

Analyse, inform and activate

# LAKA

Analyseren, informeren, en activeren

*Stichting Laka: Documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie*

## De Laka-bibliotheek

Dit is een pdf van één van de publicaties in de bibliotheek van Stichting Laka, het in Amsterdam gevestigde documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie.

Laka heeft een bibliotheek met ongeveer 8000 boeken (waarvan een gedeelte dus ook als pdf), duizenden kranten- en tijdschriften-artikelen, honderden tijdschriftentitels, posters, video's en ander beeldmateriaal. Laka digitaliseert (oude) tijdschriften en boeken uit de internationale antikernenergie-beweging.

De [catalogus](#) van de Laka-bibliotheek staat op onze site. De collectie bevat een grote verzameling gedigitaliseerde [tijdschriften](#) uit de Nederlandse antikernenergie-beweging en een verzameling [video's](#).

Laka speelt met oa. haar informatie-voorziening een belangrijke rol in de Nederlandse anti-kernenergiebeweging.

## The Laka-library

This is a PDF from one of the publications from the library of the Laka Foundation; the Amsterdam-based documentation and research centre on nuclear energy.

The Laka library consists of about 8,000 books (of which a part is available as PDF), thousands of newspaper clippings, hundreds of magazines, posters, video's and other material. Laka digitizes books and magazines from the international movement against nuclear power.

The [catalogue](#) of the Laka-library can be found at our website. The collection also contains a large number of digitized [magazines](#) from the Dutch anti-nuclear power movement and a [video-section](#).

Laka plays with, amongst others things, its information services, an important role in the Dutch anti-nuclear movement.

Appreciate our work? Feel free to make a small [donation](#). Thank you.



[www.laka.org](http://www.laka.org) | [info@laka.org](mailto:info@laka.org) | Ketelhuisplein 43, 1054 RD Amsterdam | 020-6168294



# **Kerncentrale Borssele na 2013**

## **Gevolgen van beëindiging of voortzetting van de bedrijfsvoering**

**ECN**

**A.J. Seebregts**

**M.J.J. Scheepers**

**NRG**

**R. Jansma**

**J.F.A. van Hienen**

**Met bijdragen van:**

**K. Spijker**

**W.A.G. van der Mheen**

**F. van Gemert**

**A.I. van Heek**

## Verantwoording

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van VROM in het kader van het project 'Vervolgonderzoek kerncentrale Borssele'. Het project staat bij ECN geregistreerd onder nummer 7.7683. Bij NRG is het geregistreerd onder projectnummer 2.1264.

Contactpersoon voor dit onderzoek bij het Ministerie van VROM is mw. dr. M.G. Delfini.

Voor dit onderzoek is door het Ministerie van VROM een begeleidingscommissie ingesteld. De begeleidingscommissie stond onder voorzitterschap van ir. M.E.E. Enthoven. Leden van de begeleidingscommissie waren: prof.dr.ir. W. D'haeseleer (Universiteit Leuven), prof.dr. J.G. van der Linde (CIEP), mevrouw mr. A. van Limborch (VROM), dr. M. Mulder (CPB), ir. J.P. van Soest (Advies voor duurzaamheid) en prof.dr. W.C. Turkenburg (Universiteit Utrecht). Opmerkingen en suggesties van de Begeleidingscommissie zijn in dit rapport verwerkt.

ECN is verantwoordelijk voor de inhoud van de Hoofdstukken 2 en 3 en Bijlagen A en B. NRG is verantwoordelijk voor de inhoud van Hoofdstukken 6, 7 en 8 en Bijlagen C tot en met F. De samenvatting en de Hoofdstukken 1, 4 en 5 zijn door ECN en NRG samen opgesteld.

## Abstract

Currently, the policy to close down the Borssele nuclear power plant in 2013 is being reconsidered by the government. One of the options is to allow the operator of the nuclear power plant to extend the plant's lifetime up to 2033. This report is intended to provide additional information for the political decision-making process regarding the future of the Borssele power plant.

The report provides an overview of the consequences of extending operation up to 2033 based on a joint study by ECN and NRG. The reference situation is still the closing down of the plant in 2013.

Consequences include:

1. Effects on the Dutch electricity production system, like wholesale electricity prices, import balance, fuel generation mix, reliability and security of supply.
2. Emissions (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, particulate matter, radioactive substances), radiation, health effects, waste, and use of natural resources.
3. Other specific nuclear related aspects like risk and safety, non-proliferation, spatial planning, and employment.

An evaluation of the consequences and effects is up to the reader and the political process, and is not a part of the study reported here.

# Inhoud

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Lijst van tabellen                                                                  | 7  |
| Lijst van figuren                                                                   | 8  |
| Lijst van afkortingen                                                               | 9  |
| Lijst van afkortingen                                                               | 9  |
| Samenvatting                                                                        | 12 |
| 1. Inleiding                                                                        | 25 |
| DEEL A - SYSTEEMANALYSE                                                             | 27 |
| 2. Gehanteerde methodiek                                                            | 28 |
| 2.1 Toekomstscenario's elektriciteitsvoorziening                                    | 28 |
| 2.2 Beoordelingaspecten                                                             | 31 |
| 2.3 Vergelijking van twee situaties                                                 | 32 |
| 3. Invloed op de elektriciteitsvoorziening                                          | 34 |
| 3.1 Respons elektriciteitsmarkt                                                     | 34 |
| 3.1.1 Productieaanbod en prijsvorming                                               | 34 |
| 3.1.2 Elektriciteitsprijzen                                                         | 37 |
| 3.1.3 Brandstofmix                                                                  | 37 |
| 3.1.4 Importsaldo                                                                   | 39 |
| 3.2 Kosten elektriciteitsproductie                                                  | 41 |
| 3.3 Leverings- en voorzieningszekerheid                                             | 41 |
| 3.4 Andere mogelijke reacties                                                       | 42 |
| 3.4.1 Extra duurzame elektriciteitsproductie                                        | 42 |
| 3.4.2 Extra energiebesparing                                                        | 43 |
| 3.4.3 Andere typen centrales                                                        | 45 |
| 3.5 Effecten bij een hogere olie- en aardgasprijs                                   | 47 |
| 3.6 Samenvatting en conclusies effecten elektriciteitsmarkt                         | 48 |
| 4. Milieueffecten en volksgezondheid                                                | 51 |
| 4.1 Emissies naar de lucht                                                          | 51 |
| 4.1.1 Emissies van CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> en fijn stof | 51 |
| 4.1.2 Emissiehandel                                                                 | 52 |
| 4.2 Radioactiviteit                                                                 | 53 |
| 4.2.1 Externe straling                                                              | 53 |
| 4.2.2 Emissies radioactieve stoffen                                                 | 54 |
| 4.2.3 Lozingen naar water                                                           | 55 |
| 4.3 Effecten volksgezondheid                                                        | 56 |
| 4.3.1 Effecten volksgezondheid door externe straling, emissies en lozingen          | 56 |
| 4.3.2 Gezondheidsgevolgen van NO <sub>x</sub> en fijn stof emissies                 | 57 |
| 4.4 Afval                                                                           | 57 |
| 4.4.1 Nucleair afval                                                                | 58 |
| 4.4.2 Afval fossiele verbranding                                                    | 59 |
| 4.5 Grondstoffen                                                                    | 60 |
| 4.6 Milieueffecten stroomimport                                                     | 61 |
| 4.7 Stroometikettering                                                              | 61 |
| 4.8 Samenvatting en conclusies milieueffecten en volksgezondheid                    | 61 |
| 5. Overige effecten                                                                 | 68 |

|                                     |                                                                       |     |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1                                 | Veiligheid en risico                                                  | 68  |
| 5.2                                 | Non-proliferatie                                                      | 70  |
| 5.3                                 | Ruimtelijke ordening                                                  | 71  |
| 5.4                                 | Werkgelegenheid, kennisinfrastructuur en competent toezicht           | 71  |
| 5.4.1                               | Werkgelegenheid                                                       | 71  |
| 5.4.2                               | Kennisinfrastructuur                                                  | 72  |
| 5.5                                 | Samenvatting en conclusies overige aspecten                           | 75  |
| DEEL B - OVERIGE NUCLEAIRE ASPECTEN |                                                                       | 77  |
| 6.                                  | Veroudering en levensduur kerncentrales                               | 78  |
| 6.1                                 | Het begrip levensduur                                                 | 78  |
| 6.2                                 | Technische aspecten van levensduur                                    | 79  |
| 6.3                                 | Verouderingsbeheer                                                    | 80  |
| 6.4                                 | Nationale verschillen in aanpak van verouderingsbeheer                | 80  |
| 6.5                                 | Veroudering bij de KCB                                                | 81  |
| 6.6                                 | Aspecten van vergunningverlening en toezicht                          | 84  |
| 6.7                                 | Overzicht oudere reactoren in de wereld                               | 86  |
| 6.8                                 | Centrales met een vergunningduur langer dan veertig jaar              | 86  |
| 6.9                                 | Samenvatting en conclusies veroudering                                | 88  |
| 7.                                  | Ontmanteling                                                          | 90  |
| 7.1                                 | Ontmantelingsstrategie                                                | 90  |
| 7.2                                 | Overwegingen bij keuze voor ontmantelingsscenario                     | 93  |
| 7.2.1                               | Ontwikkelingen in de techniek                                         | 93  |
| 7.2.2                               | Kennis van de installatie en gebruikservaring                         | 93  |
| 7.2.3                               | Technische staat van de installatie                                   | 94  |
| 7.2.4                               | Radiologische staat van de installatie                                | 94  |
| 7.2.5                               | Stralingsbelasting                                                    | 94  |
| 7.2.6                               | Hoeveelheid en aard van het afval                                     | 95  |
| 7.2.7                               | Beschikbaarheid van routes afvalverwerking                            | 95  |
| 7.2.8                               | Sociale aspecten                                                      | 95  |
| 7.2.9                               | Public Relations                                                      | 96  |
| 7.2.10                              | Opbouw van fondsen                                                    | 96  |
| 7.2.11                              | Kosten van ontmantelen                                                | 96  |
| 7.2.12                              | Bewaking                                                              | 98  |
| 7.2.13                              | Onzekerheden                                                          | 98  |
| 7.3                                 | Samenvatting aspecten van decommissioning en invloed bedrijfsduur KCB | 98  |
| 8.                                  | Internationale ontwikkelingen kernenergie                             | 100 |
| 8.1                                 | Europa                                                                | 100 |
| 8.2                                 | Verenigde Staten                                                      | 101 |
| 8.3                                 | Azië                                                                  | 102 |
| 8.4                                 | Afrika                                                                | 102 |
| 8.5                                 | Het Generation IV initiatief                                          | 103 |
| BIJLAGEN                            |                                                                       | 105 |
| Bijlage A                           | Toekomstscenario's elektriciteitsvoorziening                          | 106 |
| A.1                                 | Bepalende factoren voor ontwikkeling van de elektriciteitsproductie   | 106 |
| A.1.1                               | Elektriciteitsvraag                                                   | 106 |
| A.1.2                               | Brandstofprijzontwikkeling                                            | 107 |
| A.1.3                               | CO <sub>2</sub> -emissiehandel                                        | 108 |
| A.1.4                               | Warmtekrachtkoppeling en duurzame elektriciteitsproductie             | 109 |
| A.1.5                               | Technologiekeuze                                                      | 110 |
| A.1.6                               | Marktstructuur en mate van concurrentie                               | 111 |

|           |                                                                                                                                  |     |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|           | A.1.7 Ontwikkeling van het buitenlands aanbod en interconnectie capaciteit                                                       | 112 |
|           | A.1.8 Investeringsklimaat en investeringsgedrag                                                                                  | 112 |
| A.2       | Toekomstscenario's elektriciteitsvoorziening in cijfers                                                                          | 113 |
|           | A.2.1 Ontwikkeling productiecapaciteit                                                                                           | 113 |
|           | A.2.2 Brandstofmix                                                                                                               | 114 |
|           | A.2.3 Importsaldo                                                                                                                | 115 |
|           | A.2.4 Elektriciteitsprijzen                                                                                                      | 117 |
|           | A.2.5 Emissies                                                                                                                   | 117 |
|           | A.2.6 Elektriciteitsproductie KCB                                                                                                | 119 |
| A.3       | Wijziging toekomstscenario's bij een hogere olie- en aardgasprijs                                                                | 120 |
| A.4       | Samenvatting                                                                                                                     | 121 |
| Bijlage B | Beschrijving POWERS-model                                                                                                        | 123 |
| B.1       | Invoergegevens                                                                                                                   | 123 |
|           | B.1.1 Elektriciteitsvraag                                                                                                        | 124 |
|           | B.1.2 Productiepark                                                                                                              | 125 |
|           | B.1.3 Interactie met het buitenland: import en export van elektriciteit                                                          | 127 |
| B.2       | Werking van het model                                                                                                            | 128 |
|           | B.2.1 Bepaling elektriciteitsprijs                                                                                               | 128 |
|           | B.2.2 Inzet van centrales                                                                                                        | 129 |
|           | B.2.3 Investerings in nieuw vermogen                                                                                             | 130 |
|           | B.2.4 Iteratie met WKK-model en andere vraagmodellen                                                                             | 130 |
|           | B.2.5 Import en export                                                                                                           | 131 |
|           | B.2.6 CO <sub>2</sub> -emissies                                                                                                  | 131 |
| B.3       | Overige mogelijkheden                                                                                                            | 132 |
| B.4       | Validatie van resultaten                                                                                                         | 132 |
| Bijlage C | Technische veiligheid kerncentrales                                                                                              | 134 |
| C.1       | Het 'defence-in-depth' principe                                                                                                  | 134 |
| C.2       | Voortschrijdend inzicht in nucleaire veiligheid                                                                                  | 136 |
| C.3       | Globale vergelijking veiligheidskenmerken KCB en moderne reactorontwerpen                                                        | 138 |
|           | C.3.1 Vergelijking tussen KCB en de EPR                                                                                          | 139 |
|           | C.3.2 Vergelijking met de PBMR                                                                                                   | 142 |
|           | C.3.3 Conclusie van de vergelijking van de KCB met moderne reactorontwerpen                                                      | 144 |
| C.4       | Technische veiligheid in relatie tot bedrijfsduur                                                                                | 144 |
| Bijlage D | Volksgezondheid                                                                                                                  | 145 |
| D.1       | Gezondheidseffecten van straling en hantering van dosislimieten                                                                  | 145 |
| D.2       | Dosisbelasting in perspectief                                                                                                    | 146 |
| D.3       | Dosisbelasting als gevolg van de splijtstofcyclus gerelateerd aan het aandeel tot deze splijtstofcyclus van KCB-productiebedrijf | 148 |
|           | D.3.1 Radioactiviteit in de Noordegropese wateren, MARINA-studie                                                                 | 148 |
|           | D.3.2 Rapportage van de ASN betreffende dosisbelasting bevolking bij La Hague                                                    | 149 |
|           | D.3.3 Studie door de NEA                                                                                                         | 150 |
|           | D.3.4 Conclusie dosisbelasting van de Nederlandse bevolking door lozingen en externe straling door de KCB                        | 151 |
| D.4       | Dosisbelasting werkers                                                                                                           | 152 |
| Bijlage E | Afvalbeheer                                                                                                                      | 153 |
| E.1       | Beleid en voorzieningen in Nederland                                                                                             | 153 |
| E.2       | Kosten van eindberging en toekomstige multinationale oplossingen                                                                 | 157 |
| E.3       | P&T en afvalbeheer                                                                                                               | 158 |

|             |                                                                                                                        |     |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| E.4         | Invloed bedrijfsduur KCB op aspecten van radioactief afvalbeheer                                                       | 160 |
| Bijlage F   | Non-proliferatie en beveiliging - internationale afspraken                                                             | 162 |
| F.1         | Resumé recente rapportages betreffende non-proliferatie                                                                | 162 |
| F.2         | NPT - Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons en aanvullingen daarop                                        | 163 |
| F.2.1       | Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons (NPT)                                                               | 163 |
| F.2.2       | Enkele andere belangrijke aanvullende verdragen in het kader van non-proliferatie                                      | 164 |
| F.2.3       | Technische voorzieningen in het kader van safeguards en beveiliging                                                    | 165 |
| F.3         | Multilateral Nuclear Approaches (MNA)                                                                                  | 166 |
| F.4         | Recente internationale initiatieven betreffende 'counterproliferation'                                                 | 167 |
| F.4.1       | UNSCR 1540 tegen de dreiging van 'Weapons of Mass Destruction' (WMD)                                                   | 167 |
| F.4.2       | Proliferation Security Initiative (PSI)                                                                                | 168 |
| F.4.3       | G8 Statements                                                                                                          | 170 |
| F.5         | Het thema 'dirty bombs'                                                                                                | 170 |
| F.6         | Belang van gesignaleerde ontwikkelingen voor de Nederlandse situatie en de KCB                                         | 171 |
| F.7         | Annex bij de Bijlage, betreffende eerder gerapporteerde zaken betreffende opwerking en non-proliferatie in (NRG, 2005) | 172 |
| F.7.1       | Non-proliferatie en evaluatie mogelijke inbreuken                                                                      | 172 |
| F.7.2       | Vergelijking Route 1 (opwerking) en Route 2 (directe opberging)                                                        | 173 |
| F.7.3       | Non-proliferatie voor de lange termijn                                                                                 | 174 |
| F.7.4       | Non-proliferatie en bedreigingen buiten onze directe invloedssfeer                                                     | 175 |
| Referenties |                                                                                                                        | 176 |

## Lijst van tabellen

|           |                                                                                                                                                                                              |     |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel S.1 | <i>Gevolgen voor de elektriciteitsvoorziening van voortzetting van de exploitatie van de kerncentrale Borssele ten opzichte van de situatie van sluiting in 2013</i>                         | 16  |
| Tabel S.2 | <i>Milieu-effecten bij voortzetting van de exploitatie van de kerncentrale Borssele ten opzichte van de situatie van sluiting in 2013</i>                                                    | 18  |
| Tabel S.3 | <i>Overige effecten bij voortzetting van de exploitatie van de kerncentrale Borssele ten opzichte van de situatie van sluiting in 2013</i>                                                   | 23  |
| Tabel 2.1 | <i>Bepalende veronderstellingen voor de elektriciteitsmarkt voor de oorspronkelijke toekomstscenario's Strong Europe en Global Economy</i>                                                   | 30  |
| Tabel 2.2 | <i>Aandeel elektriciteitsproductie KCB</i>                                                                                                                                                   | 31  |
| Tabel 2.3 | <i>Overzicht van te beoordelen aspecten</i>                                                                                                                                                  | 31  |
| Tabel 2.4 | <i>Schema voor vergelijking van beoordelingsaspecten</i>                                                                                                                                     | 33  |
| Tabel 3.1 | <i>Mutaties bij centrale elektriciteitsproductie bij voortzetting van de exploitatie van de KCB na 2013 ten opzichte van sluiting</i>                                                        | 40  |
| Tabel 3.2 | <i>Opgesteld vermogen windenergie in toekomstscenario's SE en GE, 2020</i>                                                                                                                   | 43  |
| Tabel 3.3 | <i>Besparing op het finaal elektriciteitsverbruik vanaf 2005</i>                                                                                                                             | 44  |
| Tabel 3.4 | <i>Gemiddelde jaarlijkse groei in de elektriciteitsvraag 2005-2015</i>                                                                                                                       | 44  |
| Tabel 3.5 | <i>Nieuwbouwplannen Nederlandse elektriciteitsproducenten</i>                                                                                                                                | 47  |
| Tabel 3.6 | <i>Effecten op brandstofmix van voortzetting KCB vergeleken met sluiting in GE met lage en GE met hoge olie-/aardgasprijzen</i>                                                              | 48  |
| Tabel 3.7 | <i>Samenvatting effecten op brandstofmix</i>                                                                                                                                                 | 49  |
| Tabel 3.8 | <i>Gevolgen voor de elektriciteitsvoorziening van voortzetting van de exploitatie van de kerncentrale Borssele ten opzichte van de situatie van sluiting in 2013</i>                         | 50  |
| Tabel 4.1 | <i>Samenvatting effecten op emissies CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub></i>                                                                                   | 52  |
| Tabel 4.2 | <i>Vermeden CO<sub>2</sub>-kosten</i>                                                                                                                                                        | 53  |
| Tabel 4.3 | <i>Invloed emissie radioactieve stoffen in Nederland door mutaties bij centrale elektriciteitsproductie bij voortzetting van de exploitatie van de KCB na 2013 ten opzichte van sluiting</i> | 55  |
| Tabel 4.4 | <i>Jaarproductie radioactief afval KCB, bij gebruik van splijtstof met een verrijkingsgraad van 4,4%</i>                                                                                     | 58  |
| Tabel 4.5 | <i>Productie radioactief afval KCB, bij gebruik van splijtstof met een verrijkingsgraad van 4,4%</i>                                                                                         | 59  |
| Tabel 4.6 | <i>Uitgespaarde brandstof in m<sup>3</sup> en kton</i>                                                                                                                                       | 60  |
| Tabel 4.7 | <i>Milieueffecten bij voortzetting van de exploitatie van de kerncentrale Borssele ten opzichte van de situatie van sluiting in 2013</i>                                                     | 65  |
| Tabel 5.1 | <i>Overige effecten bij voortzetting van de exploitatie van de kerncentrale Borssele ten opzichte van de situatie van sluiting in 2013</i>                                                   | 76  |
| Tabel 6.1 | <i>Lijst van vermogensreactoren die momenteel langer dan 35 jaar in bedrijf zijn</i>                                                                                                         | 86  |
| Tabel 6.2 | <i>Verleende vergunningen voor verlenging tot 60 jaar bedrijfsvoering (USA)</i>                                                                                                              | 87  |
| Tabel 6.3 | <i>Aanvraag voor vergunningsverlening in behandeling (USA)</i>                                                                                                                               | 88  |
| Tabel 6.4 | <i>Aanvraag voor vergunningsverlenging aangekondigd (USA)</i>                                                                                                                                | 88  |
| Tabel A.1 | <i>Ontwikkeling Nederlands finaal elektriciteitsverbruik</i>                                                                                                                                 | 107 |
| Tabel A.2 | <i>Emissies CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub></i>                                                                                                            | 118 |
| Tabel A.3 | <i>Aandeel elektriciteitsproductie KCB</i>                                                                                                                                                   | 119 |
| Tabel A.4 | <i>Gevolgen van een hogere aardgasprijs in het GE-scenario: mutaties ten opzichte van het oorspronkelijke GE-scenario</i>                                                                    | 121 |
| Tabel A.5 | <i>Bepalende factoren voor de elektriciteitsmarkt voor de oorspronkelijke scenario's Strong Europe en Global Economy</i>                                                                     | 121 |



|           |                                                                        |     |
|-----------|------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel B.1 | <i>Bestaand centrale productiepark</i>                                 | 126 |
| Tabel C.1 | <i>Overzicht van enkele kenmerken van de EPR en de KCB</i>             | 141 |
| Tabel C.2 | <i>Vergelijking van de kernsmeltfrequentie</i>                         | 142 |
| Tabel C.3 | <i>Individueel en groepsrisico van de KCB ten opzichte van de norm</i> | 142 |

## Lijst van figuren

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figuur 3.1 | <i>Match van vraag en aanbod op de elektriciteitsmarkt met de KCB in de aanbodcurve (links) en zonder (rechts)</i>                                                                                                                                                                                                                    | 35  |
| Figuur 3.2 | <i>Elektriciteitsproductie mix 2000-2030 (absoluut)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                               | 38  |
| Figuur 3.3 | <i>Elektriciteitsproductie mix 2000-2030 (relatief)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                               | 38  |
| Figuur 3.4 | <i>Ontwikkeling integrale kosten van verschillende innovatieve elektriciteitsproductietechnologieën en de baseload prijs onder het SE-scenario</i>                                                                                                                                                                                    | 46  |
| Figuur 7.1 | <i>Keuzes in ontmantelingsstrategie</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 91  |
| Figuur 8.1 | <i>De EPR in aanbouw in Finland (artist impression)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                               | 101 |
| Figuur 8.2 | <i>Artist impression van de PBMR-centrale bij de kerncentrale Koeberg. Op de achtergrond de twee operationele drukwaterreactoren.</i>                                                                                                                                                                                                 | 103 |
| Figuur A.1 | <i>Aardgasprijs (commodityprijs, plus transport- en capaciteitstarief) voor elektriciteitscentrales</i>                                                                                                                                                                                                                               | 108 |
| Figuur A.2 | <i>Prijs voor CO<sub>2</sub>-emissierechten</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 109 |
| Figuur A.3 | <i>Ontwikkeling productiecapaciteit</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 114 |
| Figuur A.4 | <i>Ontwikkeling elektriciteitsproductiemix (SE, links; GE, rechts)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                | 114 |
| Figuur A.5 | <i>Importsaldo van elektriciteit</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 115 |
| Figuur A.6 | <i>Importsaldo van elektriciteit, onderverdeeld naar land, GE</i>                                                                                                                                                                                                                                                                     | 116 |
| Figuur A.7 | <i>Importsaldo van elektriciteit, onderverdeeld naar land, SE</i>                                                                                                                                                                                                                                                                     | 116 |
| Figuur A.8 | <i>Elektriciteitsprijzen groothandelsmarkt tot en met 2030, GE- en SE-scenario</i>                                                                                                                                                                                                                                                    | 117 |
| Figuur B.1 | <i>Ontwikkeling interconnectie capaciteit in off-peak periode in SE en GE</i>                                                                                                                                                                                                                                                         | 128 |
| Figuur B.2 | <i>Inzet van centrales</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 130 |
| Figuur B.3 | <i>Voorbeeld van aanbodcurve buitenland met peak en off-peak vraag (gestileerd, Duitsland, jaar 2000)</i>                                                                                                                                                                                                                             | 131 |
| Figuur C.1 | <i>Doorsnede van de EPR met daarin het primaire systeem bestaande uit het reactorvat (1), de stoomgeneratoren (2), de drukhouder (3) en de hoofdkoelmiddelpompen (4). Verder zijn aangegeven het dubbele containment (5, 6), de kernsmeltopvang (7), de regelzaal (8), de noodstroomdieselgebouwen (9) en het turbinegebouw (10).</i> | 140 |
| Figuur C.2 | <i>Doorsnede van de PBMR met links van het midden het reactorvat in grijs</i>                                                                                                                                                                                                                                                         | 143 |
| Figuur E.1 | <i>Principe van het multi-barrière systeem voor een eindberging.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                  | 155 |
| Figuur E.2 | <i>Principe van een eindberging voor hoogactief afval in steenzout</i>                                                                                                                                                                                                                                                                | 156 |
| Figuur E.3 | <i>Rekenvoorbeeld met de kosten van een eindberging in steenzout, met het aandeel van Nederland (gearceerd) daarin en het effect van schaalvoordeel</i>                                                                                                                                                                               | 158 |

