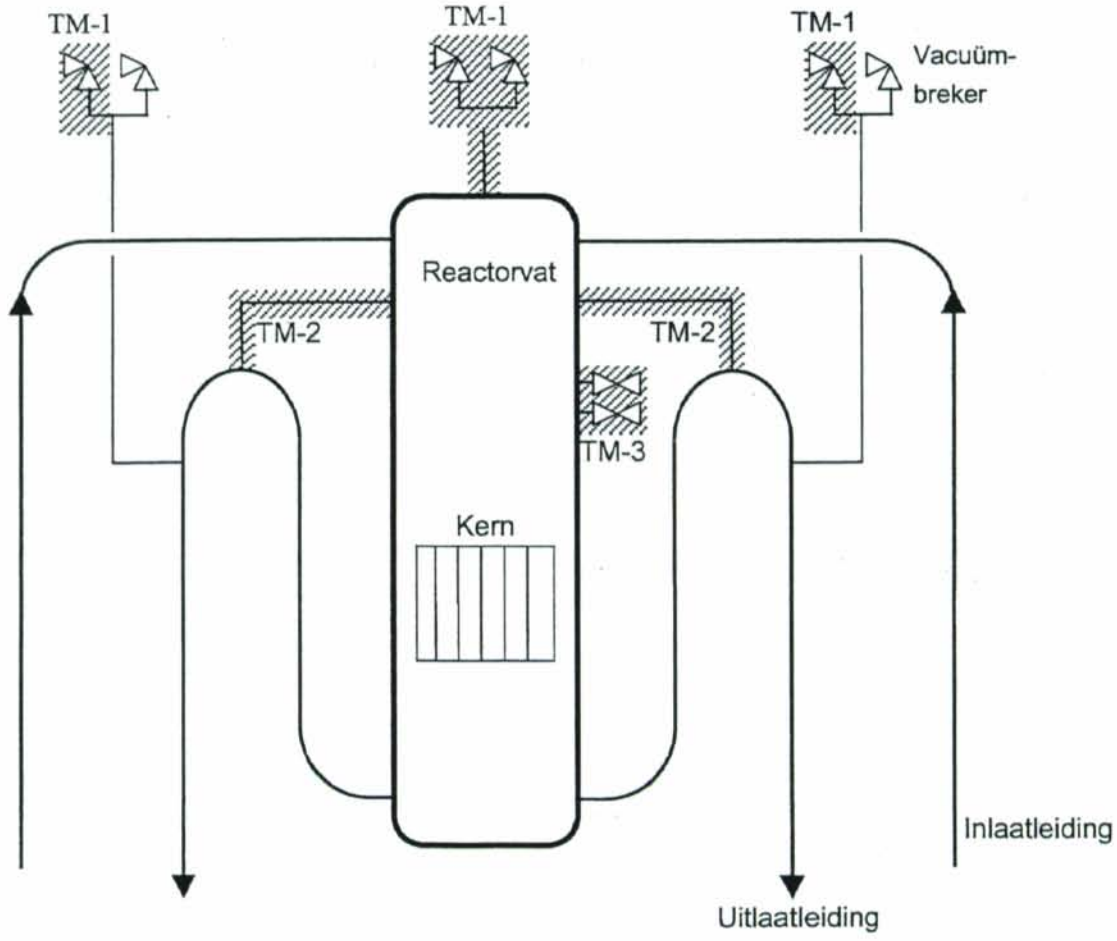
Naast bovenstaande maatregelen zullen er nog diverse andere kleinere technische maatregelen worden getroffen. Omdat deze beperkt van omvang en impact zijn en ook niet vergunningsplichtig worden deze maatregelen hier niet verder uitgewerkt.

In het navolgende worden de maatregelen meer in detail beschreven.

4.4.4 Beschrijving technische maatregelen

TM-1 Toevoegen van vacuümbrekers

Zoals behandeld in paragraaf 4.2.7 zijn de uitlaatleidingen van de reactor voorzien van vacuümbrekers. De inlaatleidingen hebben deze voorziening echter niet. Het gevolg is dat bij een groot lek in een inlaatleiding het water uit het reactorvat kan worden geheveld resulterend in een te laag niveau in het reactorvat (het zogenaamde "Veldman-scenario"). Hierdoor kan bij dit ongeval de koeling van de kern in gevaar komen. Ondanks het feit dat een dergelijke volledige breuk van een inlaatleiding zeer onwaarschijnlijk is heeft de KFD gesteld dat dit ongeval toch beheerst dient te worden. Daarom is als technische maatregel voorgesteld om vacuümbrekers op het reactorvat aan te brengen (zie



Figuur 4.4.1 Principeschema van de technische maatregelen 1, 2 en 3. De gearceerde delen zijn gepland

figuur 4.4.1). Dit min of meer overeenkomstig de situatie bij de uitlaatleidingen. Deze vacuümbrekers worden daarbij redundant (dubbel) uitgevoerd, en de huidige vacuümbrekers worden eveneens verdubbeld. In overleg met de overheid is besloten om de uitvoering van het aanbrengen van de vacuümbrekers op het reactorvat eerder uit te voeren, op basis van een melding aan het bevoegd gezag.

TM-2 Drukvereffeningsleidingen tussen reactorvat en uitlaatleidingen

Na een lekkage in het primaire systeem is het mogelijk dat na enige tijd een stoomkussen boven in het reactorvat wordt gevormd. Het volume van dit stoomkussen kan zodanig toenemen dat hierdoor het water in het reactorvat wordt weggedrukt tot onder het niveau van de bovenkant van de reactorkern. Hierdoor kan de koeling van de kern in gevaar komen. Om dit te voorkomen wordt voorzien in twee drukvereffeningsleidingen tussen de bovenkant van

het reactorvat en de bovenzijdes van de lussen van de uitlaatleidingen (zie figuur 4.4.1). Deze drukvereffeningsleidingen zorgen ervoor dat de druk boven in het reactorvat wordt verlaagd zodat de koeling van de kern gewaarborgd blijft. Tijdens normaal bedrijf zijn deze leidingen gevuld met water en vormen een geringe bypass over de kern. Vanwege het ruim voldoende debiet in het primaire koelsysteem is dit geen probleem.

TM-3 Verbinding van het reactorvat met het bassin

De verbinding tussen het reactorvat en het reactorbassin tijdens storingen en ongevallen kan worden gevormd door de convectie-afsluiters. Deze verbindingsmogelijkheid is enkelvoudig en bij grote lekkages in het primaire koelsysteem is de toestroom te groot waardoor te veel bassinwater zou kunnen weglekken. Om dit te verbeteren is voorzien in het aanbrengen van twee kleinere afsluiters aan bestaande stompen van het reactorvat, boven het niveau van de kern (zie figuur 4.4.1). Hierdoor ontstaat een redundante mogelijkheid om bassinwater in het reactorvat te laten stromen met een debiet dat juist voldoende is voor koeling van de kern. Om te voorkomen dat de convectie-afsluiters foutief geopend kunnen worden, worden deze vergrendeld. Daarnaast wordt, om altijd te kunnen zorgen voor voldoende niveau in het bassin, de huidige extra koelwatervoorziening die water vanuit de drinkwaterkelder naar het reactorvat kan voeren, omgebouwd zodat deze water naar het bassin kan voeren. De aansluitleiding naar het reactorvat wordt verwijderd omdat aangetoond is dat deze niet nodig is en omdat deze bij foutief gebruik een lekkage van het reactorvat kan veroorzaken.

TM-4 Vervangen van de dieselaangedreven koelpomp door een elektrische pomp met additionele accuvoeding

De HFR beschikt over een nakoelpomp (elektrisch) en een noodkoelpomp (dieselaangedreven), waarvan er één voldoende is voor de afvoer van de vervalwarmte na afschakelen van de kern. Tijdens bepaalde ongevallen is één van deze pompen gedurende een korte periode noodzakelijk voor het waarborgen van de koeling van de kern. . Ter verhoging van de betrouwbaarheid hiervan wordt een elektrische noodkoelpomp met accuvoeding voorzien ter vervanging van de dieselaangedreven noodkoelpomp. Vanwege de korte benodigde beschikbaarheid is accuvoeding voldoende zodat onafhankelijkheid van externe voeding of van de noodstroomdieselgeneratoren is gewaarborgd.

Ten behoeve van de aansturing van de na- en noodkoelpompen is verder voorzien in een (beperkte) uitbreiding van het reactorbeveiligingssysteem met de benodigde signalering-, verwerking- en aansturingapparatuur.

TM-5 Beperking van de mogelijke gevolgen van de val van een splijtstofcontainer

Voor het transport van gebruikte splijtstof wordt gebruik gemaakt van speciale splijtstofcontainers. Mocht een dergelijke container onverhoopt vallen gedurende

hijswerkzaamheden dan bestaat de mogelijkheid dat een bassin wordt beschadigd. Als gevolg hiervan kan ook schade ontstaan aan de primaire koelwaterleidingen. Om een dergelijk ongeval te voorkomen zullen voorzieningen aangebracht worden die de gevolgen van de val van een container beperken. Hiertoe wordt het gebied waarin de kraan een splijtstofcontainer kan verplaatsen beperkt zodat deze tijdens reactorbedrijf niet boven het reactorvat kan bewegen. Daarnaast wordt de vloer in bassin 1, ter plaatse van de positie waar de container wordt geplaatst voor be- en ontlading, verstevigd met een opvangconstructie. Hiermee is de integriteit van het bassin gewaarborgd in geval van een vallende container.

TM-6 Additioneel afschakelsysteem

In het onwaarschijnlijke geval dat het reactorafschakelsysteem met de regelstaven volledig faalt waardoor de reactor gedurende een ongeval niet afgeschakeld kan worden zal het vermogen vanzelf inzakken, als gevolg van de terugkoppeling van de koelwatertemperatuur op de reactiviteit. Hierdoor is het niet nodig om een tweede, snel werkend afschakelsysteem te hebben. Om in deze situatie de reactor uiteindelijk toch af te kunnen schakelen wordt voorzien in een additioneel afschakelsysteem. Dit systeem bestaat uit een sterke neutronen-absorber die aan de buitenzijde van het reactorvat geplaatst kan worden waardoor de reactor in korte tijd afschakelt. Hiervoor zijn meerdere uren beschikbaar.

TM-7 Verbetering van de insluiting van het reactorkoelsysteem

De primaire leidingen van het reactorkoelsysteem lopen vanuit het reactorgebouw door het primair pompgebouw en weer terug. De insluitfunctie van het primaire pompgebouw is echter beperkt. Om te voorkomen dat er als gevolg van lekkage van deze leidingen een open verbinding ontstaat tussen de reactor en het primair pompgebouw zijn de leidingen voorzien van U-bochten die dienst doen als waterslot[8]. Dit functioneert alleen niet wanneer de lekkage optreedt in het stuk leiding vanaf het reactorgebouw tot en met de U-bochten. Om ook in dit geval de insluitfunctie te waarborgen worden deze stukken leiding voorzien van een mantelpijp. Deze mantelpijp is voorzien van lekdetectie en is ontworpen voor dezelfde maximale druk als het reactorgebouw. Op deze wijze is de reactor in alle gevallen volledig geïsoleerd van de omgeving.

TM-8 Installatie van een noodmonitoringpaneel

Indien de regelkamer niet beschikbaar is als gevolg van bijvoorbeeld brand of een verhoogd stralingsniveau is het van belang op een andere locatie belangrijke procesparameters af te kunnen lezen. Op grond van de hiermee verkregen kennis kan de installatie dan in een veilige toestand gebracht en gehouden worden. Hiertoe zal bij de HFR op een locatie die

[8] vergelijkbaar met de zwanenhals in de afvoer van een wastafel

ruimtelijk voldoende gescheiden is van de regelkamer een noodmonitoringpaneel worden geïnstalleerd waarop de relevante procesparameters zijn af te lezen.

4.5 Radiologische emissies en milieufactoren

4.5.1 Radiologische emissies

Minimalisering van emissies en radioactief afval is een belangrijk punt van aandacht bij de bedrijfsvoering van de reactor en de installaties ten behoeve van de experimenten. Niettemin vinden enige emissies van radioactieve stoffen plaats in de volgende hoedanigheden:

- gasvormige emissies
- waterlozingen
- afvoer van vast afval.

De lozingen van *gasvormige* radioactieve stoffen naar de omgeving worden geminimaliseerd door de lucht uit de gecontroleerde ruimten binnen de HFR-gebouwen via filtersystemen af te voeren. Het mogelijk radioactieve *afvalwater* van de HFR wordt, evenals al het andere mogelijk radioactieve afvalwater van de Onderzoekslocatie Petten (OLP), na bij NRG (afdeling DWT, Decontamination and Waste Treatment) grotendeels te zijn ontdaan van radioactieve stoffen en andere verontreinigingen (zware metalen), direct via een pijpleiding geloosd in de Noordzee op 4,4 km uit de kust.

Vast radioactief afval wordt bij NRG (afdeling DWT) opgeslagen, voorgeperst en in COVRA-vaten geplaatst waarna het op gezette tijden wordt afgevoerd naar de Centrale Organisatie voor Radioactief Afval (COVRA).

De afvoer van radioactieve stoffen via de waterlozingen en afvoer naar COVRA worden uitgevoerd onder beheer van de afdeling DWT van NRG. De waterlozingen via DWT vallen onder de Kernenergiewet vergunning van NRG. De hoeveelheden en activiteiten worden in de volgende paragrafen uitgewerkt.

4.5.2 Emissies van radioactieve stoffen

In tabel 4.5.1 wordt een overzicht gegeven van de emissies van radioactieve stoffen naar de lucht in de jaren 2000 t/m 2002. De huidige vergunningslimiet (omgerekend naar Re[9]) voor lozingen naar de lucht door de HFR bedraagt 100 Re_{inh}/jaar. Hierin wordt geen wijziging gevraagd. De actuele lozingen bedragen 20 - 30% van de vergunningslimiet. De resulterende stralingsdoses in de omgeving worden behandeld in paragraaf 5.5.

Tabel 4.5.1 Luchtlozing via HFR "schoorsteen" ("<" betekent kleiner dan de minimaal detecteerbare activiteit; Tussen haakjes staan de percentages ten opzichte van de vergunninglimiet

Jaartal	Lozing 2000 [MBq]	Lozing 2001 [MBq]	Lozing 2002 [MBq]
α-activiteit	<	<	<
β/γ-activiteit (m.n. ^{131}I)	1,77 (0,02)	1,45 (0,02)	0,035 (<0,01)
^{3}H	793.000 (13)	506.000 (8)	230.000 (4)
Edelgassen (m.n. ^{41}Ar)	9.100.000 (16)	7.490.000 (13)	5.900.000 (10)

1) Vergunningslimiet = 100 Re_{inh}/jaar

In tabel 4.5.2 wordt een overzicht gegeven van de lozingen van radioactieve stoffen naar de Noordzee in de jaren 2000 t/m 2002. Omdat alle waterlozingen via de waterbehandeling van de afdeling DWT van NRG verlopen betreffen de onderstaande getallen de totale lozingen van radioactieve stoffen van alle gebruikers (ECN, NRG, Mallinckrodt) van de onderzoekslocatie Petten. De huidige vergunningslimiet voor lozingen naar water door DWT, waarbij de lozingen door de HFR zijn inbegrepen bedraagt 2000 Re_{ing}/jaar. De actuele lozingen bedragen circa 25% van deze vergunningslimiet. Van de waterlozingen is - uitgedrukt in Bq - in het algemeen circa driekwart afkomstig van de HFR. Dit geldt echter niet voor jodium-131 dat grotendeels niet afkomstig is van de HFR.

[9] 1 Re is de hoeveelheid radioactiviteit die bij complete inhalatie (Re_{inh}) of ingestie (Re_{ing}) een dosis geeft van 1 Sv. Voor edelgassen geldt een specifieke berekeningsmethode.

Tabel 4.5.2 Waterlozing via DWT van de gehele OLP. De bijdrage van de HFR hieraan bedraagt ca. 75%. ("<" betekent: onder de detectielimiet)

Nuclide	Lozing 2000 [MBq/jr]	% t.o.v. huidige vergunning [1)]	Lozing 2001 [MBq/jr]	% t.o.v. huidige vergunning[1)]	Lozing 2002 [MBq/jr]	% t.o.v. huidige vergunning[1)]
^{3}H	283200	0,3	232000	0,3	205300	0,2
^{22}Na	80	0,01	53	0,01	54	0,01
^{51}Cr	3		6			
^{54}Mn	43		10		9	
^{58}Co	15		7		24	
^{60}Co	597	0,1	175	0,03	420	0,07
^{65}Zn	246	0,05	218	0,04	134	0,03
^{67}Ga	<		27			
^{99}Mo	180		10150	0,01	9440	0,01
^{103}Ru	4		<		7	
^{109}Cd	115	0,01	<			
^{115m}Cd	49	0,01	<			
^{124}Sb	289	0,04	340	0,04	194	0,02
^{125}Sb	748	0,04	603	0,03	541	0,03
^{131}I	6300	7	2890	3	2068	2
^{134}Cs	5250	5	7120	7	7951	8
^{137}Cs	11600	8	20100	13	14641	10
^{181}W	243		116		83	
^{188}W	26		5			
^{202}Tl	<		2		2	
α	0,6	0,01	7	0,1	1	0,01
$\beta^{2)}$	78200	3	91350	4	80792	3

1) Vergunningslimiet = 2000 Re_{ing}/jaar

2) Totale β-activiteit met uitzondering van tritium (^{3}H)

4.5.3 Bewaking radiologische emissies

Gasvormige emissies

De activiteitsconcentratie van de uit de gebouwen afgevoerde lucht wordt gemeten voordat deze naar de ventilatieschacht wordt geleid. De afgevoerde lucht bestaat uit de ventilatielucht van het reactorgebouw en de gefilterde lucht afkomstig van de reactorsystemen.

Periodiek worden de koolstoffilters verwisseld ter bepaling van de alfa-, bèta- en gamma-activiteit. Bij geconstateerde afwijkingen wordt nuclide-specifiek gemeten om de oorzaak te kunnen achterhalen. Er worden drempelwaarden gehanteerd voor de toetsing van de actuele activiteitsconcentratie en voor de cumulatieve activiteit per kwartaal en per jaar. Bij een bepaalde activiteitsconcentratie wordt de ventilatie van het reactorgebouw automatisch gestopt en bij een verhoogde activiteitsconcentratie wordt het reactorgebouw inclusief de aanvoer van gassen uit de reactorsystemen volledig afgesloten.

Indien de cumulatieve kwartaallimiet gedurende een kwartaal wordt overschreden wordt een alarmering gegeven. Overschrijding van de jaarlimietwaarde gedurende een kalenderjaar leidt tot afsluiting van het reactorgebouw door middel van het ventilatie-afsluitsysteem.

De methoden voor meting en registratie van de lozingen van radioactieve stoffen zijn goedgekeurd door de toezichthoudende instantie (VROM-inspectie). De radioactieve lozingen worden elk kwartaal aan de VROM-inspectie gerapporteerd.

Waterlozingen

Radioactieve stoffen in water worden (na radiologische meting) alleen afgevoerd via DWT. DWT draagt daarbij zorg voor de bewaking van radiologische emissies. Via het koelwater van de HFR mogen geen radioactieve stoffen worden geloosd. Dit wordt bewaakt en periodiek gerapporteerd aan Rijkswaterstaat en het Hoogheemraadschap.

Afvoer van vast afval

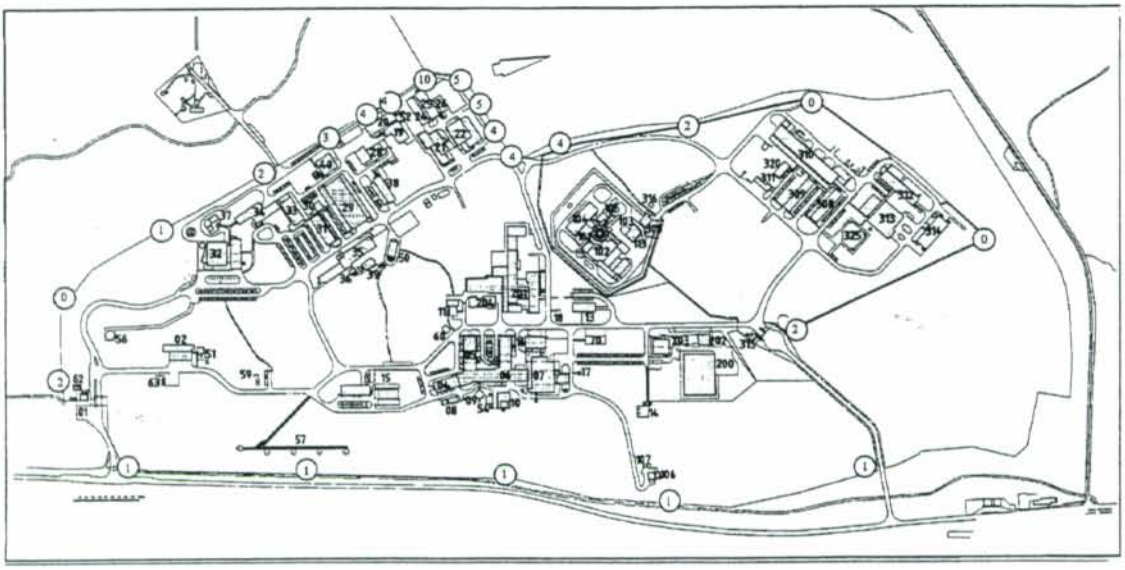
Verzamelen, verwerken, opslag en afvoer van radioactief afval worden overeenkomstig operationele procedures uitgevoerd. Er is een procedure voor de bediening van de verschillende systemen voor vloeibare radioactieve stromen en een tweede die de werkwijzen beschrijft met betrekking tot het omgaan met vast radioactief afval en besmette objecten (bijvoorbeeld bij ontmanteling van experimentele opstellingen). De verdere verwerking (onder andere verpakking, tijdelijke opslag, transport naar COVRA) van vast radioactief afval vindt plaats bij de afdeling DWT van NRG, die hiervoor een vergunning heeft. Indirect afval (zoals verpakkings-materiaal) dat ontstaat bij de ontvangers van in de

HFR bestraalde producten wordt door de ontvangers (bijvoorbeeld ziekenhuizen) zelf afgevoerd.

Er wordt een registratie bijgehouden van de hoeveelheden, soorten en karakteristieken van het radioactieve afval dat ligt opgeslagen op, of wordt afgevoerd van het reactorterrein.

