



Kernenergie & Randvoorwaarden

Een verkenning van mogelijke randvoorwaarden voor de kernenergiescenario's uit het Energierapport 2008

A.D. Poley en R. Jansma

Met bijdragen van

F. van Gemert, J.F.A. van Hienen, N. van der Linden-Engeltjes en A. Metz

Verantwoording

De VROM/EZ projectwerkgroep “Uitwerking kernenergiescenario’s” is belast met de uitwerking van de energiescenario’s, die in het Energierapport 2008 van het kabinet-Balkenende IV (CDA, PvdA en CU)¹ zijn geschetst. De uitwerking verloopt langs drie Pijlers. Voor twee van deze pijlers zijn door ECN en NRG rapporten opgesteld.

Pijler 1. Kernenergie & brandstofmix, geleverd door ECN met input van NRG,

Pijler 2. Kernenergie & randvoorwaarden, rapport geleverd door NRG, en

Pijler 3. Kernenergie & maatschappij.

De concepten van de rapporten zijn als input gebruikt om ‘stakeholderbijeenkomsten’ (onderdeel van Pijler 3) te voorzien van de nodige informatie. Deze bijeenkomsten hebben plaats gevonden in de periode september 2009 - februari 2010.

Dit rapport van NRG betreft informatie voor Pijler 2. Externe review is gedaan door het onderzoeksinstituut SCK·CEN te Mol (België) en leden van de interdepartementale werkgroep van de ministeries van EZ en VROM. Daarnaast heeft ECN Beleidsstudies (ECN-BS) de review van het onderwerp ‘Inspraak’ gedaan. NRG heeft waardering voor de prettige samenwerking met deze deskundige partners. De finale versie van dit rapport is gemaakt na de stakeholderbijeenkomsten van 2009 en 2010. Hierbij is gebruik gemaakt van suggesties van de deelnemers aan deze stakeholderbijeenkomsten.

Uitgebreide omschrijving van achtergrond, de vraagstelling en de afbakening van de studie is te vinden in de Inleiding. De omschrijving van de opdracht (‘Terms of Reference’) is te vinden in Bijlage A.

De beschikbare doorlooptijd voor het opstellen van dit rapport en het concept voor de discussie met de stakeholders, was dusdanig kort, dat een ambitieuze planning nodig was. Voorts diende het rapport beknopt en toegankelijk te zijn voor niet-deskundigen. Aan de andere kant moesten vele aspecten worden behandeld. NRG heeft getracht een middenweg te vinden om aan deze uiteenlopende en deels strijdige eisen tegemoet te komen. Al te technische en gedetailleerde uiteenzettingen zijn daarom achterwege gelaten.

De in dit rapport genoemde mogelijke randvoorwaarden voor kernenergie in Nederland, moeten in het kader van de beschouwde kernenergiescenario’s van het Energierapport 2008 worden gezien. De auteurs pleiten niet voor een onverkorte toepassing van genoemde mogelijke randvoorwaarden. Zij presenteren geen mening betreffende de wenselijkheid van bepaalde randvoorwaarden, maar benoemen slechts de denkbare mogelijkheden binnen de genoemde scenario’s. Selectie en invoering van nieuwe randvoorwaarden vereist een nadere evaluatie van nut en noodzaak. Hierbij zouden ook goed geïnformeerde stakeholders kunnen worden betrokken. Tevens dient een juridische toets plaats te vinden om te bezien wat betreffende mogelijke randvoorwaarden wettelijk wenselijk en mogelijk is.

De review door ECN-BS, leden van de interdepartementale werkgroep en enkele deskundigen van het SCK·CEN, impliceert niet dat deze personen verantwoordelijk zijn voor de inhoud van dit rapport noch dat zij onverkort instemmen met de daarin genoemde mogelijke randvoorwaarden.

¹ Het Kabinet-Balkenende-IV regeerde vanaf 22 februari 2007 tot eind februari 2010. Minister-president Balkenende heeft op 20 februari 2010 aan de Koningin het ontslag aangeboden van de ministers en staatssecretarissen van PvdA-huize. Hij heeft op die datum de portefeuilles, het ambt en de functies van de overige ministers en staatssecretarissen ter beschikking gesteld.

Inhoud

1.	Inleiding	25
1.1	Kader	25
1.1.1	Randvoorwaarden	25
1.1.2	Interpretatie kernenergiescenario's	25
1.1.3	Definitie generaties	27
1.1.4	Definitie inherent veilig	27
1.1.5	Afbakening	28
1.1.6	Leeswijzer	29
2.	Nucleaire infrastructuur	31
2.1	Splijstofcyclus	31
2.1.1	Kernsplijting	31
2.1.2	De processtappen van de splijstofcyclus	32
2.2	Front-end	36
2.2.1	Stand van zaken	36
2.2.2	Ontwikkelingen	39
2.2.3	Mogelijke randvoorwaarden aan de front-end	40
2.3	Kerncentrales	41
2.3.1	Stand van zaken	42
2.3.2	Ontwikkelingen	47
2.3.3	Mogelijke randvoorwaarden m.b.t. nieuwe kerncentrales	49
2.4	Ontmanteling	50
2.4.1	Stand van zaken	51
2.4.2	Ontwikkelingen	52
2.4.3	Mogelijke randvoorwaarden t.a.v. ontmanteling	52
2.5	Back-end: eindverwerking radioactief afval en gebruikte splijstof	53
2.5.1	Stand van zaken	53
2.5.2	Ontwikkelingen	58
2.5.3	Mogelijke randvoorwaarden m.b.t. laag- en middelactief afval	60
2.5.4	Mogelijke randvoorwaarden m.b.t. gebruikte splijstof	61
3.	Veiligheidsaspecten van kernenergie	65
3.1	Technische veiligheid	65
3.1.1	Stand van zaken	65
3.1.2	Ontwikkelingen in de reactorveiligheid	74
3.1.3	Mogelijke randvoorwaarden t.a.v. technische veiligheid	75
3.2	Beveiliging	78
3.2.1	Stand van zaken	78
3.2.2	Ontwikkelingen	83
3.2.3	Randvoorwaarden t.a.v. beveiliging versus scenario's	83
4.	Regelgeving, inspraak en waarborging	85
4.1	Introductie belanghebbenden, de stakeholders	85
4.2	Regelgeving voor toepassen van kernenergie	88
4.2.1	Stand van zaken regelgeving	88
4.2.2	Ontwikkelingen	90
4.3	Inspraak	91
4.3.1	Stand van zaken bij inspraak en maatschappelijk draagvlak	91
4.3.2	Ontwikkelingen	92
4.4	Waarborging	96
4.4.1	Overzicht van te waarborgen zaken	96
4.4.2	Waarborgen van vestigingsplaatsen	96
4.4.3	Waarborgen kwaliteit van de vergunning	97
4.4.4	Waarborgen kennis en middelen exploitant	98

4.4.5	Waarborgen rampbestrijding en beveiliging	99
4.4.6	Waarborgen kwaliteit van het toezicht	100
4.4.7	Waarborgen aansprakelijkheid exploitant	100
4.4.8	Waarborgen deskundigheid en opleiding en kennisinfrastructuur	100
5.	Overzicht kernenergie en randvoorwaarden	105
5.1	Inleiding	105
5.2	Nucleaire infrastructuur	105
5.3	Veiligheid	110
5.4	Regelgeving, inspraak en waarborging	112
Bijlage A	Terms of Reference (ToR) van de opdracht	115
Bijlage B	Overzichtstabel mogelijke randvoorwaarden	121

Lijst van tabellen

Tabel 1	Mogelijke randvoorwaarden aan uraniumproductie en verrijking	41
Tabel 2	Overzicht beschouwde reactortypen.....	47
Tabel 3	Mogelijke randvoorwaarden aan nieuwe kerncentrales	50
Tabel 4	Mogelijke randvoorwaarden aan ontmanteling	53
Tabel 5	Mogelijke randvoorwaarden aan beheer van laag- en middelactief afval	61
Tabel 6	Mogelijke randvoorwaarden aan het beheer van gebruikte splijtstof.....	63
Tabel 7	Overzicht volgens INSAG-10 van de vijf lagen van defence-in-depth (onvertaald).....	66
Tabel 8	Samenvatting van ernstige ongevallen (met 5 of meer directe slachtoffers) in de energiesector in de periode 1969-2000.....	72
Tabel 9	Mogelijke randvoorwaarden aan technische veiligheid van nieuwe kerncentrales	77
Tabel 10	Mogelijke aanvullende randvoorwaarden eindberging radioactief afval	78
Tabel 11	Mogelijke randvoorwaarden betreffende non-proliferatie en beveiliging tegen terrorisme.....	84

Lijst van figuren

Figuur 1	De splijtstofcyclus	33
Figuur 2	Processen in een kerncentrale met een drukwaterreactor	34
Figuur 3	Verdeling van de 'Identified Resources' over de wereld bij prijs < USD 130/kgU	38
Figuur 4	Opbouw kosten van elektriciteit uit kernenergie.	39
Figuur 5	De IAEA 'Safety Standards Series', met internationale consensus over wat een zeer hoge mate van veiligheid kan garanderen.....	65
Figuur 6	De kerncentrale Borssele voldoet ieder jaar aan de lozingslimieten (bron: RIVM)	69
Figuur 7	Controle van zogenoemde 'safeguard seals' door een inspecteur. (Foto IAEA)....	81
Figuur 8	Invloed van diverse groepen van belanghebbenden, de zogenoemde 'stakeholders'	85
Figuur 9	Nederlandse organisaties die beschikken over nucleaire kennis in de splijtstofcyclus en hun functie in de kennisinfrastructuur.	101

Lijst van afkortingen

ABWR	Advanced Boiling Water Reactor (GE-Hitachi)
ALARA	As Low As Reasonably Achievable: zo laag als redelijkerwijs mogelijk.
AMAT	Ageing Management Assessment Team, specifieke IAEA inspectiemissie
ambv	Algemene maatregel van bestuur
ANSI	American National Standards Institute – kwaliteitsstandaarden, normen
AP1000	Advanced Pressurized Water Reactor (Toshiba-Westinghouse)
APWR	Advanced Pressurized Water Reactor (MHI) US-APWR: US-versie van de APWR; EU-APWR: Europese versie van de APWR
Areva	Oorspronkelijk Franse multinational, bouwt reactoren (EPR) en levert diensten aan de nucleaire sector. In 2001 ontstaan uit een fusie van Framatome en Cogema
ARIUS	Association for Regional and International Underground Storage
ASME	American Society of Mechanical Engineers – kwaliteitsstandaarden, normen
ASN	L'Autorité de Sûreté Nucléaire, instantie die namens Franse overheid toeziet op nucleaire veiligheid en stralingshygiëne
Bkse	Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen
Bq	Becquerel
Bs	Besluit stralingsbescherming
Bvser	Besluit vervoer splijtstoffen, ertsen en radioactieve stoffen
BWR	Boiling Water Reactor (kokend waterreactor)
Cameco	Canadian Mining and Energy Corporation
CDA	Christen-Democratisch Appèl, politieke partij
CDF	Core damage frequency, kernsmelfrequentie
CEPN	Centre d'etude pour l'évaluation de la protection dans le domain nucléaire, Fontenay-aux-Roses (F)
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energeticas, MedioAmbientales y Technologicas (Madrid, ES)
CNECC	Chinese Nuclear Engineering and Construction Corporation
CO ₂	Koolzuur, gasvormig bij kamertemperatuur
CORA	Commissie Opberging Radioactief Afval
COVRA	Centrale Organisatie voor Radioactief Afval
CSTFA	Centre de Stockage Très Faible Activité, Franse eindbergingsfaciliteit te Morvilles voor zeer licht radioactief afval (voornamelijk bouwpuin)
CU	ChristenUnie, politieke partij
DG-TREN	Directoraat Generaal van de Europese Commissie voor energie en transport
DEMO	DEMO staat voor “DEMOstration Power Plant”, de demonstratie fusiecentrale die men in de toekomst – waarschijnlijk in Japan – wil gaan bouwen.
DIN	Deutsches Institut für Normung – kwaliteitsstandaarden, normen
ECN	Energieonderzoekcentrum Nederland
ENEF	European Nuclear Energy Forum, door de Europese Commissie opgericht platform “to facilitate dialogue between different stake holders on the opportunities, risk and transparency”

ENSREG	European Nuclear Safety Regulators Group, Europese groep van toezichthouders op de nucleaire veiligheid
EPR	European Pressurized (light water) Reactor, een modern type kernreactor (Areva) US-EPR: Evolutionary Pressurizes water Reactor, US-versie van de EPR
EPRI	Electric Power Research Institute, energieonderzoekinstituut in de USA
EPZ	N.V. Elektriciteits-Productiemaatschappij Zuid-Nederland (exploitant van o.a. de kerncentrale Borssele)
ERDO	European Repository Development Organisation
ESBWR	Economic Simplified Boiling Water Reactor (GE-Hitachi)
ESKOM	Zuid-Afrikaans elektriciteitsbedrijf. De naam is een samensmelting van de oorspronkelijke Engelse en Afrikaanse afkortingen, ESCOM (Energy Supply Commission) en EVKOM (Elektrisiteitsvoorsieningskommissie)
ETC	Enrichment Technology Company, onderdeel van Urenco
EU	Europese Unie
EUR	European Utility Requirements, Eisenpakket voor nieuwe kerncentrales opgesteld op initiatief van de Europese elektriciteitsproducenten
EURATOM	European Atomic Energy Community
EZ	Ministerie van Economische Zaken
FFK	Fact Finding Kernenergie studie van ECN voor de SER uit 2007
FZJ	Forschungs Zentrum Jülich (D)
GE-Hitachi	Joint Venture gevormd door het Amerikaanse General Electric en Japanse Hitachi op het gebied van reactorbouw en diensten aan de nucleaire sector
Gen-II	Merendeel van de nu in bedrijf zijnde kerncentrales, voornamelijk gebouwd in de jaren 1965 – 1985
Gen-III	Evolutionair ontwikkelde kerncentrales met verbeterde veiligheidseigenschappen die momenteel gebouwd worden / resp. onlangs in bedrijf zijn gegaan
Gen-III+	Kerncentrales waarvan geclaimd wordt dat zij inherent veilig zijn. In het kader van deze studie – net als in FFK – worden in dit kader enkel de op basis van het Duitse kogelbed reactorconcept ontwikkelde HTR-achtige reactoren zoals de PBMR en de HTR-PM beschouwd.
Gen-IV	Aanduiding van de in internationaal verband gezamenlijk te ontwikkelen nucleaire energiesystemen met verbeterde efficiëntie, grotere proliferatiebestendigheid en veiligheid, als ook verminderde afvalproductie.
GIF	Generation IV Forum, internationaal samenwerkingsverband voor de ontwikkeling van de volgende generatie reactoren (Gen-IV)
GBq	Gigabecquerel, 10^9 Bq (1000 miljoen Bq)
GLE	Global Laser Enrichment, door-ontwikkeling van het SILEX proces door GE-Hitachi en Cameco
GMHTR	Gas cooled Modulair High Temperature Reactor
GPS	Global Positioning System
HABOG	Hoog radioactief Afval Behandelings- en OpslagGebouw
HEU	High Enriched Uranium
HSE	Health and Safety Executive (in het VK)
HT(G)R	High Temperature (gas-cooled) Reactor
HTR-PM	High Temperature Reactor Pebble-bed Module
IAEA	International Atomic Energy Agency, het atoomagentschap van de Verenigde Naties
ICRP	International Commission on Radiological Protection

INPO	Institute of Nuclear Power Operations, vereniging van exploitanten van kerncentrales opgericht in 1979 na het kernsmeltongeval in TMI-2 in 1979
IPSART	International Probabilistic Safety Assessments Review Team, specifieke IAEA inspectiemissie
ITER	Experimentele fusiereactor te Caderache (F), bouw gestart in 2007. 'Iter' betekent 'de reis, tocht' in het Latijn. Oorspronkelijk stond ITER voor 'International Thermonuclear Experimental Reactor'
KCB	Kerncentrale Borssele
KCD	(voormalige) Kerncentrale Dodewaard
Kew	Kernenergiewet
KFD	Kernfysische Dienst, toezichthouder op de nucleaire sector
KINT	Kennis Infrastructuur Nucleaire Techniek, stichting -
KSA	Kern Splitsings Afval, dit is warmteproducerend afval uit opwerking van gebruikte splijtstof
KTA	Kerntechnischer Ausschuss – (Duitse) nucleaire kwaliteitsstandaarden
LWR	Light Water Reactor, omvat de kokend (BWR) en drukwater (PWR) reactoren
MDEP	Multinational Design Evaluation Programme
mensSv	Mens . sievert, maat voor collectieve dosis
MER	Milieu-effect rapportage
MHI	Mitsubishi Heavy Industries, Japans industrieel conglomeraat
microSv	micro sievert, één miljoenste sievert ($1 \cdot 10^{-6}$ Sv)
MNA	Multilateral Nuclear Approaches
MOX	Mixed oxide fuel, aanduiding voor splijtstof bestaande uit oxiden van uranium en plutonium
Mr	Ministeriële regeling
MWe	MegaWatt elektrisch, een eenheid van (te leveren) elektrisch vermogen. Een MW is 10^6 Watt of 10^3 kiloWatt (kW), dus 1000 kW
NDA	National Decommission Authority (VK)
NDRIS	Nationaal Dosisregistratie- en Informatiesysteem
NEA	Nuclear Energy Agency (onderdeel OESO)
NMR	Nationaal Meetnet Radioactiviteit
NORM	Naturally Occurring Radioactive Material. Voorbeelden zijn K-40, uranium en thorium in steenkool.
NPK	Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding
NPP	Nuclear Power Plant
NPT	Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, ook genoemd Non Proliferation Treaty
NRG	Nuclear Research and consultancy Group
NVR's	Nucleaire VeiligheidsRegels
NWS	nuclear weapon states
OESO	OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development, in het Nederlands de OESO genaamd
ONDRAF /NIRAS	Belgisch nationale instelling voor radioactief afval en verrijkte splijtstoffen L'organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies
OSART	Operational Safety Review Team, grote IAEA inspectiemissie
P&T	Partitioning and Transmutation

PBMR	Pebble Bed Modular Reactor
ppb	Parts per billion, concentratiemaat
PQR	Partners in Quality Research BV
PSA	Probabilistic Safety Assessment
PSI	Proliferation Security Initiative
PSI	Paul Scherrer Institute (CH)
PvdA	Partij van de Arbeid, politieke partij
PWR	Pressurized Water Reactor (drukwaterreactor)
Pu	Plutonium (element)
RBMK	Reaktor Bolshoy Moshch nosti Kanalniy (hoog-vermogen kanalen reactor), Russisch reactortype waarmee zich in 1986 in Tsjernobyl het totnogtoe ernstigste nucleaire ongeval voordeed
RDD	Radioactive Dispersion Device ('dirty bomb')
REPU	Reprocessed uranium, ook wel geschreven als RepU; uranium teruggewonnen uit opwerking
RIKILT	Instituut voor Voedselveiligheid. In 1975 ontstaan door samenvoeging van het Rijkszuivelstation in Leiden en het Rijkslandbouwproefstation in Maastricht
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
SCK·CEN	StudieCentrum voor Kernenergie / Centre d'Etude de l'energie Nucleaire
SER	Sociaal-Economische Raad
SEV	Structuurschema Elektriciteitsvoorziening
SILEX	Separation of Isotopes by Laser Excitation, experimentele uraniumverrijkingstechniek met behulp van laser
SMR	Small and Medium-sized Reactors
stb	Staatsblad
stcr	Staatscourant, verschijnt op alle werkdagen
STUK	Säteilyturvakeskus / Strålsäkerhetscentralen, Finse toezichthouder op de nucleaire industrie
Sv	Sievert, eenheid van stralingsdosis
TBq	Terabecquerel, 10^{12} Bq (1 miljoen \times 1 miljoen Bq)
Th	Thorium (element)
TMI-2	Three Mile Island No. 2, kerncentrale in het Amerikaanse Harrisburg waarmee zich in 1979 een kernsmeltongeval voordeed
ToR	Terms of Reference (opdrachtbeschrijving)
Triso fuel	Tristructural-isotropic splijtstof, in HTR-reactoren toegepaste brandstof vorm waarin het uranium in de vorm van microdeeltjes in pyrolytisch koolstof is verpakt
TRU	Transuranen, alfa straling uitzendende stoffen met meer dan 92 protonen in de atoomkern, zoals isotopen van plutonium, americium en curium
U ₃ O ₈	Yellow Cake, tussenproduct van uraniumwinning, een vaste stof
U	Uranium (element)
UF ₆	Uraniumhexafluoride, vaste stof bij kamertemperatuur, boven 65 °C gasvormig
UN	United Nations (Verenigde Naties)
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
UNSCR	United Nations Security Council Resolution
UO ₂	Uraniumoxide (vaste stof), vorm van uranium in LWRs gebruikte splijtstof

Urenco	URanium ENrichment COrporation, VK/D/NL bedrijf voor de verrijking van uranium met behulp van ultracentrifugetechniek.
URD	Utility Requirements Document, opgesteld door EPRI in samenwerking met US DOE
URL	Underground Research Laboratory
US	United States (of America)
USD	Amerikaanse dollar (US\$)
US DOE	US Department of Energy, ministerie voor energie in de USA
US NRC	US Nuclear Regulatory Commission (kortweg: NRC), toezichthoudende instantie betreffende nucleaire veiligheid in de USA
USA	United States of America
VK	Verenigd Koninkrijk (GB)
VN	Verenigde Naties
VRM	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
VS	Verenigde Staten (van Amerika)
VWA	Voedsel- en Warenautoriteit, een agentschap van het ministerie van VWS
VWS	Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport
Wako	Wet aansprakelijkheid kernongevallen
WANO	World Association of Nuclear Operators, internationale organisatie van bedrijvers van kerncentrales
WENRA	Western European Nuclear Regulators' Association
W-EU	West-Europa
WKK	Warmtekrachtkoppeling
Wm	Wet milieubeheer
WMD	Weapons of Mass Destruction

Samenvatting

Kader

In het Regeerakkoord van het kabinet-Balkenende IV is vastgelegd dat er tijdens de kabinetsperiode² geen kerncentrale wordt gebouwd. Het Energierapport 2008³ vermeldt dat het kabinet op voorhand geen enkele energieoptie uitsluit. Het is namelijk nog te vroeg om een definitief antwoord te geven op de vraag welke plaats kernenergie in ons land in de toekomstige energievoorziening moet innemen. Het kabinet is met de SER⁴ van mening, dat het wenselijk is dat hierover met betrokkenen en deskundigen een discussie plaatsvindt op basis van een continu proces van ‘fact finding’. Als basis hiervoor is in het Energierapport een drietal mogelijke scenario’s geschetst voor de mogelijke inzet van kernenergie. Deze scenario’s zijn:

- Scenario 1a: geen nieuwe kerncentrales c.q.
- Scenario 1b: geen nieuwe kerncentrales, tenzij inherent veilig
- Scenario 2: Borssele vervangen in 2033
- Scenario 3: nieuwe kerncentrale(s) na 2020 (naast vervanging Borssele)

In het voorjaar van 2010 zal de uitwerking van deze scenario’s naar de Tweede Kamer worden gestuurd, inclusief transparante en consistente randvoorwaarden. Een volgend kabinet kan deze documentatie gebruiken om op een verantwoorde wijze een besluit te nemen over de brandstofmix.

De EZ/VROM projectgroep “Uitwerking kernenergiescenario’s” is belast met de uitwerking van de scenario’s. De uitwerking loopt langs drie pijlers, te weten:

1. kernenergie & brandstofmix,
2. kernenergie & randvoorwaarden en
3. kernenergie & maatschappij.

Opzet van de studie

Dit rapport ondersteunt de uitwerking van de tweede pijler ‘kernenergie & randvoorwaarden’. Het bespreekt de belangrijkste aspecten rond nucleaire technologie en daarmee verbonden veiligheidsaspecten, als ook de publieke waarborging daarvan. Daarbij zijn ook steeds de te verwachten ontwikkelingen in kaart gebracht. Op basis daarvan zijn mogelijke door de overheid te stellen randvoorwaarden benoemd, die vervolgens betreffende hun effecten voor elk van de bovenstaande kernenergiescenario’s zijn geanalyseerd. De details daarvan zijn te vinden in de hoofdstukken 2 (Nucleaire infrastructuur), 3 (Veiligheidsaspecten van kernenergie) en 4 (Regelgeving, inspraak en waarborging). Hoofdstuk 5 biedt een beknopt overzicht van alle genoemde mogelijke randvoorwaarden en hun scenarioafhankelijke effecten, welke ook terug te vinden zijn in een overzichtstabel (Bijlage B).

Voor veel van de genoemde mogelijke randvoorwaarden geldt, dat daarvan nut en noodzaak evenals de daaraan verbonden juridische aspecten nog verder moeten worden geëvalueerd.

Afbakening

Het voorliggende rapport is geschreven om de discussie over de rol van kernenergie bij de opwekking van elektriciteit te faciliteren. Om die reden zijn beperkingen in acht genomen om de focus van die discussie niet te belemmeren.

² Het kabinet-Balkenende IV (CDA, PvdA en CU) regeerde van februari 2007 tot en met februari 2010.

³ Energierapport 2008, hierin zet het kabinet Balkenende IV zijn energievisie uiteen, geeft aan wat het op energiegebied gaat doen en wat het van andere partijen verwacht.

⁴ ‘Advies Kernenergie en een duurzame energievoorziening’, SER, 14 maart 2008

- Dit rapport geeft geen gedetailleerde beschrijving van alle facetten van de splijtstofcyclus. Voor de discussie volstaat een beschrijving op hoofdlijnen van de op uranium gebaseerde splijtstofcyclus. Het gebruik van de alternatieve grondstof thorium is momenteel alleen voor India van belang. Er is buiten India wel belangstelling voor gebruik van thorium, mede vanwege de grote goed winbare voorraden. Ook zijn er diverse onderzoeksprojecten op het gebied van de thoriumcyclus, ook in de EU. Vooralsnog lijkt thorium voor West-Europa (W-EU) en de Verenigde Staten (VS) van beperkt belang te blijven.
- De focus van dit rapport ligt op het benoemen van mogelijke randvoorwaarden, die de overheid kan stellen aan nieuwe kernenergie in Nederland. Waarnodig zijn die gedetailleerd naar scenario uit het Energierapport, vaak bepaald door de verwachte beschikbaarheid van de voor de scenario's benodigde typen kerncentrales. Kwantitatieve vergelijkingen in termen van milieuaspecten, veiligheid en dergelijke behoren tot de pijler 'kernenergie & brandstofmix'.
- De auteurs presenteren geen mening betreffende de wenselijkheid van bepaalde randvoorwaarden, maar benoemen slechts denkbare mogelijkheden binnen de genoemde scenario's. Selectie en invoering van randvoorwaarden vereist een nadere evaluatie.
- Voor de discussie vormt de beschikbaarheid van bij elk scenario passende typen kerncentrales een belangrijk aspect. Daarvoor is pragmatisch gekozen voor:
 - Kerncentrales, die onderwerp zijn van een officieel beoordelingsproces in het kader van een vergunningaanvraag of een ander reviewproces⁵ in de VS of W-EU. Nederland is op het gebied van kernenergie een klein land en beschikt daarom over een beperkte capaciteit en deskundigheid bij de voor vergunningverlening verantwoordelijke overheidsdiensten. Vergunningaanvragen in genoemde landen zijn voor de Nederlandse overheid goed te doorgronden en de betreffende vergunningstelsels zijn in ons land ook goed bekend. De Nederlandse overheid kan daarom profiteren van de goed gedocumenteerde ervaringen van overheden in die landen.
 - Reactortypen, waarvoor in Europa een redelijke belangstelling bestaat. Dit betreft daarom ook de zogenoemde hoge temperatuur reactoren (HTR), waarvoor momenteel geen vergunningprocedure in de VS of W-EU loopt. Deze worden toch beschouwd omdat: (1) Europese groepen vanaf het begin van de ontwikkeling van deze techniek daaraan in belangrijke mate hebben bijgedragen, (2) er vanuit Europa (inclusief Nederland) en vanuit de VS nog steeds een grote betrokkenheid is bij de ontwikkeling richting markt en (3) HTR's veelbelovend zijn vanwege hun specifieke veiligheidseigenschappen en hun geschiktheid voor andere toepassingen naast het opwekken van elektriciteit.

Kerncentrales

Sinds de 50-er jaren van de vorige eeuw worden kerncentrales ontwikkeld. Vanwege die ontwikkeling worden kerncentrales wel in generaties onderverdeeld. De meeste van de huidige kerncentrales worden tot generatie-II gerekend en stammen uit de periode 1965 – 1985. Mede gestuurd door de maatschappelijke eis de veiligheid van kerncentrales te verhogen werden deze reactorconcepten door de reactorproducenten verder ontwikkeld. Daarbij lag de nadruk vooral op vereenvoudiging en ver doorgevoerde systeemscheiding. De nu commercieel verkrijgbare centrales worden vanwege hun verbeterde veiligheidseigenschappen tot generatie-III gerekend. Bij de ontwikkeling van deze centrales zijn twee stromingen te herkennen. De eerste kenmerkt zich door toevoeging van meer redundant uitgevoerde actieve veiligheidssystemen (actief veilig). Kenmerk van de tweede stroming is vooral de toepassing van meer passieve veiligheidscomponenten, waarvan de werking berust op natuurwetten, materiaaleigenschappen en/of intern opgeslagen energie (passief veilig).

⁵ Voorbeelden van reviewprocessen zijn, in de VS een 'Design Certification Application' proces, in het VK een 'Generic Design Assessment'. In dergelijke processen gaat het om een evaluatie van een reactortype, dat kan eindigen met een type-goedkeuring.

Een strikte scheiding in actief veilige centrales en passief veilige centrales is niet mogelijk; alle kerncentrales kennen een combinatie van de twee soorten veiligheidssystemen en -componenten. De balans tussen gebruik van ‘actief’ en ‘passief’ verschilt wel per type centrale. Dit zegt niets over de bereikte veiligheid van een centrale. Uitspraken daarover kunnen pas gedaan worden na een uitgebreide veiligheidsevaluatie.

In de 70-er jaren van de vorige eeuw werd in Europa en de VS een kerncentrale met heliumgekoelde reactor ontwikkeld. Deze reactor maakte gebruik van speciale splijtstof en hittebestendige materialen waardoor de splijtstof onder alle omstandigheden intact zou blijven. Enkele reactorbouwers hebben dat reactorconcept als uitgangspunt genomen voor de ontwikkeling van kleine reactoren voor kerncentrales die gebaseerd zijn op de veiligheidsfilosofie van inherente veiligheid. Ter onderscheid worden deze kerncentrales hier – aansluitend bij de terminologie in het rapport ‘Fact Finding kernenergie’ – als generatie-III+ aangeduid⁶.

In 2001 is door de belangrijkste landen op nucleair gebied het Generatie IV Forum (GIF) opgericht. Het GIF heeft tot doel om gezamenlijk de toekomstige nucleaire ‘energiesystemen’ te ontwikkelen. Met energiesystemen wordt bedoeld dat bij generatie IV het niet enkel om de innovaties in reactortechnologie gaat, maar ook om de bijbehorende splijtstofcyclus. Het GIF heeft zes reactortypen gedefinieerd, waarvan zeker de helft als ‘snelle reactor’ zal worden bedreven⁷. In het spectrum van snelle neutronen moet het mogelijk zijn om efficiënter componenten uit gebruikte splijtstof te recyclen. Twee andere reactoren hebben koelmiddelen en temperaturen, die een efficiëntere productie van electriciteit en/of proceswarmte (bij de VHTR⁸) mogelijk maken. Een laatste model gaat uit van een circulerend vloeibaar splijtstofmengsel, dat bijzondere flexibiliteit biedt voor de recycling van splijtstof in een min of meer continu proces. Qua reactortechnologie wijken ze af van de gangbare generatie-II en -III centrales. De ontwikkeling van de generatie IV energiesystemen (dus reactoren met hun splijtstofcyclus) beoogt verbeteringen op de terreinen: efficiency, proliferatiebestendigheid en veiligheid, als ook een vermindering van de afvalproductie. De verschillende generatie IV energiesystemen kunnen op deze terreinen verschillend gaan presteren, mede afhankelijk van de richting waarin ze worden ontwikkeld.

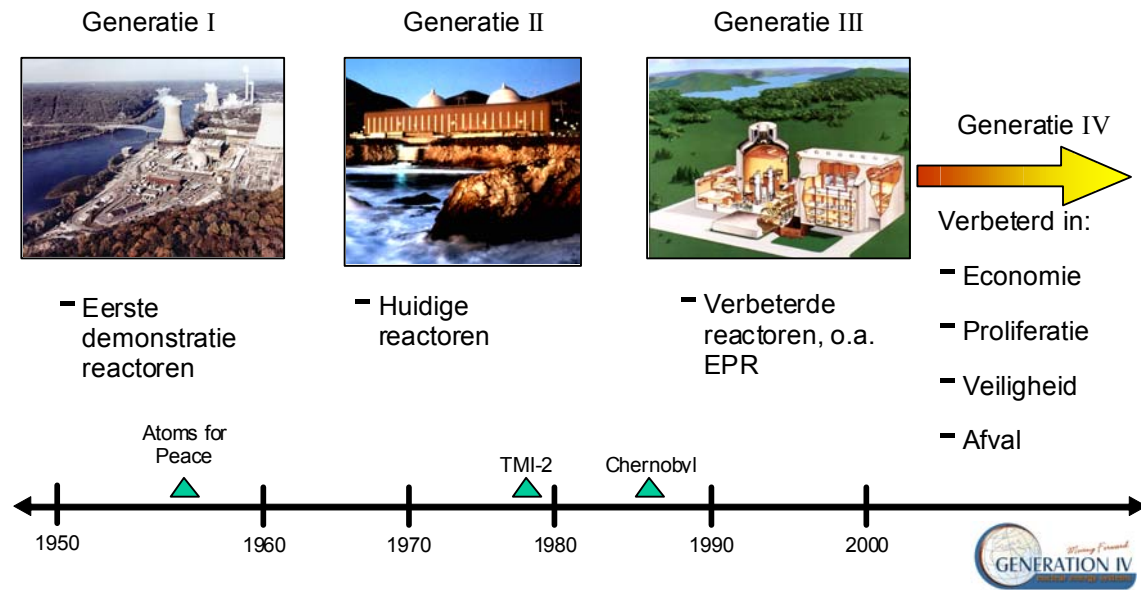
Onderstaande figuur toont de tijdsperioden waarin de verschillende generaties reactoren beschikbaar waren, zijn of komen. Generatie-IV reactoren zullen waarschijnlijk vanaf 2040 commercieel verkrijgbaar worden⁹, de nu in ontwikkeling zijnde HTR-typen waarschijnlijk vanaf 2030. Dat is mede de reden waarom zij hier als generatie-III+ worden aangeduid.

⁶ Sommige reactorbouwers duiden hun nieuwere generatie-III ontwerpen wel aan als generatie-III+. Voor nog te ontwikkelen, verder geëvolueerde reactorconcepten wordt zelfs de aanduiding generatie-III++ wel gebruikt. Momenteel zijn er pas enkele generatie-III reactoren in bedrijf, waardoor het gebruik van dergelijke superlatieven niet opportuun lijkt.

⁷ Het zijn de Gas-cooled Fast Reactor (GFR), de Lead-cooled Fast Reactor (LFR) en de Sodium-cooled Fast Reactor (SFR).

⁸ De VHTR, de Very High Temperature Reactor, kan worden gezien als een doorontwikkeling van de eerder genoemde hoge temperatuur reactoren van generatie III+.

⁹ In dit rapport gaan we, in lijn met het Energierapport 2008, uit van 2040. Binnen GIF wordt voor diverse reactortypes over vroegere introductiedata gesproken.



Generatie	Type voorbeelden	Vermogen [MWe]	Wanneer beschikbaar
Generatie III	EPR	1600	Commercieel nu beschikbaar
	APWR	1700	
	ABWR	1350 – 1600	
	AP1000	1100	
	ESBWR	1550	
Generatie III+	PMBR (Zuid-Afrika)	160	Nu voorbereiding, prototypen Beschikbaar rond 2030
	HTR-PM (China)	200	
Generatie IV			Beschikbaar na 2040?

Definitie van generaties sluit aan bij die uit het rapport ‘Fact Finding Kernenergie’¹⁰

Inherente veiligheid

De inhoud van scenario 1b – geen nieuwe kerncentrales, tenzij inherent veilig – wordt sterk bepaald door de invulling van het begrip inherente veiligheid. Daarvoor zijn meerdere interpretaties te geven:

- No. 1. “Inherent Safety refers to the achievement of safety through the elimination or exclusion of inherent hazards through the fundamental conceptual design choices made for the nuclear plant. Potential inherent hazards in a nuclear power plant include radioactive fission products and their associated decay heat, excess reactivity and its associated potential for power excursions, and energy releases due to high temperatures, high pressures and energetic chemical reactions. Elimination of all these hazards is required to make a nuclear power plant inherently safe.” (IAEA TECDOC 626, 1991).
- No. 2. Een kerncentrale is inherent veilig als het op natuurwetenschappelijke gronden onmogelijk is dat de kern (deels) smelt (bijvoorbeeld door wegvallen van de koeling), een explosie optreedt in de kern (bijvoorbeeld door ongewenste toename van de reactiviteit) of de kern door chemische reacties in het ongereede raakt (bijvoorbeeld brand door contact zuurstof met hete splijtstof). (prof. Turkenburg in rapport ‘Fact Finding Kernenergie’, 2007).
- No. 3. Een kerncentrale is inherent veilig als de kans op beschadiging van de reactorkern uitgesloten is (VROM, 2006, notitie van Staatssecretaris van Geel).
- No. 4. Een kerncentrale is inherent veilig ten opzichte van zijn omgeving, als er onder geen enkele omstandigheid de noodzaak zal zijn tot evacuatie van die omgeving.

¹⁰ Fact Finding Kernenergie t.b.v. de SER-Commissie Toekomstige Energievoorziening, ECN-B—07-015, 2007

De eerste drie interpretaties geven in feite een *technische invulling* van het begrip. De vierde interpretatie is meer *doelstellend* (bescherming van de omgeving) waarbij de technische invulling om dat doel te bereiken opengelaten wordt. Diverse reactorbouwers van generatie-III reactoren claimen dat hun ontwerp aan dat doel kan voldoen. Met die interpretatie van het begrip inherente veiligheid is het scenario 1b in feite gelijk aan scenario 2 of 3.

De eerstgenoemde interpretatie omvat de tweede, maar is daarmee ook veel strenger. De IAEA-werkgroep die deze definitie opstelde was van mening dat het bij praktische vermogens van kerncentrales niet mogelijk was dit te bereiken. Met die interpretatie van het begrip inherente veiligheid is het scenario 1b gelijk aan scenario 1a.

De tweede en derde interpretatie van het begrip inherente veiligheid komen in feite overeen. In principe zouden reactoren van generatie-III+ (HTR) mogelijk aan deze interpretatie kunnen voldoen. Daarom rechtvaardigt alleen hantering van deze beide equivalente interpretaties een aparte behandeling van scenario 1b.

Invulling kernenergiescenario's

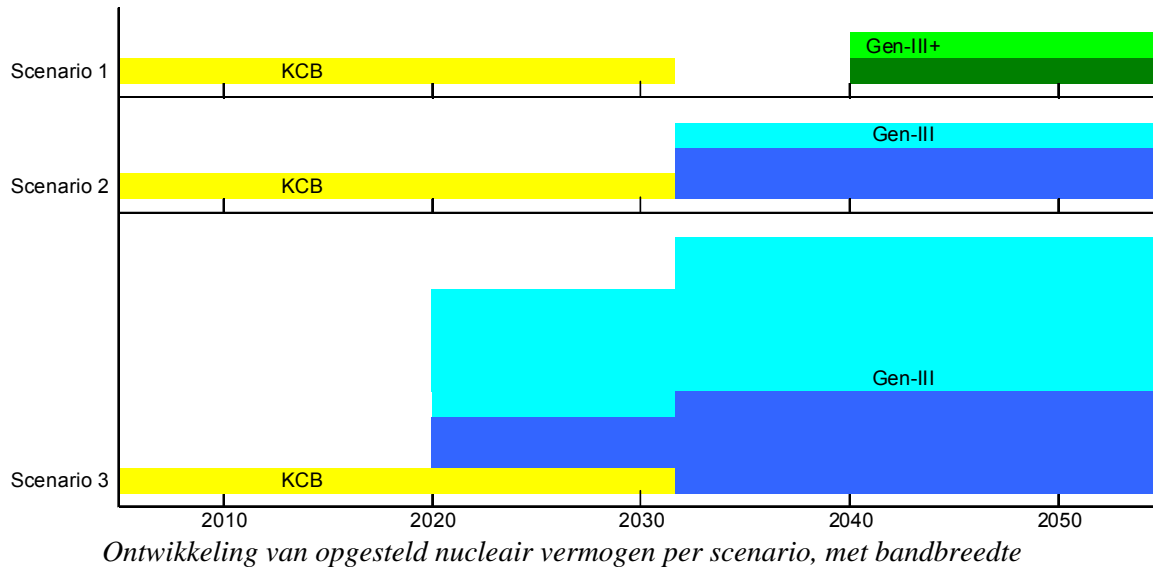
Voor de discussie zijn de kernenergiescenario's als volgt ingevuld:

- **Scenario 1a:** geen nieuwe kerncentrales
In dit scenario blijft de kerncentrale Borssele (ca. 500 MWe) in bedrijf tot 2033, waarna deze wordt ontmanteld.
- **Scenario 1b:** geen nieuwe kerncentrales, tenzij inherent veilig
Dit scenario is m.b.t. de huidige kerncentrale Borssele gelijk aan scenario 1a. Het Energierapport gaat ervan uit dat er voor 2030 geen inherent veilige kerncentrales *commercieel* beschikbaar zullen zijn. Dit komt overeen met de verwachte beschikbaarheid van HTR-reactoren, die inherente veiligheidseigenschappen hebben. De benodigde tijd voor opbouw van internationale ervaring en vervolgens nog de bouwtijd van de centrales in Nederland wordt geschat op ca. 10 jaar. In scenario 1b wordt dan ook verondersteld dat rond 2040 tussen 500 en 1000 MWe nieuw inherent veilig nucleair vermogen in Nederland in gebruik komt, mogelijk van het type HTR.
- **Scenario 2:** Borssele vervangen in 2033
Dit scenario is m.b.t. de huidige kerncentrale Borssele gelijk aan scenario 1a. Vanwege het tijdstip van vervanging van de kerncentrale Borssele in 2033 is dit waarschijnlijk alleen mogelijk door een centrale van generatie-III. In scenario 2 wordt aangenomen dat in 2033 een nieuwe kerncentrale in gebruik wordt genomen (vermogen tussen 1000 en 1600 MWe).
- **Scenario 3:** nieuwe kerncentrale(s) na 2020 (naast vervanging Borssele)
Dit scenario is m.b.t. de huidige en vervangende kerncentrale Borssele gelijk aan scenario 2. Daarnaast wordt in dit scenario aangenomen dat in 2020 tussen 1000 en 3500 MWe additioneel kernvermogen beschikbaar komt. Vanwege het tijdstip en de benodigde voorbereidings- en bouwtijd (7-10 jaar) zijn dat dan aanvankelijk centrales van generatie-III. Overigens zou na 2040 een deel van het geïnstalleerde vermogen door centrales van generatie III+ kunnen worden ingevuld.

Het aandeel van kernenergie in de elektriciteitsvoorziening van Nederland wordt niet alleen bepaald door de binnenlandse productie. Import van elektriciteit¹¹ speelt daarbij ook een rol. Een nadere beschouwing van dit aspect valt buiten het bestek van dit rapport, maar is te vinden in het rapport van Pijler 1.

¹¹ Belangrijk m.b.t. tot de import van elektriciteit zijn Frankrijk (aandeel kernenergie ca. 80%) en Duitsland (aandeel kernenergie ca. 25%).

Onderstaande figuur geeft een beeld van het opgestelde vermogen per scenario, inclusief de bandbreedte daarin (lichtere tint). Opvallend is dat in scenario 1b er tussen 2033 en 2040 geen kerncentrale in bedrijf zal zijn in Nederland.



Mogelijke randvoorwaarden

In dit rapport worden randvoorwaarden als voorbeelden gepresenteerd, die tot de mogelijkheden behoren op basis van de huidige stand van zaken, de ontwikkelingen en de buitenlandse ervaring. Er is geen sprake van een uitputtende lijst, andere keuzes zijn dan ook mogelijk.

Er wordt niet gepleit voor onverkorte toepassing van alle in dit rapport genoemde mogelijke randvoorwaarden. Dat is ook niet mogelijk, aangezien sommige mogelijke voorwaarden elkaar uitsluiten of bijvoorbeeld gekoppeld zijn aan een bepaald scenario. Selectie van voorwaarden en invoering vereist een nadere evaluatie, waarbij naast nut en noodzaak ook de juridische aspecten aandacht behoeven. Ondermeer moet rekening gehouden worden met nationale en internationale regelgeving waarmee Nederlandse voornemens tot wijziging van wet- en regelgeving niet strijdig mogen zijn. Na selectie van een gewenste set, zou men invoering daarvan kunnen overwegen. Dit kan middels wet- en regelgeving, maar er zijn ook andere opties, zoals convenanten en vergunningsvoorschriften.

De in dit rapport benoemde mogelijke randvoorwaarden kunnen in vier klassen ingedeeld worden:

- Scenario-onafhankelijke randvoorwaarden
- Randvoorwaarden met scenariobepaalde tijdsafhankelijkheid
- Scenario-onafhankelijke randvoorwaarden bij bouw van nieuwe kerncentrales
- Scenariobepaalde randvoorwaarden (verschillend per scenario)

Daarnaast bestaan er een aantal terreinen waarop scenarioafhankelijk beleidsontwikkeling zal moeten plaatsvinden.

a. Scenario-onafhankelijke randvoorwaarden

Vastlegging van hieronder genoemde mogelijke randvoorwaarden legt geen beperkingen op aan de ontwikkeling van de kernenergiescenario's.

- *Verarmd uranium, restproduct van uraniumverrijking, moet op verantwoorde manier beheerd worden.*

Op dit moment wordt hieraan voldaan, zoals dit nu bij Urenco plaatsvindt. Er zijn geen indicaties dat dit in de toekomst gaat veranderen.

- *Beveiliging tegen proliferatie op orde houden en internationale ontwikkelingen volgen*
Ten aanzien van non-proliferatie kan worden opgemerkt dat het bedrijven van één of meer nieuwe kerncentrales geen extra proliferatierisico's met zich mee zal brengen, gezien de naleving van de internationale afspraken waaraan Nederland zich heeft gecommitteerd. Dit onderwerp heeft de warme belangstelling van diverse overheidsdiensten.

b. Randvoorwaarden met scenariobepaalde tijdsafhankelijkheid

Eventuele vastlegging van de hieronder genoemde mogelijke randvoorwaarden zal voor de huidige kerncentrale Borssele in afstemming kunnen plaatsvinden, voor nieuw te bouwen kerncentrales zouden ze voor de vergunningsaanvraag moeten zijn vastgelegd om exploitanten voldoende duidelijkheid te kunnen bieden.

- *Splijstof voor het gebruik in kerncentrales moet gemaakt zijn uit uranium dat op milieuverantwoorde wijze gewonnen is.*

De exploitant van de centrale kan als afnemer van de splijstof dit aan (laten) tonen door zijn leverancier. Middels certificering kan bijvoorbeeld worden aangetoond dat er een aanzienlijke inspanning geleverd wordt om de met de mijnbouw verbandhoudende milieubelasting nu en in de toekomst te minimaliseren.

Er is op de wereld voldoende uranium voor vele decennia. Door beperkingen in de uraniumproductiecapaciteit op de korte termijn zal de uraniummarkt de komende 10-20 jaar krap kunnen zijn. Strengere milieueisen aangaande de winning van uranium zou dat tijdelijk kunnen versterken. Alleen bij scenario 3 wordt binnen deze periode uitbreiding van kernvermogen verondersteld, zodat deze mogelijke randvoorwaarde bij strenge formulering alleen op dat scenario beperkend kan uitwerken.

- *Wet- en regelgeving ten aanzien van ontmanteling opstellen en vastleggen*
De voorwaarde van directe ontmanteling na beëindiging van de elektriciteitsproductie zou kunnen worden gesteld, evenals de financiële zekerheidsstelling voor de ontmanteling. Deze voorwaarden zijn al door een recente wijziging opgenomen in het Besluit kerninstallaties, splijstoffen en ertsen. De details van de directe ontmanteling en de financiële aspecten zullen in 2011 worden geregeld. De voorwaarde kan tijdsdruk leveren bij scenario 3, waarbij dit al rond 2010 geregeld moet zijn. Voor de andere scenario's is dit niet onderscheidend. Deze randvoorwaarde is, wat betreft de financiële component (zekerheidsstelling), meer of minder remmend op alle scenario's, uitgezonderd scenario 1a. De mate waarin, wordt bepaald door de praktische uitwerking.
- *Al het laag- en middelactief afval van de splijstofcyclus dat in Nederland ontstaat moet voor minstens 100 jaar bij COVRA kunnen worden opgeslagen*
Dit is conform het bestaande beleid. Het terrein van COVRA is voldoende groot. De kernenergiescenario's bepalen alleen het tempo waarin de modulaire uitbreiding van de opslagcapaciteit bij COVRA beschikbaar moet komen.
- *100 jaar opslag van hoogactief (verglaasd) afval bij voortzetting van opwerking van gebruikte splijstof en vervanging door P&T zodra deze techniek realistisch toepasbaar is*
Dit houdt in dat de huidige praktijk van opwerken wordt voortgezet (i.e. 95% uit de splijstof terugwinnen), maar wordt overgeschakeld op partitioning & transmutatie zodra deze route economisch beschikbaar komt. Dit heeft geen implicaties voor de opslag van gebruikte splijstof bij de centrales. Het terrein van COVRA is ook voldoende groot om het opwerkings- en P&T-afval te kunnen opslaan. De kernenergiescenario's bepalen alleen het tempo waarin de opslagcapaciteit bij COVRA beschikbaar moet komen. Deze mogelijke randvoorwaarde speelt wellicht geen rol bij scenario 1b, wanneer hierbij kerncentrales van het type HTR worden ingezet, als die inherent veilig blijken te zijn. De splijstof voor het type HTR is wegens zijn robuuste vorm naar verwachting moeilijker te recyclen.

Het is mogelijk dat op enig moment P&T economisch beschikbaar is, maar dat op dat moment concurrerende strategieën toch aantrekkelijker¹² zijn. In dat geval zal men dan toch voor de ‘concurrentie’ (moeten) kiezen.

Zie informatie onder het kopje ‘Highlights’ aan het einde van de samenvatting, voor een vergelijking met de mogelijke voorwaarde ‘100 jaar opslag van gebruikte splijtstof bij uitstel van de keuze voor opwerking en vervanging door P&T zodra deze techniek realistisch toepasbaar is’.

- *Start maken met de ontwikkeling van een stappenplan ter bevordering van de acceptatie van eindberging van hoogactief afval*
Bij deze mogelijke randvoorwaarde moet ter relativering bedacht worden, dat het beleid in Nederland uitgaat van ten minste 100 jaar bovengrondse opslag van al het radioactieve afval. Hierdoor is er tijd om het stappenplan door de jaren heen te ontwikkelen en steeds bij te stellen op basis van de technische en maatschappelijke ontwikkelingen. Het nadenken over een stappenplan kan aanvankelijk in een onderzoeksprogramma worden ondergebracht. Naarmate het moment van eindberging dichterbij komt, zou het plan concreter moeten worden. Ervaringen in andere landen heeft geleerd dat acceptatie van eindberging van radioactief afval sterk verbeterd wordt door een goed ontwikkeld stappenplan, waarbij vrijwilligheid op lokaal niveau om als vestigingsplaats voor een geologische berging in aanmerking te komen voorop moet staan.
- *Start maken met de ontwikkeling van doelstellende veiligheidseisen voor de eindberging voor radioactief afval*
Ook bij deze mogelijke randvoorwaarde, moet ter relativering bedacht worden dat het beleid in Nederland uitgaat van ten minste 100 jaar bovengrondse opslag al het radioactieve afval. Een eindberging voor radioactief afval zou moeten voldoen aan vergelijkbare veiligheidseisen die ook aan elke andere faciliteit in de splijtstofcyclus worden gesteld. De ontwikkeling van doelstellende veiligheidseisen kan in een onderzoeksprogramma worden ondergebracht. Het in de afgelopen decennia doorgevoerde eindbergingsonderzoek, waarbij veiligheidsaspecten op basis van internationaal gangbare criteria gebruikt werden, doet verwachten dat een eindberging in steenzout of Boomse klei aan zulke criteria kan voldoen. Dit heeft op zich geen gevolgen voor de scenario's. Wanneer men dit wil koppelen aan de acceptatie van de eindberging, is er wel invloed van de scenario's op de timing van de vastlegging van de veiligheidseisen.
- *Eisen betreffende toegangsbeperkende barrières rond centrales vastleggen, voor de bouw van een nieuwe kerncentrale*
Deze mogelijke voorwaarde kan alleen voor scenario 3, waarin al op korte termijn nieuwe kerncentrales gebouwd zouden worden, leiden tot enige tijdsdruk. Omdat het resultaat alleen de ontwerpeisen aan de beveiliging rond een nieuw te bouwen kerncentrale beïnvloedt, is die als zodanig niet van invloed op typekeuze noch op de ontwikkeling van de kernenergiescenario's.

c. Scenario-onafhankelijke randvoorwaarden bij bouw van nieuwe kerncentrales

De hier genoemde mogelijke randvoorwaarden onderscheiden zich alleen wat betreft al of niet nieuwbouw van kerncentrales. Bij scenario 1a ontvalt de grond van genoemde voorwaarden of eindigt die in 2033.

- *Ontwikkeling stappenplan ter bevordering van de acceptatie van eindberging van laag- en middelactief afval*
Bij deze mogelijke randvoorwaarde moet ter relativering bedacht worden, dat het beleid in Nederland uitgaat van ten minste 100 jaar bovengrondse opslag van al het radioactieve afval. Hierdoor is er tijd om het stappenplan door de jaren heen te ontwikkelen en steeds bij te stellen op basis van de technische en maatschappelijke ontwikkelingen.

¹² De alternatieven kunnen maatschappelijk aantrekkelijker zijn, bijvoorbeeld vanwege de baten voor het milieu of vanwege gunstiger eigenschappen ten aanzien van non-proliferatie. Ook kunnen er financiële aspecten zijn die een rol spelen.