## Lijst van afkortingen

|        |                                                                                                                                                |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ABWR   | Advanced Boiling Water Reactor                                                                                                                 |
| ALARA  | As Low As Reasonably Achievable: zo laag als redelijkerwijs mogelijk.                                                                          |
| AMPERE | Belgische commissie voor de 'Analyse van de Middelen voor Productie van Elektriciteit en de Reëvaluatie van de Energievectoren'                |
| ASN    | L'Autorité de Sûreté Nucléaire, instantie die namens Franse overheid toeziet op nucleaire veiligheid en stralingshygiëne                       |
| Bq     | Becquerel                                                                                                                                      |
| BWR    | Boiling Water Reactor                                                                                                                          |
| CDM    | Clean Development Mechanism                                                                                                                    |
| CFR    | Code of Federal Regulations, regelgeving in de VS                                                                                              |
| CORA   | Commissie Opberging Radioactief Afval                                                                                                          |
| COVRA  | Centrale Organisatie voor Radioactief Afval                                                                                                    |
| CPB    | Centraal PlanBureau                                                                                                                            |
| CPI    | Consument Prijs Index                                                                                                                          |
| E      | Energie (vaak uitgedrukt in eenheid MWh of GWd)                                                                                                |
| ECN    | Energieonderzoekscentrum Nederland                                                                                                             |
| EIA    | Energie Investeringsaftrek                                                                                                                     |
| EPR    | European Pressurized (light water) Reactor, een modern type kernreactor                                                                        |
| EPZ    | N.V. Elektriciteits-Productiemaatschappij Zuid-Nederland (exploitant van de kerncentrale Borssele)                                             |
| ESBWR  | Economic Simplified Boiling Water Reactor                                                                                                      |
| ETS    | Emission Trading System, Europees handelssysteem voor CO <sub>2</sub> -emissies                                                                |
| EU     | Europese Unie                                                                                                                                  |
| GBq    | Gigabecquerel, 10 <sup>9</sup> Bq (1000 miljoen Bq)                                                                                            |
| GE     | Global Economy, een van de twee gehanteerde toekomstscenario's. GE heeft een hoge economische groei, en geen post-Kyoto klimaatbeleid.         |
| GMHTR  | Gas cooled Modulair High Temperature Reactor                                                                                                   |
| GWa    | Gigawatt.jaar (a = annum), een eenheid van (geleverde) energie. Een GWa is een miljard Watt.jaar, hetgeen ongeveer gelijk is aan 9 miljard kWh |
| GWd    | Gigawatt-dag, een eenheid van (geleverde) energie. Een GWd is een miljard Watt.dag, hetgeen ongeveer gelijk is aan 24 miljoen kWh              |
| HABOG  | Hoog radioactief Afval Behandelings- en OpslagGebouw                                                                                           |
| HDO    | sector Handel, Diensten en Overheid                                                                                                            |
| HEU    | High Enriched Uranium                                                                                                                          |
| HTR-PM | High Temperature Reactor Pebble-bed Module                                                                                                     |
| HTTR   | High Temperature Engineering Test Reactor                                                                                                      |
| IAEA   | International Atomic Energy Agency, het atoomagentschap van de Verenigde Naties                                                                |
| ICRP   | International Commission on Radiological Protection                                                                                            |
| JI     | Joint Implementation                                                                                                                           |
| KCB    | Kerncentrale Borssele                                                                                                                          |
| KSA    | Kern Splitsings Afval, dit is warmteproducerend afval uit opwerking van gebruikte splijtstof                                                   |

|         |                                                                                                                                                                                                                       |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| KV-STEG | Kolenvergassing met geïntegreerde stoom- en gasturbine                                                                                                                                                                |
| kWh     | kiloWatt.uur, een eenheid van (geleverde) energie                                                                                                                                                                     |
| mensSv  | Mens . sievert, maat voor collectieve dosis                                                                                                                                                                           |
| MEP     | Subsidieregeling Milieukwaliteit Elektriciteitsproductie                                                                                                                                                              |
| MER     | Milieu-effect rapportage                                                                                                                                                                                              |
| microSv | micro sievert, één miljoenste sievert ( $1 \cdot 10^{-6}$ Sv)                                                                                                                                                         |
| MNA     | Multilateral Nuclear Approach, ook wel vertaald met 'Multinational Nuclear Approach'                                                                                                                                  |
| MNP     | Milieu en Natuur Planbureau                                                                                                                                                                                           |
| MOX     | Mixed oxide fuel, aanduiding voor splijtstof bestaande uit oxiden van uranium en plutonium                                                                                                                            |
| NEA     | Nuclear Energy Agency (onderdeel OECD)                                                                                                                                                                                |
| NEC     | National Emission Ceiling                                                                                                                                                                                             |
| NORM    | Naturally Occurring Radioactive Material. Voorbeelden zijn K-40, uranium en thorium in steenkool.                                                                                                                     |
| MJ      | megajoule = $10^6$ Joule (eenheid voor energie)                                                                                                                                                                       |
| MWh     | MegaWatt.uur, een eenheid van (geleverde) energie. Een MWh is $10^6$ Watt.uur en dus $10^3$ kiloWatt.uur (kWh), dus 1000 kWh                                                                                          |
| NPT     | Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, ook genoemd Non Proliferation Treaty                                                                                                                              |
| NRG     | Nuclear Research and consultancy Group                                                                                                                                                                                |
| OECD    | Organisation for Economic Co-operation and Development, in het Nederlands de OESO genaamd                                                                                                                             |
| OSPAR   | The Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (the 'OSPAR Convention'), ter tekening voorgelegd in 1992 na bijeenkomst van de 'Oslo and Paris Commissions'                   |
| P&T     | Partitioning and Transmutation                                                                                                                                                                                        |
| PBMR    | Pebble Bed Modular Reactor                                                                                                                                                                                            |
| PJ      | petajoule = $10^{15}$ Joule (eenheid voor energie)                                                                                                                                                                    |
| POWERS  | Model voor de Nederlandse elektriciteitsmarkt en elektriciteitsproductie (ECN)                                                                                                                                        |
| PSA     | Probabilistic Safety Assesment                                                                                                                                                                                        |
| PSI     | Proliferation Security Initiative                                                                                                                                                                                     |
| PWR     | Pressurized Water Reactor                                                                                                                                                                                             |
| RDD     | Radioactive Dispersion Device ('dirty bomb')                                                                                                                                                                          |
| Re      | Radiotoxiciteitsequivalent (Bq), een maat voor de giftigheid van een radioactieve stof bij inademing of inslikken. Inademen of inslikken van 1 Re van een radioactieve stof heeft een dosis van 1 sievert tot gevolg. |
| REPU    | Reprocessed uranium, ook wel geschreven als RepU; uranium teruggewonnen uit opwerking                                                                                                                                 |
| RR      | Referentieramingen energie en emissies 2005-2020, studie ECN en MNP                                                                                                                                                   |
| SE      | Strong Europe scenario, een van de twee gehanteerde toekomstscenario's. SE heeft een gematigde economische groei, en een stringent post-Kyoto klimaatbeleid                                                           |
| STEG    | Centrale met een geïntegreerde stoom- en gasturbine                                                                                                                                                                   |
| Sv      | Sievert, eenheid van stralingsdosis                                                                                                                                                                                   |
| TBq     | Terabecquerel, $10^{12}$ Bq ( $1 \text{ miljoen} \times 1 \text{ miljoen Bq}$ )                                                                                                                                       |
| TK      | Tweede Kamer                                                                                                                                                                                                          |

|         |                                                                                                                                  |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TRU     | Transuranen, alfa straling uitzendende stoffen zoals isotopen van plutonium, americium en curium                                 |
| TWh     | TeraWatt.uur, een eenheid van (geleverde) energie. Een TWh is $10^{12}$ Watt.uur en dus $10^9$ kiloWatt.uur, dus een miljard kWh |
| UF6     | Uraniumhexafluoride                                                                                                              |
| UN      | United Nations (Verenigde Naties)                                                                                                |
| UNSCEAR | United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation                                                           |
| UNSCR   | United Nations Security Council Resolution                                                                                       |
| URL     | Underground Research Laboratory                                                                                                  |
| US      | United States (of America)                                                                                                       |
| US NRC  | US Nuclear Regulatory Commission (kortweg: NRC), toezichhoudende instantie betreffende nucleaire veiligheid in de US             |
| USA     | United States of America                                                                                                         |
| VN      | Verenigde Naties                                                                                                                 |
| VS      | Verenigde Staten (van Amerika)                                                                                                   |
| WANO    | World Association of Nuclear Operators, internationale organisatie van bedrijvers van kerncentrales                              |
| WKK     | Warmtekrachtkoppeling                                                                                                            |
| WMD     | Weapons of Mass Destruction                                                                                                      |

## Samenvatting

In het hoofdlijnenakkoord van het kabinet Balkenende II is door de coalitiepartijen afgesproken de kerncentrale Borssele (KCB) te sluiten wanneer de kerncentrale aan het eind van 2013 de oorspronkelijke ontwerplevensduur van 40 jaar heeft bereikt. Uit onderzoek is gebleken dat bij gedwongen sluiting de overheid rekening moet houden met een schadeclaim van de exploitant van de kerncentrale Borssele die in de orde kan liggen van enkele honderden miljoenen tot een miljard euro.

De Staatssecretaris van VROM heeft bij brief van 29 april 2005 aan de Tweede Kamer laten weten de mogelijkheid te willen verkennen van een overeenkomst met de eigenaren van de kerncentrale Borssele over enerzijds een andere sluitingstermijn voor de kerncentrale en anderzijds een pakket aan extra inspanningen voor een duurzame energiehuishouding (duurzaamheidpakket). Gedacht wordt aan sluiting in 2033. Het duurzaamheidpakket heeft een vermoedelijke omvang van 500 miljoen euro, voor de helft afkomstig van de overheid en de andere helft van de eigenaren van de kerncentrale. De overeenkomst over de sluitingstermijn en het duurzaamheidpakket vormt aldus een alternatief voor gedwongen sluiting van de kerncentrale Borssele.

Naast de verwachte positieve effecten van het duurzaamheidpakket voor een duurzame energiehuishouding zal voortzetting van de bedrijfsvoering van de kerncentrale Borssele ook consequenties hebben voor onder meer de elektriciteitsvoorziening en het milieu. Ten behoeve van een goede besluitvorming heeft de Staatssecretaris van VROM in dezelfde brief aan de Tweede Kamer toegezegd een nadere analyse te laten uitvoeren van de consequenties van sluiten per ultimo 2013 dan wel openhouden van de kerncentrale. De nadere analyse heeft ook betrekking op effecten ten aanzien van nucleaire aspecten (veiligheid, radioactief afval, non-proliferatie en beveiliging). ECN en NRG hebben opdracht gekregen voor het uitvoeren van de nadere analyse. Op verzoek van het Ministerie van VROM wordt in de analyse tevens ingegaan op enkele nucleaire aspecten die geen directe relatie hebben met de gevolgen van het sluiten dan wel openhouden van de kerncentrale, maar die van belang kunnen zijn voor een zorgvuldige besluitvorming zoals de problematiek rond veroudering en levensduur van kerncentrales, ontmanteling en internationale ontwikkelingen met betrekking tot kernenergie.

Voor dit onderzoek is door het Ministerie van VROM een begeleidingscommissie ingesteld. Opmerkingen en suggesties van de begeleidingscommissie zijn in deze rapportage verwerkt. ECN en NRG blijven evenwel eindverantwoordelijk voor het rapport.

### *Veiligheidsaspecten bij voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB*

Veiligheidstechnisch gezien zijn er geen belemmeringen voor voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB na 2013. Het uitgangspunt bij het ontwerp van de KCB was een bedrijfsduur van 40 jaar. Inmiddels is de KCB 32 jaar in bedrijf (sinds 1973). Het bereiken van deze leeftijd heeft als zodanig geen consequenties voor het veiligheidsniveau van de centrale. Bepalend is de veiligheidstechnische conditie van de installatie. Deze conditie wordt in standgehouden door de installatie te onderhouden volgens een onderhoudsprogramma dat in overeenstemming is met internationale aanbevelingen en nationale regelgeving. In dit onderhoudsprogramma is er bijzondere aandacht voor het geleidelijk degraderen van de componenten als gevolg van veroudering, het zogenoemde verouderingsbeheer. Bij de KCB wordt dit beheer uitgevoerd overeenkomstig de richtlijnen van de IAEA. Het beheer houdt in dat de integriteit en functionaliteit van systemen, structuren en componenten door middel van een systematisch beheersproces worden zeker gesteld. Dit beheersproces omvat het minimaliseren van veroudering door tijdig onderhoud en vervangen van onderdelen. Voor de KCB geldt dat alle systemen en componenten in principe vervangbaar zijn. Inmiddels uitgevoerde studies geven aan dat ook vervanging van het

reactorvat van de KCB mogelijk is. Praktisch gezien wordt ervan uitgegaan dat het reactorvat niet vervangen zal worden.

In 2003 heeft de IAEA in opdracht van de Nederlandse overheid een audit bij de KCB gehouden om de veroudering van de centrale en het verouderingsbeheer te beoordelen. De resultaten waren gunstig: de installatie is in goede conditie en het verouderingsbeheer voldoet aan de eisen en functioneert goed. Het reactorvat van de KCB blijkt aanmerkelijk minder verouderd te zijn dan waar destijds bij het ontwerp van werd uitgegaan. Dit komt voornamelijk doordat het vat minder zwaar is belast in vergelijking met de oorspronkelijke aannames. Het materiaal van het reactorvat wordt veel minder snel bros vanwege een gunstige materiaalkeuze en een lagere stralingsbelasting van de reactorvatwand.

Er is geen reden om aan te nemen dat de technische veiligheid voor de bedrijfsduur na 2013 een beletsel zal vormen. Dit zal echter aangetoond dienen te worden in de volgende 10-jaarlijkse veiligheidsevaluatie. Bij deze volgende veiligheidsevaluatie zal met name de mogelijke veroudering van de installatie een belangrijk aspect zijn.

#### *Gehanteerde methode voor het bepalen van de gevolgen*

De gevolgen van sluiting of voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB zijn beschouwd voor een tweetal systemen: het energiesysteem (voornamelijk het elektriciteitsysteem) en het ecologisch systeem. Voor het beoordelen van de gevolgen is voor elk systeem een aantal aspecten onderzocht:

- *Energiesysteem:* elektriciteitsprijs, kosten elektriciteitsproductie, brandstofmix, importsaldo en leverings- en voorzieningszekerheid.
- *Ecologisch systeem:* emissies naar de lucht (incl. emissiehandel), lozing naar water, blootstelling aan straling, volksgezondheid, afval en gebruik van grondstoffen.

Daarnaast zijn nog enkele andere aspecten beschouwd: veiligheid, non-proliferatie, ruimtelijke ordening en werkgelegenheid.

Nederland is als geografische afbakening gekozen voor het energiesysteem en het ecologisch systeem. Dit houdt in dat de beschouwde milieueffecten betrekking hebben op Nederland en de gevolgen voor het energiesysteem in beeld worden gebracht in zoverre de energieketen zich in Nederland bevindt. Waar dat bij bepaalde aspecten relevant is, is een ruimere geografische afbakening gekozen (bijvoorbeeld bij het Europese handelssysteem voor CO<sub>2</sub>-emissierechten) of is een groter deel van de energieketen beschouwd (bijvoorbeeld ten aanzien van de brandstofcyclus van de kerncentrale). In een enkel geval is het lokale effect aangegeven wanneer dat relevant is.

Er is geen integrale beoordeling gemaakt van de gevolgen, zoals dat bij een maatschappelijke kosten-baten-analyse gebruikelijk is. Daarbij worden alle positieve en negatieve gevolgen zodanig geordend dat de balans tussen voor- en nadelen op overzichtelijke en consistente wijze kan worden opgemaakt en de welvaartseffecten eenduidig in beeld kunnen worden gebracht. De weging van elk van de in deze studie onderzochte aspecten ten opzichte van elkaar is onderwerp van maatschappelijke en politieke discussie. Daarom is hier afgezien van welke vorm van weging dan ook.

De beoordeelde aspecten zijn niet altijd onafhankelijk van elkaar en gevolgen kunnen voor sommige aspecten doorwerken bij andere aspecten. De brandstofmix waarmee in Nederland elektriciteit wordt opgewekt geeft bijvoorbeeld inzicht in de milieukwaliteit van de elektriciteitsproductie voor afnemers, informeert over de mate van brandstofdiversificatie en is bepalend voor de kosten van de elektriciteitsproductie. De brandstofdiversificatie is weer gerelateerd aan leverings- en voorzieningszekerheid. Emissies naar de lucht en blootstelling aan straling hebben gevolgen voor de volksgezondheid.

Bij het onderzoek naar de gevolgen is er voor gekozen de situatie waarbij de bedrijfsvoering van de KCB wordt voortgezet te beoordelen ten opzichte van de situatie waarbij de kerncentrale in 2013 sluit. Het oorspronkelijke voornemen, sluiting van de KCB, vormt dus de referentiesituatie. De gevolgen van voortzetting van de bedrijfsvoering worden duidelijk wanneer voor elk van de beoordelingsaspecten een vergelijking met de referentiesituatie wordt gemaakt.

#### *Toekomstscenario's Nederlandse elektriciteitsvoorziening*

De Nederlandse elektriciteitsmarkt kan zich in de periode na 2013 verschillend ontwikkelen. In het onderzoek zijn daarom twee opgestelde toekomstscenario's voor de elektriciteitsvoorziening gebruikt die in 2004 door ECN en MNP ten behoeve van beleidsanalyses waren opgesteld en begin 2005 zijn gepubliceerd. De twee scenario's worden aangeduid met 'Strong Europe' (SE) en 'Global Economy' (GE). Het belangrijkste verschil tussen deze twee scenario's is dat er in het SE scenario op lange termijn een stringent internationaal klimaatbeleid wordt gevoerd, leidend tot een hoge prijs voor CO<sub>2</sub> emissierechten, terwijl in het GE scenario het klimaatbeleid op termijn (na 2020) verdwijnt. In het GE scenario verdwijnt bovendien na 2020 het duurzame energiebeleid (MEP-regeling). Voor beide scenario's is verder uitgegaan van het geïmplementeerde energie- en milieubeleid van 2004 en is geen nieuw beleid verondersteld.

De werkelijkheid heeft zich op sommige punten inmiddels al anders ontwikkeld dan in de scenario's wordt geschetst en zal zich ook in de toekomst vermoedelijk anders ontwikkelen dan in de scenario's wordt verondersteld. Voor de analyse is dat van minder belang. Het gaat immers om een vergelijking van de gevolgen van openhouden of sluiten van de KCB in twee verschillende toekomstscenario's en niet om raming van de absolute gevolgen.

#### *Investerings in nieuw productievermogen*

Elektriciteitsproducenten houden bij hun investeringsbeslissingen rekening met de beschikbare informatie over de sluiting dan wel open houden van de KCB wanneer dat tijdig bekend wordt. Wanneer de exploitatie van de KCB eind 2013 wordt voortgezet zal in Nederland meer basislast capaciteit beschikbaar zijn. Dit zal in principe leiden tot uitstel van beslissingen voor het realiseren van een deel van het nieuwe productievermogen. In het SE scenario zullen bij voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB investeringen in nieuw gasgestookt vermogen worden uitgesteld. In het GE scenario zal pas later in nieuwe poederkooleenheden worden geïnvesteerd.

#### *Andere mogelijkheden*

In principe kan in de referentiesituatie de afname van het productievermogen door sluiting van de KCB ook worden opgevangen met een extra reductie van de elektriciteitsvraag (energiebesparing) of door extra elektriciteitsproductie uit duurzame bronnen. Deze alternatieven komen niet tot stand zonder extra beleid.

Extra energiebesparing van 4 TWh per jaar, gelijk aan de productie van de KCB en te bereiken in 2013, beïnvloedt onder meer de brandstofmix en de daaraan gekoppelde emissies doordat minder fossiele brandstoffen behoeven te worden ingezet voor de elektriciteitsproductie. Een zelfde effect mag verwacht worden bij extra elektriciteitsproductie uit duurzame bronnen. De kosten van extra elektriciteitsproductie uit duurzame bronnen zijn ca. 3 tot 5 maal zo groot als de kosten van productie door de KCB, indien wordt uitgegaan van windenergie op zee of van biomassa meestook in kolencentrales.

Ook bij deze nieuwe referentiesituatie kan sprake zijn van voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB of sluiting. Sluiting blijft invloed houden op de investeringsbeslissingen van elektriciteitsproducenten al zullen nieuwe centrales, vanwege de lagere elektriciteitsvraag, pas op een later tijdstip nodig zijn. Dit is in deze studie niet verder onderzocht.

Wanneer sluiting van de KCB wordt afgedwongen door de overheid, is het niet plausibel dat de vermogensreductie wordt opgevangen door een nieuw te bouwen kerncentrale. In die situatie zal het investeringsklimaat voor kerncentrales door marktpartijen waarschijnlijk als ongunstig worden beschouwd, ook als de wetgeving vestiging van nieuwe kerncentrales toestaat.

### *Gevolgen elektriciteitsvoorziening*

Tabel S1 toont de gevolgen van voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB voor de elektriciteitsvoorziening. De verwachte veranderingen worden aangegeven ten opzichte van de situatie waarbij de kerncentrale eind 2013 wordt gesloten voor beide toekomstscenario's. Voor de veranderingen die kwantitatief zijn uitgedrukt wordt in Tabel S1 ook informatie gegeven waarmee het beschreven effect kan worden vergeleken.

De gevolgen van voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB voor de elektriciteitsvoorziening kunnen als volgt worden toegelicht:

- *Elektriciteitsprijs en importsaldo:* voortzetting of beëindiging van de exploitatie van de KCB heeft in beide toekomstscenario's geen significant effect op de elektriciteitsprijzen in de groothandelsmarkt. De kostprijs van de marginale centrale waarmee de elektriciteitsvraag wordt gedekt wordt niet significant beïnvloed. Omdat elektriciteitsprijzen zich niet wijzigen is er ook geen effect op het importsaldo. Bij onveranderde prijzen zullen er ook geen wijzigingen optreden bij bedrijfseconomische analyses die producenten maken bij keuzes tussen verschillende elektriciteitsproductietechnologieën.
- *Kosten elektriciteitsproductie:* in geval van voortzetting van de exploitatie van de KCB ligt de kostprijs voor het produceren van deze elektriciteit - gegeven de gekozen uitgangspunten - in beide scenario's op ongeveer de helft van de kostprijs die geldt voor productievermogen dat, bij sluiting, de KCB vervangt. De 4 TWh per jaar goedkoper geproduceerde elektriciteit leidt tot een welvaartsvoordeel voor Nederland.
- *Brandstofmix:* voortzetting van de exploitatie van de KCB heeft een effect op de brandstofmix van de binnenlandse elektriciteitsproductie. Ten opzichte van sluiting van de KCB zal in het SE scenario voornamelijk minder gasgestookt vermogen worden ingezet, terwijl in het GE scenario minder kolen worden ingezet. Doordat verondersteld is dat biomassa inzet gekoppeld is aan de koleninzet, zal ook het aandeel duurzame elektriciteitsproductie dalen.
- *Leverings- en voorzieningszekerheid:* door een tijdige besluitvorming over de KCB zal er geen effect ontstaan voor de leveringszekerheid van de elektriciteitsproductie. De elektriciteitsmarkt krijgt dan voldoende tijd om bij het maken van plannen voor nieuw productievermogen hiermee rekening te houden. Bij sluiting van de KCB zal de elektriciteitsproductie worden gesubstitueerd door kolen of gas. Hierdoor vermindert de brandstofdiversificatie van de elektriciteitsproductie. Wanneer de KCB na 2013 in bedrijf blijft zal in het SE-scenario vooral minder aardgas worden ingezet, circa 1,5% van de totale hoeveelheid aardgas die in het SE-scenario in 2020 wordt gebruikt.

### *Milieueffecten*

De gevolgen van voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB voor het milieu worden getoond in Tabel S2. De verwachte veranderingen voor beide toekomstscenario's worden in deze tabel aangegeven ten opzichte van de situatie waarbij de kerncentrale eind 2013 wordt gesloten. Voor de veranderingen die kwantitatief zijn uitgedrukt wordt in Tabel S2 informatie gegeven waarmee het beschreven effect in relatieve zin kan worden vergeleken.



Tabel S.1 *Gevolgen voor de elektriciteitsvoorziening van voortzetting van de exploitatie van de kerncentrale Borssele ten opzichte van de situatie van sluiting in 2013*

| Beoordelingsaspect                             | SE-scenario                                                                                                                                                           |                                                                                                         | GE-scenario                                                                                                                                                        |                                                                                                          |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                | Verandering                                                                                                                                                           | Ten opzichte van                                                                                        | Verandering                                                                                                                                                        | Ten opzichte van                                                                                         |
| <i>Elektriciteitsprijs (groothandelsmarkt)</i> | Geen significant effect                                                                                                                                               | Gemiddeld 57 €/MWh voor periode 2014-2030                                                               | Geen significant effect                                                                                                                                            | Gemiddeld 46 €/MWh voor periode 2014-2030                                                                |
| <i>Kosten elektriciteitsproductie</i>          | Integrale kostprijs elektriciteit KCB is ongeveer de helft van die van een gasgestookte centrale. De productie van de KCB betreft 4 TWh per jaar.                     |                                                                                                         | Integrale kostprijs elektriciteit KCB is ongeveer de helft van die van een poederkoolcentrale. De productie van de KCB betreft 4 TWh per jaar.                     |                                                                                                          |
| <i>Brandstofmix</i>                            | Voor elektriciteitsproductie in 2015-2030:<br>- Gemiddeld 23 PJ/jaar aardgas minder<br>- Gemiddeld 2 PJ/jaar kolen minder<br>- Gemiddeld 0,5 PJ/jaar biomassa minder  |                                                                                                         | Voor elektriciteitsproductie in 2015-2030:<br>- Gemiddeld 2 PJ/jaar aardgas meer<br>- Gemiddeld 32 PJ/jaar kolen minder<br>- Gemiddeld 3,5 PJ/jaar biomassa minder |                                                                                                          |
|                                                |                                                                                                                                                                       | Voor elektriciteitsproductie in 2020:<br>- 187 PJ kolen<br>- 640 PJ gas (excl. WKK)<br>- 76 PJ biomassa |                                                                                                                                                                    | Voor elektriciteitsproductie in 2020:<br>- 341 PJ kolen<br>- 544 PJ gas (excl. WKK)<br>- 115 PJ biomassa |
| <i>Importsaldo</i>                             | Geen significant effect                                                                                                                                               | 3,2 TWh in 2020                                                                                         | Geen significant effect                                                                                                                                            | 7,2 TWh in 2020                                                                                          |
| <i>Leverings- en voorzieningszekerheid</i>     | - Geen effect op leveringszekerheid elektriciteit, mits besluitvorming KCB tijdig bekend is.<br>- Gunstig voor brandstofdiversificatie<br>- Gunstig voor gasvoorraden |                                                                                                         | - Geen effect op leveringszekerheid elektriciteit, mits besluitvorming KCB tijdig bekend is.<br>- Gunstig voor brandstofdiversificatie                             |                                                                                                          |
|                                                |                                                                                                                                                                       | In 2020 is het binnenlands gasverbruik 1546 PJ, oftewel 49 miljard kubieke meter.                       |                                                                                                                                                                    | In 2020 is het binnenlands gasverbruik 1542 PJ, oftewel 49 miljard kubieke meter.                        |

Bij voortzetting van de exploitatie van de KCB mogen de volgende milieueffecten worden verwacht:

- *Emissies naar de lucht:* voortzetting van de exploitatie van de KCB leidt in beide toekomstscenario's tot een reductie van de emissies naar de lucht van CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en fijn stof. In het GE scenario zijn de emissiereducties zowel absoluut als relatief groter dan in het SE scenario. Dit komt omdat in het GE scenario wordt uitgegaan van vervangend kolenvermogen bij sluiting van de KCB. Dat kolenvermogen is in het algemeen meer milieubelastend dan het gasgestookt productievermogen waarvan in het SE scenario wordt uitgegaan. Binnen het Europese handelssysteem voor CO<sub>2</sub> emissierechten ontstaat bij voortzetting van de exploitatie van de KCB meer ruimte voor het emitteren van CO<sub>2</sub>. De door de KCB geproduceerde elektriciteit substitueert elektriciteit die anders met een kolen- of gascentrale zou zijn geproduceerd. De CO<sub>2</sub>-emissierechten die daarvoor nodig zijn worden nu niet aangewend voor Nederlandse elektriciteitsproductie, maar kunnen worden gebruikt voor CO<sub>2</sub>-emissies van andere installaties die deelnemen aan het handelssysteem. Op Europese schaal is er dan ook geen sprake van een feitelijke CO<sub>2</sub>-emissiereductie. Het beschikbaar komen van CO<sub>2</sub>-emissierechten kan wel leiden tot een (geringe) verlaging van de prijs van deze rechten. Omdat de prijs van emissierechten doorwerkt in de prijs van elektriciteit profiteren afnemers van de lagere elektriciteitsprijs. Dit prijseffect is waarschijnlijk zeer gering. Vanwege lagere CO<sub>2</sub>-emissies zullen Nederlandse elektriciteitsproducenten minder kosten hebben voor het verwerven van emissierechten. Wanneer het handelssysteem voor NO<sub>x</sub> na 2010 wordt voortgezet, dan zal de afname van de NO<sub>x</sub>-emissies bij de elektriciteitsproductie, als gevolg van de voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB, resulteren in een verlaging van de nationale NO<sub>x</sub> emissies.
- *Radioactiviteit:* onderscheid kan worden gemaakt tussen lokale effecten en effecten op nationaal niveau. Externe straling, dat wil zeggen straling nabij het hek van de kerncentrale, is lokaal het belangrijkste. Externe straling is ook aanwezig bij het hek van een kolen- of gascentrale. De dosisbelasting bij een kolencentrale is 0,4 microsievert per jaar en is groter dan die bij de KCB (0,1 microsievert per jaar). De jaarlijkse dosis als gevolg van blootstelling aan een gasgestookte centrale is kleiner dan 0,1 microsievert, omdat geen vaste verbrandingsproducten met radioactieve stoffen achterblijven zoals bij een kolencentrale. De hier genoemde dosisbelasting nabij het hek is gering ten opzichte van de dosisbelasting van gemiddeld 270 microsievert per jaar door de van nature aanwezige externe straling. Op nationaal niveau kan de blootstelling aan vrijgekomen radioactieve stoffen worden uitgedrukt in termen van radiotoxiteitsequivalenten (Re). In beide toekomstscenario's zal voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB na 2013 leiden tot een verminderde inzet van fossiele brandstoffen voor de Nederlandse elektriciteitsproductie en daarmee een geringere uitstoot van radioactieve stoffen in de atmosfeer. Bij voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB bedraagt de jaarlijkse emissie van radioactieve stoffen 270 Re. In het SE scenario zijn de jaarlijkse emissies door extra inzet van gascentrales 520 Re en in het GE scenario door extra inzet van kolencentrales 7300 Re. De emissies van radioactieve stoffen in de lucht leiden tot een maximale stralingdosis die een factor 10 tot 100 lager is dan die van de hierboven genoemde externe straling. De lozing van radioactieve stoffen in water leidt tot een maximale dosis van minder dan 0,002 microsievert per jaar. Bij fossiel gestookte centrales worden geen radioactieve stoffen op het oppervlaktewater geloosd.