4.5.4 **Omgevingsmeetnet stralingsniveau**

Op 58 punten op en langs het gehele bedrijfsterrein te Petten (OLP) zijn gevoelige Thermo Luminescentie Dosimeters (TLD's) geplaatst. Hiermee wordt elk kwartaal de dosis aldaar bepaald. Aangezien op de onderzoekslocatie buiten de HFR meerdere bedrijven zijn gevestigd die met radioactieve stoffen werken, zijn de geregistreerde doses vaak een optelling van verschillende bijdragen. Ter voorkoming van te sterke cumulatie van doses afkomstig van verschillende organisaties is een contract afgesloten tussen alle gebruikers van de OLP. Hierin is onder andere geregeld dat de jaarlimiet voor de cumulatieve dosis aan de terreingrens van de OLP 40 µSv bedraagt. In 2002 bedroeg de maximaal bepaalde jaardosis aan de terreingrens 10 µSv. Ter hoogte van de HFR was dit 4 µSv (zie figuur 4.5.1). Deze waarden zijn gecorrigeerd voor achtergrond en theoretische mogelijke actuele verblijftijd. Langs het terrein van de OLP is de meest beperkende bestemming die van dagrecreatiegebied. Hiervoor geldt een correctiefactor van 0,03. (REF:MR-AGIS, Regeling analyse gevolgen ioniserende straling voor het milieu, Staatscourant nr. 73, 16 april 2002). De genoemde maximaal bepaalde jaardosis ligt rond de HFR onder het door de overheid vastgestelde Secundaire Niveau van 10 µSv/jaar (voor externe straling), waar beneden vanuit milieu-oogpunt geen bezwaar bestaat tegen vergunningverlening (mits de handeling is gerechtvaardigd).

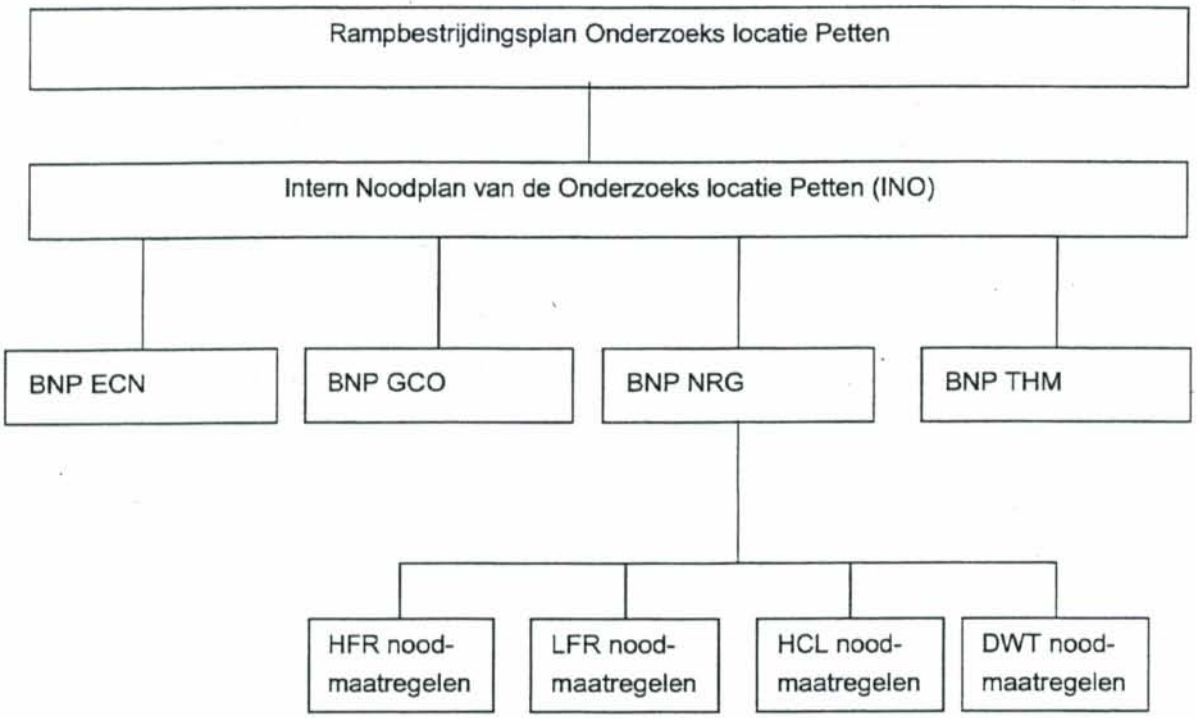


Figuur 4.5.1 Dosis aan de terreingrens in microSievert over geheel 2002 ten gevolge van handelingen op het bedrijfsterrein (gecorrigeerd voor achtergrondstraling en theoretische verblijftijd)

4.6 Noodplannen

4.6.1 Noodplannen locatie Petten

Voor ongevalssituaties binnen of in de naaste omgeving van de HFR zijn diverse noodplannen opgesteld. Voor de gehele Onderzoekslocatie Petten, dat de activiteiten van ECN, GCO, NRG en Tyco Healthcare-Mallinckrodt (THM) omvat, is dit het Intern Noodplan Onderzoekslocatie Petten (NRG, 2002b). Dit is een overkoepelend noodplan waarin de organisatie beschreven wordt die in werking treedt als een ongeval een bepaalde omvang heeft bereikt. De vier bedrijven hebben ieder ook een eigen bedrijfsnoodplan, waarin de eigen noodorganisaties beschreven zijn. Een en ander is schematisch in figuur 4.6.1 weergegeven.



Figuur 4.6.1 Samenhang noodplannen met het rampenbestrijdingsplan. BNP = bedrijfsnoodplan

Specifiek voor de HFR gelden het bedrijfsnoodplan van NRG Petten en het document HFR Veiligheidsvoorschriften en Noodmaatregelen.

4.6.2 **Rampbestrijdingsplan**

De gemeente Zijpe heeft een nieuw rampenplan in mei 2002 vastgesteld. Dit plan beoogt om in geval van een incident of calamiteit op het terrein van de Onderzoek Locatie Petten te komen tot een zo effectief mogelijk aanpak daarvan. Het plan sluit aan op het Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding. Het plan neemt alle bij de bestrijding van een incident op de locatie betrokken hulpverleningsdiensten en organisaties in één afgestemde, gecoördineerde incidentenbestrijdingsorganisatie op. De betrokken partijen zijn: de Interne Nood Organisatie (INO) van de locatie, de gemeente Zijpe, de betrokken ministeries (BZK, en VROM) en de verschillende hulpverleningsdiensten zoals regionale brandweer en politie.

Een van de kernelementen in de verdeling van taken, verantwoordelijkheden en ondersteuning voor de diverse processen bij de bestrijding van een incident of ramp tussen gemeente, Geneeskundig hulpverlening bij ongevallen en rampen, brandweer, meldkamer Noord-Holland Noord Ambulance/Brandweer en de politie. Het gaat daarbij om processen zoals alarmering, bronbestrijding, voorlichting, evacuatie, verkeer regelen, slachtofferhulp et cetera. Het plan is na instemming van de betrokken overheidsinstanties vastgesteld door de burgemeester.

4.7 Conventionele milieuaspecten

4.7.1 Bedrijfsintern milieuzorgsysteem

De conventionele (= niet radiologische) milieuaspecten van de HFR zijn relatief beperkt. Zij zijn vergelijkbaar met die van conventionele laboratoria, werkplaatsen en kantoren. Het betreft voornamelijk (Mul, 1997):

- opslag en gebruik van chemicaliën (waar onder olie) en gasflessen
- geluid van voornamelijk pompen, ventilatoren, koelmachines
- emissies van verwarmingsketels en laboratoria
- lasdampen
- opslag en afvoer van bedrijfs- en gevaarlijke afvalstoffen
- lozing op het gemeentelijk riool.

Omdat deze milieuzaken niet zullen veranderen ten gevolge van de voorgenomen activiteit, wordt daar in dit MER niet uitgebreid op in gegaan. Detail-informatie wordt verstrekt in de Kew-vergunningaanvraag.

Genoemde milieu-aspecten zijn zo beperkt dat zij geen uitgebreid (laat staan een volledig gecertificeerd) milieuzorgsysteem rechtvaardigen.

Voor het belangrijkste aspect, de veiligheid, is het managementsysteem van NRG van toepassing dat gebaseerd is op ISO 14000. Dit systeem is gecertificeerd conform ISO 9001-2000. Het document "Veiligheids- en milieu-voorschriften voor derden" (ECN, 2001) is opgesteld en ingevoerd om een adequate milieuzorg te garanderen.
Voorts is er een systeem voor registratie van de gevaarlijke stoffen, zodat te allen tijde (o.a. voor de brandweer) bekend is welke gevaarlijke stoffen voorradig zijn.

4.7.2 Gevaarlijke stoffen en afvalstoffen

De thans gebruikte gevaarlijke stoffen worden uitgebreid benoemd in de Kew-aanvraag. Het gaat om de volgende categorieën:

- gassen en vloeistoffen onder druk
- zuren/logen
- vetten/oliën
- ontvlambare koolwaterstoffen
- fotochemicaliën
- schoonmaakchemicaliën
- diversen (papier, batterijen, lampen et cetera).

De aard en de hoeveelheden zijn niet zodanig dat de HFR onder het Besluit Risico's Zware Ongevallen (BRZO, 1999) valt. In de Kew-aanvraag staan per stof de relevante gegevens zoals gebruiksdoel, eigenschappen, maximale voorraad en verbruik. Omdat deze zaken van ondergeschikt milieubelang zijn en niet veranderen ten gevolge van de voorgenomen activiteit, wordt er in dit MER niet nader op ingegaan.

4.7.3 Bodemonderzoek

Voorafgaand aan de bouw van de HFR vonden op het betreffende terrein geen bodembedreigende activiteiten van industriële of andere aard plaats. Derhalve is het nimmer zinvol geweest een historisch bodemonderzoek uit te voeren. Een in 1992 door GRONTMIJ verricht verkennend bodemonderzoek bracht nauwelijks verontreinigingen aan het licht. Uit een door adviesbureau Milieutechniek de Vries & Van de Wiel in 1995 uitgevoerd onderzoek op de bouwplaats van het BNCT (boron neutron capture therapy) gebouw bleek de bovengrond licht verontreinigd met asbest, afkomstig van verwijderde bouwketen. Deze verontreiniging is hersteld. De ondergrond en het grondwater waren echter schoon, zodat tegen de bouw geen bezwaar bestond.

Bodemverontreiniging zou in beginsel veroorzaakt kunnen worden door de opvangtanks voor radioactief afvalwater en de olietank. De eerstgenoemde tanks staan echter boven een betonnen put en worden regelmatig geïnspecteerd. De olietank is eveneens bovengronds en wordt periodiek door erkende inspecteurs gekeurd zodat het bodemverontreinigingsrisico daarvan ook aanvaardbaar wordt.

4.7.4 Brandbestrijding

De in paragraaf 4.6 genoemde noodplannen gelden uiteraard ook voor brandbestrijding. Zo is in de HFR Veiligheidsvoorschriften en noodmaatregelen een paragraaf over Brand opgenomen. Deze paragraaf onderscheidt algemene noodmaatregelen bij brand en noodmaatregelen voor speciale gebieden en installaties.
De algemene maatregelen hebben betrekking op zaken zoals brandmelding, eenvoudige maatregelen tegen uitbreiding van de brand en ter bescherming van personen en goederen. Ook bevat dit deel algemene instructies voor de dienstdoende Reactorbedrijfswacht (RBW). De noodmaatregelen voor speciale gebieden en installaties geven speciale instructie voor brand in reactorhal, (ruimte onder) regelkamer, reactorbijgebouw, pompgebouwen, luchtbehan-delingsgebouw, elektrische ruimten.

In verschillende ruimten en locaties binnen de HFR zijn automatische brandmelders geïnstalleerd.

Op de onderzoekslocatie is een bedrijfsbrandweer aanwezig, die verplicht is op grond van de Kew-vergunning. In de HFR zijn draagbare brandblustoestellen en brandkranen met brandslangen. De reactorbedrijfswacht controleert de aanwezigheid van blusmiddelen periodiek. De blusmiddelen worden jaarlijks gecontroleerd (zonodig vervangen) door de bedrijfsbrandweer.

De inzet van de regionale brandweer gebeurt volgens het Rampbestrijdingsplan van de gemeente Zijpe.

4.8 Alternatieven in verband met de voorgenomen activiteit

4.8.1 Inleiding

In het MER dienen ook alternatieven van de voorgenomen activiteit, die redelijkerwijs in beschouwing dienen te worden genomen, te worden beschreven. Voor het verkennen van deze alternatieven wordt in het Besluit milieueffectrapportage uitgegaan van de volgende indeling naar soorten alternatieven:

- doelstellingsalternatieven: bijvoorbeeld niet proberen aan de gestegen vraag te voldoen door extra productie, maar de stijging van de vraag afremmen zodat de huidige capaciteit toereikend is
- uitvoeringsalternatieven: een ander proces of tracé, andere milieuvoorzieningen
- locatiealternatieven: een andere plaats

- alternatieven in tijd: later of gefaseerd uitvoeren (en later beslissen met behulp van verder ontwikkelde (milieu)technologie).

Hierbij dient te worden opgemerkt dat geen relevante doelstellingsalternatieven zijn te geven voor de in dit MER genoemde doelstellingen: overschakelen van hoog naar laag verrijkte splijtstof en verhoging van de veiligheid.

Ook de locatiealternatieven zijn hier niet aan de orde. Dit milieueffectrapport wordt opgesteld ten behoeve van de besluitvorming over een voorgenomen aanpassing van de vergunning ex art. 15 onder b van de Kernenergiewet. Het betreft dus geen zogenoemde 'oprichtings-m.e.r.' en de overweging van de gevolgen van de situering van (gedeelten van) de inrichting op een andere locatie is derhalve niet relevant.

Bij de bestudering van de verschillende alternatieven bleek tenslotte dat veelal moeilijk onderscheid was te maken tussen uitvoeringsalternatieven en alternatieven in de tijd. Deze categorieën zijn derhalve samengenomen onder de term uitvoeringsalternatieven.

Met betrekking tot de voorgenomen activiteiten kan dus aan de volgende alternatieven worden gedacht:

- nulalternatief
- uitvoeringsalternatieven
- het meest milieuvriendelijke alternatief.

Het nulalternatief is het alternatief, waarbij de voorgestelde verandering van de splijtstof en de veiligheidsverhogende maatregelen niet worden uitgevoerd. Dit alternatief is niet realistisch omdat dan de levering van splijtstof op termijn gevaar loopt en de veiligheid niet volgens het ALARA-beginsel op peil gebracht wordt.

Uitvoeringsalternatieven zijn realistische alternatieven, die hetzelfde doel hebben, maar een geringere belasting voor het milieu betekenen. De alternatieven zullen apart voor de voorgestelde verandering van de splijtstof (zie paragraaf 4.8.2) en de veiligheidsverhogende maatregelen (zie paragraaf 4.8.3) worden uitgewerkt.

Het meest milieuvriendelijke alternatief (paragraaf 4.8.4) wordt ontwikkeld op basis van de milieugevolgen van de uitvoeringsalternatieven.

4.8.2 Splijtstofalternatieven

Uit figuur 4.3.1 blijkt dat de radioactieve inhoud van de HFR toeneemt bij afnemende verrijkingsgraad. De radioactieve inhoud is het voornaamste beoordelingsaspect voor de veiligheid van personeel en omgeving en voor de beoordeling van het vrijkomende radioactieve afval. Daarom zijn alternatieven met nog lagere verrijkingsgraden op voorhand al niet als milieuvriendelijker te typeren en heeft het geen zin dergelijke alternatieven uit te werken. Terzijde wordt opgemerkt dat toepassing van lagere verrijkingsgraden bovendien de bedrijfsvoering praktisch onmogelijk maakt, omdat de benodigde neutronenstroom ten behoeve van experimenten en isotopenproductie daarmee niet wordt gehaald.

Een milieuvriendelijker alternatief zou gevonden kunnen worden door toepassing van een hogere verrijkingsgraad dan LEU. Dit zou toepassing van middelhoog verrijkte splijtstof (MEU, verrijkingsgraad tussen 20 en 89%) betekenen. Van dit type splijtstof wordt algemeen gesteld dat het proliferatierisico weliswaar geringer is dan dat van hoog verrijkte splijtstof, maar nog steeds aanwezig. Ook is deze splijtstof momenteel niet gekwalificeerd voor toepassing. Om deze redenen is de toepassing van splijtstof met een hogere verrijkingsgraad dan 20% geen reëel alternatief. Daarom zal toepassing van MEU-splijtstof in hoofdstuk 6 niet verder uitgewerkt worden.

Een ander mogelijk alternatief betreft de duur van het conversietraject. Deze zou verlengd dan wel verkort kunnen worden. Verlenging van het conversietraject door het gefaseerd uitvoeren van de conversie heeft geen directe voordelen. Als nadeel kan genoemd worden dat de HFR zich dan langer in een overgangssituatie bevindt die ten aanzien van de bedrijfsvoering gecompliceerder is. Verkorting van het conversietraject kan eventueel tot minder veilige omstandigheden leiden vanwege de mogelijk hogere overreactiviteit omdat per cyclus meer splijtstofelementen dan normaal vervangen moeten worden door nieuwe elementen. Daarnaast heeft dit ook financiële nadelen omdat deels ongebruikte splijtstof moet worden afgevoerd. Geconcludeerd kan worden dat alternatieven met betrekking tot het conversietraject geen integrale milieuverbetering zullen betekenen en ook anderszins geen reëel alternatief vormen.

Nog een ander mogelijk alternatief betreft de keuze van de uraniumdichtheid (bij gelijke verrijkingsgraad). Deze kan in principe hoger of lager gekozen worden. Ten aanzien van de veiligheid heeft dit echter geen directe voordelen. Een verlaging heeft daarbij technische nadelen ten aanzien van het splijtstofelement ontwerp. Verhoging heeft nadelen omdat dan afgeweken wordt van de huidige stand der techniek met betrekking tot deze materialen. Met betrekking tot de uraniumdichtheid kan dus eveneens geconcludeerd worden dat geen reëel alternatief aanwezig is.

4.8.3 Alternatieve veiligheidsmaatregelen

Hieronder zullen alternatieven worden behandeld voor de technische maatregelen (TM) zoals behandeld in paragraaf 4.4.3.

Alternatief automatische convectiekleppen (ACK)

De drukvereffeningsleidingen hebben tot doel om in geval van lekkage in de uitlaatleiding de boven in het reactorvat verzamelde stoom af te voeren zodat geen groot stoomkussen kan ontstaan. Een alternatief voor deze maatregel is het automatiseren van het openen van de convectiekleppen van het reactorvat. Voordeel hiervan is dat hierdoor de reactorkern wordt gekoeld met water uit het reactorbassin zodat geen stoom wordt gevormd. Dit bassin heeft voldoende voorraad om deze koeling gedurende langere tijd te verzorgen. Echter de voorraad is eindig zodat het bassin uiteindelijk grotendeels leegstroomt. Het openen van de convectiekleppen dient geautomatiseerd en actief te gebeuren omdat bij een grote lekkage snelle actie vereist is. Dit actief functioneren is een nadeel ten opzichte van het volledig passief functioneren van de drukvereffeningsleidingen. Een bijkomend nadeel is dat de convectiekleppen (in tegenstelling tot de drukvereffeningsleidingen) niet redundant zijn uitgevoerd, zodat bij falen van een geautomatiseerde klep onvoldoende koeling kan optreden. Uit analyse van deze optie is het volgende gebleken:

- het automatiseren van de convectiekleppen als alternatief voor de drukvereffeningsleidingen zal op de ontwerpongevallen geen invloed hebben, omdat deze in voldoende mate worden beheerst
- ten aanzien van de buiten-ontwerpongevallen zal dit alternatief een positieve invloed hebben ten aanzien van de bestaande situatie maar minder dan als gevolg van de voorgenomen maatregel omdat de actieve aansturing een grotere kans van falen heeft.

Omdat gebleken is dat dit alternatief per saldo niet veiliger is, wordt het niet verder uitgewerkt in hoofdstuk 6.

Alternatief pomp bassinwater (PBW)

Voor het aanbrengen van twee afsluiters aan het reactorvat bestaat als alternatief de mogelijkheid om één of meerdere pompen aan te brengen die bassinwater in het reactorvat kunnen pompen. Voordeel hiervan is dat meer water voorhanden is omdat de volledige bassininhoud toegepast kan worden om in het reactorvat te pompen. Zonder pomp kan immers alleen de hoeveelheid water boven het reactorvat worden gebruikt. Ook kan het bassinwater met een hogere druk en een enigszins beter regelbaar debiet in het reactorvat worden gevoerd. Nadeel is dat hiervoor actieve componenten nodig zijn die afhankelijk zijn van elektrische voeding. Uit een nadere analyse bleek het volgende :

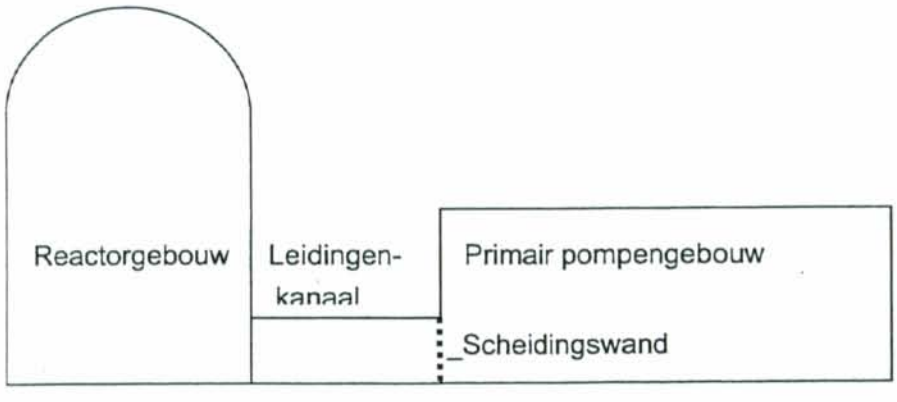
- dit alternatief zal op de ontwerpongevallen geen invloed hebben, omdat deze in voldoende mate worden beheerst

- ten aanzien van de buiten-ontwerpongevallen zal dit alternatief een positieve invloed hebben vergeleken met de bestaande situatie maar minder dan als gevolg van de voorgenomen maatregel omdat de actieve aansturing een grotere kans van falen heeft. De beschikbaarheid van een grotere voorraad water zal weinig invloed hebben aangezien dit voor de lange termijn geldt, waarbinnen voldoende niet-automatische maatregelen mogelijk zijn om water bij te vullen.

Omdat de betrouwbaarheid en daarmee de veiligheid dus niet meer wordt verbeterd dan ten gevolge van de voorgenomen activiteit, wordt dit alternatief niet verder uitgewerkt.

Alternatief scheidingswand primair pompgebouw (SPP)

Als alternatief voor de insluiting van de U-bochten van het primair reactorkoelsysteem kan de insluiting ook verkregen worden door plaatsing van een scheidingswand in het primair pompgebouw net voorbij deze U-bochten. In dit geval wordt het leidingenkanaal naar het primair pompgebouw afgesloten en bestand gemaakt tegen dezelfde druk als de ontwerpdruk van het reactorgebouw (zie figuur 4.8.1). Het veiligheidstechnische resultaat hiervan is gelijk aan dat van de mantelbuizen, alleen de uitvoering is verschillend. Omdat de uitvoering voor dit alternatief ingrijpender en duurder zal zijn dan de voorgenomen maatregel en de milieugevolgen niet beter zullen zijn wordt dit alternatief niet verder uitgewerkt.