Ter bevordering van de acceptatie van eindberging als eindoplossing van niet anders te behandelen radioactief afval, zou een stappenplan ontwikkeld kunnen worden om potentiële locaties voor een eindberging voor dit soort afval te vinden. Voor dat afval bestaat geen zicht op hergebruik in welke vorm dan ook. Daarom zou als mogelijke randvoorwaarde voor nieuwe kerncentrales gesteld kunnen worden, dat exploitanten van nieuwe kerncentrales – samen met alle andere (ook niet-nucleaire) producenten van dit soort afval – bereid zijn om actief aan de ontwikkeling van zo'n stappenplan mee te werken.

Qua volume bestaat het radioactief afval van de splijtstofcyclus in Nederland grotendeels uit dit soort afval. De splijtstofcyclus heeft echter een beperkt aandeel in de totale productie van dit afval, vandaar dat ook de andere afvalproducenten erbij moeten worden betrokken.

Een mogelijk bezwaar tegen een gescheiden aanpak van twee soorten radioactief afval (laag- & middel- respectievelijk hoog-actief) is, dat de huidige structuur in Nederland voor de realisatie en financiering van eindberging opgezet is met één eindbestemming voor alle soorten. Kiezen voor een andere benadering kan daarom kostenverhogend werken.

- *100 jaar opslag van gebruikte splijtstof bij uitstel van de keuze voor opwerking en vervanging door P&T zodra deze techniek realistisch toepasbaar is*

Om een serieuze latere keuze tussen beide verwerkingsroutes mogelijk te maken, kan er voor voldoende potentiële opslagcapaciteit voor gebruikte splijtstof worden gezorgd. Het terrein van COVRA lijkt onvoldoende ruimte te bieden om de gebruikte splijtstof van de nieuw te bouwen kerncentrales voor 100 jaar te kunnen opslaan – naast het ‘gewone’ laag- en middelactieve afval van de komende 100 jaar. Om met deze mogelijke randvoorwaarde de bouw van nieuwe kerncentrales niet onmogelijk te maken, moeten door de overheid potentiële alternatieve locaties voor de opslag van gebruikte splijtstof worden aangewezen, dan wel gepoogd worden aangrenzende terreinen aan te kopen en aan het COVRA-terrein toe te voegen¹³.

Zie informatie onder het kopje ‘Highlights’ aan het einde van de samenvatting, voor een vergelijking met de mogelijke voorwaarde ‘100 jaar opslag van verglaasd afval bij acceptatie opwerking en vervanging door P&T zodra realistisch toepasbaar’.

- *Financiering van het onderzoek naar eindberging van radioactief afval en gebruikte splijtstof*
Er zou door de overheid en de nucleaire sector een fonds kunnen worden gevormd voor financiering van het onderzoek naar een duurzame eindbestemming van radioactief afval. Exploitanten van nieuwe kerncentrales zouden hieraan dan vanaf het begin gaan bijdragen. Dit zou los staan van de kosten die COVRA berekent voor het beheer van het afval en de opbouw van een fonds voor de financiering van de aanleg van een eindberging.

d. Scenariobepaalde randvoorwaarden

Alle in dit rapport benoemde mogelijke scenariobepaalde randvoorwaarden hangen samen met de veiligheid van kerncentrales.

- *De veiligheid van een nieuw te bouwen kerncentrale moet minstens zo goed zijn als die van de kerncentrales van generatie III die nu gebouwd worden.*
Kerncentrales van generatie-III kennen een kernsmeltfrequentie van eens in de miljoen jaren of lager en diverse modellen hebben voorzieningen die voorkomen dat bij een kernsmeltongeval kernmateriaal buiten het containment kan geraken. Deze voorwaarde past bij de scenario's 2 en 3.
- *Bij een nieuw te bouwen kerncentrale hoeven in ongevalsituaties buiten het centraleterrein geen maatregelen te worden getroffen.*
Veel fabrikanten van generatie III centrales claimen voor hun ontwerp, dat de kans op gevolgen voor de omgeving na ieder geloofwaardig hypothetisch ongeval¹⁴, zeer klein is. Wanneer deze kansen nul moeten zijn, lijkt de keus beperkt tot HTR-achtige centrales als die inherent veilig blijken te zijn, dus scenario 1b.

¹³ Voor een dergelijke uitbreiding kan een m.e.r.-procedure noodzakelijk zijn. Dit is de procedure van de milieu-effectrapportage, zoals geregeld in hoofdstuk 7 van de Wet milieubeheer (Wm) en in het Besluit milieu-effectrapportage 1994.

¹⁴ In IAEA termen: ‘credible hypothetical accident’.

Het maakt verschil of men alleen *bepaalde* maatregelen zoals evacuatie uitsluit of *alle* mogelijke maatregelen. Zie voor meer details de informatie onder het kopje ‘Highlights’ aan het einde van de samenvatting.

- *Het ontwerp van een centrale voorziet er in, dat een inslag van een vliegtuig of ander projectiel niet tot gevolgen leidt waarvoor buiten het centraal terrein preventieve maatregelen nodig zijn zoals evacuatie, schuilen of inname van jodiumtabletten.*

De meeste moderne kerncentrales van generatie III voldoen aan deze mogelijke voorwaarde, of zullen door aanpassingen daaraan kunnen voldoen. Deze mogelijke randvoorwaarde kan wellicht invloed hebben op de typekeuze bij de scenario's 2 en 3, waarin de bouw van dit soort kerncentrales voorzien is.

Scenariobepaalde beleidsontwikkeling

In dit rapport zijn ook een aantal beleidsterreinen geïdentificeerd waarop, afhankelijk van het kernenergiescenario, meer of minder tijdsdruk bestaat voor beleidsontwikkeling. De precieze invulling daarvan moet echter afgestemd worden met bestaand beleid en ontwikkelingen op andere, aanpalende beleidsterreinen. Daarom is afgesproken om voor de geïdentificeerde beleidsterreinen geen concrete randvoorwaarden te formuleren. Niettemin wordt in hoofdstuk 4 ‘Regelgeving, inspraak en waarborging’ informatie aangereikt die gebruikt kan worden bij de discussie over dergelijke randvoorwaarden. Twee belangrijke thema's worden hieronder samengevat.

- *Draagvlak kernenergie*

Om de ontwikkeling van de kernenergiescenario's mogelijk te maken, is voldoende draagvlak onder de bevolking wenselijk. Op basis van studies en gesignaleerde ontwikkelingen in het buitenland lijkt daarvoor een zo vroeg mogelijke communicatie en afstemming tussen de lokale bevolking en een initiatiefnemer tot de bouw van een kerncentrale van groot belang. Of en – zo ja – hoe zoiets in regelgeving zou moeten worden vastgelegd is echter nog geheel open.

- *Waarborging*

Afhankelijk van de ontwikkeling van de kernenergiescenario's zal er behoefte blijven aan meer of minder gewaarborgde vestigingsplaatsen. Ook de noodzaak tot waarborging van voldoende deskundigheid bij de overheid op het gebied van nucleaire technologie en het toezicht op de nucleaire infrastructuur hangt duidelijk samen met de ontwikkeling van de kernenergiescenario's.

Highlights

De meeste van de genoemde mogelijke randvoorwaarden hebben geen sturende werking op de ontwikkeling van de kernenergiescenario's. De invloed is eerder andersom: De ontwikkeling van de kernscenario's bepaalt daarbij het tijdstip waarop de exploitant in spé bepaalde zaken moet aanpakken, of dat de overheid bepaalde voorwaarden moet hebben vastgelegd of zaken hebben geregeld. Voor twee specifieke onderwerpen geldt dat niet:

1. Vastlegging van de betekenis van de veiligheidsrandvoorwaarde

De eisen die vastgelegd kunnen worden betreffende de veiligheid van een nieuw te bouwen kerncentrale bepalen de mogelijke ontwikkelingen van de kernenergiescenario's. Het is daarbij van belang of men er voor kiest alleen de noodzaak van *bepaalde* maatregelen uit te sluiten, óf de noodzaak van *alle* soorten maatregelen uit te sluiten:

1. *Uitsluiting van de noodzaak tot preventieve maatregelen zoals evacuatie, schuilen of inname van jodiumtabletten buiten het terrein van de kerncentrale bij geloofwaardige hypothetische ongevalsituaties. Wel toegestaan blijft dan de noodzaak tot het nemen van minder ingrijpende maatregelen, zoals een graasverbod, verbod op eten van groente uit eigen tuin en dergelijke.*

Op basis van de gegevens van fabrikanten van moderne generatie-III kerncentrales, lijkt het erop dat de meeste van deze centrales voldoen aan deze mogelijke voorwaarde, of door aanpassingen daaraan kunnen voldoen. Indien specifieke veiligheidsanalyse de gegevens

van de fabrikanten bevestigen, betekent vastlegging van deze voorwaarde dus geen beperking aan de ontwikkeling van de kernenergiescenario's.

2. *Uitsluiting van de noodzaak tot welke maatregel dan ook buiten het terrein van de kerncentrale bij geloofwaardige hypothetische ongevalsituaties*

Dit betekent dat dan ook maatregelen worden uitgesloten, die de voedselketen betreffen, zoals een graasverbod, enige tijd niet eten van voedsel uit eigen tuin en dergelijke. Aan deze voorwaarde zouden mogelijk de HTR-type centrales kunnen voldoen. Deze voorwaarde lijkt de ontwikkeling van scenario's 2 en 3 uit te sluiten, waardoor alleen de ontwikkeling van beide subscenario's 1a en 1b open blijft.

2. Keuze om gebruikte splijtstof op te werken of (voorlopig) op te slaan

Wenst men in de toekomst gebruik te gaan maken van partitioning en transmutation (P&T) als verbeterde opwerkingsmethode, dan kan men kiezen voor (1) doorgaan met gewone praktijk van opwerken tot P&T economisch beschikbaar komt, of (2) de gebruikte splijtstof bewaren totdat P&T economisch beschikbaar komt. Er zijn overigens alternatieven voor die laatste aanpak denkbaar¹⁵.

Wachten op P&T kent een risico: het is nog niet te zeggen of en zo ja wanneer P&T een commerciële realiteit zal worden. Er zijn concurrerende varianten op / alternatieven voor P&T denkbaar, zie hieronder.

Opslag van gebruikte splijtstof vergt een enkele malen groter opslagvolume dan opslag van opwerkingsafval. Onafhankelijk van het kernenergiescenario heeft deze P&T-wens dus een belangrijk effect op de benodigde opslagcapaciteit van hoogactief afval, afhankelijk van de gekozen uitwerking:

1. *Gebruikte splijtstof blijven opwerken en eventueel overschakelen op P&T zodra die techniek economisch beschikbaar komt*

In dit geval is het COVRA-terrein groot genoeg om bij alle kernenergiescenario's de daarvoor voor 100 jaar opslag benodigde opslagcapaciteit voor hoogactief afval te kunnen faciliteren.

2. *Gebruikte splijtstof voorlopig opslaan en eventueel overschakelen op P&T zodra die economisch beschikbaar komt*

Kiest men voor opslaan van gebruikte splijtstof tot P&T beschikbaar is, dan moet er voor voldoende potentiële opslagcapaciteit worden gezorgd. Het terrein van COVRA lijkt onvoldoende ruimte te bieden om de gebruikte splijtstof van nieuw te bouwen kerncentrales voor 100 jaar te kunnen opslaan – naast het 'gewone' laag- en middelactieve afval van de komende 100 jaar. Om met deze mogelijke randvoorwaarde de bouw van nieuwe kerncentrales niet onmogelijk te maken, moeten door de overheid potentiële alternatieve locaties voor de opslag van gebruikte splijtstof worden aangewezen, dan wel gepoogd worden aangrenzende terreinen aan te kopen en aan het COVRA-terrein toe te voegen. Een m.e.r.-procedure is daarbij noodzakelijk.

Er is echter in internationaal onderzoek aandacht voor varianten op P&T, die in de toekomst – afhankelijk van de onderzoeksresultaten – belangrijker kunnen worden, zoals:

- P&I: afgescheiden nucliden kunnen ook elementspecifiek in een speciale matrix worden vastgelegd die de afgifte van deze nucliden naar het gastgesteente in een eindberging zo goed mogelijk beperkt (Partitioning & Insulation);
- Recycling van de gehele actinidenmix in een daarvoor geschikte reactor, zonder voorafgaande geavanceerde Partitioning.

¹⁵ Een alternatief voor het bewaren van gebruikte splijtstof tot P&T commercieel beschikbaar komt, is het hoogradioactief afval, dat bij conventionele opwerking vrijkomt, in een andere – nog te ontwikkelen – vorm opslaan dan in 'verglasde' toestand. Hierdoor zou het voor 'partitioning' (geavanceerde opwerking) beschikbaar blijven, later gevolgd door transmutatie in bijvoorbeeld generatie-IV reactoren.

Technische en economische aspecten zullen bepalen wat uiteindelijk het belang van P&T en varianten in de toekomst zal zijn. Bij een besluit over het mogelijk maken van P&T voor het huidige kernafval, met mogelijk ingrijpende keuzes voor tijdelijke opslag van alle gebruikte splijtstof, moet deze onzekerheid meegewogen worden.

1. Inleiding

1.1 Kader

In het Regeerakkoord van het kabinet-Balkenende IV (CDA, PvdA en CU) is vastgelegd dat er tijdens de kabinetsperiode¹⁶ geen kerncentrale wordt gebouwd. Het Energierapport 2008¹⁷ vermeldt dat het kabinet op voorhand geen enkele energieoptie uitsluit. Het is namelijk nog te vroeg om een definitief antwoord te geven op de vraag welke plaats kernenergie in ons land in de toekomstige energievoorziening moet innemen. Het kabinet is met de SER van mening, dat het wenselijk is dat hierover met betrokkenen en deskundigen een discussie plaatsvindt op basis van een continu proces van ‘fact finding’. Als basis hiervoor is in het Energierapport een drietal mogelijke scenario’s geschetst voor de mogelijke inzet van kernenergie. Deze scenario’s zijn:

- Scenario 1a: geen nieuwe kerncentrales c.q.
- Scenario 1b: geen nieuwe kerncentrales, tenzij inherent veilig
- Scenario 2: Borssele vervangen in 2033
- Scenario 3: nieuwe kerncentrale(s) na 2020 (naast vervanging Borssele)

In het voorjaar van 2010 zal de uitwerking van deze scenario’s naar de Tweede Kamer worden gestuurd, inclusief transparante en consistente randvoorwaarden. Een volgend kabinet kan deze documentatie gebruiken om op een verantwoorde wijze een besluit te nemen over de brandstofmix.

De EZ/VROM projectgroep “Uitwerking kernenergiescenario’s” is belast met de uitwerking van de scenario’s. De uitwerking loopt langs drie pijlers, te weten:

1. kernenergie & brandstofmix,
2. kernenergie & randvoorwaarden en
3. kernenergie & maatschappij.

Dit rapport ondersteunt de uitwerking van de tweede pijler ‘kernenergie & randvoorwaarden’.

1.1.1 Randvoorwaarden

Ten behoeve van de huidige en de toekomstige toepassing van kernenergie is een overzicht van mogelijke randvoorwaarden nodig waarmee publieke belangen geborgd kunnen worden. Elk van bovengenoemde scenario’s vraagt om specifieke randvoorwaarden. Daarnaast zijn er ook algemene randvoorwaarden te benoemen, die niet gekoppeld zijn aan een bepaald scenario.

In dit rapport wordt verkend welke mogelijke randvoorwaarden bij elk van bovengenoemde scenario’s zouden kunnen passen. Daarbij wordt ondermeer gekeken naar:

- relevante technische c.q. feitelijke factoren,
- financiële factoren,
- wettelijke en/of procedurele kaders die aanpassing zouden kunnen behoeven – dit gebeurt in dit rapport heel globaal,
- eventuele tijdsafhankelijkheid van de randvoorwaarden.

1.1.2 Interpretatie kernenergiescenario’s

Basis voor de scenario’s:

- Deze scenario’s zijn in de Terms of References (ToR) van het project vastgelegd door de interdepartementale projectwerkgroep “Uitwerking van kernenergiescenario’s” van VROM en EZ. Ze vinden hun oorsprong in het ‘Energierapport 2008’.

¹⁶ Het kabinet-Balkenende IV (CDA, PvdA en CU) regeerde van februari 2007 tot en met februari 2010.

¹⁷ Energierapport 2008, gepubliceerd door Ministerie van Economische Zaken. Hierin zet het kabinet-Balkenende IV zijn energievisie uiteen, geeft aan wat het op energiegebied gaat doen en wat het van andere partijen verwacht.

- Verbijzonderingen, zoals verwacht opgesteld vermogen, zijn tot stand gekomen tijdens communicatie tussen NRG en de bovengenoemde projectwerkgroep.
- Bij alle scenario's wordt aangenomen dat er een tijdspanne van in totaal 10 jaren nodig is voor de voorbereiding (inclusief vergunningtraject), de bouw en ingebruikstelling van een kerncentrale. Voorbeeld: moet een centrale in 2020 elektriciteit gaan produceren, dan moet de voorbereiding in 2010 starten.
- Bij de scenario's wordt er tevens van uit gegaan, dat er eerst elders (dus in het buitenland) ervaring moet zijn opgedaan met het te kiezen type kerncentrale, alvorens deze met succes een vergunningtraject in Nederland kan gaan doorlopen. Zie voor een onderbouwing van deze veronderstelling, de sectie 1.1.5 Afbakening.

De drie genoemde kernenergiescenario's worden voor deze studie als volgt geïnterpreteerd:

- **Scenario 1a:** geen nieuwe kerncentrales
In dit scenario blijft de kerncentrale Borssele (ca. 500 MWe) in bedrijf tot 2033, waarna deze wordt ontmanteld.
- **Scenario 1b:** geen nieuwe kerncentrales, tenzij inherent veilig
Dit scenario is m.b.t. de huidige kerncentrale Borssele gelijk aan scenario 1a.
Dit scenario betekent dat gewacht moet worden op het beschikbaar komen van centrales die aan de definitie van inherent veilig voldoen. In het Energierapport is er van uit gegaan dat die niet voor 2030 commercieel verkrijgbaar zullen zijn. Rekening houdend met de benodigde opbouw van internationale ervaring en vervolgens nog de bouwtijd van de centrale, wordt in dit scenario verondersteld dat rond 2040 tussen 500 en 1000 MWe nieuw inherent veilig nucleair vermogen in Nederland beschikbaar kan komen, mogelijk van het type HTR, indien dit type als inherent veilig zou kunnen worden geaccepteerd. Het is voorstelbaar dat toch beduidend eerder (circa 2030) dergelijk vermogen beschikbaar kan komen, als de ontwikkelingsarbeid aan de HTR in China en elders voorspoedig blijkt te verlopen. Zie paragraaf 2.3 voor een invulling.
- **Scenario 2:** Borssele vervangen in 2033
Dit scenario is m.b.t. de huidige kerncentrale Borssele gelijk aan scenario 1a.
Vanwege het tijdstip is vervanging van de kerncentrale Borssele in 2033 waarschijnlijk alleen mogelijk door een centrale van generatie III. In dit scenario wordt aangenomen dat in 2033 een nieuwe kerncentrale in gebruik wordt genomen met een vermogen tussen 1000 en 1600 MWe. Deze range komt overeen met de vermogens van de nu beschikbare moderne typen kerncentrales.
- **Scenario 3:** nieuwe kerncentrale(s) na 2020 (naast vervanging Borssele)
Dit scenario is m.b.t. de huidige en vervangende kerncentrale Borssele gelijk aan scenario 2. Daarnaast wordt in dit scenario aangenomen dat in 2020 tussen 1000 en 3500 MWe additioneel kernvermogen beschikbaar komt. Deze vermogensrange komt overeen met het volgende bereik: één unit van het kleinste gangbare vermogen (1000 MW) tot tweemaal het grootste gangbare vermogen (2 x ruim 1600 MW). Vanwege het tijdstip en de benodigde voorbereidings- en bouwtijd (7-10 jaar) kunnen dat dan aanvankelijk alleen centrales zijn van generatie III. Overigens zou na 2040 een deel van het geïnstalleerde vermogen door centrales van generatie III+ kunnen worden ingevuld.

Het aandeel van kernenergie in de elektriciteitsvoorziening van Nederland wordt niet alleen bepaald door de binnenlandse productie. Import van elektriciteit¹⁸ speelt daarbij ook een rol. Een nadere beschouwing van dit aspect valt buiten het bestek van deze studie, zie hiervoor het rapport van Pijler 1.

¹⁸ Belangrijk m.b.t. tot de import van elektriciteit zijn Frankrijk (aandeel kernenergie ca. 80%) en Duitsland (ca. 25%).

1.1.3 Definitie generaties

In de reactortechnologie kent men een indeling in generaties van kerncentrales, lopend van generatie I tot en met generatie IV. Daarbij staat een hoger getal voor een nieuwere generatie. De meeste nu in bedrijf zijnde kerncentrales zijn van de generatie II. Er zijn een aantal generatie III centrales gerealiseerd en er zijn er een aantal in aanbouw. In diverse landen lopen vergunningsprocedures voor generatie III centrales. In paragraaf 2.3 wordt een nadere definitie gegeven van de generaties III, III+ en IV. Hierbij is op te merken dat de scheidslijn tussen de generaties III en III+ soms vaag is. Reactorbouwers ontwikkelen hun evolutionaire ontwerpen steeds verder door en op grond daarvan labelen zij soms dergelijke ontwerpen met ‘generatie III+’. In dit rapport wordt, analoog aan het rapport ‘Fact Finding Kernenergie’, generatie III+ gekoppeld aan HTR-achtige ontwerpen.

1.1.4 Definitie inherent veilig

Het begrip inherent veilig is op meerdere manieren te interpreteren. Dat bemoeilijkt met name de uitwerking van scenario 1b. Hieronder wordt een aantal interpretaties gegeven.

- No. 1. “Inherent Safety refers to the achievement of safety through the elimination or exclusion of inherent hazards through the fundamental conceptual design choices made for the nuclear plant. Potential inherent hazards in a nuclear power plant include radioactive fission products and their associated decay heat, excess reactivity and its associated potential for power excursions, and energy releases due to high temperatures, high pressures and energetic chemical reactions. Elimination of all these hazards is required to make a nuclear power plant inherently safe.” (IAEA TECDOC 626, 1991). In 1991 was de werkgroep die dit document opstelde van mening dat het bij praktische vermogens van kerncentrales niet mogelijk was dit te bereiken. Wel zou het mogelijk zijn een installatie ten opzichte van bepaalde potentiële gevaren inherent veilig te maken.
- No. 2. Een kerncentrale is inherent veilig als het op natuurwetenschappelijke gronden onmogelijk is dat de kern (deels) smelt (bijvoorbeeld door wegvallen van de koeling), een explosie optreedt in de kern (bijvoorbeeld door ongewenste toename van de reactiviteit) of de kern door chemische reacties in het ongerede raakt (bijvoorbeeld brand door contact van zuurstof met hete splijtstof). Zie de opmerkingen van professor Turkenburg in Bijlage B van het ‘Fact Finding Kernenergie’ rapport t.b.v. de SER Commissie Toekomstige Energievoorziening¹⁹.
- No. 3. Een kerncentrale is inherent veilig als de kans op beschadiging van de reactorkern uitgesloten is (VROM, 2006, notitie van Staatssecretaris van Geel).
- No. 4. Een kerncentrale is inherent veilig ten opzichte van zijn omgeving, als er onder geen enkele omstandigheid de noodzaak zal zijn tot evacuatie van die omgeving.

De eerste drie interpretaties zijn in feite een *technische* invulling van het begrip ‘inherent veilig’. De vierde interpretatie (bescherming van de omgeving) is meer *doelstellend*, waarbij de technische invulling om dat doel te bereiken open gelaten wordt. Diverse reactorbouwers van generatie-III reactoren claimen dat hun ontwerp aan dat doel kan voldoen. Met die interpretatie van het begrip inherente veiligheid is het scenario 1b in feite gelijk aan scenario 2 of 3.

De eerstgenoemde interpretatie is veel strenger. De IAEA-werkgroep die deze definitie opstelde was van mening dat het bij praktische vermogens van kerncentrales niet mogelijk was dit te bereiken. Met die interpretatie van het begrip inherente veiligheid is het scenario 1b gelijk aan scenario 1a.

De tweede en derde interpretatie van het begrip inherente veiligheid komen in feite overeen. Die omschrijvingen sluiten ook aan bij de terminologie in het rapport ‘Fact Finding Kernenergie’. In principe zouden reactoren van generatie III+ (zoals mogelijk HTR) aan deze interpretatie kunnen voldoen. Alleen gebruik van beide equivalente interpretaties 2 en 3 rechtvaardigt dus een separate behandeling van scenario 1b.

¹⁹ Fact Finding Kernenergie t.b.v. de SER-Commissie Toekomstige Energievoorziening, ECN-B—07-015, 2007

1.1.5 Afbakening

- Dit rapport geeft geen uitvoerige technische beschrijving van alle facetten van de splijtstofcyclus. De opdracht is o.a. een compact rapport samen te stellen. Deze eis legt beperkingen op aan de mate van detail waarin zaken kunnen worden behandeld. Voor de geïnteresseerde lezer zijn referenties opgenomen naar andere bronnen voor meer details over deelaspecten.
- De focus van dit rapport ligt conform de ToR op het voorstellen van mogelijke randvoorwaarden, die de overheid kan stellen aan nieuwe kernenergie in Nederland. Dit is gedaan met detaillering naar scenario, indien van toepassing. Ook gaat het rapport in op de beschikbaarheid van de voor de scenario's benodigde typen kerncentrales.
- Bij de beschouwing van reactortypen van de generaties III en III+ is slechts een selectie gegeven. Die beperkt zich tot typen, die onderwerp zijn van een officiële beoordeling in het kader van een vergunningaanvraag of een ander reviewproces²⁰ in de Verenigde Staten (VS) of West-Europa (W-EU). De selectie is gemaakt om volgende redenen:
 - Vergunningaanvragen in de geselecteerde landen zijn goed te doorgronden voor de Nederlandse overheid en de betreffende vergunningstelsels zijn ook in ons land tot in redelijk detail bekend.
 - Te verwachten is dat de Nederlandse overheid veel baat zal hebben van de goed gedocumenteerde ervaringen van overheden in het buitenland.
 - Het is zelfs te verwachten, dat het zonder informatie van collega-overheden in het buitenland vrijwel ondoenlijk zal zijn een vergunningsprocedure in een redelijk tijdbestek af te ronden. Dit heeft te maken met de beperkte capaciteit en deskundigheid bij de overheidsdiensten.
- Een verdere beperking is opgelegd, door alleen typen te selecteren waarvoor in Europa een redelijke belangstelling is.
- Een uitzondering is gemaakt voor de zogenoemde hoge temperatuur reactoren (HTR), waarvoor momenteel geen officiële beoordelingsprocedure in de VS²¹ of W-EU loopt. Deze worden toch beschouwd omdat: (1) de ontwikkeling daarvan in Europa is begonnen, (2) er een grote betrokkenheid is bij de ontwikkeling richting markt vanuit Europa (inclusief Nederland) en vanuit de VS en (3) HTR's veelbelovend zijn vanwege hun specifieke veiligheidseigenschappen en hun geschiktheid voor andere toepassingen naast opwekken van elektriciteit.
- Dit rapport zet de scenario's naast elkaar met de focus op de randvoorwaarden, maar geeft conform de ToR geen kwantitatieve vergelijkingen in termen van milieuaspecten, veiligheid en dergelijke. Voor dergelijke beschouwingen wordt verwezen naar het rapport bij pijler 1 "Kernenergie en brandstofmix"²².
- Dit rapport beperkt zich tot de op uranium gebaseerde splijtstofcyclus. Dat betekent dat de alternatieve grondstof thorium niet beschouwd wordt. Het gebruik van thorium is momenteel voornamelijk voor India van belang. Er is buiten India wel belangstelling voor gebruik van thorium, mede vanwege de grote goed winbare voorraden. Ook zijn er diverse onderzoeksprojecten op het gebied van de thoriumcyclus, ook in de EU. Vooralsnog lijkt thorium in de komende decennia voor W-EU en de VS van beperkt belang te blijven.
- Het huidige stelsel van wet- en regelgeving is niet toereikend om (alle) mogelijke randvoorwaarden te implementeren. Er moet voorts ook rekening gehouden worden met internationale afspraken. Er is een aanvullend traject nodig om deze juridische implicaties nader te beschouwen. Daarom is afgesproken in hoofdstuk 4 (Regelgeving, inspraak en waarborging) geen nadere uitwerking van mogelijke randvoorwaarden te geven. Niettemin wordt informatie aangereikt die gebruikt kan worden bij de discussie over dergelijke randvoorwaarden.

²⁰ Voorbeelden van reviewprocessen zijn, in de VS een 'Design Certification Application' proces, in het VK een 'Generic Design Assessment'. In dergelijke processen gaat het om een evaluatie van een reactortype, dat kan eindigen met een type-goedkeuring.

²¹ In januari 2010 stond de HTR niet vermeld in de lijst van Design Certification Applications van de US NRC.

²² Kernenergie & brandstofmix, ECN-X--09-058, A.J. Seebregts et al., ECN, 2010

1.1.6 Leeswijzer

De in dit kader te bespreken thema's zijn ingedeeld in 3 hoofdstukken: Hoofdstuk 2 bespreekt de nucleaire infrastructuur, i.e. de installaties en processen van de splijtstofcyclus. In hoofdstuk 3 komen de veiligheidsaspecten van kernenergie aan bod, terwijl hoofdstuk 4 de procedures, taken en verantwoordelijkheden rond de toepassing van kernenergie beschrijft.

Per thema worden steeds eerst de huidige status en de te verwachten ontwikkelingen beschreven. Daarna worden op basis daarvan mogelijke door de overheid te stellen randvoorwaarden benoemd, soms gesteund op kabinetsuitspraken of beleidsvoornemens. Vervolgens wordt beschreven welke effecten deze mogelijke randvoorwaarden naar verwachting zullen hebben op de ontwikkelingen van kernenergie in Nederland.

Hoofdstuk 5 geeft een overzicht van de in de voorgaande hoofdstukken benoemde mogelijke voorwaarden en hun relatie met de kernenergiescenario's.

In tabellen waarin mogelijke randvoorwaarden worden samengevat, worden soms bepaalde symbolen toegepast. Hiervoor geldt:

Geen symbool: een mogelijke randvoorwaarde, ► een gevolg, en ■ een opmerking.

2. Nucleaire infrastructuur

Productie van elektriciteit door middel van kernenergie maakt, naast het bedrijven van een kerncentrale, het gebruik van een aantal andere installaties noodzakelijk. De kerncentrale gebruikt als ‘brandstof’ zogeheten splijtstof, die eerst uit grondstoffen moet worden geproduceerd. Na het gebruik van de splijtstof in de centrale, waarbij daaruit energie wordt vrijgemaakt, wordt de gebruikte splijtstof of hergebruikt (‘opgewerkt’) of als afval verwerkt en opgeborgen. Het geheel van deze processen noemt men de splijtstofcyclus.

Dit hoofdstuk begint met een beknopt overzicht van de splijtstofcyclus en de daarvoor benodigde processtappen. Vervolgens wordt in daarop volgende paragrafen dieper ingegaan op onderdelen van de cyclus die voor Nederland van belang zijn. Voor elk onderdeel worden op basis van de verwachte ontwikkelingen randvoorwaarden benoemd, die mogelijk daaraan door de overheid kunnen worden gesteld. Hierbij is – waar nodig – een verbijzondering per kernenergiescenario gegeven.

2.1 Splijtstofcyclus

In dit rapport staat kernenergie voor elektriciteitsopwekking door middel van kernsplijting. In een enkel geval (bij de HTR) gaat het mede om levering van proceswarmte. De tijdshorizon van de te beschouwen kernenergiescenario's is beperkt tot 2050, daarom wordt kernfusie daarin niet beschouwd. Kernfusie heeft op de lange termijn goede perspectieven, maar zij zal op basis van de nu voorziene ontwikkelingen pas na 2050 een rol kunnen gaan spelen bij de commerciële energieopwekking. Na de onderzoeken bij JET²³ (in het Verenigd Koninkrijk) volgt nu eerst de grote experimentele fusiereactor ITER²⁴ in Frankrijk (bouw gestart in 2007). Pas later volgt DEMO²⁵ (waarschijnlijk in Japan), de eerste ‘fusiecentrale’ die continu energie kan leveren.

Deze paragraaf biedt een kort overzicht van kernenergie op basis van kernsplijting en de daarmee samenhangende technologie. Die informatie dient als basis voor de latere paragrafen.

2.1.1 Kernsplijting

Bij splijting van kernen van zware elementen komt energie vrij, die gebruikt kan worden als warmtebron voor de opwekking van elektriciteit. De meeste kerncentrales gebruiken uranium als splijtstof, al dan niet in combinatie met andere splijtstoffen. Uranium zoals dat in de natuur voorkomt, bestaat vrijwel geheel uit het isotoop uranium-238 (99,3%). De overige ‘natuurlijke’ isotopen zijn uranium-235 (0,7%) en uranium-234 (0,0055%). Uranium-235 is een goed splijtbaar isotoop, die na invangen van een neutron direct kan splijten. De kans op splijting neemt sterk toe naarmate de energie van het neutron kleiner is, d.w.z. het neutron minder snel beweegt. Kernen van uranium-238 kunnen vrijwel alleen door hoog-energetische neutronen, de zogenoemde ‘snelle’ neutronen, worden gespleten. Bij de huidige kerncentrales is de kans hierop veel kleiner dan die op splijting van uranium-235. Bij de meeste typen kerncentrales wordt zogenoemd ‘verrijkt uranium’ gebruikt, waarbij het percentage uranium-235 kunstmatig is verhoogd tot ongeveer 3 à 5%.

Gecontroleerde kettingreactie

Bij een kernsplijting ontstaan er twee splijtingsproducten (atoomkernen met elk ongeveer de helft van het gewicht van een uraniumkern), gammastraling en enkele hoogenergetische (snelle) neutronen. Als de snelle neutronen in voldoende mate zijn afgeremd door de zogenoemde moderator (zoals het koelwater in de LWRs) en intussen niet zijn ingevangen (o.a. door kernen

²³ JET, Joint European Torus, fusie-onderzoeksfaciliteit bij Culham Science Centre, Verenigd Koninkrijk.

²⁴ ITER betekent ‘de weg’ in Latijn

²⁵ DEMO, DEMONstration Power Plant

van uranium-238), kunnen deze langzame neutronen door een andere uranium-235 kern worden ingevangen en daar weer een splijting veroorzaken. Als dit proces zich steeds herhaalt spreekt men van een kettingreactie. Neutronen worden dus tijdens het splijttingsproces gevormd (prompte neutronen). Echter ook ruim daarna (secondes) komen neutronen in de splijtstof vrij door het radioactieve verval van splijttingsproducten (nakomende neutronen). Deze nakomende neutronen maken het regelen van de kettingreactie mogelijk. Bij een gecontroleerd kernsplijttingsproces wordt het aantal kernsplijtingen per tijdseenheid constant gehouden.

Zelfregulerend kernsplijttingsproces

Naarmate de temperatuur van de splijtstof stijgt, worden door uranium-238 steeds meer neutronen ingevangen die daarna niet meer meedoen in de kettingreactie. Hierdoor neemt de reactiviteit af. Als de dichtheid van de moderator (water) afneemt (bijvoorbeeld bij vorming van dampbellen in het koelwater) worden de snelle neutronen minder afgeremd. De kans op een volgende splijting wordt dan geringer en de reactiviteit neemt af. Deze effecten zorgen voor zelfregulering van het kernsplijttingsproces in de huidige lichtwaterreactoren.

Plutonium-239

Nadat een uranium-238 kern een neutron heeft ingevangen, kan via dubbel radioactief verval een plutonium-239 kern worden gevormd. Ook deze plutoniumkern kan splijten na het invangen van een langzaam neutron. Na verloop van tijd levert splijting van het gevormde plutonium-239 een belangrijke bijdrage aan de energieproductie in de reactorkern.

Gebruikte splijtstof

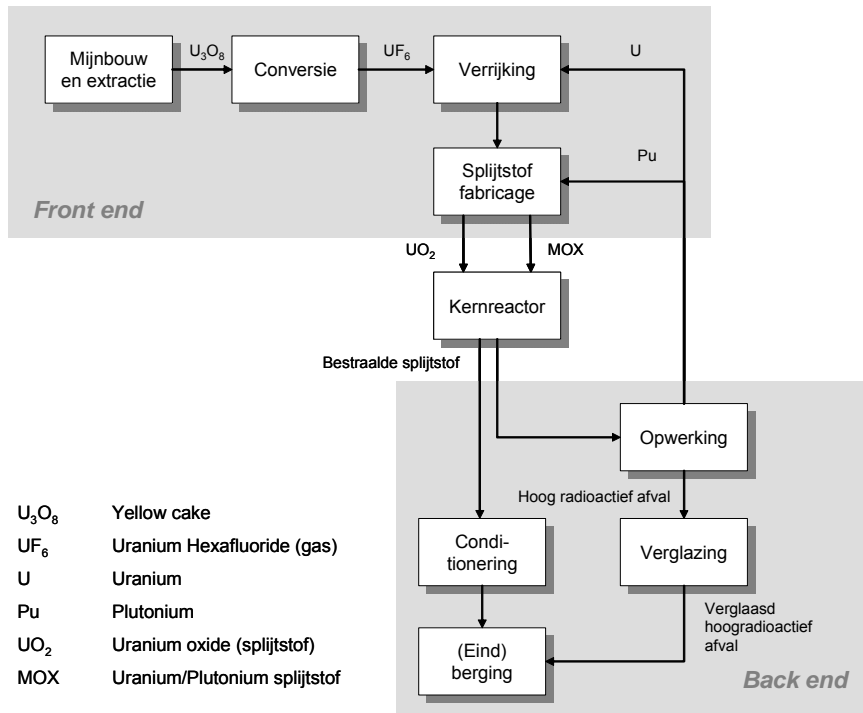
Behalve de splijtstof en de moderator vangen ook de gevormde splijttings- en activeringsproducten²⁶ neutronen in. Na verloop van tijd is de concentratie van deze stoffen zo hoog geworden, dat daarmee de kans op neutronvangst door uranium-235 en plutonium-239 flink is afgenomen. Hun splijttingskans neemt daarmee af en op een gegeven moment wordt de kettingreactie onmogelijk. De verdeling van de neutronen over de reactorkern is niet uniform. Daarmee is ook de verdeling van het vermogen en van de concentratie van splijttings- en activeringsproducten niet uniform. Daarom zullen sommige splijtstofstaven eerder zijn 'uitgewerkt' dan andere. Periodiek wordt een aantal van de 'gebruikte' (bestraalde) splijtstofelementen uit de reactorkern verwijderd en vervangen door 'verse' splijtstofelementen.

2.1.2 De processtappen van de splijtstofcyclus

Front-end van de splijtstofcyclus

De stappen van de splijtstofcyclus die moeten worden doorlopen om de brandstof ('splijtstof') voor een kerncentrale te maken, worden gerekend tot de zogeheten 'front-end' van de splijtstofcyclus. Figuur 1 geeft een overzicht van de volledige splijtstofcyclus. Het bovenste deel van de figuur toont de 'front-end' van de cyclus. Uraniumerts wordt gewonnen in uraniummijnen. Door middel van extractie wordt uranium aan het erts onttrokken en via een aantal processtappen geschikt gemaakt om in een kerncentrale te worden gebruikt.

²⁶ Nucliden die ontstaan door neutronvangst, als ook hun vervalproducten (bijv. ²³⁶U, ²³⁷Np, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Am)



Figuur 1 De splijstofcyclus

De volgende processtappen maken deel uit van de ‘front-end’ van de splijstofcyclus:

- *Mijnbouw en extractie:* Uraniumerts wordt door mijnbouw gewonnen. Na extractie uit erts komt uranium in de vorm van de zogenoemde yellow cake (U_3O_8) beschikbaar voor de volgende processtap: de conversie.
- *Conversie:* De yellow cake wordt omgezet in uranium hexafluoride (UF_6). Deze vaste stof wordt door verwarming omgezet in UF_6 gas dat geschikt is voor het verrijkingproces.
- *Verrijking:* In de meeste kerncentrales, waaronder de kerncentrale Borssele, wordt licht verrijkte splijstof gebruikt, waarin het percentage uranium-235 ten opzichte van dat in natuurlijk uranium verhoogd is. Dit gebeurt in Nederland met behulp van ultracentrifuges bij Urenco in Almelo²⁷. Hierbij wordt UF_6 op basis van het massaverschil tussen uranium-235 en uranium-238 kernen gescheiden in UF_6 met een verhoogd percentage uranium-235 (verrijkt uranium) en UF_6 met een verlaagd percentage uranium-235 (verarmd uranium).
- *Splijstof fabricage:* Het licht verrijkte uranium, in de vorm van UF_6 , wordt omgezet in uraniumoxide (UO_2) waaruit splijstoftabletten worden gemaakt. Een aantal van deze tabletten worden op elkaar gestapeld en opgesloten in een metalen huls, de zogenoemde ‘splijstofstaf’. Splijstofstaven worden weer gebundeld tot ‘splijstofelementen’, ook wel brandstofelementen genoemd.

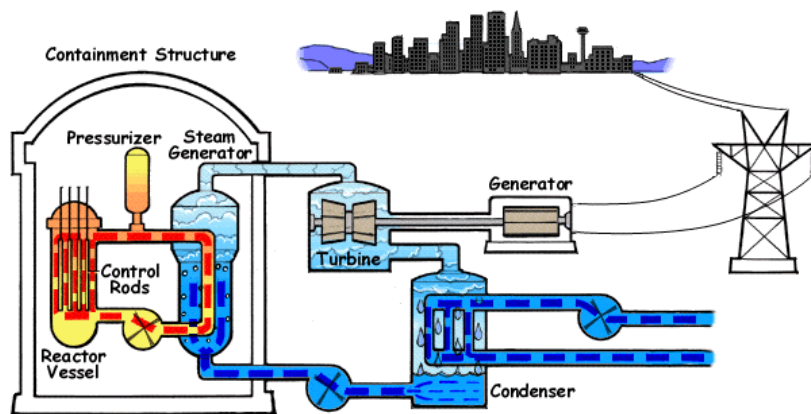
Kerncentrale

De kerncentrale is de processtap in de splijstofcyclus waarbij elektriciteit wordt opgewekt. De werking van een kerncentrale wordt hier uitgelegd aan de hand van een drukwaterreactor (Pressurized Water Reactor, PWR), zoals toegepast bij de kerncentrale Borssele. In zo’n centrale bevindt zich een met water gevuld afgesloten stalen vat (reactorvat). Daarin zit een constructie waarin een groot aantal splijstofelementen zijn geplaatst (de reactorkern). Het reactorvat maakt deel uit van een circuit waarin (koel)water onder druk wordt rondgepompt, zie Figuur 2. In de reactorkern vindt een zelfregulerend kernsplijtingsproces plaats.

²⁷ Naar verwachting zal de gascentrifugetechniek de concurrerende techniek (gasdiffusie) binnen 10 jaar vrijwel geheel verdrongen hebben. Voor de status quo t.a.v. verrijking, zie paragraaf 2.2.1.2, voor ontwikkelingen zie paragraaf 2.2.2.

De energie die vrijkomt bij het kernsplijtingsproces wordt in de vorm van warmte overgedragen aan het koelwater. In een zogenoemde stoomgenerator wordt de warmte van het hete koelwater uit het reactorvat overgedragen aan het water in het secundaire systeem en daar gebruikt om stoom te produceren. Deze stoom drijft een turbinegenerator aan waarmee elektriciteit wordt geproduceerd.

De energieproductie in de reactorkern van een drukwaterreactor wordt geregeld door de van buitenaf bedienbare regelstaven in de reactorkern en het regelbare percentage boorzuur in het koelwater. Regelstaven en boorzuur vangen neutronen in. Door middel van de regelstaven kan het kernreactieproces ook stil worden gelegd. De hete reactorkern moet dan nog steeds worden gekoeld, zodat de restwarmte kan worden afgevoerd die door het radioactieve verval van met name splijtingsproducten wordt geproduceerd. Deze koeling voorkomt dat de temperatuur van de reactorkern zodanig hoog wordt dat daarin beschadigingen zouden kunnen optreden.



Figuur 2 Processen in een kerncentrale met een drukwaterreactor

Back-end van de splijstofcyclus

De processtappen van de splijstofcyclus waarbij gebruikte splijstof wordt verwerkt en die leiden naar de eindbestemming van dit materiaal, worden gerekend tot de ‘back-end’ van de splijstofcyclus.

De gebruikte splijstofelementen bevatten nog steeds uranium-235, maar wel een lager percentage dan in ‘verse’ elementen. Daarnaast bevatten de gebruikte splijstofelementen veel splijtingsproducten als ook plutonium en andere activeringsproducten. Vooral vanwege de splijtingsproducten produceren de gebruikte splijstofelementen intense ioniserende straling²⁸. Voordat de gebruikte splijstofelementen mogen worden getransporteerd, zullen deze eerst enige jaren onder water moeten worden opgeslagen, zodat door radioactief verval het stralingsniveau voldoende kan afnemen. Deze tijdelijke opslag vindt plaats in een bassin in het reactorgebouw, zoals in Borssele, of in een aangrenzend gebouw. Na verloop van tijd kan de gebruikte splijstof ook droog opgeslagen worden.

Na de tijdelijke opslag van de gebruikte splijstofelementen bij de centrale zijn er twee mogelijke verwerkingsroutes:

- (1) opwerking van de splijstof met terugwinning van nog bruikbare splijstof (de opwerkroute, ‘gesloten’ splijstofcyclus) of
- (2) directe berging van de gebruikte splijstof als hoogradioactief afval, uiteindelijk in een (eind)berging (‘open’ splijstofcyclus). Er is nog nergens een eindberging voor gebruikte

²⁸ In het spraakgebruik wordt dit ook wel ‘radioactieve straling’ genoemd, wat feitelijk een onjuiste term is omdat de straling zelf niet radioactief is, maar een gevolg van het verval van een radioactief deeltje. Ioniserende straling is een betere term voor straling die voldoende energetisch is om een elektron uit de buitenste schil van een atoom weg te slaan. Deze straling kan in het getroffen materiaal of weefsel tot schade leiden.

splijtstof in gebruik genomen²⁹, zodat gebruikte splijtstof die niet wordt opgewerkt, tot nog toe wordt opgeslagen.

Met eindberging wordt bedoeld: berging in geologisch stabiele, diep gelegen aardlagen, waarmee het afval voldoende lang buiten de leefomgeving van de mens kan worden gehouden.

1. *Route met opwerking:*

De opwerkroute wordt nu onder andere voor Nederlandse en Franse kernreactoren gevolgd. Het resultaat hiervan is dat het merendeel (circa 95%) van de splijtstof (uranium en plutonium) wordt teruggewonnen uit de gebruikte splijtstofelementen en wordt hergebruikt in de splijtstofcyclus. Deze route omvat de volgende stappen:

– *Opwerking van gebruikte splijtstof:*

De gebruikte splijtstofelementen worden in speciale transportcontainers overgebracht naar een opwerkingsfabriek³⁰ waar het grootste deel van de splijtstoffen uit de gebruikte splijtstofelementen wordt teruggewonnen: uranium (ongeveer 94%) en plutonium (ongeveer 1%). De gebruikte splijtstofelementen van de kerncentrale Borssele worden bijvoorbeeld naar de opwerkingsfabriek in La Hague (Normandië) getransporteerd. Het uranium gaat terug naar de verrijkingsstap van de front-end. Het plutonium kan verwerkt worden in de splijtstof Mixed Oxide (MOX), waarin zowel plutonium als uranium wordt gebruikt³¹.

– *Verglazing van opwerkingsafval:*

De resterende circa 5% van de gebruikte splijtstof bestaat uit splijtingsproducten en actiniden. Dit restmateriaal (opwerkingsafval) wordt verglaasd. Verglazing is nodig om de (radioactieve) stoffen sterk te binden. Het verglaasde (hoog radioactief) afval wordt verpakt in roestvrijstalen containers (ook wel: ‘canisters’). De geactiveerde metalen structuurdelen van de splijtstofelementen worden samengeperst en verpakt in roestvrijstalen containers.

– *Tijdelijke opslag van verglaasd afval:*

Momenteel is nog nergens een eindberging voor de containers met het verglaasde afval in bedrijf. In afwachting van de definitieve eindberging zullen deze canisters tijdelijk worden opgeslagen. Nederland heeft er voor gekozen om, in afwachting van een beslissing over de eindberging, het verglaasde afval tijdelijk bovengronds op te slaan. Dit gebeurt bij de COVRA in Vlissingen. Hier wordt dit afval opgeslagen in het HABOG, een betonnen bunkerachtig gebouw, ontworpen om het afval gedurende tenminste 100 jaar veilig op te slaan en de door radioactief verval nog vrijkomende warmte af te voeren. Na 100 jaar is de activiteit door radioactief verval met meer dan 90% afgenomen.

– *Eindberging van verglaasd afval:*

In plannen voor eindberging wordt uitgegaan van containers met verglaasd afval opgeborgen in diep gelegen stabiele geologische formaties. In Nederland zijn er bijvoorbeeld zoutkoepels en kleilagen³². Er zijn landen waar graniet het geprefereerde ‘gastgesteente’ is. Het volume hoog radioactief afval dat per eenheid opgewekt elektrisch vermogen zal worden opgeborgen is enkele malen kleiner dan bij directe berging van gebruikte splijtstof.

2. *Route met directe berging:*

Deze route wordt onder andere in Finland en Zweden gevolgd. Het omvat de volgende stappen:

- *Tijdelijke opslag:* Momenteel is nog nergens een eindberging voor gebruikte splijtstof in bedrijf. In afwachting van de definitieve eindberging kunnen splijtstofelementen worden opgeslagen in een waterbassin of in opslagcontainers waarin de elementen droog (en bij onderdruk) worden opgesloten. Deze onderdruk zorgt ervoor dat bij kleine schade aan de insluiting de (mogelijk) in de container aanwezige radioactieve stofdeeltjes niet buiten de container komen.

²⁹ Meer informatie over eindberging is te vinden in paragraaf 2.5. Er is wel ervaring met eindberging van laag- en middelactief afval en hoogactief afval uit militaire toepassingen.

³⁰ Voor non-proliferatieaspecten, zie o.a. paragraaf 3.2.1.1.

³¹ Momenteel is verse uraniumsplijtstof nog goedkoper dan MOX-splijtstof. Dat heeft geleid tot het ontstaan van een plutoniumvoorraad.

³² Er is in Nederland nog geen besluit genomen over eindberging.

- *Conditionering*: Om de splijtstof(staven) definitief te kunnen opbergen, moet deze splijtstof eerst in een voor de eindberging geschikte vorm worden gebracht. Dit gebeurt in een conditioneringinstallatie. De conditioneringmethode hangt af van de wijze van eindberging.
- *Eindberging*: Het is de bedoeling de geconditioneerde splijtstof op te bergen in diep gelegen stabiele geologische formaties, zoals zout- en kleilagen of in rotsformaties.

2.2 Front-end

Deze paragraaf beschrijft de Front-end van de splijtstofcyclus en geeft antwoord op twee vragen met betrekking tot het gebruik van Uranium als splijtstof, namelijk:

1. Is er voldoende uranium tegen aanvaardbare prijzen, en
2. Wat zijn de milieueffecten van uraniumwinning en brandstofproductie.

De paragraaf besluit met suggesties voor aanvullende randvoorwaarden met betrekking tot de front-end.

2.2.1 Stand van zaken

2.2.1.1 Mijnbouw en extractie

Uraniumerts kan op drie verschillende manieren worden gewonnen:

- *Dagbouw uit 'open-pit' mines*: Daarbij bevindt zich het uraniumerts aan de oppervlakte. Dagbouw draagt voor 30% bij aan de wereldwijde productie van uraniumerts.
- *Ondergrondse mijnbouw*: Ongeveer 40% van de uraniummijnbouw gebeurt op deze manier.
- *Oplossingsmijnbouw*: Bij ongeveer 30% van uraniummijnbouw wordt zogeheten 'in situ leaching' toegepast, waarbij het uranium in de ertslaag wordt opgelost en daarna in oplossing naar de oppervlakte wordt gepompt.

Na winning als uraniumerts vindt de extractie van het uranium uit het erts plaats. Hiertoe wordt het erts eerst verbrokeld/vermalen. Daarna wordt het met zwavelzuur behandeld om het uranium op te lossen. Het uranium wordt uit de oplossing teruggewonnen in de vorm van 'yellow cake' (U_3O_8). Bij de oplossingsmijnbouw wordt het uranium onder de grond al in oplossing gebracht. Deze manier van mijnbouw is alleen mogelijk als het uraniumerts zich in een permeabele laag tussen twee waterafsluitende lagen bevindt.

Bij dagbouw en ondergrondse mijnbouw ontstaat na de extractie een restproduct, de zogeheten *tailing*. Deze tailing wordt opgeslagen in een reservoir. Vanwege de vervalproducten van uranium, zoals radium, bevat de tailing nog ongeveer 70% van de oorspronkelijke radioactiviteit van het erts. Om radioactieve emissies en verwaaiing van radioactief stof naar de omgeving te voorkomen wordt de tailing tijdens het vullen van het reservoir met een laag water afgedekt. Uiteindelijk wordt het tailingreservoir afgedekt met klei en aarde, waardoor ook de emissie van het radioactieve edelgas radon sterk wordt gereduceerd. De kleilaag gaat ook het uitspoelen van radioactieve stoffen en zware metalen uit de tailing tegen en daarmee ook hun verspreiding in de bodem.

2.2.1.2 Conversie, verrijking en splijtstoffabricage

Zoals in paragraaf 2.1 is beschreven zijn er drie processtappen nodig om uit de 'yellow cake' (U_3O_8) splijtstofelementen met verrijkt uranium te produceren die in de kerncentrale gebruikt worden. Dit zijn conversie, verrijking en splijtstofelementfabricage.

In het conversieproces wordt de yellow cake omgezet in uraniumhexafluoride (UF_6). Na conversie wordt deze stof in de verrijkingsfabriek door verwarming in dampvorm (gas) gebracht. Dit gas gaat daarna het verrijkingsproces in.

Voor het verrijkingsproces zijn momenteel twee methoden in gebruik: gasdiffusie en gascentrifuge. Bij deze processen wordt gebruik gemaakt van het feit dat de massa van uranium-235 atoomkernen kleiner is dan die van uranium-238 atoomkernen.