Tabel S.2 Milieu-effecten bij voorzetting van de exploitatie van de kerncentrale Borssele ten opzichte van de situatie van sluiting in 2013

| Beoordelingsaspect                  | SE-scenario                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                   | GE-scenario                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                     | Verandering                                                                                                                                                                                                                                                              | Ten opzichte van                                                                                                                                                                                                                                                  | Verandering                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Ten opzichte van                                                                                                                                                                                                                          |
| <i>Emissies naar de lucht</i>       |                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                           |
| - Kooldioxide (CO <sub>2</sub> )    | Gemiddeld 1,5 Mton per jaar lager                                                                                                                                                                                                                                        | 187,4 Mton in 2020 voor Nederland                                                                                                                                                                                                                                 | Gemiddeld 2,9 Mton per jaar lager                                                                                                                                                                                                                                                                             | 205,3 Mton in 2020 voor Nederland                                                                                                                                                                                                         |
| - Zwaveldioxide (SO <sub>2</sub> )  | Gemiddeld 0,1 kton per jaar lager                                                                                                                                                                                                                                        | 64 kton in 2020 voor Nederland                                                                                                                                                                                                                                    | Gemiddeld 1,1 kton per jaar lager                                                                                                                                                                                                                                                                             | 80 kton in 2020 voor Nederland                                                                                                                                                                                                            |
| - Stikstofoxiden (NO <sub>x</sub> ) | Gemiddeld 1,0 kton per jaar lager                                                                                                                                                                                                                                        | 262 kton in 2020 voor Nederland                                                                                                                                                                                                                                   | Gemiddeld 1,3 kton per jaar lager                                                                                                                                                                                                                                                                             | 272 kton in 2020 voor Nederland                                                                                                                                                                                                           |
| - Fijn stof (PM <sub>10</sub> )     | Minder fijn stof (<0,01 kton/jaar)                                                                                                                                                                                                                                       | 41 kton in 2020 voor Nederland                                                                                                                                                                                                                                    | Minder fijn stof (<0,1 kton/jaar)                                                                                                                                                                                                                                                                             | 47 kton in 2020 voor Nederland                                                                                                                                                                                                            |
| <i>Emissiehandel</i>                |                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                           |
| - Kooldioxide (CO <sub>2</sub> )    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Geen effect op Europese CO<sub>2</sub>-emissies</li> <li>- Mogelijk zeer beperkt effect op CO<sub>2</sub>-prijs</li> <li>- Lagere kosten Nederlandse elektriciteitsproducenten (ca. 17 tot 77 miljoen euro per jaar)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plafond emissiehandel in eerste handelsperiode (2005-2007): 2,2 Gton/jaar voor Europa en 95 Mton/jaar voor Nederland</li> <li>- CO<sub>2</sub>-prijs: 11 €/ton tot 2020, daarna oplopend tot 58 €/ton in 2030</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Geen effect op Europese CO<sub>2</sub>-emissies</li> <li>- Mogelijk zeer beperkt effect op CO<sub>2</sub>-prijs tot 2020</li> <li>- Tot 2020 lagere kosten Nederlandse elektriciteitsproducenten (ca. 28 miljoen euro per jaar), daarna geen kosteneffect</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plafond emissiehandel in eerste handelsperiode (2005-2007): 2,2 Gton/jaar voor Europa en 95 Mton/jaar voor Nederland</li> <li>- CO<sub>2</sub>-prijs: 11 €/ton tot 2020, daarna nihil</li> </ul> |
| - Stikstofoxiden (NO <sub>x</sub> ) | - Zorgt voor verlaging van de emissies                                                                                                                                                                                                                                   | - Prestatienorm voor 2010: 40 g/GJ                                                                                                                                                                                                                                | - Zorgt voor verlaging van de emissies                                                                                                                                                                                                                                                                        | - Prestatienorm voor 2010: 40 g/GJ                                                                                                                                                                                                        |
| <i>Radioactiviteit</i>              |                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                           |
| - Lokaal                            | Externe straling: geringe toename van de dosis door externe bestraling; 0,1 microsievert/jaar nabij het hek van de KCB                                                                                                                                                   | Gemiddeld wordt op elke willekeurige locatie in Nederland als gevolg van blootstelling aan externe straling van natuurlijke oorsprong een dosis van ongeveer 270 microsievert per jaar ontvangen                                                                  | Externe straling: geringe afname van de dosis met 0,3 microsievert/jaar door het vermijden van een extra 0,4 microsievert/jaar door straling van een kolencentrale                                                                                                                                            | Gemiddeld wordt op elke willekeurige locatie in Nederland als gevolg van blootstelling aan externe straling van natuurlijke oorsprong een dosis van ongeveer 270 microsievert per jaar ontvangen                                          |

| Beoordelingsaspect                                    | SE-scenario                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                      | GE-scenario                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                       | Verandering                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Ten opzichte van                                                                                                     | Verandering                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Ten opzichte van                                                                                                     |
| - Nationaal                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissies in lucht: Gemiddeld ca. 250 - 77.000 Re* per jaar lager</li> <li>- Lozingen in water: geringe toename jaarlijkse lozing van radioactieve stoffen in water bij de KCB</li> </ul>                                                                                           | Nederland door fossiel gestookte centrales                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissies in lucht: Gemiddeld ca. 7000 Re* per jaar lager</li> <li>- Lozingen in water: geringe toename jaarlijkse lozing van radioactieve stoffen in water bij de KCB</li> </ul>                                                                                                   | Nederland door fossiel gestookte centrales                                                                           |
| <i>Volksgezondheid</i>                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                      |
| - Radioactiviteit                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokaal: per saldo geringe toename nadelige effecten door externe straling</li> <li>- Nationaal: geringe afname nadelige effecten door lagere blootstelling aan geëmitteerde radioactieve stoffen</li> </ul>                                                                        | Ontvangen dosis als gevolg van nature aanwezige radioactiviteit ligt 1000 tot 100.000 keer hoger dan de verandering. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokaal: per saldo geringe afname nadelige effecten door externe straling</li> <li>- Nationaal: geringe afname nadelige effecten door lagere blootstelling van geëmitteerde radioactieve stoffen</li> </ul>                                                                         | Ontvangen dosis als gevolg van nature aanwezige radioactiviteit ligt 1000 tot 100.000 keer hoger dan de verandering. |
| - NO <sub>x</sub> , fijn stof en radioactieve stoffen | Afname van de nadelige gezondheidseffecten                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                      | Afname van de nadelige gezondheidseffecten                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                      |
| <i>Nucleair afval</i>                                 | Extra afval tijdens bedrijf KCB per jaar op te slaan bij COVRA: <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1,3 m<sup>3</sup> warmteproducerend hoogactief afval</li> <li>- maximaal 2,5 m<sup>3</sup> niet-warmteproducerend hoogactief afval</li> <li>- 30 a 40 m<sup>3</sup> middel- tot licht radioactief afval</li> </ul> |                                                                                                                      | Extra afval tijdens bedrijf KCB per jaar op te slaan bij COVRA: <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1,3 m<sup>3</sup> warmteproducerend hoogactief afval</li> <li>- Maximaal 2,5 m<sup>3</sup> niet-warmteproducerend hoogactief afval</li> <li>- 30 a 40 m<sup>3</sup> middel- tot licht radioactief afval</li> </ul> |                                                                                                                      |

\* Re: radiotoxiteitsequivalent, een grootheid die de geëmitteerde, c.q. de geloosde hoeveelheid radioactieve stoffen aangeeft, rekening houdend met de stralingsdosis die bij blootstelling aan deze stoffen wordt ontvangen

| Beoordelingsaspect          | SE-scenario                                                            |                                                                 | GE-scenario                                                  |                                                                 |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|                             | Verandering                                                            | Ten opzichte van                                                | Verandering                                                  | Ten opzichte van                                                |
| <i>Gebruik grondstoffen</i> | - Uitsparing van gemiddeld 0,7 miljard m <sup>3</sup> aardgas per jaar | - 49 miljard m <sup>3</sup> binnenlands aardgasverbruik in 2020 | - Gemiddeld 0,1 miljard m <sup>3</sup> aardgas per jaar meer | - 49 miljard m <sup>3</sup> binnenlands aardgasverbruik in 2020 |
|                             | - Uitsparing van gemiddeld 80 kton steenkool/jaar                      | - Ca. 13000 kton steenkool in 2020                              | - Uitsparing van gemiddeld 1280 kton steenkool/jaar          | - Ca. 19000 kton steenkool in 2020                              |
|                             | - Minder biomassa: gemiddeld 33 kton per jaar                          | - Ruim 5000 kton biomassa in 2020 voor elektriciteitsproductie  | - Minder biomassa: gemiddeld 232 kton biomassa per jaar      | - Ruim 7600 kton biomassa in 2020 voor elektriciteitsproductie  |
|                             | - Verbruik van 9 ton/jaar uranium                                      |                                                                 | - Verbruik van 9 ton/jaar uranium                            |                                                                 |

- Volksgezondheid:*** voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB zal leiden tot een lagere uitstoot van NO<sub>x</sub> en fijn stof. Deze lagere uitstoot zal bijdragen aan een vermindering van de nadelige gezondheidseffecten die NO<sub>x</sub> en fijn stof met zich meebrengen.

Op lokaal niveau kunnen de gezondheidseffecten (in termen van ontvangen dosis) worden gerelateerd aan emissies en lozingen van radioactieve stoffen en blootstelling aan externe straling. Bij beide toekomstscenario's is de blootstelling op lokaal niveau gering. Blootstelling aan externe straling geeft relatief nog de grootste bijdrage en is bij een kolencentrale groter dan die van de KCB (zie ook aspect radioactiviteit).

Op nationaal niveau zijn de gezondheidseffecten als gevolg van blootstelling aan vrijgekomen radioactieve stoffen ongeveer evenredig met de hoeveelheid radioactieve stoffen in termen van radiotoxiteitsequivalenten (Re). In beide toekomstscenario's leidt de voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB tot een vermindering van de nadelige gezondheidseffecten door een afname van de blootstelling aan radioactieve stoffen.

De verschillen tussen de doses bij voortzetting of sluiting van de KCB zijn zeer gering in beide scenario's. Deze verschillen zijn 1000 tot 100.000 maal kleiner dan de ontvangen dosis als gevolg van nature aanwezige radioactiviteit.
- Afval:*** als de KCB in bedrijf blijft, zal er laag- en middelactief bedrijfsafval worden geproduceerd (30 à 40 m<sup>3</sup> per jaar) dat bij COVRA wordt opgeslagen. Door radioactief verval zal dit bedrijfsafval na een periode van enige tientallen tot ca. honderd jaar in niet-radioactief afval overgegaan. Een deel kan worden hergebruikt. Voorts zal er vanuit de installatie van COGEMA waar gebruikte splijtstof wordt opgewerkt, jaarlijks ongeveer 4 m<sup>3</sup> hoogactief afval (dat geen plutonium bevat) naar Nederland terugkeren dat in het HABOG bij COVRA wordt opgeslagen. De hoeveelheid plutonium die bij opwerking van de gebruikte splijtstof van de KCB vrijkomt bedraagt gemiddeld 0,1 ton plutonium per jaar. Deze hoeveelheid plutonium wordt onder toezicht van de IAEA en EURATOM overgedragen voor hergebruik.

Het afval dat jaarlijks terugkeert naar Nederland bevat 1,3 m<sup>3</sup> warmteproducerend radioactief afval, dat na een periode van opslag op een terughaalbare wijze in de diepe ondergrond kan worden opgeborgen. Daarnaast bevat het 2,5 m<sup>3</sup> niet-warmteproducerend radioactief afval, waarvan een deel na een periode van opslag bij COVRA geen radioactief afval meer is. Het andere deel zal worden opgeborgen op dezelfde wijze als het warmteproducerend afval.

Door recente technische ontwikkelingen zal de hoeveelheid hoogactief afval die jaarlijks naar Nederland terugkeert in de nabije toekomst kleiner worden.

Voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB heeft tot gevolg dat meer radioactief afval in de eindberging zal moeten worden opgeslagen. De marginale toename van het hiervoor benodigde kapitaal is relatief gering ten opzichte van het totaal benodigde kapitaal en kan worden opgebracht uit de toename van de inkomsten van COVRA.

Voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB in het GE-scenario vermijdt een hoeveelheid afval van een kolencentrale door uitsparing van de verbranding van 1300 kton steenkool per jaar. Dit betreft restfracties van as (vliegashoudend en bodemas), die weliswaar grotendeels, maar niet voor 100%, worden verwijderd of worden hergebruikt.
- Gebruik grondstoffen:*** wanneer de KCB na 2013 in bedrijf blijft zal in het SE scenario vooral aardgas worden uitgespaard, gemiddeld 0,7 miljard m<sup>3</sup> per jaar. Er wordt ca. 80 kton steenkool per jaar uitgespaard en ruim 30 kton biomassa minder ingezet (meestook in kolencentrales). In het GE-scenario zal vooral kolen worden uitgespaard, gemiddeld ca. 1300 kton per jaar en ruim 230 kton biomassa minder ingezet (van meestook in kolencentrales). De KCB gebruikt circa 9 ton uranium per jaar. Indien de bedrijfsvoering na 2013 wordt voortgezet zal dit verbruik hetzelfde blijven.

### *Overige aspecten*

De gevolgen van voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB voor een aantal overige aspecten worden getoond in Tabel S3 ten opzichte van de situatie waarbij de kerncentrale eind 2013 wordt gesloten. Voor deze aspecten zijn er geen verschillen tussen beide scenario's. Omdat er geen goede kwantitatieve informatie is waarmee de effecten kunnen worden vergeleken, is dit niet in de tabel opgenomen.

De gevolgen die voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB heeft voor een aantal overige aspecten kunnen als volgt worden toegelicht:

- *Veiligheid en risico*: voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB na 2013 betekent dat het ongevalsrisico nog aanwezig blijft ten opzichte van sluiting van de KCB. Periodiek dient de exploitant de voorzieningen te evalueren die moeten zorgen voor de nucleaire veiligheid en stralingsbescherming en maatregelen te treffen om eventuele tekortkomingen ongedaan te maken. Elke twee jaar worden de voorzieningen beoordeeld ten opzichte van de uitgangspunten van de vergunning. Elke 10 jaar dienen omvangrijkere evaluaties uitgevoerd te worden waarbij ook de uitgangspunten zelf worden vergeleken met nieuwe ontwikkelingen op het gebied van nucleaire veiligheid en stralingsbescherming. De eerstvolgende 10-jarlijkse evaluatie betreft de periode 2003 tot en met 2012 en dient in 2013 afgerond te zijn. De resultaten van deze evaluaties en de voorgestelde maatregelen dienen ter beoordeling te worden voorgelegd aan de KFD. Het invoeren van de verbeteringen en het treffen van maatregelen die voortkomen uit het verouderingsbeheer kan significante kosten met zich meebrengen. De exploitant van de KCB zal deze kosten dragen en zal die meenemen in zijn beslissing over voortzetting van de exploitatieduur.

Bij het beoordelen van de veiligheid van de KCB wordt in de analyses rekening gehouden met onzekerheid in de aannames. Bij het berekenen van falen van systemen en het risico van vrijkomen van radioactieve stoffen heeft men te maken met statistische zaken. Onzekerheden in kans op falen van componenten worden hierin meegenomen.

Analyse van mogelijke gevolgen van terroristisch aanslagen valt onder het regime van analyse van ontwerpbasis ongevallen. Op basis van dit soort analyses worden gerichte maatregelen genomen om de gevolgen te beperken. Voor specifieke zaken wordt meestal in internationaal verband samengewerkt. In het verleden heeft dit soort van analyses geleid tot het voorschrijven van een tweede 'gescheiden' locatie van waaruit de reactor kan worden afgeschakeld. Ook toekomstige onderzoeken kunnen tot dit soort maatregelen leiden.

Bij de KCB bedraagt het maximum van het plaatsgebonden risico zoals berekend met de Probabilistic Safety Assessment (PSA) voor de huidige situatie ca. 3% van de norm van  $10^{-6}$  per jaar, die de overheid aan het plaatsgebonden risico stelt ( $10^{-6}$  per jaar betekent dat de kans op sterfte, 1 per miljoen jaren bedraagt). De KCB voldoet tevens aan de norm voor het groepsrisico en zal bij voortzetting van de bedrijfsvoering ook na 2013 aan deze norm voldoen. Voortzetting van de bedrijfsvoering zal naar verwachting geen wezenlijke invloed hebben op de risico's op de locatie Borssele. Ook een vervangende kolencentrale of gasgestookte centrale voldoen aan de normen voor het plaatsgebonden risico en het groepsrisico.

- *Non-proliferatie*: het openhouden van de KCB houdt in dat het toezicht op het handhaven van het non-proliferatie regime bij de KCB door de Nederlandse overheid, Euratom en de IAEA gehandhaafd blijft. In het kader van de 'Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons' (NPT) en het additioneel protocol, en van de 'Convention on the Physical Protection of Nuclear Material' (CPPNM) wordt dit toezicht door de overheid regelmatig met Euratom en de IAEA besproken en door uitwisseling van ervaringen elders verder verbeterd. Na sluiting van de KCB is er na afvoer van gebruikte splijtstof, geen noodzaak op toezicht door de Nederlandse overheid, Euratom en IAEA met betrekking tot handhaving van non-proliferatie bij de KCB.

Tabel S.3 *Overige effecten bij voortzetting van de exploitatie van de kerncentrale Borssele ten opzichte van de situatie van sluiting in 2013*

| Beoordelingsaspect                             | SE en GE-scenario                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                | Verandering                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <i>Veiligheid en risico</i>                    | Het ongevalsrisico van de KCB blijft bestaan. Er is netto geen verandering van het veiligheidsrisico. De veiligheid van de KCB kan na 2013 worden gewaarborgd. Het plaatsgebonden risico van KCB is meer dan een factor 30 lager dan de wettelijk norm van $10^{-6}$ per jaar, die ook voor fossiel gestookte centrales geldt.   |
| <i>Non-proliferatie</i>                        | Toezicht op de handhaving van het non-proliferatie regime bij de KCB door de Nederlandse overheid, Euratom en de IAEA blijft gehandhaafd. In het kader van internationale verdragen wordt dit toezicht door de overheid regelmatig met Euratom en de IAEA besproken en door uitwisseling van ervaringen elders verder verbeterd. |
| <i>Ruimtelijke ordening</i>                    | Geen significant effect.                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <i>Werkgelegenheid en kennisinfrastructuur</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hoewel werkgelegenheid voor de KCB behouden blijft, per saldo geen significant effect op de werkgelegenheid op nationaal niveau.</li> <li>- Gunstig voor instandhouding nucleaire kennisinfrastructuur in Nederland.</li> </ul>                                                         |

- *Ruimtelijke ordening*: nieuwe elektriciteitscentrales hebben effect op de ruimtelijke ordening. Doordat de besluitvorming over voortzetting of beëindiging van de bedrijfsvoering van de KCB in beide toekomstscenario's echter alleen het moment en niet de aard van nieuw te bouwen centrales beïnvloedt, zullen er ten aanzien van deze aspecten geen significante effecten optreden.
- *Werkgelegenheid en kennisinfrastructuur*: door het in bedrijf houden van de KCB blijft directe en indirecte werkgelegenheid behouden en draagt bij aan de instandhouding van nucleaire kennisinfrastructuur. Sluiting van de KCB kan in de regio tot verlies van werkgelegenheid leiden. Er zijn echter ook compenserende effecten die het banenverlies beperken, zoals de ontmanteling van de KCB, realisatie van een nieuwe elektriciteitscentrale, etc. Bij het EPZ personeel gaat het om goed geschoolde werknemers waarvoor deels herplaatsing binnen de elektriciteitssector of aanverwante sectoren waarschijnlijk weinig problemen zal opleveren. Ook voor de indirecte werkgelegenheid zal vervangende werkgelegenheid mogelijk zijn, met name wanneer in of nabij Borssele nieuwe elektriciteitscentrales worden gerealiseerd. De invloed van sluiting van de KCB op de werkgelegenheid op nationaal niveau zal niet significant zijn, met name wanneer dit voornemen tijdig bekend is. Het sluiten van de centrale kan negatieve gevolgen hebben voor de nucleaire kennisinfrastructuur in Nederland. Onder meer verwacht COVRA, vanwege verminderde inkomsten, een aanzienlijke personeelsreductie. Om haar taken naar behoren te kunnen uitvoeren zal COVRA in staat gesteld moeten worden voldoende gekwalificeerd personeel in dienst te houden. De overheid zal maatregelen moeten nemen om een minimum aan kennisniveau te handhaven. De overheid heeft, zoals gerapporteerd in het kader van de Nuclear Safety Convention, maatregelen getroffen om ook in de toekomst adequaat toezicht op de veiligheid van de nucleaire installaties in Nederland te kunnen waarborgen.

### *Ontmanteling*

Bij directe ontmanteling kan beschikt worden over personen die de installatie bijzonder goed kennen. Bij uitgestelde ontmanteling is dit soort kennis ten tijde van de ontmantelingwerkzaamheden beperkter aanwezig. Wel kan tegen die tijd het inzicht in ontmantelingwerkzaamheden in zijn algemeenheid zijn toegenomen en kunnen betere technieken voorhanden zijn.



De absolute kosten zijn lager bij directe ontmanteling dan bij uitgestelde ontmanteling. Voor het realiseren van een veilige insluiting (nodig voor de wachtperiode bij uitgestelde ontmanteling) moeten kosten worden gemaakt, die anders achterwege kunnen blijven. Uitgestelde ontmanteling leidt tot een rentevoordeel bij de fondsenopbouw.

De bedrijfsduur van de installatie heeft geen grote invloed op de uitkomst van de afweging tussen een uitgestelde en een directe ontmanteling aan het einde van de bedrijfsvoering. Een langere bedrijfsduur geeft wel de mogelijkheid tot het verstevigen van de fondsopbouw. Voorts kan bij een langere bedrijfsduur, wellicht in de toekomst geprofiteerd worden van het voortschrijden van de stand der techniek betreffende decommissioning. Dit kan een kostenvoordeel geven.

## 1. Inleiding

De Staatssecretaris van VROM verkent de mogelijkheid van een overeenkomst met de eigenaren van de kerncentrale Borssele over enerzijds een sluitingstermijn voor de kerncentrale en anderzijds een pakket aan extra inspanningen voor een duurzame energiehuishouding (duurzaamheidpakket). Gedacht wordt aan sluiting in 2033. Het duurzaamheidpakket heeft een vermoedelijke omvang van 500 miljoen euro, voor de helft afkomstig van de overheid en de andere helft van de eigenaren van de kerncentrale. De overeenkomst over de sluitingstermijn en het duurzaamheidpakket vormt aldus een alternatief voor gedwongen sluiting van de kerncentrale Borssele in 2013, waarbij de overheid geconfronteerd kan worden met een schadeclaim van de exploitant van tenminste enkele honderden miljoenen tot een miljard euro (VROM, 2005).

Naast de verwachte positieve effecten van het duurzaamheidpakket voor een duurzame energievoorziening zal voortzetting van de bedrijfsvoering van de kerncentrale Borssele (KCB) ook consequenties hebben voor onder meer de elektriciteitsvoorziening en het milieu. In de brief<sup>1</sup> van de Staatssecretaris van VROM aan de Tweede Kamer d.d. 29 april 2005 wordt ten aanzien van de besluitvorming over de kerncentrale Borssele onder meer toegezegd een nadere analyse te maken van de consequenties van sluiting eind 2013 dan wel openhouden van de kerncentrale. In de begeleidende notitie<sup>2</sup> worden door de Staatssecretaris diverse aspecten van deze gevolgen toegelicht.

Het Ministerie van VROM heeft ECN en NRG verzocht de gevolgen van voortzetting van de bedrijfsvoering nader te onderzoeken. Het gaat daarbij om een nadere uitwerking van de aspecten die reeds werden genoemd in de begeleidende notitie bij de brief van de Staatssecretaris van 29 april 2005 (levensduur, CO<sub>2</sub>-emissies, radioactief afval, uraniumwinning, ontmanteling, non-proliferatie en terrorisme, werkgelegenheid en leveringszekerheid). Daarnaast heeft het ministerie verzocht ook een aantal aspecten te beschouwen die nog niet in de notitie aan de orde waren gekomen, zoals elektriciteitsprijs, kosten elektriciteitsproductie, brandstofmix elektriciteitsproductie, importsaldo, voorzieningszekerheid, overige emissies naar de lucht, emissiehandel, lozingen, straling, veiligheid en risico, ruimtelijke ordening en internationale ontwikkelingen kernenergie.

In deze studie is geen aandacht besteed aan mogelijke effecten van het duurzaamheidpakket.

### Leeswijzer

Deel A van dit rapport is gewijd aan de 'systeemanalyse'. Hierin worden de gevolgen van sluiting dan wel openhouden van de KCB onderzocht voor een tweetal systemen: het energiesysteem (voornamelijk het elektriciteitsstelsel) en het ecologisch systeem. Daarnaast zijn nog enkele andere aspecten beschouwd: veiligheid, non-proliferatie, ruimtelijke ordening en werkgelegenheid. Er is voor gekozen de situatie waarbij de bedrijfsvoering van de KCB wordt voortgezet te beoordelen ten opzichte van de situatie waarbij de kerncentrale in 2013 sluit. Het oorspronkelijke voornemen, sluiting van de KCB, vormt dus de referentiesituatie. De gevolgen van voortzetting van de bedrijfsvoering worden duidelijk wanneer voor elk van de beoordelingsaspecten een vergelijking met de referentiesituatie wordt gemaakt. Bij voortzetting van de bedrijfsvoering gaat het om de periode 2013-2033. Omdat de Nederlandse elektriciteitsmarkt zich verschillend kan ontwikkelen, worden in het onderzoek twee toekomstscenario's voor elektriciteitsvoorzie-

<sup>1</sup> 'Besluitvorming kerncentrale Borssele', Ministerie van VROM, SAS/2005039331, 29 april 2005.

<sup>2</sup> 'Bedrijfsduur kerncentrale Borssele - Notitie over aspecten die een rol spelen bij de besluitvorming over de bedrijfsduur van de kerncentrale Borssele', Ministerie van VROM, Notitiebijlage bij de brief SAS/2005039331, 29 april 2005.

ning gehanteerd. Deze scenario's staan kort beschreven in hoofdstuk 2 en in meer detail in Bijlage A. In Hoofdstuk 2 wordt tevens de gebruikte methode nader toegelicht.

In Hoofdstuk 3 wordt nagegaan welke invloed beëindiging of voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB heeft op de elektriciteitsvoorziening. Bij voortzetting van de bedrijfsvoering gaat het om de periode 2013-2033. In het hoofdstuk wordt ingegaan op mogelijke veranderingen ten aanzien van brandstofmix, elektriciteitsprijzen, importsaldo en leverings- en voorzieningszekerheid op basis van een verwachte reactie in de elektriciteitsmarkt. Ook wordt ingegaan op andere mogelijke reacties op sluiting van de KCB, zoals extra besparing op de elektriciteitsvraag en extra elektriciteitsproductie uit duurzame bronnen.

De milieueffecten worden besproken in Hoofdstuk 4. In dit hoofdstuk wordt nagegaan wat de gevolgen zijn voor emissies naar de lucht (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, fijn stof, radioactieve stoffen), lozingen naar water, straling en nucleair afval, en volksgezondheid. Ook komen in dit hoofdstuk effecten ten aanzien van het gebruik van grondstoffen aan de orde en de invloed op emissiehandel. Hoofdstuk 5 behandelt een aantal overige effecten: nucleaire veiligheid, non-proliferatie, ruimtelijke ordening en werkgelegenheid. In diverse hoofdstukken van Deel A wordt verwezen naar achtergrondinformatie die is opgenomen in de bijlagen van dit rapport.

In deel B van dit rapport - Overige nucleaire aspecten - worden aspecten besproken die wel zijn onderzocht maar geen directe relatie hebben met de gevolgen van het sluiten of openhouden van de KCB. Het betreft de levensduur van de kerncentrales (Hoofdstuk 6), ontmanteling (Hoofdstuk 7) en internationale ontwikkelingen met betrekking tot kernenergie (Hoofdstuk 8).

## DEEL A - SYSTEEMANALYSE

## 2. Gehanteerde methodiek

In dit hoofdstuk wordt de methodiek beschreven die is gebruikt bij het analyseren van de gevolgen van sluiting in 2013 dan wel voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB. Er is voor gekozen geen integrale beoordeling te maken van de gevolgen, zoals dat bij een maatschappelijke kosten-baten-analyse gebruikelijk is. Daarbij worden alle positieve en negatieve gevolgen zodanig geordend dat de balans tussen voor- en nadelen op overzichtelijke en consistente wijze kan worden opgemaakt en de welvaartseffecten eenduidig in beeld kunnen worden gebracht. De weging van elk van de in deze studie onderzochte aspecten ten opzichte van elkaar is onderwerp van maatschappelijke en politieke discussie. Daarom is hier afgezien van welke vorm van weging dan ook.

Voortzetting van de exploitatie heeft betrekking op een toekomstige periode (2013-2033). Om de gevolgen voor de elektriciteitsvoorziening te kunnen analyseren wordt gebruik gemaakt van twee toekomstscenario's. In Paragraaf 2.1 wordt kort ingegaan op de keuze van deze twee scenario's. Voor een uitgebreide beschrijving van beide toekomstscenario's wordt verwezen naar Bijlage A. In Paragraaf 2.2 wordt ingegaan op de verschillende aspecten die in de systeemanalyse zijn beschouwd. Ten slotte wordt in Paragraaf 2.3 beschreven hoe de twee situaties (sluiting en voortzetting bedrijfsvoering) met elkaar zijn vergeleken.