Figuur 4.8.1 Onderlinge ligging van het reactorgebouw, leidingenkanaal en primair pompengebouw en plaatsing van de scheidingswand

4.8.4 Verdergaande veiligheidsmaatregelen

Om na te gaan of er nog extra maatregelen mogelijk zijn die tot een veiliger (=milieuvriendelijker) resultaat zouden kunnen leiden zijn de dominante bijdragen van de risicoanalyse van de beoogde installatie beschouwd (zie tabel 5.4.6). Voor eventuele extra maatregelen komt gelet op deze analyse in de eerste plaats vermindering van de gevolgen van de volgende gebeurtenissen in aanmerking:

1 verlies van externe elektrische voeding
2 opstartongeval
3 lekkage van één van de primaire leidingen (inlaat- en/of uitlaatleiding)

Ad 1. De relatief grote bijdrage van het verlies van externe voeding wordt veroorzaakt door de kans van uitval van het openbare Noord-Hollandse elektriciteitsnet. Deze kans is zeer klein. Verlaging van die kans is in principe mogelijk, maar niet eenvoudig. Bovendien blijken de radiologische gevolgen hiervan niet significant voor het individuele risico en het groepsrisico. Om die reden wordt geen alternatief uitgewerkt waarbij de betrouwbaarheid van de stroomvoorziening verder verbeterd wordt.

Overigens wordt opgemerkt dat de hoge betrouwbaarheid van het Nederlandse openbare net het gevolg is van vele reservesystemen, zodat uitval van een component (centrale of schakelstation) opgevangen kan worden door andere systemen. Om die reden zou het creëren van een lokale elektriciteitsvoorziening met dezelfde betrouwbaarheid ook zeer gecompliceerd en dus kostbaar zijn.

Ad 2. Het opstartongeval betreft een specifiek ongeval waarbij na een reactorafschakeling alle regelstaven zo ver uit de kern worden bewogen dat het vermogen ongewenst snel toeneemt. Om dit te voorkomen zijn verschillende beveiligingen aanwezig. Zoals uit tabel 5.4.6 blijkt levert deze begingebeurtenis bij de beoogde installatie een relatief grote bijdrage aan de kernbeschadigingsfrequentie. Uit verdere analyses blijkt echter dat de uiteindelijke gevolgen hiervan voor de omgeving (uitgedrukt in individueel en groepsrisico) niet significant zijn. Daarom is het niet zinvol hiervoor een alternatief verder uit te werken.

Ad 3. Vanwege de relatief grote kans van optreden geeft een lekkage van een primaire inlaat- of uitlaatleiding een grotere bijdrage aan de kernbeschadigingsfrequentie dan de volledige breuk van een primaire leiding. De beheersing van dit ongeval is door de beoogde maatregelen duidelijk verbeterd en wordt verzorgd door meerdere, dubbel uitgevoerde veiligheidsvoorzieningen. Een voor de hand liggende optie om de kans op en gevolgen van lekkage verder te verminderen is het toepassen van dubbelwandige leidingen. Deze mogelijkheid wordt daarom verder uitgewerkt.

Als tweede alternatief om de gevolgen van de begingebeurtenis waarbij een lekkage van een primaire leiding optreedt, is het volledig luchtdicht en drukbestendig maken van het primair pompgebouw beschouwd. Aangezien een deel van de lozingen die bij de risicoanalyse bijdragen aan het individueel risico het gevolg zijn van lozingen via dit gebouw zou dit alternatief een beperking van deze lozingen kunnen betekenen. Overigens wordt opgemerkt dat vanwege de constructie van het primair pompgebouw en de vele doorvoeringen dit in de praktijk zeer moeilijke en kostbare aanpassingen vergt.

De milieu- en veiligheidseffecten van bovenstaande alternatieven alsmede de bedrijfsmatige aspecten worden behandeld in hoofdstuk 6.

4.8.5 **Warmtebenutting koelwater**

De HFR loost vrijwel continu koelwater met een vermogen van circa 40 MW. Dit vermogen is in beginsel ruim voldoende om er de gehele onderzoekslocatie mee te verwarmen.
Het temperatuurniveau is echter aan de uitlaat van het primaire systeem doorgaans tussen 45 en 65 ^{0}C gelegen. Een benodigde warmtewisselaar zou dit niveau nog minimaal 5 ^{0}C verlagen. Voor standaard ruimteverwarming is dit temperatuurniveau te laag. Dit betekent dat dan aanvullende opwarming noodzakelijk zou zijn. Omdat de warmte van de HFR niet continu beschikbaar is, zou de ketelinstallatie bovendien ontworpen moeten worden op de volledige maximale piekcapaciteit. Dit betekent dat bij vervanging van de huidige verwarmingsketels de investeringskosten niet verlaagd worden door warmtebenutting van de reactor. Wel zou brandstof bespaard kunnen worden. Daartoe zouden dan echter wel overgeschakeld moeten worden van het huidige decentrale verwarmingsysteem naar een centraal verwarmingsysteem voor de hele locatie. Daarvoor zouden de volgende extra investeringen noodzakelijk zijn:

- extra warmtewisselaars
- een warmtenet
- een nieuw, centraal ketelhuis

In een bestaande situatie zoals bij de HFR is dit zeer kostbaar en economisch volstrekt niet verantwoord. Uit veiligheidsoogpunt is het aanbrengen van een extra weerstand in het secundaire koelwatersysteem ongewenst.

Een alternatief voor besteding van de restwarmte binnen de onderzoeklocatie zou het toepassen van de warmte in het nabijgelegen tuinbouwgebied zijn. Ook hiervoor geldt dat het temperatuurniveau niet direct geschikt is en dus extra naverwarming nodig zou zijn. Bovendien zouden alle tuinders/bollenkwekers aan een dergelijk project mee moeten doen om het rendabel te maken. In de praktijk blijkt dat zeer moeilijk. Hierbij speelt in dit speciale geval

bovendien nog het imago van warmte van een nucleaire installatie waarbij snel de verdenking ontstaat dat dit radioactief zou kunnen zijn en dat daardoor– bijvoorbeeld bij een storing - de producten onverkoopbaar zouden kunnen worden. Verder is de benodigde infrastructuur nog aanzienlijk duurder dan binnen de Onderzoekslocatie en in de praktijk onbetaalbaar.

Resumerend meent de initiatiefnemer dat er thans geen realistische mogelijkheden zijn om de warmte nuttig toe te passen. Bij de bouw van een nieuwe reactor zou e.e.a. opnieuw overwogen kunnen worden.

4.8.6 Meest milieuvriendelijke alternatief

Het meest milieuvriendelijke alternatief is tot stand gekomen door met betrekking tot de voorgenomen activiteit een aantal uitvoeringsalternatieven door te voeren waarvan gebleken is dat ze milieuvriendelijker zijn dan de voorgenomen activiteit. Dit alternatief wordt beschreven en uitgewerkt in paragraaf 6.7.

4.8.7 Uit te werken alternatieven

Uit het voorgaande is duidelijk dat een aantal van de hiervoor behandelde alternatieven de veiligheid of het milieu niet verbeteren dan wel volstrekt niet realistisch zijn. Dergelijke alternatieven behoeven volgens de richtlijnen niet uitgewerkt te worden. Er blijken enkele maatregelen aan te geven die de veiligheid verder verhogen. Hoewel deze uiteindelijk niet realistisch blijken te zijn, worden ze wel uitgewerkt om een beeld te geven van de theoretische opties die er zijn om de veiligheid verder te verbeteren. De uit te werken alternatieven die over blijven staan in onderstaande tabel. De effecten daarvan worden in hoofdstuk 5 respectievelijk 6 beschreven.

Mitigerende maatregelen per alternatief zijn niet zinvol omdat de alternatieven als zodanig uitsluitend een verdere verhoging van de veiligheid tot gevolg hebben en geen wezenlijke milieunadelen.

Tabel 4.8.1 Omschrijving verder uit te werken alternatieven en de hoofdstukken waarin de effecten van deze alternatieven worden beschreven

Alternatief	**Afkorting**	**omschrijving**	**hoofdstuk effecten**
Voorgenomen activiteit	VA	bedrijven HFR met laagverrijkte splijtstof en aanvullende veiligheidsmaatregelen	5
Nulalternatief	NA	bedrijven van de HFR met de huidige, hoogverrijkte splijtstof en zonder aanvullende veiligheidsmaatregelen	5
Verdergaande veiligheids maatregelen	LLB LPB	lekkage leidingen beperken lozing via primair pompgebouw beperken	6
Meest milieuvriendelijke alternatief	MMA	combinatie van de meest milieuvriendelijke uitvoeringsalternatieven	6

5 HET MILIEU THANS EN MET DE VOORGENOMEN ACTIVITEIT

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een aantal aspecten van het huidige milieu, voor zover deze kunnen worden beïnvloed door de HFR, beschreven alsmede de milieugevolgen van de voorgenomen activiteit. Eerst wordt in globale termen de omgeving beschreven, vervolgens komen de aspecten lucht-, water- en bodemkwaliteit, radioactief afval, de stralingsbelasting van het personeel en de geluidsbelasting bij normale bedrijftoestand aan de orde en het aspect veiligheid voor een aantal denkbare ongevalsituaties.

Uitgaande van de normale bedrijfstoestand van de HFR reikt de beïnvloeding nauwelijks verder dan de grenzen van de Onderzoekslocatie Petten (OLP). De omvang van het mogelijke beïnvloedingsgebied verschilt overigens per milieuaspect. Voor het compartiment lucht treedt de beïnvloeding op binnen 1 kilometer afstand (zie paragraaf 5.5). Voor de aspecten water en geluid gelden wisselende gebieden, die uit de aard van deze aspecten voortvloeien. Voor water wordt dit bepaald door de afstand tot welke het oppervlaktewater vanaf lozingspunten wordt beïnvloed. Geluid wordt bepaald door de zonering. Om toch een indruk van de omgeving te verschaffen wordt een ruim, niet nader afgebakend, gebied rondom de HFR geschetst.

Het onderwerp veiligheid neemt in dit hoofdstuk een centrale plaats in. Dit is onlosmakelijk verbonden met het feit dat een belangrijke beïnvloeding van het milieu bij kernreactoren alleen in ongevalssituaties kan ontstaan. Hierbij zijn alle activiteiten binnen de HFR meegenomen, zoals o.a. hantering van experimenten, bestraling voor medische doeleinden.

5.2 Bedrijfsgegevens

Tabel 5.2.1 geeft de belangrijkste bedrijfsmatige cijfers van de HFR.

Tabel 5.2.1 Belangrijkste bedrijfskentallen over de periode 1999 – 2002

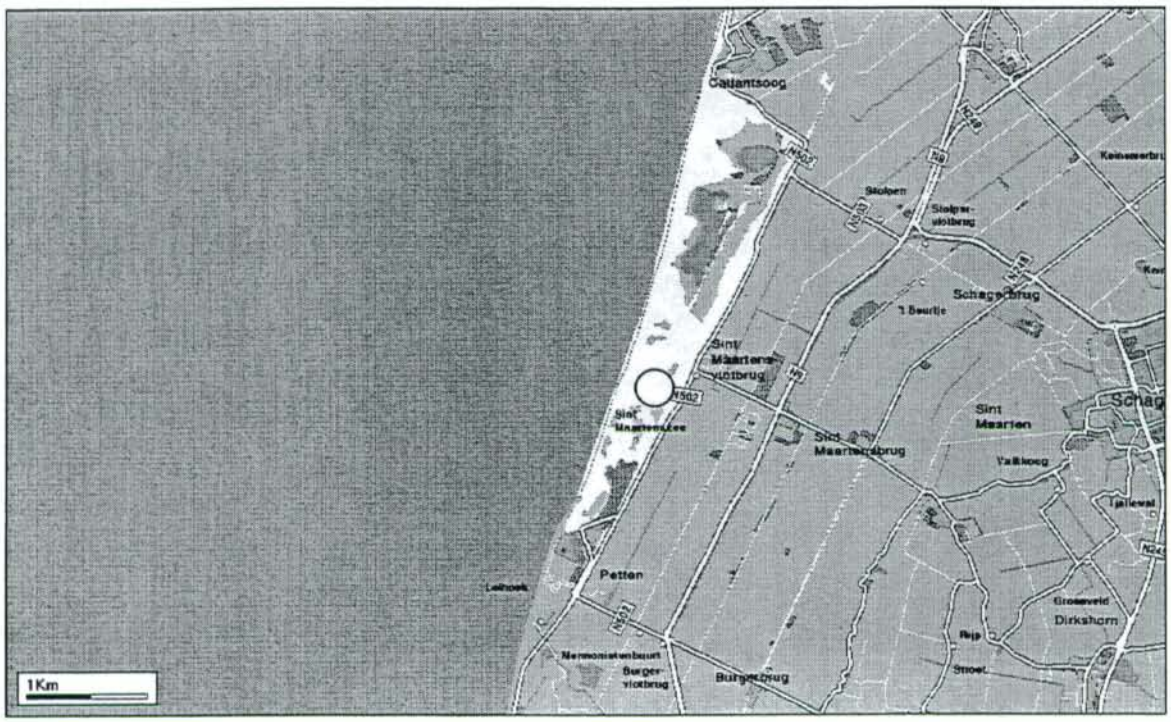
	aantal bedrijfsuren (h)	geplande stilstand (h)	ongeplande stilstand (h)	aantal ongeplande afschakelingen	Opgewekte energie (MWd)
1999	7022	1725	11	9	13507
2000	6913	1773	97	27	12903
2001	7028	1640	92	23	13087
2002	6590	1482	686	7	12383

Uit de tabel blijkt dat de HFR over de jaren een redelijk constante hoeveelheid energie opwekt. Doorgaans is het aantal uren ongeplande stilstand laag (rond 1% of minder). Het jaar 2002 was qua ongeplande stilstand een bijzonder jaar omdat de reactor toen op verzoek van de minister van VROM gedurende 1 cyclus (ca. 600 uur) werd stilgelegd om de veiligheidscultuur en historische lasdefecten in het reactorvat te onderzoeken.

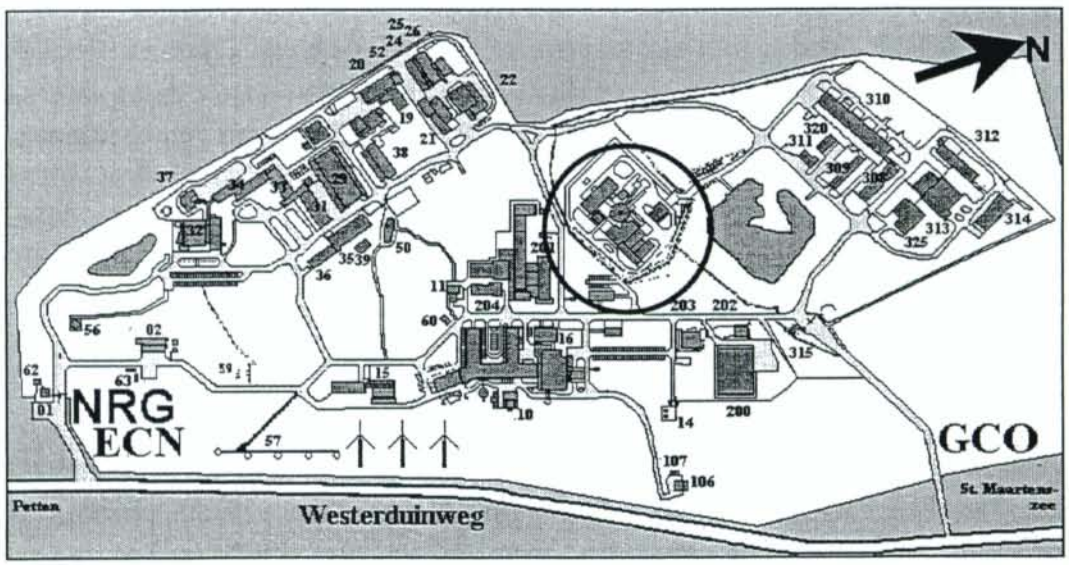
5.3 De locatie en haar omgeving

5.3.1 Locatie

De HFR bevindt zich in het smalle duingebied tussen de Westerduinweg en de kustlijn op circa 1 km ten zuidwesten van St. Maartenszee en op circa 2,5 km ten noordoosten het dorp Petten in de provincie Noord-Holland (zie figuur 5.3.1). De gebouwen van de HFR zijn gesitueerd op terrein van de GCO, dat grenst aan het terrein van ECN. Aan de noordzijde van HFR zijn (andere) GCO-gebouwen gelegen. De OLP wordt omgeven door het duingebied van de "Pettener duinen" (zie figuur 5.3.2 en 5.3.3).



Figuur 5.3.1 Ligging van de Hoge Flux Reactor



Figuur 5.3.2 Plattegrond van de Onderzoekslocatie Petten met de situering van de HFR

Figuur 5.3.3 Vogelvluchtopname van de Onderzoekslocatie en directe omgeving vanuit zuidelijke richting

5.3.2 **Omgeving**

Het terrein van de HFR behoort tot het grondgebied van de gemeente Zijpe, een relatief kleine gemeente met ruim 11.000 inwoners. St. Maartenszee en Petten zijn de dichtstbijzijnde woonkernen, op 1 respectievelijk circa 2,5 km. De hoofdplaats van de gemeente is Schagerbrug, dat is gelegen op 5 tot 6 km ten noordoosten van de HFR. Grotere woonkernen als Callantsoog en Schagen liggen op afstanden van circa 5 tot 7 km. Middelgrote steden als Den Helder en Alkmaar liggen hemelsbreed op 12 tot 16 km afstand.

De locatie maakt qua landschapstype deel uit van het duingebeid dat bijna de gehele kustlijn van Noord-Holland beslaat. Zoals eerder vermeld in par. 3.2.5 hebben grote delen van het duingebied een beschermde status vanwege de grote natuurlijke en landschappelijke waarden. Ten zuiden van de OLP, naar Petten toe liggen de Staatsduinen, een natuurgebied van 248 ha. Naar het noorden toe ligt in een brede duinstrook het natuurreservaat Het Zwanenwater van ongeveer 580 ha groot. Van maart tot augustus verblijft hier een van de grootste lepelaarkolonies van Europa. Naar het oosten toe liggen vrij grootschalige poldergebieden zoals in de eerste plaats de Zijpe- en Hazepolder. Het grondgebruik is agrarisch, variërend van grasland, tuinbouw tot akkerbouw, waar onder bollenteelt.

Er worden geen *autonome ontwikkelingen* in de bestaande omgeving voorzien, die invloed hebben op de besluitvorming met betrekking tot de voorgenomen activiteit.

Gevolgen voorgenomen activiteit
In zijn algemeenheid geldt dat er met de voorgenomen activiteit geen wijzigingen in de emissiesituatie en bijgevolg ook niet in de reeds bestaande installatie van het milieu rond de HFR optreden. Noch in de huidige, noch in de beoogde situatie worden de natuurlijke kenmerken van het omliggende grotendeels beschermde natuurgebied aangetast. Voor wat betreft de radiologische emissies naar de compartimenten lucht, water en bodem wordt verwezen naar paragraafen 5.5.

5.4 Veiligheid

5.4.1 Inleiding

Veiligheid bij normaal bedrijf
Ten aanzien van de veiligheid gedurende normaal bedrijf is het allereerst van belang dat de splijtstofelementen bestand zijn tegen de mogelijk optredende mechanische en thermische belastingen. Daartoe worden aan de toegepaste materialen en de constructie van de elementen en het gedrag hiervan tijdens normaal bedrijf en storingen eisen gesteld. De eisen aan het ontwerp van een splijtstofelement zijn geformuleerd in het nieuwe "HFR Veiligheidsrapport" (NRG, 2003). Volgens deze eisen dient een element bestand te zijn tegen de belastingen zoals die kunnen optreden tijdens normaal bedrijf en storingen. Daarnaast wordt, na iedere splijtstofwisselling, voordat de reactor wordt opgestart, met berekeningen aangetoond dat voldaan wordt aan de reactorfysische en thermohydraulische eisen.

Veiligheid met betrekking tot ongevallen
Het veiligheidsniveau van een (nucleaire) installatie wordt bepaald door de veiligheidstechnische eisen die aan het ontwerp ten grondslag hebben gelegen (de zogenaamde ontwerpbasis) en de wijze van bedrijfsvoering. Vanwege het specifieke karakter van een nucleaire installatie zoals de HFR ligt aan het ontwerp de algemene eis ten grondslag, dat de veiligheid voor de omgeving onder alle redelijkerwijs denkbare omstandigheden gewaarborgd moet zijn.

In de nucleaire praktijk betekent dit, dat een heel scala begingebeurtenissen moet worden verondersteld, bijvoorbeeld dat een leiding breekt. Vervolgens wordt met behulp van berekeningen (ongevalsanalyses) aangetoond dat het ontwerp van de installatie zodanig is dat de gevolgen van de verondersteIde begingebeurtenissen worden beheerst. Onder "beheerst"

dient daarbij te worden verstaan, dat de essentiële veiligheidsdoelen: afschakelen van de reactor, afvoeren van de vervalwarmte en insluiten van de radioactieve stoffen, zijn gewaarborgd. De ongevalsverlopen, die worden beheerst, worden de ontwerpongevallen genoemd. Voor deze ontwerpongevallen geldt voorts dat aan de geldende dosiscriteria (BKSE, art. 18-2) moet worden getoetst.

Naast beheersing van de ontwerpongevallen is van belang in hoeverre de gevolgen voor de omgeving van ontwerpoverschrijdende gebeurtenissen (buiten-ontwerpongevallen) kunnen worden beperkt. Ook bij de buiten-ontwerpongevallen moet worden voldaan aan de in het Nederlandse risicobeleid vastgestelde risicocriteria (BKSE, art. 18-3).

De geëigende plaats voor het (uitgebreid) beschrijven van de veronderstelde begingebeurtenissen met de bijbehorende uitgangspunten en randvoorwaarden, het gedrag van de installatie (met andere woorden het ongevalsverloop), en de bewijsvoering dat de veiligheid inderdaad gewaarborgd is, is het veiligheidsrapport. De huidige ontwerpbasis van de HFR is beschreven in het "HFR Veiligheidsrapport" (NRG, 2003).

Voor het beoordelen van de mate van beheersing van buiten-ontwerpongevallen en van beperking van de gevolgen ervan is de risicoanalyse het aangewezen hulpmiddel. Daarin wordt namelijk uitgaande van kernschade bepaald of, en zo ja in hoeverre, radiologische beïnvloeding van de omgeving plaatsvindt.