Bij gascentrifuge wordt het UF_6 gas vervolgens in een centrifuge geleid waarin de zwaardere gasfractie – met uranium-238 atomen – meer naar de buitenkant wordt geslingerd dan de

lichtere fractie en daar wordt afgetapt. De lichtere fractie, met een verhoogd aandeel uranium-235, wordt in het midden van de centrifuge afgetapt. Daarna wordt deze naar een volgende centrifuge geleid, waar het proces wordt herhaald. In elke centrifugestap neemt de relatieve verrijking met ca. 10 tot 15% toe. Nadat het UF₆ gas zo'n 10 tot 20 centrifuges is gepasseerd (cascade), is het uranium in voldoende mate met uranium-235 verrijkt. Bij gasdiffusie wordt het UF₆ gas door een membraan geperst, waarbij de lichtere gasfractie – met uranium-235 kernen – gemakkelijker het membraan passeert dan de zwaardere fractie. Ook hierbij wordt het proces vele malen herhaald.

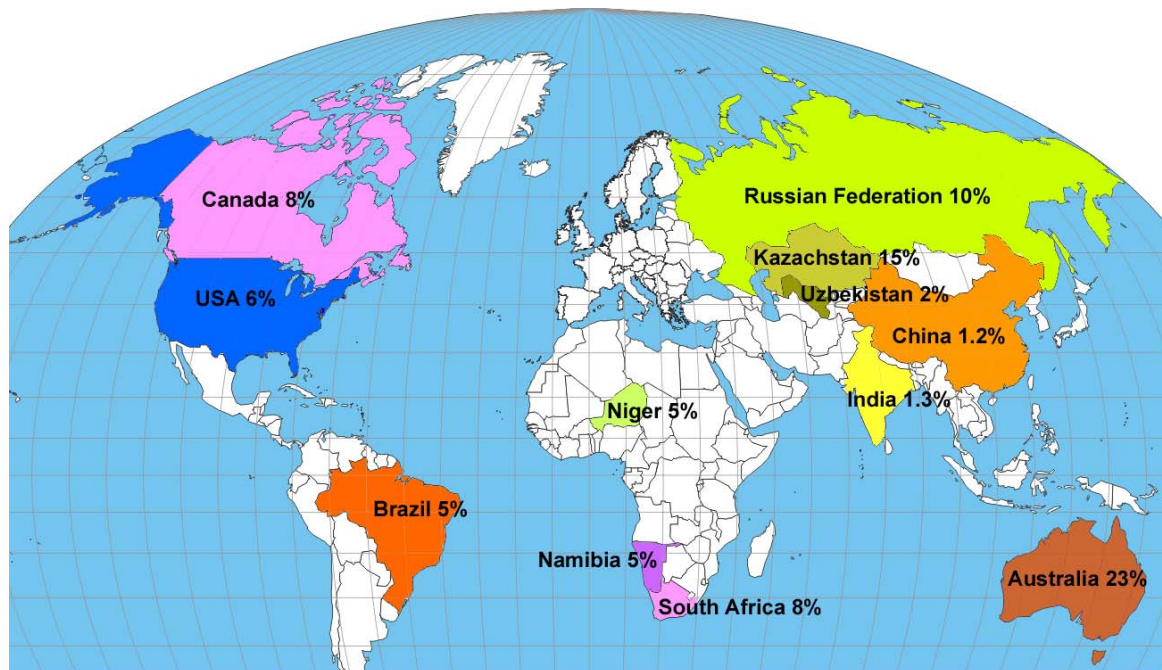
Het verrijken door centrifugeren kost aanmerkelijk minder energie dan verrijken met gasdiffusie. De centrifugetechniek wordt wereldwijd dan ook steeds meer gebruikt. Naar verwachting zal binnen ongeveer 10 jaar de centrifugetechniek de gasdiffusietechniek volledig hebben verdrongen. In Frankrijk wordt de gasdiffusie ingeruild voor de centrifugetechniek van Urenco. Daarvoor is door Areva en Urenco een joint-venture opgericht. Ook in de Verenigde Staten bouwt Urenco een verrijkingsfabriek op basis van centrifuges.

Bij het verrijkingsproces ontstaat als bijproduct verarmd uranium, dat minder dan het natuurlijke massa-aandeel uranium-235 bevat. Verarmd uranium wordt gebruikt als grondstof voor MOX. Omdat het nog steeds een klein aandeel uranium-235 bevat, vindt het soms toepassing als goedkope grondstof voor verrijkingsfabrieken. Het verarmd uranium is potentieel belangrijk als grondstof voor nog te ontwikkelen snelle reactoren (generatie IV), waarmee uit het uranium-238 het splijtbare plutonium-239 wordt gekweekt. Een voorraad verarmd uranium wordt door sommige landen daarom gezien als een 'strategische reserve'.

Bij de splijststoffabricage wordt het verrijkte UF₆ via een chemisch proces omgezet in uraniumoxide (UO₂). Dit uraniumoxide wordt verwerkt tot splijststoffabletten. De tabletten worden gestapeld en opgesloten in een metalen huls en vormen een splijststofstaaf. De gebundelde splijststofstaven vormen de splijststofelementen die in een kerncentrale worden gebruikt.

2.2.1.3 Uranium voorraad

Uranium is een op aarde veel voorkomend metaal. De voorraden uraniumerts zijn gespreid over vele regio's (zie Figuur 3). Er is meer uranium dan goud, zilver en kwik en ongeveer even veel als tin. Daarnaast is het te vinden in zeewater, maar wel in lage concentraties. Uranium wordt ook vaak als bijproduct gewonnen bij de behandeling van andere ertsen. Bekende voorbeelden daarvan zijn de goudwinning in Zuid-Afrika en de koperwinning in Australië. De hoeveelheden uranium die winbaar zijn, worden voornamelijk bepaald door de prijs die men ervoor wil betalen. Zo zijn tussen 2005 en 2007 de winbare voorraden (tot 130 USD/kgU) gestegen met 15%. Een deel van de toename is te verklaren uit nieuwe ontdekkingen. Het overgrote deel is echter het resultaat van opnieuw beschouwen van winbare categorieën voorraden in het licht van gestegen prijzen.



Figuur 3 Verdeling van de 'Identified Resources' over de wereld bij prijs < USD 130/kgU

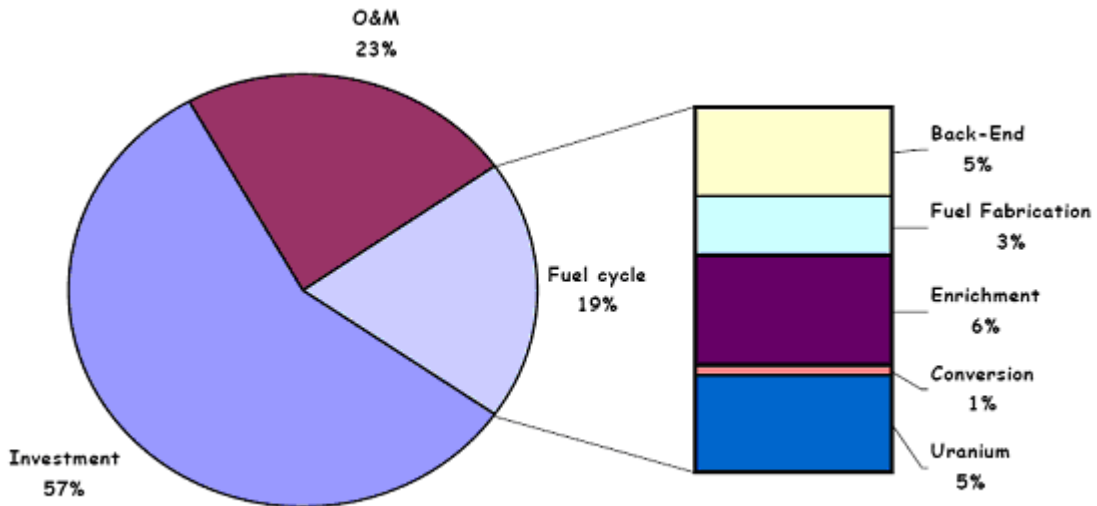
De uraniumvoorraad ('Identified Resources' volgens het Red Book³³) bij een prijs tot \$ 130 per kg is circa 5,5 miljoen ton en is voldoende voor circa 100 jaar bij gelijkblijvend gebruik. Deze termijn is uiteraard afhankelijk van het aantal kerncentrales dat in de toekomst wordt geëxploiteerd. Naast de bewezen en vermoedelijke voorraden zijn er waarschijnlijk nog conventionele uraniumvoorraden met een omvang van zeker 10 miljoen ton. In het Red Book worden deze aangeduid met 'Undiscovered Resources'. Dat wil zeggen dat met nieuwe exploratieactiviteiten de aantoonbare voorraden verder kunnen toenemen. Voorts zijn er de zogenoemde 'Unconventional Resources', de onconventionele voorraden van uranium. Deze zijn aanwezig in fosfaatafzettingen (22 miljoen ton) en in zeewater (4000 miljoen ton bij 3-4 ppb). De technische winbaarheid van uranium uit fosfaaterts is aangetoond, maar door marktomstandigheden tijdelijk verlaten. Recentelijk is er weer belangstelling voor ontstaan. Op laboratoriumschaal is aangetoond dat uranium ook uit zeewater winbaar is. De kosten hiervan zijn geschat³⁴ tussen \$ 200 en \$ 400 per kg.

In principe is er voldoende uranium op de wereld om een forse groei van de elektriciteitsproductie uit kernenergie toe te laten. De productiecapaciteit van de bestaande uraniummijnen is echter beperkt en zal een groeiende vraag op korte termijn (rond 2015) slechts moeizaam kunnen volgen. Daarnaast zal de uraniumproductie uit oude kernwapens, thans 30% van de productiecapaciteit, binnen circa 10 jaar verdwijnen. Het in productie brengen van nieuwe mijnen vergt lange aanlooptijden tot wel 10 jaar. Hierdoor zal er in de komende 10-20 jaar mogelijk een zekere krapte op de markt kunnen ontstaan, mede tengevolge van de verwachte groei van kernenergie. Het belangrijkste effect hiervan is dat de prijzen zullen stijgen. Door tijdig maatregelen te nemen (zoals nieuwe mijnbouw, aanspreken van reserves) kan voorkomen worden dat er een tekort zal ontstaan.

Het effect van stijgende uraniumprijzen op de elektriciteitsprijs is overigens beperkt. Onderstaande figuur laat zien dat de kosten van uranium slechts een klein aandeel hebben in de totale kosten van nucleaire energie. Dit in tegenstelling tot energieproductie met 'fossiele' brandstoffen.

³³ Uranium 2007: Resources, Production and Demand (Red Book). NEA/IAEA, Paris, 2007

³⁴ Sugo et. al., Recovery System for Uranium from Seawater with Fibrous Adsorbent and Its Preliminary Costs Estimation. Nihon Genshiryoku Gakkai - Journal of the Atomic Energy Society of Japan, Vol. 43, No.10, 2001



Figuur 4 Opbouw kosten van elektriciteit uit kernenergie³⁵.

De behoefte aan primair uranium per eenheid van geproduceerde elektriciteit of nuttige energie hangt af van de toegepaste reactortypologie en de keuze voor de back-end van de splijstofcyclus. Met de huidige lichtwaterreactoren kan alleen al door opwerking en hergebruik van het resterende uranium-235 en geproduceerde plutonium-239 de uraniumvoorraad 1,5 keer efficiënter gebruikt worden.

2.2.1.4 Milieubelasting Front-end

De milieubelasting gerelateerd aan de winning en verwerking van uranium wordt gedomineerd door het beheer van de ‘tailings’ en van de mijn, zowel tijdens de exploitatie als de sluiting van de mijn. De tailings zijn de reststoffen, die overblijven nadat de gewenste mineralen zijn onttrokken aan het gewonnen erts. De belasting van het lokale milieu houdt voornamelijk verband met de radonemissies naar de lucht en emissies van zware metalen naar water en bodem.

In principe is het mogelijk door een goede afdichting van de reservoirs de lokale milieubelasting te minimaliseren tot een niveau van natuurlijke emissies van radon uit de bodem. Maar zelfs bij goed afgedekte tailingreservoirs blijft een zeker langdurig milieurisico bestaan vanwege de daarin aanwezige zware metalen en radioactieve stoffen in combinatie met het feit dat er geen afdichtingstructuur bestaat die gegarandeerd intact blijft. Oplossingsmijnbouw is minder milieubelastend vanwege het gegeven dat daarbij geen erts naar het oppervlak wordt gebracht.

Verrijking van uranium kan op verantwoorde wijze plaatsvinden. Dat gebeurt ook nu al, onder andere door Urenco in Nederland. Hierbij wordt voldaan aan de Nederlandse wet- en regelgeving. Vanuit het oogpunt van verantwoorde omgang met het milieu, moeten de verarmde restfractie en de eventueel daar verder uit voortkomende restproducten, op milieuverantwoorde wijze worden beheerd.

2.2.2 Ontwikkelingen

Mijnbouw

Ontwikkelingen in de nucleaire technologie richten zich onder meer op het efficiënter gebruik van uranium. Met de in ontwikkeling zijnde generatie-IV reactoren (zie paragraaf 2.3) wordt er naar gestreefd het uranium circa 100 maal efficiënter te gebruiken. Hiermee wordt grondstof bespaard en kan tevens de afvalproductie worden beperkt. Daarnaast kan in deze reactoren ook uit thorium vervaardigde splijstof worden gebruikt. De natuurlijke voorraden van thorium zijn

³⁵ Generation-IV Roadmap Report of the Fuel Cycle Crosscut Group (FCCG), March 18, 2002

vergelijkbaar met die van uranium. In sommige typen reactoren kan thorium worden omgezet in het splijtbaar uranium-233. Conservatieve schattingen³⁶ geven aan dat er zeker 6 miljoen ton thorium beschikbaar is (bij een prijs tot 80 USD/kgTh). Deze schattingen laten grote delen van de wereld buiten beschouwing en zijn dus een onderschatting. Thorium wordt momenteel meestal als bijproduct verkregen bij de winning van titanium, zirkonium en tinhoudende mineralen.

De investeringen in de exploratie (uraniummijnbouw) in 2006 bedroegen wereldwijd circa USD 775 miljoen. Dit is een toename van 250% t.o.v. 2004. In sommige landen was een bijzondere toename van exploratie activiteit waar te nemen. Australië ging van 10 miljoen USD in 2004, via 30 miljoen in 2005 naar 60 miljoen in 2006. Voor 2007 schat het Red Book een investering van 720 miljoen USD wereldwijd. De prijsstijgingen van uranium in de afgelopen jaren hebben de geschetste ontwikkeling bevorderd.

Verrijking

Op dit moment wordt alleen met centrifuge- of gasdiffusietechniek verrijkt uranium geproduceerd. In Frankrijk en de Verenigde Staten op grote schaal middels gasdiffusie, in Rusland, Nederland, Duitsland en Verenigd Koninkrijk met gascentrifuges. Op kleinere schaal zijn er verrijkingsinstallaties in o.a. China, Japan en Brazilië. Aangezien de gasdiffusie in Frankrijk en mogelijk ook de Verenigde Staten door de energiezuinigere centrifugetechniek gaat worden vervangen, zal er op korte termijn één dominante techniek zijn. De verwachting is³⁷ dat een groeiende vraag naar verrijking kan worden opgevangen door uitbouw van de verrijkingscapaciteit van met name die ‘verrijkers’, die de centrifugetechniek gebruiken. Hun installaties kunnen vanwege hun modulaire opbouw, relatief eenvoudig stapsgewijs worden uitgebreid.

Mocht de uraniumprijs stijgen door bijvoorbeeld een tijdelijke krapte op de markt, dan kan het voor de verrijkingsindustrie economisch interessant zijn om uranium dieper te verarmen of om eerder verarmd uranium verder te verarmen. Dit bespaart uranium. Hiervoor is dan wel extra capaciteit noodzakelijk, maar deze kan relatief snel modulair worden uitgebouwd.

Op experimentele schaal is aangetoond dat ook ‘laser verrijking’³⁸ mogelijk is. De ontwikkeling daarvan is al in de jaren 70 van de vorige eeuw gestart. De laserprocessen resulteren in het selectief omzetten van gasvormig UF₆ met uranium-235, naar vast UF₅. Het UF₆ met uranium-238 blijft daarbij gasvormig UF₆. Op deze wijze kan in theorie een elegante scheiding van uraniumisotopen bereikt worden. Volgens de promotors van deze techniek, zijn de voordelen: nog lager energieverbruik per verrijkingsarbeid, geringere investeringen, en minder reststoffen. Tot nu toe is er geen productiefaciliteit op basis van deze techniek gerealiseerd.

2.2.3 Mogelijke randvoorwaarden aan de front-end

Uraniumwinning en conversie

In Nederland vindt geen uraniumwinning plaats. Daarom kan de Nederlandse overheid daaraan geen rechtstreekse voorwaarden verbinden. Wel zouden door de overheid randvoorwaarden gesteld kunnen worden betreffende verantwoorde winningmethodes van het uranium van te gebruiken splijtstof. Dit houdt onder meer in dat het uranium bij voorkeur betrokken dient te worden uit landen die een milieuvriendelijke benadering bij de mijnbouw toepassen, inclusief landschapsherstel na sluiting van de mijn. Voor zover overzien kan worden geldt dit nu voor landen als Canada en Australië en ook voor sommige mijnbouwactiviteiten in Kazachstan. Men zou als voorwaarde kunnen stellen dat het mijnbouwbedrijf tenminste ISO 14001 moet zijn

³⁶ Uranium 2007: Resources, Production and Demand (Red Book). NEA/IAEA, Paris, 2007

³⁷ The Global Nuclear Fuel Market; Supply and Demand 2009-2030, WNA, 2009.

³⁸ De bekendste variant van dit proces is het SILEX proces, ontwikkeld door Silex Systems in Sydney (Australië). GE-Hitachi en Cameco hebben de rechten in eigendom om dit proces verder te ontwikkelen. Zij noemen het proces ‘Global Laser Enrichment’ (GLE). Medio 2009 is bij de US NRC een vergunningaanvraag ingediend voor de bouw van een verrijkingsfabriek op basis van dit GLE proces. Twee van de grootste energiebedrijven van de Verenigde Staten hebben een intentieverklaring ondertekend, waarin zij aangeven verrijkingsdiensten te willen afnemen, mocht de fabriek gerealiseerd worden.

gecertificeerd, regelmatig geaudit wordt en een goede reputatie moet hebben op het gebied van verantwoord omgaan met natuur en milieu.

Op basis van de mogelijke milieubelasting bestaat de volgende voorkeursvolgorde voor de herkomst van het uranium naar type mijnbouw:

1. Winning middels oplossingsmijnbouw (dus ondergronds);
2. Winning via dagbouw of ondergrondse mijnbouw met maximale inspanning om milieubelasting nu en in de toekomst te minimaliseren.

Van de exploitant van een kerncentrale is te verwachten dat hij zich redelijke zekerheid verschafft over de beschikbaarheid van uranium voor de volledige levensduur van zijn centrale. Een zo grote investering (ontwerp, vergunningprocedure & bouw centrale) zal door financiers alleen dan worden gedaan als deze zekerheid er in voldoende mate is. Een extra toetsing hierop door de overheid lijkt hiermee overbodig.

Bij scenario 1 neemt de hoeveelheid opgesteld Nederlandse kernvermogen in 2033 af (1a) of zal hooguit op langere termijn – 2040 – verdubbelen (1b). Bij scenario 2 zal de hoeveelheid opgestelde kernvermogen in 2033 hooguit verdrievoudigen. Dat vertaalt zich direct in de voor die scenario's benodigde hoeveelheid splijtstof. Een eventuele korte termijn schaarste (binnen 10 à 20 jaar) op de uraniummarkt speelt voor die scenario's dus geen rol van betekenis. Daarmee hebben voor die scenario's ook additionele beperkende eisen aan de wijze van uraniumwinning geen invloed.

Bij scenario 3 moet bij de daarin veronderstelde bouw van nieuwe kerncentrales al in 2020 de beschikbaarheid van voldoende splijtstof zijn gegarandeerd. Additionele eisen aan de wijze van uraniumwinning zouden dan beperkend kunnen uitwerken op het tempo waarin nieuw kernvermogen beschikbaar kan komen.

Uraniumverrijking

De verrijkingsfabriek bij Urenco in Almelo, voldoet aan de geldende milieueisen. Splijtstof kan in principe ook van verrijkingsinstallaties uit andere landen betrokken worden. Daarom zouden vergunningsvoorschriften voor kerncentrales vastgelegd kunnen worden, die aangeven aan welke milieueisen te contracteren verrijkingsfabrieken moeten voldoen. Met name kan daarin aandacht zijn voor het verantwoord beheer van verarmd uranium, een restproduct van verrijking. Zulke randvoorwaarden leggen geen beperking op aan de beschikbare hoeveelheid splijtstof, en er zijn geen scenarioafhankelijke effecten.

Tabel 1 Mogelijke randvoorwaarden aan uraniumproductie en verrijking

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a Alg. randvoorw. +	Scenario 1b Alg. randvoorw. +	Scenario 2 Alg. randvoorw. +	Scenario 3 Alg. randvoorw. +
Uraniumproductie	Beperken van milieubelasting bij uraniumwinning	Wordt nu al vrijwillig gedaan: vastlegging in regelgeving mogelijk na afstemming	Vast te leggen voor nieuwe centrales vóór vergunningsaanvraag (rond 2030)	Vast te leggen voor nieuwe centrales voor 2026	Vast te leggen voor nieuwe centrales < 2013 ▶ < 2030 mogelijk beperkend effect
Uraniumverrijking	Verantwoord beheer verarmd uranium	▶ Vastlegging in regelgeving heeft geen onderscheidend effect voor de verschillende scenario's			

Legenda: ▶ is een gevolg, ◻ is een opmerking. Zonder symbooltje: een mogelijke voorwaarde.

2.3 Kerncentrales

Deze paragraaf bespreekt typen kerncentrales die op korte of langere termijn voor mogelijke uitbreiding van het opgesteld kernenergievermogen in aanmerking komen.

Het overgrote deel van de huidige kerncentrales in de wereld wordt ingedeeld in 'generatie-II'. Nieuwe kerncentrales in Nederland zullen van een moderner type zijn. Op dit moment zijn de zogenoemde generatie-III centrales commercieel beschikbaar, waarvan er al een aantal zijn

gebouwd of in aanbouw zijn, terwijl er ook nog diverse officiële beoordelingsprocessen lopen in het kader van vergunningaanvragen of andere reviewprocessen³⁹.

In deze paragraaf wordt onder ‘Stand van zaken’ een overzicht gegeven van reactoren van de generaties III en III+ die in de komende jaren gebouwd kunnen worden. Binnen het beperkte kader van dit rapport is het niet mogelijk om aan al deze reactoren aandacht te besteden. De basis voor de selectie die hier besproken wordt, is toegelicht in hoofdstuk 1, in de paragraaf ‘Afbakening’.

Onder ‘Ontwikkelingen’ worden de kerncentrales van de generatie IV besproken, waarvan het Energierapport 2008 stelt, dat zij niet voor 2040 in Nederland kunnen worden geïntroduceerd. Bij generatie IV wordt een verdere verbetering geclaimd op het gebied van veiligheid, economie, grondstoffengebruik en non-proliferatie.

De paragraaf besluit met mogelijke randvoorwaarden, die de overheid zou kunnen stellen aan nieuwe kerncentrales in Nederland.

2.3.1 Stand van zaken

2.3.1.1 Generatie III en III+

Tot generatie III worden de 'evolutionaire' reactoren gerekend, die gebaseerd zijn op bekende ontwerpen waarmee ruime ervaring is opgedaan. Bij deze ontwerpen is in het bijzonder aandacht besteed aan verdere voorzieningen om ernstige kernsmeltongevallen te voorkomen en/of de gevolgen daarvan op te kunnen vangen. Een voorbeeld van een voorziening om een bijzondere externe oorzaak van schade uit te sluiten is de constructie van een zeer sterk gebouw (het containment) dat bestand is tegen de inslag van een passagiersvliegtuig. Hiermee zijn de vitale onderdelen van de centrale afdoende beschermd. Verder zijn er leverancierspecifieke oplossingen om de gevolgen te beperken, in het onwaarschijnlijke geval dat de kern bij een ongeval zou smelten. Sommige leveranciers kiezen voor een mogelijkheid om de reactorkern op te vangen ('core-catcher'). Anderen kiezen voor retentie in het reactorvat, door externe koeling van dit vat. Er zijn veel meer leverancierspecifieke veiligheidsvoorzieningen; het voert te ver ze hier in detail te behandelen.

De hier besproken generatie-III kernreactoren zijn alle lichtwatergekoelde reactoren (LWR). De verschillende typen gebruiken verschillende filosofieën ten aanzien van waarborging van de veiligheid.

In de 70-er jaren van de vorige eeuw werd in Duitsland een kerncentrale met heliumgekoelde reactor ontwikkeld. Deze reactor maakte gebruik van speciale splijtstof en hittebestendige materialen waardoor de splijtstof onder alle omstandigheden intact zou blijven. Enkele reactorbouwers hebben dat reactorconcept als uitgangspunt genomen voor de ontwikkeling van kleine reactoren voor kerncentrales die gebaseerd zijn op de veiligheidsfilosofie van inherente veiligheid. Ter onderscheid worden deze kerncentrales hier - aansluitend bij het gebruik in het rapport 'Fact Finding kernenergie' - als generatie-III+ aangeduid. Echter, omdat veel generatie-III centrales steeds verder doorontwikkeld worden, met aanvullende passieve veiligheidskenmerken, claimen diverse fabrikanten voor deze ontwerpen ook de generatie III+ status⁴⁰.

Vermogensregeling ('load-following')

Elektriciteit kan slechts in beperkte mate worden opgeslagen. Het is dus van belang dat het aanbod van elektriciteit en de vraag naar elektriciteit continu op elkaar worden afgestemd. Dit wordt vermogensregeling genoemd. Vermogensregeling van een elektriciteitscentrale voor het volgen van de dagelijkse elektriciteitsvraag wordt ook wel 'load following' genoemd.

³⁹ Zoals de 'Generic Design Assessments' in het VK en de 'Design Certification Applications' in de VS.

⁴⁰ Voor nog te ontwikkelen, verder geëvolueerde reactorconcepten wordt zelfs de aanduiding generatie-III++ wel gebruikt. Momenteel zijn er pas enkele generatie-III reactoren in bedrijf, waardoor het gebruik van dergelijke superlatieven niet opportuun aandoet.

De meeste fabrikanten van kerncentrales van de generaties III en III+ claimen dat hun ontwerp vermogensregeling toestaat⁴¹. Het voert te ver om de daarvoor noodzakelijke technische voorzieningen in de centrale hier te bespreken. In de meeste netwerken is de huidige praktijk, dat kerncentrales bij voorkeur als ‘base-load’ worden ingezet. Vooral voor wat kleinere elektriciteitsnetwerken kan het voordelig zijn voor de stabiliteit, als kernvermogen ook load-following toestaat. Dit zal in de Noordwest-Europese context waarschijnlijk geen grote rol spelen⁴².

In een recent rapport⁴³ van de TU Delft wordt uitgebreid ingegaan op de regelbaarheid van alle typen elektriciteitscentrales, waarbij een kerncentrale slechts één van die typen is. Kolencentrales zijn het traagst bij het regelen van vermogen. Open-cycle gasturbines zijn het snelst. Het rapport concludeert dat bij alle typen centrales variatie in output extra slijtage met zich meebrengt. Bij fossiel gestookte centrales (gas, kolen, biomassa) leidt regelen tot inefficiency, meer brandstofinzet en meer CO₂ uitstoot dan op grond van de gemiddelde rendementen mag worden verwacht. Bij kerncentrales is het belangrijkste obstakel de opportunity-costs, de gederfde inkomsten die bij zeer geringe variabele kosten verkregen hadden kunnen worden.

2.3.1.2 Presentatie van beschikbare typen

Bij de hieronder beschreven types kerncentrales, worden verschillende veiligheidsfilosofieën gevolgd. Net zoals de huidige centrales baseren ze zich allen op het defense-in-depth principe, dat bestaat uit het toepassen van meerdere veiligheidslagen bij het beheersen van het proces. In de meeste typen centrales wordt de veiligheid gegarandeerd door een combinatie van actieve en passieve componenten. Bij passief veilige elementen is er geen actie van buiten nodig om de veiligheidsfunctie te garanderen; deze is gebaseerd op natuurwetten, materiaaleigenschappen en/of intern opgeslagen energie. Bij actieve componenten moet er altijd een (meestal automatische) actie van buiten komen middels een signaal uit een bewakingssysteem of gestart door een operator.

Een strikte scheiding in actief veilige centrales en passief veilige centrales is niet mogelijk; alle kerncentrales kennen een combinatie van de twee soorten veiligheidssystemen en componenten. De balans tussen gebruik van ‘actief’ en ‘passief’ verschilt wel per type centrale. Dit zegt echter op zich niets over de bereikte veiligheid. Conclusies over de veiligheid van een bepaald type centrale kunnen pas getrokken worden na een uitgebreide veiligheidsevaluatie. Meer over veiligheid is te lezen in paragraaf 3.1 ‘Technische veiligheid’.

De EPR, APWR en ABWR zijn evolutionair ontwikkelde reactortypen en gaan uit van dezelfde veiligheidsfilosofie als bij bestaande kerncentrales met aanvullende, meervoudig uitgevoerde actieve veiligheidssystemen met een grote betrouwbaarheid. De systemen staan bij normaal bedrijf uit en moeten bij daarvan afwijkende condities – vaak automatisch – worden geactiveerd.

De AP1000 en ESBWR zijn gebaseerd op een veiligheidsfilosofie met een grote mate van passieve veiligheid. Ze maken in grote mate gebruik van natuurlijke processen en altijd aanwezige krachten zoals de zwaartekracht en kunnen zonder interventie van mensen of systemen incidenten beheersen.

De PBMR en HTR-PM zijn gebaseerd op de veiligheidsfilosofie van inherente veiligheid (vgl. definities 2&3 in §1.1.4). Deze legt een sterke beperking op aan het maximale vermogen van de reactor en stelt tevens hoge eisen aan de hittebestendigheid van de gebruikte materialen. Bij de gangbare westerse kernreactoren is het zo geregeld, dat mocht bijvoorbeeld de koeling geheel uitvallen, de eigenschappen van de reactor en zijn splijtstof ervoor zorgen, dat de kettingreactie snel uitdooft, waardoor de reactor zichzelf uitschakelt. Desondanks moet in zo’n geval toch nog

⁴¹ In Frankrijk vindt al load-following plaats met generatie-II reactoren.

⁴² Kernenergie & Brandstofmix, A.J. Seebregts et al., ECN-X—09-058, ECN, september 2010

⁴³ De regelbaarheid van elektriciteitscentrales – een quickscan in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken, TU Delft, 20 april 2009

koeling beschikbaar zijn om de restwarmte af te voeren, om beschadiging van de kern geheel uit te sluiten. Bij de PBMR en HTR-PM zijn de gebruikte materialen dusdanig bestendig tegen hoge temperaturen, dat de splijtstof, ondanks de warmteproductie door radioactief verval daarin, intact blijft, ook bij het geheel wegvallen van de koeling.

Details over het defense-in-depth principe en de hierboven kort aangeduide veiligheidsfilosofieën zijn beschreven in paragraaf 3.1.

Hieronder volgt een overzicht met meer details per type kerncentrale. De grootte van de besproken kerncentrales is aangegeven in elektrisch vermogen in megawatt (MWe). De verstrekte informatie dient ter illustratie en vormt geen basis voor vergelijking van de types in termen van economie en veiligheid.

ABWR

De ABWR is een kerncentrale met een kokendwaterreactor met een elektrisch vermogen van 1350 tot 1600 MWe. Het ontwerp is van de Amerikaanse fabrikant General Electric. ABWR staat voor *Advanced Boiling Water Reactor*. Bij de ABWR ligt de nadruk op ontwerpvereenvoudiging ten opzichte van zijn Amerikaanse generatie-II voorgangers.

Van dit ontwerp zijn in Japan vier kerncentrales in bedrijf. Gebouwd wordt er in Taiwan en Japan, in totaal drie eenheden. Het ontwerp is in 1997 gecertificeerd door de Amerikaanse US NRC. Het Amerikaanse elektriciteitsbedrijf South Texas Project Nuclear Operating Company (STPNOC) leidt een consortium dat de bouw van een ABWR voorbereidt. De ABWR is een evolutionair reactorontwerp met dezelfde veiligheidsfilosofie als de voorgaande generatie kokendwaterreactoren.

EPR⁴⁴

EPR staat voor *European Pressurized water Reactor*, een drukwaterreactor. De fabrikant is AREVA. De EPR heeft een eenheidsvermogen van ruim 1600 MWe. Het is een evolutionair reactorontwerp, uitgaand van dezelfde veiligheidsfilosofie als de meest recente series Franse en Duitse reactoren. De EPR heeft een voorziening ('core catcher', kernvanger) onder het reactorvat om bij een beschadiging van het reactorvat gesmolten splijtstof op te vangen en te koelen. De insluiting van radioactieve stoffen bij de kerncentrale blijft dan in stand en radioactieve stoffen komen niet door de fundering heen in het milieu terecht.

De eerste twee EPR's zijn momenteel in aanbouw in Finland (Olkiluoto) en in Frankrijk (Flamanville), terwijl in beide landen bouwplannen voor meer EPR's bestaan. In China gaat AREVA samen met een lokale partner twee EPR's bouwen. In de Verenigde Staten zijn bouwaanvragen voor 5 EPR's ingediend. Een aanvraag voor ontwerpcertificatie van de EPR is door de US NRC in behandeling genomen.

In het Verenigd Koninkrijk (VK) doorloopt de EPR een type-beoordelingsproces in het kader van een zogenoemde 'Generic Design Assessment'⁴⁵ van de Health and Safety Executive (HSE).

APWR

De APWR is een reactorontwerp van de Japanse fabrikant Mitsubishi Heavy Industries (MHI). APWR staat voor *Advanced Pressurized Water Reactor*. Evenals de EPR is ook de APWR een drukwaterreactor, echter met een elektrisch vermogen van 1700 MWe. Bij de APWR ligt de nadruk op hogere efficiency (39%), lager splijtstofverbruik, hogere corrosie-bestendigheid en grotere betrouwbaarheid van het ontwerp ten opzichte van de meest recent gebouwde

⁴⁴ Er is ook een kleinere EPR in ontwikkeling (circa 1000 MW). Het betreft het ATMEA project waarin AREVA en Mitsubishi Heavy Industries (MHI) participeren. ATMEA wordt een 'mid-sized PWR' genoemd, volgens de ontwikkelaars geschikt voor alle elektriciteitsnetwerken.

⁴⁵ Meer details over beoordeling van nieuwe types kerncentrales, waaronder de EPR en de AP1000, zijn ondermeer te vinden in paragraaf 3.1.1.5.

Amerikaanse drukwaterreactoren. Het APWR ontwerp heeft evenals de EPR een voorziening om bij een beschadiging van het reactorvat gesmolten splijtstof op te vangen en te koelen.

De eerste reactoren van dit type worden gebouwd in Japan (Tsuruga 3-4) en zullen omstreeks 2016 en 2017 in bedrijf worden gesteld. In de Verenigde Staten is eind 2007 door het elektriciteitsbedrijf Luminant power bij de US NRC een gecombineerde bouw- en bedrijfsvergunning aangevraagd voor een centrale met twee APWR reactoren.

AP1000

De AP1000 is een reactorontwerp van de Amerikaanse fabrikant Westinghouse, momenteel onderdeel van het Japanse Toshiba concern. AP staat voor *Advanced Pressurized water reactor*. Evenals de EPR en de APWR is ook de AP1000 een drukwaterreactor, echter met een vermogen van 1100 MW. Bij de AP1000 ligt de nadruk op het vereenvoudigen van het ontwerp ten opzichte van zijn generatie-II voorgangers. De AP1000 maakt beduidend meer dan zijn voorgangers gebruik van passieve veiligheidssystemen, zoals voor toevoer van noodkoelwater, restwarmteafvoer en koeling van het reactorgebouw.

De eerste order voor deze reactor is geplaatst door het Chinese bedrijf CNNC. In de Verenigde Staten hebben zes elektriciteitsbedrijven elk bij de US NRC een gecombineerde bouw- en bedrijfsvergunning aangevraagd voor een centrale met twee AP1000 reactoren. Begin 2006 heeft de US NRC de ontwerpcertificering van de AP1000 toegekend.

In het VK doorloopt ook de AP1000 een type-beoordelingsproces in het kader van het eerder genoemde 'Generic Design Assessment' van de HSE.

ESBWR

De ESBWR is eveneens een reactorontwerp van General Electric met een kokendwaterreactor en heeft een vermogen van 1550 MWe. ESBWR staat voor *Economic and Simplified Boiling Water Reactor*. De ESBWR maakt substantieel meer gebruik van passieve veiligheidssystemen dan de eerdere typen kokendwaterreactoren. In deze reactor circuleert het koelwater door de reactorkern niet door middel van pompen, maar door middel van natuurlijke circulatie. De Nederlandse kerncentrale Dodewaard stond, wat betreft zijn natuurlijke circulatie, model voor de ESBWR. Daarnaast heeft ook de ESBWR een 'core catcher'. In de U.S. zijn voor vier locaties gecombineerde bouw- en bedrijfsvergunningen voor dit reactortype bij de US NRC ingediend. Naar verwachting zal deze instantie de ontwerpcertificering van de ESBWR in 2010 tekenen.

HTR, Hoge Temperatuur Reactoren

De Zuid-Afrikaanse PBMR en de Chinese HTR-PM worden gerekend tot generatie III+. Beide zijn gasgekoelde hoge temperatuur reactoren (HTR), die ten aanzien van de eigenschappen van de splijtstof en de reactorkern als inherent veilig worden beschouwd. Momenteel wordt de bouw van prototypen met commerciële vermogens voorbereid. Deze twee typen reactoren zijn ontworpen om een eenvoudiger veiligheidsconcept en een hoger energetisch rendement in vergelijking met bestaande lichtwaterreactoren te realiseren.

In zowel de PBMR (160 MWe) als de HTR-PM (2x100 MWe) wordt helium als primair koelmiddel (voor koeling van de kern) en grafiet als moderator toegepast. De uitreedtemperatuur van het koelmiddel is zeer hoog, 700 tot 1000 °C in vergelijking met 325 °C bij lichtwaterreactoren. Daardoor is niet alleen een hoger energetisch rendement bij elektriciteitsproductie mogelijk, maar kan tevens de warmte van het hete gas worden toegepast in industriële processen, bijvoorbeeld voor waterstofproductie. In beide concepten geeft het opgewarmde helium zijn warmte af aan een stoomgenerator. De stoom gaat naar een stoomturbinegenerator waarmee elektriciteit wordt opgewekt. Vanwege de kleine vermogens zijn deze HTR-type reactoren geschikt voor decentrale energieopwekking.

De splijtstof die in deze reactoren wordt gebruikt, is van een geheel ander ontwerp dan die van lichtwaterreactoren en bestaat uit zogenoemde Triso-deeltjes. Een dergelijk deeltje bestaat uit

een kern van uranium, omgeven door vier keramische lagen. De Triso-deeltjes zijn gasdicht en ontworpen om bestand te zijn tegen zeer hoge temperaturen (tot 1600 °C). Ze zijn omgeven met grafiet en samengebond tot balvormige splijstofelementen ter grootte van een tennisbal. Een splijstofbal bevat ongeveer 15.000 Triso-deeltjes. De reactorkern bestaat uit een los bed van deze splijstofballen.

De veiligheidsfilosofie van HTR's steeit in grote mate op hun inherente veiligheids-eigenschappen. Dit wordt bereikt door onder meer de eigenschappen van de splijstof, een lage vermogensdichtheid van de kern en het gebruik van materialen die tegen hoge temperaturen bestand zijn.

De ontwikkelingen zijn in de 60er jaren in Europa en de Verenigde Staten⁴⁶ begonnen. Europese HTR's zijn gebouwd in het VK bij Winfrith (de DRAGON reactor) en in Duitsland bij Jülich (de AVR⁴⁷) en bij Hamm-Uentrop (de THTR). Met deze prototypes is een aantal tests uitgevoerd. De genoemde reactoren zijn reeds lang geleden uit bedrijf genomen, wegens strategische keuzes in het Duitse nucleaire onderzoeksprogramma (AVR) enerzijds en een combinatie van technische problemen en politieke factoren (THTR) anderzijds. Tegenwoordig zijn er weer kleine prototypes in bedrijf, maar nu in Azië. Sinds 1998 is er in Japan de HTTR in bedrijf. In China is sinds 2003 de HTR-10 operationeel. De grote initiatieven om tot vermogensreactoren te komen zijn te vinden in China en Zuid-Afrika.

HTR-PM staat voor *High Temperature Reactor Pebble-bed Module*. De HTR-PM heeft een eenheidvermogen van ongeveer 2x100 MWe. Deze reactor wordt momenteel ontwikkeld door de Chinese fabrikant Chinese Nuclear Engineering and Construction Corporation (CNECC) in samenwerking met het Institute of Nuclear Energy Technology dat een kleine testreactor van hetzelfde type bedrijft. Het Chinese elektriciteitsbedrijf China Huaneng Group zal de eerste HTR-PM gaan afnemen. De eerste HTR-PM demonstratiecentrale moet in 2012 voltooid zijn. Als vestigingsplaats is gekozen voor Rongcheng in de provincie Shandong.

PBMR staat voor *Pebble Bed Modular Reactor*. De PBMR is een modulair reactorontwerp voor een kerncentrale van ongeveer 160 MWe per eenheid. De ontwikkeling van dit ontwerp door de Zuid-Afrikaanse fabrikant PBMR (Pty) Ltd is in een gevorderd stadium. Het is de bedoeling dat een centrale gaat bestaan uit een aantal van deze reactoren op één vestigingsplaats, bestuurd vanuit één centrale regelzaal. Het PBMR project wordt ondersteund door de Zuid-Afrikaanse overheid. Het omvat de bouw van zowel een demonstratiereactor (160 MWe/400 MWth) naast de bestaande kerncentrale bij Koeberg, als een fabriek voor splijstofballen in de buurt van Pretoria. De financiële crisis heeft het land echter niet onberoerd gelaten en daarmee ook het ontwikkelingswerk m.b.t. de PBMR. Hierdoor is de opleverdatum van de eerste reactor al enkele keren uitgesteld en is momenteel onzeker⁴⁸.

In 2008 heeft PBMR in samenwerking met NESCA⁴⁹ splijstofballen gemaakt. Deze zullen als onderdeel van een testprogramma⁵⁰ in Rusland en in Nederland (in de HFR) worden bestraald.

Alle in deze paragraaf genoemde reactortypen zijn vermeld in Tabel 2.

⁴⁶ Voor de VS zijn te noemen de testinstallaties van Peach Bottom en Fort Saint Vrain.

⁴⁷ In recente publicaties van R. Moormann (Forschungs Zentrum Jülich, FZJ) wordt verslag gedaan van een heranalyse van de splijstof in de AVR. Moormann concludeert dat een kleine fractie van de splijstofballen in de AVR aan zeer hoge temperaturen is blootgesteld. Daarbij zijn radioactieve splijtingsproducten door de keramische lagen heen naar buiten getreden. Volgens recent werk van FZJ en PBMR (Pty.) Ltd. betreft het hier een combinatie van een partij splijstofballen van lage kwaliteit uit de beginperiode van de AVR, en een grotere bypassstroom van het koelgas dan oorspronkelijk voorzien. De conclusie van Moormann, dat voor toekomstige HTRs een gasdicht containment nodig zou zijn wordt door hen dan ook niet gedeeld. Door de jaren heen is ook het productieproces van deze splijstofballen aanzienlijk verbeterd.

⁴⁸ Zuid-Afrika heeft moeite de ambities t.a.v. de uitbreiding van het elektriciteitsnet – financieel dekkend – waar te maken. Door financiële beperkingen bij de overheid en de grootste producent van elektriciteit, Eskom, lijkt de ontwikkeling van de PBMR vertraagd te worden.

⁴⁹ NESCA: South African Nuclear Energy Corporation

⁵⁰ NucNet News in Brief / No. 116 / 6 September 2009, PBMR Fuel Spheres Are 'A First For Africa'

Tabel 2 Overzicht beschouwde reactor typen

Generatie	Type voorbeelden	Vermogen [MWe]	Wanneer beschikbaar
Generatie III	EPR	1600	Commercieel nu beschikbaar
	APWR	1700	
	ABWR	1350 – 1600	
	AP1000	1100	
	ESBWR	1550	
Generatie III+	PMBR (Zuid-Afrika)	160	Nu voorbereiding, prototypen
	HTR-PM (China)	200	Beschikbaar rond 2030
Generatie IV			Beschikbaar na 2040?

De definitie van generaties sluit aan bij die uit het rapport 'Fact Finding Kernenergie'⁵¹

2.3.2 Ontwikkelingen

2.3.2.1 Europese harmonisatie initiatieven

Enkele grote Europese elektriciteitsproducenten hebben zich verenigd in het EUR initiatief. Dit is het opstellen van de 'European Utility Requirements' (EUR) document. Dit initiatief heeft tot doel binnen Europa de omstandigheden te harmoniseren en stabiliseren waaronder de komende tientallen jaren gestandaardiseerde lichtwaterreactoren (LWR) ontworpen en ontwikkeld kunnen worden. In een Europese markt kan dit voordelen bieden voor de concurrentiepositie van nucleaire energie. Wereldwijd verwachten de deelnemers een verdere harmonisatie van de ontwerpbasis van volgende generaties centrales.

Naast energieproducenten, zijn enkele consultancy en engineering firma's lid van het EUR-consortium, waaronder ook het Nederlandse NRG. Enkele van de in dit rapport behandelde generatie-III ontwerpen zijn door het consortium beoordeeld in het kader van EUR en blijken aan de eisen te voldoen. Het zijn de ABWR, AP1000 en de EPR.

De toezichthouders van een aantal 'nucleaire' landen met intenties tot nieuwbouw van kerncentrales hebben zich verenigd in het MDEP⁵² (Multinational Design Evaluation Programme) initiatief. Deze werken momenteel samen bij o.a. de beoordeling van de AP1000 en de EPR. Een impliciet doel van de samenwerking in het MDEP is om in de toekomst tot een geharmoniseerde praktijk van vergunningverlening te komen. Voorts kunnen via samenwerking de beschikbare kennis en middelen optimaal benut worden. Essentieel uitgangspunt is wel, dat de nationale toezichthouders soeverein blijven in al hun besluiten, ongeacht de samenwerking in MDEP.

Zie ook paragraaf 3.1.1.5 voor meer informatie over beoordelingstrajecten van nieuwe typen kerncentrales en de samenwerking daarbij tussen toezichthouders.

2.3.2.2 Small and Medium size Reactors (SMRs)

In sommige landen wordt ter beperking van de kosten van energieopwekking ondermeer de 'economy of scale' gebruikt. Dat wil zeggen dat bij centrales met grotere vermogens de kosten per MW lager kunnen zijn. Andere kostenbesparende factoren zijn o.a. stroomlijnen van de constructiemethoden, beperken van de bouwtijd, standaardiseren en in series bouwen, vereenvoudigen van ontwerpen, efficiënte inkoop en natuurlijk nauw samenwerken met relevante overheidsinstanties, zoals de vergunningverleners.

Bij veel evolutionaire grote reactoren speelt de 'economy of scale' een grote rol. Maar niet voor alle markten is dit een goede optie. Sommige elektriciteitsnetten hebben meer behoefte aan kleinere of middelgrote centrales. Ontwerpen van zogenoemde SMRs bieden dan een oplossing. Hier wordt economisch voordeel voornamelijk behaald door vereenvoudiging van het ontwerp

⁵¹ Fact Finding Kernenergie t.b.v. de SER-Commissie Toekomstige Energievoorziening, ECN-B—07-015, 2007

⁵² In MDEP participeren toezichthouders uit de OESO-landen Canada, Finland, Frankrijk, Japan, Zuid-Korea, het Verenigd Koninkrijk en de Verenigde Staten, en uit de landen China, Russische Federatie en Zuid-Afrika.

en het gebruik van modulaire, in fabrieken te maken systemen, en bijgevolg verkorting van de bouwtijd. Indien meerdere kleine units worden gebouwd, is er meer 'economy of series production' dan 'economy of scale'. De HTR-achtige typen centrales passen in het SMR concept. Er zijn overigens ook andere typen centrales in ontwikkeling, die in dit concept passen. Echter geen daarvan is zover ontwikkeld dat dat behandeling in dit rapport zou rechtvaardigen.

2.3.2.3 Generatie IV energiesystemen

In 2001 is door de belangrijkste landen op nucleair gebied het Generatie IV Forum (GIF) opgericht. Het GIF heeft tot doel om gezamenlijk de toekomstige nucleaire 'energiesystemen' te ontwikkelen. Met energiesystemen wordt bedoeld dat bij generatie IV het niet enkel om de innovaties in reactortechnologie gaat, maar ook om de bijbehorende splijtstofcyclus. Deze cyclus is veelal voorzien als gesloten – dus met opwerking. Er is daarbij ondermeer aandacht voor vormen van recycling, waarbij plutonium niet in afgescheiden toestand beschikbaar komt. Dit kan voordelen bieden in het kader van non-proliferatie.

Het GIF bestaat uit de volgende 13 landen en landencombinaties: Argentinië, Brazilië, Canada, China, Euratom, Frankrijk, Japan, Korea, Russische Federatie, Zuid-Afrika, Verenigd Koninkrijk, Verenigde Staten en Zwitserland. Het forum heeft een 'roadmap' gemaakt voor de ontwikkeling van zes veelbelovende reactorconcepten.

Het GIF heeft zes reactortypen gedefinieerd, waarvan zeker de helft als 'snelle reactor' zal worden bedreven⁵³. In het spectrum van snelle neutronen moet het mogelijk zijn om efficiënter componenten uit gebruikte splijtstof te recyclen en de afvalproductie te minimaliseren. Twee andere thermische reactoren kunnen efficiënt (thermisch rendement > 60%) electriciteit (superkritisch watergekoelde reactor) en/of proceswarmte (bij de VHTR⁵⁴) produceren. Een zesde model gaat uit van een circulerend vloeibaar splijtstofmengsel, dat bijzondere flexibiliteit biedt voor de recycling van splijtstof in een min of meer continu proces. Qua reactortechnologie wijkt de generatie IV af van de gangbare generatie-II en -III centrales.

De ontwikkeling van de generatie IV energiesystemen (dus reactoren met hun splijtstofcyclus) beoogt verbeteringen op de terreinen: efficiency, proliferatiebestendigheid en veiligheid, als ook een vermindering van de afvalproductie. De verschillende generatie IV energiesystemen kunnen op deze terreinen verschillend gaan presteren, mede afhankelijk van de richting waarin ze worden ontwikkeld.

Doel van het GIF is om voor een aantal reactorconcepten de stadia van concept ontwikkeling tot en met demonstratie te doorlopen zodat vanaf 2030 op basis van deze reactorconcepten nieuwe commerciële reactoren op de markt kunnen worden gebracht.

In de optiek van het GIF zullen de vierde generatie reactoren dus niet alleen voor grootschalige elektriciteitsvoorziening worden toegepast, maar ook voor andere toepassingen:

- productie van waterstof en synthetische brandstoffen,
- industriële proceswarmte,
- warmtekrachtkoppeling (WKK),
- tertiaire oliewinning.

2.3.2.4 Niet-nucleaire ontwikkelingen van belang voor kerncentrales

Een kerncentrale bestaat voor een groot deel uit niet-nucleaire techniek. Belangrijke componenten zijn de turbine en de generator. De techniek van deze componenten zien we ook in de met fossiele brandstof gestookte centrales. Innovaties op dit gebied hebben de efficiency van elektriciteitscentrales verhoogd. Hiervan profiteren ook de kerncentrales. De kerncentrale in Borssele had oorspronkelijk een netto vermogen van 450 MWe. In 2006 zijn de vier turbines

⁵³ Het zijn de Gas-cooled Fast Reactor (GFR), de Lead-cooled Fast Reactor (LFR) en de Sodium-cooled Fast Reactor (SFR).

⁵⁴ De VHTR, de Very High Temperature Reactor, kan worden gezien als een doorontwikkeling van de eerder genoemde hoge temperatuur reactoren van generatie III+.

van de centrale vervangen door moderne types, waardoor het ontwerpvermogen steeg naar 485 MWe.

Veel beheerders van kerncentrales overwegen een dergelijke ‘power uprate’ of hebben die al uitgevoerd. Het vervangen of moderniseren van turbines is één van de twee belangrijkste mogelijkheden om het ontwerpvermogen te verhogen. De tweede optie is het verhogen van het thermisch vermogen dat in de reactorkern wordt gegenereerd. Dat is overigens wel weer nucleaire techniek.

Vervanging of modernisering van turbines, zoals in Borssele en elders is gebeurd, leidt tot een efficiëntere elektriciteitscentrale. Op die wijze gemoderniseerde centrales leveren meer kWh elektrische energie per gebruikte ton splijtstof. Door dergelijke centrales wordt ook minder afval geproduceerd per opgewekte hoeveelheid elektrische energie.

2.3.3 Mogelijke randvoorwaarden m.b.t. nieuwe kerncentrales

Voorwaarden die mogelijk aan een te kiezen type kerncentrale in Nederland te stellen zijn, zijn ondermeer:

- de reactor is (wat betreft veiligheid) tenminste generatie III (zie §2.3.1.2),
- de reactor is van een beproefd type, waarmee internationaal ervaring is opgedaan⁵⁵ - dit moet overigens aanpassingen aan de Nederlandse situatie niet uitsluiten,
- de reactor heeft bij voorkeur een door de Nederlandse overheid goed te beoordelen goedkeuringsproces doorlopen⁵⁶, zie ook §1.1.5 en §2.3.2.1,
- ernstige geloofwaardige ongevallen moeten beheerst kunnen worden zonder grote gevolgen voor de omgeving⁵⁷, dat wil zeggen dat buiten het terrein van de kerncentrale geen ingrijpende maatregelen zoals evacuatie nodig zijn.
- het ontwerp van de centrale biedt bescherming tegen ongevaloorzaken van buitenaf, inclusief doelbewuste verstoring door derden.

Ten aanzien van de initiatiefnemer tot het bouwen van een kerncentrale zijn ook eisen te stellen. Die komen in hoofdstuk 4 aan de orde. Hierbij spelen ook financiële randvoorwaarden een rol⁵⁸.