### 2.1 Toekomstscenario's elektriciteitsvoorziening

Het onderzoek naar de gevolgen van de beëindiging of voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB na 2013 is uitgevoerd tegen de achtergrond van twee toekomstscenario's voor de Nederlandse elektriciteitsvoorziening. Deze scenario's zijn door ECN in samenwerking met het Milieu en Natuur Planbureau (MNP) en het Centraal Planbureau (CPB) ontwikkeld in het kader van de verkennende studies 'Referentieramingen energie en emissies 2005-2020' (ECN/MNP, 2005) en 'Welvaart en Leefomgeving' (WLO). Scenario's in beide studies zijn gebaseerd op het onderzoek 'Four futures for Energy Markets and Climate Change', van CPB/RIVM-MNP (Bollen et al., 2004). In de Referentieramingen zijn twee toekomstbeelden uitgewerkt tot 2020. In de WLO studie worden alle vier toekomstbeelden uitgewerkt tot en met 2040. De WLO studie wordt naar verwachting pas in het voorjaar van 2006 gepubliceerd.

De twee scenario's die worden gebruikt voor de analyse van de effecten van de beëindiging of voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB, worden aangeduid met 'Strong Europe' (SE) en het 'Global Economy' (GE)<sup>3</sup>. In Bijlage A wordt in detail voor beide toekomstscenario's beschreven welke factoren van invloed zijn op de toekomstige ontwikkeling van de Nederlandse elektriciteitsvoorziening en op welke manier en in welke mate deze factoren bepalend zijn voor de ontwikkeling. Ook wordt in de bijlage voor beide scenario's een kwantitatieve beschrijving gegeven van de toekomstige elektriciteitsvoorziening. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de beschrijvingen zoals gerapporteerd in de Referentieramingen (ECN/MNP, 2005). Omdat de KCB mogelijk tot 2033 wordt geëxploiteerd, wordt, op basis van de WLO-studie, ook ingegaan op de periode na 2020. Een overzicht van een aantal belangrijke uitgangspunten en veronderstellingen voor de twee toekomstscenario's wordt getoond in Tabel 2.1. Een aantal belangrijke aannames, zoals de CO<sub>2</sub>-prijzen en de olieprijs, zijn direct uit de CPB/RIVM-MNP studie (Bollen et al., 2004) overgenomen, omdat de Referentieramingen en de WLO-studie daarmee consistent zijn.

---

<sup>3</sup> Deze scenario's lagen ook ten grondslag aan het ECN-onderzoek naar het waardeverlies van de KCB als gevolg van sluiting per ultimo 2013 (VROM, 2005).

De twee toekomstscenario's voor de Nederlandse elektriciteitsvoorziening kunnen als volgt worden gekarakteriseerd:

- *SE-scenario*: Door de beperkte groei van de elektriciteitsvraag (gemiddeld 0,9% per jaar) is de behoefte aan nieuw productievermogen beperkt. Levensduurverlenging van centrales, nieuwe WKK en duurzame energie voorzien aanvankelijk in de groeiende vraag. Nieuwe centrales die vanaf 2013 worden gebouwd zijn gasgestookte STEG's. Tot 2020 lopen de groothandelselektriciteitsprijzen op tot 50 €/MWh en daarna, vooral onder invloed van hogere CO<sub>2</sub>-prijzen tot bijna 80 €/MWh. Stimulering van duurzame energie wordt na 2020 voortgezet, hetgeen resulteert in verdere toename van windenergie en inzet van biomassa. Omstreeks 2025 wordt geïnvesteed in een kolenvergassing STEG met CO<sub>2</sub>-afvang. Elektriciteitsimporten uit het buitenland nemen gestaag af vanwege de kleinere prijsverschillen met de omringende landen. Tot 2015 nemen de CO<sub>2</sub>-emissies van de elektriciteitsproductie toe om daarna geleidelijk te dalen.
- *GE-scenario*: Groei van de elektriciteitsvraag (gemiddeld 1,6% per jaar) maakt investeringen in nieuwe productiecapaciteit noodzakelijk. Aanvankelijk wordt geïnvesteed in gasgestookte STEG's, maar door het verdwijnen van het klimaatbeleid en de daarmee samenhangende CO<sub>2</sub>-emissiehandel, worden investeringen in conventionele poederkoolcentrales aantrekkelijk. De groothandelselektriciteitsprijs stijgt tot 2020 naar een niveau van circa 50 €/MWh om daarna te dalen naar een niveau van circa 45 €/MWh. De CO<sub>2</sub>-emissies van de elektriciteitsproductie blijven na 2020 stijgen.

Behalve het verschil in economische groei, verschillen de beide scenario's op de lange termijn ten aanzien van het klimaat- en energiebeleid. In Strong Europe is er een stringent en stevig post-Kyoto klimaatbeleid en wordt het duurzame energiebeleid (MEP-regeling) voortgezet. In Global Economy is er geen post-Kyoto klimaat beleid en wordt na 2020 de MEP-regeling afgeschaft.

Tabel 2.1 *Bepalende veronderstellingen voor de elektriciteitsmarkt voor de oorspronkelijke toekomstscenario's Strong Europe en Global Economy*

| Scenario aspect                                                  | Strong Europe (SE)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Global Economy (GE)                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gemiddelde jaarlijkse groei bruto binnenlands product, 2002-2020 | 1,8%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 2,9%                                                                                                   |
| Gemiddelde jaarlijkse groei elektriciteitsvraag 2003-2040        | 0,9%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 1,6%                                                                                                   |
| Olieprijs*                                                       | 23,0\$/vat in 2004<br>23,0\$/vat in 2020<br>23,2\$/vat in 2030                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 23,0\$/vat in 2004<br>23,2\$/vat in 2020<br>26,8\$/vat in 2030                                         |
| Aardgasprijs**                                                   | Stijgend, van circa 3,6 €/GJ in 2004<br>4,3 €/GJ in 2020<br>4,9 €/GJ in 2030                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                        |
| Kolenprijs                                                       | Constant na 2004: 1,7€/GJ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                        |
| Beleid, algemeen                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bestaand (anno 2004) energiebesparings-, klimaat- en luchtverontreinigingbeleid wordt voortgezet, m.u.v. het klimaatbeleid en duurzaam energiebeleid dat na 2020 in het GE scenario wordt afgeschaft.</li> <li>- Van beleid dat sterk in ontwikkeling is, worden plausibele verdere ontwikkelingen voorzien.</li> <li>- Van nationaal beleid dat afloopt (zoals Convenanten), worden logische voortzettingen van de beleidsdruk verondersteld.</li> <li>- Beleid voor energiemarkten verschilt per scenario.</li> </ul> |                                                                                                        |
| Emissiehandel (CO <sub>2</sub> -prijs)                           | 11 €/ton 2020, daarna sterk oplopend tot 84 €/ton in 2040                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 11 €/ton 2020, daarna 0 €/ton                                                                          |
| MEP-regeling                                                     | MEP-regeling ook na 2020 handhaven                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | MEP-regeling verdwijnt na 2020                                                                         |
| Duurzame productie                                               | Grootschalige investering in windenergie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Tot 2020: grootschalige investering in windenergie; daarna niet meer (afbouw)                          |
|                                                                  | Biomassa meestook in kolencentrales                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Tot 2020: Biomassa meestook in kolencentrales<br>Na 2020 geen investeringen meer in duurzame productie |
| Nieuwe kolencentrales                                            | KV STEG met CO <sub>2</sub> -afvang na 2025                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Poederkoolcentrales vanaf 2017                                                                         |

\* Olieprijzen zijn hier in dollars van het jaar 2000 uitgedrukt, en in berekeningen naar € van het jaar 2000 vertaald.

\*\* Prijzen zijn uitgedrukt in € van het jaar 2000. Een hogere olie- en gasprijs heeft nauwelijks effect op de hier uitgevoerde analyse voor de meeste gevolgen van voortzetting van de exploitatie van de KCB ten opzichte van de situatie van sluiting in 2013; zie ook Paragraaf 3.5. In het SE scenario zullen de kosten van productie van gascentrales toenemen bij een hogere olie- en gasprijs; het verschil met de kosten van productie door de KCB zal groter zijn in geval van een hogere olie- en aardgasprijs. Voor de gasprijs geldt de prijs voor de commodity plus transport en distributie bij een bedrijfstijd van 7500 uur per jaar. Door de toenemende gas-to-gas competitie is de aardgasprijs na 2012 steeds meer ontkoppeld van de olieprijs.

### *Aandeel elektriciteitsproductie KCB*

Het aandeel van de elektriciteitsproductie van de kerncentrale Borssele is in 2003 nog 3,6% van het finale Nederlandse elektriciteitsverbruik, zie Tabel 2.2. Met de geplande upgrade in 2006 neemt het netto vermogen toe tot 484 MW<sub>e</sub> en de productie tot 4 TWh. In de toekomstscenario's daalt dit relatieve aandeel door een toenemend elektriciteitsverbruik tot minder dan 3% in 2020.

Het aandeel in het opgestelde elektrisch vermogen daalt van iets meer dan 2% in 2004 tot 1,3% (GE) en 1,6% (SE) in 2020.

Tabel 2.2 *Aandeel elektriciteitsproductie KCB*

|                                                                        |                    | 2003  | 2010        | 2015        | 2020         |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------|-------------|-------------|--------------|
| <i>Finaal elektriciteitsverbruik</i>                                   |                    |       |             |             |              |
| In GE                                                                  | [TWh]              | 111   | 130         | 143         | 157          |
| In SE                                                                  | [TWh]              |       | 122         | 131         | 139          |
| <i>Aandeel productie KCB, bij voortzetting bedrijfsvoering na 2013</i> |                    |       |             |             |              |
| Productie KCB                                                          | [TWh]              | 3,7   | 4,0         | 4,0         | 4,0          |
| Aandeel in GE                                                          | [%]                | 3,6   | 3,1         | 2,8         | 2,5          |
| Aandeel in SE                                                          | [%]                |       | 3,3         | 3,0         | 2,9          |
| <i>Importsaldo</i>                                                     |                    |       |             |             |              |
| In GE                                                                  | [TWh]              | 16,9  | 14,0        | 7,4         | 3,3          |
| In SE                                                                  | [TWh]              |       | 14,5        | 6,9         | 6,0          |
| <i>Productievermogen</i>                                               |                    |       |             |             |              |
| Totaal GE/SE                                                           | [MW]               | 20908 | 26200/24000 | 28200/31800 | 385000/29400 |
| Kerncentrale Borssele                                                  | [MW <sub>e</sub> ] | 449   | 484         | 484         | 484          |
| Aandeel KCB (GE/SE)                                                    | [%]                | 2,1   | 1,9/2,0     | 1,5/1,7     | 1,3/1,6      |

## 2.2 Beoordelingaspecten

Het beoordelen van de gevolgen van sluiting of voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB heeft plaatsgevonden voor het energiesysteem (voornamelijk het elektriciteitsysteem) en het ecologisch systeem aan de hand van een aantal aspecten. Daarnaast zijn nog enkele andere aspecten beschouwd. Een overzicht van deze aspecten wordt getoond in Tabel 2.3.

Tabel 2.3 *Overzicht van te beoordelen aspecten*

| Gevolgen voor het energiesysteem                                                                                                                                                                                | Gevolgen voor het ecologisch systeem                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektriciteitsprijs</li> <li>• Kosten elektriciteitsproductie</li> <li>• Brandstofmix</li> <li>• Importsaldo</li> <li>• Leverings- en voorzieningszekerheid</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emissies naar de lucht (incl. emissiehandel) <ul style="list-style-type: none"> <li>– Kooldioxide (CO<sub>2</sub>)</li> <li>– Zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>)</li> <li>– Stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>)</li> <li>– Fijn stof (PM<sub>10</sub>)</li> </ul> </li> <li>• Lozingen naar water</li> <li>• Blootstelling aan straling</li> <li>• Volksgezondheid</li> <li>• Afval</li> <li>• Gebruik grondstoffen</li> </ul> |
| Overige effecten                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Veiligheid en risico</li> <li>• Non-proliferatie</li> <li>• Ruimtelijke ordening</li> <li>• Werkgelegenheid</li> </ul>                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

De beoordeelde aspecten zijn niet altijd onafhankelijk van elkaar en gevolgen kunnen voor sommige aspecten doorwerken bij anderen. De brandstofmix waarmee in Nederland elektriciteit wordt opgewekt geeft bijvoorbeeld inzicht in de milieukwaliteit van de elektriciteitsproductie voor afnemers, informeert over de mate van brandstofdiversificatie en is bepalend voor de kosten van de elektriciteitsproductie. Dit laatste is gerelateerd aan leverings- en voorzieningszekerheid. Emissies naar de lucht en blootstelling aan straling hebben gevolgen voor de volksgezondheid.



Nederland is als geografische afbakening gekozen voor het energiesysteem en het ecologisch systeem. Dit houdt in dat de beschouwde milieueffecten betrekking hebben op Nederland en de gevolgen voor het energiesysteem in beeld worden gebracht in zoverre de energieketen zich in Nederland bevindt. Waar dat bij bepaalde aspecten relevant is, is toch een ruimere geografische afbakening gekozen (bijvoorbeeld bij het Europese handelssysteem voor CO<sub>2</sub>-emissierechten) of is een groter deel van de energieketen beschouwd (bijvoorbeeld ten aanzien van de brandstofcyclus van de kerncentrale). In een enkel geval is het lokale effect aangegeven wanneer dat relevant is.

## 2.3 Vergelijking van twee situaties

Bij analyse van de aspecten uit Tabel 2.3 is er voor gekozen de situatie waarbij de bedrijfsvoering van de KCB wordt voortgezet te beoordelen ten opzichte van de situatie waarbij de kerncentrale in 2013 sluit. Sluiting van de KCB vormt dus de referentiesituatie. De gevolgen van voortzetting van de bedrijfsvoering worden duidelijk wanneer voor elk van de te beoordelingsaspecten een vergelijking met de referentiesituatie wordt gemaakt (zie schema in Tabel 2.4). Per beoordelingsaspect gebeurt dit in de Hoofdstukken 3 (invloed elektriciteitsvoorziening), Hoofdstuk 4 (milieuaspecten) en Hoofdstuk 5 (overige aspecten). Zoals in Paragraaf 2.1 al is aangegeven wordt voor een aantal aspecten onderscheid gemaakt in twee toekomstscenario's van de elektriciteitsvoorziening. Voor elk van deze laatstgenoemde aspecten levert de vergelijking tussen de situatie bij voortzetting van het productiebedrijf van de KCB en de referentiesituatie dus telkens twee resultaten op, afhankelijk van welk scenario wordt beschouwd (SE of GE).

Voor een groot aantal aspecten vindt een vergelijking plaats op basis van kwantitatieve grootheden. Met de bepaling van deze grootheden zijn onnauwkeurigheden gemoeid die ten opzichte van de absolute waarde van de grootheid gering mogen lijken, maar beduidend worden wanneer naar het verschil tussen de waarden van deze grootheden in beide situaties wordt gekeken. Wanneer het kwantitatieve verschil tussen de beide situaties kleiner is dan de onnauwkeurigheid op de onderzochte grootheid, dan is het vaak moeilijk dit verschil te bepalen. Dit betekent evenwel niet dat dit verschil (en dus effect) nihil is. Er is wat betreft deze grootheid geen uitspraak te doen over het verschil tussen beide situaties.

Door voor de referentiesituatie twee toekomstscenario's te gebruiken is het mogelijk in de systeemanalyse rekening te houden met onzekerheden die ten aanzien van de verschillende aspecten bestaan. Daarnaast worden in Hoofdstuk 3 alternatieve responses als gevoeligheidsanalyses beschouwd, en tevens wordt in een gevoeligheidsanalyse een van de toekomstscenario's bij een veel hogere olieprijs en aardgasprijs beschouwd.

Alle in deze studie weergegeven prijzen en kosten zijn uitgedrukt in Euro's van het jaar 2000.

Tabel 2.4 *Schema voor vergelijking van beoordelingsaspecten*

| Beoordelingsaspect                                                                                                                                                                                                          | Voortzetting bedrijfsvoering KCB (te beoordelen situatie) |             | Sluiting KCB ultimo 2013 (referentiesituatie) |             | Resultaat vergelijking    |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------|-------------|---------------------------|-------------|
|                                                                                                                                                                                                                             | Elektriciteitsvoorziening                                 |             | Elektriciteitsvoorziening                     |             | Elektriciteitsvoorziening |             |
|                                                                                                                                                                                                                             | SE-scenario                                               | GE-scenario | SE-scenario                                   | GE-scenario | SE-scenario               | GE-scenario |
| Elektriciteitsprijs<br>Brandstofmix<br>Importsaldo<br>Leverings- en voorzieningszekerheid<br>Kosten<br>elektriciteitsproductie                                                                                              |                                                           |             |                                               |             |                           |             |
|                                                                                                                                                                                                                             | Milieueffecten                                            |             | Milieueffecten                                |             | Milieueffecten            |             |
|                                                                                                                                                                                                                             | SE-scenario                                               | GE-scenario | SE-scenario                                   | GE-scenario | SE-scenario               | GE-scenario |
| Emissies naar de lucht (CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub> ,)<br>Emissiehandel<br>Lozingen naar water<br>Blootstelling aan straling<br>Volksgezondheid<br>Afval<br>Gebruik grondstoffen |                                                           |             |                                               |             |                           |             |
|                                                                                                                                                                                                                             | Overige aspecten                                          |             | Overige aspecten                              |             | Overige aspecten          |             |
| Veiligheid en risico<br>Non-proliferatie<br>Ruimtelijke ordening<br>Werkgelegenheid                                                                                                                                         |                                                           |             |                                               |             |                           |             |

### 3. Invloed op de elektriciteitsvoorziening

In Hoofdstuk 2 zijn twee toekomstscenario's voor de Nederlandse elektriciteitsvoorziening gepresenteerd, het Stronge Europe (SE) en het Global Economy (GE) scenario. In het oorspronkelijke SE-scenario werd de exploitatie van de KCB in 2013 beëindigd terwijl in het oorspronkelijke GE-scenario de exploitatie tot 2033 werd voortgezet. Voor de analyses voor dit hoofdstuk zijn twee nieuwe simulaties uitgevoerd met het elektriciteitsmarktmodel POWERS (zie Bijlage B): (1) voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB in het SE-scenario en (2) sluiting van de KCB eind 2013 in het GE-scenario. Daarmee ontstaan vier situaties op basis waarvan de invloed van sluiting of voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB op de elektriciteitsvoorziening kan worden onderzocht. In overeenstemming met de in het vorige hoofdstuk beschreven methodiek zal in dit hoofdstuk de beëindiging van de exploitatie van de KCB in 2013 als referentie worden gekozen. De in dit hoofdstuk gepresenteerde resultaten laten dus voor beide toekomstscenario's zien wat het effect is van een voortgezette bedrijfsvoering van de KCB na 2013.

In Paragraaf 3.1 wordt eerst ingegaan op de verwachte reactie in de energiemarkt op het al dan niet in bedrijf blijven van de KCB. Deze reactie vormde de input van het elektriciteitsmarktmodel POWERS bij de simulatie van de toekomstige elektriciteitsvoorziening. Vervolgens worden in deze paragraaf de verschillen toegelicht die bij de simulaties ontstaan voor beide scenario's ten aanzien van de elektriciteitsprijs (Paragraaf 3.1.2), de brandstofmix (Paragraaf 3.1.3) en het importsaldo (Paragraaf 3.1.4). De gevolgen voor de kosten van de elektriciteitsproductie worden besproken in Paragraaf 3.2. In Paragraaf 3.3 wordt nagegaan wat de mogelijke consequenties zijn voor de leverings- en voorzieningszekerheid.

Voor de in Paragraaf 3.1 beschreven marktrespons zijn verschillende alternatieven denkbaar. Twee typen alternatieve responsopties worden in meer detail besproken in Paragraaf 3.4: extra energiebesparing (Paragraaf 3.4.2) en extra duurzame elektriciteitsproductie (Paragraaf 3.4.1). Ook wordt in deze paragraaf ingegaan op keuzes voor andere typen - al dan niet innovatieve - elektriciteitscentrales of extra import (Paragraaf 3.4.3).

In een gevoeligheidsanalyse is nagegaan of de geconstateerde verschillen voor elektriciteitsprijs, brandstofmix en importsaldo veranderen bij hogere olie- en gasprijzen. Deze gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd voor het GE-scenario. De resultaten worden gepresenteerd in Paragraaf 3.5.

Tot slot wordt in Paragraaf 3.6 een samenvatting gegeven van de invloed die voortzetting of beëindiging van de bedrijfsvoering van de KCB heeft op de Nederlandse elektriciteitsvoorziening.

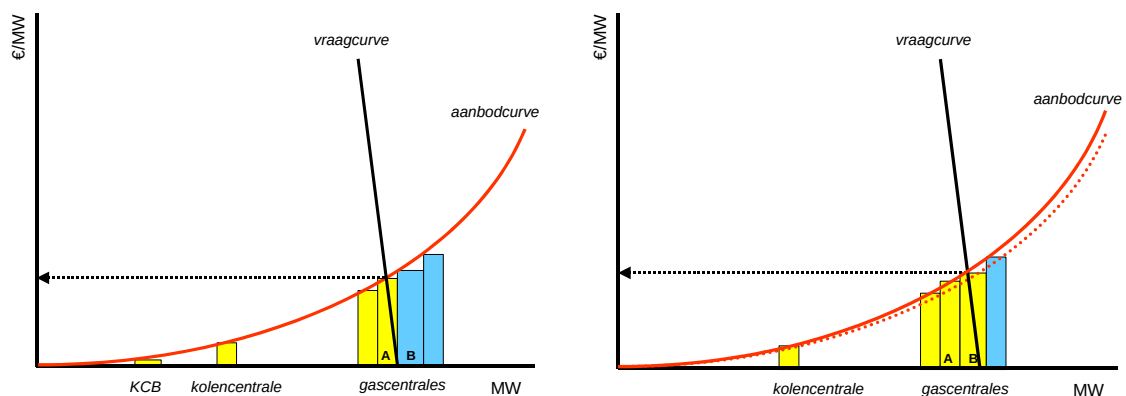
#### 3.1 Respons elektriciteitsmarkt

##### 3.1.1 Productieaanbod en prijsvorming

De KCB is een basislastcentrale met lage variabele kosten. Dit houdt in dat de centrale gedurende alle vraagperioden (dal, plateau, piek, superpiek) in bedrijf is (behalve in geval van storingen en onderhoud), maar niet de centrale is waarmee in de marginale elektriciteitsvraag wordt voorzien. Beëindiging van de exploitatie van de KCB of juist voortzetting daarvan heeft invloed op de inzet van productievermogen in alle vraagperioden. Dat wil zeggen dat, wanneer er zich geen wijzigingen voordoen in het totale productieaanbod en de KCB sluit, de elektriciteitsvraag door een andere (zgn. marginale) centrale zal moeten worden gedekt die tot dan toe niet werd ingezet. Om dit te illustreren wordt in Figuur 3.1 schematisch een aanbodcurve getoond die wordt

bepaald door de *merit order* van de productie-installaties op basis van variabele productiekosten. Door sluiting van de KCB schuift de aanbodcurve naar links en wordt de prijs niet langer bepaald door centrale A, maar door centrale B. Doordat deze centrale hogere variabele kosten heeft zal de prijs op de groothandelsmarkt stijgen<sup>4</sup>. Het omgekeerde geldt ook: wanneer de KCB juist in bedrijf blijft ten opzichte van een verwachte sluiting zal de elektriciteitsvraag in alle perioden worden gedekt door een centrale met vermoedelijk lagere marginale kosten waardoor de prijs op de groothandelsmarkt in principe kan dalen. De marginale centrale die in geval van uit bedrijf name van de KCB in de elektriciteitsvraag zou hebben voorzien wordt niet ingezet.

Het is echter aannemelijk dat ruim voor 2013 bekend is of de exploitatie van de KCB in 2013 wordt beëindigd of juist wordt voortgezet<sup>5</sup>. Elektriciteitsproducenten en andere marktpartijen kunnen hierop anticiperen. In Paragraaf A.1.8 wordt beschreven dat de (verwachte) ontwikkeling van het productieaanbod ten opzichte van prognoses omtrent de vraagontwikkeling voor producenten in belangrijke mate bepalend is voor investeringsbeslissingen. Bij dit productieaanbod gaat het om zowel de productiecapaciteit van Nederlandse centrales als de capaciteit van de interconnectors met het buitenland waarmee buitenlandse elektriciteit op de Nederlandse markt gebracht kan worden.



Figuur 3.1 Match van vraag en aanbod op de elektriciteitsmarkt met de KCB in de aanbodcurve (links) en zonder (rechts)

Bij de hier uitgevoerde analyse wordt ervan uitgegaan dat plannen met betrekking tot uitbreiding van interconnectiecapaciteit niet worden beïnvloed door de besluitvorming over de exploitatie van de KCB.

In beide scenario's wordt in de komende decennia geïnvesteerd in nieuwe productiecapaciteit. In het SE-scenario zullen vooral gasgestookte STEG-centrales worden gebouwd en in het GE-scenario poederkoolcentrales (zie Paragraaf 2.1). Wanneer de omvang van bestaande (basislast) capaciteit toe of afneemt, zal dat vooral invloed hebben op het moment waarop nieuwe productiecapaciteit wordt gerealiseerd. Zoals in Paragraaf A.1.8 wordt beschreven kan dit moment via modelsimulatie (met POWERS) worden bepaald door na te gaan of de *baseload* prijs eerder of later boven de integrale kosten van nieuwe productiecapaciteit komt te liggen.

<sup>4</sup> Het hier beschreven prijsmechanisme speelt zich af op de korte termijnmarkt, zoals bijvoorbeeld de day-ahead markt van de APX. De meeste elektriciteitscontracten hebben echter betrekking op termijncontracten van bijvoorbeeld een jaar. De prijzen van deze *forwards* zijn aan de prijzen op de korte termijnmarkt gerelateerd. De forwardprijzen kunnen worden beschouwd als een indicatie voor de verwachte gemiddelde prijzen op de korte termijnmarkt voor de periode waarvoor het termijncontract geldt. Naast de prijs voor het product elektriciteit (ook wel commodity genoemd) betalen afnemers een netwerktarief (voor transport en systeemdiensten) en heffingen. Netwerktarieven en heffingen worden niet beïnvloed door veranderingen in het productieaanbod.

<sup>5</sup> De regering is voornemens in de huidige kabinetsperiode tot een definitieve besluitvorming te komen over de sluitingsdatum van de KCB.

Wanneer in het SE-scenario de KCB in 2013 in bedrijf blijft zal de investering in nieuwe STEG's<sup>6</sup> (in SE voorzien rond 2014) later plaatsvinden. Omdat een gasgestookte centrale hogere marginale kosten heeft dan een kerncentrale heeft dit in principe gevolgen voor de aanbodcurve en daarmee op de elektriciteitsprijs. De uitwisseling met het buitenland wordt op zijn beurt weer beïnvloed door zowel de binnenlandse en buitenlandse elektriciteitsprijs, op basis waarvan het importsaldo aan verandering onderhevig is. De voorziene investering in een kolenvergasser (KV STEG) met CO<sub>2</sub>-afvang (rond 2025) is vooral afhankelijk van de ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-prijs en zal niet of nauwelijks worden beïnvloed door het langer in bedrijf blijven van de KCB.

In het GE-scenario zullen de investeringen in een nieuwe poederkoolcentrale (voorzien rond 2017) later kunnen plaatsvinden wanneer de KCB in 2013 in bedrijf blijft. Complicerende factor in de referentiesituatie van dit scenario is dat, in verband met planning en bouw, ruim vijf jaar daarvoor er duidelijkheid moet zijn over het niet voortzetten van het klimaatbeleid na 2012. Uitbedrijfstelling van de KCB en inbedrijfstelling van een nieuwe poederkoolcentrale heeft gevolgen voor de aanbodcurve. Deze is echter niet zodanig dat hierdoor effecten op de elektriciteitsprijs verwacht worden, want in dit scenario blijven gascentrales bepalend voor de elektriciteitsprijs (zie Figuur 3.1). Hierdoor zal waarschijnlijk ook het importsaldo nauwelijks wijzigen.