In de navolgende paragrafen wordt ingegaan op de analytische onderbouwing (ongevalsanalyses) van de beheersing van ontwerpongevallen, alsmede op de resultaten van de risicoanalyse voor de HFR.

In onderstaand schema is te zien, in welke paragrafen de lozingen, die kunnen optreden bij bepaalde situaties, worden behandeld.

Bedrijfssituatie	**Beheersingsmethodiek**	**Beoordelingswijze**	**Paragraaf-behandeling**
Storingen en ontwerpongevallen	Veiligheidssystemen	Ongevalsanalyses ontwerpongevallen	5.4.2
Buitenontwerp-ongevallen	Ongevalsmanagement en veiligheidssystemen	Risicoanalyse	5.4.3
Normaal bedrijf	Bedrijfssystemen	Beschouwing effecten reguliere lozingen	5.5.1 (lucht) 5.5.2 (water) 5.5.3 (bodem)

5.4.2 Ongevalsanalyses voor ontwerpongevallen

Beschouwde ongevallen

In het ontwerp van de installatie zijn maatregelen voorzien ter voorkoming van ongevallen. Daarnaast is de installatie ontworpen op de beheersing van de gevolgen van een aantal veronderstelde begingebeurtenissen, die eventueel tot een ongeval zouden kunnen leiden.

Zoals internationaal gebruikelijk zijn de veronderstelde begingebeurtenissen in de volgende categorieën onderverdeeld (IAEA,1992):

1 verlies van elektrische voeding
2 onbedoelde toename van de reactiviteit
3 verlies van het koeldebiet
4 lekkage van koelmiddel
5 foutieve handelingen of falen van apparatuur of componenten
6 speciale interne gebeurtenissen (brand, explosies, interne overstroming)
7 externe gebeurtenissen (aardbeving overstroming, neerstorten van een vliegtuig, extreme wind, et cetera)
8 menselijke fouten.

De voor de HFR relevante begingebeurtenissen voor de ontwerpongevalsscenario's zijn in de bovenstaande categorieën ingedeeld. Uit het hele spectrum van begingebeurtenissen zijn vervolgens een aantal begingebeurtenissen geselecteerd die tezamen representatief zijn voor alle begingebeurtenissen. De gevolgen van deze begingebeurtenissen zijn voor zowel de reactorinstallatie zelf als voor de omgeving geanalyseerd.

Ongevalsanalyses

Aan het ontwerp van een nucleaire installatie ligt een groot aantal analyses ten grondslag. Dit betreft onder meer sterktetechnische berekeningen en beschouwingen van het neutronen-fysische gedrag van de kern. Met behulp van ongevalsanalyses wordt aangetoond dat door het ontwerp de gevolgen van veronderstelde begingebeurtenissen adequaat worden beheerst. De ongevalsanalyses worden veelal onderscheiden in thermohydraulische analyses (gedrag van de installatie) en radiologische analyses (gevolgen voor de omgeving).

Kerninventaris

De grootste hoeveelheid in de installatie aanwezige radioactiviteit bevindt zich in de reactorkern. Onbestraalde splijtstof bevat slechts een geringe hoeveelheid radioactiviteit. Tijdens het bedrijf van de reactor wordt in de splijtstof meer en meer radioactiviteit gevormd. Bij het verversen van de splijtstof neem de activiteit af, omdat een deel van de radioactieve inhoud verwisseld wordt door nauwelijks radio-actieve, verse splijtstof. De radioactiviteit blijft binnen de splijtstofelementen opgesloten. Daarnaast bevinden zich in de constructiematerialen van de

kern en van het reactorvat activeringsproducten van in deze constructiematerialen aanwezige stoffen.

In de bijlage A is een overzicht gegeven van de belangrijkste nucliden die aanwezig zijn in een in bedrijf zijnde evenwichtskern[1] met een gemiddelde opbrand van een HEU- respectievelijk een LEU-kern. Deze kerninventarissen dienen als basis voor de berekening van de mogelijke radiologische gevolgen van ongevallen. De activiteit direct na afschakelen is gegeven.

Uit de kerninventarissen blijkt dat, zoals al aangegeven in paragraaf 4.3.4, de voornaamste verschillen optreden bij de actiniden (met name Np, Pu, Am en Cm). Dit kan een verhogend effect hebben op de uitkomsten van de risicoanalyse voor de gevolgen voor de omgeving (zie paragraaf 5.4.3.3).

Thermohydraulische analyses

Bij een thermohydraulische analyse worden temperaturen en drukken binnen de reactor-installatie in een computermodel vertaald, waarmee vervolgens wordt berekend hoe de respons van de installatie op de veronderstelde begingebeurtenis zal zijn. Doel van dergelijke analyses is aan te tonen dat de gevolgen van veronderstelde begingebeurtenissen worden beheerst.

De thermohydraulische analyses voor de bestaande installatie zijn in het verleden (1994) uitgevoerd voor de maatgevende, representatieve begingebeurtenissen uit tabel 5.4.1. Deze begingebeurtenissen zijn volgens de huidige inzichten enigszins afwijkend ingedeeld van de hiervoor genoemde categorieën, maar komen in grote lijnen daar wel mee overeen.

---

[1] kern die ontstaat na een aantal wisselcycli en de maximale activiteit bevat

Tabel 5.4.1 Representatieve begingebeurtenissen voor de thermohydraulische analyses van de bestaande installatie

nummer	veronderstelde begingebeurtenis
	VERSTORINGEN VAN HET REACTORVERMOGEN
A.1	Het onbedoeld tegelijk uitbewegen van de zes controlestaven tijdens een herstart na een bedrijfsonderbreking.
A.2	De uitstoot uit de kern van een bestralingshouder
A.3	Een verlaging van de moderatortemperatuur leidende tot een reactiviteitstoename
	VERSTORINGEN VAN DE VERMOGENSVERDELING
B.1	Afwijkingen van de kernsamenstelling
B.2	Ongelijke positionering van de controlestaven
	VERSTORINGEN VAN DE PRIMAIRE KOELING
C.1	Gelijktijdige uitval van de drie primaire koelpompen
	VERSTORINGEN VAN DE KOELSTROOMVERDELING
D.1	Volledige blokkering van één splijtstofelement in de HFR kern
	VERLIES VAN PRIMAIR KOELMIDDEL
E.1	Plotseling afbreken van een aftakking van de pers- of zuigleiding van het primair koelsysteem
	VERSTORINGEN VAN DE SECUNDAIRE KOELING
F.1	Mechanische beschadiging of leidingbreuk waardoor het secundair koelsysteem gedurende maximaal zeven dagen niet beschikbaar is
	ONGEVALLEN MET BESTRALINGSEXPERIMENTEN
G.1	Falen van een splijtstofbestralingsfaciliteit in de bassinbestralingsruimte

De thermohydraulische analyses voor de beoogde installatie (inclusief lagere verrijking) zijn op basis van het door de IAEA aanbevolen spectrum (IAEA,1992) uitgevoerd voor de begingebeurtenissen uit tabel 5.4.2 en wel volgens de huidige inzichten en met behulp van moderne, voor dat doel geschikte rekenprogramma's. Conservatieve (= voorzichtige) aannames en uitgangspunten alsmede theoretische modellering van de installatie en processen vormen hierbij de basis. De lijst in tabel 5.4.2 wijkt op enkele punten af van de lijst in tabel 5.4.1. Dit is het gevolg van verschillen in de keus van representatieve gebeurtenissen. Overigens zijn alle in tabel 5.4.1 genoemde gebeurtenissen binnen de scope van tabel 5.4.2 afgedekt.

Tabel 5.4.2 Representatieve begingebeurtenissen voor de thermohydraulische analyses van de beoogde installatie

nummer	veronderstelde begingebeurtenis
	VERLIES VAN ELEKTRISCHE VOEDING
1.1	Verlies van het externe net
	ONBEDOELDE TOENAME VAN DE REACTIVITEIT
2.1	Foutieve plaatsing van een splijtstofelement tijdens splijtstofwisselen
2.2	Foutief uitbewegen van alle 6 regelstaven bij opstart
2.4	Foutief uitbewegen van regelstaven
2.5	Niet-symmetrische regelstaafposities
2.7	Invloed van experimenten en experimentele faciliteiten
	VERLIES VAN HET KOELDEBIET
3.6	Blokkering van een splijtstofkanaal
	LEKKAGE VAN KOELMIDDEL
4.1	Lekkage van een primaire leiding

Met de thermohydraulische analyses is aangetoond dat de installatie na alle genoemde veronderstelde begingebeurtenissen in een veilige toestand kan worden gebracht en gehouden. Voor de uitgebreide behandeling van de analyses en de resultaten van de bestaande respectievelijk beoogde installatie wordt verwezen naar (ECN, 1994) respectievelijk het "HFR Veiligheidsrapport" (NRG, 2003).

De categorieën 5 t/m 8 uit het IAEA-spectrum (zie begin van deze paragraaf) van begingebeurtenissen leiden niet tot thermohydraulische analyses. Van de begingebeurtenissen uit deze categorieën is aange-toond (met andere analyses) dat zij geen relevante impact op de installatie hebben of er is vastgesteld dat zij al worden afgedekt door de analyses uit de overige categorieën of dat zij zo onwaarschijnlijk zijn dat zij niet verder beschouwd hoeven te worden. Begingebeurtenissen waarvan de bestendigheid van de installatie door middel van andere analyses of beschouwingen is aangetoond betreffen met name de val van een splijtstofelement tijdens handelingen of kritikaliteit van de splijtstof in het opslagbassin (categorie 5), interne branden, explosies en overstroming (categorie 6) en externe gebeurtenissen zoals aardbeving (categorie 7). De categorie 8 gebeurtenissen (menselijke fouten) zijn al afgedekt door de overige begingebeurtenissen.
Additioneel is er met betrekking tot de externe gebeurtenissen, als basis voor het alarmplan, een maximaal mogelijk ongeval gedefinieerd. Hiertoe is een afdekkende analyse gemaakt van het zeer onwaarschijnlijke ongeval waarbij een militair jachtvliegtuig of een Boeing 747 neerstort tegen het reactorgebouw (kans van optreden circa 2.10^{-8}/jaar, overeenkomend met eens in de 50 miljoen jaar). Bij een dergelijk ongeval zullen zware delen van het vliegtuig door de koepel van het reactorgebouw gaan en in het ergste geval tegen het reactorbassin

terechtkomen. Er is aangetoond dat het onderste deel van het reactorbassin, met een wanddikte van 2 meter beton, hiertegen bestand is. Hierdoor blijft er water in het bassin aanwezig tot 4 meter boven de reactorkern. Wel zullen er betonnen delen of zware onderdelen van de koepel of het vliegtuig in het bassin tegen het reactorvat kunnen vallen. Hierdoor zal het reactorvat en de zich daarin bevindende splijtstof zwaar beschadigd kunnen worden, waardoor de koeling van de kern kan worden geblokkeerd. Dit kan uiteindelijk resulteren in het smelten van een groot deel van de reactorkern, waardoor radioactieve stoffen zullen vrijkomen. Hiervan zijn vervolgens de mogelijke gevolgen voor de omgeving berekend, afhankelijk van de mogelijke weersomstandigheden. Uit deze berekeningen volgt dat de gevolgen voor de omgeving relatief beperkt zijn. In de meest voorkomende weersomstandigheden bedraagt de afstand tot de HFR waarbinnen de omwonenden dienen te schuilen (in huis moeten gaan met de deuren en ramen dicht) minder dan 4 km, op welke afstand een effectieve dosis van circa 5 mSv optreedt. Binnen een straal van minder dan 2 km kan de schildklierdosis boven de 250 mSv komen, overeenkomend met het niveau waarbij jodiumtabletten toegepast zouden moeten worden (indien geen rekening wordt gehouden met de verlaging van de dosis als gevolg van het schuilen). Ter plaatse van de dichtstbijzijnde omwonenden blijft de effectieve dosis, ook zonder maatregelen, onder de 50 mSv zodat geen tijdelijke evacuatie is vereist.
De hiervoor vermelde interventieniveaus zijn ontleend aan het Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding (NPK). Uit deze analyse blijkt dus dat er, bij toepassing van de maatregelen zoals omschreven in het alarmplan (Gemeente Zijpe, 2002), geen blijvende radiologische gevolgen (korte of lange termijn slachtoffers) voor de omgeving zullen zijn als gevolg van dit (uiterst onwaarschijnlijke) ongeval.

Radiologische analyses

In het algemeen leiden ontwerpongevallen niet tot lozingen van radioactiviteit naar de omgeving, omdat immers het ontwerp is gebaseerd op het beheersen van deze ontwerpongevallen en dus op het insluiten van de radioactiviteit. Toch kunnen bepaalde ontwerpongevallen een lozing tot gevolg hebben, die uitgaat boven de emissies bij normale bedrijfsvoering. Met behulp van een radiologische analyse moet dan worden aangetoond dat de gevolgen van een dergelijke lozing beneden door de overheid vastgestelde grenzen blijven.

In een radiologische analyse worden de consequenties berekend van een lozing naar de omgeving van de HFR en van externe bestraling door radioactiviteit die zich in het reactorgebouw bevindt. Daarbij wordt bepaald hoeveel radioactiviteit wordt geloosd en vervolgens met behulp van een computermodel berekend hoe deze radioactiviteit zich in de omgeving verspreidt. Afhankelijk van de verspreiding van de radioactiviteit worden de gevolgen voor de mensen in de omgeving berekend. Deze gevolgen worden uitgedrukt in de effectieve dosis (H_{eff}), een maat voor het effect van de totale hoeveelheid straling die het menselijk

lichaam over een bepaalde periode ontvangt, en de schildklierdosis (H_{th}), die specifiek betrekking heeft op de hoeveelheid door de schildklier ontvangen straling. De schildklierdosis is voornamelijk het gevolg van de opname van radioactief jodium. De radiologische analyses zijn uitgevoerd volgens de huidige regelgeving en met behulp van moderne, voor dat doel geschikte rekenprogramma's. (COSYMA, versie '97).

De representatieve begingebeurtenissen die een radioactieve lozing tot gevolg kunnen hebben, zijn gegeven in tabel 5.4.3. Deze begingebeurtenissen zijn verder geanalyseerd ten aanzien van hun mogelijke radiologische gevolgen.

Tabel 5.4.3 Representatieve begingebeurtenissen voor de radiologische analyses van de bestaande en beoogde installatie

nummer	**veronderstelde begingebeurtenis**
Bestaande installatie:	
D.1	Volledige blokkering van één splijtstofelement in de HFR kern
G.1	Falen van een splijtstofbestralingsfaciliteit in de bassinbestralingsruimte
Beoogde installatie:	
4.1	Lekkage van een primaire leiding
4.2	Beschadiging van het opslagbassin
5.7	Falen van experimentele apparatuur

Voor de berekening van de gevolgen zijn voor iedere nuclide (of groep van nucliden) de geloosde activiteit naar tijd en plaats, alsmede de energie-inhoud van de lozing bepaald (de zogenaamde bronterm). De gevolgen van de lozing zijn geanalyseerd met een reken-programma waarin achtereenvolgens verspreidingsberekeningen en dosisberekeningen worden uitgevoerd. Daarbij wordt rekening gehouden met de verschillende wegen, waarlangs mensen in de nabijheid in contact kunnen komen met radioactiviteit en aldus een stralingsdosis ontvangen.

De gevolgen zijn geanalyseerd op basis van kansberekening. Dit houdt in dat rekening is gehouden met het feit dat een ongeval in principe op ieder moment plaats kan vinden. De lokale weersomstandigheden, die bepalend zijn voor de verspreiding van de atmosferische lozing, variëren echter over de tijd aanzienlijk. In het rekenmodel wordt daarom rekening gehouden met de kans op allerlei weertypen. De dosis ten gevolge van externe bestraling door radioactiviteit die zich in het reactorgebouw bevindt, is overigens onafhankelijk van de buiten heersende weersomstandigheden.

In het Nederlandse risicobeleid staan twee elementen centraal: er wordt uitgegaan van de bescherming van de meest kwetsbare groep en van het uitgangspunt dat het gebied grenzend aan het beschouwde terrein multifunctioneel beschikbaar dient te zijn. Dit betekent dat het gebied te allen tijde voor elke functie of combinatie van functies beschikbaar moet blijven. Ten aanzien van stralingsrisico's vormen over het algemeen kinderen de meest kwetsbare groep. De dosiscriteria worden dan ook veelal op doses voor kinderen gebaseerd.

Vergelijking met dosiscriteria

Voor de dosiscriteria voor ontwerpongevallen wordt, afhankelijk van de kans van optreden van een ontwerpongeval, het dosiscriterium vastgesteld conform paragraaf 3.2.3.2.
Voor de gevolgen van lozingen is de potentiële dosis berekend voor een periode van 70 jaar na het ongeval, aangezien een lozing een onomkeerbare verspreiding in het milieu met zich meebrengt. Voor de directe straling is de dosis eveneens over 70 jaar berekend, hetgeen de zeer conservatieve veronderstelling inhoudt dat de eventueel in het reactorgebouw zwevende aërosolen niet uitzakken en dat geen reinigingsacties worden ondernomen.

Toetsing aan de dosiscriteria vindt plaats op de terreingrens van de HFR. Vanwege het multi-functionaliteitsprincipe wordt uitgegaan van het hypothetische geval dat het gebied grenzend aan het terrein van de installatie een woonbestemming heeft, waar zich ten tijde van het ongeval de referentiegroep kinderen bevindt, die vervolgens daar ter plaatse gedurende het gehele leven (70 jaar) worden blootgesteld aan de gevolgen van het ongeval.

Bij de berekeningen is uitgegaan van conservatieve aannames voor de vaststelling van de geloosde activiteiten (zie (ECN, 1994) resp. (GCO, 2003)). Gezien deze werkwijze moeten de vermelde waarden gezien worden als overschatting van de maximaal denkbare doses.

De resultaten van de bovengenoemde radiologische analyses van de representatieve begingebeurtenissen zijn gegeven in tabel 5.4.5, zowel voor de bestaande als voor de beoogde installatie (inclusief bedrijfsvoering). Zowel de effectieve dosis (H_{eff}) als de schildklierdosis (H_{th}) zijn gegeven. Het betreft de doses aan de terreingrens. Zoals hiervoor vermeld is het dosiscriterium H_{eff} afhankelijk van de kans van optreden van de veronderstelde begingebeurtenis (zie tabel 5.4.3). Ter vermijding van korte-termijn-effecten geldt in alle gevallen een dosiscriterium van 500 mSv voor de schildklier (H_{th}).

Tabel 5.4.5 Toetsing aan de dosiscriteria voor kinderen

Veronderstelde begingebeurtenis (zie tabel 5.4.3)	**Berekende dosis (mSv)**		**Dosiscriteria (mSv) voor kinderen**		**Gebeurtenis frequentie F (per jaar)**
	H_{eff}	H_{th}	H_{eff}	H_{th}	
Bestaande installatie:					
D.1	0,01	-	0,04	500	$F \geq 10^{-1}$
G.1	0,01	-	0,4	500	$10^{-1} > F \geq 10^{-2}$
Beoogde installatie:					
4.1	0,06	0,06	4	500	$10^{-2} > F \geq 10^{-4}$
4.2	4.10^{-6}	4.10^{-6}	4	500	$10^{-2} > F \geq 10^{-4}$
5.7	0,35	0,35	0,4	500	$10^{-1} > F \geq 10^{-2}$

Uit de tabel blijkt dat bij alle representatieve begingebeurtenissen wordt voldaan aan de eisen met betrekking tot de betreffende dosiscriteria. Hierbij dient te worden opgemerkt dat bij vergelijking van de resultaten van de begingebeurtenissen G.1 en 5.7, welke beide het falen van experimenten betreffen, het hogere resultaat bij begingebeurtenis 5.7 het gevolg is van thans voorgeschreven, veel conservatievere aannames. Voor een gedetailleerde behandeling van de analyses wordt verwezen naar (ECN, 1994) resp. (NRG, 2003).

5.4.3 **Risico-analyses van buiten-ontwerpongevallen**

5.4.3.1 Doel risico-analyses

Een risicoanalyse of probabilistische veiligheidsanalyse van een nucleaire installatie is een systematisch onderzoek naar de kans van optreden van kernbeschadiging en naar de gevolgen voor de omgeving. In een risicoanalyse worden die ongevallen behandeld, die leiden tot beschadiging van de reactorkern of van andere, grote hoeveelheden radioactiviteit bevattende componenten (zoals experimenten of gebruikte splijtstofelementen in het opslagbassin) of leiden tot lekkage of falen van de insluiting van het reactorgebouw. Voor dergelijke ongevallen worden de consequenties van de radioactieve lozingen berekend, die bij deze ongevallen optreden. Omdat deze ongevallen een zeer lage kans van voorkomen hebben, wordt de installatie hier niet zodanig op ontworpen dat deze ongevallen volledig

beheerst worden. Zij worden daarom buiten-ontwerp-ongevallen genoemd. Dit in tegenstelling tot ontwerpongevallen, waartegen de installatie wel volledig bestand is (zie paragraaf 5.4.2).

Voor de HFR is (in overleg met het bevoegd gezag) geen volledige risico-analyse uitgevoerd, maar een zogenaamde Risk Scoping Study (RSS). In tegenstelling tot een volledige risico-analyse of PSA (Probabilistic Safety Assessment), zoals die tegenwoordig voor kernenergiecentrales gebruikelijk is, is dit een analyse met een beperktere opzet en omvang. Zo beschouwt deze Risk Scoping Study alleen interne gebeurtenissen ten gevolge van systeemfalen. Daarnaast zijn ook ruimteoverschrijdende gebeurtenissen (interne brand en overstroming) beschouwd. Dit betreft per gebouw een ruwe, zeer conservatieve schatting van het risico. Per gebouw zijn de resultaten hiervan acceptabel. Om die reden zijn geen nauwkeuriger analyses uitgevoerd. Vanwege de grote mate van conservatisme lenen deze resultaten zich niet voor vergelijking met de overige resultaten van de risicoanalyse en worden daarom niet in paragraaf 5.4.3.3 gepresenteerd. De externe gebeurtenissen zijn beschouwd als onderdeel van de ontwerpongevallen (zie paragraaf 5.4.2). Redenen voor het beperkter uitvoeren van de risicoanalyse zijn de feiten dat een volledige risicoanalyse voor een onderzoeksreactor internationaal niet gebruikelijk is en dat een volledige risicoanalyse zeer hoge kosten met zich meebrengt, welke niet in verhouding staan tot het geringe restrisico.

Als doelstellingen voor de ten behoeve van de HFR uitgevoerde risicoanalyse kunnen worden genoemd:

- het bepalen van de kans op beschadiging van de kern
- het vaststellen van de dominante ongevalsscenario's
- het nagaan in hoeverre het reactorgebouw tijdens een ernstig ongeval voldoet aan zijn taak om de bij kernbeschadiging vrijkomende radioactieve stoffen in te sluiten
- het globaal bepalen van de overlijdensrisico's voor de omgeving.