Van deze voorwaarden speelt in de discussie over de kernenergiescenario's vooral de eerste een rol van betekenis: voor elk scenario moet gekeken worden met welke typen kerncentrales ten tijde van het in elk scenario veronderstelde moment van de bouw voldoende ervaring is om deze als beproefd te kunnen aanmerken. Inpassing in het elektriciteitsnet moet via het Structuurschema Elektriciteitsvoorziening (SEV) zijn gewaarborgd.

Het voorhanden zijn van voldoende financiële middelen bij de exploitant wordt vooral bepaald door de markt, maar is beïnvloedbaar via voorwaarden aan financiering van de toekomstige ontmanteling (zie paragraaf 2.4.3).

Bij scenario 1a worden geen nieuwe kerncentrales gebouwd en zijn nadere voorwaarden niet relevant.

Met betrekking tot scenario 1b zouden met de in dit rapport daarvoor gekozen definitie van inherent veilig (zie §1.1.4, interpretaties 2&3) in principe de reactoren van generatie III+ tot de mogelijkheden behoren⁵⁹.

⁵⁵ Het alternatief, waarbij ook experimentele ontwerpen mee beschouwd zouden worden, is meer passend bij een actief prokernenergie overheidsbeleid.

⁵⁶ Hiermee wordt bedoeld op de afbakening in Hoofdstuk 1 : Verenigde Staten en West-Europa, met de onderbouwing die in de ‘Afbakening’ gegeven is.

⁵⁷ Er is daarvoor geen voorbereiding van preventieve maatregelen (evacuatie, schuilen, jodiumprofylaxe) nodig.

⁵⁸ Mogelijke voorwaarden t.a.v. het afdekken van de toekomstige ontmantelingskosten komen in §2.4.3 aan de orde.

⁵⁹ Voor sommige van de eerder behandelde generatie III reactoren, moet nader onderzoek uitwijzen of zij bij een andere interpretatie van inherent veilig voldoen. Indien definitie no.4 uit §1.1.4 van inherent veilig wordt toegepast (onder geen enkele omstandigheid noodzaak tot evacuatie), lijken er ook generatie III reactoren te zijn die er aan kunnen voldoen.

Met betrekking tot de PBMR en de HTR-PM, die inherente veiligheidseigenschappen hebben, ontbreekt vooralsnog internationale ervaring en kan niet over een “beproefd” type gesproken worden. Ervaring in het buitenland zal moeten leren hoe het met de vergunbaarheid en bedrijfszekerheid van deze reactoren gesteld is. Ergens rond 2030 zouden de ontwikkelingen zo kunnen zijn, dat deze reactoren in Nederland als voldoende beproefd beschouwd kunnen worden. Dat betekent dat er dan in het buitenland voldoende ervaring is opgedaan (beoordelingsproces, bouw, inbedrijfstelling) met dit type reactor⁶⁰.

Reactoren van generatie IV zouden rond 2040 commercieel beschikbaar kunnen zijn. Op dit moment is nog niet vast te stellen of één daarvan over die mate van inherente veiligheid zal beschikken als de genoemde hoge temperatuur reactoren.

Met betrekking tot beide overige scenario’s zijn er in 2033 respectievelijk 2020 voldoende beproefde kerncentrales van generatie III verkrijgbaar. Na 2033 zouden mogelijk ook generatie III+ (HTR-achtige) centrales beschikbaar kunnen zijn. Bij scenario 3 zouden in 2040 eventueel ook kerncentrales van generatie III+ en misschien IV over voldoende mate van beproefdheid kunnen beschikken en is de keuzevrijheid dus nog groter.

Tabel 3 Mogelijke randvoorwaarden aan nieuwe kerncentrales

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a	Scenario 1b	Scenario 2	Scenario 3
Kerncentrales Type, kenmerken	Beproefd type, internationale ervaring, geen grote consequenties ongevallen voor omgeving, bescherming tegen dreiging van buiten, financiële middelen	■ KCB voldoet aan de huidige regelgeving	► Inherent veilig: $\geq 2040^*)$: Gen III+ ? > 2040: Gen IV?	► Invulling door 2033: Gen III	► Invulling door: 2020: Gen III 2033: Gen III 2040: Gen III/III+ > 2040: Gen IV?

Legenda: ► is een gevolg, ■ is een opmerking. Zonder symbooltje: een mogelijke voorwaarde.

*) Bij voorspoedige ontwikkeling van bijvoorbeeld de HTR-technologie in China en elders is een vroegere datum voorstelbaar.

2.4 Ontmanteling

Tijdens productiebedrijf van een kerncentrale zullen constructiematerialen, zoals het reactorvat, biologisch schild en dergelijke geactiveerd raken. Deze radioactiviteit is gefixeerd in het materiaal. Ook het koelmiddel kan radioactieve stoffen bevatten, die grotendeels door koelmiddelbehandelingssystemen verwijderd worden. De radioactieve stoffen die tijdens de bedrijfsvoering ontstaan zullen zich deels verspreiden in systemen zoals ventilatiekanalen en koelmiddelleidingen. Na beëindiging van de bedrijfsvoering zal door natuurlijk radioactief verval de activiteit van de gevormde radioactieve stoffen geleidelijk weer afnemen. In welke mate en met welke nucliden de systemen geactiveerd en besmet raken, hangt af van zaken die al in het ontwerp vastliggen én van het gebruik van de reactor:

- Ontwerp: materiaalsamenstelling van de installatie en geometrie van de reactor en de neutronenflux;
- Gebruik: geproduceerd vermogen, gebruiksduur en onderhoudsregime.

⁶⁰ De kans lijkt klein dat een dergelijke reactor dan al een vergunningsprocedure in een westers land heeft doorlopen. De medewerking van westerse landen aan de ontwikkeling van PBMR en HTR-PM en – daarmee samenhangend – de systeembekendheid is echter zo groot, dat zo’n centrale na 2033 mogelijk toch geaccepteerd zou kunnen worden.

2.4.1 Stand van zaken

Voor het ontmantelen⁶¹ van een kerncentrale na gebruik zijn er twee opties mogelijk:

1. directe ontmanteling:

Bij directe ontmanteling (ook wel snelle volledige ontmanteling genoemd) wordt dit proces zo snel mogelijk doorlopen. Na het definitief beëindigen van de elektriciteitsproductie, worden de splijtstofelementen uit het reactorvat verwijderd en, na een afkoelperiode, gereedgemaakt voor afvoer. Het bedrijfsafval wordt verwijderd. Uit bedrijf genomen systemen worden zoveel mogelijk van radioactieve stoffen ontdaan ('gedecontamineerd'). Daarna worden systemen grondiger gereinigd en gedemonteerd. Het afval wordt geclassificeerd, geconditioneerd en verpakt en afgevoerd. Dit concept is onder andere bij de Duitse Greifswald centrale gevolgd.

2. uitgestelde ontmanteling:

Bij uitgestelde ontmanteling worden, na verwijdering van het bedrijfsafval, de gebouwen en resterende installaties waarmogelijk of nodig gedecontamineerd en geschikt gemaakt voor een wachtperiode van enkele tientallen jaren. Na de wachtperiode worden de resterende systemen verder ontmanteld. Dit concept wordt onder andere toegepast op de kerncentrale in Dodewaard, maar wordt heroverwogen.

In algemene zin is niet zonder meer te zeggen welke ontmantelingsstrategie (direct of uitgesteld) de laagste dosisbelasting van de medewerkers zal opleveren. Dit moet per geval bekeken worden. Veel hangt af van de toestand en het ontwerp van de installatie, de te volgen aanpak, het te gebruiken gereedschap en de kennis en kunde van het in te zetten personeel.

Door een wachtperiode van enkele jaren te nemen tussen het einde van de bedrijfsvoering en het begin van de feitelijke ontmanteling, zal de intensiteit van de straling in de centrale afnemen. Dit kan de stralingsbelasting van de medewerkers beperken. Echter ook na een wachtperiode van 40 jaar is het dan toch nog steeds niet mogelijk om alle werkzaamheden zonder op afstand bestuurd gereedschap uit te voeren⁶².

Uit andere studies⁶³ blijkt dat bij directe ontmanteling zowel de hoeveelheid afval als de dosisbelasting voor de medewerkers toch lager kan zijn dan bij uitgestelde ontmanteling. Eén van de redenen hiervoor is dat er bij directe ontmanteling mensen ingezet worden die de installatie goed kennen. Deze medewerkers kunnen daardoor efficiënter werken waardoor de tijd die moet worden doorgebracht in een stralingsveld kleiner wordt. Ook zijn ze goed op de hoogte op welke plekken ze een hoge stralingsintensiteit kunnen verwachten.

Het uitstellen van de ontmanteling met enkele tientallen jaren heeft slechts een beperkte invloed op de hoeveelheid radioactief afval. Hoewel een deel van de radioactiviteit door verval verdwenen is, blijven de concentraties langer levende radioactieve stoffen op een dusdanig niveau, dat slechts een beperkte hoeveelheid radioactief afval onder de vrijgavenormen komt.

Tijdens ontmanteling worden emissies van radioactieve stoffen en straling op dezelfde wijze gecontroleerd als tijdens het bedrijf van de reactor. Bij de ontmanteling ontstaat voornamelijk laag- en middelradioactief afval. Dit afval wordt op dezelfde wijze verwerkt als het laag- en middel radioactief afval dat bij het bedrijven van de kerncentrale ontstaat.

⁶¹ Bij ontmanteling wordt na verwijdering van alle radioactieve stoffen – ook wel aangeduid als radiologische decommissioning – van de kerncentrale de resterende bebouwing afgebroken en het terrein vrijgegeven. Soms zijn de gebouwen nog voor andere doelen inzetbaar. Voorbeelden daarvan zijn de kerncentrale Kalkar – nu in gebruik als pretpark en specifiek de met aluminium beklede koepel van een onderzoeksreactor te Garching. De koepel is bewaard gebleven voor de huisvesting van experimentele opstellingen. Het wordt vanwege zijn vorm ook gezien als 'Denkmal' (monument). Een gestileerde vorm van deze koepel is zelfs onderdeel van het stadswapen van Garching.

⁶² NEA/RWM/RWPD, 3 Achieving the goals of the decommissioning safety case. Status report of the NEA WorkingGroup on Decommissioning and Dismantling, NEA, Paris, 2005

⁶³ TECDOC-1478, Selection of decommissioning strategies: Issues and factors. IAEA, 2005. Zie hierin de casus Greifswald.

2.4.2 Ontwikkelingen

Het ontmantelen van een kernreactor is een kostbaar project. Er zijn geen eenvoudige (en betrouwbare) vuistregels te geven voor een kostenschätzung. Vele factoren bepalen de uiteindelijke kosten. Analyses van afgeronde ontmantelingsprojecten laten zien dat er verschillen zijn in de karakteristieken van de ontmantelde installaties en dat de aanpak verschilt van land tot land, en van project tot project. Voorts is er variabiliteit in de kosten door verschillen in ‘mensuurtarieven’, kosten van afvalbeheer, classificatie van afvalsoorten en vrijgavecriteria. In een NEA-rapport⁶⁴ is getracht een groot aantal kostenschattingen voor ontmantelingsprojecten te vergelijken, met de nadruk op de redenen voor de geconstateerde variabiliteit in die kosten. In de studie bleven de kosten voor vrijwel alle soorten watergekoelde reactoren beneden de 500 USD/kWe.

Tegenwoordig wordt, meer dan vroeger, al tijdens de ontwerpfaserekening gehouden met de latere ontmanteling. Door geschikte keuze van materialen en de geometrie van de reactor, als ook optimalisatie van het bestralingspatroon kan een lagere activering en betere decontamineerbaarheid worden verkregen dan in oudere centrales gebruikelijk is. Ook kan in het ontwerp van het gebouw rekening gehouden worden met de toekomstige ontmanteling daarvan. Dit soort overwegingen in de ontwerpfaserekening kunnen tot besparingen op de (toekomstige) ontmantelingskosten leiden.

De regelgeving op het gebied van ontmanteling van kerncentrales is in Europa, en dus ook in Nederland in ontwikkeling. Het huidige Nederlandse beleid om te kiezen voor directe ontmanteling zal worden vastgelegd in het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen. De gewijzigde Kernenergiewet biedt hiervoor de basis. Ook zal financiële zekerheid worden vereist voor de kosten van ontmanteling van kerncentrales, wat nu nog binnen vergunningen wordt afgedekt. De wijze waarop moet worden voorzien in die financiële zekerheid is op dit moment nog niet in detail bekend⁶⁵. Voor alle nieuwe reactoren zal worden geëist dat er in het ontwerp rekening wordt gehouden met de uiteindelijke (directe) ontmanteling.

Ook de aangekondigde aanpassingen in de Europese regelgeving, onder meer op het gebied van vrijstelling- en vrijgavenormen, zullen gevolgen hebben voor de praktijk van het ontmantelen. Op dit moment is er geen algemeen geaccepteerde methode voor bulkopslag van laag geactiveerd ontmantelingafval in Nederland beschikbaar. Het is van belang dat COVRA en de Nederlandse overheid daartoe tijdig beleid en mogelijkheden creëren.

Voor de huidige studie is het prematuur om in te gaan op de praktische aspecten van de ontmanteling van de verschillende typen generatie III, III+ en IV reactoren die op de markt of in ontwikkeling zijn. Specifieke materialen die in sommige nieuwe reactoren toegepast kunnen worden, kunnen specifieke problemen bij decommissioning geven, die niet bij de meest voorkomende BWR en PWR reactoren van generatie II voorkomen. Voorbeelden zijn o.a.: grafiet als moderator (Wigner energie) en vloeibaar natrium als koelmiddel (chemische eigenschappen). Echter, er zijn lopende ontmantelingsprojecten waarin op dit moment al aan goede oplossingen wordt gewerkt. Voorbeelden zijn te vinden bij experimentele opstellingen in Ispra (natrium) en o.a. de ontmanteling van Magnox reactoren (grafiet).

2.4.3 Mogelijke randvoorwaarden t.a.v. ontmanteling

Met betrekking tot het aspect ontmanteling zijn er geen fundamentele verschillen tussen de in deze studie te beschouwen kernenergiescenario's. Verschillen ontstaan alleen daarin, dat de ontwikkeling van beleid en de vastlegging daarvan in wet- en regelgeving met betrekking tot ontmanteling (wijze waarop, financiële zekerstelling) tijdig moet zijn afgerond. Tijdig betekent:

⁶⁴ Decommissioning Nuclear Power Plants – Policies, Strategies and Costs, NEA, 2003

⁶⁵ Suggesties hiervoor zijn vastgelegd in een adviesrapport: ‘Financiële Zekerheidsstelling Kernenergiewet’, KPMG/NRG, 2006

liefst voor het moment dat een vergunningsaanvraag voor de bouw van een kerncentrale wordt ingediend en tenminste vóór de overheid een besluit neemt over zo'n aanvraag. Dat geeft alleen tijdsdruk bij scenario 3, waarin al in 2020 een nieuwe kerncentrale verwacht wordt.

Met het oog op de komst van Europese richtlijnen voor vrijgave- en vrijstelling, zou de overheid beleid en voorzieningen moeten realiseren voor de opslag van laagactief bulkafval.

Tabel 4 Mogelijke randvoorwaarden aan ontmanteling

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a Alg. randvoorw. +	Scenario 1b Alg. randvoorw. +	Scenario 2 Alg. randvoorw. +	Scenario 3 Alg. randvoorw. +
Ontmanteling	Wet en regelgeving ten aanzien van de wijze van ontmanteling	Geen ontwikkeling beleid of uitbreiding wet- en regelgeving ten aanzien van ontmanteling nodig	Keuze voor directe of uitgestelde ontmanteling rond 2030 ⁶⁶ ■ Wetgeving is al geactualiseerd.	Keuze voor directe of uitgestelde ontmanteling voor 2026 ⁶⁷ ■ Wetgeving is al geactualiseerd.	Keuze voor directe of uitgestelde ontmanteling voor 2013 ⁶⁸ ■ Wetgeving is al geactualiseerd.
	Regeling treffen t.a.v. bulkopslag laag actief afval uit ontmanteling	Nodig voor 2033	Nodig rond 2030	Nodig rond 2026	Nodig rond 2013
	Financiële zekerheidsstelling t.a.v. ontmantelingskosten	■ Is geregeld voor huidige centrales	Financiële zekerheidsstelling borgen rond 2030 ■ Uitwerking is al voorbereid.	Financiële zekerheidsstelling borgen voor 2026 ■ Uitwerking is al voorbereid	Financiële zekerheidsstelling borgen voor 2013 ■ Uitwerking is al voorbereid

Legenda: ► is een gevolg, ■ is een opmerking. Zonder symbooltje: een mogelijke voorwaarde.

2.5 Back-end: eindverwerking radioactief afval en gebruikte splijstof

Iedere industrie produceert naast de direct gewenste producten, als nevenproduct reststoffen die als afval moeten worden beschouwd, indien deze niet hergebruikt worden. Nucleaire faciliteiten zoals kerncentrales, maar ook andere faciliteiten waarin radioactieve stoffen worden gebruikt, zoals nucleaire laboratoria en ziekenhuizen, produceren als reststoffen ondermeer radioactief afval. Ook bij de ontmanteling van nucleaire installaties ontstaat radioactief afval. De hoeveelheid radioactief afval die ieder jaar in Nederland wordt ingezameld, wordt overigens qua volume gedomineerd door niet-kernenergie gerelateerd afval.

Gebruikte splijstof is een aparte klasse reststoffen die door sommigen als afval wordt gezien, maar door anderen als grondstof voor nieuwe splijstof. Via de eerder beschreven opwerkroute (o.a. in paragraaf 2.1) kan weer plutonium en uranium teruggewonnen worden. Wat resteert (circa 4%) zijn splijtingsproducten en actiniden, die momenteel als hoogactief afval behandeld worden en die niet worden hergebruikt in de splijstofcyclus.

Deze paragraaf behandelt de stand van zaken en de ontwikkelingen ten aanzien van het beheer van radioactief afval en gebruikte splijstof en besluit met mogelijk te stellen randvoorwaarden, bovenop die al bij wet geregeld zijn.

2.5.1 Stand van zaken

2.5.1.1 Beleid en voorzieningen in Nederland

In Nederland is bij wet geregeld dat het radioactieve afval alleen door een erkende inzamelaar mag worden ingenomen. De COVRA⁶⁹ in Zeeland is de enige erkende inzamelaar. De verpakkingen waarin het afval aan COVRA wordt aangeboden zijn voorgeschreven door COVRA. Zonodig wordt het afval door COVRA verwerkt en verpakt en vervolgens wordt het geconditioneerde afval opgeslagen. Voor (zeer) hoog radioactief afval is er een speciaal

⁶⁶ t.b.v. vervanging Borssele; commercieel beschikbaar v.a. 2030

⁶⁷ rekening houdend met geraamde duur ontwikkeling opvolger Borssele van ca. 7 jaar voorafgaand aan 2033

⁶⁸ rekening houdend met geraamde duur ontwikkeling van nieuwe kerncentrale van ca. 7 jaar voorafgaand aan 2020

⁶⁹ COVRA, Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval

bunkerachtig gebouw, het zogenoemde HABOG⁷⁰. Met de acceptatie van het afval verkrijgt COVRA het eigendom en daarmee de eindverantwoordelijkheid voor dit afval.

Het beleid is voornamelijk gebaseerd op de nota Radioactief Afval uit 1984, waarin twee belangrijke zaken werden geregeld:

- 1) de langdurige interim opslag van in Nederland geproduceerd radioactief afval (bij COVRA),
- 2) een overheidsstrategie t.a.v. het onderzoek naar de 'eindberging' van radioactief afval.

Op het terrein van COVRA wordt al het radioactief afval bovengronds opgeslagen met de intentie tot een langdurige (minstens 100 jaar) opslag. De totale hoeveelheid radioactief afval die naar verwachting de komende honderd jaar ontstaat⁷¹ kan ruimschoots worden opgeslagen op het COVRA terrein, dat momenteel zo'n 20 hectare groot is. Meer uitbreiding van de opslagcapaciteit op het huidige terrein is in principe mogelijk. Opslagloodsen voor laag- en middelactief afval kunnen eenvoudig worden bijgebouwd. Het HABOG is bedoeld voor de ontvangst en opslag van 1) gebruikte splijtstof van onderzoeksreactoren en 2) hoogactief afval afkomstig van het opwerkingsproces. Dit gebouw kan relatief eenvoudig modulair uitgebreid worden voor opslag van meer opwerkingsafval. Na de opslagperiode kan al het afval in een geschikte ondergrondse berging worden ondergebracht, een zogenoemde 'eindberging'.

Mocht op enig moment daadwerkelijk besloten worden het afval ondergronds in een zogenoemde 'eindberging' of 'eindbergingsfaciliteit' te plaatsen, dan moet dat volgens het huidige beleid 'terugneembaar' gebeuren. Dat wil zeggen dat het mogelijk moet zijn het uit de eindberging terug te halen. Maar het is uiteindelijk aan toekomstige generaties om te beslissen of en waar er over 100 jaar een eindbergingsfaciliteit wordt gerealiseerd.

Wel kunnen nu de juiste randvoorwaarden worden geschapen voor de komende generaties. Dit houdt in: (1) verantwoord bovengronds beheer van het afval bij COVRA, inclusief het geschikt maken van het afval voor eindberging (conditionering), (2) voortzetting van het onderzoek naar terugneembare berging van dit afval in de diepe ondergrond en (3) opbouwen van voldoende financiële middelen voor het realiseren van een veilige eindbergingsfaciliteit voor dit afval na 100 jaar.

2.5.1.2 Financiering eindberging

In de CORA⁷² onderzoeken is een inschatting gemaakt van de kosten voor realisatie van een eindbergingsfaciliteit. De eindberging wordt betaald met geld ingebracht door alle producenten van radioactief afval ('de vervuiler betaalt'). Een deel van de nucleaire industrie heeft in het verleden ter dekking van deze kosten een storting gedaan in een speciaal fonds bij COVRA. De gelden in dit fonds worden belegd bij het ministerie van Financiën. Door renteontwikkeling zal dit over 100 jaar zijn aangegroeid tot het benodigde bedrag. Daarnaast wordt telkens bij aflevering van radioactief afval aan COVRA door alle producenten van radioactief afval een bijdrage aan dit fonds betaald. Met de toename van de hoeveelheid afval zal dus ook het beschikbare geld in het fonds toenemen. De grootte van de bijdrage is zodanig vastgesteld dat in de toekomst voldoende middelen aanwezig zullen zijn om een eindberging te realiseren. De financiële last wordt dus niet bij toekomstige generaties gelegd.

Volgens de meest recente kostenschattings bedragen de kosten van een geologische eindberging in Nederland €₁₉₉₄ 1,274 miljard. COVRA hanteert momenteel een bedrag van €₂₀₀₉ 2 miljard.

De kosten van een eindberging nemen niet proportioneel toe met de hoeveelheid te bergen afval. Bepaalde grote investeringen zijn min of meer onafhankelijk van die hoeveelheid, zoals bovengrondse faciliteiten en bepaalde hoofd-mijnschachten. Hierdoor daalt de 'prijs per ton afval' met de hoeveelheid te bergen afval.

⁷⁰ HABOG, Hoogradioactief Afval Behandelings- en Opslag Gebouw

⁷¹ Ten tijde van de planning werd rekening gehouden met uitbreiding van het opgestelde vermogen met 3000 MWe

⁷² Terugneembare berging, een begaanbaar pad? – Eindrapport van de Commissie Opberging Radioactief Afval (CORA), 2001

2.5.1.3 Haalbaarheid en maatschappelijke aspecten

In het in 2001 afgesloten CORA onderzoeksprogramma naar eindberging werd geconcludeerd dat de bouw van een terugneembare berging in geschikte zout- of kleivoorkomens in Nederland in principe mogelijk en veilig is. Zie ook paragraaf 3.1. Op dit ogenblik is de aanleg van een geologische berging in Nederland niet aan de orde. Het momenteel opgeslagen hoogactieve verglaasd opwerkingsafval zal daartoe eerst nog tientallen jaren moeten afkoelen. Verder zijn de tot op heden gegenereerde hoeveelheden afval ook te gering om de kosten voor de constructie van een bergingsfaciliteit op dit moment de rechtvaardigen.

Eindberging van radioactief afval is voor een belangrijk deel een maatschappelijk onderwerp. Door de vereiste langdurige zorg zijn meerdere generaties bij het beheer van radioactief afval betrokken. Het overheidsbeleid (zie boven) zorgt er wel voor dat toekomstige generaties diverse opties houden en tevens de middelen (financieel en kennis) zullen hebben om een oplossing te kiezen en te realiseren.

2.5.1.4 Internationale samenwerking

Internationaal wordt onderkend dat het niet efficiënt is als ieder land binnen Europa zijn eigen eindberging voor radioactief afval bouwt en bedrijft. Vanuit beheersoogpunt heeft het de voorkeur binnen een regio de krachten te bundelen en een gezamenlijke berging te stichten. Het zal nog tientallen jaren duren voordat het warmteproducerend afval geologisch opgeborgen kan worden. Mogelijk zullen de internationale verhoudingen rond radioactief afvalmanagement zich in die tijd zodanig ontwikkelen dat een (Europese) regionale berging ook mogelijk wordt.

Een beleidsdoel in Nederland is om een terugneembare eindberging zomogelijk gemeenschappelijk met andere landen te bedrijven. Dit verzekert dat: 1) een beperkt aantal van deze eindbergingen wordt gerealiseerd op de meest geschikte locaties en 2) dat zij efficiënter te exploiteren zijn. De meeste kosten van een eindberging hangen samen met de aan te leggen infrastructuur (mijnschacht en ondergrondse galerijen). Als deze kosten door twee of meer landen worden gedeeld, kan een regionale berging zonder extra financiering op kortere termijn dan na 100 jaar worden gerealiseerd.

COVRA zoekt als beheerder van al het radioactieve afval naar mogelijkheden voor internationale samenwerking. Zo wordt er afstemming gezocht met het Belgische collega-bedrijf ONDRAF/NIRAS met betrekking tot het onderzoek naar de geschiktheid van Boomse klei als gastgesteente voor een geologische (ondergrondse) eindberging van radioactief afval. De Boomse klei is een ondergrondse formatie, die zowel onder grote delen van België als Nederland te vinden is. Voorts is COVRA lid van de Association for Regional and International Underground Storage (ARIUS). In ARIUS wordt door organisaties uit negen landen samengewerkt op het gebied van eindberging. In dit kader wordt ook deelgenomen in EC-projecten (CATT, SAPIERR). Verder hebben begin 2009, 14 Europese landen, waaronder Nederland, een werkgroep opgezet om te komen tot een 'European Repository Development Organisation' (ERDO). Binnen de ERDO zouden Europese landen moeten samenwerken aan multinationale oplossingen voor de berging van radioactief afval. Het secretariaat van de groep wordt door ARIUS gevoerd.

2.5.1.5 Specifieke zaken betreffende laag- en middelactief afval

Ondergrondse geologische eindberging

In Europa bestaan er ondergrondse eindbergingen voor laag- en middelactief afval. Zowel in Zweden als Finland zijn deze operationeel. In Zweden sinds 1988 de eindberging bij Forsmark, in Finland sinds 1992 bij Olkiluoto en sinds 1998 een tweede eindberging bij de plaats Loviisa. In Duitsland zal dit soort afval worden opgeborgen in de Konradmijn, een oude ijzermijn, die daartoe momenteel wordt voorbereid.

Oppervlakteberging kortlevend en laagactief afval

Bij het huidige aanbod van radioactief afval in Nederland duurt het ongeveer 100 jaar voordat COVRA voldoende afval verzameld heeft om geologische (eind)berging daarvan economisch aantrekkelijk te maken. Daarbij zal dan ook al het radioactief afval (dus laag, middel én hoog radioactief) in geologische eindberging moeten worden gebracht.

In andere landen in Europa worden voor kortlevend en laagactief afval soms goedkopere routes gevolgd, zoals ondiepe of oppervlakte berging. Hiervoor wordt gekozen op grond van de lage specifieke activiteit en relatief korte levensduur van het afval. Zo wordt in het Belgische Dessel momenteel een oppervlakteberging voorbereid, waarin in betonnen ‘monolieten’ geconditioneerd afval wordt opgeslagen onder grondlagen die waterdicht zijn. In Frankrijk (Centre de Stockage de l’Aube) en Spanje (El Cabril) wordt laag actief afval geborgen in speciale betonnen bakken, die met isolerende lagen en aarde worden afgedekt. In Frankrijk (bij CSTFA⁷³) wordt ook het licht radioactief bouwpuin van ontmanteling apart op vergelijkbare wijze geborgen.

2.5.1.6 Specifieke zaken betreffende gebruikte splijtstof en hoogactief afval

De begrippen radiotoxiciteit, levensduur van afval en werkelijke gevaarzetting

Radiotoxiciteit is een maat die veel gebruikt wordt voor vergelijking van de gevaarzetting van diverse radioactieve (afval)stoffen. Het is de stralingsdosis die men zou ontvangen, indien men een bepaalde radioactieve stof zou opeten.

Na gebruik als brandstof in een kerncentrale is de gebruikte splijtstof hoogradioactief. Het duurt meer dan 100.000 jaar voordat de radiotoxiciteit van gebruikte splijtstof het niveau bereikt van die van het natuurlijke uranium waaruit de splijtstof gemaakt is⁷⁴. Die tijdsduur wordt wel de ‘levensduur’ van het afval genoemd. Deze wordt vooral bepaald door het plutonium in de gebruikte splijtstof.

Wordt de splijtstof opgewerkt, dan ontstaat als reststof verglaasd afval. Op basis van de maat radiotoxiciteit heeft dit een ‘levensduur’ van circa 10.000 jaar.

Een regelmatig beluisterd misverstand is het volgende: verglaasd afval zou vanwege sporen van plutonium een levensduur hebben van 100.000 jaar. Deze claim is onjuist. Zoals uitgelegd in deze paragraaf, is de zogenoemde levensduur van afval gelijk aan de tijd die nodig is om de radiotoxiciteit van het afval gelijk te laten worden aan de radiotoxiciteit van het erts waaruit de brandstof ooit is gemaakt. Die periode is circa 10.000 jaar. Na die 10.000 jaar is het verglaasde afval nog wel enigszins radioactief, maar dat geldt ook voor het natuurlijke erts. Het belangrijkste is dat na circa 10.000 jaar het eten van een gram verglaasd afval, dezelfde stralingsdosis geeft als het eten van een gram erts.

Voor de bepaling van de *werkelijke* gevaarzetting van radioactief afval, volstaat het niet te kijken naar de radiotoxiciteit van het afval. Dan moet ook beschouwd worden hoe en wanneer (componenten van) het afval de leefomgeving van de mens kunnen bereiken. Wordt het afval in een eindberging opgeslagen, dan is migratie van radioactieve stoffen naar de biosfeer het potentiële gevaar, waarna uiteindelijk via ingestie een dosis kan worden ontvangen. Goede keuze van het geologisch ‘gastgesteente’, immobilisatie (bijvoorbeeld door verglazing) en zogenoemde ‘engineered barriers’ in de eindberging vertragen de migratie van radioactieve stoffen. Bij het bereiken van de biosfeer moeten de stoffen door het radioactieve verval onschadelijk zijn geworden⁷⁵.

⁷³ Centre de Stockage pour les déchets de Très Faible Activité, Franse eindbergingsfaciliteit te Morvilles voor zeer licht radioactief afval (voornamelijk bouwpuin van ontmanteling).

⁷⁴ J. Magill et al., Impact limits of partitioning and transmutation scenarios on the radiotoxicity of actinides in radioactive waste. Nuclear Energy 42 (2003), 263-277

⁷⁵ Na enkele honderden jaren wordt de radiotoxiciteit van splijtingsafval bepaald door (resterend) plutonium en ‘minor actinides’. Juist deze elementen migreren t.g.v. sterke binding aan bodemdeeltjes slechts langzaam naar de

Bij alle tot op heden onderzochte Nederlandse geologische eindbergingsvarianten bleef de maximale blootstelling vele orden van grootte onder de blootstelling aan van nature in de bodem aanwezige radioactieve stoffen. Dit gold zowel voor de verwachte ontwikkelingen als bij veel minder waarschijnlijke ontwikkelingen met snelle vrijzetting van afvalstoffen.

Verwerkingsroutes

Zoals al kort in paragraaf 2.1 is beschreven, zijn er voor de gebruikte splijtstofelementen twee mogelijke verwerkingsroutes.:

1. opwerking (recycling van splijtstof voor hergebruik in de splijtstofcyclus) en
 2. directe berging (na conditionering) als hoogradioactief afval.
- Afhankelijk van de verwerkingsroute, wordt gebruikte splijtstof dus als basismateriaal voor het maken van nieuwe splijtstof of als hoogradioactief afval beschouwd.

- Opwerking gebruikte splijtstof

Opwerking is het proces waarbij de resterende splijtstof in de gebruikte splijtstofelementen (uranium en plutonium) wordt gescheiden van de splijtings- en activeringsproducten. Na opwerking resulteert: uranium (95%), plutonium (1%), en een restfractie (splijtingsproducten en minor actinides) die als hoogradioactief afval moet worden opgeborgen (4%). Het duurt circa 10.000 jaar⁷⁶ voordat de radiotoxiciteit van dit afval het niveau bereikt dat gelijk is aan de radiotoxiciteit van de hoeveelheid natuurlijk uranium, inclusief zijn vervalproducten, dat voor het maken van de splijtstof nodig was. Bij opwerking ontstaat ook een ongeveer eens zo groot volume niet-warmteproducerend hoogactief afval, dat een veel kortere levensduur heeft.

Het afgescheiden plutonium kan hergebruikt worden in MOX (mixed oxide splijtstof), een mengsel van plutoniumoxide en uraniumoxide. Het teruggewonnen uranium wordt REPU genoemd (reprocessed uranium). REPU kan weer verwerkt worden zodat het in splijtstofelementen kan worden gebruikt. Sommige landen (zoals Frankrijk) slaan een deel van het REPU op als strategische reserve die ingezet kan worden bij logistieke of economische marktverstoringen. In andere landen, waaronder Nederland, wordt REPU na verrijking gebruikt als splijtstof.

Omdat opwerking slechts op een paar plaatsen in Europa plaatsvindt, gaat deze verwerkingsoptie met extra transporten met radioactief materiaal gepaard. Het totale aantal transporten blijft zeer klein in vergelijking met alle transporten met radioactieve stoffen en ook in relatie met alle vervoer van gevaarlijke goederen. De publieksrisico's van dergelijke transporten zijn door de daarvoor geldende vergunningseisen heel erg klein (§3.1.1.7). Een ander aspect is dat bij het opwerkingsproces onvermijdelijk radioactieve stoffen via lucht en water in de omgeving vrijkomen. De daardoor te ontvangen publieksdoses zijn echter klein vergeleken met de natuurlijke achtergrond dosis (zie bijvoorbeeld de MARINA II studie⁷⁷).

Bij opwerking van splijtstof is er de nodige aandacht voor het aspect non-proliferatie. Zie o.a. paragraaf 3.2.

- Directe berging gebruikte splijtstof

In veel landen worden gebruikte splijtstofelementen, na een periode van afkoeling in een (intern of extern) splijtstofbassin, overgebracht naar een aparte faciliteit. De bedoeling is dat deze splijtstofelementen uiteindelijk – na geëigende conditionering en verpakking – in een geologische eindberging worden opgeslagen.

De verwerkingsroute van directe opslag van gebruikte splijtstof heeft als nadeel dat tijdens interimopslag – vergeleken met de opwerkingsroute – het afval een circa 10 keer groter

leefomgeving van de mens. Daarom dragen ze veel minder bij tot het risico dan hun radiotoxiciteit doet vermoeden.

⁷⁶ Bij partitioning & transmutation – in feite een verbeterde vorm van opwerking en hergebruik – neemt deze periode af tot enkele duizenden jaren (500 jaar in de meer optimistische schattingen).

⁷⁷ MARINA II – Update of the MARINA Project on the radiological exposure of the EC from radioactivity in North European marine waters, C6496/TR/004, August 2002

volume nodig heeft in verband met de hoge warmteproductie. Na voldoende afkoeling kunnen de splijstofelementen compacter worden samengepakt, zodat het volumeverschil met opwerkingsafval bij geologische berging daarvan minder groot is.

Na de opslagperiode zou ook de gebruikte splijstof – in geschikte containers – in een eindberging geplaatst kunnen worden. Dit afval heeft een levensduur van 100.000 jaar.

Geologische opslag van gebruikte splijstof heeft als nadeel dat de eindbergingsfaciliteit in principe voor altijd onder internationaal toezicht (Euratom, IAEA) zal moeten blijven om non-proliferatie van daarin opgeborgen splijstoffen te garanderen.

Opslagwijzen

De bovengenoemde verwerkingsroutes voor gebruikte splijstof leiden tot verschillende soorten hoogradioactief afval, die verschillende eisen aan de voorzieningen stellen.

- Opslag opwerkingsafval
Na opwerken van gebruikte splijstof wordt het restafval ervan, splijtingsproducten plus zogenoemde ‘minor’ actiniden, verglaasd en in roestvrijstalen containers verpakt. Deze worden in Nederland in het HABOG, bij COVRA nabij Vlissingen opgeslagen.
- Opslag gebruikte splijstof
Op dit moment heeft Nederland geen voorzieningen voor de conditionering en opslag van gebruikte splijstof afkomstig van kerncentrales. Die voorzieningen zouden in Nederland moeten worden ontwikkeld.

Voor de conditionering kan niet teruggevallen worden op dienstverleners in andere landen. Er zijn in sommige landen wel geschikte faciliteiten in ontwikkeling, echter de wetgeving in die landen staat behandeling van buitenlandse gebruikte splijstof niet toe. Bovendien moet de wijze van conditionering afgestemd zijn op het gastgesteente en ontwerp van de bergingsfaciliteit.

Met betrekking tot opslag moet opgemerkt worden dat het huidige HABOG ontworpen is voor opslag van hoogradioactief opwerkingsafval. Het beschikt niet over voorzieningen voor directe opslag van gebruikte splijstofelementen van kerncentrales in containers. Er zou dus een geheel ander soort ‘HABOG’ ontworpen en gebouwd moeten worden.

2.5.2 Ontwikkelingen

Uitbreiding opslagcapaciteit

In 1986 werd er voor de COVRA uitgegaan van het idee dat daar het afval van de toenmalige kerncentrales – KCD en KCB – plus de toen voorziene uitbreiding van 3000 MWe kernvermogen tot aan het eind van de bedrijfstijd van deze centrales moest kunnen worden opgeslagen. De opslagcapaciteit bij COVRA is destijds modulair opgezet, met oog op uitbreiding in de toekomst.

Voor meer laag- en middelactief afval kunnen op eenvoudige wijze opslagloodsen worden bijgebouwd. Het hoogactieve opwerkingsafval wordt in het HABOG opgeslagen. Het HABOG is eveneens modulair opgebouwd. Er is een deel dat bedoeld is om afval te ontvangen en te hanteren en er is een module voor de opslag van het afval. Uitbreiding van de huidige opslagcapaciteit is relatief eenvoudig. De huidige capaciteit volstaat om het verglaasde afval op te slaan, dat ontstaat uit het bedrijf van KCB tot ongeveer 2013. Wegens de bedrijfsduurverlenging van KCB tot 2033, moet er een uitbreiding komen die vanaf circa 2015 operationeel moet zijn.

(Eind)berging hoogactief afval

Er zijn momenteel in de wereld nog geen (eind)bergingsfaciliteiten voor civiel hoog actief afval zoals verglaasd afval of gebruikte splijstof operationeel. Wel bestaan er zowel in Zweden als in Finland concrete projecten voor de realisatie van een geologische eindberging voor gebruikte splijstof. Voorts zijn er ondergrondse eindbergingen voor laag- en middelactief afval gerealiseerd, dit levert in diverse opzichten ervaring die ook nuttig is voor eindberging van

hoogactief afval. Ook zijn er diverse ondergrondse locaties voor de studie van eindberging van hoogactief afval. Tevens is er ervaring met eindberging van defensie-gerelateerd hoog-actief afval in de zogenoemde ‘WIPP-facility’⁷⁸ in de Verenigde Staten.

De in bedrijf zijnde eindbergingen zijn niet ontworpen op terughaalbare berging van radioactief afval. Het blijft in principe wel mogelijk het afval terug te halen, maar dat is wel lastiger dan bij een berging die daarop is ontworpen.

In Finland werd, na consultatie van de lokale bevolking, in 2001 besloten een eindberging voor gebruikte splijtstof bij de plaats Olkiluoto te realiseren, nabij de eindberging voor laag- en middelradioactief afval bij die plaats. Deze faciliteit wordt momenteel gebouwd en moet rond 2020 operationeel zijn. De voor gebruikte splijtstof benodigde conditioneringsinstallatie wordt bij de eindbergingsfaciliteit gerealiseerd.

Ook in Zweden is het plan om in 2020 een eindbergingsfaciliteit operationeel te hebben. Na consultatie van de bevolking werd in Zweden in het voorjaar van 2009 gekozen voor de locatie Forsmark, ook daar nabij de eindberging voor laag- en middelradioactief afval. Zweden beschikt al sinds 1985 over een ondergrondse faciliteit voor opslag van gebruikte splijtstof (interim opslag Oskarshamn). Als onderdeel van het eindbergingstraject van de gebruikte splijtstof zal er op die plaats ook een conditioneringinstallatie worden gebouwd waar de splijtstof in een voor eindberging geschikte vorm wordt gebracht en verpakt. De containers met geconditioneerde splijtstof gaan vervolgens per boot van Oskarshamn naar Forsmark voor eindberging.

Partitioning & Transmutation (P&T) en varianten daarop

Zoals hiervoor al vermeld, duurt het meer dan 100.000 jaar voordat de radiotoxiciteit van gebruikte splijtstof het niveau bereikt van natuurlijk uranium. De lengte van deze periode wordt wel ‘levensduur’ van de splijtstof genoemd. Bij het huidige proces van opwerking, wordt uranium en plutonium afgescheiden voor hergebruik. De levensduur van de resterende fractie hoogactief afval, wordt hiermee teruggebracht tot circa 10.000 jaar⁷⁹.

Er wordt uitgebreid onderzoek gedaan naar mogelijkheden om de levensduur van hoogradioactief afval verder te verkorten, door: 1) verdere afscheiding (‘partitioning’) van langlevende radioactieve elementen en 2) de ontwikkeling van reactorconcepten waarin deze als splijtstof gebruikt of bestraald worden en daarbij grotendeels omgezet (‘transmutation’) – in stabiele isotopen en korter levende splijtingsproducten. Deze producten hebben een kortere levensduur, in de orde van 250 jaar.

Succesvolle scheiding- en transmutatie tests hebben laten zien dat het inderdaad mogelijk is om de levensduur van het afval aanzienlijk te verkorten. Het doel van de huidige studies is om de technische en economische efficiency zodanig te verhogen, dat deze technologie op industriële schaal gebruikt kan gaan worden. De ontwikkeling van de vierde generatie energiesystemen (‘generatie IV’) beoogt ondermeer een verbeterde transmuteerbaarheid van het daarbij overblijvende radioactieve afval in vergelijking met dat van de huidige generaties reactoren.

Ook is er in het internationale onderzoek aandacht voor varianten op P&T die in de toekomst – afhankelijk van de onderzoeksresultaten - belangrijker kunnen worden, zoals:

- P&I: afgescheiden nucliden kunnen ook elementspecifiek in een speciale matrix worden vastgelegd die de afgifte van deze nucliden naar het gastgesteente zo goed mogelijk beperkt (Partitioning & Insulation). Deze vastlegging zorgt er voor dat deze nucliden nog beter buiten het leefmilieu van de mens gehouden kunnen worden. De isolatiestap (de I van P&I) kan mogelijk gaan concurreren met transmutatie (de T van P&T) op grond van economische en/of technische overwegingen;
- Recycling van de gehele actinidenmix in een daarvoor geschikte reactor, zonder voorafgaande geavanceerde partitioning. Dit bespaart op de partitioning-inspanning (de P

⁷⁸ Waste Isolation Pilot Plant, New Mexico, Verenigde Staten.

⁷⁹ J. Magill et al., Impact limits of partitioning and transmutation scenarios on the radiotoxicity of actinides in radioactive waste. Nuclear Energy 42 (2003), 263-277

uit P&T). Op grond van economische en/of technische overwegingen kan deze weg met P&T gaan concurreren.

Ook na 'Partitioning and Transmutation' (P&T) blijft er een restfractie onverwerkbaar relatief langlevend hoogactief afval over waarvoor geologische berging nodig is. Toch is verkorting van de levensduur van het afval ook van nut indien de eindbestemming geologische eindberging is. Het draagt dan bij aan de vermindering van de risico's bij de zogenoemde 'human intrusion' scenario's, waarbij mensen zich – bijvoorbeeld bij exploratieonderzoek – onvermoed toegang tot het afval verschaffen en daarbij direct met het hoogactieve afval in contact kunnen komen.

P&T kan worden toegepast op gebruikte splijtstof maar minder makkelijk op reeds verglaasd opwerkingsafval. Voor de toepassing van P&T zou men dan eerst de te behandelen nucliden moeten terugwinnen uit de blokken verglaasd materiaal.

Men zou gebruikte splijtstof kunnen opslaan, tot P&T commercieel beschikbaar is. Een alternatief voor het bewaren van gebruikte splijtstof, is wel eerst conventioneel opwerken, maar daarna het hoogactieve afval dat daarbij vrijkomt, in een andere – nog te ontwikkelen – vorm op te slaan dan in de gebruikelijke 'verglaasde' toestand. Deze alternatieve vorm zou het materiaal toegankelijker moeten maken voor nabewerking. Hierdoor zou het voor 'partitioning' eenvoudiger beschikbaar blijven en later kunnen worden getransmuteerd in bijvoorbeeld generatie-IV reactoren.

Rekening houdend met de benodigde bouwtijd van een kerncentrale (6 à 7 jaar), de gebruikstijd van splijtstof in een reactor (minimaal 4 jaar) en de opslagcapaciteit voor gebruikte splijtstof bij een centrale (voor zeker 10 jaar in een opslagbassin) hoeft pas over ongeveer 20 jaar besloten te worden wat er met de gebruikte splijtstof van een nieuw te bouwen kerncentrale gaat gebeuren⁸⁰. P&T vereist ondermeer de ontwikkeling van speciale reactoren, wat binnen deze termijn niet erg waarschijnlijk lijkt.

2.5.3 Mogelijke randvoorwaarden m.b.t. laag- en middelactief afval

Al het laag- en middelactief afval van de splijtstofcyclus dat in Nederland ontstaat moet tenminste 100 jaar bij COVRA opgeslagen kunnen worden

Het vigerende beleid ten aanzien van al het radioactief afval is dat dit minimaal voor 100 jaar opgeslagen moet kunnen worden bij COVRA. Dat geldt zowel voor het laag- en middelactief afval dat wordt gegenereerd, als voor het hoogactief afval. Voor het laag- en middelactief afval hebben de verschillende kernenergiescenario's alleen effect op het tempo waarin de modulaire opslagcapaciteit zou moeten worden bijgebouwd. Een voorwaarde dat de leverancier van het radioactief afval voor het beheer ervan moet betalen wordt ook nu al gehanteerd bij de overdracht van het afval aan COVRA en heeft geen invloed op de mogelijke ontwikkeling van de kernenergiescenario's.

Ontwikkeling stappenplan voor de eindberging van laag- en middelactief afval en bevordering van de acceptatie van die eindberging

In Nederland heeft zich de publieke discussie over geologische berging van radioactief afval totnogtoe beperkt tot die over het hoogactief afval. Daarbij speelt vooral de lange levensduur van een deel van dat afval een rol. Men kan overwegen om eindberging van laag- en middelactief afval in de discussie over acceptatie van eindberging apart te behandelen: 1) het speelt tot nu toe vrijwel geen rol in de kernenergiediscussie, 2) het afval kent meer bronnen dan kernenergie en 3) het heeft andere eigenschappen wat betreft levensduur en gevaarstelling. Een aparte discussie over de eindbestemming van dit afval leidt mogelijk eerder tot acceptatie van een oplossing dan discussie over alle soorten radioactief afval.

⁸⁰ De bouw van een bovengrondse opslag van splijtstof kost tijd. Indien nodig kan de opslagcapaciteit van gebruikte splijtstof bij de centrale op verschillende manieren vergroot worden. Er zijn mogelijkheden tot compactere opslag in het opslagbassin. Voorts is aanvullende opslag mogelijk in speciale containers, die een veelheid aan beproevingen kunnen doorstaan.

Een mogelijk bezwaar tegen een gescheiden aanpak van twee soorten radioactief afval is, dat de huidige structuur in Nederland voor de realisatie en financiering van eindberging, opgezet is met één eindbestemming voor alle soorten. Wanneer er in Nederland *twee* eindbestemmingen gecreëerd moeten worden, zal dit waarschijnlijk leiden tot hogere kosten. Economische overwegingen kunnen dus leiden tot afwijzen van gescheiden behandeling. Bij participatie in een multi-nationale eindberging zou dit nadeel overigens kunnen vervallen ('economy of scale').

Ervaringen in andere landen heeft geleerd dat acceptatie van eindberging van radioactief afval sterk verbeterd wordt door een goed ontwikkeld stappenplan. Dit plan wijst de weg naar een acceptabele eindoplossing voor laag- en middelactief afval. Vrijwilligheid op lokaal niveau om als vestigingsplaats voor een geologische berging in aanmerking te komen moet hierin voorop staan (zie ook paragraaf 4.3). Los van de problematiek van het hoogactief afval (zie paragraaf 2.5.4) zou apart voor het laag- en middelactief afval een dergelijk stappenplan ontwikkeld en uitgevoerd kunnen worden. Daarbij kan zeer goed gebruik gemaakt worden van de ervaringen in het Belgische Dessel met de daar voorbereide oppervlakteberging van dit soort afval.

Als voorwaarde kan men opnemen het maken van een start met de ontwikkeling van een dergelijk stappenplan. Deze activiteit kan bijvoorbeeld aanvankelijk opgenomen worden als (deel)project in een onderzoeksprogramma, waarin ook andere thema's rond eindberging aan de orde komen. Naarmate het tijdstip van eindberging naderbij komt kan het plan concreter worden gemaakt. De ontwikkeling en uitvoering van een stappenplan kan gestimuleerd worden door alle producenten van dergelijk afval (inclusief niet-nucleaire bedrijven) te laten participeren in de opzet en financiering⁸¹ van een dergelijk plan. Deze voorwaarde heeft overigens geen sturend effect op de mogelijke ontwikkeling van de kernenergiescenario's. Ter relativering moet men wel bedenken, dat het huidige beleid uitgaat van ten minste 100 jaar bovengrondse opslag van al het radioactieve afval. Hierdoor is er geen acute tijdsdruk.

Tabel 5 Mogelijke randvoorwaarden aan beheer van laag- en middelactief afval

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a Alg. randvoorw. +	Scenario 1b Alg. randvoorw. +	Scenario 2 Alg. randvoorw. +	Scenario 3 Alg. randvoorw. +
Laag- en middelactief afval	Capaciteit voor 100 jaar opslag van laag- en middelactief afval	► Modulaire uitbreiding van opslagcapaciteit bij COVRA mogelijk, tempo en opslagcapaciteit afhankelijk van kernenergiescenario			
	Stappenplan eindberging van laag- en middelactief afval	Eindberging samen met hoogactief afval	Start ontwikkeling van een stappenplan met participatie van alle producenten van laag- en middelactief afval. *)		

Legenda: ► is een gevolg, ◻ is een opmerking. Zonder symbooltje: een mogelijke voorwaarde.

*) Mogelijk onderdeel te maken van een onderzoeksprogramma

2.5.4 Mogelijke randvoorwaarden m.b.t. gebruikte splijtstof

Voorwaarden aan de opslag van gebruikte splijtstof

Net als voor het andere radioactieve afval moet volgens het vigerende beleid het hoogactief afval minimaal voor 100 jaar bij COVRA kunnen worden opgeslagen. Wanneer ook in de toekomst de gebruikte splijtstof wordt opgewerkt of – zodra die economisch beschikbaar komt – daarvoor de P&T-route wordt gevolgd, dan hebben de verschillende kernenergiescenario's alleen effect op het tempo waarin de modulaire opslagcapaciteit moet worden bijgebouwd. Het COVRA-terrein biedt voldoende ruimte om dit voor elk van de kernenergiescenario's te kunnen faciliteren. Hierbij moet worden opgemerkt, dat de triso-splijtstof die in een HTR zoals de PBMR (scenario 1b) gebruikt wordt, zeer moeilijk te recyclen⁸² is.

⁸¹ Proportioneel: naar aandeel in totale hoeveelheid in Nederland geproduceerd laag- en middelactief afval.

⁸² Deze brandstofvorm is ontworpen om extreme condities zonder schade te doorstaan. Daardoor is recycling van de daarin verwerkte splijtstof zeer moeilijk – maar niet onmogelijk. Overigens is dit uit oogpunt van non-proliferatie een goede eigenschap.

Mocht in de toekomst echter voor directe berging als eindbestemming van gebruikte splijtstof worden gekozen, dan leidt voor elk van de kernenergiescenario's directe opslag van gebruikte splijtstof tot een circa 10 keer groter volume voor de interimopslag van hoogradioactief afval dan bij de opwerkingsroute. De gebruikte splijtstof moet alleen al vanwege de benodigde afkoeltijd voor minstens 50 tot 70 jaar worden opgeslagen.

De keuze tussen de verwerkingsroutes van gebruikte splijtstof heeft dus grotere effecten op de bij COVRA benodigde capaciteit voor opslag van hoogactief afval, dan de kernenergiescenario's zelf. Bij scenario 1a leidt de extra te creëren capaciteit voor opslag van de gebruikte splijtstof van de kerncentrale Borssele die in de periode tot 2033 kan ontstaan, waarschijnlijk niet tot nijpende ruimteproblemen. Bij scenario 1b zou in de loop der bedrijfsjaren additioneel een nog 3 - 6 keer grotere opslagcapaciteit nodig zijn (opslag HTR splijtstofballen), afhankelijk van de veronderstelde thermische efficiëntie. Bij de scenario's 2 en 3 zal de benodigde opslagcapaciteit nog duidelijk groter zijn, zodat bij die scenario's dan zeer waarschijnlijk additionele opslaglocaties nodig zullen zijn.

Dit betekent, dat wanneer als voorwaarde gesteld zou worden om de opwerking van gebruikte splijtstof als verwerkingsroute tot een nader vast te leggen keuzemoment – bijv. 2030 – op te schorten, dat COVRA dan over een grotere oppervlakte moet beschikken om met die voorwaarde niet tegelijkertijd de kernenergiescenario's 1b t/m 3 uit te sluiten. Dit kan worden gerealiseerd door 1) het bestaande terrein te vergroten door aankoop van aangrenzende terreinen, of 2) naast het huidige COVRA-terrein andere locaties voor mogelijke opslag van hoogactief afval te reserveren. Hiervoor moet waarschijnlijk een m.e.r-procedure⁸³ worden doorlopen.