Er dienen vijf kanttekeningen te worden geplaatst:

1. Toe- of afname van productiecapaciteit kan in principe ook worden opgevangen door het korter of langer in bedrijf houden van bestaande centrales, in zoverre dit technisch mogelijk is. Omdat dit meestal economisch aantrekkelijker is dan nieuwbouw (Scheepers, 2003), zijn deze opties in beide scenario's al volledig benut. Investeren in nieuwe centrales blijft de marginale optie om in voldoende productiecapaciteit te voorzien.
2. Investeren in nieuwe centrales behoeven niet per se in Nederland te worden gedaan. In beide scenario's wordt rekening gehouden met nieuwe productiecapaciteit in het buitenland. Het investeringsklimaat is evenwel dusdanig dat nieuwe investeringen in Nederland in beide scenario's voldoende aantrekkelijk zijn (zie Paragraaf A.1.8).
3. Afnemend productieaanbod kan ook worden opgevangen met duurzame elektriciteitsproductie. Ook hierbij geldt dat in beide toekomstscenario's rekening is gehouden met het huidige beleid en doelstellingen ten aanzien van duurzame elektriciteitsproductie. De toename van duurzame elektriciteitsproductie onder dit beleid is reeds volledig verdisconteerd in beide scenario's. Zonder extra beleid of nieuwe doelstelling zijn geen extra investeringen in duurzame elektriciteitsproductie te verwachten. In Paragraaf 3.4.1 wordt nader ingegaan op deze alternatieve responseoptie.
4. Afnemend productieaanbod door sluiting van de KCB kan ook worden opgevangen door reductie van de elektriciteitsvraag. Beide scenario's zijn beleidsvrij, dat wil zeggen dat alleen het huidige geïnstrumenteerde beleid van toepassing is en geen nieuw besparingsbeleid is verondersteld. In Paragraaf 3.4.2 wordt nader ingegaan op deze alternatieve responseoptie.
5. Tenslotte kan afnemende productiecapaciteit in Nederland worden opgevangen door extra importen in zoverre de capaciteit van de landgrensoverschrijdende verbindingen dit toelaat. Hiervoor zouden één of meerdere van de veronderstellingen die ten grondslag liggen aan de twee toekomstscenario's zich moeten wijzigen. Het gaat daarbij met name om het investeringsklimaat in Nederland, de productiekosten in het buitenland en een verdere uitbreiding van de interconnectiecapaciteit.

---

<sup>6</sup> Dit betreft nog niet aangekondigde investeringsvoornemens, zie ook Paragraaf 3.4.3.

### 3.1.2 Elektriciteitsprijzen

De effecten van voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB na 2013 blijken niet significant te zijn voor de ontwikkeling van de elektriciteitsprijzen op de groothandelsmarkt. Ten opzichte van de referentiesituatie is het gemiddelde verschil in de groothandelsprijs voor elektriciteit in beide scenario's voor de periode 2014-2030 niet meer dan 0,1 €/MWh. Het verschil ligt in de orde van de onnauwkeurigheid van de berekening. Over de periode 2014-2030 is de gemiddelde elektriciteitsprijs 46 en 57 €/MWh voor respectievelijk het GE en SE-scenario (zie Paragraaf A.2.4). Dat er geen noemenswaardig effect is op de elektriciteitsprijs kan worden verklaard uit het feit dat in beide scenario's er geen significante invloed is van het al dan niet open blijven van de KCB op de marginale elektriciteitscentrale (d.w.z. de centrale waarvan de variabele kosten bepalend zijn voor de elektriciteitsprijs).

### 3.1.3 Brandstofmix

In beide toekomstscenario's zal de voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB na 2013 leiden tot besparing op de inzet van fossiele brandstoffen voor de Nederlandse elektriciteitsproductie ten opzichte van de situatie waarbij de KCB in 2013 sluit. Figuur 3.2 en Figuur 3.3 tonen de brandstofmix voor de oorspronkelijke scenario's in 2010 en de verschillende situaties voor het jaar 2020 en 2030<sup>7</sup>. Voor de situaties waarbij de KCB in bedrijf blijft, wordt in het SE-scenario minder gasgestookt vermogen ingezet, terwijl in het GE-scenario minder kolenvermogen wordt ingezet.

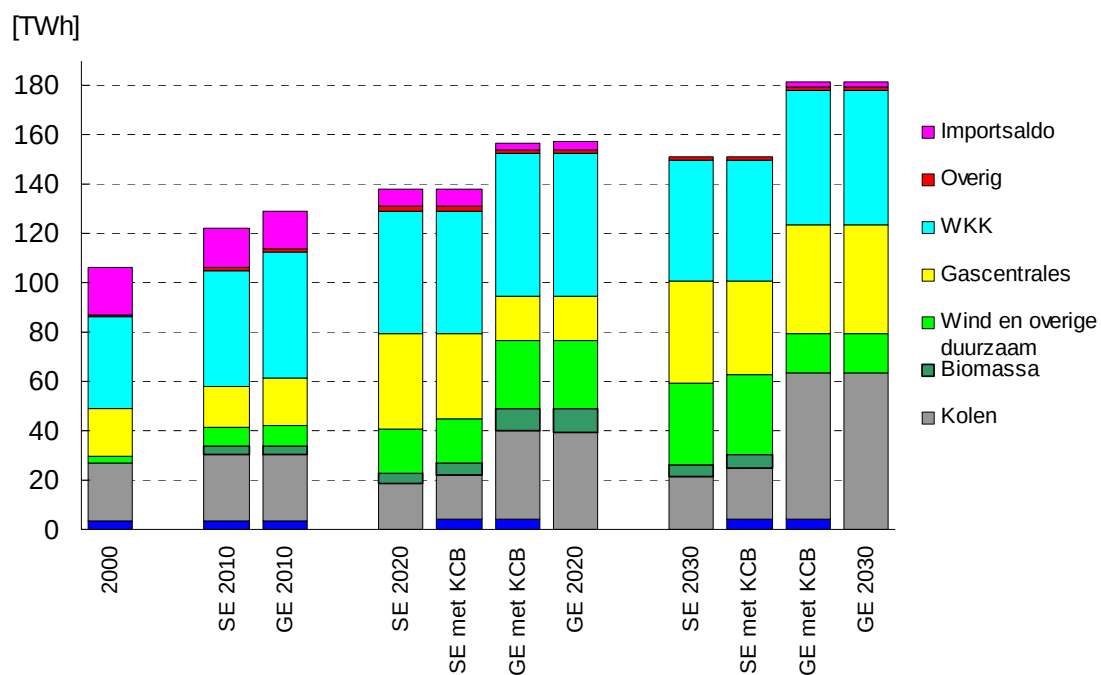
Omdat de inzet van biomassa in de beide toekomstscenario's is gekoppeld aan die van kolen (meestook), zal ook de uit biomassa geproduceerde elektriciteit dalen. Dit heeft gevolgen voor het aandeel duurzame elektriciteit in de brandstofmix. Het aandeel duurzame productie gaat daarmee in 2020 met zo'n 0,8 TWh omlaag, procentueel is dat 0,5% van het finale elektriciteitsgebruik in 2020 (157 TWh). Voor de andere vormen van duurzame productie zijn er geen significante effecten. Na 2020 neemt in het GE-scenario de inzet van biomassa verder af doordat meestook van biomassa niet langer economisch aantrekkelijk is als gevolg van het wegvalLEN van ondersteuning voor duurzame elektriciteitsproductie en beëindiging van de CO<sub>2</sub>-emissiehandel. In het GE-scenario neemt na 2020 ook het aandeel windenergie af, ook door het wegvallen van de MEP-regeling. De biomassa wordt vervangen door kolen. Ten opzichte van het oorspronkelijke GE-scenario zal de toename van koleninzet bij voortzetting van de exploitatie van de KCB na 2020 iets geringer zijn.

Gezien de marginale verschillen in de resulterende elektriciteitsprijzen (zie Paragraaf 3.1.2), wordt het aandeel van decentrale WKK in de brandstofmix niet noemenswaardig beïnvloed. Veranderingen in de brandstofmix doen zich hoofdzakelijk voor bij de centrale elektriciteitsproductie.

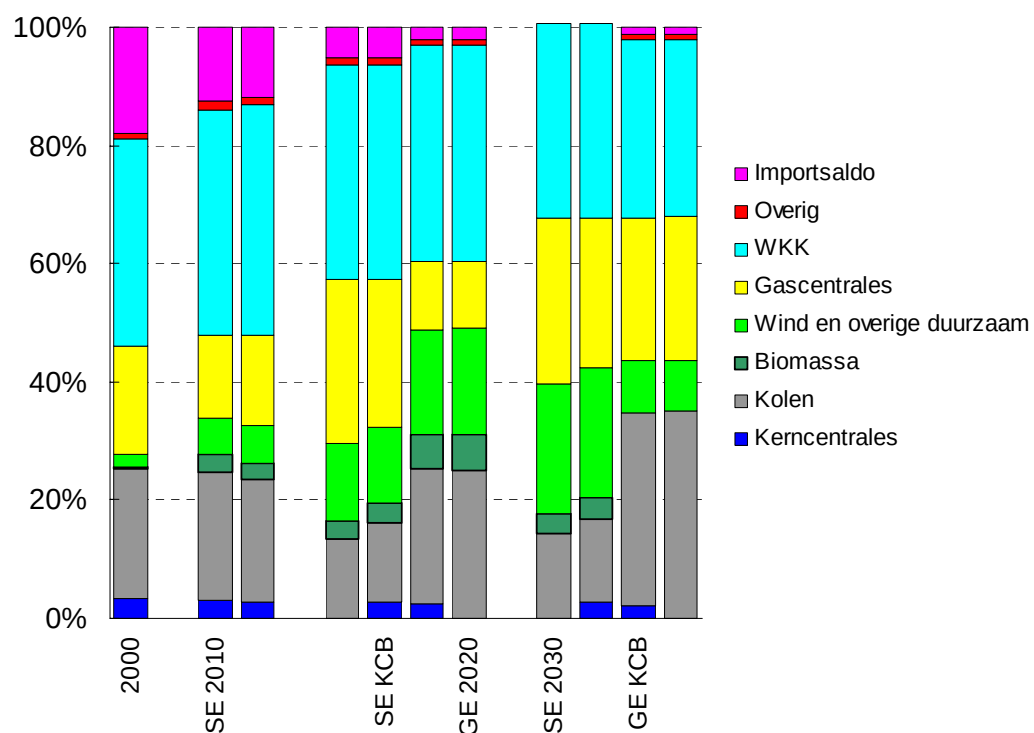
Tabel 3.1 vat de mutaties samen voor de zichtjaren 2015-2030, zowel ten aanzien van de elektriciteitsproductie als voor wat betreft de primaire energie. Het totale elektriciteitsverbruik voor de jaren 2020 en 2030 is daarbij aangegeven, om de mutaties tevens te kunnen beoordelen ten opzichte van deze totalen.

---

<sup>7</sup> De brandstofmix voor 2030 is een indicatie voor de definitieve WLO resultaten, omdat deze nog niet beschikbaar zijn. De relatieve aandelen van de brandstofmix worden vrij robuust geacht.



Figuur 3.2 Elektriciteitsproductie mix 2000-2030 (absoluut)



Figuur 3.3 Elektriciteitsproductie mix 2000-2030 (relatief)

### 3.1.4 Importsaldo

Voortzetting van de exploitatie van de KCB na 2013 heeft geen significante invloed op de elektriciteitsprijzen (Paragraaf 3.1.2). Hierdoor is het effect op het importsaldo ook niet significant. Uitwisseling met het buitenland is immers afhankelijk van het verschil in marktprijzen. De gemiddelde verschillen voor het importsaldo in de periode 2015-2030 zijn minder dan 0,1 TWh/jaar. De onzekerheidsmarge voor het importsaldo is echter relatief groot als gevolg van diverse onzekere factoren<sup>8</sup>. De omvang van de importstromen uit de verschillende landen waarmee een verbinding bestaat zullen ook niet significant wijzigen. Daarom zal ook niet meer of minder nucleaire stroom uit bijvoorbeeld Frankrijk of Duitsland worden geïmporteerd.

Hierbij moet de kanttekening worden geplaatst dat, gezien de dynamiek van de elektriciteitsmarkt en het feit dat er in een specifiek jaar een behoorlijke toename of afname in productievermogen kan plaatsvinden, er op jaarbasis af en toe grotere verschillen kunnen ontstaan ten opzichte van het gemiddelde over de jaren 2014-2030 (zie ook bijvoorbeeld Tabel 3.1, GE-scenario, zichtjaren 2025 en 2030).

Ten aanzien van gevolgen op het importsaldo is tevens een aparte gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Die gevoeligheidsanalyse gaat uit van geen enkele investeringsrespons. Dat wil zeggen, het sluiten van de KCB wordt niet gecompenseerd met nieuw fossiel vermogen. In dat geval kunnen zich wel significante effecten voordoen wat betreft de stroomimporten, omdat er zich in dat geval wel significante effecten in de elektriciteitsprijs kunnen voordoen. Ter illustratie: indien er geen nieuw fossiel vermogen in de plaats van de KCB komt, nemen ten opzichte van de situatie 'Voortzetten bedrijfsvoering' bijvoorbeeld de importen uit Duitsland toe met 0,7 tot 0,9 TWh/jaar, afhankelijk van welk van beide toekomstscenario's het betreft.

---

<sup>8</sup> Verschillende onzekere factoren zijn in (ECN/MNP, 2005) en in (Gijsen en Seebregts, 2005) geïdentificeerd en resulteren in een bandbreedte voor het importsaldo van -3 tot +12 TWh/jaar in 2020 ten opzichte van de referentiewaarden. De belangrijkste onzekere factoren betreffen de brandstofprijzen, het moment waarop nieuwe interconnectie verbindingen wel of niet tot stand komen, de CO<sub>2</sub> prijs en het wel of niet investeren in nieuwe kolen centrales.



Tabel 3.1 *Mutaties bij centrale elektriciteitsproductie bij voorzetting van de exploitatie van de KCB na 2013 ten opzichte van sluiting*

|                 | Mutaties elektriciteitsproductie 2015-2030 |       |       |       |                     |                                   | Finale elektriciteitsvraag   |                                |       |
|-----------------|--------------------------------------------|-------|-------|-------|---------------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------|
|                 | [TWh/jr]                                   |       |       |       |                     |                                   | [TWh]                        |                                |       |
|                 | 2015                                       | 2020  | 2025  | 2030  | Gemiddeld 2015-2030 | T.o.v. 2020<br>centrale productie | Centrale productie 2020      | 2020                           | 2030  |
|                 |                                            |       |       |       | [TWh/jr]            | [%]                               | [TWh]                        |                                |       |
| GE              |                                            |       |       |       |                     |                                   |                              | 157,2                          | 181,9 |
| Gas (excl. WKK) | 0,3                                        | 0,2   | 0,7   | -0,2  | 0,3                 | 1,4                               | 18,0                         |                                |       |
| Kolen           | -3,4                                       | -3,4  | -4,3  | -4,2  | -3,8                | -9,7                              | 39,3                         |                                |       |
| Duurzaam        | -0,8                                       | -0,8  | 0,1   | 0,0   | -0,4                | -1,0                              | 37,7                         |                                |       |
| Importsaldo     | 0,1                                        | -0,1  | 0,5   | -0,4  | 0,04                | 1,3                               | 3,2                          |                                |       |
| SE              |                                            |       |       |       |                     |                                   |                              | 138,2                          | 148,9 |
| Gas (excl. WKK) | -3,4                                       | -4,0  | -3,7  | -3,8  | -3,7                | -9,6                              | 38,6                         |                                |       |
| Kolen           | -0,4                                       | 0,0   | -0,2  | -0,1  | -0,2                | -1,1                              | 18,4                         |                                |       |
| Duurzaam        | -0,1                                       | -0,1  | 0,0   | -0,1  | -0,1                | -0,4                              | 22,3                         |                                |       |
| Importsaldo     | 0,1                                        | -0,1  | 0,0   | 0,0   | 0,01                | -0,2                              | 7,2                          |                                |       |
|                 | Mutaties primaire energie 2015-2030        |       |       |       |                     |                                   |                              |                                |       |
|                 | [PJ/jr]                                    |       |       |       |                     |                                   |                              |                                |       |
|                 | 2015                                       | 2020  | 2025  | 2030  | Gemiddeld 2015-2030 | t.o.v. 2020<br>totaal primair     | Elekt. prod. Primair<br>2020 | Totaal energie primair<br>2020 |       |
|                 |                                            |       |       |       | [PJ/jr]             | [%]                               | [PJ]                         | [PJ]                           |       |
| GE              |                                            |       |       |       |                     |                                   |                              |                                |       |
| Gas (excl. WKK) | 2,4                                        | 1,1   | 4,6   | -1,1  | 1,7                 | 0,3                               | 544                          | 1542                           |       |
| Kolen           | -28,0                                      | -28,3 | -37,9 | -33,2 | -31,8               | -9,3                              | 341                          | 477                            |       |
| Biomassa        | -7,0                                       | -7,0  | 0     | 0     | -3,5                |                                   |                              |                                |       |
| SE              |                                            |       |       |       |                     |                                   |                              |                                |       |
| Gas (excl. WKK) | -21,3                                      | -24,6 | -23,2 | -23,2 | -23,1               | -3,6                              | 640                          | 1546                           |       |
| Kolen           | -4,3                                       | -0,4  | -2,1  | -0,6  | -1,9                | -1,0                              | 187                          | 322                            |       |
| Biomassa        | -1,1                                       | -0,1  | -0,5  | -0,2  | -0,5                |                                   |                              |                                |       |

### 3.2 Kosten elektriciteitsproductie

Om de exploitatie van de KCB na 2013 te kunnen voortzetten zullen waarschijnlijk investeringen nodig zijn in verband met de technische veiligheid. Hoofdstuk 6 gaat nader in op de levensduur van de kerncentrale en de aard van mogelijke investeringen. Bij kerncentrales die vergelijkbaar zijn met de KCB worden investeringen voor het veilig in bedrijf houden van de centrale gedurende een periode van 10 tot 20 jaar in het verlengde van de ontwerp levensduur van 40 jaar geraamd op 120\$<sub>2000</sub>/kW tot 680\$<sub>2000</sub>/kW (IAEA, 2002), hetgeen overeenkomt met een investering voor de KCB van 45 tot 255 miljoen euro. Uitgaande van deze investeringen kan een kostprijs voor elektriciteit worden berekend die ligt tussen 23 en 26 €/MWh<sup>9</sup>.

De investeringskosten voor een STEG bedragen ongeveer 525 €/kW en voor een poederkoolcentrale 1150 €/kW (ECN/MNP, 2005)<sup>10</sup>. Deze waarden zijn indicatief voor investeringen in de periode 2010-2020. Uitgaande van deze investeringsniveaus kunnen de volgende kostprijzen voor elektriciteit worden berekend<sup>11</sup>:

- Poederkoolcentrale: 41 tot 50 €/MWh
- STEG: 45 tot 50 €/MWh.

In geval van voortzetting van de exploitatie van de KCB ligt de kostprijs voor het produceren van de elektriciteit ongeveer op de helft van de kostprijs van vervangende elektriciteitsproductie bij sluiting van de KCB. Dat de elektriciteitsmarktprijs nauwelijks verandert bij voortzetting van de exploitatie van de KCB hangt samen met het feit er geen noemenswaardige beïnvloeding is van de marginale centrale die bepalend is voor de elektriciteitsprijs.

### 3.3 Leverings- en voorzieningszekerheid

Mits ruim voor 2013 besluitvorming over sluiting, dan wel voortzetting van de exploitatie van de KCB plaatsvindt (meer dan vijf jaar daarvoor) is er geen significant effect op de reservecapaciteit van de centrale elektriciteitsvoorziening<sup>12</sup> te verwachten. Immers, de respons van de elektriciteitsmarkt bestaat uit eerder of later realiseren van nieuw productievermogen door fossiel gestookt vermogen waarvan de capaciteit tenminste vergelijkbaar is met die van de KCB. Omdat de elektriciteitsprijzen niet significant veranderen, zal er bij de decentrale opwekking (bijvoorbeeld via WKK in de industrie) ook geen sprake zijn van een toe- of afname van het productievermogen. Gevoegd bij de niet significante effecten op de importsaldi, kan gesteld worden dat het wel of niet voortzetten van de bedrijfsvoering van de KCB ook geen significante effecten zal hebben op de leveringszekerheid van het productiepark.

<sup>9</sup> Op basis van een annuïteitenberekening bij 10% reële rentevoet en een verlengde exploitatieperiode van 20 jaar.

<sup>10</sup> De gerefereerde studie geeft ook een bandbreedte voor grootheden zoals kosten en rendementen, en afgeleid daarvan een bandbreedte voor de kostprijs per optie.

<sup>11</sup> Op basis van een annuïteitenberekening bij 10% reële rentevoet en een exploitatieperiode van 20 jaar. De bandbreedte resulteert uit verschillen in gas-, kolen- en CO<sub>2</sub>-prijzen zoals gebruikt in beide toekomstscenario's (zie Paragraaf 2.1 en Bijlage A).

<sup>12</sup> Indien geen investeringsrespons wordt verondersteld, en de Nederlandse productiecapaciteit zou verminderen in de periode 2014-2030, neemt de centrale reservefactor zo'n 3%-punt af. In het GE-scenario is die reservefactor in 2020 circa 1,22. Zonder de KCB is die factor 1,19. Bij bepalen van de reservefactor wordt het beschikbare centrale productievermogen gedeeld door de maximale piekvraag. Er is een gemiddelde beschikbaarheid van 90% verondersteld, en het intermitterende duurzame vermogen - met name windvermogen - is rond 2015 gewaardeerd met een factor 0,2. Opgemerkt zij dat bij grotere aandelen windenergie er andere waarderingsfactoren kunnen zijn, zoals recent in de studie (CPB/ECN, 2005) is aangegeven. De reservefactor doet geen uitspraak over de kans op onvermogen, maar is een indicator voor mutaties in de beschikbare productiecapaciteit ten opzichte van de verwachte piekvraag. Andere indicatoren voor de leveringszekerheid zijn prijspieken op de day-ahead markt en importsaldi (Scheepers et al, 2004).

Zoals uit de vorige paragraaf is gebleken heeft het sluiten of openhouden van de KCB wel invloed op de brandstofmix waaruit de elektriciteit in Nederland wordt opgewekt. Voortzetting van de exploitatie van de KCB zorgt ervoor dat uranium deel blijft uitmaken van de primaire brandstofmix waaruit elektriciteit wordt opgewekt. Wanneer de KCB sluit zal deze elektriciteitsproductie worden gesubstitueerd door kolen of gas. De brandstofdiversificatie vermindert daardoor.

Wanneer de KCB in 2013 in bedrijf blijft, wordt hierdoor in het SE-scenario vooral aardgas uitgespaard. Gemiddeld is dat circa 23 PJ per jaar (oftewel 0,7 miljard kubieke meter aardgas). Dat is circa 1,5% van de totale hoeveelheid aardgas die in het SE-scenario in 2020 wordt gebruikt (ruim 1546 PJ, oftewel 48 miljard kubieke meter). Wanneer de KCB in 2013 wordt gesloten heeft de extra inzet van aardgas slechts een beperkt effect op de uitputting van de Nederlandse aardgasvoorraden of op de import van aardgas uit het buitenland.

### 3.4 Andere mogelijke reacties

In Paragraaf 3.1 is beschreven dat in de referentiesituatie, dat wil zeggen de situatie waarbij de exploitatie van de KCB eind 2013 wordt beëindigd, het vermogensverlies wordt opgevangen door nieuw gas- of kolengestookt vermogen, afhankelijk van het toekomstscenario. In afwijking van de twee toekomstscenario's en de meest aannemelijke respons in de context van die scenario's, kan het vermogensverlies ook nog op andere manieren worden opgevangen. Dat betekent dat de referentiesituatie verandert. Dat heeft gevolgen voor de resultaten van de hier uitgevoerde analyses. In de navolgende paragrafen zullen enkele mogelijke veranderingen in de referentiesituatie worden besproken. De veranderingen die hier worden besproken, nl. extra duurzame productie en extra elektriciteitsbesparing hebben qua CO<sub>2</sub> emissies dezelfde effecten als het voortzetten van de bedrijfsvoering van de KCB. Een integrale vergelijking op alle beoordelingsaspecten met de situatie waarbij de kerncentrale in 2013 in bedrijf blijft, is niet uitgevoerd.

In Paragraaf 3.4.1 wordt nagegaan in hoeverre het vermogensverlies kan worden opgevangen door extra duurzame elektriciteitsproductie boven op de duurzame elektriciteitsproductie waarvan in de scenario's al is uitgegaan. Compensatie door extra energiebesparing waardoor een vermindering van het elektriciteitsverbruik ontstaat komt in Paragraaf 3.4.2 aan de orde. Paragraaf 3.4.3 bespreekt de mogelijke keuze van marktpartijen voor andere typen elektriciteitscentrales.

De vergelijkbare duurzame productie of de extra besparing op elektriciteit is gelijk gesteld aan de productie van de KCB, te weten 4 TWh (zie ook Paragraaf 2.1).

#### 3.4.1 Extra duurzame elektriciteitsproductie

Als extra duurzame elektriciteitsproductie worden hier twee mogelijkheden besproken, die reeds in de oorspronkelijke toekomstscenario's al grootschalig worden toegepast: windenergie op zee en biomassa.

##### *Wind op zee*

In beide toekomstscenario's is in de periode tot 2020 al een relatief groot aandeel windenergie geprojecteerd, zowel op land als op zee, zie Tabel 3.2 (ECN/MNP, 2005). In het SE-scenario wordt een verdere doorgroei naar 10 GW in 2040 voorzien.

Tabel 3.2 *Opgesteld vermogen windenergie in toekomstscenario's SE en GE, 2020*

| Scenario | Wind op Land<br>[MW] | Wind op Zee<br>[MW] |
|----------|----------------------|---------------------|
| SE       | 2000                 | 3500                |
| GE       | 3000                 | 6000                |

Voor een jaarlijkse extra elektriciteitsproductie van 4 TWh door wind op zee, is circa 1140 MW nodig, uitgaande van 3500 vollasturen (load factor 40%, conform (ECN/MNP, 2005) en (CPB/ECN, 2005)). Deze 1140 MW is gelijk aan 19% van de eerder genoemde 6000 MW wind op zee. Hiermee is een investering gemoeid van 1,7 tot 2 miljard euro. Dit bedrag is gebaseerd op een kostenrange van 1500 tot 1800 €/kW rond 2015 zoals gerapporteerd in (CPB/ECN, 2005). In die studie golden de SE- en GE-scenario's ook als uitgangspunt van de analyse. Indien wordt verondersteld dat hiermee ook 19% van de maatschappelijke kosten als genoemd in (CPB/ECN, 2005) zouden zijn gemoeid, levert dat 0,6 tot 1,0 miljard euro aan netto maatschappelijke kosten op.

De huidige MEP-vergoeding voor wind op zee is 9,7 €/kWh (van Sambeek et al., 2004). Indien deze vergoeding volledig wordt toegerekend naar de vermeden CO<sub>2</sub>-emissie van het fossiele alternatief (dat wil zeggen hetzij een gasgestookte STEG of een poederkoolcentrale), dan kan daaruit een indicatie van de kosten per vermeden ton CO<sub>2</sub> worden bepaald. Uitgaande van de eerder genoemde MEP-vergoeding voor wind op zee komt dit overeen met circa 130 tot bijna 280 €/ton CO<sub>2</sub> voor resp. een gasgestookte STEG en een poederkoolcentrale als alternatieve fossiele opties<sup>13</sup>.

### *Biomassa*

KEMA heeft in opdracht van Greenpeace de mogelijkheden onderzocht van een 1000 MW<sub>e</sub> biomassa centrale, bestaande uit 4 eenheden van 250 MW<sub>e</sub> (KEMA, 2005). Deze centrale zou ca. 7 TWh elektriciteit kunnen leveren (bij 7000 vollasturen, 80% beschikbaarheid).

KEMA concludeert o.a. dat:

- zo'n concept technisch haalbaar is onder de huidige milieuregels,
- de benodigde biomassa moet worden geïmporteerd,
- de kostprijs per kWh gelijk of hoger is dan van het meestoken van biomassa.

Deze laatste conclusie is in overeenstemming met de Referentieramingen Energie en Emissies 2005-2020 (ECN/MNP, 2005). Daarom zijn in beide toekomstscenario's zelfstandige biomassa centrales niet voorzien maar is er wel een meestook percentage van 20% verondersteld voor het totale kolenvermogen.

### 3.4.2 Extra energiebesparing

In de beide toekomstscenario's bedraagt het tempo van energiebesparing tot 2020 gemiddeld 1% per jaar, en is de verwachting dat dit zo blijft bij het huidige en geïnstrumenteerde beleid (ECN/MNP, 2005). In het Energierapport 2005 'Nu voor later' (EZ, 2005) is de intentie uitgesproken om te komen tot een tempoverhoging tot 1,3% c.q. 1,5% na 2012, afhankelijk van Europese maatregelen. Het rapport van de VROM-raad en de Algemene Energieraad (VROM/AER, 2004) gaat verder en bepleit een besparingstempo van 2%. Ook bij de Tweede Kamer leeft de wens om meer te doen aan besparing, getuige de motie Van der Ham/Spies die eveneens het energiebesparingstempo wil opvoeren tot 2% per jaar. In het Energierapport 2005 is aangegeven dat nieuwe energiebesparinginstrumenten nodig zijn. Daarbij wordt een belangrijke rol toebedeeld aan Energiebesparingcertificaten, ook wel Witte Certificaten genoemd.

<sup>13</sup> c.f. (Boonekamp et al., 2004) waarin voor wind op zee een schatting van 250 €/ton CO<sub>2</sub> wordt genoemd.