Hoofddoel hierbij is het identificeren van eventuele zwaktes in het ontwerp om vast te stellen welke verbeteringsmaatregelen het best uitgevoerd kunnen worden. De resultaten van de Risk Scoping Study hebben in dit MER als voornaamste doel om de resultaten voor en na het treffen van de voorgenomen maatregelen te vergelijken. Ondanks het feit dat de absolute resultaten een beperkte waarde hebben, worden ze in de volgende paragrafen getoetst aan de geldende criteria, omdat zij een voldoende duidelijk beeld geven van de daadwerkelijke risico's van de HFR.

Voordat de uitkomsten van de risicoanalyse worden besproken, wordt in paragraaf 5.4.3.2 eerst kort ingegaan op de werkwijze bij het uitvoeren van een risicoanalyse.

5.4.3.2 Werkwijze risicoanalyse

Een risicoanalyse begint met inventariseren van alle mogelijke procesverstoringen. Net als bij de eerder beschreven ongevalsanalyses van de ontwerpongevallen (zie paragraaf 5.4.2)

gebeurt dat door begingebeurtenissen te veronderstellen. Hier gaat het dan echter uitsluitend om die begingebeurtenissen die uiteindelijk zouden kunnen leiden tot kernschade. Uitgaande van deze begingebeurtenissen worden alle mogelijke ongevalsverlopen bepaald die tot lozing van radioactieve stoffen kunnen leiden. Bij het bepalen van deze ongevalsverlopen spelen de in de installatie aanwezige veiligheidssystemen, de mate van automatisering en het menselijk handelen een essentiële rol.

De waarschijnlijkheidsanalyse van incidenten en processen die leiden tot ongevallen met consequenties voor het milieu is onderverdeeld in drie niveaus:

- niveau 1: systeem georiënteerde analyse
  Hierbij wordt de totale kans op ernstige beschadiging of smelten van de reactorkern bepaald
- niveau 2: proces georiënteerde analyse
  De niveau 2 analyse is er vooral op gericht te bepalen hoe groot de belasting op het reactorgebouw wordt en wanneer de functie ervan verloren gaat. Belangrijk is dat de kenmerken van de ongevalslozingen (de zogenaamde brontermen) nauwkeurig worden bepaald
- niveau 3: omgevingsgeoriënteerde analyse
  Uitgaande van de in de niveau 2 analyse bepaalde ongevalslozingen worden de radiologische gevolgen voor mens en milieu bepaald aan de hand van de verspreiding en depositie van radioactieve stoffen in de omgeving. Bij de mens worden de gevolgen onderscheiden in korte-termijn en late gezondsheidseffecten. Samen met de kans van optreden resulteert dit in het overlijdensrisico.

5.4.3.3 Resultaten risicoanalyse HFR

Uitwerking risico-analyse

Niveau 1

In de niveau 1 analyse zijn de begingebeurtenissen bepaald die een reactorafschakeling danwel een vermogensreductie of verlies van koeling kunnen veroorzaken en mogelijk leiden tot een kernbeschadiging. De reactie van de bedrijfs- en veiligheidssystemen op deze begingebeurtenissen is door middel van combinaties van gebeurtenissen en falen van de systemen gemodelleerd tot ongevalsscenario's. De uiteindelijke waarde van de kans van optreden van kernbeschadiging, hierna kernbeschadigingsfrequentie genoemd, is voor de bestaande installatie berekend op circa 5.10^{-5} per jaar. Dit komt overeen met één kernbeschadiging in 20.000 jaar. In de beoogde installatie is de kernbeschadigingsfrequentie verlaagd tot ruim 1.10^{-6} per jaar, overeenkomend met één kernbeschadiging in miljoen jaar. Dit betekent een verbetering als gevolg van de voorgenomen wijzigingen met afgerond een factor 40.

De bijdrage van de begingebeurtenissen aan de kernbeschadigingsfrequentie voor zowel de bestaande als beoogde installatie is weergegeven in tabel 5.4.6. Bij de begingebeurtenis

"Falen van experimenten" is een kans van 0% op kernbeschadiging bepaald, aangezien dit gepostuleerde ongeval het falen van een bassinexperiment betreft. Deze gebeurtenis is echter wel van belang omdat hierbij radioactieve stoffen vrij kunnen komen die worden meegenomen in de niveau 2-analyse.

Tabel 5.4.6 Relatieve bijdragen van de interne begingebeurtenissen aan de kernbeschadigingsfrequentie

Begingebeurtenis	**Bijdrage aan de kern-beschadigingsfrequentie**		**Verbeterings-factor**
	Bestaande installatie	**Beoogde installatie**	
Totale kernbeschadigingsfrequentie (per jaar) t.g.v. interne begingebeurtenissen	**5.10^{-5}**	**1.10^{-6}**	**40**
Verlies van elektrische voeding:			
• Verlies van externe voeding	12 %	20 %	24
Onbedoelde toename van de reactiviteit:			
• Opstartongeval	0,4 %	16 %	1
• Foutief bewegen van regelstaven	0,1 %	4 %	1
• Niet-symmetrische regelstaafposities	<0,01 %	<0,01 %	-
Verlies van debiet in het primaire systeem:			
• Falen van primaire pompen	1 %	1 %	40
• Blokkering van een splijtstofkanaal	<0,01 %	0,1 %	4
• Blokkering van het primaire systeem	5 %	4 %	50
• Verlies van uiteindelijke warmteafvoer	0,4 %	1 %	16
Lekkage van koelmiddel:			
• Lekkage van een primaire leiding binnen het reactorbassin	5 %	1 %	200
• Lekkage van een primaire inlaatleiding	2 %	24 %	3
• Lekkage van een primaire uitlaatleiding	2 %	24 %	3
• Breuk van een primaire inlaatleiding	37 %	3 %	490
• Breuk van een primaire uitlaatleiding	0,2 %	3 %	3
Foutieve handelingen of falen van apparatuur of componenten:			
• Falen van experimenten	0 %	0 %	-
Speciale interne gebeurtenissen:			
• Val van een container	36 %	0,1 %	14.000
• Verlies van hulpsystemen (gelijkspanningsvoeding)	0,06 %	0,2 %	12

Uit de gegevens van tabel 5.4.6 blijkt dat de totale kans op kernbeschadiging is afgenomen met name door de vermindering van de gevolgen van de begingebeurtenissen die een grote bijdrage hadden. Dit betreft voornamelijk de verkleinde kernbeschadigingskansen bij breuk in een primaire uitlaatleiding (zie paragraaf 4.4.3: TM1-TM3) en bij de val van een container waarvan de gevolgen minder ernstig zijn geworden door de betreffende voorgenomen technische maatregelen (zie paragraaf 4.4.3: TM5). Als gevolg hiervan zijn de bijdragen van andere gebeurtenissen procentueel dominant geworden.

Niveau 2

De analyse van het gedrag van de gebouwen en systemen door middel van een beschouwing van alle mogelijke verlopen van elkaar opvolgende gebeurtenissen resulteert in acht representatieve ongevalsscenario's waarvan de gevolgen zijn geclusterd in brontermgroepen. Deze brontermgroepen zijn geanalyseerd met betrekking tot het thermohydraulisch gedrag van de systemen en gebouwen. De belangrijkste variabelen hierbij zijn de toestand van de kern en van het primaire systeem (zoals open of gesloten) en de mogelijke routes van de vrijkomende radioactieve stoffen naar buiten (zoals via het bassin, het reactorgebouw, het ventilatiesysteem en/of het primaire pompengebouw). Hieruit volgt het tijdsverloop van de belangrijkste gebeurtenissen en de hoeveelheden, eigenschappen en nucliden van de vrijkomende radioactieve stoffen. Deze gegevens dienen vervolgens als invoergegevens van de niveau-3 analyse.

Niveau 3

In het Nederlandse risicobeleid zijn, zoals in paragraaf 3.2.3 is aangeven, twee uitgangspunten van belang. Ten eerste dienen individuele leden van de bevolking te worden beschermd tot een aanvaardbaar niveau tegen het risico van fatale gezondheidseffecten als gevolg van straling: het criterium voor het individuele risico. Het maximaal toelaatbare individuele risico voor overlijden als gevolg van ernstige ongevallen bedraagt 10^{-6} per jaar.

Ten aanzien van korte-termijn gezondheidseffecten van straling lopen kinderen ongeveer dezelfde risico's als volwassenen. Echter, het overlijdensrisico ten gevolge van lange-termijn effecten is voor kinderen in het algemeen drie keer zo hoog. Daarom wordt het individueel risico, in overeenstemming met het Nederlandse risicobeleid, berekend voor 1-jarige kinderen, aangezien dit in het algemeen de meest kwetsbare groep van de bevolking vormt.

Als tweede uitgangspunt dient de bevolking als geheel te worden beschermd tot een aanvaardbaar niveau tegen het risico van "maatschappelijke ontwrichting" als gevolg van een ongeval: het maatschappelijk-risicocriterium ofwel groepsrisico. Het groepsrisico is gedefinieerd als de kans op 10 of meer slachtoffers welke direct toegeschreven kunnen worden aan het ongeval. De kans moet lager zijn dan 10^{-5} per jaar voor 10 slachtoffers, lager dan 10^{-7} per jaar voor

100 slachtoffers, lager dan 10^{-9} per jaar voor 1000 slachtoffers, etc. (zie paragraaf 3.2.3). Hierbij wordt ervan uitgegaan dat geen maatregelen worden getroffen die de gevolgen aanmerkelijk kunnen verlagen, zoals schuilen en tijdelijke evacuatie.

Berekende groepsrisico's

De omgeving van de HFR is ingedeeld in segmenten. Een segment bestaat uit een grondstuk, dat gelegen is in een windroossector van 5° en begrensd is door 2 afstanden, bijvoorbeeld 350 en 500 m. Voor alle segmenten is voor elk van de bronterm-groepen, die bepaalde begingebeurtenissen vertegenwoordigen, voor een groot aantal representatieve weerssituaties het overlijdensrisico als gevolg van korte-termijn effecten/aandoening in verschillende maatgevende organen bepaald.

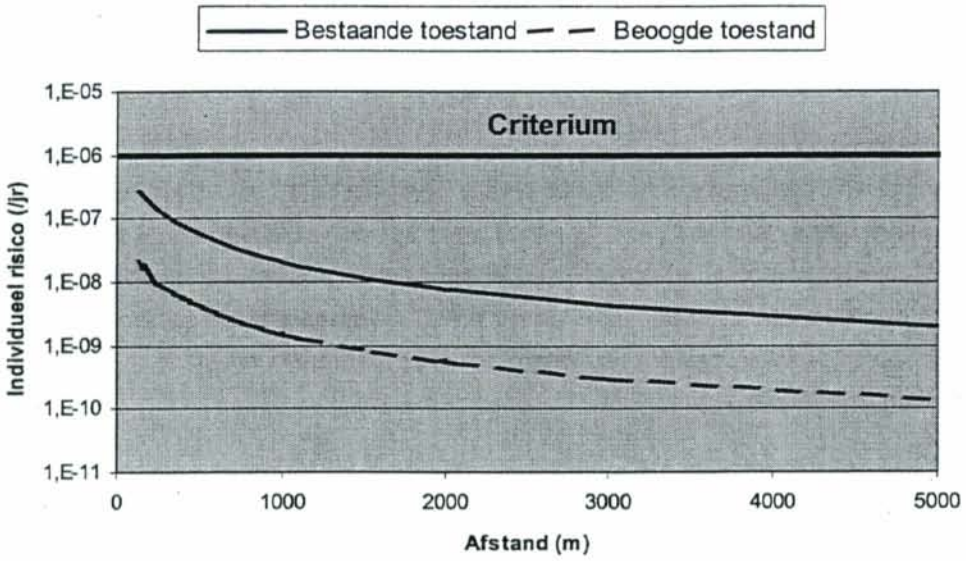
Door de overlijdenskans als gevolg van een bepaalde aandoening per segment te vermenigvuldigen met het aantal mensen, dat in dat segment woont of verblijft, krijgt men het aantal korte-termijn sterftegevallen per bronterm en per segment bij een bepaalde weerssituatie als gevolg van die aandoening. Zowel aan de bronterm-groepen als aan de weerssituaties zijn kansen van optreden verbonden.

Uit de berekeningen voor de bestaande installatie volgt dat de mogelijke acute effecten zodanig gering zijn dat er geen sprake is van enig groepsrisico.

Uit de berekeningen voor de beoogde installatie volgt dat de eventuele acute effecten dankzij de voorgenomen activiteit nog verder dalen, zowel ten aanzien van de kans en ook ten aanzien van de gevolgen. De oorzaak daarvan is dat enerzijds de kans op ongevallen door de voorgenomen maatregelen wordt verlaagd en anderzijds het dan resulterende verloop gunstiger is, zodat de stralingsbelasting lager uit valt. Derhalve is in de beoogde situatie zeker geen sprake van enig groepsrisico.

Berekende individuele risico's

Het individueel risico wordt berekend door het overlijdensrisico ten gevolge van korte- en lange-termijn effecten bij elkaar op te tellen. De analyse is uitgevoerd voor het gebied buiten de terreingrens. Uit de analyse blijkt dat het individuele risico voor de omgeving van de HFR lager is naarmate de afstand tot het lozingspunt toeneemt. Het totale maximale individuele risico als gevolg van zowel vroege als late gezondheidseffecten voor alle brontermen tezamen is als functie van de afstand tot de HFR weergegeven in figuur 5.4.1.



Figuur 5.4.1 Maximaal individueel risico als functie van de afstand voor de bestaande en beoogde situatie

De maximale waarde treedt op aan de terreingrens van de OLP op 150 m afstand van de HFR, en is kwantitatief gegeven in tabel 5.4.7. Uit de tabel blijkt dat zowel in de bestaande als in de beoogde situatie het individueel risico ruim beneden de maximaal toelaatbare waarde ligt. In de beoogde situatie is een verbetering verkregen met een factor negen. Deze maximale waarde voor het risico is daarbij bovendien nog als hypothetisch te beschouwen omdat zij uitgaat van conservatieve randvoorwaarden zoals het zich continu aan de terreingrens bevinden van het betreffende individu.

Tabel 5.4.7 Maximaal individueel risico

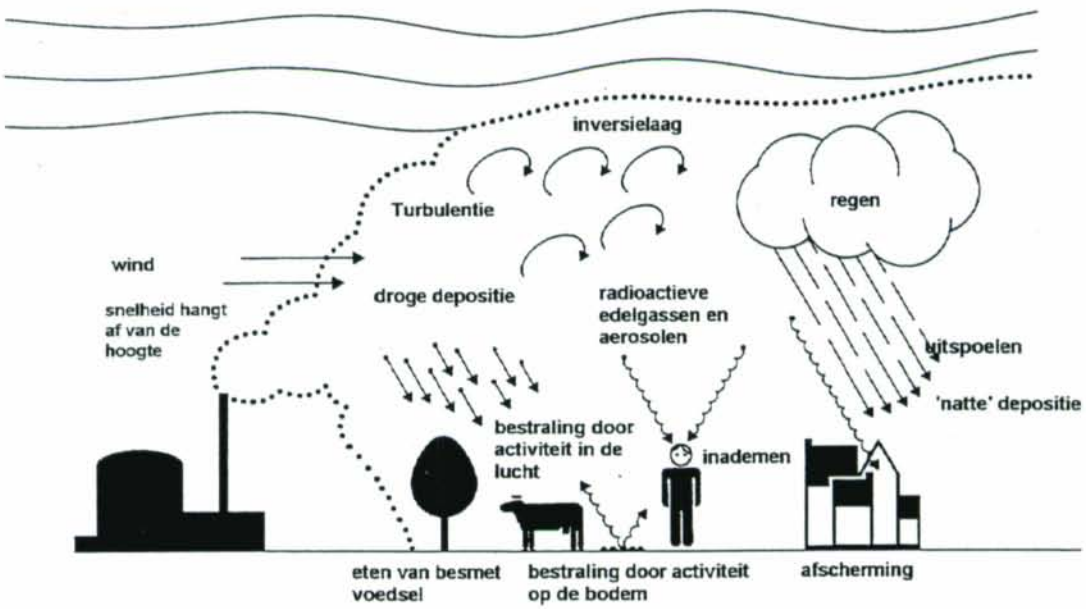
	Bestaande situatie	Beoogde situatie	Toetsingscriterium
Individueel risico	3.10^{-7} per jaar	2.10^{-8} per jaar	1.10^{-6} per jaar

Resumerend ligt het berekende individuele risico in de huidige situatie reeds een factor drie onder het toetsingscriterium. Ten gevolge van de maatregelen komt het individueel risico zelfs een factor 50 onder het toetsingscriterium te liggen.

5.5 Radiologische belasting bij normaal bedrijf

5.5.1 Radiologische luchtkwaliteit

Verspreiding en uitgangsgegevens
De radiologische luchtkwaliteit vanwege de HFR in de omgeving wordt bepaald door de hoeveelheid en aard van de naar de lucht geloosde radionucliden en is verder afhankelijk van de mate van verspreiding van deze radionucliden in de atmosfeer. Deze verspreiding is schematisch weergegeven in figuur 5.5.1



Figuur 5.5.1 Schematische weergave van de verspreiding van radioactiviteit uit een hoge bron en blootstellingswegen naar mens en milieu

De hierbij van belang zijnde parameters zijn de hoogte van het emissiepunt, de warmte-inhoud van de afgassen in verband met de pluimstijging, het geloosde volume en de atmosferische omstandigheden (meteorologie). Verspreiding van de geloosde activiteit leidt op een zekere

kortste afstand van het emissiepunt, waar de "pluim" de grond raakt tot een maximale concentratie van radionucliden in de lucht op leefniveau. Op grotere afstand neemt de concentratie weer af door verdere verdunning, terwijl op kortere afstand tot de bron de concentratie vrijwel nul is vanwege de hoogte van de "pluim". Blootstelling aan radioactieve stoffen vindt plaats langs twee wegen, namelijk door inademing van de radioactieve stoffen en door uitwendige bestraling door de radionucliden in de "pluim". De eerste bijdrage tot de dosis is maximaal op de plaats waar de maximale concentratie in de ademlucht optreedt. De tweede bijdrage is in het algemeen het grootst op kortere afstand tot het lozingspunt.

Door het ECN zijn verspreidings- en dosisberekeningen uitgevoerd voor een eenheidslozing van 1 Bq/s naar de lucht (ECN, 1990). Tabel 5.5.1 geeft de belangrijkste invoergegevens terwijl in tabel 5.5.2 de resultaten van de verspreidingsberekeningen worden gegeven. Met behulp van tabel 5.5.2 kunnen eenvoudig de stralingbelastingen van andere lozingen dan 1 Bq worden berekend (zie vervolg).

Tabel 5.5.1 Gebruikte parameters voor lozing in de atmosfeer

Schoorsteenhoogte	45 m
Pluimstijging	geen
Hoogte dichtstbijzijnde gebouw	24 m
Breedte dichtstbijzijnde gebouw	25 m
Hoogte maaiveld	2 m + NAP

Tabel 5.5.2 Maximale concentratie en maximale depositie (neerslag) bij continue lozing van 1 Bq/s (= 31,5 MBq/jaar)

Locatie van het maximum		0,8 km ten noordoosten van de HFR	
Maximale luchtconcentratie		0,6 µBq/m^3	
Boven land:			
Droge depositie :	aerosolen	0,028	Bq.m^{-2}.jaar^{-1}
	jodium	0,19	Bq.m^{-2}.jaar^{-1}
Natte depositie :	aerosolen en jodium	0,016	Bq.m^{-2}.jaar^{-1}
Totale depositie :	aerosolen	0,044	Bq.m^{-2}.jaar^{-1}
	jodium	0,21	Bq.m^{-2}.jaar^{-1}
Boven water:			
Droge depositie :	alle nucliden	0,76	Bq.m^{-2}.jaar^{-1}
Natte depositie :	alle nucliden	0,016	Bq.m^{-2}.jaar^{-1}
Totale depositie :	alle nucliden	0,78	Bq.m^{-2}.jaar^{-1}

De verspreiding van geloosde radionucliden in de lucht is zowel in de huidige installatie als in de beoogde installatie hetzelfde. De voorgenomen wijzigingen hebben namelijk geen invloed op de factoren die van belang zijn voor de verspreiding, zoals de bron- en pluimhoogte. Dit betekent dat een eventuele verandering van de luchtkwaliteit alleen wordt bepaald door wijziging van de hoeveelheid of soort radionucliden die naar de lucht worden geëmitteerd. Aan de hand van deze verspreidings- en depositiecoëfficiënten en de gemeten lozingen van radioactieve stoffen naar de lucht kunnen de jaargemiddelde activiteitsconcentraties in de lucht op de plaats van het maximum worden berekend en hieruit vervolgens de stralingsbelasting van leden van de bevolking die op die locatie verblijven. Daarbij wordt uitgegaan van een continu verblijf (8760 uur per jaar).

Huidige situatie

Tabel 4.5.1 gaf de lozingen van de HFR naar de lucht over de laatste drie jaar en de vergelijking hiervan met de vergunningslimiet. In tabel 5.5.3 is de lozing van de vergunningslimiet per nuclide uitgewerkt naar de dosisbelasting voor leden van de bevolking via de twee belastingspaden uitwendige bestraling en inhalatie. Abnormale lozingen in de zin van lozingen boven de vergunninglimiet, zijn bij de HFR niet voorgekomen. Voor de berekening van de uitwendige dosis is gebruik gemaakt van de dosisfactoren uit de ECN-studie en voor de inhalatiedosis van de in het Besluit stralingsbescherming getabelleerde dosiscoëfficiënten voor een volwassen lid van de bevolking (STAATSBLAD, 2001).

Tabel 5.5.3 Dosisbijdragen en totale stralingsbelasting ten gevolge van luchtgedragen activiteit bij lozing van de totale vergunningslimiet per radionuclide

Radionuclide	**Uitwendige bestraling** [µSv/jaar]	**Inwendige bestraling (inhalatie)** [µSv/jaar]	**Totaal (uitwendig + inwendig)** [µSv/jaar]
β-/γ-activiteit (^{131}I)	$2{,}1 \cdot 10^{-6}$	$2{,}5 \cdot 10^{-4}$	$2{,}5 \cdot 10^{-4}$
HTO (^{3}H)	-	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$
Edelgassen (^{41}Ar)	0,4	-	0,4

Uit tabel 5.5.3 blijkt dat de hoogste dosisbijdrage wordt geleverd indien de vergunningslimiet wordt geloosd als lozing van het edelgas ^{41}Ar. Normaal wordt een mix van de verschillende nucliden geloosd zodat de bijdrage lager is. Daarnaast bedragen de actuele lozingen circa 20-30% van de vergunningslimiet zodat de actuele bijdrage nog lager ligt.

De hoogste dosisbijdrage wordt geleverd door de lozing van het edelgas ^{41}Ar.