Start ontwikkeling stappenplan voor eindberging van radioactief afval

Ervaringen in andere landen heeft geleerd dat acceptatie van eindberging van radioactief afval sterk verbeterd wordt door een goed ontwikkeld stappenplan, waarbij vrijwilligheid op lokaal niveau om als vestigingsplaats voor een geologische berging in aanmerking te komen voorop moet staan (zie ook paragraaf 3.1). Als voorwaarde voor de bouw van nieuwe kerncentrales zou gesteld kunnen worden dat er een begin moet worden gemaakt met de ontwikkeling van een stappenplan. Bij deze mogelijke randvoorwaarde moet ter relativering bedacht worden, dat het beleid in Nederland uitgaat van tenminste 100 jaar bovengrondse opslag van al het radioactieve afval. Hierdoor is er tijd om het stappenplan door de jaren heen te ontwikkelen en steeds bij te stellen op basis van de technische en maatschappelijke ontwikkelingen. Het nadenken over een stappenplan kan aanvankelijk in een onderzoeksprogramma worden ondergebracht. Naarmate het moment van eindberging dichterbij komt, zou het plan concreter moeten worden.

Voorwaarden aan de wijze van eindberging van hoogactief afval

Bij eventuele geologische berging van radioactief afval moet dit afval terugneembaar zijn⁸⁴. Deze voorwaarde komt voort vanuit het streven naar integraal ketenbeheer zodat, ook waar nu hergebruik nog niet mogelijk is, het afval beschikbaar is om – zodra de mogelijkheden daartoe ontstaan – op een milieuhygiënisch verantwoorde wijze weer in de keten gebracht te kunnen worden. In het in 2001 afgesloten CORA onderzoeksprogramma “Terugneembare berging, een begaanbaar pad” werd geconcludeerd dat de bouw van een terugneembare berging in geschikte zout- of kleivoorkomens in Nederland in principe mogelijk is. De voorwaarde van terugneembaarheid past in de ontwikkeling naar steeds grotere transparantie die wereldwijd in de fase tot daadwerkelijke geologische berging van hoogactief afval herkenbaar is (zie voor het effect van veiligheidsgerelateerde voorwaarden paragraaf 3.1.1.7).

Volgens het vigerend beleid is in Nederland geologische berging van radioactief afval ten minste de eerste 100 jaar niet aan de orde. Voorwaarden aan geologische berging kunnen daarom alleen aan het tempo en financiering van het onderzoek daarnaar gesteld worden. In

⁸³ m.e.r. is procedure van de milieu-effectrapportage, zoals geregeld in hoofdstuk 7 van de Wet milieubeheer (Wm) en in het Besluit milieu-effectrapportage 1994.

⁸⁴ Opbergen van afval in de diepe ondergrond, Kamerstukken II 1992-1993, 23 163, nr. 1

2006 heeft VROM in de vorm van een beleidsnotitie⁸⁵ daartoe als voorwaarde voorgesteld dat dit onderzoek – volgens nog vast te stellen verdeelsleutel – gezamenlijk door overheid en nucleaire sector⁸⁶ betaald moet worden. Een exploitant van een nieuwe kerncentrale zou al vanaf het begin in het daartoe te vormen fonds moeten bijdragen. De kosten van dit soort onderzoek hangen samen met de onderzoeksfase en lopen per jaar op via de (huidige) desk studiefase, daarna het locatiespecifiek onderzoek (ondergronds laboratorium), en tenslotte de pilotfase. Het beleid van het ministerie van VROM is dat het onderzoek naar de eindberging van radioactief afval zal worden voortgezet.

De totale onderzoekskosten zijn onafhankelijk van het gevolgde kernenergiescenario. Omdat ook de lange tijdshorizon van het onderzoek slechts zwak afhankelijk is van het specifieke kernenergiescenario, stimuleert een voorwaarde tot medebetaling van het onderzoek enigszins de scenario's met meer opgesteld kernvermogen. Dit effect valt echter in het niet bij het potentiële efficiëntievoordeel van dergelijke scenario's.

De eisen betreffende eindberging van radioactief afval die volgen uit het huidige beleid hebben voor de verschillende kernenergiescenario's geen specifieke effecten. Wel zal afhankelijk van het scenario vanwege de verschillende daaraan gerelateerde hoeveelheden hoogactief afval terugneembare eindberging daarvan mogelijk iets eerder of later economisch aantrekkelijk worden. Dit effect zal echter vooral een rol spelen mocht op zeker moment voor directe berging als verwerkingsroute van gebruikte splijtstof gekozen worden. Bij die verwerkingsroute is de capaciteitsbehoefte voor interimopslag van het hoogactief afval enkele malen groter (bij HTR wel 10x) – als bij de opwerkings- of P&T-route. Directe opberging vereist verder ondermeer de bouw van een conditioneringsinstallatie om de gebruikte splijstofelementen in een voor berging geschikte vorm te brengen en aanpassingen aan het ontwerp van de bergingfaciliteit.

Tabel 6 Mogelijke randvoorwaarden aan het beheer van gebruikte splijtstof

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a Alg. randvoorw. +	Scenario 1b Alg. randvoorw. +	Scenario 2 Alg. randvoorw. +	Scenario 3 Alg. randvoorw. +
Gebruikte splijtstof: opwerken, P&T of directe opslag	100 jaar opslag van hoogactief afval bij voortzetting opwerking en start P&T zodra dat realistisch is	Uitbreiding van opslagcapaciteit bij COVRA mogelijk: 2° HABOG in 2015	Extra opslag voor PBMR-ballen in 2030 of later (geheel ander ontwerp dan HABOG)	Uitbreiding van opslagcapaciteit bij COVRA mogelijk: 2° HABOG in 2015 3° HABOG (2-3 x zo groot) in 2040	Uitbreiding van opslagcapaciteit bij COVRA mogelijk: 2° HABOG in 2015 3° HABOG (2-3 x zo groot) in 2030 4° HABOG (2-3 x zo groot) in 2040
	100 jaar opslag van hoogactief afval bij <u>uitstel</u> van keuze tussen opwerking/P&T en directe berging tot bijv. 2025	Uitbreiding van opslagcapaciteit bij COVRA mogelijk: 2° HABOG in 2015 Later opslag gebruikte splijtstof mogelijk	Uitbreiding van opslagcapaciteit bij COVRA beperkend: procedure voor reservering van alternatieve locaties of verwerving aangrenzende terreinen voor de bouw van faciliteiten voor opslag van gebruikte splijstofelementen. Capaciteit enkele malen groter als hierboven		
	Ontwikkeling stappenplan voor acceptatie van geologische berging als deel eindoplossing radioactief afval	Acceptatie voor eindoplossing radioactief afval pas rond 2080 nodig	Ontwikkeling plan gestart voor 2035	Ontwikkeling plan gestart voor 2030	Ontwikkeling plan gestart voor 2015
	Meeфинanciering eindbergingsonderzoek door exploitant van nieuwe kerncentrales	n.v.t.	Geen relevant effect		

Legenda: ► is een gevolg, ■ is een opmerking. Zonder symbooltje: een mogelijke voorwaarde.

⁸⁵ VROM: *Randvoorwaarden voor nieuwe kerncentrales*, Ministerie van VROM, 6 oktober 2006

⁸⁶ Kamerstuk 30 000, nr. 42, 23 oktober 2006

3. Veiligheidsaspecten van kernenergie

3.1 Technische veiligheid

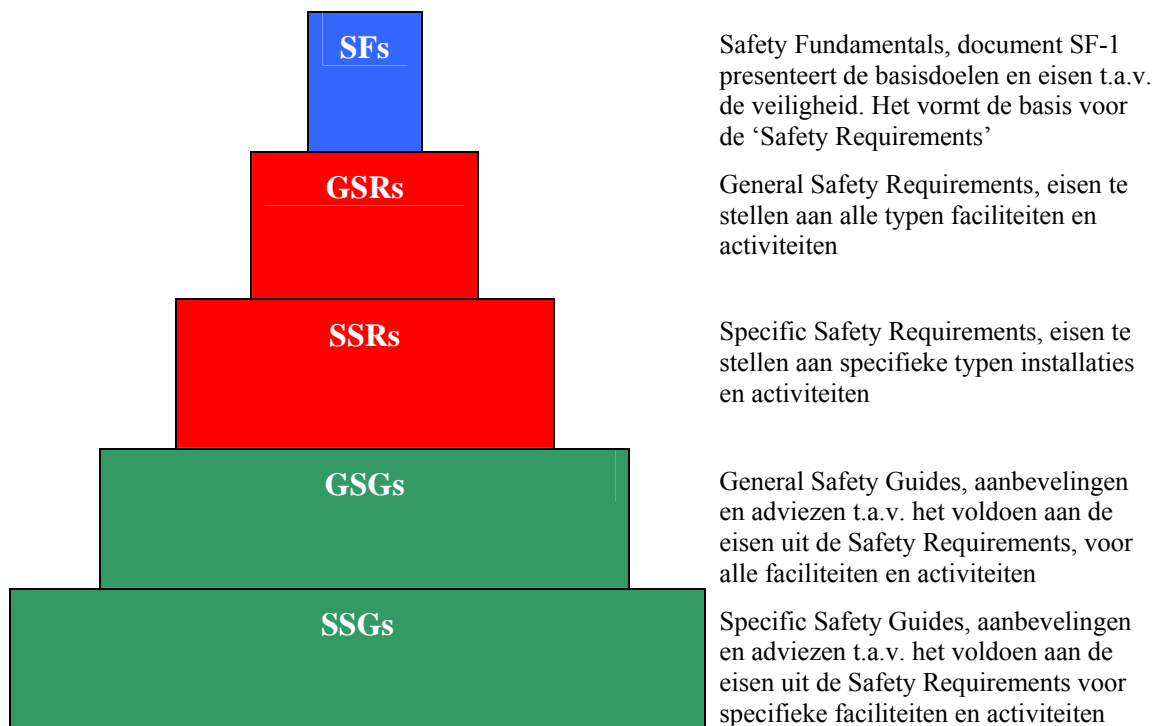
Deze paragraaf gaat nader in op technische veiligheid van de splijtstofcyclus. Eerst worden de stand van zaken en de ontwikkelingen toegelicht ten aanzien van de toepassing van veiligheidprincipes. De paragraaf besluit met mogelijke randvoorwaarden, die de overheid zou kunnen stellen.

3.1.1 Stand van zaken

3.1.1.1 Veiligheidsprincipes bij de splijtstofcyclus

Bij elk van de processen in de splijtstofcyclus bestaat er in principe een kans dat er radioactieve stoffen ongecontroleerd in de omgeving terecht komen. Om zowel de kans van een dergelijk ongeval als de hoeveelheid radioactieve stoffen die hierbij zou vrijkomen te beperken, worden er bij de processen in de splijtstofcyclus vele technische en organisatorische maatregelen toegepast.

In de loop van de jaren zijn de eisen voor technische en organisatorische maatregelen steeds verder aangescherpt. Hierin speelt het Internationaal Atoom Energie Agentschap van de Verenigde Naties in Wenen (IAEA) een grote rol. De IAEA, die toezicht houdt op het gebruik van nucleaire technologie en materialen, stelt onder meer veiligheidsstandaarden op, de Safety Standards. Er is een uitgebreid stelsel tot stand gekomen, dat voortdurend wordt geactualiseerd met input uit de internationale gemeenschap van ter zake deskundigen.



Figuur 5 De IAEA 'Safety Standards Series', met internationale consensus over wat een zeer hoge mate van veiligheid kan garanderen.

Veel landen nemen de Safety Standards Series (SSS) op in hun stelsel van regelgeving. In Nederland zijn ze opgenomen in de vergunningvoorwaarden. Echter er is nog een actualisering

gaande, waarbij de Nederlandse implementatie van de IAEA-SSS documenten moet worden aangepast aan de meest recente edities die door de IAEA zijn uitgebracht.

Veiligheidsfuncties en Defense-in-depth

Hieronder wordt beknopt ingegaan op veiligheidsfuncties en het defense-in-depth principe. Voor een gedetailleerdere bespreking wordt verwezen naar o.a. INSAG-10⁸⁷ en INSAG-12⁸⁸.

De belangrijkste drie veiligheidsfuncties die in een nucleaire installatie moeten worden gewaarborgd, zijn: (1) beheersing van de splijtingsreactie en het vermogen, (2) afvoer van geproduceerde warmte en (3) de insluiting van radioactief materiaal.

Bij een kerncentrale is het belang van deze drie functies duidelijk, maar ze zijn in meer of mindere mate op alle installaties van de splijtstofcyclus toepasbaar. Om aan de veiligheidsfuncties te kunnen voldoen, wordt het principe van ‘defence in depth’ toegepast op het ontwerp, de uitvoering en de bedrijfsvoering van nucleaire installaties. Het defense-in-depth principe bestaat uit het toepassen van meerdere beveiligingslagen bij het beheersen van een potentieel gevaarlijk proces, zoals het kernsplijtingsproces of het opslaan van een hoeveelheid hoogradioactief materiaal.

De beveiligingslagen kunnen beschreven worden naar de doelen van deze lagen of naar de middelen waarmee ze gerealiseerd worden. Tabel 7 geeft de vijf lagen van defence-in-depth, zoals deze in INSAG-10 zijn beschreven. Deze beveiligingslagen worden gerealiseerd middels fysieke barrières, veiligheidssystemen en organisatorische maatregelen. Fysieke barrières zijn o.a. de splijtstofmatrix, de splijtstofbekleding, de grenzen van het reactorkoelsysteem en de insluitconstructie waarbinnen de reactor zich bevindt (het containment). De betrouwbaarheid van de barrières hangt samen met de eigenschappen van de barrières en de systemen die voorzien zijn om deze barrières te beschermen.

Tabel 7 Overzicht volgens INSAG-10 van de vijf lagen van defence-in-depth (onvertaald).

Level	Objective	Essential means
Level 1	Prevention of abnormal operation and failures	Conservative design and high quality in construction and operation
Level 2	Control of abnormal operation and detection of failures	Control, limiting and protection systems and other surveillance features
Level 3	Control of accidents within the design basis	Engineered safety features and accident procedures
Level 4	Control of severe plant conditions, including prevention of accident progression and mitigation of the consequences of severe accidents	Complementary measures and accident management
Level 5	Mitigation of radiological consequences of significant releases of radioactive materials	Off-site emergency response

De strategie voor de implementatie van het defence-in-depth principe heeft twee aspecten:

- Binnen één ‘Level’ voorkomen van een ongewenste gebeurtenis; en

⁸⁷ Defence in Depth in Nuclear Safety - A Report by the Nuclear Safety Advisory Group, INSAG-10, IAEA, 1996

⁸⁸ Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, 75-INSAG-3 Rev.1, A Report by the Nuclear Safety Advisory Group, INSAG-12, IAEA, 1999

- Als deze gebeurtenis zich toch voordoet, voorkomen dat deze evolueert tot een ernstiger gebeurtenis.

Een belangrijk principe is, dat de middelen ('means' in Tabel 7) van de ene beveiligingslaag, onafhankelijk moeten zijn van de middelen van een andere beveiligingslaag. Dit moet voorkomen dat het falen van één systeem meerdere beveiligingslagen ('Levels' uit Tabel 7) bedreigt. Veel aandacht moet er zijn voor de potentie van bepaalde ongewenste gebeurtenissen, die meerdere beveiligingslagen tegelijk kunnen aantasten. Daarom wordt in de nucleaire technologie ook nadruk gelegd op het redundant en divers uitvoeren van veiligheidsrelevante systemen. Ook is er in het ontwerp aandacht voor het in separate ruimtes onderbrengen van (redundante) systemen. Dit moet voorkomen dat meerdere systemen door één oorzaak (bijvoorbeeld brand in een ruimte) tegelijk hun functie kunnen verliezen.

Veiligheidscultuur

Naast goede technische voorzieningen en werkzame veiligheidsprocedures is ook een goede veiligheidscultuur van groot belang. Veiligheid betreft niet alleen het 'lijdzaam' volgen van de procedures, maar vooral ook het actief meedenken aan de verhoging van de effectiviteit van technische en organisatorische veiligheidsmaatregelen. Deze cultuur moet op alle niveaus in de organisatie worden gedeeld, uitgedragen en waar mogelijk verbeterd.

3.1.1.2 Wettelijk kader en handhaving

Hier wordt volstaan met een beperkte toelichting, die nodig is voor een goed begrip van de opvolgende paragrafen. Een uitgebreidere behandeling van dit onderwerp is te vinden in paragraaf 4.2.1.

Regelgeving

Alle activiteiten met betrekking tot de splijtstofcyclus vallen in Nederland onder de Kernenergiewet (Kew). De Kew is een raamwet die verbindingen met vele andere wetten. Veel praktische zaken uit de Kew zijn geregeld in algemene maatregelen van bestuur (ambv's) en ministeriële regelingen (mr).

De bouw en wijziging van faciliteiten uit de splijtstofcyclus is vrijwel altijd 'mer-plichtig', tenzij het om kleine wijzigingen gaat. Dit betekent dat een Milieu-Effect Rapportage (MER) moet worden opgesteld met een evaluatie van de milieu-impact van de voorgenomen activiteit.

Inspectie, de KFD

De vergunninghouder is verantwoordelijk voor de handhaving van de veiligheid en de continue verbetering daarvan. In Nederland ziet de Kernfysische Dienst (KFD) erop toe dat de vergunninghouder handelt naar deze verantwoordelijkheid. Naast het gewone toezichtprogramma worden er periodiek bezoeken van buitenlandse experts aan de Nederlandse kerncentrale georganiseerd, voor de evaluatie van veiligheidsrelevante zaken.

Organisatorisch is de KFD onderdeel van de VROM-Inspectie.

3.1.1.3 Normaal bedrijf en monitoring

Zoals in voorgaande paragrafen is besproken, worden er bij nucleaire installaties en systemen vele maatregelen getroffen om de technische veiligheid (ook bij ongevallen) te waarborgen. Bij normale bedrijfsvoering worden de prestaties van de installatie op vele manieren gecontroleerd. Vele parameters van de installatie worden continu gevolgd. Het overschrijden van bepaalde belangrijke waarden leidt tot meestal automatische acties van veiligheidssystemen.

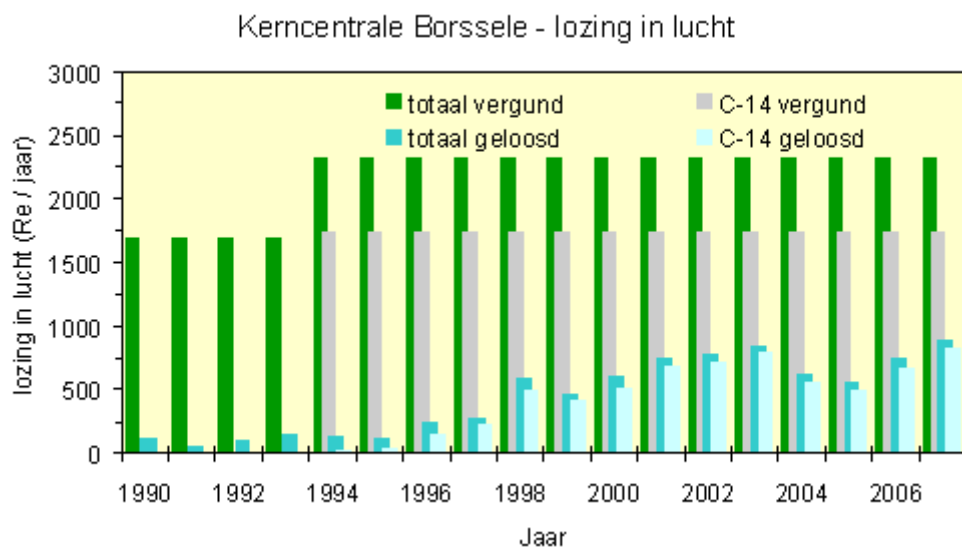
De toezichthouder (KFD) controleert de uitvoering door de vergunninghouder van een afgesproken toezichtprogramma, gericht op de instandhouding en verbetering van de kwaliteit/sterkte van alle lagen van de veiligheid. Meer hierover is te vinden in paragraaf 4.2.1 'Stand van zaken regelgeving'.

De stralingsbelasting van personeelsleden wordt jaar in jaar uit bijgehouden en opgeslagen in het landelijke systeem NDRIS⁸⁹. In verbeterprogramma's tracht men deze belasting zo laag mogelijk te houden of nog lager te krijgen. Tevens is er de controle hierop door de overheid.

Conform artikel 35 van het Euratom verdrag is Nederland verplicht een adequate monitoring van radioactiviteit in lucht, water en bodem uit te voeren. Het Euratom verdrag verplicht Nederland de blootstelling van de bevolking aan straling en radioactiviteit in kaart te brengen. Samen met andere instituten voert het RIVM een nationaal meetprogramma uit om de radioactiviteit in lucht, bodem, water en voedingsmiddelen te bepalen. Het meetprogramma richt zich vooral op emissies van nucleaire installaties, waaronder de kerncentrale Borssele. RIVM meet met name radioactiviteit in luchtstof en depositie. Andere instituten bepalen de radioactiviteit in oppervlakte- en zeewater (de Waterdienst van Rijkswaterstaat), in melk, voedsel en landbouwproducten (VWA⁹⁰ en RIKILT⁹¹) als ook in het opgepompte grondwater (drinkwaterbedrijven). De gezamenlijke meetresultaten worden jaarlijks, onder redactie van RIVM, gerapporteerd aan de Nederlandse overheid en de Europese Unie. Op basis van vergelijkbare rapportages uit andere EU-landen stelt de EU Europese overzichten van de stralingsblootstelling samen.

De kerncentrale te Borssele blijkt ieder jaar weer te voldoen aan de lozingslimieten, zie volgende grafieken.

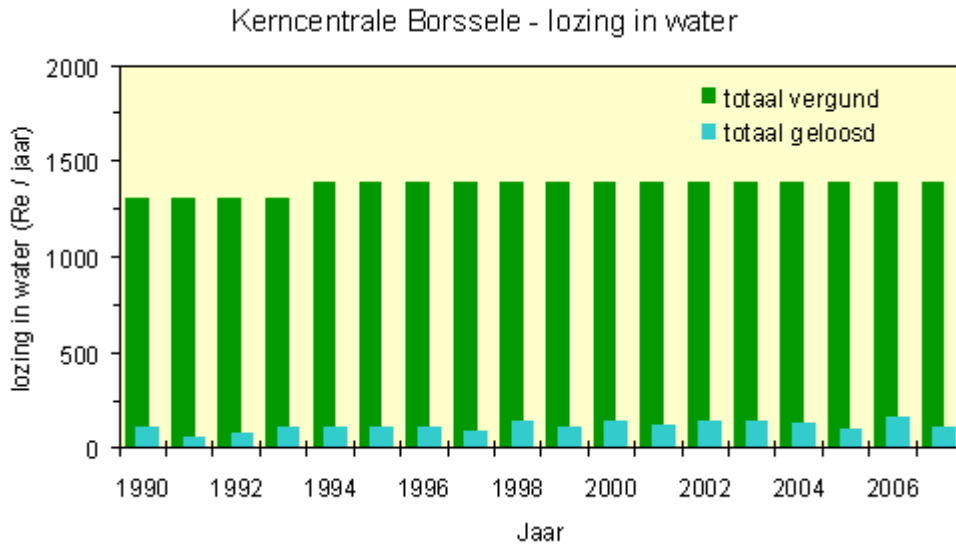
Het Nationaal Meetnet Radioactiviteit (NMR, ook beheerd door het RIVM) is een waarschuwingsmeetnet voor stralingsongevallen. Het meetnet signaleert 24 uur per dag of er gens in Nederland een radioactieve besmetting van lucht of bodem optreedt.



⁸⁹ NDRIS Nationaal Dosis- Registratie en InformatieSysteem, hierin worden de doses bijgehouden van personen die beroepsmatig aan straling blootgesteld worden. Dit betreft werkers uit de 'nucleaire sector', maar ook medisch personeel en personeel van de luchtvaartsector.

⁹⁰ VWA, Voedsel en Waren Autoriteit, een agentschap van het ministerie van VWS.

⁹¹ RIKILT, Instituut voor Voedselveiligheid.



Figuur 6 De kerncentrale Borssele voldoet ieder jaar aan de lozingslimieten (bron: RIVM)

3.1.1.4 Veiligheidsanalyse en beoordeling

In het kader van de vergunningverlening, moet er een veiligheidsanalyse gemaakt worden van de voorgenomen activiteit, zoals het bedienen van een nieuwe kerncentrale. Er worden hierbij in overleg met het bevoegd gezag, voor gepostuleerde ongevallen, zogenoemde deterministische analyses gemaakt. Daarnaast wordt een zogenoemde probabilistische veiligheidsanalyse gemaakt. Hierbij wordt de veiligheid getoetst door kansen op gevolgen voor de omgeving te berekenen en daarna te toetsen aan risicocriteria die door de overheid zijn opgesteld. Een dergelijke veiligheidsanalyse wordt in het Engels 'Probabilistic Safety Analysis' (PSA) genoemd. Zie ook het kader verderop in deze paragraaf.

Bij de risico's op ongevallen bij de splijtstofcyclus moet onderscheid worden gemaakt tussen risico's voor de bevolking en die voor het personeel. Bij werkzaamheden in verband met de verschillende processen van de splijtstofcyclus zijn voor het betrokken personeel de individuele overlijdensrisico's – inclusief die veroorzaakt door verhoogde blootstelling aan straling en radioactieve stoffen – vergelijkbaar met of kleiner dan die voor personeel bij equivalente conventionele werkzaamheden (mijnbouw, lichte industrie). De overlijdensrisico's voor de bevolking door ongevallen bij de verschillende processen van de splijtstofcyclus in Nederland voldoen aan de wettelijke eis dat zij minder zijn dan eens in het miljoen jaar (10^{-6} per jaar⁹²). In veiligheidsanalyses wordt in Nederland getoetst op zowel het individueel risico als het zogenoemde groepsrisico⁹³.

De resultaten en de kwaliteit van de veiligheidsanalyse worden getoetst door de KFD. Indien nodig kan de KFD hierbij externe (buitenlandse) adviseurs laten assisteren.

⁹² Zie ondermeer Besluit externe veiligheid inrichtingen, hoofdstuk 4 'Grens- en richtwaarden'

⁹³ Het plaatsgebonden individueel risico moet kleiner zijn dan eens in de miljoen jaar ($<10^{-6}$ per jaar). De kans dat ten gevolge van ongevallen meer dan tien dodelijke slachtoffers onder de bevolking vallen (groepsrisico) moet kleiner zijn dan 10^{-5} per jaar. De kans op 100 slachtoffers of meer moet kleiner zijn dan 10^{-7} per jaar en zo verder. Het criterium kan in formulevorm geschreven worden als: kans op N slachtoffers of meer moet $<10^{-3}/N^2$ per jaar zijn, waarbij $N > 10$. Een kerncentrale exploitant moet periodiek aantonen dat de risico's verbonden aan het bedrijven van de centrale aan beide risiconormen voldoen.

Kans op ongevallen en veiligheidscriteria

Met een Probabilistic Safety Assessment (PSA) worden de betrouwbaarheid van de verschillende bedrijfssystemen en effectiviteit van de individuele veiligheidssystemen bepaald. Daarbij worden drie niveaus onderscheiden, met elk één of meer specifieke veiligheidscriteria waaraan moet worden voldaan. Op het eerste niveau (PSA-1) wordt de kans op falen van reactor kern bepaald. Op het tweede niveau (PSA-2) wordt berekend in welke mate en met welke kans bij het falen van de kernreactor de uit de splijtstofelementen vrijgekomen stoffen binnen de veiligheidshulling ingesloten blijven. Op het derde niveau (PSA-3) wordt bepaald in welke mate en met welke kans de omgeving schade leidt bij een ongeval.

De probabilistische veiligheidscriteria bij de drie niveaus zijn als volgt: het criterium waaraan het resultaat van PSA-1 wordt getoetst is gebruikelijk de kernsmeltfrequentie. De kans op falen van de insluiting – of de kans op een grote emissie van radioactieve stoffen – is het criterium waaraan de uitkomst van de PSA-2 wordt getoetst. De toetsingscriteria voor de PSA-3 zijn het individuele risico en (voor Nederland) het groepsrisico.

De bepaling van de kernsmeltfrequentie dient vooral ter ondersteuning van ontwerpbeslissingen, om de veiligheidswinst van bepaalde verbeteringen te kunnen beoordelen. Hoe kleiner de waarde van de kernsmeltfrequentie, hoe kleiner de kans dat een grote emissie van radioactieve stoffen zou kunnen optreden als gevolg van het falen van de kern.

Met een kernsmeltfrequentie worden niet alle mogelijke ongevallen afgedekt. Er zouden ook ongevallen veroorzaakt kunnen worden door bijvoorbeeld brand of overstroming waarbij insluitingen en andere beveiligingen kunnen worden beschadigd. Ook daarbij zouden radioactieve stoffen in de omgeving kunnen vrijkomen. Dergelijke ongevallen worden standaard beschouwd bij veiligheidsanalyses (PSA-2).

3.1.1.5 Beoordeling van nieuwe types kerncentrales

Vooralsnog is het zo dat ieder land toch zelfstandig zijn eigen beoordelingstraject volgt, al zijn er samenwerkingsverbanden tussen toezichthouders, zoals in het MDEP⁹⁴. In dit samenwerkingsverband kunnen toezichthouders profiteren van elkaars kennis en middelen bij o.a. het beoordelen van nieuwe types kerncentrales. Meer over MDEP is te vinden in paragraaf 2.3.2.1. Mocht er in Nederland een kerncentrale gebouwd gaan worden, dan kan het Bevoegd Gezag mogelijk profiteren van door de MDEP-partners opgebouwde kennis en ervaring.

Transparante beoordelingstrajecten in Europa van nieuwe types kerncentrales zijn ondermeer te vinden in Finland, Frankrijk en het VK. In het VK heet het een ‘General Design Assessment’ (GDA). Dit is in feite een proces, dat uiteindelijk kan leiden tot een typegoedkeuring, een ‘Design Acceptance Confirmation’. Na certificatie hoeft een ontwerp van een te plaatsen centrale niet opnieuw beoordeeld te worden. Dit biedt op termijn een bijzonder kostenvoordeel voor zowel overheid als bedrijfsleven. Het goed gedocumenteerde proces in het VK is interessant, mede omdat daar twee ontwerpen worden bekeken, die in Nederland in de belangstelling staan van de firma Delta: de EPR en de AP1000.

In een beoordelingstraject worden aan de initiatiefnemer en de bouwer vele vragen gesteld over zaken die met de veiligheid van doen hebben. Het stellen van vragen betekent niet dat een ontwerp onveilig is; het beoordelingsproces is zo opgezet dat mogelijke problemen tijdens het ontwerpproces worden opgespoord. In die fase kunnen – indien nodig – oplossingen efficiënter en effectiever worden geïmplementeerd dan tijdens de bouw. Tijdens het beoordelingstraject kunnen afspraken worden gemaakt over de wijze waarop in het ontwerp invulling gegeven wordt aan bepaalde door de overheid gestelde eisen. Ook worden er afspraken gemaakt over de uitgangspunten die gehanteerd mogen worden in veiligheidsanalyses. Zo kan een bouwer uitgaan van een bepaalde kans van falen van een veiligheidsrelevant computersysteem, maar de

⁹⁴ Multinational Design Evaluation Program, MDEP. Aangesloten landen zijn zeven OESO leden – Canada, Finland, Frankrijk, Japan, Korea, het VK en de VS – plus China, Rusland en Zuid-Afrika.

toezichthouder kan stellen niet accoord te gaan met dit uitgangspunt⁹⁵. Uiteindelijk kan voor de berekeningen een andere faalkans voor de component overeengekomen of opgelegd worden. Een ander soort discussie is die over de toepasselijkheid op componenten of constructieve elementen van door de bouwer gekozen industriële standaarden⁹⁶. Hierbij gaat de discussie soms over de reikwijdte van een dergelijke standaard en of de component of het element daar binnen valt.

Al dit soort (nationale) afspraken over technische invulling van eisen en uitgangspunten voor veiligheidsanalyses, kunnen in principe leiden tot van land tot land enigszins verschillende uitvoeringen van hetzelfde basisontwerp.

Omdat er een uitwisseling van kennis en ervaring van toezichthouders uit verschillende landen bestaat, leiden vragen over een systeem door de ene toezichthouder, soms tot dezelfde vragen bij andere toezichthouders⁹⁷. De uitwisseling tussen toezichthouders kan er op termijn aan bijdragen dat in verschillende landen dezelfde oplossingen worden gekozen. Dit draagt bij aan een vollediger standaardisatie van ontwerp en uitvoering, die uiteindelijk kostenvoordelen kan brengen.

3.1.1.6 Leerpunten van ernstige ongevallen

Er is in de afgelopen decennia ten aanzien van de veiligheid veel bereikt en de ontwikkelingen staan beslist niet stil. Zie ook paragraaf 3.1.2 'Ontwikkelingen in de reactorveiligheid'. Daarin worden de ontwikkelingen van de huidige generatie II reactoren naar generatie III en III+ beschouwd, met de nadruk op het aspect veiligheid.

Kerncentrales verschillen van de meeste andere elektriciteitsproductietechnologieën in het feit dat ernstige ongevallen daarmee (hoewel onwaarschijnlijk) mogelijk kunnen leiden tot dodelijke slachtoffers in hun omgeving en radioactieve besmetting van een omvangrijk gebied. Wordt de hele energieketen beschouwd, dan komen ernstige ongevallen (meer dan vijf slachtoffers) ook voor bij kolen (bijv. mijnongelukken), aardgas en olie⁹⁸. Ook een dambreuk van een waterkrachtcentrale kan een groot aantal slachtoffers tot gevolg hebben. Onderstaande tabel illustreert dit. Er is overigens wel een duidelijk verschil tussen OESO (OECD) en niet-OESO landen.

⁹⁵ Een dergelijke vraag is over het ontwerp van de EPR gesteld, waar het computersysteem belangrijk is voor het functioneren van de 'Control & Instrumentation' (C&I) van de centrale. De toezichthouder heeft positief gereageerd op de voorstellen van de bouwer. Die laatste zal nu o.a. uitgaan van andere faalkansen van computers en bovendien voorzien in backup-systemen die niet afhankelijk zijn van het functioneren van computers.

⁹⁶ Een voorbeeld is een vraag over het toepassingsbereik van een standaard van de American Concrete Institute voor sommige elementen van gewapend beton van de AP1000.

⁹⁷ Een voorbeeld waren de vragen van het VK over Control & Instrumentation issues bij de EPR. Bilateraal en via MDEP was hier communicatie over met o.a. Frankrijk en Finland. Zodoende zijn ook in deze twee landen officieel vragen gesteld over dit aspect.

⁹⁸ Risks and Benefits of Nuclear Energy, NEA, Paris, 2007

Tabel 8 Samenvatting van ernstige ongevallen (met 5 of meer directe slachtoffers) in de energiesector in de periode 1969-2000.

Energy chain	OECD			Non-OECD		
	Accidents	Fatalities	Fatalities /GWey	Accidents	Fatalities	Fatalities /GWey
Coal	75	2 259	0.157	1 044	18 017	0.597
Coal (data for China 1994-1999)				819	11 334	6.169
Coal (without China)				102	4831	0.597
Oil	165	3 713	0.132	232	16 505	0.897
Natural Gas	90	1 043	0.085	45	1 000	0.111
LPG	59	1 905	1.957	46	2 016	14.896
Hydro	1	14	0.003	10	29 924	10.285
Nuclear	0	0	–	1	31	0.048
Total	390	8 934		1 480	72 324	

Noot: data geleverd door PSI⁹⁹ aan de NEA in 2009¹⁰⁰.

In bovenstaande tabel zijn alleen directe slachtoffers van ongevallen vermeld. Latente of late slachtoffers door bijvoorbeeld inademing van kolenstof, roet, fijnstof en dergelijke door de bevolking in de omgeving van kolenmijnen en centrales (met name in niet-OESO landen) zijn hierin niet meegenomen.

Tot nog toe heeft slechts één ongeval in een kerncentrale (Tsjernobyl) directe slachtoffers gemaakt. Voor beschouwing late slachtoffers, zie onderstaande alinea's.

Een volledige ketenanalyse met vergelijking van de verschillende energieketens (kolen, gas, nucleair etc.) t.a.v. parameters zoals fijn stof, broeikasgassen, etc. valt buiten het bestek van dit rapport.

Ongevallen en verkregen inzichten

In de geschiedenis van de kernenergie, zijn er twee ernstige ongevallen met kerncentrales geweest, waarvan er één gevolgen voor de omgeving heeft veroorzaakt.

Het eerste ongeval met een commerciële kerncentrale vond plaats in 1979. Het betrof Three Mile Island No. 2 (TMI-2) bij Harrisburg in de VS. Het werd veroorzaakt door een combinatie van falende componenten en een aanvankelijk verkeerde inschatting door de operators van de toestand van de reactor. Het geleidelijke verlies aan koelmiddel zorgde voor beschadiging van de reactorkern. Er waren geen slachtoffers en de geloosde hoeveelheid radioactief materiaal was te klein om gevolgen voor de omgeving te hebben. Analyse van het ongeval en toepassing van wat daarbij geleerd werd, leidde in de VS en elders tot continue verbetering van de veiligheid en betrouwbaarheid van kerncentrales. Kort na het ongeval werd de INPO¹⁰¹ opgericht, een vereniging van exploitanten van kerncentrales, die zich tot op heden bezig houdt met het promoten van standaarden ten aanzien van veiligheid en betrouwbaarheid in de VS. Tegenwoordig bestaat hiervan ook een mondiaal equivalent, de WANO¹⁰². De zogenoemde 'peer review', het elkaar als experts beoordelen, is één van de instrumenten waarmee verbeteringen worden nagestreefd.

Het tweede en meest recente ongeval met een kerncentrale vond in 1986 plaats in Tsjernobyl in de Oekraïne, toen onderdeel van de voormalige Sovjet-Unie. Dit is het ernstigste ongeval met een kerncentrale dat ooit heeft plaatsgevonden. Daarbij zijn radioactieve stoffen over een groot gebied verspreid. Bij dat ongeval zelf en als gevolg van de bestrijding daarvan zijn enkele tientallen mensen overleden. Het aantal mensen dat door blootstelling aan de verspreide radioactieve stoffen eerder zal overlijden wordt door het Chernobyl Forum¹⁰³ geschat¹⁰⁴ op 4000

⁹⁹ PSI, Paul Scherrer Institute, Switzerland

¹⁰⁰ NEA, 2009, to be published: 'Comparative risk report', OECD/NEA 2009

¹⁰¹ Institute of Nuclear Power Operations (INPO), in de VS. Als onderdeel van de missie exploiteert INPO ook de 'National Academy for Nuclear Training'.

¹⁰² World Association of Nuclear Operators (WANO) is een 'organisation created to improve safety at every nuclear power plant in the world'

¹⁰³ Het Chernobyl Forum bestaat uit experts van acht gespecialiseerde VN-agentschappen, waaronder het 'International Atomic Energy Agency' (IAEA), de 'World Health Organization' (WHO), het 'United Nations

tot 16.000. Deze schatting is sterk afhankelijk van de daarbij gehanteerde aannames, omdat bij deze slachtoffers een oorzakelijk verband tussen overlijden en blootstelling niet onomstotelijk vastgesteld kan worden.

Bij de analyses die op het ongeval volgden, werden inherente tekortkomingen in het Russische RBMK¹⁰⁵-ontwerp gevonden. De RBMK werd nooit buiten de voormalige Sovjet-Unie gebouwd en had bepaalde ontwerpkenmerken, waardoor er elders geen vergunning voor zou worden gegeven. Het ongeval bij Tsjernobyl werd veroorzaakt door het bedienende personeel van de kerncentrale dat de veiligheidssystemen uitschakelde om een test uit te kunnen voeren.

Na het ongeval zijn internationale hulpprogramma's gestart om ondermeer de veiligheid van dit en andere typen Oost-Europese kerncentrales te verbeteren. Bij de toetreding van nieuwe lidstaten tot de EU zijn afspraken gemaakt over het in die landen sluiten van bepaalde centrales, die door de EU niet veilig genoeg geacht worden.

Maatschappelijke gevolgen van een hypothetisch ongeval

Mocht een ongeval optreden, dan kunnen er slachtoffers en gezondheidsschade zijn. Er kan ook ernstige milieu-, economische en sociaalpsychologische schade ontstaan.

- *milieuschade*: Indien er een grote emissie van radioactieve stoffen is, wordt niet alleen de directe omgeving van de reactor besmet, maar de radioactieve stoffen kunnen ook over een zeer groot gebied verspreid raken, afhankelijk van de weersomstandigheden. Daardoor raken dan bodem, water, flora en fauna besmet.
- *economische schade*: Deze varieert van het verlies van de centrale voor elektriciteitsproductie (voorbeeld: TMI-2) tot evacuatie, herhuisvesting, langdurige onbruikbaarheid van besmet gebied (bodem en water), ontsmetten van vervuilde grond, verbod op consumptie van specifiek voedsel en verlies van investeringen in en export van agrarische producten uit het besmette gebied.
- *sociaalpsychologische schade*: Als voorbeelden kunnen worden genoemd: mentale gevolgen door evacuatie en herhuisvesting in een ander gebied, onzekerheid over de mogelijke gezondheidseffecten van ontvangen dosis en post-traumatische stress.

Gevolgen voor de kernenergiesector

Een ernstig reactorongeval heeft direct gevolgen voor de ontwikkeling van de nucleaire sector. Als gevolg worden kerncentrales van hetzelfde type als waarbij het ongeval heeft plaatsgevonden, mogelijk stilgelegd. Het ongeval kan aanleiding geven tot herziening van veiligheidsvoorzieningen en -procedures, waardoor kerncentrales van hetzelfde type mogelijk langdurig buiten gebruik worden gesteld. Ook zal een ernstig reactorongeval invloed hebben op de opvattingen van burgers over kernenergie. Als gevolg hiervan kan het overheidsbeleid wijzigen. In het verleden hebben het ongeval bij Harrisburg en bij Tsjernobyl tot gevolg gehad dat in een aantal landen, waaronder Nederland, is afgezien van nieuwbouwplannen voor kerncentrales.

3.1.1.7 Veiligheid bij transport, opslag en eindberging van radioactieve stoffen

Transport

Transporten van radioactieve stoffen en gebruikte splijtstof vinden plaats met behulp van speciale, gecertificeerde containers. Voor de transportcontainers van nucleair materiaal gelden dezelfde technische en organisatorische veiligheidsmaatregelen die ook voor andere onderdelen van de splijtstofcyclus worden toegepast. Deze containers zijn massieve, tonnen wegende objecten, die zo ontworpen zijn, dat bij vervoer van het radioactieve materiaal waarvoor zij

Development Programme' (UNDP), de 'Food and Agriculture Organization' (FAO), het 'United Nations Environment Programme' (UNEP), het 'United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs' (UN-OCHA), het 'United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation' (UNSCEAR), en de Wereld Bank, aangevuld met experts van de regeringen van Wit-Rusland, de Russische Federatie en de Oekraïne.

¹⁰⁴Chernobyl: the true scale of the accident'. WHO/IAEA/UNDP, persbericht

<http://www.who.int/mediacentre/nes/releases/2005/pr38/en/>; Samenvattend rapport van Chernobyl Forum te vinden op: <http://www.iaea.org/Publications/Booklets/Chernobyl/chernobyl.pdf>

¹⁰⁵Reaktor Bolshoy Moshch nosti Kanalniy (hoog-vermogen kanalen reactor). Deze reactor verschilt in zeer vele opzichten van onze 'Westerse' kernreactoren.

gecertificeerd zijn, het stralingsniveau beneden wettelijke normen blijft. Deze containers voldoen tevens aan strenge eisen ten aanzien insluiting en afscherming van het radioactieve materiaal bij ernstige transportongevallen, bij brand en te water geraken.

Opslag

Opslag van radioactieve stoffen en splijtstof vindt altijd plaats in speciale ruimtes of gebouwen onder vergunde gecontroleerde omstandigheden, terwijl handelingen met dit materiaal nauwkeurig procedureel zijn vastgelegd. Zowel opslagomstandigheden als procedurele handelingen worden door toezicht op de betreffende vergunningen gecontroleerd, waarmee ook de stralingsveiligheid te allen tijde gegarandeerd is.

Ondergrondse berging

Vanaf de 1970-er jaren zijn er verschillende nationale onderzoeksprogramma's uitgevoerd naar geologische (eind)berging van radioactief afval. Richtten die programma's zich aanvankelijk op steenzoutkoepels in het noorden van Nederland, later kwam ook de Boomse klei onder het zuidelijk deel van ons land als potentieel gastgesteente in beeld. Middels vele studies en experimenten in beide gastgesteenten werd onderbouwd dat geologische (eind)berging een in principe technisch gezien veilige oplossing is voor het radioactief afval.

In de loop der jaren zijn steeds meer veiligheidsaspecten in het onderzoek betrokken, een ontwikkeling die gelijk opliep met de maatschappelijke ontwikkelingen op dit gebied. Werden in het begin deterministische mijnbouwkundige studies voldoende geacht om de veiligheid van een geologische eindberging te onderbouwen, naderhand kwamen daar allerlei probabilistische aspecten bij als ook studies naar afwijkende scenario's ter onderbouwing van de zekerheid van de veiligheidsuitspraken. Ook kwam steeds meer aandacht voor veiligheidsaspecten die de acceptatie van een geologische berging onder de bevolking verbeteren, zoals (1) integratie van terugneembaarheid van afval in de bergingsconcepten, (2) een gefaseerde sluiting van een eindberging samen met (3) monitoring van de ontwikkelingen in een eindberging, die er alle toe dienen om mogelijke beoordelingsfouten te ondervangen. Internationaal komt er nu steeds meer aandacht voor (4) omkeerbaarheid van bergingsfasen (reversibiliteit) als ook voor de (5) operationele veiligheid tijdens het bedrijf van de berging. In feite past deze ontwikkeling goed bij de fase waarin over enkele jaren een of meer eindbergingen (Zweden, Finland) in bedrijf zullen zijn.

3.1.2 Ontwikkelingen in de reactorveiligheid

Eerdere pogingen om tot nieuwe randvoorwaarden voor nieuwe kerncentrales te komen

In Nederland heeft het ministerie van VROM in 2006 een notitie gepubliceerd¹⁰⁶. Hierin stonden aanzetten tot nieuwe randvoorwaarden. Dit document is onder een vorig kabinet tot stand gekomen.

Ontwikkelingen standaarden voor certificering

Op meerdere plekken in de wereld zijn door diverse economische actoren standaarden gedefinieerd waaraan reactorbouwers zich kunnen conformeren en daarmee een betere kans krijgen om hun product te verkopen. De belangrijkste economische actoren zijn elektriciteitsproducenten, die doorgaans bij de definitie van hun standaarden samenwerking zoeken met overheden, om meer zekerheid te krijgen t.a.v. de vergunbaarheid van gecertificeerde ontwerpen en daarmee projectrisico's te verkleinen. De standaarden bevatten targets voor o.a. economische parameters en veiligheidsaspecten.

In Europa is er het EUR document, zie ook paragraaf 2.3 waar dit al is behandeld. In de VS is er het 'EPRI Utility Requirements Document' (URD). Dit is door EPRI opgesteld in samenwerking met de 'US Department of Energy' (US DOE). Diverse internationale leveranciers hebben er aan meegewerkt. Het URD geeft een goede vergunningbasis voor

¹⁰⁶Notitie over de randvoorwaarden met betrekking tot de aanvaardbaarheid van nieuwe kerncentrales in Nederland, Ministerie van VROM, Notitiebijlage bij brief SAS/DVO/2006296794

toekomstige kerncentrales, die de goedkeuring heeft van de vergunningverlener in de VS (de US NRC). Ook in Japan en Korea bestaan er dergelijke documenten.

Ontwikkelingen generatie III en III+ kerncentrales

Er is in de afgelopen decennia veel bereikt in de verdere verbetering van de veiligheid van kerncentrales. Generatie-II centrales, zoals die in Borssele, zijn meerdere malen gemoderniseerd en blijken bij periodieke veiligheidsevaluaties steeds te voldoen aan de huidige eisen. De trend door de generaties en de tijd heen is naar steeds lagere ‘core damage frequencies’ (CDF) die de ontwerpen volgens de veiligheidsanalyses bereiken. De CDF is niet de enige parameter die van belang is. Veel modellen van de nieuwe generatie III reactoren, hebben voorzieningen die moeten voorkomen dat bij een kernsmeltongeval kernmateriaal buiten het containment kan geraken. Bij sommige generatie III+ reactoren, zoals de HTR-achtigen, lijkt beschadiging van de kern vrijwel onmogelijk.

Bij de in paragraaf 2.3 beschreven generatie III reactor typen worden verschillende veiligheidsfilosofieën gevolgd. De EPR en ABWR zijn evolutionair ontwikkelde reactor typen en gaan uit van dezelfde defense-in-depth veiligheidsfilosofie als bestaande kerncentrales met aanvullende, meervoudig uitgevoerde actieve veiligheidssystemen. De systemen staan bij normaal bedrijf uit en moeten bij daarvan afwijkende condities – vaak automatisch – worden geactiveerd. Mede door een hoge betrouwbaarheid van de systemen wordt een hoge veiligheid bereikt.

In de loop der jaren zijn de betrouwbaarheidseisen voor actieve veiligheidssystemen steeds verder aangescherpt. Sommige fabrikanten zijn daarop op zoek gegaan naar nieuwe mogelijkheden om de reactorveiligheid te waarborgen, zonder extra actieve systemen. Hieruit is de filosofie van de passieve veiligheid voortgekomen: gebruik maken van altijd aanwezige krachten zoals de zwaartekracht en natuurlijke processen. De noodzaak voor interventie door mensen of actieve systemen wordt zoveel mogelijk vermeden. In ondermeer de AP1000 en de ESBWR ontwerpen is deze passieve veiligheidsfilosofie toegepast.

Een derde categorie ontwerpen is ontstaan bij het zoeken naar mogelijkheden om de veiligheidssystemen geheel overbodig te maken, terwijl toch de technische veiligheid gewaarborgd blijft. Deze ontwerpen zijn gebaseerd op fysische principes die een beschadiging van de reactor kern bij het uitvallen van de koeling uitsluiten. Dit is de filosofie van inherente veiligheid. Dit legt een sterke beperking op aan het maximale vermogen van de reactor en stelt tevens hoge eisen aan de hittebestendigheid van de gebruikte materialen.

Deze inherente veiligheidsfilosofie heeft geleid tot de ontwikkeling van reactoren als de PBMR en de HTR-PM, met een klein reactorvermogen, een lage vermogensdichtheid en een specifieke kern- en reactor geometrie, en de ontwikkeling van de daarin toegepaste Triso-splijtstof (kleine splijtstofkorrels met een aantal beschermende lagen ingebed in grafiet) die bij hoge temperaturen intact blijft. Na een ongeval met het koelsysteem zou het grafiet bij hoge temperaturen met lucht kunnen reageren. Echter de temperaturen die daarbij kunnen optreden blijven lager dan de temperatuur waarbij de insluiting van de Triso-splijtstof zou falen. Daardoor blijven de splijtings- en activeringsproducten in de splijtstof opgesloten en zullen bij een ongeval alleen geactiveerde verontreinigingen uit het grafiet kunnen vrijkomen.

3.1.3 Mogelijke randvoorwaarden t.a.v. technische veiligheid

Uit bovenstaande is duidelijk, dat in Nederland veiligheid van processen en installaties van de splijtstofcyclus voornamelijk een rol speelt bij de kerncentrale. Daarnaast verkeert een duurzame en dus ook veilige oplossing van het radioactief afval dat in de splijtstofcyclus wordt gegenereerd in Nederland nog in de onderzoeksfase. Voor deze twee onderwerpen kan de overheid nadere randvoorwaarden stellen.

Veiligheid kerncentrale

Ten aanzien van nieuwe kerncentrales kan de overheid overwegen aanvullende eisen te stellen ten aanzien van de veiligheid. Uit voorbeelden uit binnen- en buitenland is op te maken dat er in feite twee categorieën randvoorwaarden voorgesteld worden:

- Voorwaarden die een technische invulling geven aan het begrip veilig, zoals:
 - De kans op een zware beschadiging van de kern ('kernsmelt') moet lager zijn dan... (waarden van 10^{-5} , 10^{-6} per jaar worden genoemd);
 - Het rectorgebouw moet de impact van een vliegtuig zodanig kunnen weerstaan dat veilige afschakeling mogelijk is en geen brandend materiaal het gebouw binnendringt;
- Voorwaarden met een meer doelstellend karakter, zoals:
 - Nieuw te bouwen centrale moet net zo veilig zijn als huidige generatie III centrales die nu gebouwd worden.
 - Onder geen enkele omstandigheid moet het noodzakelijk zijn om ingrijpende preventieve maatregelen¹⁰⁷ buiten het terrein van de centrale te treffen;
 - Het individueel risico voor een lid van de bevolking t.g.v. de activiteit moet lager zijn dan 10^{-6} per jaar (bestaande eis¹⁰⁸).

De doelstellende voorwaarden hebben als voordeel dat deze de ontwerpers de vrijheid laten eigen en originele oplossingen te bedenken. Voorwaarden die een meer technische invulling geven, kunnen daarentegen in het ergste geval sommige goede oplossingsrichtingen blokkeren. Het voldoen aan dit soort eisen is soms wel met minder inspanning te controleren.

Eerder is in een beleidsnotitie uit 2006¹⁰⁹ in dit verband een set randvoorwaarden voor nieuwe kerncentrales genoemd. Deze set is in feite een mix van een technische invulling en doelstellende eisen:

- a. Kans op een kernsmeltongeval kleiner dan 1 keer in het miljoen jaar (technische invulling);
- b. Beschikken over voorzieningen die bij een kernsmeltongeval voorkomen dat de kern buiten het containment geraakt – bijvoorbeeld een "core-catcher" (technische invulling);
- c. Beschikken over voorzieningen die voorkomen dat bij een kernsmeltongeval zoveel radioactieve stoffen kunnen vrijkomen, dat het treffen van preventieve maatregelen noodzakelijk is (min of meer doelstellend);
- d. Beschikken over een omhulling die bestand is tegen hoge druk van binnenuit en tegen vliegtuigcrashes (technische invulling);
- e. Deze in geval van ongevallen over een lange responstijd moet beschikken (technische invulling).