In de recent gepubliceerde ‘Evaluatienota Klimaatbeleid’ (VROM, 2005b) is aangegeven dat de bereikte CO<sub>2</sub> reductie door energiebesparing in de jaren 1999-2003 het meest kosten-effectief was. De kosteneffectiviteit van hernieuwbare energie waren ca. 300 €/ton vermeden CO<sub>2</sub>. Energiebesparing was over het algemeen een factor 6 tot 7 kosteneffectiever, uitgaande van de nationale kosten methodiek. Uitgaande van eindverbruikersmethodiek heeft elke bespaarde ton CO<sub>2</sub> de eindverbruikers gemiddeld tussen de 110 en 160 €/ton opgeleverd<sup>14</sup>. De kosten voor de overheid waren gemiddeld 80 €/ton, dus minder dan de baten voor de eindverbruikers. Deze baten voor eindverbruikers en kosten voor overheid zijn niet te salderen, omdat de kosteneffectiviteiten vanuit een verschillende methodiek zijn bepaald (o.a. door het gebruik van verschillende disconteringsvoeten in de twee methodieken). De totale kosten voor het binnenlands klimaat in de periode 1999-2003 zijn geschat op 1500 tot 3200 miljoen euro. Zonder dit beleid zouden de CO<sub>2</sub> emissies 11 Mton hoger zijn. Energiebesparing leverde het grootste deel van het effect (8 Mton).

In Tabel 3.3 staan de bereikte besparingen op het elektriciteitsverbruik in de oorspronkelijke toekomstscenario’s weergegeven. De besparing op het finale elektriciteitsverbruik in de periode 2005-2015 is 0,7% per jaar in beide scenario’s. Uitgedrukt in TWh betekent dat in 2015 ca. 9 tot 10 TWh, voor resp. het SE- en GE-scenario.

Tabel 3.3 *Besparing op het finaal elektriciteitsverbruik vanaf 2005*

| Scenario                                                 | Bespaard ten opzichte van 2005<br>[TWh] |      |      |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------|------|
|                                                          | 2010                                    | 2015 | 2020 |
| GE                                                       | 4,6                                     | 9,9  | 15,7 |
| SE                                                       | 4,2                                     | 8,7  | 13,5 |
| Besparingstempo elektriciteitsverbruik, 2005-2015<br>[%] |                                         |      |      |
| GE                                                       | 0,70                                    |      |      |
| SE                                                       | 0,68                                    |      |      |

Een *extra* verlaging van het elektriciteitsverbruik van 4 TWh/jaar vanaf 2015 betekent in het SE-scenario dat de jaarlijkse groei in de elektriciteitsvraag 0,4%-punt lager zou moeten uitvallen. In het GE-scenario gaat het om een verlaging van de groei met 0,2%-punt (zie Tabel 3.4). Deze verlaging van de groei kan in principe worden gerealiseerd door extra besparing op het elektriciteitsverbruik.

Tabel 3.4 *Gemiddelde jaarlijkse groei in de elektriciteitsvraag 2005-2015*

| Scenario | Met 4 TWh/jaar besparing<br>[%] |     |
|----------|---------------------------------|-----|
| GE       | 2,3                             | 2,1 |
| SE       | 1,6                             | 1,2 |

<sup>14</sup> Begin 2006 zullen analyses voor het toekomstscenario Global Economy worden gekoppeld aan het dan te verschijnen 'Optiedocument 2020'. Daarin zullen ten aanzien van (extra) CO<sub>2</sub> reductie en (extra) energiebesparing, kosten-effectiviteiten worden aangegeven vanuit zowel de eindverbruikersmethodiek als de nationale kostenmethodiek. Die analyses zullen dus een beeld schetsen van de mogelijkheden van de verschillende opties, beter passend bij de termijn waarop de KCB wel of niet in bedrijf blijft.

Door ECN (Menkveld et al., 2005) is een studie uitgevoerd naar het onbenut rendabel<sup>15</sup> besparingspotentieel in het GE-scenario. Met het onbenut besparingspotentieel kan het nationale besparingstempo met 0,3%-punt omhoog, tot 1,3% per jaar. Deze potentieelstudie heeft niet aangegeven met welk beleid deze besparing kan worden gerealiseerd. Uit de studie blijkt dat er met name bij de huishoudens en de sector Handel, Diensten en Overheid (HDO) een onbenut besparingspotentieel voor elektriciteit ligt, van in totaal bijna 10 TWh/jaar. De studie komt tot 2,5 TWh als indicatieve schatting voor de onbenutte besparing op het elektriciteitsgebruik in de huishoudsector. Besparingsopties zijn o.a.: spaarlampen, koel- en vriesapparatuur, PC en randapparatuur, en het terugdringen van stand-by gebruik. In de sector HDO is ruim 7 TWh/jaar onbenut besparingspotentieel aanwezig. Het betreft met name opties op het gebied van verlichting, ventilatie, koudeopslag, koeling, computers en kantoorapparatuur. Uitgaande van deze cijfers is het aannemelijk dat voor het jaar 2015 in deze beide sectoren een extra besparingspotentieel van 4 TWh aanwezig is. De kanttekening die hierbij moet worden geplaatst is dat deze resultaten alleen gelden voor het GE-scenario waarbij is uitgegaan van het bestaande energie- en klimaatbeleid en van de aannames over o.a. de ontwikkeling van energie- en CO<sub>2</sub>-prijzen, economische groei en marktcondities.

De kosten die zijn gemoeid met een *extra* besparing van 4 TWh/jaar op elektriciteit zijn echter niet eenvoudig te bepalen. Zij hangen immers sterk af van wat al in de toekomstscenario's is verondersteld. Naarmate daarin al relatief veel besparing is verondersteld, betekent dat voor *extra* besparing alleen nog de duurdere opties overblijven. Op basis van voorlopige resultaten uit het binnenkort te verschijnen Optiedocument 2020, lijken elektriciteitsbesparingen in de huishoudens en in de industrie het meest kosteneffectief<sup>16</sup>. Deze berekeningen bevestigen de eerdere inschattingen uit (Menkveld et al., 2005).

Opgemerkt kan worden dat, zelfs indien de elektriciteitsvraag in 2014 of 2015 ten opzichte van de oorspronkelijke toekomstscenario's 4 TWh/jaar minder zou zijn, het nog steeds plausibel is dat, vanuit de elektriciteitsmarkt geredeneerd, het voortzetten van de bedrijfsvoering van de kerncentrale of het bouwen van een nieuwe elektriciteitscentrale meer in de rede ligt. De producent kan namelijk, gegeven de marktomstandigheden en de (voorziene) elektriciteitsprijzen, rendabel produceren. Minder elektriciteitsvraag zal voornamelijk effect hebben op het tijdstip waarop dit nieuwe vermogen interessant wordt. Besparing op de elektriciteitsvraag zal dat moment uitstellen.

### 3.4.3 Andere typen centrales

#### *Innovatieve elektriciteitsproductieopties*

In de beide toekomstscenario's SE en GE wordt al rekening gehouden met innovatieve opties voor elektriciteitsopwekking. In beide scenario's gaat het in de periode tot 2020 met name om de grootschalige inzet van windenergie, zowel op land als op zee. In het SE-scenario komt na 2025 met name CO<sub>2</sub>-afvang in beeld (zie Figuur 3.4). Vanwege de stijgende aardgasprijzen en de wens tot diversificatie van het portfolio kiezen de producenten dan bij voorkeur voor een kolenvergassing STEG met CO<sub>2</sub>-afvang. Een dergelijke optie kan bij een CO<sub>2</sub>-prijs van 30 tot 40 €/ton CO<sub>2</sub> en bij de veronderstelde brandstofprijzen rendabel worden.

Behalve deze meer innovatieve opties, is er een gestage rendementsverbetering verondersteld bij conventionele opties als een gasgestookte STEG en poederkoolcentrales. Tevens wordt er fors

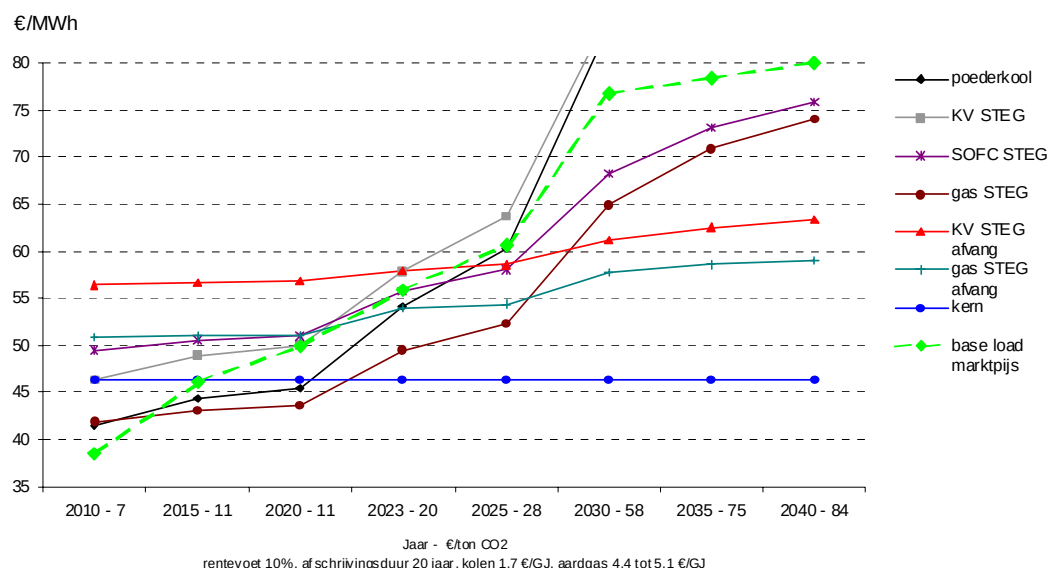
---

<sup>15</sup> Als rentabiliteitscriterium is in deze studie een terugverdientijd van minder van vijf jaar gehanteerd op basis van eindverbruikerskosten.

<sup>16</sup> Gebaseerd op een integrale doorrekening van alle CO<sub>2</sub> reductie opties, en ten opzichte van het oorspronkelijke GE toekomstscenario. De definitieve resultaten uit het Optiedocument 2020 zijn nog niet beschikbaar ten tijde van het opstellen van het onderhavige rapport.

ingezet op meestook van biomassa in kolencentrales, zowel in bestaande als nieuwe kolencentrales.

De elektriciteitsprijs wordt niet significant beïnvloed door de KCB (Paragraaf 3.1.2). Daardoor zullen er ook geen wijzigingen optreden bij bedrijfseconomische analyses die producenten maken bij keuzes tussen verschillende elektriciteitsproductietechnologieën.



Figuur 3.4 *Ontwikkeling integrale kosten van verschillende innovatieve elektriciteitsproductietechnologieën en de baseload prijs onder het SE-scenario*

### *Voornemens Nederlandse producenten*

Tabel 3.5 toont een overzicht van voornemens van Nederlandse producenten voor realisatie van nieuwe elektriciteitscentrales. Enerzijds gaat het daarbij om uitbreiding van bestaande centrales (Essent) en nieuwbouw van gasgestookte STEG's (Electrabel, Delta) waarvan ook in de toekomstscenario's is uitgegaan. Anderzijds worden ook investeringen voorgesteld in andere typen centrales, zoals een multi-fuel centrale (Nuon) en een kerncentrale (Delta).

De multi-fuel centrale van 1200 MW (Utilities, 2005) waarvan de haalbaarheid door Nuon wordt onderzocht, is gebaseerd op de vergassingstechnologie van de KV STEG in Buggenum. De multi-fuel centrale vergt een investering van ca. 1 miljard euro, dus ruim 830 €/kW. Nuon wil hierover in 2007 een definitief besluit nemen. De centrale zal een mix van biomassa, kolen en aardgas moeten gaan verstoken. De multi-fuel centrale komt daarmee tussen de gasgestookte STEG en de poederkoolcentrale (incl. 20% meestook) uit de twee toekomstscenario's in te liggen. Dit geldt ook voor beoordeling van de verschillende aspecten in de systeemanalyse, in zoverre deze van de toekomstscenario's afhankelijk zijn.

Delta heeft aangegeven te willen investeren in een nieuwe kerncentrale (FD, 2005). Essent, Electrabel en Nuon hebben juist aangegeven niet in nieuwe kerncentrales te willen investeren (Stromen, 2005). In de referentiesituatie waarbij tot sluiting wordt overgegaan van de KCB is de bouw van een nieuwe kerncentrale niet erg plausibel. In die situatie zal het investeringsklimaat voor kerncentrales door marktpartijen waarschijnlijk als ongunstig worden beschouwd, ook als de wetgeving vestiging van nieuwe kerncentrales toestaat. De uitspraak van Delta past meer bij de situatie waarbij tot voortgezette exploitatie van de KCB wordt besloten. Het zou dan kunnen gaan om een extra kerncentrale of een opvolger voor de KCB.

Tabel 3.5 *Nieuwbouwplannen Nederlandse elektriciteitsproducenten*

| Producent  | Soort centrale, omvang en tijdstip eerste productie (in zoverre bekend)                                                             |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nuon       | Type: Multi-fuel centrale op basis van kolen, biomassa en aardgas<br>Vermogen: 1200 MW <sub>e</sub><br>In bedrijfstelling: 2011     |
| Electrabel | Type: STEG (Flevocentrale)<br>Vermogen: 800-900 MW<br>In bedrijfstelling: 2009<br>Kolen/biomassa (Rotterdam)<br>Vermogen 600-800 MW |
| Delta      | Type: STEG (Sloecentrale)<br>Vermogen: 800 MW<br>In bedrijfstelling: 2008                                                           |
| Delta      | Nieuwe kerncentrale                                                                                                                 |
| Eneco      | Type: gasgestookte (Rotterdams Havengebied of Eemshaven)<br>Vermogen: 800 MW<br>In bedrijfstelling: 2009                            |
| Essent     | Upgrading bestaande gascentrale (Clauscentrale)<br>Vermogen: 280 MW (van 640 naar 920 MW)                                           |

### 3.5 Effecten bij een hogere olie- en aardgasprijs

Een hogere olieprijs en daardoor hogere aardgasprijs heeft effect op het toekomstscenario. De mogelijke gevolgen van voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB ten opzichte van sluiting van de KCB in 2013 is nagegaan voor het GE-scenario bij zo'n hogere aardgasprijs. De berekening van de gevolgen hebben zich beperkt tot de gevolgen voor het elektriciteitssysteem, in het bijzonder ten aanzien van de gevolgen voor de elektriciteitsprijs, de brandstofmix en het importsaldo. De gevolgen voor de CO<sub>2</sub> SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> emissies kunnen daaruit worden afgeleid. Deze paragraaf concentreert zich op de brandstofmix.

De olieprijs in de Referentieramingen is gebaseerd op CPB-scenariogegevens (Bollen et al., 2004). Voor het afleiden van de aardgasprijs is tevens gebruik gemaakt van een olieprijsscenario van de US DOE (US DOE, 2003). Voor 2005 lag de olieprijs in dit scenario tussen de 22 en 23 US\$<sub>2000</sub>/vat. De gevoeligheidsanalyse gaat uit van 50 US\$<sub>2005</sub>/vat<sup>17</sup>, hetgeen overeenkomt met 48 US\$<sub>2000</sub>/vat<sup>18</sup>. Dit is ongeveer een verdubbeling van de prijs voor ruwe olie. In de gevoeligheidsanalyse is het hele prijspad 2005-2030 van het oorspronkelijke olieprijsscenario met deze factor verhoogd. Het effect op de aardgasprijs is een stijging van circa +1,9 €/GJ (+6,1 €/m<sup>3</sup>) boven op de oorspronkelijke prijs, die van 3,6 (2005) tot 4,9 €/GJ (2030) liep.

Voor de gasprijzen voor elektriciteitsproductie in de landen waarmee importverbindingen bestaan, wordt dezelfde stijging verondersteld zodat ook de elektriciteitsprijzen in die landen kunnen veranderen.

Wanneer de te beoordelen situatie, dat wil zeggen de voortzetting van de exploitatie, wordt vergeleken met deze nieuwe referentiesituatie dan blijken de effecten in dezelfde orde te liggen als bij het oorspronkelijke GE-scenario. De mutaties in de brandstofmix voor de situatie KCB openhouden vergeleken met KCB sluiten zijn vergelijkbaar met de mutaties die in het oorspronkelijke GE-scenario gelden, zie Tabel 3.5 (c.f. Tabel 3.1). De effecten voor de emissies zullen dus ook vergelijkbaar zijn.

<sup>17</sup> Prijsniveau voorjaar 2005. De huidige noteringen olieprijsen liggen rond de 60 a 70 USD/vat.

<sup>18</sup> Terugrekening naar USD<sub>2000</sub> op basis van de CPI voor de US. Omrekening naar €<sub>2000</sub> op basis van de wisselkoers in 2000.



Tabel 3.6 *Effecten op brandstofmix van voortzetting KCB vergeleken met sluiting in GE met lage en GE met hoge olie-/aardgasprijzen*

| Brandstof | GE hoge olie-/aardgasprijs<br>[PJ] | GE oorspronkelijk <sup>1</sup><br>[PJ] |
|-----------|------------------------------------|----------------------------------------|
| Aardgas   | +1                                 | +4                                     |
| Kolen     | -30                                | -32                                    |
| Biomassa  | -3                                 | -3                                     |

<sup>1</sup> Zie ook Tabel 3.1

Om dezelfde redenen als in het oorspronkelijke GE-scenario (zie Paragraaf 3.1) zijn er geen significante verschillen in de elektriciteitsprijzen en de importsaldi.

Indien soortgelijke berekeningen in het SE scenario met hogere olie- en aardgasprijzen zouden zijn uitgevoerd, zouden de effecten van voortzetting versus sluiting van de KCB in de beide SE scenario's ook vergelijkbaar zijn, om dezelfde redenen als in het GE scenario. Wel zullen in een SE scenario met een hogere aardgasprijs, de kosten van productie van gascentrales hoger zijn. De kosten van productie door de KCB zal in die situatie ca. 1/3 zijn van de kosten van productie door een gasgestookte STEG, in plaats van ca. de helft in het oorspronkelijke SE scenario.

### 3.6 Samenvatting en conclusies effecten elektriciteitsmarkt

Het is aannemelijk dat ruim voor 2013 bekend is of de exploitatie van de KCB in 2013 wordt beëindigd of juist wordt voortgezet. Elektriciteitsproducenten zullen in hun investeringsbeslissingen rekening houden met het al dan niet open houden van de KCB na 2013. Wanneer de exploitatie van de KCB wordt voortgezet zal dit in principe leiden tot uitstel van investeringsbeslissingen. In het SE-scenario zullen investeringen in nieuw gasgestookt vermogen (STEG) worden uitgesteld. In het GE-scenario zullen investeringen in nieuwe poederkoolleenheden later plaatsvinden. Effecten op elektriciteitsprijs, kosten elektriciteitsproductie, importsaldo en brandstofmix worden samengevat in Tabel 3.8.

#### *Elektriciteitsprijs en importsaldo*

Voortzetting of beëindiging van de exploitatie KCB heeft in beide toekomstscenario's geen significant effect op de elektriciteitsprijzen in de groothandelsmarkt. De kostprijs van de marginale centrale waarmee de elektriciteitsvraag wordt gedekt wordt niet significant beïnvloed. Omdat elektriciteitsprijzen zich niet wijzigen is er ook geen effect op het importsaldo. Bij onveranderde prijzen zullen er ook geen wijzigingen optreden bij bedrijfseconomische analyses die producenten maken bij keuzes tussen verschillende elektriciteitsproductietechnologieën.

#### *Kosten elektriciteitsproductie*

In geval van voortzetting van de exploitatie van de KCB ligt de kostprijs voor het produceren van deze elektriciteit - gegeven de gekozen uitgangspunten - in beide scenario's op ongeveer de helft van de kostprijs die geldt voor productievermogen dat, bij sluiting, de KCB vervangt. De 4 TWh per jaar goedkoper geproduceerde elektriciteit leidt tot een welvaartsvoordeel voor Nederland.

#### *Brandstofmix*

Voortzetting van de exploitatie van de KCB heeft wel een effect op de brandstofmix van de binnenlandse elektriciteitsproductie. Ten opzichte van sluiting van de KCB zal in het SE scenario voornamelijk minder gasgestookt vermogen worden ingezet, terwijl in het GE scenario minder kolen worden ingezet. Doordat verondersteld is dat biomassa inzet gekoppeld is aan de koleninzet, zal ook het aandeel duurzame elektriciteitsproductie dalen. Tabel 3.7 vat de effecten op de brandstofmix samen, inclusief die bij een hogere olie- en gasprijs in het GE scenario.

Tabel 3.7 *Samenvatting effecten op brandstofmix*

| Scenario                            | Effect op elektriciteitsprijs | Effect op Importsaldo   | Effect op brandstofmix                                                                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SE                                  | Geen significant effect       | Geen significant effect | Gemiddeld 23 PJ/jr aardgas minder<br>Gemiddeld 2 PJ/jr kolen minder<br>Gemiddeld 0,5 PJ/jr biomassa minder |
| GE                                  | Geen significant effect       | Geen significant effect | Gemiddeld 2 PJ/jr aardgas meer<br>Gemiddeld 32 PJ/jr kolen minder<br>Gemiddeld 3,5 PJ/jr biomassa minder   |
| GE met hogere olie- en aardgasprijs | Geen significant effect       | Geen significant effect | Gemiddeld 1 PJ/jr aardgas meer<br>Gemiddeld 30 PJ/jr kolen minder<br>Gemiddeld 3,5 PJ/jr biomassa minder   |

#### *Leverings- en voorzieningszekerheid*

Door een tijdige besluitvorming over de KCB zal er geen effect ontstaan voor de leveringszekerheid van de elektriciteitsproductie. De elektriciteitsmarkt krijgt dan voldoende tijd om bij het maken van plannen voor nieuw productievermogen hiermee rekening te houden. Bij sluiting van de KCB zal de elektriciteitsproductie worden gesubstitueerd door kolen of gas. Hierdoor vermindert de brandstofdiversificatie van de elektriciteitsproductie. Wanneer de KCB na 2013 in bedrijf blijft zal in het SE-scenario vooral minder aardgas worden ingezet, circa 1,5% van de totale hoeveelheid aardgas die in het SE-scenario in 2020 wordt gebruikt.

#### *Andere mogelijke respons*

In principe kan in de referentiesituatie de afname van het productievermogen door sluiting van de KCB ook worden opgevangen met een extra reductie van de elektriciteitsvraag (energiebesparing) of door extra elektriciteitsproductie uit duurzame bronnen. Deze alternatieven komen niet tot stand zonder extra beleid.

Extra energiebesparing van 4 TWh per jaar, gelijk aan de productie van de KCB en te bereiken in 2013, beïnvloedt onder meer de brandstofmix en de daaraan gekoppelde emissies doordat minder fossiele brandstoffen behoeven te worden ingezet voor de elektriciteitsproductie. Een zelfde effect mag verwacht worden bij extra elektriciteitsproductie uit duurzame bronnen. De kosten van extra elektriciteitsproductie uit duurzame bronnen zijn ca. 3 tot 5 maal zo groot als de kosten van productie door de KCB, indien wordt uitgegaan van windenergie op zee of van biomassa meestook in kolencentrales.

Ook bij deze nieuwe referentiesituatie kan sprake zijn van voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB of sluiting. Sluiting blijft invloed houden op de investeringsbeslissingen van elektriciteitproducenten al zullen nieuwe centrales, vanwege de lagere elektriciteitsvraag, pas op een later tijdstip nodig zijn. Dit is in deze studie niet verder onderzocht.

Wanneer sluiting van de KCB wordt afgedwongen door de overheid, is het niet plausibel dat de vermogensreductie wordt opgevangen door een nieuw te bouwen kerncentrale. In die situatie zal het investeringsklimaat voor kerncentrales door marktpartijen waarschijnlijk als ongunstig worden beschouwd, ook als de wetgeving vestiging van nieuwe kerncentrales toestaat.

Tabel 3.8 *Gevolgen voor de elektriciteitsvoorziening van voortzetting van de exploitatie van de kerncentrale Borssele ten opzichte van de situatie van sluiting in 2013*

| Beoordelingsaspect                             | SE-scenario                                                                                                                                                           |                                                                                                         | GE-scenario                                                                                                                                                  |                                                                                                          |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                | Verandering                                                                                                                                                           | Ten opzichte van                                                                                        | Verandering                                                                                                                                                  | Ten opzichte van                                                                                         |
| <i>Elektriciteitsprijs (groothandelsmarkt)</i> | Geen significant effect                                                                                                                                               | Gemiddeld 57 €/MWh voor periode 2014-2030                                                               | Geen significant effect                                                                                                                                      | Gemiddeld 46 €/MWh voor periode 2014-2030                                                                |
| <i>Kosten elektriciteitsproductie</i>          | Integrale kostprijs elektriciteit KCB is ongeveer de helft van die van een gasgestookte centrale. De productie van de KCB betreft 4 TWh per jaar                      |                                                                                                         | Integrale kostprijs elektriciteit KCB is ongeveer de helft van die van een poederkoolcentrale. De productie van de KCB betreft 4 TWh per jaar.               |                                                                                                          |
| <i>Brandstofmix</i>                            | Voor elektriciteitsproductie in 2015-2030:<br>- Gemiddeld 23 PJ/jr aardgas minder<br>- Gemiddeld 2 PJ/jr kolen minder<br>- Gemiddeld 0,5 PJ/jr biomassa minder        | Voor elektriciteitsproductie in 2020:<br>- 187 PJ kolen<br>- 640 PJ gas (excl. WKK)<br>- 76 PJ biomassa | Voor elektriciteitsproductie in 2015-2030:<br>- Gemiddeld 2 PJ/jr aardgas meer<br>- Gemiddeld 32 PJ/jr kolen minder<br>- Gemiddeld 3,5 PJ/jr biomassa minder | Voor elektriciteitsproductie in 2020:<br>- 341 PJ kolen<br>- 544 PJ gas (excl. WKK)<br>- 115 PJ biomassa |
| <i>Importsaldo</i>                             | Geen significant effect                                                                                                                                               | 3,2 TWh in 2020                                                                                         | Geen significant effect                                                                                                                                      | 7,2 TWh in 2020                                                                                          |
| <i>Leverings- en voorzieningszekerheid</i>     | - Geen effect op leveringszekerheid elektriciteit, mits besluitvorming KCB tijdig bekend is.<br>- Gunstig voor brandstofdiversificatie<br>- Gunstig voor gasvoorraden | In 2020 is het binnenlands gasverbruik 1546 PJ, oftewel 49 miljard kubieke meter.                       | - Geen effect op leveringszekerheid elektriciteit, mits besluitvorming KCB tijdig bekend is.<br>- Gunstig voor brandstofdiversificatie                       | In 2020 is het binnenlands gasverbruik 1542 PJ, oftewel 49 miljard kubieke meter.                        |

## 4. Milieueffecten en volksgezondheid

In dit hoofdstuk wordt onderzocht welk effect sluiting of voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB heeft op het milieu en de volksgezondheid. Het gaat daarbij om emissies naar de lucht (Paragraaf 4.1), radioactiviteit (Paragraaf 4.2), effecten volksgezondheid (Paragraaf 4.3), afval (Paragraaf 4.4) en gebruik van grondstoffen (Paragraaf 4.5). In overeenstemming met de analysemethodiek uit Hoofdstuk 2) wordt bij de presentatie van de resultaten de situatie van voortzetting van de exploitatie van de KCB vergeleken met de situatie van sluiting van de KCB in 2013.

Aan het einde van dit hoofdstuk wordt ook nog kort ingegaan op milieueffecten bij stroomimport (Paragraaf 4.6) en stroometikettering (Paragraaf 4.7). In Paragraaf 4.8 wordt een samenvatting gegeven van de invloed die voortzetting of beëindiging van de bedrijfsvoering van de KCB heeft op het milieu.

### 4.1 Emissies naar de lucht

De hier beschouwde emissies naar lucht betreffen kooldioxide ( $\text{CO}_2$ ), zwaveldioxide ( $\text{SO}_2$ ), Stikstofoxiden ( $\text{NO}_x$ ) en fijn stof ( $\text{PM}_{10}$ ).

Zowel kolencentrales als gascentrales hebben nog een aantal andere emissies naar de lucht. Voor kolencentrales zijn dit: koolmonoxide, koolwaterstoffen, chloriden, fluoriden, lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ), koper, chroom, nikkel, vanadium, kwik, lood en zink. Bij gascentrales bestaan de overige emissies uit koolmonoxide, methaan, niet-vluchtige organische stoffen exclusief methaan (NMVOS), etheen, fluorantheen, polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), benzeen en toluen. Ook voor deze overige emissies kunnen enige effecten worden verwacht. De effecten zijn echter moeilijk te kwantificeren omdat de emissies relatief gering zijn.

#### 4.1.1 Emissies van $\text{CO}_2$ , $\text{SO}_2$ , $\text{NO}_x$ en fijn stof

Aan de hand van de veranderingen in de elektriciteitsproductie (Paragraaf 3.1.3) is nagegaan wat de kwantitatieve effecten zijn op de Nederlandse emissies voor  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  en fijn stof. In Tabel 4.1 worden zowel de totale Nederlandse emissies in de beide toekomstscenario's gepresenteerd (ECN/MNP, 2005)<sup>19</sup> als ook de mutaties in de emissies van de centrale elektriciteitsproductiesector, in het geval dat de KCB na 2013 in bedrijf blijft. De reducties in deze emissies als gevolg van het voortzetten van de bedrijfsvoering van de KCB, kunnen worden afgemeten aan de totalen voor 2020, zowel de totalen voor de elektriciteitsproductiesector als het binnenlands totaal voor alle sectoren.