Voorgenomen situatie

De overgang van hoog verrijkt uranium (HEU) naar laag verrijkt (LEU) is in de eerste plaats van invloed op de kerninventaris van onder andere de splijtingsproducten. Uit de vergelijking van de kerninventarissen van de HEU- en LEU-kern (zie bijlage A, tabel A1 en A2) volgt dat de activiteit van het ten aanzien van de luchtlozingen belangrijkste splijtingsproduct ^{131}I, met ongeveer 15% toeneemt. Aangenomen kan worden dat ook de gemiddelde jaarlozing met een zelfde percentage zal toenemen. Op de totale stralingsbelasting ten gevolge van luchtgedragen activiteit zal dit echter een verwaarloosbare invloed hebben.

Ten aanzien van de lozingen van de activeringsproducten ^{41}Ar en ^{3}H (tritium) is de gemiddelde neutronenflux van belang. Verwacht wordt dat door de overgang van HEU naar LEU de gemiddelde neutronenflux echter nauwelijks zal veranderen, aangezien deze bepaald wordt door de splijtstofbeladingen, de uit te voeren experimenten en het reactorvermogen. De verwachting is dan ook dat de lozingen van ^{41}Ar en ^{3}H naar de lucht in de boogde installatie qua omvang gelijk blijven aan de huidige lozingen. Omdat de dosisbijdrage in de omgeving door met name deze twee nucliden wordt bepaald zal de voorgenomen activiteit niet leiden tot een wijziging van de dosis. De in tabel 5.5.3 gegeven dosisbijdragen zullen niet overschreden worden omdat ook voor de beoogde installatie de lozingen ruim onder de vergunningslimiet zullen blijven.

5.5.2 Radiologische waterkwaliteit

Oppervlaktewater, met uitzondering van de Noordzee, kan uitsluitend door de HFR worden besmet door depositie van radionucliden vanuit de lucht. Zoals blijkt uit tabel 5.5.2 in combinatie met de zeer geringe lozing van aërosolgebonden activiteit (circa 1,5 MBq/jaar), is de depositie op waterlopen verwaarloosbaar (< 0,04 $Bq.m^{-1}.jaar^{-1}$). Vanwege de korte halveringstijd van het in dit opzicht belangrijkste radionuclide (^{131}I) zal, zelfs in het geval van een stilstaand water met een geringe diepte, de concentratie niet hoger zijn dan ongeveer 1 mBq/m^3.

Via DWT, de afdeling van NRG die de waterbehandeling uitvoert van al het radioactieve afvalwater van de onderzoekslocatie Petten, wordt het behandelde maar nog licht radioactieve afvalwater geloosd op de Noordzee via de 4 km lange zeeleiding (vergund bij NRG). Voor deze en andere lozingen door Nederlandse kerninstallaties is door het ECN in 1990 een gevolgenanalyse uitgevoerd (ECN, 1990). De resultaten hiervan kunnen echter niet meer zonder meer worden gebruikt, aangezien sinds 1990 de wetenschappelijke inzichten en beleidsstandpunten van de overheid met betrekking tot risico-evaluaties voor lozingen op het oppervlaktewater zijn gewijzigd. De wijzigingen hebben met name betrekking op de te hanteren dosiscoëfficiënten, die door de ICRP zijn aangepast, de concentratiefactoren in aquatische organismen en de consumptie van zeevis, mosselen en garnalen (RIVM, 2002). De eerder gebruikte dosisfactoren en de genoemde wijzigingen zijn gecombineerd in de in tabel 5.5.4 gebruikte dosisfactor.

In tabel 5.5.4 is de lozingen conform de NRG-vergunningslimiet van 2000 Re_{ing} naar de Noordzee omgerekend naar de bijdragen tot de individuele dosis. De verdeling over de verschillende nucliden is gemaakt op basis van de verdeling van de werkelijke lozingen (zie tabel 4.5.2). De totale dosis in tabel 5.5.4 is het gevolg van de maximaal toegestane lozingen van DWT en betreffen dus de radioactieve stoffen van de gehele OLP. Van de totale dosis is normaal 90-95% het gevolg van radioactieve stoffen afkomstig van de HFR.

De hoogste dosisbijdragen worden geleverd door de lozingen van de cesiumisotopen ^{134}Cs en ^{137}Cs. De relatieve bijdrage van ^{137}Cs is bijna 50%, terwijl ^{134}Cs ruim 30 % bijdraagt. De qua activiteit grootste lozing van tritium levert slechts een verwaarloosbare dosisbijdrage.

De berekende dosis is de individuele dosis die een gemiddeld lid van de Nederlandse bevolking ontvangt door consumptie van langs de Nederlandse kust gevangen zeevoedsel. De dosis kan derhalve als zodanig worden opgeteld bij de maximale individuele dosis ten gevolge van de luchtlozingen (zie paragraaf 5.5.5). Duidelijk is dat deze doses ook ver onder de dosislimiet van 0,1 mSv per bron liggen.

Tabel 5.5.4 Bijdragen tot de maximale individuele dosis ten gevolge van lozingen conform de vergunningslimiet naar de Noordzee

Nuclide	Lozing (Re_{ing})	Lozing (MBq)	Dosisfactor (µSv/MBq)	Dosis (µSv/jr)
^{3}H	20	$1,1 \cdot 10^{+6}$	$2,7 \cdot 10^{-13}$	$3,0 \cdot 10^{-7}$
^{131}I	400	$1,8 \cdot 10^{+4}$	$1,6 \cdot 10^{-9}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
^{134}Cs	600	$3,2 \cdot 10^{+4}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$
^{137}Cs	940	$7,2 \cdot 10^{+4}$	$8,4 \cdot 10^{-9}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$
Overig β/γ	40	$2,3 \cdot 10^{+4}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$
Totaal	2000			$1,3 \cdot 10^{-3}$

De dosis wordt voor het grootste deel veroorzaakt door de productie van splijtingsproducten (circa 90 %) en voor slechts 10% door de vorming van activeringsproducten. De hoge lozing van ^{134}Cs en ^{137}Cs is grotendeels het gevolg van de aanwezigheid van deze isotopen in onopgeloste vorm in het Hot Drain systeem van de HFR, als gevolg van foutieve handelingen in het verleden (NRG, 2002c). Bij elke overdracht aan DWT wordt een deel hiervan alsnog opgelost en daardoor later geloosd. De hoeveelheid hiervan neemt momenteel af. Doordat bij de overgang van HEU naar LEU-splijtstof de gemiddelde neutronenflux nauwelijks zal veranderen, blijft ook de productie en daarmee de lozing van tritium en andere activeringsproducten gelijk. De overgang van HEU naar LEU zal daarom vrijwel niet van invloed zijn op de lozing.

5.5.3 Radiologische belasting van de bodem

Radiologische belasting van de bodem treedt uitsluitend op door depositie van naar de lucht geloosde radioactieve stoffen. Depositie vindt plaats door uitregenen van radioactieve stoffen uit de overtrekkende pluim (natte depositie) of doordat radioactieve deeltjes of aerosolen als gevolg van de zwaartekracht uitzakken en door vegetatie e.d. worden ingevangen (droge depositie). De radiologische belasting van de bodem heeft tot gevolg dat leden van de bevolking kunnen worden blootgesteld. In de eerste plaats is dat door rechtstreekse uitwendige straling van op de bodem gedeponeerde radioactieve stoffen. In de tweede plaats door inademing van radioactieve stoffen die door resuspensie (opwaaien) weer in de ademlucht zijn terechtgekomen. In de derde plaats door consumptie van besmette gewassen (groenten, fruit, knolgewassen) en producten (zoals vlees, melk, eieren) die via de voedselketen besmet zijn geraakt.

Volgens de ECN-studie (ECN, 1990) bedraagt de maximale depositie van jodium 0,21

$Bq.m^{-2}.jaar^{-1}$ per seconde geloosde becquerel, zoals gegeven in tabel 5.5.2. Gezien de geringe hoeveelheden aërosolgebonden radioactiviteit (met name ^{131}I), die per jaar naar de lucht worden geloosd (ca. 1,5 MBq/jaar), en de korte halfwaardetijd van ^{131}I (8 dagen) bedraagt de maximale evenwichtsactiviteit op/in de bodem slechts 0,3 mBq/m^2. De maximale dosisbijdrage als gevolg van uitwendige bestraling door de gedeponeerde activiteit bedraagt in dit geval $3 * 10^{-6}$ µSv/jaar.

De belangrijkste bijdrage tot de stralingsbelasting als gevolg van depositie van radioactieve stoffen is afkomstig van de consumptie van drinkwater, groenten (aardappelen, wortelgewassen, groenten, granen, fruit), melkproducten en vlees. Consumptie van drinkwater kan hier buiten beschouwing worden gelaten omdat door reguliere lozingen van de HFR geen grote spaarbekkens voor de bereiding van drinkwater kunnen worden besmet.

Door het ECN zijn in de studie uit 1990 factoren bepaald voor de berekening van de ingestiedosis op basis van een eenheidslozing van 1 Bq/s. Als gevolg van gewijzigde inzichten en overheidsbeleid ten aanzien van de te volgen berekeningswijzen dienen deze factoren te worden aangepast aan de huidige situatie. Dit heeft met name betrekking op de verdeling van de hoeveelheid geconsumeerde voedingsproducten uit eigen moestuin of via de handel gekocht. In het laatste geval wordt aangenomen dat de herkomst het eigen COROP[2]-gebied is (STAATSCOURANT, 2002a). Aan de andere kant zijn de consumptiehoeveelheden en de dosiscoëfficiënten voor ingestie veranderd sinds 1990 (RIVM, 2002). In tabel 5.5.5 zijn de nieuwe dosisfactoren gegeven.

Tabel 5.5.5 Factoren voor de berekening van de dosisbijdrage via het ingestiepad

Nuclide	Dosisfactor $(Sv/jr).(Bq/s)^{-1}$		
	Moestuin	**COROP**	**Totaal**
^{131}I	$3,95\ 10^{-12}$	$4,97\ 10^{-10}$	$5,01\ 10^{-10}$
^{3}H	$1,25\ 10^{-14}$	$8,04\ 10^{-15}$	$2,05\ 10^{-14}$

Aan de hand van de dosisfactoren uit de laatste kolom van tabel 5.5.5 en de vergunningslimiet voor luchtlozingen (zie paragraaf 4.5.2) kunnen de dosisbijdragen van het ingestiepad worden berekend. De resultaten van de berekening zijn gegeven in tabel 5.5.6 samen met de berekende uitwendige stralingsdosis ten gevolge van besmetting van de bodem.

[2] Coördinatie Commissie Regionaal Onderzoek Programma

Tabel 5.5.6 Dosisbijdragen en totale stralingsbelasting ten gevolge van gedeponeerde activiteit bij lozing van de totale vergunningslimiet per radionuclide

Radionuclide	Uitwendige bestraling [µSv/jaar]	Inwendige bestraling (ingestie) [µSv/jaar]	Totaal (uitwendig + inwendig) [µSv/jaar]
β-/γ-activiteit (^{131}I)	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$	$1{,}4 \cdot 10^{-1}$	$1{,}6 \cdot 10^{-1}$
HTO (^{3}H)	-	$4{,}0 \cdot 10^{-3}$	$4{,}0 \cdot 10^{-3}$

Uit tabel 5.5.6 blijkt dat de hoogste dosisbijdrage wordt geleverd indien de vergunningslimiet wordt geloosd als lozing van het edelgas ^{131}I. Normaal wordt een mix van de verschillende nucliden geloosd zodat de bijdrage lager is. Daarnaast bedragen de actuele lozingen circa 20-30% van de vergunningslimiet zodat de actuele bijdrage nog lager ligt.
Omdat de luchtlozingen bij de voorgenomen activiteit nauwelijks zullen veranderen en zeker onder de huidige vergunningslimiet zullen blijven, blijft ook de maximale dosisbijdrage tengevolge van depositie van radioactieve stoffen in de omgeving gelijk. De berekende waarden liggen zeer ver onder de dosislimieten.

5.5.4 Directe straling

Directe straling vanuit de installatie, als gevolg van de in de installatie aanwezige radioactieve stoffen, levert een bijdrage tot de dosis buiten de HFR die voor de omgeving maximaal is aan de terreingrens van de HFR. Ter bewaking van de dosis aan de terreingrens zijn rondom de onderzoekslocatie Petten een groot aantal dosismonitoren geplaatst. Aangezien op de OLP een groot aantal stralingsbronnen aanwezig is, is de gemeten stralingsdosis aan de terreingrens een optelsom van de verschillende bijdragen.

In figuur 4.5.1 zijn de verschillende meetpunten langs de terreingrens en de meetwaarden in 2002 weergegeven. Ter hoogte van de HFR bedraagt de maximale actuele individuele dosis circa 4 µSv/jaar. Verwacht wordt dat de voorgenomen activiteit niet of nauwelijks van invloed zal zijn op de externe stralingsdosis aan de terreingrens, temeer daar de hoogste gemeten waarden uit bijdragen van verschillende gebouwen bestaan.

5.5.5 Totale stralingsbelasting omgeving

De totale stralingsbelasting in de naaste omgeving is niet zonder meer een optelsom van de diverse dosisbijdragen, aangezien de maximale waarden optreden op verschillende locaties.

Op de locatie met de maximale concentratie in de lucht (circa 800 m ten noordoosten van de HFR) is de bijdrage van directe straling uit de installatie verwaarloosbaar (circa 0,01 µSv/jaar). Samen met de maximale MID tengevolge van de luchtlozingen en de gemiddelde bijdragen tengevolge van besmetting van de compartimenten water (zeelozingen, zie par. 5.5.2) en bodem (depositie, zie par. 5.5.3) bedraagt de maximale totale stralingsbelasting voor omwonenden op deze locatie derhalve 0,57 µSv/jaar. Deze belasting voldoen dus ruimschoots aan de maximaal toegestane dosislimiet voor omwonenden van 0,1 mSv per bron (zie paragraaf 3.2.3.1).
Op de locatie aan het hek bedraagt de maximale stralingsbelasting als gevolg van directe straling circa 4 µSv/jaar, wat eveneens ruimschoots onder de geldende limiet voor directe straling van 40 µSv/jaar ligt (zie paragraaf 4.5.4). Tabel 5.5.6 geeft een overzicht van de verschillende wijzen van stralingsbelasting.

Tabel 5.5.6 Overzicht van de stralingsbelasting voor de omgeving

Stralingsbelasting t.g.v. de lozing overeenkomstig de vergunningslimiet van:	Max. stralingsbelasting [µSv/jaar]
• lozing naar de lucht:	
–luchtgedragen activiteit	0,4
–gedeponeerde activiteit	0,16
• lozing naar de Noordzee	0,0013
• directe straling:	
–direct aan hek	4
–MID op 800m ten noordoosten van HFR	0,01

In de beoogde situatie zullen de emissies uit de HFR tijdens normaal bedrijf nauwelijks afwijken van de huidige emissies. De stralingsbelastingen in de omgeving blijven dan ook gelijk aan de huidige stralingsbelastingen en blijven ruimschoots binnen de criteria.

5.6 Radioactief afval

5.6.1 Soorten radioactief afval

Bij de werkzaamheden binnen de HFR wordt ook radioactief afval geproduceerd. Dit afval varieert van gebruikte handschoenen, tot opgebruikte splijtstofelementen. Uiteraard wordt er zorg voor gedragen dat de hoeveelheid afval tot een minimum wordt beperkt door preventie, scheiding aan de bron et cetera. Zo wordt alle bedrijfskleding gereinigd en weer opnieuw gebruikt.

Het radioactief afval dat bij de bedrijfsvoering van de HFR ontstaat kan worden onderscheiden naar de hoeveelheid activiteit per massa-eenheid in hoog-radioactief afval, middel-radioactief afval en laag-radioactief afval. Ook is een indeling mogelijk naar fysische verschijningsvorm: vast, vloeibaar of gasvorming radioactief afval.

De opslag van al het radioactief afval dat in Nederland wordt geproduceerd vindt plaats bij COVRA in Borssele. Ten behoeve van het hoog actief afval is een speciale opslag faciliteit (het HABOG) gebouwd waarin dit afval gedurende meer dan honderd jaar op gecontroleerde wijze kan worden opgeslagen.
In deze paragraaf over radioactief afval beperken we ons tot het vaste radioactieve afval aangezien het vloeibare radioactieve afval van de HFR naar DWT (Decontamination and Waste Treatment) wordt afgevoerd, daar wordt behandeld en het restant na behandeling wordt geloosd op de Noordzee. Vloeibaar radioactief afval dat niet kan worden behandeld wordt afgevoerd naar de COVRA. Gasvormige radioactieve afvalstoffen worden via de ventilatieschacht naar de lucht geloosd. De radiologische gevolgen voor de omgeving van de lucht en de waterlozingen zijn hiervoor reeds beschreven.

De afvoer van vast radioactief afval (laag- en middel-actief afval) naar COVRA vindt, evenals de afvoer van het vloeibaar afval, plaats via de DWT. Op dit moment vindt opslag van het hoog actieve afval plaats op het terrein in Petten in de Waste Storage Facility (WSF). Na het gereedkomen van het HABOG in 2003, zal het in Petten aanwezige hoog actieve afval naar COVRA worden afgevoerd. De verbruikte splijtstofelementen van de HFR zullen eveneens naar COVRA of naar een andere verwerker worden afgevoerd.

5.6.2 Hoog-radioactief afval

Het hoog radioactieve afval betreft voornamelijk de opgebruikte splijtstofelementen. De normale HFR-kern bevat 33 splijtstofelementen, alsmede zes regelstaven. Een splijtstof-element doorloopt gemiddeld circa 6 tot 9 cycli en een regelstaaf circa 6 cycli. Het

jaarprogramma omvat 11 à 12 cycli van 45 MW. Dit betekent dat per jaar maximaal circa 70 elementen en maximaal 12 regelstaven uit de kern worden verwijderd.

De gebruikte splijtstofelementen worden eerst gedurende een afkoelperiode opgeslagen in één van de twee opslagbassins. De afgekoelde elementen worden vervolgens afgevoerd. Gemiddeld genomen zal per jaar het totaal aantal vervangen splijtstofelementen en regelstaven worden afgevoerd. Dit houdt twee transporten per jaar in. Afhankelijk van de situatie kan het nodig zijn meer afvoertransporten per jaar uit te voeren. Tabel 5.6.1 geeft de gemiddeld per jaar afgevoerde activiteit op basis van volledige opbrand van splijtstof-elementen en een voor afvoer naar de COVRA minimale afkoeltijd van 5 jaar.

Tabel 5.6.1 Gemiddelde productie van hoog-actief afval per jaar (huidige activiteit)

	Splijtstofelement	**Regelstaaf**	**Totaal**
Aantal	≤70 per jaar	≤12 per jaar	≤82 per jaar
Activiteit:			
• Splijtingsproducten	170 TBq /element	120 TBq /staaf	≤13.000 TBq /jr
• Actiniden	2 TBq /element	1 TBq /staaf	≤150 TBq /jr

Bij de overgang van HEU naar LEU verandert de kerninventaris na volledige opbrand. Derhalve verandert ook de hoeveelheid hoog radioactief afval. Tabel 5.6.2 geeft de nieuwe waarden.

Tabel 5.6.2 Gemiddelde productie van hoog-actief afval per jaar (voorgenomen activiteit)

	Splijtstofelement (TBq)	**Regelstaaf (TBq)**	**Totaal (TBq/jaar)**
Aantal	≤70 per jaar	≤12 per jaar	≤82 per jaar
Activiteit:			
• Splijtingsproducten	170 TBq /element	160 TBq /staaf	≤14.000 TBq /jr
• Actiniden	19 TBq /element	19 TBq /staaf	≤1600 TBq /jr

5.6.3 **Middel-radioactief afval**

Tot het middel radioactieve afval behoren voornamelijk ^{60}Co geactiveerde metalen componenten. Op dit moment liggen in de bassins van de HFR nog componenten opgeslagen, waarvan de totale activiteit wordt geschat op 1 TBq ^{60}Co. In de toekomst zullen deze componenten verkleind worden en verpakt voor afvoer naar COVRA. De voorgenomen activiteit heeft hierop geen invloed

5.6.4 Laag-radioactief afval

Dit betreft papier, plastic, textiel en dergelijke, glaswerk, gebruikte luchtfilters en metaalafval dat apart verpakt wordt aangeleverd. De hoeveelheid geproduceerd afval is het gevolg van de normale bedrijfsvoering en zal ook bij de voorgenomen activiteit niet significant wijzigen.

5.7 Stralingsbelasting personeel

De (uitwendige) stralingsbelasting van het HFR-personeel wordt bewaakt door middel van het dragen van persoonsgebonden dosismeters. In tabel 5.7.1 is een overzicht gegeven van de in totaal door HFR-medewerkers ontvangen doses in de periode 1999 - 2002. Tabel 5.7.2 geeft voor het jaar 2002 een opsplitsing naar aantal medewerkers per onderdeel en hoogst ontvangen individuele jaardosis (NRG, 2003).

Tabel 5.7.1 Overzicht van ontvangen collectieve jaardoses in de periode 1999 - 2002

Jaar	Collectieve dosis [mens.mSv]
1999	111
2000	108
2001	112
2002	95

Tabel 5.7.2 Aantal medewerkers, hoogste individuele dosis en collectieve dosis per HFR-onderdeel in het jaar 2002

HFR-onderdeel	**Aantal personen**	**Hoogste individuele jaardosis [mSv]**	**Collectieve dosis [mens.mSv]**
Leiding	2	0,3	0,4
Bedrijfsvoering	54	4,4	82
Services	9	1,2	4
Technische ondersteuning	18	1,2	6
GCO	15	0,3	2
Werkvergunningen voor derden	-	0,05	0,3
Totaal	98		95

Uit het overzicht blijkt dat de collectieve jaardosis een tamelijk constante waarde heeft van ongeveer 100 mens.mSv. De hoogste bijdrage is van het bedrijfsonderdeel bedrijfsvoering, met een relatief hoog aantal personen. In 2002 bedroeg de gemiddelde individuele dosis voor alle medewerkers 1 mSv (excl. werkvergunningen). Voor HFR-bedrijfsvoering was dit 1,5 mSv. De hoogste indivi-duele jaardosis bedroeg in 2002 4,4 mSv, slechts een factor 3 hoger dan de gemiddelde dosis. Hieruit volgt dat de arbeidslimiet van 20 mSv in alle gevallen ruimschoots wordt onderschreden, terwijl de spreiding in dosis tussen de individuele medewerkers gering is. De gemiddelde individuele dosis voor de overige HFR-onderdelen bedroeg in 2002 0,3 mSv.

De voorgenomen activiteit zal hierop geen significante invloed hebben.

5.8 Conventionele waterkwaliteit

In het te beschouwen gebied rond de HFR zijn twee watersystemen te onderscheiden waarvan de waterkwaliteit in beginsel worden beïnvloed door de HFR: de Noordzee en het Noord-hollands kanaal.