Hoewel alle hiervoor genoemde eisen erg stringent zijn, wordt hieraan al voldaan door de nu commercieel verkrijgbare moderne kerncentrales, of kan hier door aanpassingen aan het ontwerp aan voldaan worden¹¹⁰ (zie paragraaf 2.3). Reactorontwerpers presenteren de veiligheid van hun ontwerpen in een opsomming van doelstellende en meer technische eisen waaraan voldaan wordt.

Veel genoemd worden kernsmeltfrequenties of core damage frequencies (CDF, zie ook vorige paragraaf). Een verdere aanscherping van de eis aan de CDF beneden de 10^{-6} leidt niet vanzelf tot veiligheidswinst voor de omgeving. Alleen als de eis betreffende maatregelen buiten het centrale terrein verscherpt wordt, door dit uit te breiden tot uitsluiting van de noodzaak van alle mogelijke maatregelen, valt nog enige veiligheidswinst te halen.

¹⁰⁷ Zoals organiseren van evacuatie, schuilen en inname van jodiumtabletten.

¹⁰⁸ 'Besluit externe veiligheid van inrichtingen', geldt ook voor transporten van gevaarlijke stoffen en andere installaties dan kerncentrales.

¹⁰⁹ Randvoorwaarden voor nieuwe kerncentrales, Ministerie van VROM, 6 oktober 2006

¹¹⁰ Dat betreft ook de eis van bestendigheid tegen vliegtuigcrashes; hier kan technisch gezien op ontworpen worden.

Tabel 9 Mogelijke randvoorwaarden aan technische veiligheid van nieuwe kerncentrales

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a Alg. randvoorw. +	Scenario 1b Alg. randvoorw. +	Scenario 2 Alg. randvoorw. +	Scenario 3 Alg. randvoorw. +
Veiligheid kerncentrale	m.b.t. veiligheid behoren tot de veiligste westerse centrales	▶ geen effect, is in vergunning van KCB vastgelegd.	Eis van inherent veilig. ▶ Bij nieuwe inherent veilige centrale is de noodzaak van maatregelen buiten het centraletterrein uitgesloten	Nieuwe centrale net zo veilig als de generatie III kerncentrales die nu gebouwd worden Na een ongeval buiten het terrein van de centrale geen preventieve maatregelen zoals evacuatie nodig.	

Legenda: ▶ is een gevolg, ■ is een opmerking. Zonder symbooltje: een mogelijke voorwaarde.

Veiligheid eindberging radioactief afval

Bij de duurzame oplossing van radioactief afval speelt de discussie rond opwerking van gebruikt afval en berging van het restafval daarvan, of directe opberging van gebruikte splijtstof. Ook is er aandacht voor Partitioning & Transmutation (P&T) als een verbeterde versie van opwerking en hergebruik. Andere varianten kunnen in de toekomst meer in beeld komen:

- P&I: afgescheiden nucliden kunnen ook elementspecifiek in een speciale matrix worden vastgelegd die de afgifte van deze nucliden naar het gastgesteente zo goed mogelijk beperkt (Partitioning & Insulation);
- Recycling van gehele actinidenmix in een daarvoor geschikte reactor, zonder voorafgaande geavanceerde Partitioning.

Tenzij Nederland in een onwaarschijnlijk scenario in de toekomst zelf een commerciële partitioning-faciliteit zou willen gaan ontwikkelen, speelt in Nederland wat veiligheid rond de eindbestemming van radioactief afval betreft alleen de veiligheid van transmutatiereactoren en die van de geologische berging een rol in de discussie.

Wat betreft de transmutatiereactoren zullen de randvoorwaarden niet lichter (mogen) zijn dan voor reactoren van nieuwe kerncentrales.

Wat betreft mogelijke veiligheidsgerelateerde randvoorwaarden voor een geologische berging moet vooral gedacht worden aan doelstellende voorwaarden zoals:

- eisen aan de operationele veiligheid tijdens bedrijf en sluiting van de geologische berging, net elke andere faciliteit van de splijtstofcyclus;
- beperking van de maximale effectieve jaardosis voor het meest blootgestelde individu in enig jaar in de toekomst voor specifieke ontwerpscenario's (verwaarlozing, 'human intrusion', vroege ijsbedekking, etc.) vergelijkbaar met de ontwerpongevallen voor elke andere faciliteit van de splijtstofcyclus;
- beperking van de maximale effectieve jaardosis¹¹¹ voor het meest blootgestelde individu in enig jaar in de toekomst, net als voor elke andere faciliteit van de splijtstofcyclus.

In het huidige beleid ten aanzien van radioactief afval, is er aandacht voor onderzoek naar een duurzame eindbestemming van dit afval. Hoe men dit in de toekomst wil financieren kan een punt van discussie zijn. Een nieuwe randvoorwaarde kan worden geformuleerd, waarin de bijdrage van de exploitant van een nieuwe kerncentrale aan zo'n programma wordt vastgelegd. Zie hiervoor paragraaf 2.5.3.

Hoe de eisen uiteindelijk ook precies zullen luiden, vast staat dat deze niet onderscheidend zijn tussen de verschillende kernenergiescenario's die in deze studie aan de orde zijn.

¹¹¹In de zin van de 95-percentiel van de verdeling van de maximale jaardosis, onderbouwd met scenariostudies en onzekerheidsverdeling van bepalende parameters

Tabel 10 Mogelijke aanvullende randvoorwaarden eindberging radioactief afval

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a Alg. randvoorw. +	Scenario 1b Alg. randvoorw. +	Scenario 2 Alg. randvoorw. +	Scenario 3 Alg. randvoorw. +
Veiligheid eindberging	Eisen aan - operationele veiligheid - doses ontwerpscenario's - maximale jaardosis	- ■ Niet onderscheidend voor de scenario's			

Legenda: ► is een gevolg, ■ is een opmerking. Zonder symbooltje: een mogelijke voorwaarde.

3.2 Beveiliging

Deze paragraaf beschrijft de status quo van beveiliging en verkent de mogelijke aanvullende randvoorwaarden, voor zover ze door de Nederlandse overheid bepaald kunnen worden. Hierbij wordt rekening gehouden met de interacties tussen overheid, vergunninghouders, internationale organisaties en verdragen.

Bij de toepassing van kernenergie moet voorkomen worden, dat kwaadwillenden installaties en nucleair materiaal misbruiken. Deze uitdagingen moeten beantwoord worden met voorzorgmaatregelen die onder de noemer 'beveiliging' worden geschaard. Met betrekking tot de uitdagingen, waarop adequaat moet worden geantwoord, wordt onderscheid gemaakt tussen proliferatie en terrorisme. Proliferatie doelt op de verspreiding van kernwapens. Met terrorisme worden aanslagen op de nucleaire installaties of aanslagen met nucleair materiaal bedoeld.

Beveiliging kent zowel het gebruik van technische voorzieningen als meer organisatorische maatregelen.

Bij beveiliging zijn de overheid, de internationale organisaties en de beheerders van nucleaire installaties en/of radioactief materiaal de verantwoordelijke actoren. Bij het stellen van (nieuwe) randvoorwaarden aan beveiliging, heeft de Nederlandse overheid vooral invloed op stappen uit de splijtstofcyclus, die op Nederlands grondgebied plaatsvinden. In Nederland zijn dit het verrijkingproces, de energieopwekking (kerncentrale), het transport van radioactieve stoffen, en het beheer van radioactief afval (bij COVRA).

In het hierna volgende wordt eerst de stand van zaken ten aanzien van de uitdagingen (proliferatie & terrorisme) en de huidige antwoorden daarop behandeld. Na een behandeling van de recente ontwikkelingen worden nieuwe mogelijke randvoorwaarden besproken.

3.2.1 Stand van zaken

3.2.1.1 Proliferatie

Het Non-Proliferatie Verdrag, Engels NPT¹¹², verbiedt de proliferatie (verspreiding) van kernwapens. Het verdrag onderscheidt twee soorten partijen bij het verdrag: (1) de nuclear weapon states (NWS) die al voor 1967 over kernwapens beschikten en (2) de non-nuclear weapon states. Volgens artikel I van het NPT moeten de NWS afzien van het beschikbaar stellen van nucleaire wapens aan andere staten of ze te helpen bij het verkrijgen ervan. Non-nuclear weapon states moeten volgens artikel II afzien van het streven naar het verkrijgen van een kernwapen. Artikel IV erkent overigens wel het recht op verkrijgen van nucleaire kennis en technologie voor vreedzame doeleinden. Artikel III regelt de waarborging, de 'safeguards' van de verplichtingen die in het NPT zijn vastgelegd.

Verspreiding nucleaire technologie en kennis

De technologieën van verrijking en opwerking kunnen in principe worden misbruikt om nucleair materiaal te vervaardigen dat geschikt is voor een kernwapen. Handel in nucleaire technologie buiten de internationaal geaccepteerde regels en verdragen (zoals het NPT) wordt traditioneel fel bekritiseerd in internationale relaties en diplomatie. De NPT-verdragsstaten

¹¹²'Treaty on the Nonproliferation of Nuclear Weapons', beter bekend als '(Nuclear) Nonproliferation Treaty' of NPT

hebben zich verplicht om misbruik tegen te gaan en proliferatiegevoelige installaties onder internationaal toezicht te plaatsen.

Verspreiding nucleair materiaal

In 'vers' gefabriceerde (onbestraalde) splijtstofelementen is geen plutonium of hoogverrijkt uranium aanwezig, dat misbruikt kan worden voor het maken van een kernwapen. Ook in de kerncentrale en bij opslag van bestraalde splijtstofelementen is de kans op proliferatie gering vanwege de ongeschiktheid van het materiaal (hoge concentraties splijtingproducten) en de slechte toegankelijkheid (hoog stralingsniveau, voornamelijk door de splijtingsproducten). In Nederland vindt uitsluitend verrijking tot licht verrijkt (tot circa 5%) uranium plaats. Daarop houden nationale en internationale instanties toezicht.

De benodigde grondstoffen voor een kernwapen zijn hoogverrijkt uranium (tot circa 93%) of plutonium. De verrijkingstechnologie kan worden gebruikt om hoogverrijkt uranium te produceren, dat zou kunnen worden ingezet voor het maken van kernwapens.

Het plutonium dat bij het opwerkingsproces uit de gebruikte splijtstof wordt gehaald, kan in principe gebruikt worden voor het vervaardigen van een kernwapen (zie het kader). Het is mogelijk hiermee een werkend (primitief) kernwapen te maken, maar dit is technisch echter zeer moeilijk en ook is de betrouwbaarheid daarvan onduidelijk. Hoe langer de splijtstof gebruikt is, hoe slechter de 'kwaliteit' van het plutonium is voor gebruik in een kernwapen. Het ontwerp van het kernwapen moet dan ook geavanceerder zijn. Van een kernwapenprogramma kan echter al een dreiging uitgaan, zonder dat daaraan nucleaire testen te pas hoeven komen. Voorts is het soms lastig vast te stellen of een land met een civiel nucleair programma niet toch militaire doelen nastreeft, zeker als dat land geen partij is bij het NPT of geen controles in het kader van de safeguards toestaat.

Plutonium voor kernwapens

Het element plutonium kent meerdere langlevende isotopen. De onderlinge verhouding daarvan bepaalt de 'kwaliteit' ervan. Zo wordt onderscheid gemaakt tussen wapenkwaliteit ('weapon grade') en reactorkwaliteit (reactor grade) plutonium. Globaal kan men stellen dat plutonium geschikt is voor kernwapens als het veel van het goed splijtbare plutonium-239 bevat. Plutonium van wapenkwaliteit bevat circa 93% plutonium-239. Reactorkwaliteit plutonium uit gebruikte splijtstof bevat ongeveer 50% plutonium-239. Het bevat tevens meer dan 20% van het relatief kortlevend plutonium-240, dat door spontane splijting een onbedoelde start van de kettingreactie in het kernwapen kan veroorzaken. Door hun hoge warmteproductie zijn het eveneens in 'reactorplutonium' aanwezige plutonium-238 en plutonium-241 problematisch voor de voor het kernwapen benodigde hoogexplosieve stoffen en elektronica. Tenslotte leidt het radioactieve verval van sommige plutonium-isotopen tot een vrij hoog dosistempo. Dit compliceert het hanteren van reactorkwaliteit plutonium, waarmee vanwege het vereiste accurate handwerk slechts in zogenoemde glove-boxes gewerkt kan worden. Echter, in deze glove-boxes kan maar beperkte afscherming tegen de intense straling gerealiseerd worden.

Het is de vraag of staten, die een plutonium-wapen zouden willen ontwikkelen, de grondstoffen daarvoor middels opwerking zouden willen maken. Opwerking is een gecompliceerd proces, dat vervolgens plutonium oplevert van (voor kernwapens) 'inferieure' kwaliteit. Een staat kan immers middels een reactorprogramma direct weapon grade materiaal maken. Hiervoor zijn wel andere reactoren nodig dan die in commerciële westerse centrales worden toegepast.

Voor terroristen zijn dergelijke technisch gecompliceerde routes niet haalbaar. Het bemachtigen van direct bruikbaar materiaal voor een kernwapen is dan een 'betere' route. Maar het ontvreemden van 'reactorplutonium' en daarna verwerken tot bom, is technisch nog veel moeilijker dan het ontwikkelen van een kernbom uit (clandestien verkregen) hoog verrijkt uranium.

Organisatorische aspecten van beveiliging tegen proliferatie

De randvoorwaarden die de overheid stelt aan het beheer van nucleaire installaties en materialen, inclusief hun transport, worden deels opgelegd door internationale verdragen. Deze verdragen, zoals het Euratom-verdrag en het NPT, schrijven een set regels voor die minimaal moeten worden gehandhaafd.

De belangrijkste (internationale) politieke instrumenten voor non-proliferatie waaraan Nederland zich heeft gecommitteerd, zijn:

- Het IAEA Statuut, dat de basis vormt voor een wereldwijde samenwerking bij alle toepassingen van nucleaire technieken.
- Het Euratom Verdrag (1957), dat alle vreedzame nucleaire activiteiten in de Europese Unie aan regels bindt. Euratom werkt op dit punt samen met het IAEA.
- Het non-proliferatieverdrag (NPT), waarbij naast de vijf bestaande kernwapenstaten, alle andere toetredende staten beloven geen kernwapens te verwerven en inspecties (geregeld via de IAEA) op de splijtstofcyclus te accepteren (van kracht sinds 1970). Ongeveer 190 staten hebben het NPT ondertekend.
- Het 'Additional Protocol'¹¹³ dat voorziet in uitgebreidere controlemogelijkheden ook buiten de splijtstofcyclus. Dit betekent dat de IAEA ook inspecties mag uitvoeren bij instellingen die geen enkele relatie hebben met een nucleair programma. Dit protocol is nog niet door alle NPT-staten geratificeerd.
- 'Convention on the Physical Protection of Nuclear Material'¹¹⁴ waarin verdragsstaten worden verplicht nucleair materiaal te beschermen tijdens het transport.
- De Guidelines van de Nuclear Suppliers Group die beperkingen opleggen aan overdracht van gevoelige technologieën als verrijking- en opwerkingstechnologie.
- Specifiek t.a.v. verrijking is Nederland samen met de andere Urenco-landen partij bij het Verdrag van Almelo en t.a.v. verrijkingstechnologie samen met het VK, Duitsland en Frankrijk, partij bij het Verdrag van Cardiff. Beide verdragen voorzien in een multinationalaal toezicht op de activiteiten van Urenco c.q. van de Enrichment Technology Company (ETC).

Op grond van het Euratomverdrag (1957) en het Non-proliferatieverdrag (NPT, 1968) met bijbehorende Waarborgenovereenkomst en Additioneel Protocol, heeft Nederland zijn nucleaire activiteiten onder internationaal toezicht geplaatst. Zodoende valt iedere Nederlandse nucleaire installatie automatisch onder het toezicht van de EU (Euratom) en het Internationale Atoom Energie Agentschap te Wenen (IAEA). Nederland is daarbij gehouden aan het aanleveren van noodzakelijke informatie. De verdragen leidden tot internationale inspecties op vreedzame nucleaire activiteiten, de splijtstofbewaking of *safeguards* door zowel Euratom als de IAEA.

Nederland heeft zich bij diverse internationale initiatieven aangesloten die het non-proliferatieregime in onze regio verstevigen. Te noemen zijn ondermeer het Proliferation Security Initiative¹¹⁵ (PSI), een motie van de Veiligheidsraad van de VN (UNSCR 1540), die de verspreiding van alle soorten massavernietigingwapens moet tegengaan, en het Global Initiative to Combat Terrorism. Voor meer (internationale) initiatieven, zie paragraaf 3.2.2 'Ontwikkelingen'.

Meer gedetailleerde nationale regels ten aanzien van de vergunningverlening en het verantwoord beheer van nucleaire installaties en materialen, zijn te vinden in de Kernenergiewet (Kew) en onderliggende regelgeving.

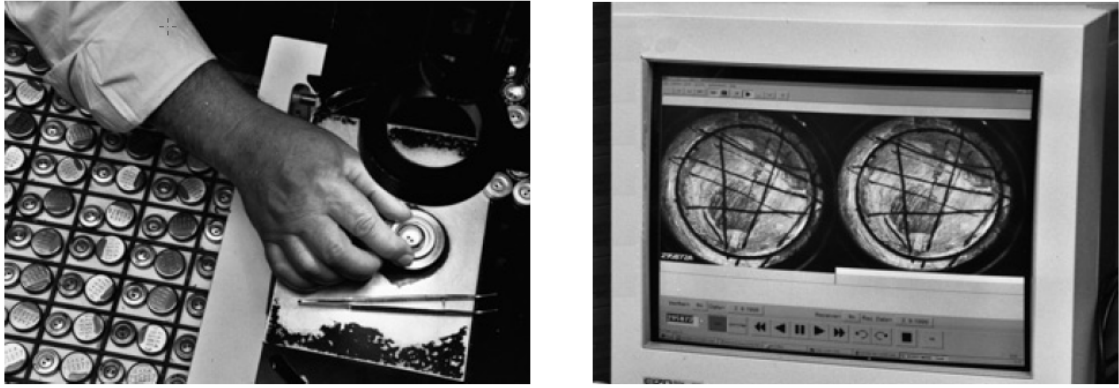
Naast dit wettelijke kader zijn er dichterbij de bedrijfsvoering organisatorische maatregelen zoals:

- zorgvuldig personeelsmanagement (waarborging en controle integriteit en deskundigheid);
- uitvoerbare en controleerbare procedures;
- splijtstofboekhouding;
- aanwezigheid van bewakingspersoneel bij installaties en politiebegeleiding van transporten.

¹¹³Een staat kan een Additional Protocol tekenen. Het format daarvan is vastgelegd in IAEA INFCIRC/540. Voor Nederland werd het in 2004 van kracht.

¹¹⁴Convention on the Physical Protection of Nuclear Material, IAEA, 1980

¹¹⁵Proliferation Security Initiative (PSI), in 2003 gelanceerd, een initiatief van momenteel circa 60 landen (waaronder Nederland), dat met name gericht is op het onderscheppen en voorkomen van illegale transporten van 'Weapons of Mass Destruction' (WMD) en goederen waarmee deze kunnen worden gemaakt of gelanceerd.



Figuur 7 Controle van zogenoemde ‘safeguard seals’ door een inspecteur. (Foto IAEA)

Iedere staat die de ambitie daartoe heeft, kan met voldoende inzet van mensen en middelen geheel zelfstandig nucleaire faciliteiten bouwen en ontwikkelen met het oogmerk een (mogelijk eenvoudig) kernwapen te maken. Alleen internationaal georganiseerde politieke druk kan een dergelijke staat weerhouden zijn ambities op dit gebied te verwezenlijken.

Technische aspecten van beveiliging tegen proliferatie

Er zijn vele technische voorzieningen om de ongeoorloofde toegang tot terreinen en gebouwen te voorkomen en pogingen daartoe tijdig te signaleren. Vele soorten detectiemiddelen worden ingezet om iedere poging tot onttrekking van materialen aan de geadmireerde en gerapporteerde processtromen, tijdig te kunnen waarnemen. Transporten kunnen met GPS op afstand worden gevolgd. Bovendien zijn de transportmiddelen (containers en voertuigen) zo zwaar en groot dat het niet mogelijk is ze na een overval onopvallend en snel af te voeren¹¹⁶. De fysieke beveiliging van transporten door politie is een andere vorm van bescherming tegen kwaadwillenden.

3.2.1.2 Terrorisme

Er kunnen drie soorten terroristische nucleaire bedreigingen worden onderscheiden: (1) een primitief kernwapen, (2) de ‘vuile bom’ waarmee radioactief materiaal wordt verspreid en (3) een aanslag op een nucleaire installatie of transport van nucleair materiaal met het doel radioactieve stoffen te laten ontsnappen en daarmee de omgeving te besmetten.

(1) Primitief kernwapen

Vanwege de grootte en complexiteit van de benodigde installaties is het voor terroristische organisaties niet eenvoudig ongemerkt zelf materiaal voor een kernwapen te vervaardigen. Daarvoor is hulp van een staat nodig. Wel is het in principe mogelijk materiaal voor een dergelijk wapen clandestien te bemachtigen. De voorkeur zal dan waarschijnlijk uitgaan naar hoogverrijkt uranium, anders wordt de realisatie van een kernwapen zonder gebruik van uitgebreide nucleaire faciliteiten erg onwaarschijnlijk. In commerciële kerncentrales wordt overigens geen hoogverrijkt uranium gebruikt.

(2) Explosief met radioactief materiaal

Het gebruik van de zogenoemde ‘vuile bom’ (‘dirty bomb’¹¹⁷) vormt een meer reële potentiële bedreiging. Een dergelijke bom is een combinatie van een conventioneel explosief en een hoeveelheid radioactief materiaal. Het meest schadelijke deel van de bom is in eerste instantie het conventionele explosief; de radioactieve besmetting zorgt voor extra dreiging en veel ongemak in de vorm van een te ontsmetten gebied.

Belangrijke constatering zijn:

- De mogelijkheid van de inzet van een vuile bom is niet onderscheidend voor één van de kernenergiescenario’s.

¹¹⁶Als het doel het verkrijgen van materiaal is, dan zal men de overval zo moeten uitvoeren dat de transportmiddelen daarbij in tact blijven.

¹¹⁷Deze combinatie wordt in het jargon ook wel een ‘radioactive dispersion device’ (RDD) genoemd.

- Voorts is de vuile bom ook niet specifiek voor het bestaan van kernenergie en de splijtstofcyclus. Radioactief materiaal is immers ook in andere sectoren aanwezig, waar bovendien een minder streng beveiligingsregiem heerst dan in de nucleaire sector.

(3) Aanslag op nucleaire installatie of op een transport van nucleair materiaal

Terroristen kunnen overwegen een installatie of een transport aan te vallen en te beschadigen, met het oogmerk om daarbij radioactieve stoffen in de omgeving te brengen. Ook als een aanval geen significant effect heeft, kan er toch een dreiging van uit gaan.

Organisatorische aspecten van beveiliging tegen terrorisme

Na 11 september 2001 is zowel bij de beveiliging van nucleaire installaties als bij opslagplaatsen en transporten van radioactief materiaal de aandacht voor terrorisme toegenomen. Dit geldt zowel op internationaal als op nationaal niveau. Voor wat betreft de nucleaire sector heeft deze zorg in 2005 o.a. geleid tot een aanpassing van het Verdrag inzake de Fysieke Beveiliging van Kernmateriaal en Kerninstallaties¹¹⁸. Hierdoor vallen in het vervolg niet alleen het transport van nucleair materiaal onder dit verdrag, maar ook de kerninstallaties zelf. Het verdrag is door het IAEA op praktijkniveau uitgewerkt in de vorm van aanbevelingen. De meest recente versie is thans INFCIRC/225/rev.4¹¹⁹. Op nationaal niveau heeft de toegenomen zorg voor terrorisme o.a. geleid tot het project Bescherming Vitale Infrastructuur¹²⁰. Ook met betrekking tot de kerncentrale Borssele zijn de beveiligingsmaatregelen nader onderzocht en zijn aanbevelingen voor verbetering gedaan.

Technische voorzieningen

Bij het ontwerp van nucleaire installaties wordt bij het analyseren van ongevallen rekening gehouden met terroristische dreigingen. Op basis van analyses van mogelijke gevolgen worden gerichte maatregelen genomen om de gevolgen te beperken. Dit soort analyses heeft bijvoorbeeld geleid tot het voorschrijven van een tweede, ‘gescheiden’ gebunkerde controlekamer, een locatie van waaruit de reactor kan worden afgeschakeld. Deze voorziening is in de Nederlandse situatie in Borssele al aanwezig. Het beveiligingsregime en de technische voorzieningen zorgen er voor, dat indringers worden vertraagd en externe hulpdiensten tijdig gewaarschuwd kunnen worden. Mochten eventueel terroristen een kerncentrale overnemen, dan worden de effecten ook beperkt door de bestaande veiligheidssystemen die bij verkeerde acties van de operator de reactor automatisch afschakelen.

Met betrekking tot de beveiliging tegen een neerstortend vliegtuig is er een verschil tussen bestaande en nieuw te bouwen centrales. De huidige generatie-II kerncentrales zijn niet expliciet ontworpen om bestand te zijn tegen een ongeval met een zeer groot passagiersvliegtuig. Wel is voor de Zwitserse centrales aangetoond dat het reactorgebouw, in combinatie met de hierin aanwezige zware betonnen structuren, het primaire systeem, waaronder het reactorvat en het bassin met de gebruikte splijtstof, beschermt tegen een neerstortend vliegtuig (Boeing 707). De Amerikaanse regelgever NRC heeft voorstellen gedaan ten aanzien van de bestendigheid van nieuw te bouwen centrales tegen een aanslag met een verkeersvliegtuig. Het doel is dat de gevolgen voor de omgeving bij een dergelijke aanslag zeer beperkt blijven. De ontwerpisen kunnen onafhankelijk van de kans op een dergelijke gebeurtenis geformuleerd worden. Ook in Nederland zijn hierover al in 2006 uitspraken gedaan in een beleidsnotitie¹²¹ van VROM.

In het kader van beveiliging tegen externe dreigingen is niet alleen het hebben van meerdere fysieke barrières van belang, maar ook de diversiteit van de beschikbare veiligheidssystemen.

De beveiliging van het transport om diefstal van nucleair materiaal te voorkomen, zoals in de paragraaf over proliferatie is beschreven, dient ook ter beveiliging tegen aanslagen.

¹¹⁸Wenen/New York, 3 maart 1980, 166, <http://www.iaea.org/Publications/Documents/Conventions/cppnm.html>

¹¹⁹International Atomic Energy Agency,

http://www.iaea.org/Publications/Documents/Infcircs/1999/infirc225r4c/rev4_content.html

¹²⁰Kamerstukken II 2004-2005, 26 643, nr. 75 (bijlage)

¹²¹Randvoorwaarden nieuwe kerncentrales, SAS/DVO/2006296794, Stas van VROM, 2006

3.2.2 Ontwikkelingen

Multilateral Nuclear Approaches (MNA)

Multilaterale samenwerking kan landen doen afzien van het verwerven van brandstofcyclus-technologie, zoals verrijking, splijtstoffabricage en opwerking, mits ze de garantie krijgen dat ze onder gunstige voorwaarden splijtstof kunnen kopen voor hun kernenergiecentrales en zeker kunnen zijn van correcte en tijdige levering van deze 'brandstof'. Als hierbij beheer van gebruikte splijtstof en afvalbeheer wordt aangeboden, kan de MNA-optie voor veel landen zeer aantrekkelijk zijn.

Beheer volgens de MNA kan inhouden: beheer door multinationaal management van meerdere locaties of beheer door een nationaal management op één locatie of in één land. Deze twee opties gaan beiden uit van een zelf-sturend systeem, waarbij alle (zaken)partners elkaars gedrag controleren. Eén stap verder – en ambitieuzer – zou zijn alle nog te bouwen faciliteiten voortaan onder multinationaal beheer te realiseren en te bedrijven.

In 2005 is er een zogenoemd 'Expert Group Report' aangeboden aan de directeur- generaal van de IAEA, met aanbevelingen voor een multilaterale benadering van de splijtstofcyclus, die het non-proliferatieregime kunnen versterken en die geleidelijk zouden kunnen worden ingevoerd. Realisatie van de voorstellen zou kunnen leiden tot de concentratie van de nucleaire faciliteiten op een beperkt aantal locaties, per regio of zelfs per continent. Mogelijkheden in dat verband zijn 'fuel leasing' en 'fuel take back' aanbiedingen, commerciële diensten voor het opslaan en eindbergen van radioactief afval en commerciële 'splijtstofbanken'. De IAEA zou hierbij als beheerder kunnen optreden en daarmee de levering van bepaalde diensten kunnen garanderen. Sommige deskundigen zien ook een risico in de MNA-optie, zeker als die uitgaat van multinationaal beheer van faciliteiten die voorheen door één land werden beheerd. Diffusie van kennis zou dan minder goed kunnen worden voorkomen. Dit zou ook het geval zijn indien een MNA-faciliteit in een land gebouwd zou worden, waar voorheen nog geen activiteiten van de splijtstofcyclus aanwezig waren.

3.2.3 Randvoorwaarden t.a.v. beveiliging versus scenario's

Algemene randvoorwaarden, onafhankelijk van het scenario

Er bestaat al een samenhangend internationaal kader met een stelsel van voorschriften en controlemechanismen. Daaronder is er de Nederlandse regelgeving en de implementatie daarvan door de vergunninghouders in het beheer van hun installaties.

Ongeacht het van toepassing te verklaren scenario, het wel of niet bouwen van nieuwe centrales, kan de overheid de randvoorwaarden aan beveiliging aanpassen. Ten aanzien van non-proliferatie zijn de voorzieningen al zeer adequaat. Het screeningbeleid t.a.v. personeel van diverse actoren zou kunnen worden geëvalueerd. Ook kan kritisch worden bezien welke informatie betreffende beveiliging met het publiek gedeeld moet worden. Het bewakingsregime zou – mits evaluaties daartoe aanleiding geven – verder kunnen worden aangescherpt. Hierbij zou het aantal barrières kunnen worden uitgebreid om kwaadwillende personen bij inbraak- of aanvalspogingen nog meer te vertragen.

Met betrekking tot terrorisme kan worden opgemerkt, dat in sommige landen bewapende bewaking aanwezig is bij (een deel van) de installaties uit de splijtstofcyclus. De voor- en nadelen daarvan zouden moeten worden afgewogen.

Scenario 1a Geen nieuwe kerncentrales

Bij dit scenario zijn er geen gevolgen voor beveiliging tegen proliferatie en terrorisme. Ook als er geen nieuwe kerncentrales komen, zal voor bestaande installaties uit de splijtstofcyclus, toch de beveiliging van de bestaande installaties en transporten gehandhaafd moeten blijven.

Scenario 1b Geen nieuwe centrales tenzij inherent veilig,
Scenario 2 Borssele vervangen in 2033 &
Scenario 3 Nieuwe kerncentrale na 2020

Het bedrijven van één of meer nieuwe kerncentrales zal geen extra proliferatierisico's met zich meebrengen, gezien de naleving van de internationale afspraken waaraan Nederland zich heeft gecommitteerd.

Als er een nieuwe centrale gebouwd gaat worden, is het voorstelbaar dat er een eis zal gelden dat de inslag van een verkeersvliegtuig geen grote gevolgen voor de omgeving mag hebben. Deze mogelijke randvoorwaarde komt niet alleen voort uit beschouwing van het aspect beveiliging; ook bij het aspect 'technische veiligheid' is deze gesuggereerd (paragraaf 3.1). Bewegingen richting het stellen van zo'n voorwaarde, zijn waarneembaar in de beleidsvoornemens in diverse landen. Voorzieningen, die het voldoen aan deze mogelijke voorwaarde mogelijk maken, zijn ook herkenbaar in de generatie-III ontwerpen die commercieel beschikbaar zijn.

Betreffende de beveiliging is het bij nieuwbouw gemakkelijk extra voorzieningen (zoals extra barrières) op te nemen in het terrein en in de gebouwen. De overheid zou eventuele eisen daaraan bij voorkeur ruim vóór de bouw van een nieuwe centrale moeten vastleggen. Tijdens en/of na de bouw is het lastiger en kostbaarder om extra voorzieningen aan te brengen.

Tabel 11 Mogelijke randvoorwaarden betreffende non-proliferatie en beveiliging tegen terrorisme

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a Alg. randvoorw. +	Scenario 1b Alg. randvoorw. +	Scenario 2 Alg. randvoorw. +	Scenario 3 Alg. randvoorw. +
Non-proliferatie	Politieke instrumenten: IAEA statuut Euratomverdrag Non-proliferatieverdrag (NPT) Additioneel Protocol	Volgen van internationale ontwikkelingen ▶ Geen onderscheidend effect op de scenario's			
	Waarborgsystemen (safeguards) Euratomsysteem IAEA-controle (NPT)	Volgen van internationale ontwikkelingen ▶ Geen onderscheidend effect op de scenario's			
Beveiliging tegen terrorisme	Beveiliging op orde: organisatie techniek screening AIVD	Handhaving beveiliging bestaande installaties en transporten	Handhaving beveiliging, ook voor inherent veilige centrale	Handhaven beveiliging. Aanvullende veiligheidseisen mogelijk: <ul style="list-style-type: none"> • Beperkt effect op omgeving van eventuele vliegtuiginslag. • Eisen t.a.v. veiligheidsbarrières rond centrales. 	

Legenda: ▶ is een gevolg, ■ is een opmerking. Zonder symbooltje: een mogelijke voorwaarde.

4. Regelgeving, inspraak en waarborging

Dit hoofdstuk begint met een introductie van de belanghebbenden (paragraaf 4.1). Daarna worden de volgende aspecten behandeld:

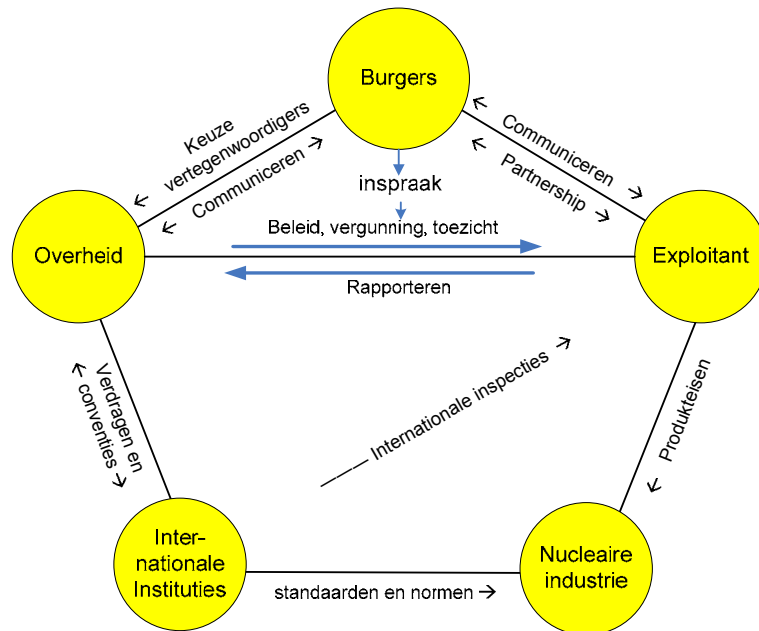
- o Regelgeving voor toepassen van kernenergie (paragraaf 4.2),
- o Inspraak (paragraaf 4.3) en
- o Waarborging (paragraaf 4.4).

De opeenvolgende paragrafen beschrijven voor elk van deze aspecten de stand van zaken. Indien relevant worden er recente ontwikkelingen geschetst.

Aanpassing van de huidige wet- en regelgeving zal waarschijnlijk nodig zijn om eventueel te kiezen randvoorwaarden te implementeren. Daarbij zal er ook rekening gehouden moeten worden met internationale afspraken waarmee Nederlandse voornemens tot wetswijziging niet in strijd mogen zijn. Er is een aanvullend traject nodig om deze juridische implicaties nader te beschouwen. Daarom is afgesproken om in dit hoofdstuk geen nadere uitwerking van mogelijke randvoorwaarden te geven. Niettemin wordt informatie aangereikt die gebruikt kan worden bij de discussie over dergelijke randvoorwaarden.

4.1 Introductie belanghebbenden, de stakeholders

- In dit rapport worden vijf groepen van belanghebbenden onderscheiden. De invloed van deze groepen bij het besluitvormingsproces over nieuw kernenergievermogen is in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 8 Invloed van diverse groepen van belanghebbenden, de zogenoemde 'stakeholders'

Hierbij betekent:

- **Burgers**: de samenleving, waaronder burgers, belangengroeperingen en adviesorganen.
- **Overheid**: de centrale overheid, maar ook de provinciale en gemeentelijke overheden.
- **Exploitant**: de elektriciteitsproducent, vergunninghouder, eigenaar.

- **Internationale organisaties:** de organisaties zoals de Europese Unie (o.a. via EURATOM), het atoomenergieagentschap van de VN (IAEA) en overige internationale organisaties.
- **Nucleaire industrie:** de internationale nucleaire industrie en hun belangenorganisaties.

Voorts zijn er twee groepen, die niet direct belanghebbend zijn, maar wel enige invloed hebben op de belanghebbenden:

- **Wetenschap:** de onderzoeksinstituten en universiteiten, zijn niet direct belanghebbend, maar hebben meer een adviesfunctie richting alle belanghebbenden
- **Media:** tv-zenders, kranten, opiniebladen, wetenschappelijke tijdschriften.

De rol van elk van deze groepen bij de besluitvorming over nieuw kernenergievermogen wordt hieronder toegelicht.

Rol van de Burgers

De burgers spelen de centrale rol bij de besluitvorming door hun impliciete keuze van het te voeren energie- en milieubeleid via de Tweede Kamer verkiezingen en door hun invloed op de parlementaire controle van dit beleid. Tevens hebben zij via de deelname aan publieke organisaties, invloed op de adviesorganen die betrokken zijn bij het beleid. Ook heeft de burger zowel individueel als via adviesorganen en belangengroeperingen inspraak bij de procedures die bij de besluitvorming doorlopen moeten worden.

Rol van de (nationale) overheid

De overheid stelt beleid op met betrekking tot diverse beleidsterreinen, zoals energie, ruimtelijke ordening en milieu. Zij heeft van de burgers het mandaat gekregen om dit beleid uit te voeren. Van de overheid wordt verwacht dat zij de economische gevolgen en de juridische risico's van dit beleid juist heeft ingeschat en dat dit beleid geen schade toebrengt aan de volksgezondheid en het milieu. Hierbij moet de overheid haar bevindingen communiceren met de burgers. Ook de internationale context van het beleid is een taak van de overheid.

Op initiatief en aanvraag van de exploitant neemt de overheid de vergunningaanvraag in behandeling. Bij de vergunningsprocedures heeft de overheid een grote rol. De overheid oefent namens de burgers toezicht uit op de vergunninghouder. De overheid moet in het bijzonder zorgen voor de waarborging van veiligheid voor mens en milieu bij de exploitatie van de kerncentrale en bij het hanteren van de radioactieve afvalstoffen. Tevens is er bij de overheid grote aandacht voor het onderwerp beveiliging.

Rol van de exploitant

De exploitant is een rechtspersoon met de nodige deskundigheid en financiële middelen, die naar aanleiding van het energiebeleid van de overheid het initiatief neemt om een kerncentrale te bouwen. Een eerste stap daarbij is het indienen van een startnotitie (voor de MER) bij de overheid. Mede op basis van de uitkomst van de MER zou dan voor een bepaald beschikbaar reactortype de vergunning voor de bouw en exploitatie kunnen worden aangevraagd. De exploitant moet een goede relatie hebben en in standhouden met de regionale bevolking. Exploitanten hebben middels hun eisenpakketten invloed op de ontwikkelingen in de reactortechnologie. Een voorbeeld is het initiatief van de grote Europese elektriciteitsproducenten (met nucleair vermogen), die in het kader van standaardisatie de 'European Utility Requirements' hebben opgesteld¹²² (EUR).

Rol van de nucleaire industrie

De nucleaire industrie omvat o.a. de potentiële leveranciers van installaties, systemen en componenten van een kerncentrale. Tot deze industrie rekenen we ook de bedrijven betrokken bij de front-end en de back-end van de splijtstofcyclus (zie hoofdstuk 2). De nucleaire industrie is grotendeels in het buitenland gevestigd en hun fabricagemethoden en producten moeten voldoen aan de regelgeving van het land van vestiging als ook aan de industriële standaards en normen die zijn opgelegd door hun overheid (o.a. DIN, KTA) en internationale organisaties

¹²²Zie ook paragraaf 2.3.2 'Ontwikkelingen'.

(o.a. EURATOM, ANSI, ASME). Brancheorganisaties zoals de WANO¹²³ spelen een belangrijke rol bij zaken als veiligheidscultuur en het uitwisselen van bedrijfservaringen.

Rol van internationale organisaties

Onder auspiciën van de IAEA werkt een groot aantal landen, waaronder Nederland, samen op het gebied van nucleaire veiligheid en beveiliging. Dit Agentschap van de VN geeft in haar publicaties voorschriften, richtlijnen en adviezen met betrekking tot het veilig omgaan met kernenergie, splijtstoffen en overige radioactieve stoffen. De samenwerkende landen hebben verdragen gesloten die de ondertekenaar verplichten de regels die bij deze verdragen afgesproken zijn, in de nationale regelgeving op te nemen. Een aantal van deze verdragen zijn of worden ook binnen het Euratom verdrag verplicht gesteld. Enkele voorbeelden van verdragen:

- Verdrag inzake nucleaire veiligheid (Nuclear Safety Convention).
- Internationaal verdrag inzake veiligheid van het beheer van bestraalde splijtstoffen en veiligheid van het beheer van radioactief afval (Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management)
- Diverse verdragen betreffende non-proliferatie, zie hiervoor paragraaf 3.2.
- Artikel 35 van het Euratom verdrag, dat lidstaten verplicht de radioactiviteit in lucht, water en bodem te monitoren en te voldoen aan bepaalde standaards.

De 'EC/Euratom Regulations' zijn naast de nationale wetgeving onverkort van kracht in alle lidstaten. Ze hoeven niet in nationale wetten te worden geïmplementeerd.

In het kader van het EURATOM Verdrag zal Nederland de besluiten van de Europese Commissie (Council Directives) in de nationale regelgeving opnemen. Bij 'Directives' hangt het van de grondslag af in hoeverre lidstaten vrij zijn in de implementatie, aangepast aan de nationale situatie.

Rol wetenschap (niet in figuur weergegeven)

De onderzoeksinstituten en universiteiten dragen bij aan de kennisinfrastructuur in Nederland middels het uitvoeren van innovatief onderzoek en het aanbieden van opleidingen. Tevens kunnen zij in sommige kwesties een adviestaak aannemen. Hierbij kunnen zij dienstverlenend zijn aan alle andere groepen van belanghebbenden. De wetenschap is internationaal georiënteerd, wat tot gevolg heeft dat zij Nederlandse belanghebbenden indirect toegang geeft tot kennis vergaard in andere landen. Internationale samenwerking is eerder regel dan uitzondering en is in principe kosteneffectief. Samenwerking is er tussen instellingen, maar er zijn vele gremia voor samenwerking, waaronder de internationale vakverenigingen. De Europese Unie financiert vele internationale onderzoeksprojecten.

De onderzoekers zijn in principe geen echte belanghebbenden inzake kernenergie. Indirect kunnen zij toch profiteren van de belangstelling voor het onderwerp kernenergie, bijvoorbeeld vanwege de financiering van onderzoek naar aspecten van kernenergie.

Rol media (niet in figuur weergegeven)

De media variëren van populair (tv-zenders, kranten en opiniebladen) tot wetenschappelijk (vakbladen, wetenschappelijke tijdschriften). Diverse belanghebbenden kunnen via de media hun opinie toelichten en daarmee het draagvlak voor hun standpunt proberen te vergroten. Ook kunnen vertegenwoordigers van de media eigen standpunten impliciet of expliciet brengen via hun eigen kanalen. Het is van belang dat zowel voor- als tegenstanders van bepaalde standpunten aan het woord komen. Het is niet voldoende om de discussie van complexe thema's alleen in wetenschappelijke tijdschriften te voeren, omdat hiermee niet alle belanghebbenden worden bereikt. Deze discussie moet dan ook naar de 'populaire' media gebracht worden, maar waarschijnlijk wel op een ander abstractieniveau dan in de meer wetenschappelijke bladen.

¹²³ World Association of Nuclear Operators (WANO)

4.2 Regelgeving voor toepassen van kernenergie

Het huidige stelsel van wet- en regelgeving is niet geheel toereikend om (alle) mogelijke randvoorwaarden te implementeren. Ook moet er rekening gehouden worden met internationale afspraken waarmee Nederlandse voornemens tot wetswijziging niet in strijd mogen zijn. Een aanvullend traject is nodig om deze juridische implicaties nader te beschouwen. Daarom wordt in deze paragraaf geen nadere uitwerking (in randvoorwaarden) per scenario gegeven.

4.2.1 Stand van zaken regelgeving

Voor de elektriciteitsopwekking door vrijmaken van kernenergie, is in aanvulling op het algemene kader, de Kernenergiewet (Kew) van toepassing. Deze raamwet geeft het kader waarbinnen deze activiteiten mogen plaatsvinden en wie verantwoordelijk is voor het toezicht op de naleving van deze wet en haar besluiten. Veel praktische zaken uit de Kew zijn geregeld in algemene maatregelen van bestuur (ambv's) en ministeriële regelingen (mr). Voorbeelden zijn het Besluit stralingsbescherming (Bs), Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen (Bkse) en Besluit vervoer splijtstoffen, ertsen en radioactieve stoffen (Bvser). Zie ook paragraaf 3.1 voor een toelichting op de Kew. In paragraaf 4.4 Waarborging zijn overwegingen te vinden ten aanzien van nadere voorwaarden bij de uitvoering van artikelen van deze wet.

Naast de Kew zijn nog veel meer wetten van toepassing, zoals diverse wetten die het gebruik en de kwaliteit van het oppervlaktewater regelen, de bodem beschermen, rekening houden met flora- en fauna etc.

Dichter op de nucleaire techniek, zit de serie 'NVRs', de Nucleaire VeiligheidsRegels. De NVRs gelden voor op het land gevestigde installaties voor energieproductie uit kernsplijting met thermische neutronen. Nederland heeft jaren geleden IAEA standaarden 'geadopteerd' en met meestal minieme aanpassingen omgezet naar de Nederlandse praktijk, resulterend in een set NVRs. De NVRs die betrekking hebben op kwaliteitsborging hebben een wettelijke status. Dit is zo sedert 2004 door de inwerkingtreding van de Regeling kwaliteitsborging kerncentrales (Stctr. 2004, 55). Echter, diverse andere NVRs worden via vergunningsvoorschriften verplicht gesteld.

In het kader van het Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding (NPK) zijn zowel de benodigde organisatie, als ook de verantwoordelijkheden en verplichtingen van overheden én exploitanten bij kernongevallen vastgelegd.

Procedures

Een aanvraag voor een vergunning voor een nucleaire installatie in het kader van de Kew moet volgens de Algemene wet bestuursrecht een openbare procedure doorlopen met vastgelegde termijnen. Voorts moet bij een vergunning van een kerninstallatie in veel gevallen eerst de openbare procedure van de milieueffectrapportage (m.e.r.) doorlopen worden.

Ook het besluit tot waarborgen van vestigingsplaatsen voor een kerncentrale loopt via een openbare procedure, waarbij deze waarborging onderdeel vormt van een structuurvisie. Een recente structuurvisie is die van het derde Structuurschema Elektriciteitsvoorziening (SEV III). In het kader hiervan is een strategische milieubeoordeling en een beoordeling volgens Natura 2000 voor de gewaarborgde vestigingsplaatsen uitgevoerd.

In de recente wijziging van de Elektriciteits-, Gas- en Mijnbouwwet is de toepassing van de rijkscoördinatie-regeling op energie-infrastructuurprojecten geregeld. De besluitvorming betreffende de ruimtelijke ordening van deze projecten wordt vanaf een bepaalde omvang op rijksniveau gelegd. Bij conventionele elektriciteitsproductie (inclusief kerncentrales) is de regeling van toepassing op projecten vanaf 500 MWe. Bij dergelijke projecten geldt dan een Rijksinpassingsplan, in plaats van een gemeentelijk bestemmingsplan. Het Rijksinpassingsplan wordt vastgesteld door de ministers van Economische Zaken en van VROM. Voorts coördineert de minister van Economische Zaken de vergunningsprocedures op grond van de rijkscoördinatie-regeling. De bedoeling daarvan is de procedures te verkorten en te stroomlijnen,

waardoor dergelijke projecten sneller kunnen worden gerealiseerd. De geldende afwegingskaders blijven daarbij overigens volledig intact.

Vergunningsvoorschriften

Aan de vergunning op grond van de kernenergiewet (Kew) voor de bouw en exploitatie van een kerncentrale zullen voorwaarden worden verbonden, de zogenoemde vergunningsvoorschriften. De Kew vergunning is een integrale vergunning waarin naast nucleaire en stralingsaspecten ook zogenaamde conventionele milieuaspecten worden geregeld. Daarnaast worden in deze vergunning bepalingen opgenomen vanwege andere beleidsterreinen, zoals het belang van de werknemersbescherming en verplichtingen in het kader van internationale verdragen over ondermeer nucleaire veiligheid, afvalbeleid en het bezit en gebruik van splijtstoffen.

Toezicht, inspectie door de KFD

De vergunninghouder is verantwoordelijk voor de veiligheid en de continue verbetering daarvan. In Nederland ziet de Kernfysische Dienst (KFD) - onderdeel van de VROM-Inspectie - erop toe dat de vergunninghouder deze verantwoordelijkheid volledig invult door middel van een toezichtprogramma, gericht op de instandhouding en verbetering van de kwaliteit/sterkte van alle lagen van de veiligheid. Het toezichtprogramma bestaat onder meer uit routine-inspecties, audits en themaonderzoeken naar processen, systemen of functioneren en structuur van de organisatie, beoordeling van veiligheidsevaluaties en wijzigingen van de installatie en organisatie, borging van het leren van interne en externe incidenten, en gezamenlijke oefeningen van incidenten. Periodiek wordt dit aangevuld met grote (OSART) en kleine IAEA-missies (zoals IPSART-risicoanalyse, AMAT-veroudering). Voor de overheidsorganisatie zelf is ook een IAEA-missie voorzien in de periode 2010-2015.

De KFD is bezig met de modernisering van de NVR reeks. Dit is nodig omdat de documenten van de IAEA waarnaar in de huidige NVRs wordt verwezen, inmiddels grotendeels zijn vervangen door een nieuwe reeks standaarden van de IAEA. De huidige implementatie stamt nog uit de 80-er jaren van de vorige eeuw.

Aansprakelijkheid

In de lidstaten van de Europese Unie zijn er maatregelen van kracht betreffende de aansprakelijkheid voor schade door kernongevallen. Deze maatregelen zijn uitgewerkt in een aantal verdragen. Er zijn het 'verdrag van Parijs' van 1960 dat is opgesteld onder auspiciën van het agentschap voor kernenergie (NEA) van de OESO en het aanvullend 'verdrag van Brussel'. In het zogenoemde Gezamenlijk Protocol is toepassing vastgelegd van het verdrag van Parijs en het verdrag van Wenen (voor de niet-OESO leden). Deze verdragen zijn in Nederland opgenomen in de Wet aansprakelijkheid kernongevallen (Wako). Deze verdragen en dus ook de Wako zijn een aantal malen gewijzigd.

Op grond van de vigerende Wako¹²⁴ is de exploitant van een kerncentrale aansprakelijk tot een bedrag van maximaal € 340,3 miljoen. Op grond van de nog niet in werking getreden wijziging van de Wako zal dit bedrag verhoogd gaan worden tot € 700 miljoen¹²⁵. Ingevolge artikel 18 van de Wako stelt de Staat – indien nodig – aanvullende publieke middelen¹²⁶ beschikbaar, waarmee een dekking tot maximaal € 2.268,9 miljoen kan worden gegarandeerd. Dit bedrag zal overigens worden verhoogd¹²⁷. Voor deze soort staatsgarantie vraagt de Staat aan de exploitant wel een vergoeding. De dekking in Nederland is hoger dan op grond van de verdragen van Brussel en Parijs noodzakelijk is. Dat zal ook het geval zijn na inwerkingtreding van de wijziging van de Wako.

¹²⁴Wako, artikel 5 eerste lid en Besluit van 14 november 1997 waarin per 1 januari 1998 dit bedrag is vastgesteld.

¹²⁵Zie (stb. 2008, 509), dit is conform de meest recente versie van het Verdrag van Parijs.

¹²⁶Deze publieke middelen bestaan uit drie delen: een nationaal deel dat door de internationale verdragen is voorgeschreven, een samen met alle lidstaten gedekt deel volgens de internationale verdragen en als laatste specifiek voor Nederland een aanvullende Staatsgarantie.

¹²⁷Zie (stb. 2008, 509), dit zal gewijzigd worden in 3,2 miljard.

Men kan zich afvragen of het redelijk is deze bedragen ook te hanteren bij zogenoemde inherent veilige centrales. Ingevolge het derde lid van artikel 5 van de Wako is er de mogelijkheid, het maximumbedrag van de aansprakelijkheid van de exploitant op een lager bedrag vast te stellen.

Wetswijzigingen - procedure

Het besluitvormingsproces bij het tot stand komen van een wetswijziging verloopt volgens een in de wet geregelde procedure met inspraak van diverse adviesorganen. Voor belanghebbenden is er geen mogelijkheid tot het aantekenen van bezwaar. Wel kunnen zij middels het benaderen van de volksvertegenwoordigers en de media druk uitoefenden op het proces van wetswijziging. Als onderdeel van de besluitvorming wordt het wetsvoorstel getoetst aan eerder aangegeven verplichtingen van de overheid, i.e. aan bestaande wetten en internationale verdragen en conventies die de overheid heeft getekend. Indien wetsvoorstellen strijdig zijn met de belangen van Nederlandse rechtspersonen of met internationale verplichtingen, kan het besluitvormingsproces vele jaren duren. Dit kan meer dan één kabinetsperiode vergen.

Invoeren van nieuwe randvoorwaarden

In de voorgaande hoofdstukken zijn vele mogelijke randvoorwaarden genoemd. Vele belanghebbenden moeten zich nog uitspreken over de wenselijkheid van ieder van deze mogelijke randvoorwaarden. Na selectie van een gewenste set, zou men invoering daarvan kunnen overwegen. Dit kan middels wet- en regelgeving, maar er zijn ook andere opties zoals convenanten en vergunningsvoorschriften.