In beide toekomstscenario's zal voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB na 2013 leiden tot een verminderde inzet van fossiele brandstoffen voor de Nederlandse elektriciteitsproductie. Dit hangt samen met de kleinere omvang van het fossiel productievermogen. In het SE-scenario betreft het gasgestookt vermogen; in het GE-scenario betreft het kolengestookt vermogen. Door het verschil in type productievermogen is de emissiereductie in het GE-scenario groter dan in het SE-scenario.

---

<sup>19</sup> Zie ook Bijlage A.2.5.

Afhankelijk van het toekomstscenario vermijdt het in bedrijf houden van de KCB:

- gemiddeld 1,5 tot 2,9 Mton CO<sub>2</sub>, zo'n 0,8 tot 1,4% van de totale CO<sub>2</sub>-emissies in 2020,
- gemiddeld 1,0 tot 1,3 kton NO<sub>x</sub>, zo'n 0,5% van de totale NO<sub>x</sub>-emissies in 2020,
- gemiddeld 0,1 tot 1,1 kton SO<sub>2</sub>, zo'n 0,1% tot 1,3% van de totale SO<sub>2</sub>-emissies in 2020,
- gemiddeld minder dan 0,1 kton PM<sub>10</sub>, niet meer dan 0,1% van de totale PM<sub>10</sub> emissies in 2020.

Wanneer in het GE-scenario wordt uitgegaan van hogere olie- en gasprijzen zijn de effecten van voorzetting van de exploitatie van de KCB vergelijkbaar met die van het oorspronkelijke GE-scenario. Dit komt omdat de verschillen in veranderingen in de brandstofmix gering zijn (zie Paragraaf 3.5).

Tabel 4.1 *Samenvatting effecten op emissies CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub>*

|                       | Mutatie emissies centrale elektriciteitsproductie |       |       |       |                     | Totaal emissies, NL | Gemiddeld effect t.o.v. 2020 totaal NL |
|-----------------------|---------------------------------------------------|-------|-------|-------|---------------------|---------------------|----------------------------------------|
|                       | 2015                                              | 2020  | 2025  | 2030  | Gemiddeld 2015-2030 | 2020                | [%]                                    |
| CO <sub>2</sub> Mton  |                                                   |       |       |       |                     |                     |                                        |
| GE                    | -2,5                                              | -2,6  | -3,3  | -3,2  | -2,9                | 205,3               | -1,4                                   |
| SE                    | -1,6                                              | -1,4  | -1,5  | -1,3  | -1,5                | 187,4               | -0,8                                   |
| NO <sub>x</sub> kton  |                                                   |       |       |       |                     |                     |                                        |
| GE                    | -1,3                                              | -1,4  | -1,3  | -1,4  | -1,3                | 272                 | -0,5                                   |
| SE                    | -1,1                                              | -1,0  | -1,0  | -1,0  | -1,0                | 262                 | -0,4                                   |
| SO <sub>2</sub> kton  |                                                   |       |       |       |                     |                     |                                        |
| GE                    | -1,0                                              | -1,1  | -1,1  | -1,0  | -1,1                | 80                  | -1,3                                   |
| SE                    | -0,2                                              | 0,0   | -0,1  | 0,0   | -0,1                | 64                  | -0,1                                   |
| PM <sub>10</sub> kton |                                                   |       |       |       |                     |                     |                                        |
| GE                    | -0,03                                             | -0,04 | -0,04 | -0,03 | 0,0                 | 47                  | -0,1                                   |
| SE                    | -0,01                                             | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,0                 | 41                  | 0,0                                    |

#### 4.1.2 Emissiehandel

In 2005 is voor CO<sub>2</sub> een Europees handelssysteem (ETS) ingevoerd en voor NO<sub>x</sub> een nationaal handelssysteem. De elektriciteitssector neemt deel aan beide handelssystemen.

##### *CO<sub>2</sub>-emissiehandel*

Voor CO<sub>2</sub> geldt een absoluut plafond dat voor de gehele EU circa 2,2 Gton per jaar bedraagt voor de eerste handelsperiode (2005-2007). Voor Nederland is dit plafond 95 Mton per jaar (4,3% van de gehele EU). CO<sub>2</sub>-emissiehandel zal in ieder geval tot 2020 worden voortgezet en ook daarna in het SE-scenario. In het GE-scenario wordt het handelssysteem na 2020 beëindigd.

Zoals in de vorige paragraaf is gebleken resulteert voortzetting van de exploitatie van de KCB na 2013 in een reductie van de fysieke CO<sub>2</sub>-emissiereductie in Nederland. De CO<sub>2</sub>-emissie die wordt bepaald door het Europese CO<sub>2</sub>-emissieplafond wijzigt niet. Deze zal alleen plaatsvinden wanneer het plafond wordt verlaagd. Voor de deelnemende partijen in het CO<sub>2</sub>-emissiehandelssysteem betekent dit dat er meer ruimte ontstaat voor het emitteren van CO<sub>2</sub>.

### *CO<sub>2</sub>-prijs en -kosten*

Bij voortzetting van de exploitatie van de KCB worden CO<sub>2</sub>-kosten vermeden. Deze vermeden kosten zijn afhankelijk van de lagere emissies (zie Tabel 4.1) en de CO<sub>2</sub>-prijs die in de twee scenario's zijn gehanteerd (zie Figuur A.2). Tabel 4.2 geeft een overzicht van de vermeden kosten die niet ten laste komen van de Nederlandse elektriciteitsproducenten.

De prijs van CO<sub>2</sub>-emissierechten werkt door in de elektriciteitsprijs (Sijm et al, 2005). Dit betekent dat afnemers deze kosten voor een deel dragen, afhankelijk van de mate van doorwerking. Bij voortzetting van de exploitatie van de KCB kan, bij een onveranderd emissieplafond, de prijs voor CO<sub>2</sub>-emissierechten lager worden ten opzichte referentiesituatie. Ten opzichte van de totale omvang van de CO<sub>2</sub>-emissiemarkt zal evenwel sprake zijn van een beperkte verandering van het emissievolume<sup>20</sup>. Vanwege het grote aantal onzekerheden over de prijsvorming van emissierechten op de Europese emissiehandelsmarkt is een schatting van de omvang van dit effect niet goed mogelijk. Afnemers zullen profiteren van de lagere elektriciteitsprijs, doch het effect zal waarschijnlijk gering zijn.

Tabel 4.2 *Vermeden CO<sub>2</sub>-kosten*

|                                |            | 2015  | 2020  | 2025 | 2030  |
|--------------------------------|------------|-------|-------|------|-------|
| <i>CO<sub>2</sub>-prijs</i>    |            |       |       |      |       |
| GE                             | [€/ton]    | 11    | 11    | 0    | 0     |
| SE                             | [€/ton]    | 11    | 11    | 30   | 58    |
| <i>CO<sub>2</sub>-emissies</i> |            |       |       |      |       |
| GE                             | [Mton/jr]  | -2,5  | -2,6  | -3,3 | -3,2  |
| SE                             | [Mton/jr]  | -1,6  | -1,4  | -1,5 | -1,3  |
| <i>Vermeden kosten</i>         |            |       |       |      |       |
| GE                             | [mln €/jr] | -27,5 | -28,6 | 0    | 0     |
| SE                             | [mln €/jr] | -17,6 | -15,4 | -45  | -75,4 |

### *NO<sub>x</sub>-emissiehandel*

Voor NO<sub>x</sub> geldt een relatief systeem, dat wil zeggen een prestatienorm. Deze is voor 2010 40 g/GJ. Voor beide scenario's is verondersteld dat deze prestatie-eis ook daarna geldt. Voortzetting van de exploitatie van de KCB na 2103 resulteert in NO<sub>x</sub>-emissiereducties. Wanneer het handelssysteem voor NO<sub>x</sub> ook na 2010 wordt voortgezet - een realistische aanname binnen het SE-scenario - dan zal de afname van de NO<sub>x</sub>-emissies bij de elektriciteitsproductie, die het gevolg is van voortzetting van het in bedrijf blijven van de KCB, resulteren in een verlaging van de nationale NO<sub>x</sub>-emissies.

## 4.2 Radioactiviteit

### 4.2.1 Externe straling

Tijdens bedrijf van de KCB vormen het kernsplijtingsproces in de reactor en de hierbij gevormde radioactieve stoffen een sterke bron van ioniserende straling binnen de centrale. Echter de hoeveelheid ioniserende straling die daadwerkelijk buiten de KCB tijdens productiebedrijf aanwezig is, gekwantificeerd in termen van dosistempo, is beperkt tot een 0,1 microsievert per jaar, omdat zowel de reactor als andere bronnen van straling in de KCB door diverse voorzieningen worden afgeschermd, zoals het zogenoemde 'biologisch schild' rondom het reactorvat en de diverse betonnen wanden en vloeren rondom bedrijfssystemen met radioactieve stoffen.

<sup>20</sup> Uitgaande van de huidige marktomvang van 2,2 Gton een verandering van 0,1%. In het SE-scenario zal dit plafond na 2012 lager zijn waardoor het relatieve effect groter is.

Indien de bedrijfsvoering van de KCB na 2013 wordt voortgezet zal de omwonende bevolking worden blootgesteld aan ioniserende straling vanuit de KCB. De maximale dosis die jaarlijks door deze blootstelling door de omwonenden zou worden ontvangen is geschat aan de hand van berekeningen. De jaarlijkse dosis die aan het hek wordt ontvangen bedraagt ca. 0,1 microsievert per jaar.

Ook bij kolencentrales is er als gevolg van lokale opslag van as met verhoogde concentraties uranium en thorium, sprake van blootstelling aan externe straling. In het verleden is een schatting gemaakt van de gemiddelde jaardosis door deze externe straling, deze bedraagt niet meer dan 4 microsievert (RIVM/Leenhouts, 1996). Bij moderne centrales is de opslag van as zodanig afgesloten dat er minder externe straling in de omgeving vrijkomt en zodoende jaarlijks een lagere dosis door omwonenden wordt ontvangen (ca. 0,4 microsievert per jaar aan het hek). Voor achtergrondinformatie over blootstelling aan straling tengevolge van kolencentrales, zie (Puch et al., 1997). De jaarlijkse dosis als gevolg van blootstelling aan een gasgestookte centrale is kleiner dan 0,1 microsievert, omdat geen vaste verbrandingsproducten met radioactieve stoffen achterblijven zoals bij een kolencentrale.

#### 4.2.2 Emissies radioactieve stoffen

Bij productiebedrijf van gasgestookte centrales komt het radioactieve edelgas radon-222 en zijn dochterproducten in lucht vrij. Bij productiebedrijf van een kolengestookte centrale komen er vanwege de emissie van fijn vliegias, ook nog geringe hoeveelheden uranium en thorium en hun dochterproducten en K-40 vrij. Hierover is al eerder door het RIVM gerapporteerd. (RIVM 1996). Op basis van recentere informatie (NRG 2000) is in het kader van de huidige studie een aanvullende analyse gemaakt voor de gasgestookte centrale op basis van 300 Bq radon per m<sup>3</sup> aardgas en voor een kolengestookte centrale op basis van 16 Bq uranium en 14 Bq thorium per kg steenkool. Bij deze laatste centrale is uitgegaan van een gemiddeld asgehalte van 13% en een efficiency van 99,96% bij het filteren van het fijne vliegias. Een aantal radioactieve stoffen hechten zich met name aan het makkelijk inadembare deel van het fijne vliegias waardoor in dit deel de concentratie aan radioactieve stoffen toeneemt (een factor 2,7 voor uranium en radium, een factor 6 voor lood en een factor 10 voor polonium). De concentratie van thorium neemt niet toe. Op basis van deze gegevens en de aanname dat per PJ brandstof gemiddeld 0,04 Mton steenkool of 0,03 miljard m<sup>3</sup> aardgas wordt verbruikt, zijn voor de fossiel gestookte centrales de emissies van radioactieve stoffen berekend.

Bij productiebedrijf van een kerncentrale worden vooral radioactieve edelgassen geëmitteerd (gemiddeld ca 7600 GBq/jaar aan krypton-85, xenon-133 etc.). Daarnaast komt ongeveer gemiddeld 400 GBq/jaar aan tritium en koolstof-14 vrij, en komen kleine hoeveelheden (minder dan 0,4 GBq/jaar) aan radioactieve halogenen vrij, jodium-131 en enkele radioactieve activeringsproducten in de atmosfeer (KCB 2004).

De gezondheidseffecten bij inname van de diverse geëmitteerde radioactieve stoffen, gekwantificeerd in termen van ontvangen stralingsdosis, hangen sterk af van de soort radioactieve stof. Om een vergelijking te maken tussen de emissies van de verschillende radioactieve stoffen, zijn alle emissies weergegeven in eenheden radiotoxiciteitsequivalent (Re) voor inhalatie. Bij inademing van een hoeveelheid radioactieve stoffen equivalent aan 1 Re wordt een dosis van 1 sievert ontvangen. Bij KCB werd gemiddeld over de afgelopen 10 jaren, ca 100 Re per jaar aan radioactieve stoffen geëmitteerd. Volgens de rapportage in (NSC 2005) wordt door de KCB minder dan 5% van de vergunde hoeveelheid aan radioactieve stoffen in lucht geloosd. In termen van Re bedraagt de vergunde hoeveelheid 5700 Re, hetgeen betekent dat indien de KCB in 2013 niet sluit de jaren daarna zo'n 270 Re aan radioactieve stoffen per jaar worden geëmitteerd. De geëmitteerde hoeveelheden radioactieve stoffen in lucht door de KCB en fossiel gestookte centrales bij de verschillende scenarios staan in Tabel 4.3.

In beide toekomstscenario's zal voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB na 2013 leiden tot een verminderde inzet van fossiele brandstoffen voor de Nederlandse elektriciteitsproductie en daarmee een geringere uitstoot van fossiel-gerelateerde radioactieve stoffen in de atmosfeer. Deze afname gecorrigeerd voor de emissie van 270 Re per jaar door de KCB na 2013, is 250 Re bij het SE-scenario en 7000 Re bij het GE-scenario.

Tabel 4.3 *Invloed emissie radioactieve stoffen in Nederland door mutaties bij centrale elektriciteitsproductie bij voortzetting van de exploitatie van de KCB na 2013 ten opzichte van sluiting*

| Opzichte van startjaar |                       |                             |                          |
|------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Scenario               | Mutaties primair (Re) |                             | Totaal primair (Re) 2020 |
|                        | 2015-2030 gemiddeld   | t.o.v. 2020 centraal<br>[%] |                          |
| <i>GE</i>              |                       |                             |                          |
| Gas (excl. WKK)        | +3                    | +0,1                        | 3.000*                   |
| Kolen                  | -7300                 | -6,6                        | 110.000                  |
| <i>SE</i>              |                       |                             |                          |
| Gas (excl. WKK)        | -76                   | -1,5                        | 3.000*                   |
| Kolen                  | -440                  | -0,6                        | 74.000                   |

\* Bij gasgestookte centrales komt na filtering alleen Rn-222 vrij (300Bq Rn-222 per m<sup>3</sup> aardgas), waarbij door radioactief verval radioactieve stoffen als Po-218, Pb-214, B-214 worden gevormd. De Re voor verbrand aardgas is berekend op basis van 30 s ingroei van radonochters.

#### 4.2.3 Lozingen naar water

##### *Warmte*

De KCB loost evenals andere thermische centrales, warm koelwater op het oppervlakte water. Bij de KCB bedraagt het op deze wijze afgevoerde thermisch vermogen ca. 900 MW<sub>th</sub>. Ook na uit bedrijf name zal door de KCB nog enige tijd koelwater worden geloosd vanwege de koeling van het splijtstofbassin waarin zich tijdelijk, in afwachting op transport, nog warmte producerende bestraalde splijtstofelementen aanwezig zijn en vanwege de koeling van andere nog operationele bedrijfssystemen. Na uit bedrijf name van de KCB zal waarschijnlijk elders vervangende capaciteit in de vorm van een thermische elektriciteitscentrale in bedrijf komen (zie Paragraaf 3.1, een gasgestookte of kolengestookte centrale). Evenzo zal bij in bedrijf blijven van de KCB thermische lozingen vanwege het elders geplande vervangend elektriciteitsproductievermogen achterwege kunnen blijven. Deze vergelijking houdt in dat in geval KCB na 2013 in bedrijf blijft, het via koelwater afgevoerde thermisch vermogen niet significant wordt gewijzigd. De verdeling van dit vermogen over de lozingen van de verschillende centrales zal wel wijzigen.

##### *Radioactieve stoffen en gevolgen volksgezondheid*

Behalve lozing van koelwater wordt tijdens productiebedrijf, na controle op activiteit, door de KCB geringe hoeveelheden licht besmet water op de Westerschelde geloosd. De radioactieve stof tritium geeft de belangrijkste bijdrage aan deze besmetting. De vergunningslimiet voor lozingen op de Westerschelde uitgedrukt in radiotoxiciteitsequivalente eenheden op basis van de dosis door ingestie van radioactieve stoffen, bedraagt 700 Re. De jaarlijks door de KCB geloosde hoeveelheid radioactieve stoffen in het oppervlaktewater bedraagt minder dan 5% van de vergunningslimiet (NSC2005), d.w.z. ca. 40 Re. Deze jaarlijks geloosde hoeveelheid heeft wat betreft de effecten op de volksgezondheid een maximale individuele dosis van 0,002 microsievert per jaar als gevolg door eventuele consumptie van visserijproducten uit dit water en de daarmee verbonden water compartimenten. Voor een vergelijking met de dosis door andere lozingen, wordt verwezen naar Bijlage D.



Moderne fossiel gestookte centrales lozen geen radioactieve stoffen op het oppervlaktewater. Echter bij het verwerken van vlieggas (kolencentrales) kan geringe activiteit in het oppervlaktewater terechtkomen. Volgens de rapportage van UNSCEAR (UNSCEAR, 2000), kunnen dergelijke lozingen leiden tot een jaarlijkse dosis van 4 microsievert per jaar. Bij een kolencentrales zijn de kolen en vlieggas- en bodemasproducten geïsoleerd van de bodem opgeslagen. Bij de nieuwe fossielgestookte centrales worden geen lozingen van natuurlijke radioactieve stoffen in water verondersteld.

## 4.3 Effecten volksgezondheid

Ongeacht of straling en radioactieve stoffen vanuit een fossiel gestookte centrale of vanuit een kerncentrale in het milieu komen, in beide gevallen zijn er negatieve effecten op de volksgezondheid te verwachten. Deze negatieve effecten in termen van het additioneel risico op sterfte gedurende de rest van het leven nadat blootstelling aan radioactieve stoffen en ioniserende straling heeft plaatsgevonden, zijn te kwantificeren aan de hand van de dosis die een mens bij zo'n blootstelling ontvangt. Ter bescherming van de volksgezondheid heeft de overheid in haar Besluit stralingsbescherming dan ook limieten gesteld aan de dosis die de mens woonachtend in de omgeving van een emissiebron van radioactieve stoffen en/of een bron van ioniserende straling, als gevolg van blootstelling jaarlijks mag ontvangen. Deze limiet bedraagt 100 microsievert.

### 4.3.1 Effecten volksgezondheid door externe straling, emissies en lozingen

Indien de bedrijfsvoering van de KCB na 2013 wordt voortgezet zal de omwonende bevolking worden blootgesteld aan de geëmitteerde radioactieve stoffen en ioniserende straling vanuit de KCB. De maximale dosis die jaarlijks door deze blootstelling door de omwonenden zou worden ontvangen is geschat aan de hand van berekeningen. De jaarlijkse dosis vanwege emissies in lucht wordt op basis van geschat op minder dan 0,04 microsievert per jaar (minder dan 5% van de vergunde hoeveelheid, NSC 2005). Daarnaast zou aan het hek ca. 0,1 microsievert per jaar worden ontvangen.

Ook bij een kolengestookte centrale wordt de omwonende bevolking aan ioniserende straling blootgesteld. Bij een kolencentrale is deze dosis lager dan 0,4 microsievert per jaar aan het hek door externe straling plus enkele 0,001 microsievert per jaar vanwege lokale verhoogde concentraties aan fijn stof.

Het effect op de lokale volksgezondheid door emissies van radioactieve stoffen en externe straling bij voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB is in het SE-scenario negatief omdat de dosisbelasting met 0,1 microsievert per jaar toeneemt. In het GE-scenario is het gezondheidseffect positief omdat de dosisbelasting per saldo afneemt met 0,3 microsievert per jaar. Deze afname is het gevolg van de vermeden dosisbelasting van de kolencentrale die groter is dan de dosisbelasting van de KCB.

Op nationaal niveau, zou men de gezondheidseffecten van emissies en lozingen van radioactieve stoffen bij de twee scenarios kunnen vergelijken aan de hand van de jaarlijkse collectieve dosis als gevolg van blootstelling aan de vrijgekomen radioactieve stoffen. Deze collectieve dosis is ongeveer evenredig met de hoeveelheid vrijgekomen radioactieve stoffen in termen van radio-toxiciteitsequivalenten (Re) en hangt met name af van de wijze waarop en de lokatie van waaruit de jaarlijkse emissie in lucht of de lozing in water plaatsvinden. Bij voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB is berekend dat vanwege de jaarlijkse emissies van gemiddeld 270 Re aan radioactieve stoffen in lucht een collectieve dosis van 0,0022 microsievert per jaar ontvangen zou worden. De berekende collectieve dosis als gevolg van de lozingen van KCB in water (gemiddeld 40 Re per jaar) bedraagt 0,0028 microsievert per jaar.

De jaarlijkse emissies van radioactieve stoffen in lucht door fossielgestookte centrales, die bij voortzetting van het productiebedrijf bij de KCB, vermeden kunnen worden, zijn in termen van Re's, 520 Re bij het SE scenario (netto dus 250 Re minder indien KCB in bedrijf blijft) en 7300 Re bij het GE scenario (netto dus 7000 Re minder indien KCB in bedrijf blijft). De collectieve doses die door deze lagere emissies vermeden worden zijn evenredig aan de vermeden emissies in termen van Re's, d.w.z. ca. 0,002 mansievert per jaar bij het SE scenario en ca. 0,06 mansievert per jaar bij het GE scenario.

De collectieve dosis die bij voortzetting van het productiebedrijf van de KCB vermeden zou kunnen worden heeft een beperkt effect op de volksgezondheid, gezien het gegeven dat door de Nederlandse bevolking in zijn totaliteit jaarlijks een collectieve dosis van 40.000 mansievert wordt ontvangen door blootstelling aan andere bronnen van straling.

#### 4.3.2 Gezondheidsgevolgen van NO<sub>x</sub> en fijn stof emissies

##### *Emissies NO<sub>x</sub>*

Stikstofoxiden zijn zeer schadelijk voor het milieu, zeker als ze zich binden met water. Dan ontstaat salpeterzuur (HNO<sub>3</sub>), een verzurende stof. NO<sub>x</sub> draagt ook bij tot smogvorming. Onder invloed van zonlicht reageren stikstofoxiden en koolwaterstoffen met elkaar. Hieruit ontstaat ozon dat op leefniveau schadelijk is voor de gezondheid.

Een nieuwe gas- of kolengestookte centrale met een vergelijkbare productie als de KCB (4 TWh) leidt tot resp. een emissie van 1 tot 1,3 kton NO<sub>x</sub>/jaar. Ter vergelijking: in 2002 was de totale Nederlandse NO<sub>x</sub>-emissie 396 kton; In de Referentieramingen is voor het jaar 2020 de totale Nederlandse NO<sub>x</sub>-emissie gedaald tot 262 of 272 kton, in resp. het SE- of GE-scenario (ECN/MNP, 2005).

##### *Emissies fijn stof*

Er is recent veel aandacht voor de problematiek van fijn stof (PM<sub>10</sub>) (MNP/RIVM, 2005). De bijdrage van de elektriciteitscentrales is met name afhankelijk van de kolengestookte centrales, en is inmiddels relatief zeer beperkt, dankzij regelgeving en daarop volgende maatregelen (ECN/MNP, 2005). Fijn stof kan leiden tot gezondheidseffecten waaronder vroegtijdige sterfte, toename in ziekenhuisopnames voor hart- en luchtwegaandoeningen, luchtwegklachten en functiestoornissen (MNP/RIVM, 2005; Singels et al, 2005).

Kolencentrales leiden tot fijn stof emissies. Een nieuwe poederkoolcentrale met een vergelijkbare productie als de KCB (4 TWh) leidt tot minder dan 0,1 kton fijn stof, dus minder dan 0,2% van de totale Nederlandse fijn stof emissie in 2002 (46 kton). In de Referentieramingen is voor het jaar 2020 de totale Nederlandse fijn stof emissie 41 of 47 kton, in resp. het SE- of GE-scenario (ECN/MNP, 2005).

Voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB zal leiden tot een lagere uitstoot van NO<sub>x</sub> en fijn stof en zal derhalve bijdragen aan een vermindering van de nadelige gezondheidseffecten.

#### 4.4 Afval

Naast emissies naar de lucht, lozingen naar het water en straling, kan de elektriciteitsproductie afvalstromen opleveren. Het grootste verschil tussen enerzijds een kerncentrale en anderzijds de fossiele opwekking is gelegen in radioactieve afval, en wordt beschreven in Paragraaf 4.4.1. Fossiele productie kent ook een aantal typische afvalstromen. Daar wordt in Paragraaf 4.4.2 kort op ingegaan.

#### 4.4.1 Nucleair afval

In Nederland wordt al het radioactieve afval door de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) verzameld. Op het terrein van COVRA zal al het radioactieve afval langdurig (tenminste 100 jaar) worden opgeslagen. Er is in Nederland nog geen beslissing genomen over wat er met het afval na deze periode moet gebeuren. Onderzoek is gaande naar het opslaan van dit type afval in een ondergrondse berging in geologisch stabiele lagen. In enkele Europese landen zijn dit soort zogenoemde eindbergingen in aanleg en/of wordt hiermee geëxperimenteerd.

Meer dan driekwart van het laag- en middelactief afval dat COVRA inzamelt, is afkomstig van laboratoria, ziekenhuizen en niet-nucleaire industrie. Veel van het laag- en middelradioactieve afval, inclusief deze categorie afval van de KCB, zal in de periode van 100 jaar vervallen tot niet-radioactief materiaal.

Het hoogactieve afval dat COVRA inzamelt, is afkomstig van:

- de kerncentrale te Borssele (afval uit opwerking van bestraalde splijtstof),
- de onderzoeksreactoren (gebruikte splijtstof),
- de productie van radioactieve stoffen voor de medische toepassingen.

Het hoogactieve afval wordt bij COVRA in een speciaal, groot bunkerachtig gebouw opgeslagen, het zogenoemde HABOG. Het warmteproducerend hoogactieve afval (afkomstig van de opwerking) kan technisch gezien na een periode van opslag in het HABOG op een terughaalbare wijze in de diepe ondergrond worden opgeborgen. Het niet-warmteproducerend hoogactieve afval afkomstig van de opwerking zal voor een deel na een periode van opslag geen radioactief afval meer zijn. Het andere deel zal worden opgeborgen op dezelfde wijze als het warmteproducerend hoogactieve afval. Tabel 4.4 geeft een overzicht van de jaarlijkse productie van radioactief afval door de KCB.

De hoeveelheid plutonium dat bij opwerking van de gebruikte splijtstof van de KCB vrijkomt bedraagt gemiddeld 0,1 ton plutonium per jaar en onder toezicht van de IAEA en EURATOM overgedragen voor hergebruik.

Tabel 4.4 *Jaarproductie radioactief afval KCB, bij gebruik van splijtstof met een verrijkingsgraad van 4,4%*

| Hoogactief, warmte producerend (KSA) | Hoogactief, niet-warmte producerend        | Laag en middel actief   |
|--------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------|
| 1,3 m <sup>3</sup>                   | 1,5 m <sup>3</sup> tot 2,5 m <sup>3*</sup> | 30 à 40 m <sup>3*</sup> |

\* Door technische en andere ontwikkelingen zal deze hoeveelheid met de jaren kleiner worden. Voorts is het afvalaanbod om logistieke redenen niet ieder jaar gelijk.

#### *Trends in afvalproductie*

Recentelijk is de kerncentrale overgegaan op een hogere verrijking van haar splijtstof (4,4%). Hierdoor kan de centrale efficiënter met haar splijtstof omgaan en behoeven per jaar minder splijtstofelementen te worden verwisseld. Dit resulteert ook in een geringere afvalproductie uit opwerking. De hoeveelheid te verwerken restjes van pijpjes en andere metalen componenten van de splijtstofelementen neemt namelijk af.

Recente ontwikkelingen bij Cogema met betrekking tot compactering van niet-warmteproducerend afval uit opwerking, zullen de jaarproductie van KCB van dit type afval de komende jaren verder kunnen gaan verkleinen. Dit betekent dat de hiervoor gereserveerde ruimte in het HABOG, voor meer jaren zal volstaan dan begroot. De precieze omvang van de besparing is op dit moment nog niet te geven.