Noordzee

De HFR ligt dichtbij de Noordzee. De Noordzee is een zeer groot natuurlijk ecosysteem en vervult daarnaast een groot aantal functies. De belangrijkste functies zijn transport, visserij, recreatie, delfstoffenwinning, militair gebruik, berging van baggerspecie, energiewinning (wind-) en -zeer plaatselijk- leidingstraat. De verschillen in diepte, bodemsamenstelling en waterbeweging leiden tot verschillen in ecologisch opzicht. In de kustzone (tot NAP-20m) kan door de geringe waterdiepte licht doordringen tot de bodem. Bovendien vertoont deze zone een zoet/zoutgradiënt in zeewaartse richting. Dit gebied heeft een hoge ecologische waarde door het aanwezige bodemleven, door de kinderkamerfunctie voor Noordzeevis en door de ligging in de vogeltrekroute.

De Noordzee is geheel aangewezen als Ecologische Hoofdstructuur. Dit houdt in dat bij ingrepen eerst middels "nut en noodzaak"-discussie een zwaarwegend maatschappelijk belang aannemelijk is gemaakt. Het nationale beleid staat in sterke wisselwerking met het internationale beleid. De belangrijkste verdragen in relatie tot de Noordzee betreffen het OSPAR-verdrag (OSPAR, 1992) en het Bonn verdrag. Het OSPAR-verdrag richt zich op de algemene bescherming van het mariene milieu, met aandacht voor organismen, hun leefomgeving en herstel van aangetaste ecosystemen. Aanbevelingen en besluiten van de OSPAR-commissie hebben betrekking op bedrijfstakken en op stoffen en producten, onder

andere met betrekking tot radioactieve stoffen. Volgens de betreffende aanbeveling moet de Best Available Technology worden toegepast om radioactieve lozingen te minimaliseren of zo mogelijk te beëindigen (Parcom-aanbeveling 91/4+annex van 20 juni 1991). Het verdrag van Bonn is gericht op samenwerking bij het bestrijden van incidenten door milieubedreigende stoffen. De EU Richtlijnen voor Vogel- en Habitatgebieden moeten in acht worden genomen.

De waterkwaliteit van de Noordzee is de laatste tientallen jaren aan het verbeteren voor wat betreft zware metalen. Dit geldt niet voor organische microverontreiniging en voor eutrofiërende stoffen, met name stikstof. Deze verontreinigende stoffen worden echter niet geloosd door de HFR.

De beïnvloeding van het Noordzeewatermilieu door de HFR vindt plaats door middel van de lozing van (secundair) koelwater en door lozing van licht radioactief afvalwater (zie par. 5.6.2). De thermische belasting van de bestaande koelwaterlozing is gering (max. 2500 m^3/uur met een beperkte opwarming). Alleen in een beperkte zone tot hooguit 200 meter van het lozingspunt zal temperatuursverhoging aan het wateroppervlak merkbaar zijn. In het koelsysteem wordt voor aangroeibestrijding een geringe hoeveelheid actief chloor gedoseerd (0,2-0,4 mg/l). Mede door de beperkte vermenging en koeling aan de lucht heeft de koelwaterlozing hoegenaamd geen effect op het Noordzeemilieu. De voorgenomen activiteit brengt hierin geen wijziging. Het ontwikkelen van alternatieven hiervoor dient dan ook geen milieubelang van betekenis.

Noord-Hollands kanaal

Het Noord-Hollands kanaal is een in 1824 in gebruik genomen scheepvaartverbinding tussen Amsterdam en Den Helder. Door de ingebruikname van het Noordzeekanaal boette het kanaal sterk aan belang in voor de beroepsvaart. Daarvoor in de plaats is het kanaal nu van groot belang voor waterafvoer en voor verschillende vormen van recreatie.

Vanuit de Onderzoekslocatie wordt via de rioolwaterzuiveringsinstallatie Stolpen van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier huishoudelijk en niet radioactief belast laboratoriumafvalwater geloosd op het kanaal. De bestaande waterkwaliteit en de bestaande lozingen ondergaan met de voorgenomen activiteit geen wijzigingen en behoeven daarom geen verdere bespreking.

5.9 Geluid

In het kader van de onderhavige vergunningprocedure is door bureau Peutz een apart geluidsonderzoek uitgevoerd. Dit onderzoek is integraal bij het vergunningaanvraag rapport gevoegd. De voornaamste conclusies uit het rapport zijn:

- Ter plaatse van de meest nabij gesitueerde geluidgevoelige bestemmingen (o.a. woningen langs de rijksweg N502 (Westerduinweg)) bedragen de langtijdgemiddelde beoordelingsniveaus $L_{Ar,LT}$ gedurende de maatgevende nachtperiode 16 à 21 dB(A), afhankelijk van de beschouwde positie. De etmaalwaarde L_{etmaal} bedraagt hiermee 26 à 31 dB(A).
- In de onderhavige situatie zou kunnen worden gekozen voor de aanduiding "rustige woonwijk met weinig verkeer" (hoewel de rijksweg N502 als betrekkelijk druk aangemerkt zou kunnen worden), waarvoor een richtwaarde van 45 dB(A) etmaalwaarde van toepassing is.
- Vastgesteld wordt dat de vanwege de activiteiten op het HFR-terrein optredende etmaalwaarden ter plaatse van geluidgevoelige bestemmingen ten minste 14 dB(A) lager zijn dan de richtwaarde voor een "rustige woonwijk met weinig verkeer".
- De berekende waarden voor L_{Amax} ter plaatse van geluidgevoelige bestemmingen zijn ruimschoots lager dan de in de Handreiking genoemde maximaal te vergunnen waarden, te weten 70 (à 75) dB(A) in de dagperiode, 65 dB(A) in de avondperiode en 60 dB(A) in de nachtperiode. De berekende waarden zijn derhalve zeker vergunbaar.
- Als gevolg van het (maandelijkse) proefdraaien met het noodstroomaggregaat kunnen ter plaatse van geluidgevoelige bestemmingen maximale geluidniveaus optreden tot circa 47 dB(A). Het proefdraaien vindt alleen in de dagperiode plaats.
- De geluidbelasting vanwege het verkeer van en naar de HFR ter plaatse van nabij gesitueerde geluidgevoelige bestemmingen is zeker lager dan 50 dB(A) etmaalwaarde, zijnde de voorkeursgrenswaarde zoals genoemd in de Circulaire "Beoordeling geluidhinder wegverkeer i.v.m. vergunningverlening Wm" d.d. 29 februari 1999.

5.10 Overige conventionele milieuaspecten

De conventionele milieuaspecten van de HFR zijn relatief beperkt. Zij zijn vergelijkbaar met die van conventionele laboratoria, werkplaatsen en kantoren. Dit omvat bijvoorbeeld de emissies van verwarmingsketels en laboratoria en de opslag van gevaarlijke stoffen (zie par. 4.7). Aangezien deze aspecten niet veranderen en geen relatie hebben met de voorgenomen activiteit wordt hiervoor verder verwezen naar de informatie in de vergunningaanvraag.

Een tot nu toe nog onbesproken milieuaspect is de landschappelijke beïnvloeding door de HFR, naast de overige gebouwen van de onderzoekslocatie. De visuele invloed staat buiten kijf, maar maakt deel uit van de bestaande situatie. De voorgenomen wijzigingen veranderen niets aan het bestaande beeld.

6 VERGELIJKING VAN DE MILIEUGEVOLGEN VAN DE VOORGENOMEN ACTIVITEIT EN DE ALTERNATIEVEN

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de milieu-effecten van de voorgenomen activiteit en de alternatieven vergeleken met de bestaande situatie. Daarbij worden alleen die milieu-effecten behandeld die door de voorgenomen activiteit of de alternatieven worden beïnvloed. Dit is zoals al eerder gesteld bijvoorbeeld niet het geval voor alle milieu-effecten die samenhangen met de niet-nucleaire aspecten van de HFR, zoals thermische en chemische lozingen, geluid en landschap.

Onder de beoogde situatie wordt verstaan de situatie inclusief de voorgenomen activiteit, te weten:

- de reductie van de huidige verrijkingsgraad van circa 91% tot globaal 20%
- uitvoering van de voorgenomen veiligheidsverhogende maatregelen.

De alternatieven zoals in onderstaande tabel gegeven, zijn omschreven en gemotiveerd in hoofdstuk 4. De milieu- en andere gevolgen zullen in dit hoofdstuk worden behandeld.

Tabel 6.1.1 Omschrijving van de alternatieven

Veiligheids-alternatieven	LLB	lekkage leidingen beperken
	LPB	lozing via primair pompgebouw beperken
meest milieuvriendelijke alternatief	MMA	combinatie van de veiligheidsalternatieven

In de volgende paragrafen komt de invloed op achtereenvolgens de volgende onderwerpenaan de orde:

- Veiligheid
- Radioactief afval
- Stralingsbelasting personeel
- Overige radiologische gevolgen
- Overige milieuaspecten.

6.2 Veiligheid

Nulalternatief en voorgenomen activiteit

In tabel 6.2.1 zijn de beoogde en bestaande situatie met elkaar vergeleken ten aanzien van de veiligheid. Hierbij wordt opgemerkt dat in hoofdstuk 5 gebleken is dat zelfs bij het meest ernstige ongevalsscenario in de bestaande situatie minder dan 10 acute dodelijke slachtoffers zullen vallen, zodat geen sprake is van een groepsrisico. Omdat dankzij de verbeteringen in de beoogde situatie ook geen sprake zal zijn van een groepsrisico, wordt het groepsrisico niet als een beoordelingscriterium meegenomen.

Tabel 6.2.1 Vergelijking van de beoogde met de bestaande situatie voor wat betreft de veiligheid

Milieueffect	Bestaande situatie	Beoogde situatie	Criterium
Ontwerpongevallen:			
• Meest kritische dosis (mSv)	0,01	0,35[2)]	0,04 0,4
Buiten-ontwerp-ongevallen:			
• Kans op kernbeschadiging (per jaar)	5.10^{-5}	1.10^{-6}	10^{-4} [1)]
• Individueel risico (per jaar)	3.10^{-7}	2.10^{-8}	1.10^{-6}

[1)] volgens de IAEA voor onderzoeksreactoren

[2)] gevolg van voorgeschreven conservatievere aannamen

Uit de tabel blijkt dat ten aanzien van de ontwerpongevallen slechts een gering – en bovendien kunstmatig – verschil optreedt.

Ten aanzien van de buiten-ontwerp-ongevallen is de invloed van de veiligheidsverhogende maatregelen duidelijk zichtbaar. Zowel ten aanzien van de kans op kernbeschadiging als ten aanzien van het individueel risico zijn de berekende waarden duidelijk afgenomen. De verhoogde activiteit van de LEU-kern ten opzichte van de HEU-kern betekent op zich genomen een verhoging van de stralingsrisico's. Deze verhoging wordt echter ruimschoots gecompenseerd door het positieve effect van de veiligheidsverhogende technische maatregelen.

Verdergaande veiligheidsmaatregelen

De in hoofdstuk 4 gedefiniëerde verdergaande veiligheidsmaatregelen, die verder gaan dan de voorgenomen activiteit, zouden enige verlaging van de veiligheidsrisico's ten opzichte van de

voorgenomen activiteit tot gevolg kunnen hebben. Op grond van tabel 5.4.6 zijn de verbeteringen indicatief geschat. Het resultaat is aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 6.2.2 Relatieve verbeteringen van de veiligheid door de verdergaande veiligheids-maatregelen ten opzichte van de voorgenomen activiteit.

Legenda: LLB lekkage leidingen beperken
LPB lozing via primair pompgebouw beperken

Milieueffect	Beoogde situatie	LLB	LPB
Ontwerpongevallen:			
• Meest kritische dosis (mSv)	0,35	0%	0%
Buiten-ontwerpongevallen:			
• Kans op kernbeschadiging (per jaar)	1.10^{-6}	-20%	0%
• Individueel risico (per jaar)	2.10^{-8}	-20%	-25%

Uit de tabel mag geconcludeerd worden dat geen van de maatregelen een substantiële verbetering van de risico's betekent. Doordat veiligheidsmaatregelen vrijwel altijd weer nieuwe risico's in zich bergen, blijft per bron altijd een zeker restrisico bestaan. Bovendien worden een aantal kleine bronnen (tezamen goed voor een kernbeschadigingsfrequentie van 20%) niet gereduceerd. Om die reden zijn met additionele maatregelen aan één bron nog slechts kleine verbeterstapjes in de veiligheid mogelijk.

6.3 Radioactief afval

Ten aanzien van radioactief afval heeft de voorgenomen activiteit alleen een significante invloed op de hoeveelheid radioactiviteit in de gebruikte splijtstofelementen en regelstaven. De procentuele verandering hiervan is aangegeven in tabel 6.3.1. De wijzigingen in de radioactiviteit hebben geen gevolgen voor de verwijdering of de berging van dit hoog radioactieve afval.

Tabel 6.3.1 Procentuele verandering ten aanzien van de gebruikte splijtstofelementen en regelstaven

Totaal afvoer	Huidige situatie	Beoogde situatie
Aantal elementen/staven	<82 per jaar	0 %
Activiteit:		
• Splijtingsproducten	<13.000 TBq /jr	+8 %
• Actiniden	<150 TBq /jr	+970 %
• Totaal	<13.150 TBq /jr	+19%

De overige uit te werken alternatieven zijn niet van invloed op hoeveelheid of activiteit van het (overige) radioactieve afval.

6.4 Stralingsbelasting personeel

De stralingsbelasting van het personeel is tamelijk constant over de afgelopen jaren. De hoogste dosis wordt ontvangen door het operationele personeel van de HFR als gevolg van de normale bedrijfsvoering. De wijziging van de huidige activiteit naar de voorgenomen activiteit zal hierop nauwelijks van invloed zijn. De stralingsbelasting is namelijk meer een gevolg van de aanpak (zoals afstandsbediening) en de organisatie van de werkzaamheden, dan van de radioactiviteit van de voorwerpen waar het personeel mee omgaat.

Ook de alternatieven zullen geen aanleiding geven tot een significante verandering van de stralingsbelasting voor het personeel.

6.5 Overige radiologische aspecten

Het enige, overige radiologische aspect dat in beginsel zou kunnen wijzigen als gevolg van de voorgenomen activiteit betreft het voor de continue luchtlozingen belangrijkste splijtingsproduct ^{131}I. Aangezien echter de hoeveelheid splijtingsproducten wordt bepaald door het vermogen en de bedrijfstijd, en niet door de verrijkingsgraad van de splijtstof, zullen de luchtlozingen niet wijzigen door de voorgenomen activiteit.

De alternatieven zijn evenmin van invloed op de continue lozingen naar de omgeving, noch op de stralingsniveaus aan de terreingrens.

6.6 Conventionele milieuaspecten

De veiligheidsalternatieven hebben geen gevolgen van betekenis voor de niet-radiologische aspecten. Immers convectiekleppen, pompen en isolatie-afsluiters veroorzaken geen emissies naar de lucht, de bodem of het water. Hiervan zijn slechts marginale gevolgen voor de emissie van geluid en voor het energieverbruik te verwachten. Deze gevolgen zijn echter verwaarloosbaar ten opzichte van andere geluidbronnen c.q. energieverbruikers.

Omdat onderdeel van de voorgenomen activiteit is dat een diesel aangedreven koelwaterpomp wordt vervangen door een elektrisch aangedreven pomp, zal de bijbehorende opslagtank voor dieselolie komen te vervallen. Dit betekent een marginaal milieuvoordeel. In de eindafweging spelen de conventionele milieugevolgen echter geen rol.

6.7 Meest milieuvriendelijke alternatief

Als het meest milieuvriendelijke alternatief (MMA) wordt de situatie gedefinieerd dat – naast de voorgenomen veiligheidsmaatregelen – ook nog de verdergaande veiligheidsmaatregelen getroffen zullen worden. Dit heeft blijkens de vorige paragrafen uitsluitend gevolgen voor de veiligheidsanalyse. De verbeteringen zijn indicatief geschat en weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 6.7.1 Vergelijking veiligheidsaspecten beoogde situatie en meest milieuvriendelijke alternatief MMA

Milieueffect	Beoogde situatie	MMA
Buiten-ontwerpongevallen:		
• Kans op kernbeschadiging (per jaar)	1.10^{-6}	-20%
• Individueel risico (per jaar)	2.10^{-8}	-40%

6.8 Overzicht milieugevolgen en afweging van de alternatieven

6.8.1 OVERZICHT MILIEUGEVOLGEN ALTERNATIEVEN

Op andere aspecten dan veiligheid, zoals radioactief afval, stralingsbelasting personeel en continue radioactieve emissies, bleken de alternatieven in het algemeen geen invloed te hebben. Daarom worden die aspecten in deze paragraaf niet beschreven.

Uit de voorgaande paragrafen is verder gebleken dat de alternatieven zich eigenlijk alleen op het gebied van buiten-ontwerp-ongevallen enigszins van elkaar onderscheiden. Om die reden zijn in onderstaande tabel alleen de resultaten van de buiten-ontwerp-analyses bijeen gebracht.

Tabel 6.8.1 Relatieve verbeteringen van de veiligheid door de verdergaande veiligheids-maatregelen ten opzichte van de voorgenomen activiteit.

Legenda: LLB lekkage leidingen beperken
LPB lozing primair pompengebouw beperken
MMA meest milieuvriendelijke alternatief

Milieueffect	Beoogde situatie	LLB	LPB	MMA
Buiten-ontwerpongevallen:				
• Kans op kernbeschadiging (per jaar)	1.10^{-6}	-20%	0%	-20%
• Individueel risico (per jaar)	2.10^{-8}	-20%	-25%	-40%

6.8.2 AFWEGING ALTERNATIEVEN

Uit het voorgaande volgt dat het met de huidige installatie en de reeds voorziene maatregelen redelijkerwijs niet mogelijk is om met een enkele, extra maatregel de risico's voor de omgeving significant verder naar beneden te brengen. Daarbij wordt nog opgemerkt dat het restrisico blijkens tabel 5.4.6 tamelijk evenwichtig over vier verschillende oorzaken is gespreid. Dit betekent dat een significante (indicatief 50%) verlaging een rigoureuze aanpak van tenminste twee oorzaken zou vereisen.

Ten aanzien van de toepasbaarheid van de afzonderlijke alternatieven wordt het volgende opgemerkt:

Lekkage leidingen beperken (LLB)
De veronderstelde dubbele leidingen betekent dat deze leidingen compleet vervangen moeten worden of voorzien van schalen. Bovendien zal ter plaatse van doorvoeringen de nodige ruimte in wanden en betonnen vloeren gehakt moeten worden, waardoor waarschijnlijk constructieve problemen optreden die vervolgens door hulpconstructies opgevangen moeten worden. De kosten daarvoor zullen dan ook vele miljoenen Euro's bedragen.
Hierbij moeten nog de kosten geteld worden die gemoeid zijn met het maanden lang stil leggen van de reactor. Vanwege de diverse reeds getroffen voorzieningen blijkt het effect op de veiligheid relatief gering. Dit wordt veroorzaakt door de kans van gezamenlijk falen van binnen- en buitenpijp (bijvoorbeeld bij een extreme aardbeving) en doordat de buitenpijp deels de functie overneemt van geplande aanvullende veiligheidsmaatregelen zoals extra pompen, extra bedrijfszekere pompen, etcetera.

Lozing van primair pompengebouw beperken
Het afdichten van het primair pompengebouw is complex en duur omdat de afdichting zeer effectief dient te zijn en bovendien bestendig tegen hoge druk. Omdat dit gebouw hier niet voor ontworpen is, is dit uiterst complex en dus kostbaar. Bovendien zullen voorzieningen getroffen moeten worden om deuren te voorzien van sluisconstructies, ventilatieopeningen van afsluitkleppen etcetera. Gevolg is dat deze maatregel ook hoge kosten met zich mee zal brengen en allerlei bedrijfsmatige bezwaren bij dagelijks gebruik en onderhoud van dit gebouw kent.

Combinaties van verdergaande veiligheidsmaatregelen en MMA
In het bovenstaande is aangetoond dat geen van de dominante oorzaken met redelijke middelen sterk gereduceerd kan worden, zodat ook een combinatie niet tot een redelijke aanpak kan leiden. De noodzaak hiervoor is ook niet direct aanwezig omdat met de huidige installatie - inclusief de beoogde maatregelen - reeds een zeer lage kernbeschadigings-frequentie en beperkte stralingsrisico's voor de omgeving zijn bereikt die ruimschoots tot zeer ruimschoots voldoen aan de geldende criteria.

Het Meest milieuvriendelijke alternatief (MMA) is de meest uitgebreide combinatie van de maatregelen tegen alle resterende dominante bronnen. Om dezelfde reden als waarom de separate maatregelen afgewezen moesten worden als 'onredelijk', moet ook het MMA afgewezen worden. De kosten zijn te hoog, de bedrijfsmatige bezwaren te ernstig en de veiligheidswinst te gering om tot uitvoering van een dermate vergaand pakket maatregelen over te gaan.

6.9 Conclusies

Uit het MER trekt de initiatiefnemer de volgende conclusies:

De huidige situatie en de voorgenomen activiteit

1. Het verlagen van de verrijkingsgraad is noodzakelijk om de proliferatiesrisico's te beperken en de continuïteit van het functioneren van de HFR te waarborgen. Er is geen alternatief dat redelijkerwijs toegepast zou kunnen worden
2. De veiligheid van de HFR wordt dankzij de voorgenomen maatregelen aanzienlijk verbeterd. Aan de overheidscriteria voor ontwerpongevallen wordt en zal worden voldaan. Op basis van een beperkte risico-analyse wordt verder geconcludeerd dat (zeer) ruimschoots aan de risicocriteria voor ernstige ongevallen werd en zal worden voldaan.
3. Buiten een beperkte verhoging van de activiteit van het radioactieve afval, zijn er geen significante negatieve milieueffecten.

De alternatieven

4. De resterende risico's na het treffen van de voorgenomen veiligheidsmaatregelen, zijn qua grootte tamelijk gelijkwaardig. Door het ontbreken van een of enkele dominante bronnen is het zeer moeilijk effectieve aanvullende maatregelen te ontwerpen. De alternatieven hebben geen belangrijke andere gevolgen dan de veiligheid.
5. Het veiligheidsverhogend effect van de geformuleerde verdergaande maatregelen is gering en de kosten en bedrijfsmatige bezwaren zijn zeer groot. Daarom ziet de initiatiefnemer af van het toepassen van deze extra maatregelen.
6. Het Meest milieuvriendelijke alternatief biedt weliswaar enige extra veiligheid, maar de kosten zijn dermate hoog en de bedrijfsmatige bezwaren zo groot, dat de initiatiefnemer– mede gelet op het reeds ruimschoots voldoen aan alle overheidscriteria op het gebied van veiligheid – afziet van implementatie van het MMA en vergunning verzoekt voor het implementeren van de voorgenomen maatregelen.