Voor zover bepaalde zaken wel binnen het huidige wettelijke kader kunnen worden gerealiseerd, kan de weg toch lang zijn. Als het proces zeer langdurig wordt (meer dan één kabinetsperiode) en adviesorganen negatief adviseren, is het afbreukrisico groot en kan het voorstel stranden. Ook zouden als gevolg van de toetsing, aanvullende bepalingen of andere wetswijzigingen (reparaties) noodzakelijk kunnen zijn. Deze bepalingen en andere effecten zouden alsnog kunnen leiden tot het intrekken van het initiatief.

De huidige wetgeving biedt mogelijkheden tot het verbieden (niet rechtvaardigen) van de opwekking van elektriciteit middels kernenergie, zoals voor scenario 1a nodig is. Dit kan door gebruik te maken van de Regeling bekendmaking rechtvaardiging gebruik ioniserende straling. Deze biedt de mogelijkheid activiteiten op de lijst van verboden toepassingen te plaatsen. Er lijken geen middelen te zijn om expliciet bepaalde kernreactortypen op voorhand uit te sluiten. Er zijn echter wel voldoende instrumenten om de veiligheid te evalueren en te toetsen aan de bestaande criteria, die ook van toepassing zijn op de bestaande nucleaire installaties.

4.2.2 Ontwikkelingen

Council Directives

Van zeer recente datum (2009) is de Euratom richtlijn 2009/71¹²⁸ voor het opzetten van een gemeenschappelijk raamwerk voor nucleaire veiligheid van nucleaire installaties, die in het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen zal worden geïmplementeerd. Deze richtlijn sluit aan op de verplichtingen in het kader van de Nuclear Safety Convention. Van belang bij de uitvoering van dit raamwerk is ook de oprichting door de Commissie in 2007 van de ‘European High Level Group on nuclear safety and waste management’. Dit is een Europese groep van toezichthouders op de nucleaire veiligheid, nu ENSREG¹²⁹ genoemd. Ook in 2007 werd op initiatief van de Commissie het ENEF opgericht, een platform “*to facilitate dialogue between different stake holders on the opportunities, risk and transparency*”.

Betrokkenheid van overheden bij financiering van kerncentrales

Recentelijk is door NEA een studie uitgevoerd¹³⁰ naar de mogelijkheden om kerncentrales te financieren. Uit dit rapport blijkt dat in sommige OESO landen de overheid betrokken is bij deze investeringen, meestal via het afgeven van garanties om projectrisico's af te dekken.

¹²⁸Aangenomen op 25 juni 2009 tijdens de vergadering van de Milieuraad. De richtlijn is gepubliceerd in PbEG L 172, pagina's 18-22

¹²⁹European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG), European Nuclear Energy Forum (ENEF)

¹³⁰The Financing of Nuclear Power Plants (FNNP), Final draft of June 2009, OECD/NEA, Paris.

Binnen het kader van het energiebeleid van de EU, mag de Nederlandse overheid in principe geen directe financiële ondersteuning geven om de bouw van nieuwe kerncentrales te stimuleren of extra aantrekkelijk te maken. Andersom mag de Nederlandse overheid geen maatregelen treffen om de bouw van kerncentrales extra te bemoeilijken door het instellen van extra heffingen of belastingen e.d. die de bouw zouden kunnen belemmeren. Een efficiënt en effectief systeem van vergunningverlening en toezicht, en een stabiel (energie)beleid is een voorziening waarmee de overheid indirect de financiering van kerncentrales (door commerciële partijen) kan stimuleren.

Wijziging Kernenergiewet

Onlangs is een wijziging van de Kernenergiewet (Kew) afgerond¹³¹. In de gewijzigde Kew wordt er o.a. financiële zekerheid geëist voor de kosten van de ontmanteling van kerncentrales.

Invloed van verwachte internationale ontwikkelingen

Verandering van een internationaal verdrag is in het algemeen niet ingrijpend en komt pas tot stand na een langdurig internationaal overleg met veel compromissen. Resultierend internationaal beleid drukt geen bepaalde voorkeur uit t.a.v. wel of geen kernenergie.

In het kader van het EURATOM verdrag zijn nationale overheden vrij om een meer beperkend beleid te voeren ten aanzien van kernenergie.

4.3 Inspraak

4.3.1 Stand van zaken bij inspraak en maatschappelijk draagvlak

Op het uiteindelijke beleid ten aanzien van kernenergie, heeft de bevolking invloed via de parlementaire controle van dit beleid en via adviesorganen waaraan publieke organisaties deelnemen. Bovendien is in paragraaf 4.2.1 aangegeven dat de wettelijke procedures voorzien in vele momenten van inspraak in het traject naar een vergunningverlening. Het is daarbij mogelijk 'bedenkingen' te uiten t.a.v. een bepaald voornemen. Veel nuttige informatie kan de burger verkrijgen via zijn recht op inzage in bepaalde stukken die bij de vergunningaanvraag worden ingediend. Echter, niet alle informatie is eenvoudig te doorgronden, bovendien kan het lezen ervan zeer tijdrovend zijn.

Bij overweging van een mogelijke uitbreiding van de opties voor inspraak moet gedacht worden aan een zo zinvol mogelijke participatie. Het is daarbij belangrijk te weten hoe de mening van de burger tot stand komt. Men kan zich daarbij een aantal zaken afvragen, zoals:

- welke (soort/vorm) informatie heeft de burger nodig/gebruikt de burger om tot een gefundeerd oordeel te komen,
- wat voor soort interactie is er nodig tussen de verschillende actoren om de inspraak (bijvoorbeeld t.a.v. een vergunning tot het bouwen van een kerncentrale) zo draagvlakbevorderend als mogelijk te maken,
- wat moet de rol van de verschillende actoren zijn in dit inspraakproces?

Het verkrijgen van steun van de bevolking voor kernenergie als één van de mogelijkheden tot diversificatie van de energievoorziening, laat de overheid over aan de elektriciteitsproducent. Deze, de toekomstige exploitant van de kerncentrale, neemt het initiatief bij de besluitvorming middels zijn vergunningaanvraag. Deze ziet daarbij graag dat de overheid als toezichthouder duidelijke en transparante regels stelt.

Ten aanzien van het maatschappelijke draagvlak, doen de meeste bedrijven uit de nucleaire sector aan voorlichting via vele kanalen: internetsites, brochures, expositieruimtes, rondleidingen, presentaties in lokale gemeenschappen, interviews met media, etcetera. In Nederland zijn de auteurs geen verdergaande initiatieven bekend die de bevolking meer laten participeren, zoals lokale 'focusgroepen' of andere min of meer langlopende lokale

¹³¹ Staatsblad 2010, 18

overleggroepen rond een nucleaire installatie. Dergelijke initiatieven zijn wel bekend uit het buitenland.

In de afgelopen decennia zijn veel wetenschappelijke studies uitgevoerd naar de acceptatie van kernenergie, waarbij voor verschillende invalshoeken is gekozen. Zie ook de paragraaf 4.3.2 Ontwikkelingen. In het bijzonder is er onderzoek gedaan naar de verschillende factoren die bij acceptatie van kernenergie een rol spelen.

4.3.2 Ontwikkelingen

4.3.2.1 Ontwikkelingen - Algemeen

Veiligheid staat voor publiek centraal

Uit diverse publicaties blijkt dat veiligheid en risico's door het publiek als zeer belangrijk worden ervaren wanneer het gaat over uitbreiding van kernenergie. De kwantificering van risico's door het publiek blijkt in grote mate subjectief. Objectieve bepalingen van risico's spelen een kleine rol. Burgers zijn meer geïnteresseerd in de vraag of nucleaire ongevallen als in Harrisburg en Tsjernobyl niet nog eens kunnen gebeuren. Slovic en medewerkers hebben aan de hand van hun onderzoek de belangrijkste factoren geïdentificeerd die de perceptie van risico beïnvloeden. De resultaten zijn in diverse publicaties gerapporteerd^{132, 133, 134}. Ook onderzoekers als Vlek et al¹³⁵, Croxford¹³⁶, Sjöberg¹³⁷ en anderen noemen belangrijke factoren die de perceptie van risico's lijken te verklaren. Voorbeelden zijn:

- Bekendheid met risico,
- Hardnekkigheid van bepaalde overtuigingen,
- Vrijwilligheid van blootstaan aan risico,
- Rechtvaardige verdeling van kosten en baten van het risico,
- Verdeling over de tijd van het risico,
- Beheersbaarheid van het risico (vooral door de burger),
- Het aantal personen dat mogelijk blootstaat aan het risico,
- Mate van vertrouwen in toezichthouders en industrie, zowel t.a.v. hun vermogen risico's te beheersen, als ook de oprechtheid van hun communicatie.

Bij de besluitvorming en de communicatie over risico's moet men hiervan nota nemen.

Poging om perceptie van risico's onder de bevolking te meten

Het Franse IRSN doet ieder jaar verslag van een risicoperceptie barometer. Het onderzoek wordt uitgevoerd door een bureau dat gespecialiseerd is in opiniepeilingen. Hierbij worden jaarlijks 1000 respondenten ondervraagd. In Frankrijk blijkt nucleaire energie niet hoog te staan op de lijst van zaken waar men zich zorgen over maakt. Wel denken de respondenten, dat als er een ongeluk gebeurt, de gevolgen groot kunnen zijn. De kennis en kunde van de nucleaire sector wordt erkend, maar toch heeft men meer vertrouwen in uitspraken van NGOs en artsen. In 2008 maakte men zich het meest zorgen over de financiële crisis, armoede & sociale uitsluiting en werkloosheid.

Rol van de overheid bij maatschappelijke discussies

De overheid is stakeholder in de maatschappelijke discussies. In diverse studies wordt aanbevolen dat de overheid hierbij:

- geen vooringenomen standpunt inneemt en niet actief is bij het vormen van een maatschappelijk draagvlak;

¹³²P. Slovic, "Perception of Risk", Science, Vol.236, 1987

¹³³P. Slovic et al, "Perceived Risks, Trust and the Politics of Nuclear Waste", Science, Vol. 254, 1991

¹³⁴P. Slovic et al, "Images of Disaster: Perception and Acceptance of Risks from Nuclear Power", bijdrage aan "Energy Risk Management", Academic Press, 1979

¹³⁵C.A.J. Vlek et al, "Omgaan met milieurisico's: beoordeling, communicatie en besluitvorming", in "Consument en milieu: beoordeling van milieurisico's en sturing van gedrag", Houten, Bohn Stafleu van Loghum (uitgever), 1994

¹³⁶T. Croxford, "Public Perceptions in a Changing World", Conference paper PIME 2005

¹³⁷L. Sjöberg, "Worry and Risk Perception", Risk Analysis, Vol. 18, No.1, 1998

- een rechtvaardige, dat wil zeggen een op participatie gerichte benadering volgt in het besluitvormingsproces;
- haar taak als onafhankelijke begeleider bij de procedures voor de besluitvorming op correcte wijze vervult en daarbij duidelijke richtlijnen en procedures ('spelregels') voor alle bij de besluitvorming betrokken partijen opstelt;
- transparant is bij de genomen beleidbeslissingen; en
- aantooit dat zij haar taak als vergunningverlener en toezichthouder dusdanig vervult dat het vertrouwen in die functies gerechtvaardigd is.

De overheid heeft haar verantwoordelijkheid in het zeker stellen van de energievoorziening en geeft daarbij randvoorwaarden aan ten aanzien van de diversificatie van energiedragers. Van haar wordt verwacht dat zij zich naar de bevolking toe in haar communicatie onafhankelijk zal opstellen.

Onderzoek naar het bevorderen van goede relatie tussen overheid, bevolking en exploitant

DG-TREN, het commissariaat voor energie en transport van de Europese Commissie, heeft in 2005 een studie¹³⁸ laten uitvoeren door de organisaties Mutadis en CEPN (Frankrijk), CIEMAT (Spanje) en door de Universiteit van Aberdeen (VK) naar de betrokkenheid van de burgers bij belangrijke maatschappelijke beslissingen betreffende (kern)energie en milieu.

Deze studie komt tot de conclusie dat de burgers van de EU lidstaten een sterke wens hebben om betrokken te zijn bij besluitvormingsprocessen met betrekking tot milieu en meer specifiek bij nucleaire kwesties. Zij willen vanaf het begin daarbij betrokken zijn. Zoals bij het vaststellen van de reikwijdte van het besluitvormingsproces, het doel van de nieuwe faciliteit en welke alternatieven er zijn. Bij dit proces zouden naast politici, vertegenwoordigers van NGO's, ook onafhankelijke experts én de lokale belanghebbenden betrokken moeten worden. Deze gewenste betrokkenheid en toegang tot informatie is in EU-lidstaten overigens al gegarandeerd door de "Aarhus Convention on the Access to Information, Public Participation in Decision-Making and Access to Justice in Environmental Matters" (1998).

Een van de aanbevelingen van het DG-TREN rapport is o.a. het opzetten van 'partnerships', lokale en/of regionaal samenwerkende overlegclubs. Via deelname aan een dergelijke club worden de burgers en lokale groeperingen betrokken bij het project door deelname aan overleg, excursies en cursussen. Ook kan beroep worden gedaan op de waakzaamheid van lokale gemeenschappen om de kwaliteit van de controle en duurzaamheid van hun samenwerkingsverband met het te vestigen bedrijf te garanderen.

Er zijn meerdere geslaagde voorbeelden van deze aanpak. In Dessel en Mol (B) zijn partnerships opgezet vanwege de voorgenomen bouw van een oppervlakte berging van laag- en middelactief radioactief afval. In Eurajoki (Finland) nabij Olkiluoto is een partnership opgezet voor discussie rond het vestigen van een opslagfaciliteit van gebruikte splijtstof. In het VK is het opzetten van lokale partnerships onderdeel van de strategie van de National Decommission Authority (NDA).

Deze voorbeelden geven een mogelijke vorm van samenwerking tussen bevolking en potentiële exploitant. Deze komt idealiter tot stand voordat de overheid met het besluitvormingsproces begint. Een open houding van alle deelnemers in alle stadia van het overleg en de procedures is nodig voor een zinvolle samenwerking. Een dergelijke samenwerking op regionale schaal, kan (regionaal) maatschappelijke draagvlak creëren en in stand houden. Bovendien kan een dergelijke vroege consultatie (voordat reeds grote investeringen in tijd en geld hebben plaatsgevonden) onnodig verlies van investeringen voorkomen door het vermijden van niet voorziene oppositie.

¹³⁸“Situation concerning public information about and involvement in the decision-making processes in the nuclear sector”, DG TREN_04-NUCL_S07-39556. Final report, May 2007.

In Frankrijk kent men het systeem van zogenoemde ‘Commission Locales d’Information’ (CLI) bij alle nucleaire sites. Deze functioneren echter iets anders¹³⁹ dan de genoemde partnerships.

Maatregelen die het maatschappelijk draagvlak voor kernenergie bevorderen – PQR-onderzoek - 2006

In 2006 heeft het Ministerie van VROM onderzoeksbureau ‘Partners in Quality Research BV’ (PQR, 2006) de maatschappelijke opvattingen en meningen laten onderzoeken van verschillende groepen burgers over randvoorwaarden voor nieuwe kerncentrales. Uit dit onderzoek bleek dat voor het realiseren van uitbreiding van kernenergie in Nederland er eerst voldoende draagvlak moet zijn onder de bevolking. Door gerichte voorlichting en het creëren van betrokkenheid kan het draagvlak worden vergroot. Ook andere onderzoekers adviseren het publiek meer te betrekken. Redenen die genoemd worden zijn dat participatie misverstanden kan verhelpen en betrokkenheid bij het project kan creëren, mits de deelnemers hun invloed op het proces kunnen laten gelden.

In het PQR-onderzoek uit 2006 blijkt de bevolking geïnteresseerd te zijn in het onderwerp, er is echter nauwelijks interesse in de technisch inhoudelijke kant. Men wil vooral de voordelen weten en de risico’s kennen en wat daartegen gedaan wordt. Het beeld dat burgers hebben over kernenergie wordt vooral bepaald door de communicatie over het ernstige kernongeval te Tsjernobyl (1986). Dit maakt angstig. Er is ook het gevoel dat neutrale en toegankelijke informatie voor de burger ontbreekt.

Feitelijke informatie blijkt bij te dragen aan een genuanceerder en veelal positiever beeld over kerncentrales. Nederlanders blijven voorzichtig ten aanzien van nieuwe kerncentrales, maar zien de noodzaak om onderzoek te doen om de uitputting van fossiele brandstoffen op te vangen. Het milieueffect van de CO₂ uitstoot werd nog weinig gezien als een korte-termijn probleem.

Als redenen om over nieuwe kerncentrales te praten worden gezien: het opraken van de fossiele brandstoffen olie en gas, een dreigend energietekort, minder uitstoot van CO₂ en een mogelijk gunstige prijs van stroom uit kerncentrales. Als onderdeel van de informatievoorziening willen burgers weten in hoeverre duurzame bronnen op korte termijn meer kunnen bijdragen aan de energievraag.

Voor een goed draagvlak onder burgers zijn volgens het onderzoek van PQR de volgende voorwaarden van belang:

1. De burger eist transparante en toegankelijke informatie, met goede onderbouwing van de noodzaak van een nieuwe kerncentrale. Voorlichting creëert bovendien betrokkenheid, leidt tot een genuanceerder en veelal positiever beeld van kerncentrales en neemt misverstanden weg.
2. De veiligheid van kerncentrales moet zoveel mogelijk zijn gegarandeerd, dit betreft eigendom en beheer van een centrale, afvalopslag en –transport, terrorismebeveiliging, technische voorzieningen en gekwalificeerd personeel.
3. Het radioactief afvalprobleem moet worden opgelost (bij voorkeur voor de bouw van een nieuwe centrale).
4. Duidelijke staatsbemoediging is gewenst. Kernenergie wordt door burgers als te risicovol beschouwd om geheel aan de markt over te laten, gezien de commerciële belangen van marktpartijen, waardoor deze mogelijk bezuinigen op veiligheid.
5. Nederlanders willen dat de overheid blijft investeren in onderzoek, niet alleen naar kerncentrales, maar ook naar (duurzame) alternatieven.

De eerste voorwaarde uit dit onderzoek zou men als basis kunnen gebruiken voor de ontwikkeling van mogelijke randvoorwaarden t.a.v. inspraak en maatschappelijk draagvlak, zie volgende paragraaf. Uit voorwaarde 2 van het onderzoek van PQR volgen de mogelijke

¹³⁹De CLI’s hebben een wettelijke basis en moeten het publiek op de hoogte houden van de nucleaire veiligheid en de impact op de omgeving van de lokale nucleaire installatie(s). De leden van een CLI zijn vertegenwoordigers van lokale besturen, milieuroorganisaties, groepen met economische belangen, vakbonden en medische instellingen.

randvoorwaarden die eerder in hoofdstuk 3 zijn uitgewerkt. Informatie ten aanzien van het aspect “eigendom en beheer van een centrale” is onder ‘Waarborging kennis en middelen van de exploitant’ in sectie 4.4 uitgewerkt.

Uit voorwaarde 3 van het onderzoek volgen mogelijke randvoorwaarden die in paragraaf 2.5 zijn uitgewerkt. M.b.t. voorwaarden 4 en 5 van het onderzoek is informatie verstrekt in paragraaf 4.4 “Waarborging”.

SmartAgent onderzoek, 2009

Overigens is er recentelijk een onderzoek van het bureau SmartAgent afgerond. Hierin is onderzoek gedaan naar de perceptie van de burgers t.a.v. kernenergie in het algemeen en de drie kernenergiescenario’s van het Energierapport in het bijzonder. De resultaten daarvan zijn in het najaar van 2009 gepresenteerd aan de projectgroep “uitwerking kernenergiescenario’s”. Het rapport zal tezamen met alle andere rapporten uit het project worden gepubliceerd.

4.3.2.2 Ontwikkelingen - Uitwerking participatie bevolking

Bij wet zijn er procedures geregeld met de mogelijkheid tot inspraak voor belanghebbenden. Uit de gerefereerde studies en de gesignaleerde ontwikkelingen in het buitenland, kan men instrumenten identificeren die een andere of aanvullende vorm van participatie bewerkstelligen. Twee mogelijke opties zijn:

1. Bevordering participatie bevolking via partnerships, hierbij ligt het zwaartepunt vooral op regionale structuren,
2. Onderzoek naar lokaal maatschappelijk draagvlak.

Hieronder worden deze opties toegelicht.

Bevordering participatie bevolking via partnerships

Om de participatie van de bevolking te bevorderen kan men een regionale overlegstructuur (partnership) starten bij het aangaan van het besluitvormingsproces. Aan het partnership kunnen lokale bevolking en de potentiële exploitant deelnemen, maar men kan ook bijzondere leden aanstellen met bijvoorbeeld een bepaalde expertise.

Een succesvol partnership kan de inspraak van de bevolking bij beleidsbeslissingen vervroegen en vergroten. Het kan bijdragen aan maatschappelijk draagvlak voor de beleidbeslissing. Dit kan positief zijn voor voortzetting van de rol van kernenergie bij elektriciteitsopwekking.

Voor de uitvoering van het partnership is het nodig dat de deelnemers beschikken over objectieve en adequate informatie over de verschillende vormen van elektriciteitsopwekking en het betreffende project. Een open en heldere communicatie met de bevolking zal het uitgangspunt van de exploitant in spé moeten zijn. Informatieverstrekking is tweerichtingenverkeer: de exploitant levert informatie, maar de burger meldt ook wat hij/zij belangrijk vindt. Partnerships waarin alle betrokkenen de kans hebben om hun pakket aan verwachtingen en eisen op tafel te leggen, en waarbij zij kunnen zien dat die eisen meegenomen worden, voor zover mogelijk, zijn het meest succesvol t.a.v. draagvlakbevordering.

Het is mogelijk dat een partnership ook van nut kan zijn bij andere bedrijvigheden, waarbij burgers onzekerheden betreffende de risico’s voelen.

Bevordering participatie bevolking middels peilingen

In het kader van de besluitvorming kan men overwegen eerst in de regio rond de potentiële vestigingsplaats van de kerncentrale een onderzoek te doen naar het maatschappelijke draagvlak. Dit betreft het draagvlak voor kernenergie in het algemeen en de vestiging van een centrale in het bijzonder en de voorwaarden waaronder dat draagvlak verkregen zou kunnen worden. Dit zou gedaan kunnen worden, voordat met de besluitvorming wordt begonnen.

Bij dit onderzoek is het nodig de burger de beschikbare informatie te geven over de voor- en nadelen van het voorgenomen besluit. Overigens is bekend dat informatieverstrekking niet automatisch tot meer draagvlak leidt. Mensen kunnen hun standpunt reeds bepaald hebben en/of de informatie of de bringers daarvan niet vertrouwen.

Bij voldoende draagvlak onder de regionale bevolking voor een standpunt van de overheid, is de kans klein dat dit standpunt of een initiatief volgens dit standpunt tijdens het besluitvormingsproces verworpen wordt.

4.4 Waarborging

Deze paragraaf behandelt in de eerste subparagraaf een kort overzicht van te waarborgen zaken. In daarna volgende subparagrafen worden enkele te waarborgen zaken in enig detail behandeld..

4.4.1 Overzicht van te waarborgen zaken

Waarborging is het zekerstellen dat materiële zaken – zoals financiering – en immateriële zaken – zoals het in stand houden van expertise – aanwezig blijven. In de huidige regelgeving zijn al de internationale verplichtingen vanwege diverse verdragen opgenomen. Dit geheel geeft waarborgen ten aanzien van vele aspecten. Hieronder een niet-uitputtende lijst van voorbeelden van reeds gewaarborgde zaken:

- De potentiële vestigingsplaatsen voor nieuw kernenergievermogen.
- Kwaliteit van de vergunning, door o.a. actualiseren van vergunningsvoorschriften.
- Het aanwezig zijn van voldoende deskundigheid en financiële middelen bij de exploitant om de veiligheid en beveiliging van de kerncentrale te waarborgen.
- Kwaliteit van het toezicht van de overheid op deze bedrijfsvoering.
- Het aanwezig zijn van een adequate organisatie en de financiële middelen voor de bestrijding van kernongevallen (regionaal en nationaal alarmplan) en de beveiliging van kerninstallaties.
- Deskundigheid en opleiding van de overheid: de kwaliteit van de organisatie en het opleidingsniveau bij de overheid om nucleair beleid te blijven ontwikkelen door o.a. deelname aan internationale overlegstructuren en beschikken over voldoende middelen om door de overheid gecoördineerd onderzoek uit te laten voeren op het gebied van nucleaire veiligheid, beveiliging en bescherming tegen straling.
- De voorzieningen bij de exploitant en Staat vanwege de aansprakelijkheid bij kernongevallen.
- Aanwezig zijn van een voldoende kennis en opleidingsinfrastructuur om de nucleaire veiligheid en het radioactief afvalbeheer te kunnen beoordelen en te kunnen voldoen aan internationale verdragen en conventies met betrekking tot kernenergie.
- Voldoende middelen bij de exploitant om zijn centrale buiten bedrijf te stellen en te ontmantelen, zie paragraaf 2.4.
- Voldoende middelen bij COVRA om straks te zorgen voor de eindberging van het radioactieve afval afkomstig van de splijtstofcyclus in Nederland, zie paragraaf 2.5.

Een aantal van deze bij kernenergie te waarborgen zaken zijn in de volgende paragrafen nader toegelicht.

4.4.2 Waarborgen van vestigingsplaatsen

4.4.2.1 Stand van zaken

Het waarborgingsbeleid kernenergie¹⁴⁰, zoals geformuleerd in het Derde Structuurschema Elektriciteitsvoorziening (SEV III), is in relatie tot de eventuele bouw van kerncentrales gericht op het handhaven van een lage bevolkingsdichtheid en het voorkomen van vestiging van specifieke inrichtingen (explosiegevaarlijke en toxischgevaarlijke inrichtingen, evenals burgerluchtvaartterreinen) op de locaties Borssele, Maasvlakte I en Eemshaven. Het waarborgingsbeleid biedt daarmee nog geen algehele ruimtereservering voor één of meerdere kerncentrales. Afhankelijk van de ontwikkeling van de kernenergiescenario's en de op grond

¹⁴⁰ Het 'waarborgingsbeleid' bestaat sinds 1985. Zie ook regeringsbeslissing voor vestigingsplaatsen van kerncentrales (Kamerstuk II, 1985-1986, 18 830, pag. 46-47).

daarvan voor kerncentrales benodigde ruimte kan het waarborgingsbeleid actualisatie of aanpassing behoeven.

Bij de beoordeling van de vestigingsplaatsen in het plan-MER waarborgingsbeleid ten behoeve van SEV-III, is rekening gehouden met de criteria die in IAEA requirements for 'Site evaluation for nuclear installations' zijn genoemd en ondermeer de volgende aanvullende voorwaarden:

- Het heeft de voorkeur dat de locatie in de nabijheid van de zee ligt in verband met lozing van koelwater. Lozing van koelwater op oppervlaktewater dat gebruikt wordt als zoetwater voorraad is minder wenselijk.
- De locatie moet niet in een straal van 5 km van een dichtbevolkt gebied liggen zolang er bij ongevallen preventiemaatregelen (evacuatie e.d.) nodig blijven.
- Bij de koelwaterinlaatvoorzieningen dienen effectieve technieken te worden toegepast om mogelijke schade aan grote hoeveelheden waterorganismen te voorkomen.
- De impact op de landschappelijke waarden moet zoveel mogelijk beperkt worden, bijvoorbeeld door het ontbreken van de noodzaak van een (hoge) koeltoren, of omdat goede inpassing daarvan in het landschap mogelijk is.
- Transport van nucleaire brandstof en radioactief afval moet via de weg maar bij voorkeur ook per spoor en per schip mogelijk zijn.

Afhankelijk van het gekozen scenario zullen wellicht aanpassingen aan het huidige waarborgingsbeleid moeten worden doorgevoerd.

Indien de vestigingsplaatsen aangewezen in SEV-III ook in de toekomst gehandhaafd blijven, komen er geen andere locaties in beeld. Dit beperkt de eventuele regionale spreiding van de elektriciteitsproductie, zo dit wenselijk zou zijn.

In de toekomst zijn kerncentrales met een klein elektrisch productievermogen mogelijk, al dan niet in combinatie met industriële toepassingen zoals warmteproductie en waterstofproductie. Dit zou ondermeer goed passen bij HTR-achtige inherent veilige centrales. Bij toepassing hiervan zou een behoefte kunnen ontstaan aan andere (en/of mogelijk meer) gewaarborgde vestigingsplaatsen.

4.4.3 Waarborgen kwaliteit van de vergunning

Met betrekking tot dit onderwerp wordt volstaan met een toelichting op de stand van zaken. Er worden geen mogelijke aanvullende randvoorwaarden voorgesteld, omdat dat een uitgebreide juridische verkenning vereist, die buiten het bestek van dit rapport valt.

4.4.3.1 Stand van zaken

In het kader van de vergunningverlening stelt de overheid reeds vele eisen aan de exploitant, die krachtens de wet of bij vergunning zijn geregeld. Bijvoorbeeld:

- Limieten voor emissies in lucht en water.
- Limieten voor de doses van eigen en ingehuurd personeel.
- Limieten aan de aansprakelijkheid van de exploitant.
- Af te dragen kosten voor beveiliging, toezicht, externe beveiligingsorganisatie, het regionale en nationale alarmplan (bijdragen aan het in stand houden van regionale en nationale NPK organisatie).
- In aanvulling op wat is bepaald in het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen en in de nucleaire regelgeving (NVR's) kan de overheid aanvullende voorschriften stellen bij het type kerncentrale waarvoor de vergunning is aangevraagd.
- De tien-jaarlijkse en twee-jaarlijkse periodieke veiligheidsevaluaties.
- Het ontwikkelen en toepassen van procedures bij optreden van storingen en incidenten.
- Ontvangen en meewerken aan OSART missies en andere missies in het kader van de IAEA.

Belangrijk voor het waarborgen van de veiligheid van de kerncentrale is het – wanneer nodig – actualiseren van de vergunningsvoorschriften. Hierbij wordt gebruik gemaakt van in artikel 18a van de Kew, de actualiseringsplicht van de overheid bij het borgen van de state-of-art van

vergunningen. Voorts kan de KFD technische maatregelen doorvoeren, door het opleggen van wijzigingen van de veiligheidstechnische specificaties van de kerncentrale. Dit is een door de Directeur KFD en Inspecteur VROM goedgekeurd uitvoeringsvoorschrift bij de vergunning. Deze maatregelen kunnen tot stand komen n.a.v. van (internationale) ontwikkelingen op het gebied van reactorveiligheid of andere zaken met betrekking tot de veiligheid van kerncentrales. Dit past in het voornemen van de overheid om in het kader van haar nucleair veiligheidsbeleid, elke 5 jaar een vergelijkend onderzoek uit te laten voeren bij de kerncentrale, onder auspiciën van de IAEA en/of EURATOM.

4.4.4 Waarborgen kennis en middelen exploitant

4.4.4.1 Stand van zaken

Volgens artikel 70 van de Kernenergiewet kan alleen aan een rechtspersoon een vergunning voor het bouwen en exploiteren van een kerncentrale worden verleend. Belangrijk bij het waarborgen van veiligheid en de beveiliging van de kerncentrale is de betrouwbaarheid en deskundigheid van deze persoon of van de personen die het bestuur vormen van de rechtspersoon. Onder beveiliging valt ook het omgaan met vertrouwelijke gegevens en met proliferatie gevoelige materialen en kennis door deze rechtspersoon.

Deze betrouwbaarheid van de rechtspersoon moet ook een voldoende waarborg bieden voor de geheimhouding van zaken die vanwege belangen van de Staat en internationale verdragen verplicht zijn, zoals genoemd onder b, c en f van het eerste lid van artikel 15b van de Kernenergiewet en het Geheimhoudingsbesluit.

4.4.4.2 Ontwikkelingen

De Kew en haar besluiten, met name het Besluit stralingsbescherming geeft specifieke eisen voor de deskundigheid, de kennis en middelen waarover de rechtspersoon (vergunninghouder of aanvrager vergunning) moet beschikken. Gezien de andere verplichtingen genoemd onder het eerste lid van artikel 15b, is er wel een aanvullende grondslag om in vergunningen aan deze rechtspersoon eisen te kunnen stellen wat betreft zijn deskundigheid en die van zijn personeel op het gebied van nucleaire veiligheid en stralingsbescherming, als ook wat betreft de organisatorische en financiële middelen die nodig zijn om een kerncentrale veilig te kunnen bedrijven. Het tweede lid van hetzelfde artikel geeft de mogelijkheid om deze eisen wat betreft deskundigheid en middelen van de rechtspersoon bij algemene maatregel van bestuur in de vergunning vast te leggen.

Wat betreft de vereiste middelen, geven de IAEA Safety Requirements NS-R-2 en Safety Guide NS-G-2.4 een nadere invulling aan eisen van de organisatie van de rechtspersoon die de kerncentrale bedrijft. Deze IAEA voorschriften maken via amenderingen expliciet deel uit van de Nederlandse nucleaire veiligheidsregels. Het personeel van de organisatie die direct betrokken is bij de bedrijfsvoering van de kerncentrale, moet naast deskundigheid ook beschikken over vaardigheid in de Nederlandse taal, waarin de vergunningsdocumenten zijn opgesteld, vanwege de communicatie onderling en met de toezichthouders.

Ook worden er eisen gesteld aan de financiële middelen van de rechtspersoon (vergunninghouder), in het bijzonder aan de mate waarin de onderneming van de rechtspersoon in staat is bij liquidatie aan haar financiële verplichtingen te voldoen, de liquiditeit van deze onderneming en de zekerheid dat hij gedurende de voorziene bedrijfstijd over voldoende middelen zal beschikken. Hieronder valt ook de garantie dat de vergunninghouder altijd over voldoende en deskundig personeel zal beschikken.

Ook indien de vergunninghouder niet de eigenaar is van de kerncentrale, moet er toch zeker worden gesteld dat het mogelijk is de financiële verplichtingen na te komen, die aan de vergunninghouder zijn gesteld. Dit geldt voor de gehele bedrijfstijd, alsook de periode van buiten-bedrijf stellen en de ontmanteling. De wijze waarop deze zekerheidsstelling moet worden aangetoond, zal afhangen van hoe de relatie tussen eigenaar en vergunninghouder is vastgelegd. Er zijn bijvoorbeeld constructies mogelijk, waarbij er ten aanzien van de financiering van de

ontmanteling, schriftelijke toezeggingen van de eigenaar beschikbaar zijn, die de vergunninghouder aan het bevoegd gezag kan tonen.

Bij overdracht van de vergunning en/of het eigendom van de kerncentrale aan een andere rechtspersoon, zal op basis van voornoemd artikel 70 de toetsing van geschiktheid van deze nieuwe rechtspersoon aan de hand van de vergunningseisen opnieuw moeten plaatsvinden.

Hiervoor zijn aspecten besproken van geschiktheid van vergunninghouder en eigenaar. De Finse toezichthouder STUK heeft m.b.t. dit aspect vergelijkbare nadere voorwaarden gesteld bij de bouwvergunning van unit 3 van de Olkiluoto NPP:

- De aanvrager moet beschikken over de noodzakelijke deskundigheid om de kerncentrale te bouwen en te bedrijven.
- De aanvrager moet over voldoende financiële voorzieningen beschikken om het project uit te voeren en verder door te gaan met de vergunde activiteiten.

4.4.5 Waarborgen rampbestrijding en beveiliging

Met betrekking tot dit onderwerp wordt volstaan met een toelichting op de stand van zaken. Er worden geen mogelijke aanvullende randvoorwaarden voorgesteld, omdat dat een uitgebreide juridische verkenning vereist, die buiten het bestek van dit rapport valt.

4.4.5.1 Stand van zaken

Volgens het aangepaste Verdrag betreffende de Fysieke Beveiliging van Kernmateriaal en Kerninstallaties, vallen behalve het transport van nucleair materiaal ook de kerninstallaties zelf onder dit verdrag. De IAEA heeft dit verdrag uitgewerkt in de vorm van aanbevelingen (INFCIRC/225/rev.4¹⁴¹). In het kader van het project Bescherming Vitale Infrastructuur¹⁴² zijn de beveiligingsmaatregelen bij de kerncentrale Borssele nader onderzocht en zijn aanbevelingen voor verbetering gedaan.

Ook voor een nieuwe kerncentrale zal het huidige beleid gelden. Zo zullen ondermeer mogelijke dreigingsbeelden geïdentificeerd moeten worden. In de ontwerpfase van de nieuwe centrale zullen voorzieningen en maatregelen in anticipatie op deze dreigingsbeelden worden aangebracht. Tijdens de ontwerp- en bouwfase zal naast de interne ook de externe beveiligingsorganisatie betrokken worden. Een goede coördinatie en afstemming tussen beide organisaties, ook voorafgaand aan de vergunningverlening, is van groot belang.

In het kader van het Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding is door de overheid een organisatie opgezet, met middelen en mensen waarbij zoveel mogelijk gebruik is gemaakt van de bestaande rampbestrijdingsorganisaties en daarbij ondersteunende organisaties, zoals het RIVM.

Ook de exploitant heeft verplichtingen in het kader van dit plan naast die van de interne noodorganisatie.

Waarborging van zowel de rampenbestrijding als de beveiliging is een randvoorwaarde die expliciet in de vergunning van een kerncentrale wordt opgenomen. De rampenbestrijding en het treffen van beveiligingsmaatregelen bij kerninstallaties en de transporten zijn taken die exclusief aan de overheid zijn toebedeeld in het kader van het handhaven van openbare orde en individuele veiligheid van personen. De overheid beschikt ook over de autoriteit om daarbij zonodig geweld te gebruiken. De voorbereiding en het treffen van maatregelen zijn de verantwoordelijkheid van de overheid, zover het maatregelen buiten de terreingrens betreft. Maatregelen die de exploitant van de kerncentrale in dat kader neemt (zoals beveiligingsdienst, extra hekken, controleapparatuur e.d.) zijn opgelegd in het kader van de vergunning en de exploitant heeft hiervoor dan ook de nodige middelen gereserveerd.

¹⁴¹ International Atomic Energy Agency: INFCIRC 225, rev. 4 (via publicatie website van de IAEA).

¹⁴² Kamerstukken II 2004-2005, 26 643, nr. 75 (bijlage)

4.4.6 Waarborgen kwaliteit van het toezicht

4.4.6.1 Stand van zaken

De functies van regelgever, vergunningverlener en toezichthouder binnen de rijksoverheid zijn gescheiden van die van energiebeleid, waaronder ook kernenergie valt. In de laatste wijziging van de Kernenergiewet is deze verdeling van taken binnen de Rijksoverheid geformaliseerd.

De overheid zorgt ervoor dat de wetgeving met betrekking tot kernenergie actueel blijft en de handhaving van deze regelgeving met zorgvuldigheid en deskundigheid plaatsvindt. Momenteel dragen exploitanten van kerninstallaties bij aan de financiering van het toezicht met een bijdrage conform het ‘Bijdragenbesluit kernenergiewet 1981’.

4.4.6.2 Ontwikkelingen

Bij actueel houden van de regelgeving kan beroep worden gedaan op de ervaring en kennis van het Bevoegd gezag van andere Europese Lidstaten. Deze hulp maakt een efficiëntere inzet van het Nederlandse Bevoegd gezag mogelijk. Voorbeeld hiervan is het aanvullen en aanpassen van de huidige regelgeving die noodzakelijk is voor het in bedrijf stellen van nieuwe kerncentrales, maar ook voor andere nucleaire installaties, zoals een onderzoeksreactor. Hierbij kan zoveel mogelijk gebruik gemaakt worden van bestaande internationale regelgeving en/of van regelgeving van andere Europese Lidstaten die zich hebben voorbereid op of besloten hebben tot de bouw van een kerncentrale. Zo kan voorkomen worden dat “het wiel opnieuw wordt uitgevonden” en kunnen de beschikbare menskracht, kennis en middelen efficiënt worden ingezet.

Kernenergie is niet meer een geheel nationale aangelegenheid, maar steeds meer een globale activiteit. Dit geldt voor de reactorbouwers, de exploitanten, maar ook voor de ‘regulatory bodies’: de toezichthoudende en vergunningverlenende instanties. In internationale gremia zoals WENRA, ENSREG en MDEP wisselen zij informatie uit, leren van elkaars ervaringen en bespreken belangrijke zaken zoals harmonisatie van beleid.

Voor de Nederlandse overheid geldt, dat zij door deelname aan genoemde gremia, kan profiteren van de internationale ervaring op het gebied van regelgeving en toezicht bij het bouwen van een kerncentrale. Dit kan indirect tot een vlottere afhandeling van de vergunningsprocedures leiden.

4.4.7 Waarborgen aansprakelijkheid exploitant

Voor wat betreft dit onderwerp zij verwezen naar passages over aansprakelijkheid en de Wako elders in dit rapport (o.a. paragraaf 4.2.1).

4.4.8 Waarborgen deskundigheid en opleiding en kennisinfrastructuur

4.4.8.1 Stand van zaken

In het Fact Finding rapport¹⁴³, in 2007 opgesteld ten behoeve van de SER, is een uitgebreid overzicht gegeven van de kennisinfrastructuur met betrekking tot kernenergie. In deze paragraaf wordt volstaan met een beknopt overzicht.

Omvang kennisinfrastructuur

De aanwezigheid van een hoogwaardige kennisinfrastructuur in Nederland is een belangrijke voorwaarde voor het veilig en efficiënt produceren van kernenergievermogen. Zowel de exploitant als de toezichthouder heeft baat bij de aanwezigheid van een groot potentieel van goed opgeleide mensen. Kennisinstituten zoals de universiteiten en andere publieke organisaties moeten in staat blijven een hoogwaardige opleiding te verzorgen. Ook de aanwezigheid van ondersteunende faciliteiten voor materiaalbeproeven en inspecties als ook voor het uitvoeren

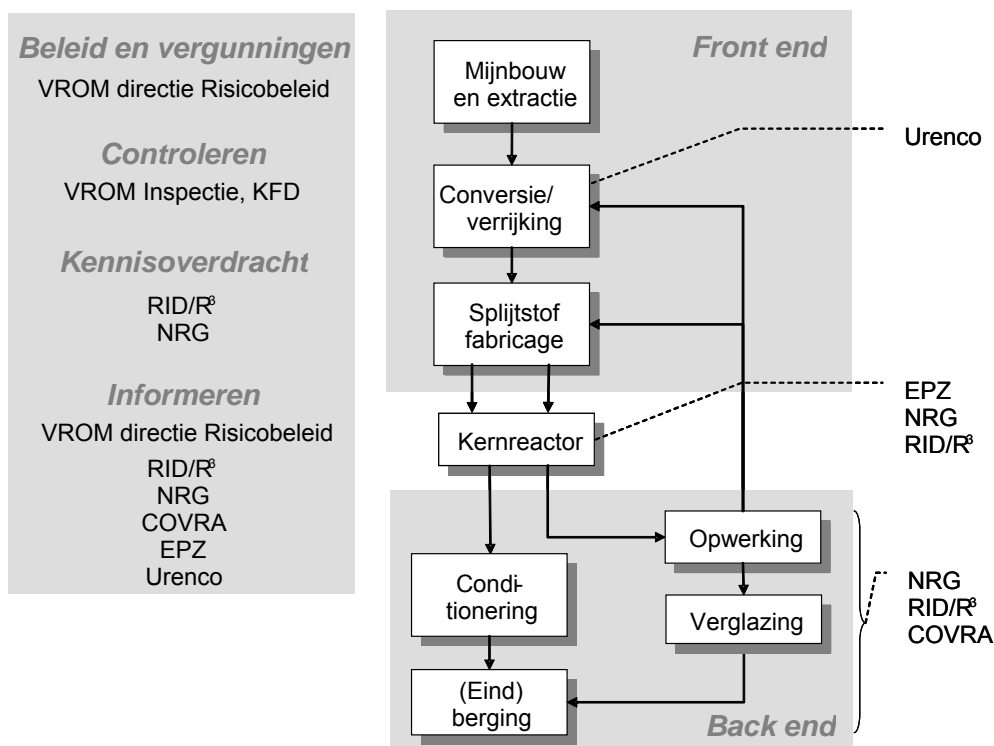
¹⁴³Fact Finding Kernenergie t.b.v. de SER-Commissie Toekomstige Energievoorziening, ECN-B—07-015, 2007, co-productie van ECN en NRG.

van (radiologische) analyses is noodzakelijk. Uitbreiding van kernenergie stelt eisen aan de kennis en de capaciteit bij overheid, industrie, onderwijs en onderzoeksinstellingen.

Ten aanzien van kennisinstellingen kan worden opgemerkt dat het ook mogelijk is gebruik te maken van faciliteiten van buitenlandse instellingen, maar dat het praktisch is om een zeker minimum toch in eigen land beschikbaar te hebben. Door participatie van kennisinstellingen in Europees nucleair onderzoek financieel te ondersteunen, kan indirect gebruik worden gemaakt van kennis die in het buitenland op dit gebied aanwezig is.

Op dit moment is de kennisinfrastructuur nog in de volle breedte beschikbaar. De structuur is gekoppeld aan diverse onderdelen van de splijtstofcyclus. Die koppeling wordt getoond in Figuur 9. In het rechterdeel van de figuur is aangegeven op welke terreinen het zwaartepunt van hun kennis en activiteiten ligt. Dat laat onverlet, dat er ook nuttige kennis is over andere 'stappen' van de splijtstofcyclus.

Ten tijde van de publicatie van het Fact Finding rapport waren er bij de belangrijkste organisaties met kennis van kernenergie in totaal 1800 medewerkers werkzaam. Bij veel van de organisaties is een continue instroom van nieuw personeel om de 'vergrijzing' tegen te gaan. Bij sommige organisaties is zelfs sprake van een toename van de omvang van het personeelsbestand. Zo ging de Nuclear Research & consultancy Group (NRG) van circa 340 medewerkers in 2007 naar circa 380 medewerkers in januari 2010.



Figuur 9 Nederlandse organisaties die beschikken over nucleaire kennis in de splijtstofcyclus en hun functie in de kennisinfrastructuur.

Beknorte toelichting op partijen in de kennisinfrastructuur

Hieronder worden de organisaties voorgesteld, die belangrijk zijn voor de kennisinfrastructuur. Buiten het kader van het thema 'splijtstofcyclus' zijn er bedrijven en instellingen die wel van groot belang zijn voor de nucleaire technologie, maar zich niet direct bezig houden met kernenergie. Voorbeelden zijn instellingen voor fundamenteel onderzoek op het gebied van kernfysica en bedrijven en instellingen die zich bezig houden met stralingshygiëne en conventionele aspecten van een kerncentrale. Dergelijke organisaties worden hieronder *niet* behandeld.

- *Urenco*: Urenco in Almelo maakt deel uit van de internationale Urenco Group en houdt zich bezig met het verrijken van uranium. De Urenco group heeft op de mondiale markt voor het verrijken van kernbrandstoffen een aandeel van twintig procent. Dit marktaandeel vertoont een stijgende tendens omdat Urenco over de (in Nederland ontwikkelde) centrifugetechnologie beschikt waaraan in de wereldwijde markt voor verrijking steeds meer de voorkeur wordt gegeven.
- *ET-NL*: Enrichment Technology Nederland, is de Nederlandse tak van Enrichment Technology Company Limited (ETC) en houdt zich bezig met het ontwikkelen van centrifugetechnologie voor het verrijkingsproces en het ontwerp van verrijkingsfabrieken. ETC is sinds 2006 een joint venture van Urenco en Areva. ETC heeft haar 'operational headquarters' in Almelo, Nederland.
- *EPZ*: EPZ beschikt in Borssele over een drukwaterreactor met een elektrisch vermogen van 485 MW. De kerncentrale heeft in de jaren negentig van de vorige eeuw een omvangrijke revisie ondergaan. In 2006 heeft de Nederlandse regering besloten dat de kerncentrale Borssele tot 2033 in bedrijf mag blijven, mits deze blijft voldoen aan state-of-the-art veiligheids-eisen. EPZ is lid van de WANO, de World Association of Nuclear Operators en neemt in WANO-verband regelmatig deel aan reviews van nucleaire installaties van andere WANO-leden. EPZ wordt omgekeerd regelmatig beoordeeld door WANO review teams. EPZ neemt daarnaast actief (als beoordelende) en passief (als beoordeelde) deel aan door de IAEA georganiseerde peer reviews van nucleaire installaties. Voorts is EPZ (via NRG) betrokken bij het initiatief om in Europa te komen tot een programma van eisen voor nucleaire reactoren. Dit initiatief heeft als doel om de European Utility Requirements (EUR) verder te ontwikkelen. Met de EUR wordt een standaard beoogd voor toekomstige Europese kerncentrales.
- *COVRA*: De Centrale Organisatie voor Radioactief Afval (COVRA) is in Nederland verantwoordelijk voor het inzamelen, verwerken en opslaan van in Nederland geproduceerd radioactief afval. Omdat het aanbod van radioactief afval in Nederland beperkt is, zoekt COVRA naar mogelijkheden voor internationale samenwerking. COVRA is lid van de Association for Regional and International Underground Storage (ARIUS). In deze organisatie wordt door negen landen internationaal samengewerkt op het gebied van eindberging.
- *NRG*: NRG is het Nederlandse expertisecentrum voor nucleaire technologie en ontwikkelt en levert kennis, producten en processen voor de veilige toepassing van nucleaire technologie voor energie, milieu en gezondheid. NRG heeft in Petten de beschikking over internationaal toonaangevende onderzoeks- en ontwikkelingsfaciliteiten. Dit betreft met name de Hoge Flux Reactor (HFR), als internationale installatie voor onderzoek aan materialen, constructies en splijtstoffen en de productie van radio-isotopen voor medische doeleinden. NRG heeft in 2009 de eerste stap¹⁴⁴ gezet in het vergunningstraject voor de opvolger van de HFR, de PALLAS reactor. NRG werkt internationaal samen in Europese Kaderprogramma's op het vlak van de ontwikkeling van generatie IV en Hoge Temperatuur Reactoren, materialenonderzoek ten behoeve van innovatieve reactorontwerpen en kernfusie en de ontwikkeling van technieken voor de levensduurverkorting van radioactief afval (Partitioning and Transmutation, P&T). In dit kader worden ook veiligheidsstudies uitgevoerd ten behoeve van de ontwikkeling van concepten voor geologische eindberging met het oog op langdurige terugneembaarheid van opgeborgen radioactief afval. NRG is vertegenwoordigd in vele internationale commissies en heeft regelmatig medewerkers gedetacheerd bij internationale instellingen en buitenlandse bedrijven. Kennis en ervaring wordt o.a. overgedragen via opleidingen en trainingen, verzorgd door NRG.

¹⁴⁴Publicatie en indiening bij Ministerie van VROM van 'Startnotitie PALLAS', door NRG in november 2009. De PALLAS reactor zal de productie van radioisotopen voor de nucleaire geneeskunde en de onderzoeksactiviteiten voor de toekomst waarborgen.

- *Institute for Energy*: In Petten bevindt zich een vestiging van het Institute for Energy (IE) van de Europese Commissie. Er is ook een vestiging in Italië. Het IE maakt deel uit van de Europese Joint Research Centres (JRC). Het IE richt zich op energievraagstukken in het algemeen en niet enkel op vraagstukken die gerelateerd zijn aan kernenergie. Voor aan kernenergie gerelateerd onderzoek (o.a. op het gebied van nucleaire veiligheid en innovatieve reactoren) wordt door IE gebruik gemaakt van de HFR.
- *RID/R3*: RID/R3, onderdeel van de TU Delft, is het universitaire centrum op het gebied van onderzoek en onderwijs met een primaire focus op 'Reactor', 'Radiation' en 'Radionuclides'. RID/R3 beschikt over unieke instrumenten gekoppeld aan de onderzoeksreactor, de Hoger Onderwijs Reactor (HOR). RID/R3 is voornamelijk gericht op wetenschappelijk onderzoek, waarvan een deel gericht is op kernenergie. RID/R3 verzorgt een twintigtal universitaire colleges m.b.t. nucleaire technologie, met daarbij onderwerpen als stralingshygiëne, afscherming van stralingsbronnen, stralingsdetectie, medische toepassingen van straling, reactorfysica en radiochemie. Per jaar studeren hier tussen vijf en tien studenten af. RID/R3 werkt internationaal samen met academische centra en industriële partners waaraan tevens gepatenteerde technologie wordt geleverd. Evenals NRG is RID/R3 ook sterk vertegenwoordigd in de Kaderprogramma's van de Europese Commissie. Medewerkers van RID/R3 nemen op verzoek van het IAEA deel aan expert missions. RID/R3 verzorgt workshops en symposia voor het IAEA op gebieden die samenhangen met het bedrijven van een wetenschappelijke onderzoeksreactor.

Gezien het maatschappelijke belang van een goed toezicht door de overheid, wordt hieronder ingegaan op de taken van de overheid met betrekking tot vergunningverlening (Directie Risicobeleid van het Ministerie van VROM) en toezicht (Kernfysische Dienst, de KFD, onderdeel van de VROM-Inspectie).

- *Directie Risicobeleid*: Dit onderdeel van het ministerie van VROM heeft tot doel milieurisico's te beheersen en de kans op ongelukken en rampen zo klein mogelijk te houden. Daartoe maakt de directie beleid en ontwikkelt ze beleidsinstrumenten. De beschouwde milieurisico's beperken zich niet tot straling; de aandacht gaat ook uit naar o.a. chemicaliën, genetisch gemodificeerde organismen, ongevallen met gevaarlijke stoffen en het gebruik van luchthavens. Ten aanzien van de splijtstofcyclus ontwikkelt de directie beleid en verzorgt de implementatie van regelgeving op het gebied van de stralingshygiëne en de nucleaire veiligheid. Tevens is ze verantwoordelijk voor de vergunningverlening van nucleaire installaties en nucleaire transporten.
- *KFD*: De taak van de Kernfysische Dienst is het toezicht op de naleving van vergunningsvoorschriften van nucleaire installaties, toezicht op veiligheidsmanagement, veiligheidsbeoordelingen van storingsen en wijzigingen en het leveren van bijdragen aan vergunningen. Daarnaast houdt de KFD zich onder andere bezig met de implementatie van 'severe accident management' en ziet de dienst toe op het transport van nucleair materiaal en de non-proliferatie (tegengaan van verspreiding) van nucleair materiaal en technologie. Waar aanvullende gedetailleerde kennis nodig is, kan de KFD die middels externe specialisten inhuren. Dit is één van de beleidslijnen van de KFD: het behouden van de kerncompetenties en overblijvende zaken uitbesteden aan derden. Inspecties door buitenlandse diensten en IAEA-missies, zoals OSART (Operational Safety Review Team) en AMAT (Ageing Management Assessment Team) verstevigen het veiligheidsregime en zorgen voor een vruchtbare uitwisseling van kennis en ervaring tussen buitenlandse en binnenlandse deskundigen.