7 LEEMTEN IN KENNIS EN EVALUATIEPROGRAMMA

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de leemten in kennis en informatie die zijn geconstateerd bij de voorspelling van de milieugevolgen en de alternatieven. Vervolgens wordt een voorstel gedaan voor de evaluatie achteraf door het bevoegd gezag.

7.2 Leemten in kennis

Kernsamenstelling
De samenstelling van de reactorkern op ieder moment van de tijd is niet nauwkeurig te voorspellen, omdat deze van zeer vele factoren afhankelijk is, zoals de positie en opbrand van de oude elementen, de positie van de nieuwe elementen, de uit te voeren bestralingsexperimenten, de belading van de productiefaciliteiten etcetera

Reikwijdte veiligheidsanalyse
In hoofdstuk 5 is gesteld dat geen volledige PSA voor de HFR gemaakt is. Het gaat daarbij om ontbrekende analyses van stilstandperioden en externe invloeden. Voor dergelijke analyses ontbraken de benodigde praktijkgegevens van onderzoeksreactoren die veelal zeer verschillend van opbouw zijn.

Nauwkeurigheid veiligheidsanalyse
De berekende risico's in het kader van de PSA zijn behept met zekere onzekerheidsmarges, zodat geen absolute waarde aan de rekenresultaten gehecht kan worden. Voor onderlinge vergelijking van de alternatieven zijn deze marges niet van belang.

7.3 Belang voor de besluitvorming

De onzekerheden in de **kernsamenstelling** zijn ondervangen door het aannemen van conservatieve (voorzichtige) vooronderstelllingen zodat de berekende samenstelling voor de meest kritische radionucliden de werkelijke samenstelling zeker niet onderschat.

De **beperkte reikwijdte van de PSA** is niet relevant voor de besluitvorming omdat ook zonder een volledige PSA voldoende inzicht in de veiligheidsrisico's van buiten-ontwerp-ongevallen verkregen is. Bovendien voldoet de HFR aan alle eisen die door de Nederlandse overheid en de IAEA terzake gesteld worden.

De onzekerheden in de **veiligheidsanalyses** zijn zoals al gesteld voor de vergelijking van de alternatieven niet van belang. Voor toetsing aan de risicocriteria van de overheid mag er van uit gegaan worden dat ten gevolge van de conservatieve aannamen de werkelijke risico's lager zullen zijn dan de berekende waarden. Omdat de berekende waarden reeds ruimschoots aan de risicocriteria voldoen is het niet erg zinvol te trachten de onzekerheden nauwkeuriger in kaart te brengen.

7.4 Evaluatieprogramma

Evaluatie-onderzoek dient plaats te vinden door het bevoegd gezag wanneer een activiteit waarover een milieu-effectrapport is geschreven wordt ondernomen of daarna. De initiatiefnemer moet daaraan medewerking verlenen en bijvoorbeeld over metingen inlichtingen verstrekken. Het doel van de evaluatie is de daadwerkelijk optredende milieu-effecten te vergelijken met de voorspelde effecten.

De werkelijke effecten kunnen om een aantal redenen afwijken van de voorspelde effecten. In het geval van een MER over een concrete activiteit kunnen daarvan de oorzaken zijn:

- het tekortschieten van de voorspellingsmethoden
  De voorspellingsmethoden welke worden gehanteerd, zijn doorlopend in ontwikkeling. Dit geldt ook voor de berekening van de kernsamenstelling en van de risico's met PSA's
- het niet voorzien van bepaalde effecten
  Het niet voorzien van bepaalde effecten wordt in het geval van de voorgenomen activiteit niet waarschijnlijk geacht vanwege de ruime ervaring gemeten in reactorjaren met soortgelijke splijtstofelementen in andere onderzoeksreactoren
- het elders optreden van onvoorziene, maar invloedrijke ontwikkelingen
  Verwacht wordt dat de druk om lagere verrijkingsgraden in onderzoeksreactoren toe te passen in het kader van de bestrijding van internationaal terrorisme nog verder toe zal nemen. Dit zal echter geen nieuwe gevolgen hebben voor de verrijkingsgraad van de HFR
- het optreden van leemten in kennis en informatie.
  Het niet voorzien van bepaalde effecten wordt in het geval van de voorgenomen activiteit niet waarschijnlijk geacht vanwege de ruime ervaring (gemeten in reactorjaren) met soortgelijke splijtstofelementen in andere onderzoeksreactoren

Met al deze zaken dient bij het opzetten van het evaluatieprogramma rekening te worden gehouden. De evaluatie zal naar verwachting de volgende onderdelen omvatten:

- evaluatie van de radiologische gevolgen bij normaal bedrijf
- evaluatie van de storingen bij de HFR met de nieuwe splijtstofelementen in verhouding tot gebruik van de oude elementen
- evaluatie van het functioneren van de nieuwe veiligheidsvoorzieningen
- invullen leemten in kennis

LITERATUUR

BRZO, 1999. Besluit Risico's Zware Ongevallen, Staatsblad 1999, 435; Staatsblad 2001, 271; Staatsblad 2002, 604

CKN, 1983. Commissie Koelwater Normen. Voorlopige Koelwater richtlijnen. Notanr. WH 82-01

CORA, 2001. Commissie Opberging Radioactief Afval. Terugneembare berging, een begaanbaar pad? Onderzoek naar de mogelijkheden van terugneembare berging van radioactief afval in Nederland. Ministerie van Economische Zaken. Den Haag, februari 2001

ECN, 1994 Veiligheids- en ongevalsanalyse (Dokpak-II), ECN-CX—94-126/1

ECN, 1990 Gevolgen van lozingen bij normaal bedrijf van Nederlandse kerninstallaties, ECN-C--90-015, 1990

ECN, 2001. Veiligheids- en milieuvoorschriften voor derden. VR2001/ECN-001 d.d. 15 januari 2001.

Freudenreich, W.E. Nuclide inventory of the HFR (for HFR DOKPAK), ECN, 75137/NUC/WF/mb/11298, January 1998.

GCO, 1999. Reference Licensing Basis for a Test Reactor, Technical Memorandum HFR/99/4545, GCO, Revisie 2, 1 juli 1999

GEMEENTE ZIJPE, 1996. Bestemmingsplan "Onderzoeks- en bedrijfsterrein Petten". Vastgesteld 27 augustus 1996. Goedgekeurd GS 24 oktober 1996

GEMEENTE ZIJPE, 2002. Gemeente Zijpe et al. Rampbestrijdingsplan ten behoeve van Onderzoek Locatie Petten, mei 2002.

Groot, S. de. Structural Integrity of HFR Lower Grid, NRG, 55280/01.41242/C, 18 May 2002.

Guidez, J., e.a. Conversion of the High Flux Reactor, Analysis and Proposal, JRC, HFR/JG/et/9907.07.02, 7 July 1999.

Hanan, N.A. e.a. Neutronic Feasibility Studies for LEU Conversion of the HFR Petten Reactor, International Meeting on Reduced Enrichmnet for Research and Test Reactors, Las Vegas, USA, October 1-6, 2000.

IAEA, 1992 Code on the Safety of Nuclear Research Reactors: Design, IAEA, 1992

JRC, 1997. Joint Research Centre. Working Document for the Preparation of the Safety Re-evaluation of the HFR Technical Memorandum HFR/97/5191, Revision 4

JRC, 1999. Annual Report 1998. Operation of the High Flux Reactor

Mul, 1997. Ontwerp en adviesbureau Mul B.V. Milieu-onderzoek HFR-complex GCO te Petten. Nr. 2310 d.d. augustus 1997.

NRG, 2002a. HFR Veiligheidsvoorschriften en noodmaatregelen. K5004/01.40436/1. Petten, d.d. 22 februari 2002

NRG, 2002b. Bedrijfsnoodplan NRG Petten. K5004/01.40427/1 d.d. 21 mei 2002

NRG, 2002c Jaarverslag Veiligheid en Milieu 2001, NRG K5004/02.4757/I, 2002

NRG, 2003 HFR Veiligheidsrapport, 2003

OSPAR, 1992. Verdrag inzake de bescherming van het mariene milieu in het noordoostelijk deel van de Atlantische Oceaan (OSPAR-Verdrag) zie ook: Besluit 98/249/EG betreffende de sluiting van het Verdrag (PbEG L104 van 3.4.98)

Peutz, 2003. Akoestisch onderzoek met betrekking tot de Hoge Flux Reactor van NRG te Petten., rapport nr. F 16662-1 d.d. 27 november 2003**Error! Unknown document property name.**

Pijlgroms, B.J. Criticality Analysis of the storage facilities for the HFR LEU fuel and control elements, NRG, 20582.70/01.40695/C, 10 May 2001.

RIVM, 2002 Dosisberekening voor de Omgeving bij Vergunningverlening Ioniserende Straling – DOVIS A, Lozingen in lucht en water, RIVM 610310006, 2002

Sciolla, C.M. Criticality Analysis of the High Flux Reactor Standard Fuel Storage, NRG, 20582/01.41896/C, June 2001.

Sciolla, C. Nuclide Inventory of the HFR Low Enriched Core, NRG, 20582/02.46182/C/Rev.A, February 2002.

SGR, 1993. Structuurschema Groene Ruimte. Tweede Kamer, vergaderjaar 1993-1994, 22880, nr. 38-39

SGR2, 2001. Tweede Structuurschema Groene Ruimte. Ontwerp Planologische Kernbeslissing

STAATSBLAD, 2001. Besluit van 16 juli 2001, houdende vaststelling van het Besluit stralingsbescherming. Stb. 2001-397

PROVINCIE NOORD-HOLLAND, 2002. Ontwerp Provinciaal Milieubeleidsplan.

STAATSBLAD, 1990. Uitvoeringsregeling waterhuishouding

STAATSBLAD, 1996. Besluit van 17 januari 1996, houdende wijziging van het Besluit stralenbescherming Kernenergiewet i.v.m. nieuwe normstelling voor radioactieve stoffen Stb 1996-44.

STAATSBLAD, 1993. Wet van 16 september 1993, tot wijziging van de Rampenwet inzake informatieverschaffing en afstemming van rampen- en rampbestrijdingsplannen, Stb. 1993-503).

STAATSBLAD, 2001. Besluit Stralingsbescherming, Staatsblad 397, 2001

STAATSCOURANT, 2002a. MR-AGIS, Regeling analyse gevolgen ioniserende straling voor het milieu, STC nr. 73, 16 april 2002

STAATSCOURANT 2002b, STC nr. 248 (24-12-2002). Regeling bekendmaking rechtvaardiging gebruik van ioniserende straling

Stempniewicz, M.M. RELAP5 Analyses for Phase II of HFR HEU-LEU conversion, RG,

Tebodin, 2002. Intern noodplan onderzoekslocatie Petten. Tebodin consultancy, mei 2002.

TWEEDE KAMER, 1984. Nota Radioactief afval. Vergaderjaar 1983-1984, 18 343, nrs. 1-2

TWEEDE KAMER, 1993. Opbergen van afval in de diepe ondergrond. Vergaderjaar 1992-1993. 23 163, nr.1

TWEEDE KAMER, 2002. Beleidsstandpunt Radioactief afvalbeleid. Vergaderjaar 2002-2003, 28 674, nr. 1

TWEEDE KAMER, 2003a. Tweede Kamer, vergaderjaar 2002-2003, 25 422, nr. 17 en nr. 30

TWEEDE KAMER, 2003b Tweede kamer, vergaderjaar 2002-2003, 25 422, nr. 25

WG, 2003. Werkgroep met vertegenwoordigers van de Ministeries van VROM, VWS en EZ en de Nederlandse Vereniging van Nucleaire Geneeskundigen (NVNG); "Medische Isotopen en de Hoge Flux Reactor in Petten". Den Haag, februari 2003.

Wijtsma, F.J. Implication of the HEU/LEU conversion on the Technical Safety Specification of the HFR, NRG, 25136/01.43347/I, 1 October 2001

Bijlage A NUCLIDE INVENTARISSEN

Tabel A1 Nuclide inventaris van een LEU-kern (evenwichtskern)

Nuclide [a]	Halverings-tijd	[b]	Activiteit [Bq]	Nuclide [a]	Halverings-tijd	[b]	Activiteit [Bq]
^{83m}Kr	1,83	H	8,65 10^{+15}	^{135}Xe	9,11	H	1,51 10^{+16}
^{85}Kr	10,72	Y	1,02 10^{+14}	^{135m}Xe	15,65	M	2,14 10^{+16}
^{85m}Kr	4,48	H	2,19 10^{+16}	^{138}Xe	14,17	M	1,07 10^{+17}
^{87}Kr	76,3	M	3,84 10^{+16}	^{134}Cs	2,062	Y	1,14 10^{+15}
^{88}Kr	2,84	H	5,27 10^{+16}	^{136}Cs	13,16	D	5,65 10^{+14}
^{86}Rb	18,66	D	4,81 10^{13}	^{137}Cs	30,037	Y	8,24 10^{+14}
^{89}Sr	50,55	D	4,23 10^{+16}	^{140}Ba	12,789	D	8,81 10^{+16}
^{90}Sr	28,6	Y	7,34 10^{+14}	^{140}La	40,22	H	8,65 10^{+16}
^{91}Sr	9,52	H	9,28 10^{+16}	^{141}Ce	32,5	D	6,21 10^{+16}
^{90}Y	64,1	H	7,66 10^{+14}	^{143}Ce	33	H	9,82 10^{+16}
^{91}Y	58,51	D	4,92 10^{+16}	^{144}Ce	284,3	D	1,98 10^{+16}
^{95}Zr	64,02	D	5,55 10^{+16}	^{143}Pr	13,56	D	7,81 10^{+16}
^{97}Zr	16,9	H	9,95 10^{+16}	^{147}Nd	10,98	D	3,21 10^{+16}
^{95}Nb	35,1	D	3,93 10^{+16}	^{147}Pm	2,62	Y	1,96 10^{+15}
^{99}Mo	66,02	H	1,07 10^{+17}	^{148}Pm	5,37	D	3,28 10^{+15}
^{99m}Tc	6,02	H	9,34 10^{+16}	^{148m}Pm	41,28	D	5,38 10^{14}
^{103}Ru	39,35	D	3,54 10^{+16}	^{149}Pm	2,21	D	2,59 10^{+16}
^{105}Ru	4,44	H	2,79 10^{+16}	^{151}Pm	1,18	D	8,00 10^{+15}
^{106}Ru	368,2	D	2,44 10^{+15}	^{151}Sm	88,79	Y	4,24 10^{+12}
^{105}Rh	35,36	H	2,37 10^{+16}	^{153}Sm	1,95	D	9,36 10^{+15}
^{127}Te	9,35	H	2,41 10^{+15}	^{154}Eu	8,61	Y	2,84 10^{+13}
^{127m}Te	109	D	9,40 10^{13}	^{155}Eu	4,96	Y	1,93 10^{+13}
^{129}Te	69,6	M	1,32 10^{+16}	^{156}Eu	15,19	D	1,55 10^{+15}
$^{129m+}$Te	33,6	D	1,50 10^{+15}	^{157}Eu	15,18	H	5,40 10^{+14}
^{131m}Te	30	H	6,47 10^{+15}	^{160}Tb	72,3	D	3,17 10^{+12}
^{132}Te	78,2	H	7,45 10^{+16}	^{234}U	2,46 10^{+05}	Y	1,75 10^{+08}
^{127}Sb	3,85	D	2,84 10^{+15}	^{237}U	6,75	D	3,22 10^{+16}
^{129}Sb	4,32	H	1,33 10^{+16}	^{239}U	23,47	M	4,71 10^{+17}

Tabel A1 Nuclide inventaris van een LEU-kern (evenwichtskern)

Nuclide [a]	Halverings-tijd	[b]	Activiteit [Bq]	Nuclide [a]	Halverings-tijd	[b]	Activiteit [Bq]
^{131}I	8,04	D	$4{,}76\ 10^{+16}$	^{238}Np	2,12	D	$6{,}78\ 10^{+15}$
^{132}I	2,3	H	$7{,}52\ 10^{+16}$	^{239}Np	2,355	D	$4{,}63\ 10^{+17}$
^{133}I	20,8	H	$1{,}14\ 10^{+17}$	^{238}Pu	87,75	Y	$7{,}88\ 10^{+12}$
^{134}I	52,6	M	$1{,}30\ 10^{+17}$	^{239}Pu	24131	Y	$2{,}07\ 10^{+12}$
^{135}I	6,61	H	$1{,}08\ 10^{+17}$	^{240}Pu	6537	Y	$1{,}10\ 10^{+12}$
^{131m}Xe	11,9	D	$3{,}69\ 10^{+14}$	^{241}Pu	14,4	Y	$4{,}31\ 10^{+14}$
^{133}Xe	5,245	D	$1{,}10\ 10^{+17}$	^{241}Am	432,2	Y	$1{,}29\ 10^{+11}$
^{133m}Xe	2,19	D	$3{,}33\ 10^{+15}$	^{242}Cm	163,2	D	$3{,}10\ 10^{+13}$
				^{244}Cm	18,11	Y	$1{,}02\ 10^{+12}$

[a]) Alleen de radiologisch meest relevante nucliden zijn weergegeven.
[b]) M = minuten, H = uren, D = dagen and Y = jaren

Tabel A2 Nuclide inventaris van een HEU-kern (evenwichtskern)

Nuclide [a]	Halverings-tijd	[b]	Activiteit [Bq]	Nuclide [a]	Halverings-tijd	[b]	Activiteit [Bq]
^{83m}Kr	1,83	H	$8,52\ 10^{+15}$	^{135}Xe	9,11	H	$8,31\ 10^{+15}$
^{85}Kr	10,72	Y	$1,05\ 10^{+14}$	^{135m}Xe	15,65	M	$1,89\ 10^{+16}$
^{85m}Kr	4,48	H	$2,19\ 10^{+16}$	^{138}Xe	14,17	M	$1,01\ 10^{+17}$
^{87}Kr	76,3	M	$3,87\ 10^{+16}$	^{134}Cs	2,062	Y	$7,80\ 10^{+14}$
^{88}Kr	2,84	H	$5,31\ 10^{+16}$	^{136}Cs	13,16	D	$3,59\ 10^{+14}$
^{86}Rb	18,66	D	$4,14\ 10^{+13}$	^{137}Cs	30,037	Y	$8,08\ 10^{+14}$
^{89}Sr	50,55	D	$3,91\ 10^{+16}$	^{140}Ba	12,789	D	$7,97\ 10^{+16}$
^{90}Sr	28,6	Y	$7,67\ 10^{+14}$	^{140}La	40,22	H	$7,80\ 10^{+16}$
^{91}Sr	9,52	H	$9,26\ 10^{+16}$	^{141}Ce	32,5	D	$5,44\ 10^{+16}$
^{90}Y	64,1	H	$8,31\ 10^{+14}$	^{143}Ce	33	H	$9,37\ 10^{+16}$
^{91}Y	58,51	D	$4,49\ 10^{+16}$	^{144}Ce	284,3	D	$1,81\ 10^{+16}$
^{95}Zr	64,02	D	$4,89\ 10^{+16}$	^{143}Pr	13,56	D	$7,09\ 10^{+16}$
^{97}Zr	16,9	H	$9,33\ 10^{+16}$	^{147}Nd	10,98	D	$2,84\ 10^{+16}$
^{95}Nb	35,1	D	$3,37\ 10^{+16}$	^{147}Pm	2,62	Y	$1,78\ 10^{+15}$
^{99}Mo	66,02	H	$9,82\ 10^{+16}$	^{148}Pm	5,37	D	$3,27\ 10^{+15}$
^{99m}Tc	6,02	H	$8,60\ 10^{+16}$	^{148m}Pm	41,28	D	$3,77\ 10^{+14}$
^{103}Ru	39,35	D	$2,67\ 10^{+16}$	^{149}Pm	2,21	D	$2,47\ 10^{+16}$
^{105}Ru	4,44	H	$1,59\ 10^{+16}$	^{151}Pm	1,18	D	$6,57\ 10^{+15}$
^{106}Ru	368,2	D	$1,21\ 10^{+15}$	^{151}Sm	88,79	Y	$2,39\ 10^{+12}$
^{105}Rh	35,36	H	$1,28\ 10^{+16}$	^{153}Sm	1,95	D	$8,87\ 10^{+15}$
^{127}Te	9,35	H	$1,67\ 10^{+15}$	^{154}Eu	8,61	Y	$2,73\ 10^{+13}$
^{127m}Te	109	D	$5,00\ 10^{+13}$	^{155}Eu	4,96	Y	$1,32\ 10^{+13}$
^{129}Te	69,6	M	$1,11\ 10^{+16}$	^{156}Eu	15,19	D	$1,37\ 10^{+15}$
$^{129m+}Te$	33,6	D	$1,22\ 10^{+15}$	^{157}Eu	15,18	H	$3,66\ 10^{+14}$
^{131m}Te	30	H	$5,39\ 10^{+15}$	^{160}Tb	72,3	D	$1,09\ 10^{+12}$
^{132}Te	78,2	H	$6,70\ 10^{+16}$	^{234}U	$2,46\ 10^{+05}$	Y	$3,64\ 10^{+10}$
^{127}Sb	3,85	D	$1,99\ 10^{+15}$	^{237}U	6,75	D	$3,19\ 10^{+16}$
^{129}Sb	4,32	H	$1,14\ 10^{+16}$	^{239}U	23,47	M	$2,63\ 10^{+16}$

Tabel A2 Nuclide inventaris van een HEU-kern (evenwichtskern)

Nuclide [a]	Halverings-tijd	[b]	Activiteit [Bq]	Nuclide [a]	Halverings-tijd	[b]	Activiteit [Bq]
^{131}I	8,04	D	$4,13\ 10^{+16}$	^{238}Np	2,12	D	$8,13\ 10^{+15}$
^{132}I	2,3	H	$6,73\ 10^{+16}$	^{239}Np	2,355	D	$2,57\ 10^{+16}$
^{133}I	20,8	H	$1,05\ 10^{+17}$	^{238}Pu	87,75	Y	$9,06\ 10^{+12}$
^{134}I	52,6	M	$1,21\ 10^{+17}$	^{239}Pu	24131	Y	$9,60\ 10^{+10}$
^{135}I	6,61	H	$9,98\ 10^{+16}$	^{240}Pu	6537	Y	$6,22\ 10^{+10}$
^{131m}Xe	11,9	D	$3,07\ 10^{+14}$	^{241}Pu	14,4	Y	$2,91\ 10^{+13}$
^{133}Xe	5,245	D	$9,93\ 10^{+16}$	^{241}Am	432,2	Y	$1,51\ 10^{+10}$
^{133m}Xe	2,19	D	$3,02\ 10^{+15}$	^{242}Cm	163,2	D	$3,43\ 10^{+12}$
				^{244}Cm	18,11	Y	$1,16\ 10^{+11}$

[a]) Alleen de radiologisch meest relevante nucliden zijn weergegeven.
[b]) M = minuten, H = uren, D = dagen and Y = jaren