4.4.8.2 Ontwikkelingen

Door een recent onderzoek in opdracht van het ministerie van Economische Zaken door de stichting KINT is de nucleaire kennisinfrastructuur in kaart gebracht¹⁴⁵. Daaruit blijkt dat

¹⁴⁵Stichting KINT (Kennis Infrastructuur Nucleaire Technologie), Rapport "O₄ in Nederland Nucleair, Opleiden-Onderzoeken-Ontwikkelen-Ondernemen", Maart 2006

Nederland beschikt over een goede nucleaire infrastructuur die traditioneel sterke banden heeft met vooral de Europese nucleaire kennisinfrastructuur. De stichting KINT heeft een aantal aanbevelingen gedaan om deze infrastructuur en het huidige peil van de kennis te waarborgen. Een voorbeeld is opname van het vak kerntechniek in het reguliere curriculum van de ingenieursopleiding voor energietechniek en voorzetting van het bestaande onderzoek.

In navolging van Finland zouden ook in Nederland onderzoeksfondsen kunnen worden opgezet waaraan zowel door overheid als het nucleaire bedrijfsleven wordt bijgedragen. Hiermee kan ondermeer een onderzoeksprogramma betreffende nucleaire techniek en veiligheid gefinancierd worden. Een dergelijke publiek-private samenwerking zou de kennisinfrastructuur ondersteunen. Niet-nucleair onderzoek zou meeprofiteren via de 'spin-offs' van de onderzoeksprojecten.

Door het opzetten van deze publiek-private samenwerkingen, zou ook in Nederland het beschikken over een goede nucleaire kennisinfrastructuur gewaarborgd kunnen worden. Daarmee zou voldoende deskundigheid en opleiding van zowel de toezichthouder als de exploitant, gegarandeerd kunnen worden. Een goede kennisinfrastructuur heeft op zich ook een positief effect op andere kennisgebieden, zoals op medisch-pharmaceutisch gebied en materialenonderzoek.

5. Overzicht kernenergie en randvoorwaarden

5.1 Inleiding

Het Energierapport schetst een drietal mogelijke scenario's, te weten:

- Scenario 1a: geen nieuwe kerncentrales c.q.
- Scenario 1b: geen nieuwe kerncentrale, tenzij inherent veilig.
- Scenario 2: Borssele vervangen in 2033
- Scenario 3: nieuwe kerncentrale(s) na 2020 (naast vervanging Borssele)

In de voorgaande hoofdstukken zijn de belangrijkste aspecten rond nucleaire technologie en zijn veiligheid als ook de publieke waarborging daarvan besproken. Voorts zijn te verwachten ontwikkelingen daarvan in kaart gebracht. Op basis daarvan zijn een groot aantal mogelijk door de overheid te stellen randvoorwaarden benoemd, die vervolgens betreffende hun effecten voor elk van de bovenstaande kernenergiescenario's zijn geanalyseerd.

Afbakening

In dit rapport worden randvoorwaarden als voorbeelden gepresenteerd, die tot de mogelijkheden behoren op basis van de huidige stand van zaken, de ontwikkelingen en de buitenlandse ervaring. Er is geen sprake van een uitputtende lijst, andere keuzes zijn dan ook mogelijk.

Er wordt niet gepleit voor onverkorte toepassing van alle in dit rapport genoemde mogelijke randvoorwaarden. Dat is ook niet mogelijk, aangezien sommige mogelijke voorwaarden elkaar uitsluiten of bijvoorbeeld gekoppeld zijn aan een bepaald scenario.

Selectie van voorwaarden en invoering vereist een nadere evaluatie, waarbij naast nut en noodzaak ook de juridische aspecten aandacht behoeven. Ondermeer moet rekening gehouden worden met nationale en internationale regelgeving waarmee Nederlandse voornemens tot wijziging van wet- en regelgeving niet strijdig mogen zijn. Na selectie van een gewenste set, zou men invoering daarvan kunnen overwegen. Dit kan middels wet- en regelgeving, maar er zijn ook andere opties, zoals convenanten en vergunningsvoorschriften.

Leeswijzer

In dit hoofdstuk zijn alle in het rapport genoemde mogelijke randvoorwaarden bijeen gezet. De indeling van dit hoofdstuk in paragrafen, volgt de indeling van het rapport. De tabellen met mogelijke randvoorwaarden uit voorgaande hoofdstukken, worden allen met een korte tekst toegelicht, o.a. betreffende de impact van sommige mogelijke randvoorwaarden op de verschillende scenario's. Voor achtergronden en nuances wordt verwezen naar die voorgaande hoofdstukken.

Dit rapport biedt in aanvulling op dit hoofdstuk in bijlage B een overzichtstabel van alle mogelijke randvoorwaarden. Deze tabel fungeert meer als een soort verzamelstaat en kan niet los van het rapport gebruikt worden.

5.2 Nucleaire infrastructuur

Uraniumproductie en verrijking

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a Alg. randvoorw. +	Scenario 1b Alg. randvoorw. +	Scenario 2 Alg. randvoorw. +	Scenario 3 Alg. randvoorw. +
Uraniumproductie	Beperken van milieubelasting bij uraniumwinning	Wordt nu al vrijwillig gedaan: vastlegging in regelgeving na afstemming	Vast te leggen voor nieuwe centrales vóór vergunningsaanvraag (rond 2030)	Vast te leggen voor nieuwe centrales voor 2026	Vast te leggen voor nieuwe centrales < 2013 ▶ < 2030 mogelijk beperkend effect
Uraniumverrijking	Verantwoord beheer verarmd uranium	▶ Vastlegging in regelgeving heeft geen onderscheidend effect voor de verschillende scenario's			

Legenda: ► is een gevolg, ■ is een opmerking. Zonder symbooltje: een mogelijke voorwaarde.

Splijststof voor het gebruik in kerncentrales moet gemaakt zijn uit uranium dat op milieuverantwoorde wijze gewonnen is.

De exploitant van de centrale kan als afnemer van de splijststof dit aan (laten) tonen door zijn leverancier. Middels certificering kan bijvoorbeeld worden aangetoond dat er een aanzienlijke inspanning geleverd wordt om de met de mijnbouw verbandhoudende milieubelasting nu en in de toekomst te minimaliseren.

Er is voldoende uranium op de wereld voor vele decennia. Door beperkingen in de uraniumproductiecapaciteit op de korte termijn zal de uraniummarkt de komende 10-20 jaar krap kunnen zijn. Strengere milieueisen aangaande de winning van uranium zou dat tijdelijk kunnen versterken. Alleen bij scenario 3 wordt binnen deze periode uitbreiding van kernvermogen verondersteld, zodat deze mogelijke randvoorwaarde bij strenge formulering alleen op dat scenario beperkend kan uitwerken.

Voor meer informatie, zie o.a. paragraaf 2.2.1.1 ‘Mijnbouw en extractie’ en 2.2.3 ‘Mogelijke randvoorwaarden aan de front-end’.

Verarmd uranium, restproduct van uraniumverrijking, moet op verantwoorde manier beheerd worden.

Op dit moment wordt hieraan voldaan, zoals dit bij Urenco plaatsvindt. Deze mogelijke randvoorwaarde heeft geen invloed op de ontwikkeling van de kernenergiescenario’s.

Voor meer informatie, zie o.a. paragraaf 2.2.1.2 ‘Conversie, verrijking en splijststoffabricage’ en 2.2.3 ‘Mogelijke randvoorwaarden aan de front-end’.

Kerncentrales

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a	Scenario 1b	Scenario 2	Scenario 3
Kerncentrales Type, kenmerken	Beproefd type, internationale ervaring, geen grote consequenties ongevallen voor omgeving, bescherming tegen dreiging van buiten, financiële middelen	■ KCB voldoet aan de huidige regelgeving	► Inherent veilig: ≥ 2040*): Gen III+ ? > 2040: Gen IV?	► Invulling door 2033: Gen III	► Invulling door: 2020: Gen III 2033: Gen III 2040: Gen III/III+ > 2040: Gen IV?

Legenda: ► is een gevolg, ■ is een opmerking. Zonder symbooltje: een mogelijke voorwaarde.

*) Bij voorspoedige ontwikkeling van bijvoorbeeld de HTR-technologie in China en elders is een vroegere datum voorstelbaar.

Een nieuw te bouwen kerncentrale moet van een beproefd type zijn, waarmee internationale ervaring is opgebouwd.

Bij internationale ervaring wordt gedacht aan ervaring (zoals afgerond beoordelingsproces, vergunning, bouw of bedrijf) in voornamelijk ‘westerse’ landen, zoals in hoofdstuk 1 en paragraaf 2.3.3 toegelicht¹⁴⁶. Voor 2040 is het alleen van kerncentrales van generatie III zeker dat zij aan deze voorwaarde kunnen voldoen. Dit betekent dat in de scenario’s 2 en 3 deze centrales gebouwd gaan worden. Als de ontwikkelingen rond de hoge temperatuur reactoren (HTR) voorspoedig blijken te gaan, kunnen deze generatie III+ reactoren ook in beeld komen.

In scenario 1b zijn bij toepassing van definitie no.2 of no.3 van inherent veilig (hoofdstuk 1) mogelijk HTR-achtige types in beeld. Na 2040 zou er bij scenario 1b mogelijk ook een generatie IV reactor in beeld komen, maar op dit moment is nog niet vast te stellen of één daarvan over die mate van inherente veiligheid zal beschikken als de genoemde HTR-achtigen. Indien de meer doelstellende definitie no. 4 van inherent veilig gehanteerd wordt (onder geen

¹⁴⁶Ondermeer omdat de beoordelingsprocessen in die landen niet alleen goed gedocumenteerd zijn, maar ook goed te doorgronden zijn voor de Nederlandse overheid.

enkele omstandigheid noodzaak tot evacuatie), lijken er ook generatie III reactoren te zijn die eraan kunnen voldoen.

Voor specifieke voorwaarden ten aanzien van de veiligheid van kerncentrales, zie het overzicht in paragraaf 5.3 ‘Veiligheid’ van dit hoofdstuk. Meer informatie over kerncentrales is te vinden in hoofdstuk 2, o.a. in paragraaf 2.3 ‘Kerncentrales’.

Ontmanteling

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a Alg. randvoorw. +	Scenario 1b Alg. randvoorw. +	Scenario 2 Alg. randvoorw. +	Scenario 3 Alg. randvoorw. +
Ontmanteling	Wet en regelgeving ten aanzien van de wijze van ontmanteling	Geen ontwikkeling beleid of uitbreiding wet- en regelgeving ten aanzien van ontmanteling nodig	Keuze voor directe of uitgestelde ontmanteling rond 2030 ¹⁴⁷ ■ Wetgeving is al geactualiseerd ¹⁴⁸ .	Keuze voor directe of uitgestelde ontmanteling voor 2026 ¹⁴⁹ ■ Wetgeving is al geactualiseerd.	Keuze voor directe of uitgestelde ontmanteling voor 2013 ¹⁵⁰ ■ Wetgeving is al geactualiseerd.
	Regeling treffen t.a.v. bulkopslag laag actief afval uit ontmanteling	Nodig voor 2033	Nodig rond 2030	Nodig rond 2026	Nodig rond 2013
	Financiële zekerheidsstelling t.a.v. ontmantelingskosten	■ Is geregeld voor huidige centrales	Financiële zekerheidsstelling borgen rond 2030 ■ Uitwerking is al voorbereid.	Financiële zekerheidsstelling borgen voor 2026 ■ Uitwerking is al voorbereid	Financiële zekerheidsstelling borgen voor 2013 ■ Uitwerking is al voorbereid

Legenda: ► is een gevolg, ■ is een opmerking. Zonder symbooltje: een mogelijke voorwaarde.

Wet- en regelgeving ten aanzien van ontmanteling opstellen en vastleggen

Als voorwaarde zou gesteld kunnen worden dat de centrale na beëindiging van de elektriciteitsproductie direct ontmanteld moet worden. Ook zouden voorwaarden kunnen worden gesteld aan de financiële zekerheidsstelling daarvoor.

In de recent geactualiseerde kernenergiewet is de voorwaarde van financiële zekerheidsstelling reeds genoemd. Een verdere uitwerking van aanvullende voorwaarden zal worden opgenomen in de reeds voorbereide wijziging van het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen. De voorwaarden moeten in principe vastgelegd zijn, voordat een nieuwe kerncentrale in bedrijf gaat. Daarmee leggen de verschillende kernenergiescenario's voorwaarden op aan het tijdstip waarop deze vastlegging moet hebben plaatsgevonden. Idealiter is de vastlegging een feit voordat investeerders instappen. Dit kan dus alleen beperkend zijn voor scenario 3, waarbij dit al rond 2010 geregeld moet zijn. Voor de andere scenario's is dit niet onderscheidend. De randvoorwaarde is, wat betreft de financiële component (zekerheidsstelling), meer of minder remmend op alle scenario's, uitgezonderd scenario 1a. De mate waarin wordt bepaald door de praktische uitwerking.

Zie o.a. paragraaf 2.4 ‘Ontmanteling’ voor meer informatie over ontmanteling.

¹⁴⁷ T.b.v. vervanging Borssele; commercieel beschikbaar v.a. 2030

¹⁴⁸ In artikel 15f van de Kernenergiewet.

¹⁴⁹ Rekening houdend met geraamde duur ontwikkeling opvolger Borssele van ca. 7 jaar voorafgaand aan 2033

¹⁵⁰ Rekening houdend met geraamde duur ontwikkeling van nieuwe kerncentrale van ca. 7 jaar voorafgaand aan 2020

Laag- en middelactief afval

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a Alg. randvoorw. +	Scenario 1b Alg. randvoorw. +	Scenario 2 Alg. randvoorw. +	Scenario 3 Alg. randvoorw. +
Laag- en middelactief afval	Capaciteit voor 100 jaar opslag van laag- en middelactief afval	► Modulaire uitbreiding van opslagcapaciteit bij COVRA mogelijk, tempo en opslagcapaciteit afhankelijk van kernenergiescenario			
	Stappenplan eindberging van laag- en middelactief afval	Eindberging samen met hoogactief afval	Start ontwikkeling van een stappenplan met participatie van alle producenten van laag- en middelactief afval*).		

Legenda: ► is een gevolg, ■ is een opmerking. Zonder symbooltje: een mogelijke voorwaarde.

*) Mogelijk onderdeel te maken van een onderzoeksprogramma.

Al het laag- en middelactief afval van de splijtstofcyclus dat in Nederland ontstaat moet voor minstens 100 jaar bij COVRA kunnen worden opgeslagen.

Dit is conform het bestaande beleid. Daar het terrein van COVRA voldoende groot is, stelt deze mogelijke voorwaarde geen echte beperkingen aan de mogelijke ontwikkeling van kernenergiescenario's. Deze bepalen alleen het tempo waarin de opslagcapaciteit bij COVRA beschikbaar moet komen.

Start van de ontwikkeling van een stappenplan ter bevordering van de acceptatie van eindberging van laag- en middelactief afval

Bij deze mogelijke randvoorwaarde moet ter relativering bedacht worden, dat het beleid in Nederland uitgaat van ten minste 100 jaar bovengrondse opslag van al het radioactieve afval. Hierdoor is er tijd om het stappenplan door de jaren heen te ontwikkelen en steeds bij te stellen op basis van de technische en maatschappelijke ontwikkelingen. De tijdsdruk lijkt dus beperkt.

Ter bevordering van de acceptatie van eindberging als eindoplossing van niet anders te behandelen radioactief afval, zou een stappenplan ontwikkeld kunnen worden om potentiële locaties voor een eindberging voor dit soort afval te vinden. Voor dat afval bestaat geen zicht op hergebruik in welke vorm dan ook. Daarom zou als mogelijke randvoorwaarde voor nieuwe kerncentrales gesteld kunnen worden, dat exploitanten van nieuwe kerncentrales – samen met alle andere (meest niet-nucleaire) producenten van dit soort afval – bereid zijn om actief aan de ontwikkeling van zo'n stappenplan mee te werken.

Qua volume bestaat het radioactief afval van de splijtstofcyclus in Nederland grotendeels uit dit soort afval. De splijtstofcyclus heeft echter een beperkt aandeel in de totale productie van dit afval, vandaar dat ook de andere afvalproducenten erbij moeten worden betrokken.

Een mogelijk bezwaar tegen een gescheiden aanpak van twee soorten radioactief afval (laag- & middel- respectievelijk hoog-actief) is, dat de huidige structuur in Nederland voor de realisatie en financiering van eindberging opgezet is met één eindbestemming voor alle soorten. Kiezen voor een andere benadering kan daarom kostenverhogend werken.

Meer informatie over laag- en middelactief afval is te vinden in paragraaf 2.5 'Back-end: eindverwerking radioactief afval en gebruikte splijtstof'. Betreffende mogelijke randvoorwaarden zie de subparagraaf 2.5.3 'Mogelijke randvoorwaarden m.b.t. laag- en middelactief afval'.

Gebruikte splijtstof: opwerken of directe berging

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a Alg. randvoorw. +	Scenario 1b Alg. randvoorw. +	Scenario 2 Alg. randvoorw. +	Scenario 3 Alg. randvoorw. +	
Gebruikte splijtstof: opwerken, P&T of directe opslag	100 jaar opslag van hoogactief afval bij voortzetting opwerking en start P&T zodra dat realistisch is	Uitbreiding van opslagcapaciteit bij COVRA mogelijk: 2° HABOG in 2015	Extra opslag voor PBMR-ballen in 2030 of later (geheel ander ontwerp dan HABOG)	Uitbreiding van opslagcapaciteit bij COVRA mogelijk: 2° HABOG in 2015 3° HABOG (2-3 x zo groot) in 2040	Uitbreiding van opslagcapaciteit bij COVRA mogelijk: 2° HABOG in 2015 3° HABOG (2-3 x zo groot) in 2030 4° HABOG (2-3 x zo groot) in 2040	
	100 jaar opslag van hoogactief afval bij <u>uitstel</u> van keuze tussen opwerking/P&T en directe berging tot bijv. 2025	Uitbreiding van opslagcapaciteit bij COVRA mogelijk: 2° HABOG in 2015 Later opslag gebruikte splijtstof mogelijk	Uitbreiding van opslagcapaciteit bij COVRA beperkend: procedure voor reservering van alternatieve locaties of verwerving aangrenzende terreinen voor de bouw van faciliteiten voor opslag van gebruikte splijtstofelementen. Capaciteit enkele malen groter als hierboven			
	Ontwikkeling stappenplan voor acceptatie van geologische berging als deel eindoplossing radioactief afval	Acceptatie voor eindoplossing radioactief afval pas rond 2080 nodig	Ontwikkeling plan gestart voor 2035	Ontwikkeling plan gestart voor 2030	Ontwikkeling plan gestart voor 2015	
	Meeфинanciering eindbergingsonderzoek door exploitant van nieuwe kerncentrales	n.v.t.	Geen relevant effect			

Legenda: ► is een gevolg, ■ is een opmerking. Zonder symbooltje: een mogelijke voorwaarde

Mogelijke randvoorwaarden, zijn afhankelijk van de keuze voor de bestemming van de gebruikte splijtstof:

a) 100 jaar opslag van verglaasd afval bij voortzetten van de praktijk van opwerking en vervanging door P&T zodra deze techniek realistisch toepasbaar is.

Dit betekent de huidige praktijk van opwerken voortzetten (i.e. circa 95% uit de splijtstof terugwinnen). Indien men wil, kan men tegemoetkomen aan de eerder beschreven beleidsvoorkeur voor partitioning & transmutation boven de huidige opwerkingsroute, zodra deze route economisch beschikbaar komt. Dit heeft geen implicaties voor de opslag van gebruikte splijtstof bij de centrales. Deze mogelijke randvoorwaarde speelt waarschijnlijk geen rol bij scenario 1b, omdat naar verwachting de gebruikte splijtstof van de daarin veronderstelde inherent veilige kerncentrale(s) moeilijker te recyclen is, indien deze van het type HTR is.

Of:

b) 100 jaar opslag van gebruikte splijtstof bij uitstel van de keuze voor opwerking en vervanging door P&T zodra deze techniek realistisch toepasbaar is

Om een latere keuze tussen beide verwerkingsroutes mogelijk maken, kan er voor voldoende potentiële opslagcapaciteit voor gebruikte splijtstof worden gezorgd. Het terrein van COVRA lijkt onvoldoende ruimte te bieden om de gebruikte splijtstof van de nieuw te bouwen kerncentrales voor 100 jaar te kunnen opslaan – naast het ‘gewone’ laag- en middelactieve afval van de komende 100 jaar. Om met deze mogelijke randvoorwaarde de bouw van nieuwe kerncentrales niet onmogelijk te maken, moeten door de overheid potentiële alternatieve locaties voor de opslag van gebruikte splijtstof worden aangewezen, dan wel gepoogd worden aangrenzende terreinen aan te kopen en aan het COVRA-terrein toe te voegen.

De voorwaarden a) en b) sluiten elkaar uit; eerst moet de eindbestemming van de gebruikte splijtstof worden gekozen, alvorens men één van de voorwaarden kan kiezen.

Er is in internationaal onderzoek aandacht voor varianten op P&T die in de toekomst – afhankelijk van de onderzoeksresultaten – belangrijker kunnen worden, zoals:

- P&I: afgescheiden nucliden kunnen ook elementspecifiek in een speciale matrix worden vastgelegd die de afgifte van deze nucliden naar het gastgesteente in een eindberging zo goed mogelijk beperkt (Partitioning & Insulation);
- Recycling van de gehele actinidenmix in een daarvoor geschikte reactor, zonder voorafgaande geavanceerde Partitioning.

Technische en economische aspecten zullen bepalen wat uiteindelijk het belang van P&T en varianten in de toekomst zal zijn. Vanwege deze onzekerheid moet men zorgvuldig overwegen of het mogelijk maken van P&T voor het huidige kernafval, nu al een ingrijpende strategische keuze – bewaren van alle gebruikte splijtstof – rechtvaardigt.

Start maken met de ontwikkeling van een stappenplan voor eindberging van radioactief afval ter bevordering van de acceptatie.

Ervaringen in andere landen heeft geleerd dat acceptatie van eindberging van radioactief afval sterk verbeterd wordt door een goed ontwikkeld stappenplan, waarbij vrijwilligheid op lokaal niveau om als vestigingsplaats voor een geologische berging in aanmerking te komen voorop moet staan.

Hierbij moet wel bedacht worden dat het Nederlandse beleid voorziet in tenminste 100 jaar bovengrondse opslag van al het afval. Dit vermindert de tijdsdruk. Het stappenplan kan in een onderzoeksprogramma worden ingebed en door de jaren heen steeds geactualiseerd worden, op basis van maatschappelijke en technische inzichten.

Financiering van het onderzoek naar eindberging van radioactief afval en gebruikte splijtstof

Er zou door de overheid en de nucleaire sector een fonds kunnen worden gevormd voor financiering van het onderzoek naar een duurzame eindbestemming van radioactief afval. Exploitanten van nieuwe kerncentrales zouden hieraan dan vanaf het begin gaan bijdragen. Dit zou los staan van de kosten die COVRA rekent voor het beheer van het afval en de opbouw van een fonds voor de financiering van de aanleg van een eindberging.

De lange tijdshorizon van het onderzoek is slechts zwak afhankelijk van het specifieke kernenergiescenario.

Meer informatie over hoogactief afval is te vinden in paragraaf 2.5 ‘Back-end: eindverwerking radioactief afval en gebruikte splijtstof’. Betreffende mogelijke randvoorwaarden zie de subparagraaf 2.5.4 ‘Mogelijke randvoorwaarden m.b.t. gebruikte splijtstof’.

5.3 Veiligheid

Veiligheid kerncentrale

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a Alg. randvoorw. +	Scenario 1b Alg. randvoorw. +	Scenario 2 Alg. randvoorw. +	Scenario 3 Alg. randvoorw. +
Veiligheid kerncentrale	m.b.t. veiligheid behoren tot de veiligste westerse centrales	▶ geen effect, is in vergunning van KCB vastgelegd.	Eis van inherent veilig. ▶ Bij nieuwe inherent veilige centrale is de noodzaak van maatregelen buiten het centraletterrein uitgesloten	Nieuwe centrale net zo veilig als de generatie III kerncentrales die nu gebouwd worden Na een ongeval buiten het terrein van de centrale geen preventieve maatregelen zoals evacuatie nodig.	

De veiligheid van een nieuw te bouwen kerncentrale moet minstens zo goed zijn als die van de generatie kerncentrales van generatie III die nu gebouwd worden.

Veiligheid is o.a. behandeld in paragraaf 3.1. Kerncentrales van generatie III zijn behandeld in paragraaf 2.3. Deze centrales kennen een kernsmeltfrequentie van eens in de miljoen jaren of lager en diverse modellen hebben voorzieningen die voorkomen dat bij een kernsmeltongeval kernmateriaal buiten het containment kan geraken. Deze voorwaarde past bij de scenario’s 2 en 3, waarin de bouw van dit soort kerncentrales voorzien is.

Deze mogelijke randvoorwaarde heeft geen beperkende invloed op de ontwikkeling van de kernenergiescenario's.

De eisen die vastgelegd kunnen worden betreffende de veiligheid van een nieuw te bouwen kerncentrale bepalen de mogelijke ontwikkelingen van de kernenergiescenario's. het is daarbij van belang of men er voor kiest alleen de noodzaak van *bepaalde* maatregelen uit te sluiten, of de noodzaak van *alle* soorten maatregelen uit te sluiten:

1. *Uitsluiting van de noodzaak tot preventieve maatregelen zoals evacuatie, schuilen of inname van jodiumtabletten buiten het terrein van de kerncentrale bij geloofwaardige hypothetische ongevalsituaties. Wel toegestaan blijft dan de noodzaak tot het nemen van minder ingrijpende maatregelen zoals een graasverbod, verbod op het eten van groente uit eigen tuin en dergelijke.*

Op basis van gegevens van fabrikanten van moderne generatie-III kerncentrales, lijkt het erop, dat de meeste van deze centrales voldoen aan deze mogelijke voorwaarde, of door aanpassingen daaraan kunnen voldoen. Indien specifieke veiligheidsanalyses de gegevens van de fabrikanten bevestigen, betekent vastlegging van deze voorwaarde dus geen beperking aan de ontwikkeling van kernenergiescenario's.

2. *Uitsluiting van de noodzaak tot welke maatregel dan ook buiten het terrein van de kerncentrale bij geloofwaardige ongevalsituaties*

Dit betekent dat dan ook maatregelen worden uitgesloten, die de voedselketen betreffen, zoals een graasverbod, enige tijd niet eten van voedsel uit eigen tuin en dergelijke. Aan deze voorwaarde zouden mogelijk de HTR-type centrales kunnen voldoen. Deze voorwaarde lijkt de ontwikkeling van scenario's 2 en 3 uit te sluiten, waardoor alleen de ontwikkeling van beide subscenario's 1a en 1b open blijft.

Veiligheid eindberging voor radioactief afval

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a Alg. randvoorw. +	Scenario 1b Alg. randvoorw. +	Scenario 2 Alg. randvoorw. +	Scenario 3 Alg. randvoorw. +
Veiligheid eindberging	Eisen aan - operationele veiligheid - doses ontwerpscenario's - maximale jaardosis	- ■ Niet onderscheidend voor de scenario's			

Legenda: ► is een gevolg, ■ is een opmerking. Zonder symbooltje: een mogelijke voorwaarde

Een eindberging voor radioactief afval zou moeten voldoen aan veiligheidseisen die aan elke andere faciliteit in de splijtstofcyclus worden gesteld.

Het in de afgelopen decennia doorgevoerde eindbergingsonderzoek, waarbij veiligheidsaspecten op basis van internationaal gangbare criteria gebruikt werden, doet verwachten dat een eindberging in steenzout of Boomse klei aan zulke criteria kan voldoen. Dit heeft op zich geen gevolgen voor de scenario's.

Veiligheid van eindberging is ondermeer besproken in paragraaf 3.1.1.7.

Non-proliferatie en terrorisme

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a Alg. randvoorw. +	Scenario 1b Alg. randvoorw. +	Scenario 2 Alg. randvoorw. +	Scenario 3 Alg. randvoorw. +
Non-proliferatie	Politieke instrumenten: IAEA statuut Euratomverdrag Non-proliferatieverdrag (NPT) Additioneel Protocol	Volgen van internationale ontwikkelingen ► Geen onderscheidend effect op de scenario's			
	Waarborgsystemen (safeguards) Euratomsysteem IAEA-controle (NPT)	Volgen van internationale ontwikkelingen ► Geen onderscheidend effect op de scenario's			
Beveiliging tegen terrorisme	Beveiliging op orde: organisatie techniek screening AIVD	Handhaving beveiliging bestaande installaties en transporten	Handhaving beveiliging, ook voor inherent veilige centrale	Handhaven beveiliging. Aanvullende veiligheidseisen mogelijk: <ul style="list-style-type: none"> • Beperkt effect op omgeving van eventuele vliegtuiginslag. • Eisen t.a.v. veiligheidsbarrières rond centrales. 	

Legenda: ► is een gevolg, ■ is een opmerking. Zonder symbooltje: een mogelijke voorwaarde

Beveiliging tegen proliferatie op orde houden en internationale ontwikkelingen volgen

Ten aanzien van non-proliferatie kan worden opgemerkt dat het bedrijven van één of meer nieuwe kerncentrales geen extra proliferatierisico's met zich mee zal brengen, gezien de naleving van de internationale afspraken waaraan Nederland zich heeft gecommitteerd. Dit onderwerp heeft de warme belangstelling van diverse overheidsdiensten.

Het ontwerp van een centrale voorziet er in, dat een inslag van een vliegtuig of ander projectiel niet tot gevolgen leidt waarvoor buiten het centrale terrein preventieve maatregelen nodig zijn.

De meeste moderne kerncentrales van generatie III voldoen aan deze mogelijke voorwaarde, of zullen door aanpassingen daaraan kunnen voldoen. Deze mogelijke randvoorwaarde kan invloed hebben op de typekeuze bij de scenario's 2 en 3, waarin bouw van dit soort kerncentrales voorzien is.

Eisen betreffende toegangsbeperkende barrières rond centrales vastleggen, voor de bouw van een nieuwe kerncentrale

Deze mogelijke voorwaarde leidt alleen voor scenario 3, waarin al op korte termijn nieuwe kerncentrales gebouwd zouden worden tot enige tijdsdruk. Omdat het resultaat alleen de ontwerpeisen aan de beveiliging rond een nieuw te bouwen kerncentrale beïnvloedt, is die als zodanig niet van invloed op typekeuze noch op de ontwikkeling van de kernenergiescenario's

Evalueren welke informatie t.a.v. beveiliging de overheid publiek wil houden. Tevens screening beleid t.a.v. personeel van diverse actoren beschouwen.

Deze mogelijke voorwaarde legt geen beperkingen op de scenario's.

Beveiliging tegen proliferatie en terrorisme is ondermeer besproken in paragraaf 3.2 'Beveiliging'.

5.4 Regelgeving, inspraak en waarborging

In deze paragraaf worden enkele bevindingen uit hoofdstuk 4 herhaald. De druk op de ontwikkeling van beleid voor diverse aspecten verschilt per scenario. De precieze invulling moet afgestemd worden met bestaand beleid en ontwikkelingen op andere, aanpalende beleidsterreinen. Ook vanwege de vele juridische 'haken en ogen' die nog moeten worden geëvalueerd, is met de opdrachtgever afgesproken geen mogelijke randvoorwaarden te formuleren, maar alleen materiaal aan te dragen dat als basis voor de discussie over randvoorwaarden kan dienen. Voor details wordt verwezen naar hoofdstuk 4.

Regelgeving

In paragraaf 4.2 ‘Regelgeving voor toepassen van kernenergie’ wordt de stand van zaken toegelicht alsmede de gesignaleerde ontwikkelingen. Er is in die paragraaf met name aandacht voor recente en nabije actualisering van wet- en regelgeving.

Participatie van de bevolking/Inspraak

In paragraaf 4.3 ‘Inspraak’ worden de stand van zaken en de gesignaleerde ontwikkelingen in binnen- en buitenland beschreven. De bestaande procedures bieden de bevolking al de mogelijkheid tot inspraak. Uit de literatuur en ervaringen in het buitenland zijn alternatieve of aanvullende mogelijkheden tot participatie bekend. Hieronder worden er twee kort toegelicht.

Om de participatie van de bevolking te bevorderen kan men een regionale overlegstructuur (partnership) starten bij het aangaan van het besluitvormingsproces. Aan het partnership kunnen lokale bevolking en de potentiële exploitant deelnemen, maar men kan ook bijzondere leden aanstellen met bijvoorbeeld een bepaalde expertise.

Een succesvol partnership kan de inspraak van de bevolking bij beleidsbeslissingen vervroegen en vergroten. Het kan bijdragen aan maatschappelijk draagvlak voor de beleidbeslissing. Dit kan positief zijn voor voortzetting van de rol van kernenergie bij elektriciteitsopwekking.

Een peiling kan inzicht geven in het draagvlak voor bijvoorbeeld de bouw van een nieuwe kerncentrale en de voorwaarden waaronder dat draagvlak verkregen zou kunnen worden.

Waarborging

Afhankelijk van de ontwikkeling van de kernenergiescenario's zal er behoefte zijn aan meer of minder gewaarborgde vestigingsplaatsen. Ook de noodzaak tot waarborging van voldoende deskundigheid bij de overheid op het gebied van nucleaire technologie en het toezicht op de nucleaire infrastructuur hangt samen met de ontwikkeling van de kernenergiescenario's.

Vele zaken dienen te worden gewaarborgd, maar er is al veel in wet- en regelgeving geregeld. De status quo is op hoofdlijnen in hoofdstuk 4 beschreven. In paragraaf 4.4 ‘Waarborging’ zijn diverse aspecten van waarborging beschouwd, evenals gesignaleerde ontwikkelingen op dat gebied. Voor implementatie van nieuwe randvoorwaarden t.a.v. waarborging, is een uitgebreide juridische evaluatie nodig, die buiten het bestek van dit rapport valt.

Bijlage A Terms of Reference (ToR) van de opdracht

Terms of Reference t.b.v. ondersteuning Randvoorwaarden project Kernenergiescenario's

Pijler 2: kernenergie & randvoorwaarden

definitief

1. Inhoudelijke aspecten

1.1 Aanleiding

In het huidige Regeerakkoord¹⁵¹ is aangegeven dat er tijdens deze kabinetsperiode geen kerncentrale wordt gebouwd. In het Energierapport 2008 is aangegeven dat het kabinet op voorhand geen enkele energieoptie uitsluit. Echter, het is te vroeg om nu een definitief antwoord te geven op de vraag welke plaats kernenergie in ons land moet innemen in de toekomstige energievoorziening. Het kabinet is met de SER¹⁵² van mening dat het wenselijk is dat hierover met betrokkenen en deskundigen een discussie plaatsvindt op basis van een continue proces van factfinding. Daartoe is in het Energierapport een drietal mogelijke scenario's geschetst, te weten:

- Scenario 1a: geen nieuwe kerncentrales c.q.
- Scenario 1b: geen nieuwe kerncentrales, tenzij inherent veilig.
- Scenario 2: Borssele vervangen in 2033
- Scenario 3: nieuwe kerncentrale na 2020 (naast vervanging Borssele)¹⁵³

In het voorjaar van 2010 zal de uitwerking van de in dit Energierapport geschetste scenario's voor de mogelijke inzet van kernenergie naar de Tweede Kamer worden gestuurd, inclusief transparante en consistente randvoorwaarden, zodat een volgend kabinet op een verantwoorde wijze een besluit kan nemen over de brandstofmix.

De EZ/VROM projectgroep "Uitwerking kernenergiescenario's" is belast met deze uitwerking. De uitwerking van dit project loopt langs drie pijlers, te weten

1. kernenergie & brandstofmix,
2. kernenergie & randvoorwaarden en
3. kernenergie & maatschappij.

Belangrijk is echter dat alle drie de pijlers geïntegreerd worden.

Onderliggende ToR heeft betrekking op de tweede pijler.

1.2 Probleemstelling

Ten behoeve van de huidige en toekomstige toepassing van kernenergie zijn randvoorwaarden nodig ter borging van publieke belangen. Elk van bovengenoemde scenario's vraagt om specifieke randvoorwaarden. Daarnaast zijn er ook algemene randvoorwaarden te benoemen.

Het begrip randvoorwaarden in het kader van dit project behelst zowel niet-conditionele voorwaarden (die gerealiseerd moet zijn om een scenario mogelijk te maken, bv inherent veilige kerncentrales moeten bestaan wil scenario 1b mogelijk zijn) als conditionele voorwaarden (die gerealiseerd moeten worden als voor een bepaald scenario wordt gekozen, bv indien kerncentrales gebouwd gaan worden, moet men zorgen dat er voldoende opslagcapaciteit voor radioactief afval aanwezig is).

¹⁵¹Deze ToR is opgesteld tijdens het kabinet Balkenende IV, dat regeerde van eind februari 2007 tot en met eind februari 2010.

¹⁵²SER (14 maart 2008), 'Advies Kernenergie en een duurzame energievoorziening'.

¹⁵³Voor meer informatie over deze scenario's en de achtergronden daarbij, wordt verwezen naar het Energierapport 2008, in het bijzonder p. 82-92.

1.3 Vraagstelling

Hoofdvraag is:

Welke randvoorwaarden passen bij elk van bovengenoemde scenario's?

Hieronder zijn een aantal deelvragen te onderscheiden:

Welke technische c.q. feitelijke factoren zijn van belang?

Welke financiële factoren?

Welke wettelijke en/of procedurele kaders zijn aanwezig c.q. behoeven aanpassing?

Hoe zit het met de tijdsafhankelijkheid van de randvoorwaarden?

Daarbij wordt gefocuseerd op de volgende gebieden:

- 1) kerncentrales: generaties, typen, kenmerken;
- 2) radioactief afval: opslag, eindberging, evt. reductie levensduur, al dan niet opwerking;
- 3) ontmanteling: technieken, financiële zekerheidsstelling voor ontmantelingskosten;
- 4) non-proliferatie: rol Euratom en IAEA;
- 5) procedurele aspecten: vergunningsverlening, toezicht;
- 6) ruimtelijke ordening: locaties voor kerncentrales, waarborgingsbeleid
- 7) kennisinfrastructuur: onderzoek, onderwijs en opleiding, en t.b.v. vergunningverlening en toezicht
- 8) beschikbaarheid van uranium: uraniumwinning en verrijking
- 9) draagvlak: maatschappelijke en politieke aspecten
- 10) overige aspecten: aansprakelijkheid, eigendom, beveiliging, veiligheid/stralingsbescherming, aanpassingen bij overheidsorganisatie, milieuaspecten.

Bij de beantwoording van de vragen zal ingegaan worden op:

- 1) de huidige situatie met betrekking tot randvoorwaarden
- 2) algemene randvoorwaarden (die voor alle scenario's toegepast kunnen worden)
- 3) specifieke randvoorwaarden (voor ieder scenario afzonderlijk)

1.4 Waarvoor worden uitkomsten benut

Een overzicht van randvoorwaarden is nodig om de in september – december te organiseren stakeholderbijeenkomsten¹⁵⁴ mee te voeden. Indien deze stakeholderbijeenkomsten aanvullende informatie opleveren, zal deze worden verwerkt.

Het eindrapport van het hele project wordt als bijlage gevoegd bij de Kamerbrief.

¹⁵⁴Teneinde inzicht te krijgen in (“kracht” en “diepte” in de overeenkomsten/verschillen) in de opvattingen bij stakeholders over kernenergie in het algemeen en de drie kernenergie-scenario's in het bijzonder worden een serie stakeholderbijeenkomsten georganiseerd, voorgezeten en genoteerd door een of twee onafhankelijk derde partij(en). Momenteel is de bedoeling dit als volgt vorm te geven:

- mei – ca. september 2009: een aantal “separate” stakeholdermeetings worden gehouden waarbij uitsluitend ‘gelijkgestemden’ zullen worden uitgenodigd. In deze stakeholdermeetings worden o.m. de “zwaarte” van desbetreffende standpunten aan de orde gesteld en, waar mogelijk, in perspectief t.o.v. de andere standpunten gesteld.
- september – december 2009: zullen gezamenlijke stakeholdersmeetings worden gehouden waarbij alle partijen uitgenodigd worden. In deze reeks meetings worden de (tussen)resultaten van de onderzoeken besproken. Ook zullen aan de orde komen de overeenkomsten en verschillen tussen betrokken partijen. In de discussie zal door de gespreksleider gestreefd moeten gaan worden om (contouren van) overeenstemming tussen betrokken partijen te bereiken.

De inhoudelijke voorbereiding van deze gezamenlijke meetings is in handen van het kernteam (aan de hand van uit te zetten feitelijke onderzoeken), de organisatorische voorbereiding wordt verzorgd door het bureau.

1.5 Eindresultaat

Het pijler2-rapport dient zodanig te zijn opgesteld (feitelijk en neutraal) dat het op zichzelf geen bron van discussie vormt. Het zal wel als input dienen voor de te houden discussies met de stakeholders.

Het pijler2-rapport dient een feitelijke en neutrale weergave te geven van de mogelijke randvoorwaarden per scenario en een samenvatting te bevatten met een overzichtelijke matrix. Tevens bevat het een lijst van relevante referenties.

Het pijler2-rapport zal tevens een compleet en duidelijk overzicht bevatten van de hele splijtstofcyclus (once through en met opwerken), waarnaar gerefereerd kan worden.

Voor elk van de genoemde gebieden worden de huidige stand van zaken en de in de komende decennia voorziene ontwikkelingen beschouwd. Het betreft met name de volgende gebieden:

- a) veiligheid/stralingsbescherming,
- b) milieuaspecten,
- c) wettelijk kader,
- d) internationaal kader.

Het pijler2-rapport zal zowel hard copy (25 exemplaren) als elektronisch (pdf) worden verstrekt.

1.6 Afbakening

Het pijler2-rapport heeft alleen betrekking op de randvoorwaarden van kernenergie.

Het heeft geen betrekking op in hoeverre kernenergie bijdraagt aan een betrouwbare, betaalbare en duurzame energievoorziening (pijler 1).

Uiteraard dienen de rapporten van beide pijler op elkaar te zijn afgestemd.

1.7 Onderliggende documenten, niet uitputtend

Het pijler2-rapport dient in elke geval de volgende rapporten te beschouwen:

- ECN, Fact Finding Kernenergie de SER-Commissie Toekomstige Energievoorziening
- Randvoorwaardenbrief (incl. bijlage) van vorig kabinet;

De in deze rapporten gevatte informatie wordt getoetst, geactualiseerd en toegespitst op de scenario's.

Daarbij zal onder meer van de volgende bronnen gebruik gemaakt worden:

- Energierapport 2008;
- Nuclear Energy Outlook, World Energy Outlook en Nederlands Indepth Review van OESO;
- Concept-beleidsnotitie "voorwaarden financiële zekerheidsstelling voor buiten gebruikstelling en ontmanteling van kernreactoren" van VROM en Financiën. Notitie gaat in op bestaande centrales.
- Documenten in het kader van SEV-III
- Eindproduct van het project "Inventarisatie wet- en regelgeving rond kerncentrales en veiligheid", een feitelijke inventarisatie naar de huidig beschikbare mogelijkheden ter borging van het publieke belang veiligheid
- 'World Energy Outlook', IEA (2008)
- SER-advies 'Advies Kernenergie en een duurzame energievoorziening'.
- 'Energy Policies of IEA Countries, The Netherlands Review', IEA (2008)
- 'Adviesrapport Duurzame energie in een nieuwe economische orde', Regieorgaan Energietransitie Nederland (2008)
- VK-rapporten n.a.v. overheidsbesluit om kernenergiecentrales uit te breiden.

2. Activiteitenplan

- april - terms of reference
- mei - voorstel van ECN/NRG

- mei - goedkeuring van voorstel door EZ als formele opdrachtgever, en door EZ en VROM als inhoudelijke opdrachtgevers
- juni - eerste concept pijler2-rapport
- augustus - concept pijler2-rapport t.b.v. stakeholdersbijeenkomsten
- december - definitief pijler2-rapport

3. Beheersplan

a) organisatie:

De EZ/VROM projectgroep is verantwoordelijk voor de uitwerking van de kernenergiescenario's. In dat kader is deze opdracht geformuleerd. De formele opdrachtgever van deze opdracht is EZ, in overeenstemming met VROM. De dagelijkse aansturing van deze opdracht vindt plaats door G.C. van Uitert en G. Delfini.

b) kwaliteitsbewaking:

Er worden 4 bijeenkomsten met de begeleidingscommissie bestaande uit 2 EZ-ers en 2 VROM-ers¹⁵⁵

- (i) een startbijeenkomst waarbij met name de afbakening van het project wordt besproken (met J.R. Ybema, hoofd Beleidsstudies van ECN, en A.D. Poley van NRG)
- (ii) een eerste voortgangsoverleg (eind juni 2009) waarin bereikte resultaten en knelpunten worden gepresenteerd; dit overleg moet op een zodanig moment worden gevoerd dat eventuele bijsturing mogelijk is.
- (iii) een derde voortgangsoverleg (augustus 2009) waarin het concept-definitief pijler2-rapport t.b.v. stakeholdersbijeenkomsten wordt besproken.
- (iv) een laatste overleg waarin het concept definitief-eindrapport van het hele project besproken wordt.

Het pijler2-eindrapport zal aangeboden worden aan een onafhankelijke organisatie voor peer-review. Over de vorm en personele bezetting zal overleg tussen de begeleidingscommissie en ECN/NRG overleg plaatsvinden.

c) contactpersonen

ECN/NRG:

- H.J.M. Snoep
- A.J. Seebregts
- A.D. Poley

EZ-VROM:

- G.C. van Uitert
- G. Delfini

d) doorlooptijd

15 mei 2009 – 31 december 2009

e) vertrouwelijkheid

Alle (concept-)rapporten zijn vertrouwelijk tot na verschijnen van de Kamernotitie in voorjaar 2010.

¹⁵⁵Te weten:

VROM: M.G. Delfini, Th.J.M. Klomberg en M.F. Versteeg
EZ: G.C. van Uitert en A. Dekkers

4. Uit te werken matrix (voorbeeld)

In onderstaande tabel is onder scenario 1a de huidige situatie verstaan, Borssele open t/m 2033.

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a Alg. randvoorw. +	Scenario 1b Alg. randvoorw. +	Scenario 2 Alg. randvoorw. +	Scenario 3 Alg. randvoorw. +
Kerncentrales Type, kenmerken					
Afval opwerking					
Ontmanteling					
Non-proliferatie					
Procedurele aspecten					
Ruimtelijke ordening					
Kennisinfrastructuur					
Beschikbaarheid U					
Draagvlak (n.b.: relatie met pijler 3)					
Overige aspecten					

Bijlage B Overzichtstabel mogelijke randvoorwaarden

In deze bijlage is een overzichtstabel van alle mogelijke randvoorwaarden gegeven, zoals zij in de diverse hoofdstukken aan de orde zijn gekomen. Deze tabel kan niet los van het rapport gebruikt worden, de opgesomde mogelijke randvoorwaarden missen anders de noodzakelijke toelichting. Sommige mogelijke randvoorwaarden sluiten elkaar uit; dit soort informatie is enkel in het rapport te vinden.

Legenda: ► is een gevolg, ■ is een opmerking. Zonder symbooltje: een mogelijke voorwaarde

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a	Scenario 1b	Scenario 2	Scenario 3
Uraniumproductie	Beperking van milieubelasting bij uraniumwinning	Wordt nu al vrijwillig gedaan: vastlegging in regelgeving mogelijk na afstemming	Vast te leggen voor nieuwe centrales vóór vergunningsaanvraag (rond 2030)	Vast te leggen voor nieuwe centrales voor 2026	Vast te leggen voor nieuwe centrales < 2013 ► < 2030 mogelijk beperkend effect
Uraniumverrijking	Verantwoord beheer verarmd uranium	► Vastlegging in regelgeving heeft geen onderscheidend effect voor de verschillende scenario's			
Kerncentrales Type, kenmerken	Beproefd type, internationale ervaring, geen grote consequenties ongevallen voor de omgeving, bescherming tegen dreiging van buiten, financiële middelen	■ KCB voldoet aan de huidige regelgeving	► Inherent veilig: ≥ 2040 ¹⁵⁶ ; Gen III+ ? > 2040: Gen IV ?	► Invulling mogelijk door: 2033: Gen III	► Invulling mogelijk door: 2020: Gen III 2030: Gen III 2040: Gen III/III+ >2040: Gen IV?
Ontmanteling	Wet en regelgeving ten aanzien van de wijze van ontmanteling	Geen ontwikkeling beleid of uitbreiding wet- en regelgeving ten aanzien van ontmanteling nodig	Keuze voor directe of uitgestelde ontmanteling rond 2030 ¹⁵⁷ ■ Wetgeving is al geactualiseerd ¹⁵⁸ .	Keuze voor directe of uitgestelde ontmanteling voor 2026 ¹⁵⁹ ■ Wetgeving is al geactualiseerd.	Keuze voor directe of uitgestelde ontmanteling voor 2013 ¹⁶⁰ ■ Wetgeving is al geactualiseerd.
	Regeling treffen t.a.v. bulkopslag laag actief afval uit ontmanteling	Nodig voor 2033	Nodig rond 2030	Nodig rond 2026	Nodig rond 2013
	Financiële zekerheidsstelling t.a.v. ontmantelingskosten	■ Is geregeld voor huidige centrales	Financiële zekerheidsstelling borgen rond 2030 ■ Uitwerking is al voorbereid.	Financiële zekerheidsstelling borgen voor 2026 ■ Uitwerking is al voorbereid	Financiële zekerheidsstelling borgen voor 2013 ■ Uitwerking is al voorbereid
Laag- en middelactief afval	Capaciteit voor 100 jaar opslag van laag- en middelactief afval	► Modulaire uitbreiding van opslagcapaciteit bij COVRA mogelijk, tempo en opslagcapaciteit afhankelijk van kernenergiescenario			
	Stappenplan eindberging van laag- en middelactief afval	Eindberging samen met hoogactief afval	Start ontwikkeling van een stappenplan met participatie van alle producenten van laag- en middelactief afval. ¹⁶¹		

¹⁵⁶ Bij voorspoedige ontwikkeling van bijvoorbeeld de HTR-technologie in China en elders is een vroegere datum voorstelbaar.

¹⁵⁷ T.b.v. vervanging Borssele; commercieel beschikbaar v.a. 2030

¹⁵⁸ In artikel 15f van de Kernenergiewet.

¹⁵⁹ Rekening houdend met geraamde duur ontwikkeling opvolger Borssele van ca. 7 jaar voorafgaand aan 2033

¹⁶⁰ Rekening houdend met geraamde duur ontwikkeling van nieuwe kerncentrale van ca. 7 jaar voorafgaand aan 2020

¹⁶¹ De ontwikkeling van een stappenplan kan mogelijk onderdeel gemaakt worden van een onderzoeksprogramma.

gebieden	algemene randvoorwaarden	Scenario 1a	Scenario 1b	Scenario 2	Scenario 3	
Gebruikte splijstof: opwerken of directe opslag	100 jaar opslag van hoogactief afval bij voortzetting opwerking en start P&T zodra dat realistisch is	Uitbreiding van opslagcapaciteit bij COVRA mogelijk: 2° HABOG in 2015	Extra opslag voor PBMR-ballen in 2030 of later (geheel ander ontwerp dan HABOG)	Uitbreiding van opslagcapaciteit bij COVRA mogelijk: 2° HABOG in 2015 3° HABOG (2-3 x zo groot) in 2040	Uitbreiding van opslagcapaciteit bij COVRA mogelijk: 2° HABOG in 2015 3° HABOG (2-3 x zo groot) in 2030 4° HABOG (2-3 x zo groot) in 2040	
	100 jaar opslag van hoogactief afval bij <u>uitstel</u> van keuze tussen opwerking/P&T en directe berging tot bijv. 2025	Uitbreiding van opslagcapaciteit bij COVRA mogelijk: 2° HABOG in 2015 Later opslag gebruikte splijstof mogelijk	Uitbreiding van opslagcapaciteit bij COVRA beperkend: procedure voor reservering van alternatieve locaties of verwerving aangrenzende terreinen voor de bouw van faciliteiten voor opslag van gebruikte splijstofelementen. Capaciteit enkele malen groter als hierboven			
	Ontwikkeling stappenplan voor acceptatie van geologische berging als deel eindoplossing radioactief afval	Acceptatie voor eindoplossing radioactief afval pas rond 2080 nodig	Ontwikkeling plan gestart voor 2035	Ontwikkeling plan gestart voor 2030	Ontwikkeling plan gestart voor 2015	
	Meefinancieren eindbergingsonderzoek door exploitant van nieuwe kerncentrales	n.v.t.	Geen relevant effect			
Veiligheid kerncentrale	m.b.t. veiligheid behoren tot de veiligste westerse centrales	► geen effect, is in vergunning van KCB vastgelegd.	Eis van inherent veilig. ► Bij nieuwe inherent veilige centrale is de noodzaak van maatregelen buiten het centraleterrein uitgesloten	Nieuwe centrale net zo veilig als de generatie III kerncentrales die nu gebouwd worden Na een ongeval buiten het terrein van de centrale geen preventieve maatregelen zoals evacuatie nodig.		
Veiligheid eindberging	Eisen aan - operationele veiligheid - doses ontwerpscenario's - maximale jaardosis	- ■ Niet onderscheidend voor de scenario's				
Non-proliferatie en terrorisme	Politieke instrumenten: IAEA statuut Euratomverdrag Non-proliferatieverdrag (NPT) Additioneel Protocol	Volgen van de internationale ontwikkelingen ► geen onderscheidend effect op de verschillende scenario's				
	Waarborgsystemen (safeguards) Euratomsysteem IAEA-controle (NPT)	Volgen van de internationale ontwikkelingen ► geen onderscheidend effect op de verschillende scenario's				
	Beveiliging op orde: organisatie techniek screening AIVD	Handhaving beveiliging van bestaande installaties en transporten	Handhaving normale beveiliging, ook voor inherent veilige centrale	Handhaven beveiliging. Aanvullende veiligheidseisen mogelijk: • Beperkt effect op omgeving van eventuele vliegtuiginslag • Eisen t.a.v. veiligheidsbarrières rond centrales		

Legenda: ► is een gevolg, ■ is een opmerking. Zonder symbooltje: een mogelijke voorwaarde