Het overgaan op een hogere verrijking en de daling van het aantal te vervangen elementen per jaar, spaart ook een aantal transporten van splijtstof en bestraalde splijtstof uit.

#### *Uitbreiding HABOG*

Volgens opgave van de COVRA, is er in het HABOG voldoende opslagcapaciteit voor het opwerkingsafval afkomstig van de productie van de KCB tot en met 2007. Dit jaartal heeft geen absolute waarde, omdat de afvalproductie uiteraard afhangt van de werkelijke efficiency van het opwerkingsproces en van de werkelijke gemaakte bedrijfsuren van de KCB. Het HABOG kent vaste opslagposities waarvan aanpassing niet mogelijk is. Er kan dus in de huidige situatie niet meer in het HABOG dan in het ontwerp voorzien is. Voor de productie van de KCB tot 2013 zal uitgebreid moeten worden, en natuurlijk meer indien KCB na 2013 de bedrijfsvoering voortzet.

Het HABOG is modulair uitbreidbaar. De bouw van HABOG heeft ongeveer 125 miljoen Euro gekost. Voor een uitbreiding ten behoeve van de opslag van containers met verglaasd hoog actief afval zal beduidend minder geld nodig zijn. Voor een opslagmodule die ruimte biedt aan afval die behoort bij een elektriciteitsproductie door KCB tussen 2007 tot en eind 2033, dient volgens COVRA rekening te worden gehouden met een prijsniveau van circa 30 miljoen Euro. Echter omdat dan sprake is van een veel langere periode waarover afval in het HABOG wordt gebracht (een langere exploitatiefase) kan mogelijk worden geoptimaliseerd in de opslagconfiguratie, en daarmee kosten worden bespaard. Afval dat al voldoende is afgekoeld kan dichter bij elkaar staand worden opgeslagen en daardoor kan de nieuw te bouwen opslagruimte mogelijk worden verkleind. De kosten zijn uiteraard veel lager dan de oorspronkelijke bouwkosten van het HABOG, omdat alleen opslagruimte moet worden gebouwd en geen ontvangst- en behandelingsruimte. De kosten van de uitbreiding komen ten laste van de gebruikers.

#### *Vergelijking beëindiging of voortzetting*

Indien de kerncentrale te Borssele gesloten wordt, eindigt hiermee op termijn haar afvalproductie. Afval uit opwerking van afgevoerde bestraalde splijtstof komt daarna nog met enige vertraging naar Nederland. Tevens zal er bij ontmanteling van de centrale ook afval worden geproduceerd dat bij COVRA moet worden opgeslagen. In onderstaande tabel worden de consequenties van beëindigen en voortzetten van de bedrijfsvoering van de KCB samengevat.

Tabel 4.5 *Productie radioactief afval van KCB, bij gebruik van splijtstof met een verrijkingsgraad van 4,4%*

| Situatie                        | Uitbreiding HABOG | Productie hoog actief afval uit bedrijfsvoering                         | Productie laag- en middelactief afval uit bedrijfsvoering | Afval uit ontmanteling*                                                                         |
|---------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bedrijfsvoering tot en met 2013 | Nodig             | Houdt op na terugkeer afval uit opwerking laatste bestraalde splijtstof | Neemt na voorbereiding ontmanteling na 2013 af tot nul.   | 2200 m <sup>3</sup> laag en middelactief<br>500 m <sup>3</sup> middelactief uit reactorvat e.d. |
| Bedrijfsvoering voorbij 2013    | Nodig             | 1,3 m <sup>3</sup> KSA<br>1,5-2,5 m <sup>3</sup> rest (per jaar)        | 30 à 40 m <sup>3</sup> (per jaar)                         | 2200 m <sup>3</sup> laag en middelactief<br>500 m <sup>3</sup> middelactief uit reactorvat e.d. |

\* Door EPZ geschatte waarde voor ontmantelingplan.

#### 4.4.2 Afval fossiele verbranding

Ook fossiele opwekking door kolen- en gascentrales heeft een heel scala aan afvalstoffen tot gevolg. Milieujaarverslagen geven inzicht in deze afvalstromen. Veel afvalstromen zijn ‘procesonafhankelijk’, dat wil zeggen dat ze niet direct met de productie van elektriciteit te maken

hebben. Dergelijke afvalstoffen zullen niet wezenlijk verschillen tussen de verschillende typen centrales.

Bij kolencentrales ontstaat as (vliegashoudend en bodemas), die zware metalen bevatten waaronder gemiddeld 1,5 ton uranium en 4,2 ton thorium per jaar. Deze afvalstromen worden voor een belangrijk deel hergebruikt. Dit geldt ook voor de afgevangen zwavelverbindingen bij de rookgasreining die hergebruikt worden voor de productie van gips.

## 4.5 Grondstoffen

### *Kolen en aardgas*

Voortzetten van de bedrijfsvoering van de KCB spaart fossiele brandstoffen uit, zie ook Paragraaf 3.1.3. Wanneer de KCB na 2013 in bedrijf blijft zal in het SE-scenario vooral aardgas worden uitgespaard, gemiddeld ca. 23 PJ per jaar (circa 1,5% van de totale hoeveelheid aardgas die in het SE-scenario in 2020 wordt gebruikt). Er wordt ca. 2 PJ kolen per jaar uitgespaard, en ca. 0,5 PJ biomassa (meestook in kolencentrales). In het GE-scenario zal vooral kolen worden uitgespaard, gemiddeld ca. 32 PJ per jaar, en 3,5 PJ biomassa (meestook in kolencentrales). Indien deze hoeveelheden worden omgerekend met standaard stookwaarden<sup>21</sup>, dan worden uitgedrukt in m<sup>3</sup> (aardgas) of kton (steenkool en biomassa) de hoeveelheden uitgespaard zoals in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 4.6 *Uitgespaarde brandstof in m<sup>3</sup> en kton*

|                 |                          | SE   | GE    |
|-----------------|--------------------------|------|-------|
| Aardgas         | [mld m <sup>3</sup> /jr] | 0,73 | -0,06 |
| Kolen           | [kton steenkool/jr]      | 80   | 1280  |
| Biomassa (vast) | [kton biomassa/jr]       | 33   | 232   |

### *Uranium*

De KCB gebruikt ca. 9 ton uranium per jaar (NRG, 2005). Indien de bedrijfsvoering wordt beëindigd, zal dit gebruik vanzelfsprekend eindigen; bij voortzetting van het bedrijf zal dit verbruik hetzelfde blijven.

Gebruikte splijtstof wordt in Frankrijk bij de firma Cogema opgewerkt (gerecycled). Het tot nu toe teruggewonnen uranium is voor ongeveer de helft weer verrijkt voor gebruik in de KCB en voor het resterende deel verkocht (NRG, 2005; VROM 2005b). EPZ heeft via het geven van inzage in haar lopende contracten, voor de overheid aannemelijk gemaakt dat zij deze praktijk ook in de toekomst zal kunnen voortzetten. Deze praktijk reduceert de behoefte aan mijnbouw ten behoeve van de KCB met ongeveer de helft.

Bovengenoemde praktijk van hergebruik is niet uniek. De mondiale behoefte aan uranium wordt voor iets minder dan de helft gedekt door zogenoemde secundaire bronnen, waarvan uranium uit opwerking er één is, maar andere bronnen ook belangrijk zijn, zoals civiele en militaire voorraden, en het opnieuw verrijken van verarmd uranium uit opwerkingsfabrieken (IAEA/OECD 2004). Deze bronnen drukken de prijs van uranium. IAEA en OECD verwachten dat op termijn de secundaire bronnen in belang zullen afnemen (vooral na 2020) en de mondiale uraniumproductie dan moet toenemen om aanbod en vraag in balans te houden. Aan de hand van de spotmarktprijs is te zien dat de prijs van uranium sinds 2003 enigszins toeneemt. Dit zal de exploratie van uraniumvoorkomens bevorderen en de economisch winbare voorraden doen toenemen. Hierbij moet worden bedacht dat kernenergie wordt gekenmerkt door hoge investeringskosten voor de bouw van een centrale en lage kosten voor de brandstof (uranium) tijdens bedrijfsvoering.

<sup>21</sup> 31,65 MJ/m<sup>3</sup> voor aardgas; 25 MJ/kg voor steenkool, en 15 MJ/kg voor vaste biomassa.

ring. Dit is de reden waarom niet op grote schaal wordt gezocht naar nieuwe uraniumvoorkomens.

#### 4.6 Milieueffecten stroomimport

In Paragraaf 3.1.4 is vastgesteld dat er in beide scenario's gemiddeld genomen geen significante effecten zijn ten aanzien van de importsaldo van elektriciteit. In principe zullen er dan ook geen wijzigingen optreden in de herkomst van de stroom (land, type brandstof). De omvang van de import is echter gevoelig voor kleine prijsverschillen die onder meer kunnen ontstaan door het moment waarop de productiecapaciteit wordt uitgebreid. Omdat besluitvorming van de KCB deze momenten beïnvloedt kunnen er in bepaalde jaren wel verschillen optreden.

#### 4.7 Stroometikettering

Met uitzondering van stroom uit duurzame elektriciteit vindt elektriciteitshandel vooral plaats op basis van prijs en niet op basis van milieukwaliteit of herkomst. Wel dienen elektriciteitleveranciers afnemers te informeren over de samenstelling van de geleverde of te leveren stroom (stroometikettering). Wanneer leveranciers merken dat hun afnemers bepaalde type stroom (bijv. stroom uit kerncentrales) niet wensen af te nemen, kunnen zij afzien van het sluiten van leveringscontracten met exploitanten van dit type centrales. In geval van voortzetting van de exploitatie van de KCB na 2013 is het echter niet erg voorstelbaar dat de exploitant deze stroom niet op de Nederlandse elektriciteitsmarkt zou kunnen afzetten, mede gelet op het beperkte aandeel van de elektriciteitsproductie van de KCB op de Nederlandse markt. In het extreme geval dat geen van de leveranciers of grootverbruikers in Nederland deze stroom wil afnemen, kan deze stroom altijd nog in het buitenland worden afgezet. Het omgekeerde geldt evenwel ook: wanneer afnemers daar geen bezwaar tegen hebben kunnen energieleveranciers het aandeel nucleaire stroom in hun portfolio vergroten door in het buitenland dergelijke stroomcontracten af te sluiten.

#### 4.8 Samenvatting en conclusies milieueffecten en volksgezondheid

De gevolgen van voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB voor het milieu worden getoond in Tabel 4.7. Ook in deze tabel worden de verwachte verandering voor beide toekomstscenario's aangegeven ten opzichte van de situatie waarbij de kerncentrale eind 2013 wordt gesloten. Voor de veranderingen die kwantitatief zijn uitgedrukt wordt in Tabel 4.7 eveneens informatie gegeven waarmee het beschreven effect kan worden vergeleken.

##### *Emissies naar de lucht*

Voortzetting van de exploitatie van de KCB leidt in beide toekomstscenario's tot een reductie van de emissies naar de lucht van CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en fijn stof. In het GE scenario zijn de emissiereducties zowel absoluut als relatief groter dan in het SE scenario. Dit komt omdat in het GE scenario wordt uitgegaan van vervangend kolenvermogen bij sluiting van de KCB. Dat kolenvermogen is in het algemeen meer milieubelastend dan het gasgestookt productievermogen waarvan in het SE scenario wordt uitgegaan. Afhankelijk van het toekomstscenario vermijdt het in bedrijf houden van de KCB:

- Gemiddeld 1,5 tot 2,9 Mton CO<sub>2</sub>, zo'n 0,8 tot 1,4% van de totale Nederlandse CO<sub>2</sub>-emissies in 2020.
- Gemiddeld 1,0 tot 1,3 kton NO<sub>x</sub>, zo'n 0,5% van de totale Nederlandse NO<sub>x</sub>-emissies in 2020.
- Gemiddeld 0,1 tot 1,1 kton SO<sub>2</sub>, zo'n 0,1% tot 1,3% van de totale Nederlandse SO<sub>2</sub>-emissies in 2020.
- Gemiddeld minder dan 0,1 kton PM<sub>10</sub>, niet meer dan 0,1% van de totale Nederlandse PM<sub>10</sub> emissies in 2020.

### *Emissiehandel*

Binnen het Europese handelssysteem voor CO<sub>2</sub>-emissierechten ontstaat bij voortzetting van de exploitatie van de KCB meer ruimte voor het emitteren van CO<sub>2</sub>. De door de KCB geproduceerde elektriciteit substitueert elektriciteit die anders met een kolen- of gascentrale zou zijn geproduceerd. De CO<sub>2</sub>-emissierechten die daarvoor nodig zijn worden nu niet aangewend voor Nederlandse elektriciteitsproductie, maar kunnen worden gebruikt voor CO<sub>2</sub>-emissies van andere installaties die deelnemen aan het handelssysteem. Op Europese schaal is er dan ook geen sprake van een feitelijke CO<sub>2</sub>-emissiereductie. Het beschikbaar komen van CO<sub>2</sub>-emissierechten kan wel leiden tot een (geringe) verlaging van de prijs van deze rechten. Omdat de prijs van emissierechten doorwerkt in de prijs van elektriciteit profiteren afnemers van de lagere elektriciteitsprijs. Dit prijseffect is waarschijnlijk zeer gering. Vanwege lagere CO<sub>2</sub>-emissies zullen Nederlandse elektriciteitsproducenten minder kosten hebben voor het verwerven van emissierechten.

Wanneer het handelssysteem voor NO<sub>x</sub> na 2010 wordt voortgezet, dan zal de afname van de NO<sub>x</sub>-emissies bij de elektriciteitsproductie, als gevolg van de voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB, resulteren in een verlaging van de nationale NO<sub>x</sub> emissies.

### *Radioactiviteit*

Onderscheid kan worden gemaakt tussen lokale effecten en effecten op nationaal niveau. Externe straling, dat wil zeggen straling nabij het hek van de kerncentrale, is lokaal het belangrijkste. Externe straling is ook aanwezig bij het hek van een kolen- of gascentrale. De dosisbelasting bij een kolencentrale is 0,4 microsievert per jaar en is groter dan die bij de KCB (0,1 microsievert per jaar). De jaarlijkse dosis als gevolg van blootstelling aan een gasgestookte centrale is kleiner dan 0,1 microsievert, omdat geen vaste verbrandingsproducten met radioactieve stoffen achterblijven zoals bij een kolencentrale. De hier genoemde dosisbelasting nabij het hek is gering ten opzicht van de dosisbelasting van gemiddeld 270 microsievert per jaar door de van nature aanwezige externe straling.

Op nationaal niveau kan de blootstelling aan vrijgekomen radioactieve stoffen worden uitgedrukt in termen van radiotoxiteitsequivalenten (Re). In beide toekomstscenario's zal voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB na 2013 leiden tot een verminderde inzet van fossiele brandstoffen voor de Nederlandse elektriciteitsproductie en daarmee een geringere uitstoot van radioactieve stoffen in de atmosfeer. Bij voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB bedraagt de jaarlijkse emissie van radioactieve stoffen 270 Re. In het SE scenario zijn de jaarlijkse emissies door extra inzet van gascentrales 520 Re en in het GE scenario door extra inzet van kolencentrales 7300 Re. De emissies van radioactieve stoffen in de lucht leiden tot een maximale stralingdosis die een factor 10 tot 100 lager is dan die van de hierboven genoemde externe straling.

De lozing van radioactieve stoffen in water leidt tot een maximale dosis van minder dan 0,002 microsievert per jaar. Bij fossiel gestookte centrales worden geen radioactieve stoffen op het oppervlaktewater geloosd.

### *Volksgezondheid*

Voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB zal leiden tot een lagere uitstoot van NO<sub>x</sub> en fijn stof. Deze lagere uitstoot zal bijdragen aan een vermindering van de nadelige gezondheidseffecten die NO<sub>x</sub> en fijn stof met zich meebrengen.

Op lokaal niveau kunnen de gezondheidseffecten (in termen van ontvangen dosis) worden gerelateerd aan emissies en lozingen van radioactieve stoffen en blootstelling aan externe straling. Bij beide toekomstscenario's is de blootstelling op lokaal niveau gering. Blootstelling aan externe straling geeft relatief nog de grootste bijdrage en is bij een kolencentrale groter dan die van de KCB (zie ook aspect radioactiviteit).

Op nationaal niveau zijn de gezondheidseffecten als gevolg van blootstelling aan vrijgekomen radioactieve stoffen ongeveer evenredig met de hoeveelheid radioactieve stoffen in termen van radiotoxiteitsequivalenten (Re). In beide toekomstscenario's leidt de voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB tot een vermindering van de nadelige gezondheidseffecten door een afname van de blootstelling aan radioactieve stoffen.

De verschillen tussen de doses bij voortzetting of sluiting van de KCB zijn zeer gering in beide scenario's. Deze verschillen zijn 1000 tot 100.000 maal lager dan de ontvangen dosis als gevolg van nature aanwezige radioactiviteit.

### *Afval*

Als de KCB in bedrijf blijft, zal er laag- en middelactief bedrijfsafval worden geproduceerd (30 à 40 m<sup>3</sup> per jaar) dat bij COVRA wordt opgeslagen. Door radioactief verval zal dit bedrijfsafval na een periode van enige tientallen tot ca. honderd jaar in niet-radioactief afval overgegaan. Een deel kan worden hergebruikt. Voorts zal er vanuit de installatie van COGEMA waar gebruikte splijtstof wordt opgewerkt, jaarlijks ongeveer 4 m<sup>3</sup> hoogactief afval (dat geen plutonium bevat) naar Nederland terugkeren dat in het HABOG bij COVRA wordt opgeslagen. De hoeveelheid plutonium dat bij opwerking van de gebruikte splijtstof van de KCB vrijkomt bedraagt gemiddeld 0,1 ton plutonium per jaar. Deze hoeveelheid plutonium wordt onder toezicht van de IAEA en EURATOM overgedragen voor hergebruik.

Het afval dat jaarlijks terugkeert naar Nederland bevat 1,3 m<sup>3</sup> warmteproducerend radioactief afval, dat na een periode van opslag op een terughaalbare wijze in de diepe ondergrond kan worden opgeborgen. Daarnaast bevat het 2,5 m<sup>3</sup> niet-warmteproducerend radioactief afval, waarvan een deel na een periode van opslag bij COVRA geen radioactief afval meer is. Het andere deel zal worden opgeborgen op dezelfde wijze als het warmteproducerend afval. Door recente technische ontwikkelingen zal de hoeveelheid hoogactief afval die jaarlijks naar Nederland terugkeert in de nabije toekomst kleiner worden.

Voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB heeft tot gevolg dat meer radioactief afval in de eindberging zal moeten worden opgeslagen. De marginale toename van het hiervoor benodigde kapitaal is relatief gering ten opzichte van het totaal benodigde kapitaal en kan worden opgebracht uit de toename van de inkomsten van COVRA.

Voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB in het GE-scenario vermijdt een hoeveelheid afval van een kolencentrale door uitsparing van de verbranding van 1300 kton steenkool per jaar. Dit betreft restfracties van as (vliegashoudend en bodemas) die zware metalen bevatten waaronder gemiddeld 1,5 ton uranium en 4,2 ton thorium per jaar. Deze restfracties worden grotendeels, maar niet voor 100%, verwijderd of hergebruikt.

### *Gebruik grondstoffen*

Wanneer de KCB na 2013 in bedrijf blijft zal in het SE scenario vooral aardgas worden uitgespaard, gemiddeld 0,7 miljard m<sup>3</sup> per jaar. Er wordt ca. 80 kton steenkool per jaar uitgespaard



en ruim 30 kton biomassa minder ingezet (meestook in kolencentrales). In het GE-scenario zal vooral kolen worden uitgespaard, gemiddeld ca. 1300 kton per jaar en ruim 230 kton biomassa minder ingezet (van meestook in kolencentrales). De KCB gebruikt circa 9 ton uranium per jaar. Indien de bedrijfsvoering na 2013 wordt voortgezet zal dit verbruik hetzelfde blijven.

In fysieke hoeveelheden uitgedrukt worden in beide scenario's de volgende brandstoffen uitgespaard, voor respectievelijk het SE en GE scenario, gemiddeld per jaar in periode 2015-2030:

- aardgas: 0,7 tot 0,1 miljard m<sup>3</sup> aardgas,
- kolen: 80 tot 1280 kton steenkool,
- biomassa: 33 tot 232 kton biomassa,
- Uranium: 9 ton per jaar.

#### *Milieueffecten stroomimport*

Omdat er gemiddeld over de periode 2013-2033 geen wijzigingen zijn ten aanzien van het importsaldo, zullen er ook geen wijzigingen optreden in de herkomst van de stroom (land, type brandstof). Omdat elektriciteitsleveranciers afnemers dienen te informeren over de samenstelling van de geleverde of te leveren stroom (stroometikettering), kunnen afnemers hun voorkeur ten aanzien de milieukwaliteit van de stroom kenbaar maken. Dit hoeft echter de afzet van de elektriciteit uit de KCB niet te beïnvloeden.

Tabel 4.7 Milieueffecten bij voortzetting van de exploitatie van de kerncentrale Borssele ten opzichte van de situatie van sluiting in 2013

| Beoordelingsaspect                  | SE-scenario                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                   | GE-scenario                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                     | Verandering                                                                                                                                                                                                                                                              | Ten opzichte van                                                                                                                                                                                                                                                  | Verandering                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Ten opzichte van                                                                                                                                                                                                                          |
| <i>Emissies naar de lucht</i>       |                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                           |
| - kooldioxide (CO <sub>2</sub> )    | Gemiddeld 1,5 Mton per jaar lager                                                                                                                                                                                                                                        | 187,4 Mton in 2020 voor Nederland                                                                                                                                                                                                                                 | Gemiddeld 2,9 Mton per jaar lager                                                                                                                                                                                                                                                                             | 205,3 Mton in 2020 voor Nederland                                                                                                                                                                                                         |
| - zwaveldioxide (SO <sub>2</sub> )  | Gemiddeld 0,1 kton per jaar lager                                                                                                                                                                                                                                        | 64 kton in 2020 voor Nederland                                                                                                                                                                                                                                    | Gemiddeld 1,1 kton per jaar lager                                                                                                                                                                                                                                                                             | 80 kton in 2020 voor Nederland                                                                                                                                                                                                            |
| - stikstofoxiden (NO <sub>x</sub> ) | Gemiddeld 1,0 kton per jaar lager                                                                                                                                                                                                                                        | 262 kton in 2020 voor Nederland                                                                                                                                                                                                                                   | Gemiddeld 1,3 kton per jaar lager                                                                                                                                                                                                                                                                             | 272 kton in 2020 voor Nederland                                                                                                                                                                                                           |
| - fijn stof (PM <sub>10</sub> )     | Minder fijn stof (<0,01 kton/jaar)                                                                                                                                                                                                                                       | 41 kton in 2020 voor Nederland                                                                                                                                                                                                                                    | Minder fijn stof (<0,1 kton/jaar)                                                                                                                                                                                                                                                                             | 47 kton in 2020 voor Nederland                                                                                                                                                                                                            |
| <i>Emissiehandel</i>                |                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                           |
| - kooldioxide (CO <sub>2</sub> )    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Geen effect op Europese CO<sub>2</sub>-emissies</li> <li>- Mogelijk zeer beperkt effect op CO<sub>2</sub>-prijs</li> <li>- Lagere kosten Nederlandse elektriciteitsproducenten (ca. 17 tot 77 miljoen euro per jaar)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plafond emissiehandel in eerste handelsperiode (2005-2007): 2,2 Gton/jaar voor Europa en 95 Mton/jaar voor Nederland</li> <li>- CO<sub>2</sub>-prijs: 11 €/ton tot 2020, daarna oplopend tot 58 €/ton in 2030</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Geen effect op Europese CO<sub>2</sub>-emissies</li> <li>- Mogelijk zeer beperkt effect op CO<sub>2</sub>-prijs tot 2020</li> <li>- Tot 2020 lagere kosten Nederlandse elektriciteitsproducenten (ca. 28 miljoen euro per jaar), daarna geen kosteneffect</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plafond emissiehandel in eerste handelsperiode (2005-2007): 2,2 Gton/jaar voor Europa en 95 Mton/jaar voor Nederland</li> <li>- CO<sub>2</sub>-prijs: 11 €/ton tot 2020, daarna nihil</li> </ul> |
| - stikstofoxiden (NO <sub>x</sub> ) | - Zorgt voor verlaging van de emissies                                                                                                                                                                                                                                   | - Prestatienorm voor 2010: 40 g/GJ                                                                                                                                                                                                                                | - Zorgt voor verlaging van de emissies                                                                                                                                                                                                                                                                        | - Prestatienorm voor 2010: 40 g/GJ                                                                                                                                                                                                        |

| Beoordelingsaspect                                    | SE-scenario                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                  | GE-scenario                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                       | Verandering                                                                                                                                                                                                                                      | Ten opzichte van                                                                                                                                                                                 | Verandering                                                                                                                                                                                                                                     | Ten opzichte van                                                                                                                                                                                 |
| <i>Radioactiviteit</i>                                |                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                  |
| - Lokaal                                              | Externe straling: geringe toename van de dosis door externe bestraling; 0,1 microsievert/jaar nabij het hek van de KCB                                                                                                                           | Gemiddeld wordt op elke willekeurige locatie in Nederland als gevolg van blootstelling aan externe straling van natuurlijke oorsprong een dosis van ongeveer 270 microsievert per jaar ontvangen | Externe straling: geringe afname van de dosis met 0,3 microsievert/jaar door het vermijden van een extra 0,4 microsievert/jaar door straling van een kolencentrale.                                                                             | Gemiddeld wordt op elke willekeurige locatie in Nederland als gevolg van blootstelling aan externe straling van natuurlijke oorsprong een dosis van ongeveer 270 microsievert per jaar ontvangen |
| - Nationaal                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissies in lucht: Gemiddeld ca. 250 Re* per jaar lager</li> <li>- Lozingen in water: geringe toename jaarlijkse lozing van radioactieve stoffen in water bij de KCB</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 77.000 Re* in 2020 voor Nederland door fossiel gestookte centrales</li> </ul>                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissies in lucht: Gemiddeld ca. 7000 Re* per jaar lager</li> <li>- Lozingen in water: geringe toename jaarlijkse lozing van radioactieve stoffen in water bij de KCB</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 110.000 Re* in 2020 voor Nederland door fossiel gestookte centrales</li> </ul>                                                                          |
| <i>Volksgezondheid</i>                                |                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                  |
| - Radioactiviteit                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokaal: per saldo geringe toename nadelige effecten door externe straling</li> <li>- Nationaal: geringe afname nadelige effecten door lagere blootstelling van emissies radioactieve stoffen</li> </ul> | Ontvangen dosis als gevolg van nature aanwezige radioactiviteit ligt 1000 tot 100.000 keer hoger dan de verandering.                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokaal: per saldo geringe afname nadelige effecten door externe straling</li> <li>- Nationaal: geringe afname nadelige effecten door lagere blootstelling van emissies radioactieve stoffen</li> </ul> | Ontvangen dosis als gevolg van nature aanwezige radioactiviteit ligt 1000 tot 100.000 keer hoger dan de verandering.                                                                             |
| - NO <sub>x</sub> , fijn stof en radioactieve stoffen | Afname van de nadelige gezondheidseffecten                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                  | Afname van de nadelige gezondheidseffecten                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                  |

| Beoordelingsaspect          | SE-scenario                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                         | GE-scenario                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             | Verandering                                                                                                                                                                                                                                                         | Ten opzichte van                                                                                                                                                        | Verandering                                                                                                                                                                                                                                                         | Ten opzichte van                                                                                                                                                        |
| <i>Nucleair afval</i>       | Extra afval tijdens bedrijf KCB per jaar op te slaan bij COVRA:<br>- 1,3 m <sup>3</sup> warmteproducerend hoogactief afval<br>- Maximaal 2,5 m <sup>3</sup> niet-warmteproducerend hoogactief afval<br>- 30 a 40 m <sup>3</sup> middel- tot licht radioactief afval |                                                                                                                                                                         | Extra afval tijdens bedrijf KCB per jaar op te slaan bij COVRA:<br>- 1,3 m <sup>3</sup> warmteproducerend hoogactief afval<br>- Maximaal 2,5 m <sup>3</sup> niet-warmteproducerend hoogactief afval<br>- 30 a 40 m <sup>3</sup> middel- tot licht radioactief afval |                                                                                                                                                                         |
| <i>Gebruik grondstoffen</i> | - Uitsparing van gemiddeld 0,7 miljard m <sup>3</sup> aardgas per jaar<br>- Uitsparing van gemiddeld 80 kton steenkool/jaar<br>- Minder biomassa: gemiddeld 33 kton per jaar<br>- Verbruik van 9 ton/jaar uranium                                                   | - 49 miljard m <sup>3</sup> binnenlands aardgasverbruik in 2020<br>- Ca. 13000 kton steenkool in 2020<br>- Ruim 5000 kton biomassa in 2020 voor elektriciteitsproductie | - Gemiddeld 0,1 miljard m <sup>3</sup> aardgas per jaar meer<br>- Uitsparing van gemiddeld 1280 kton steenkool/jaar<br>- Minder biomassa: gemiddeld 232 kton biomassa per jaar<br>- Verbruik van 9 ton/jaar uranium                                                 | - 49 miljard m <sup>3</sup> binnenlands aardgasverbruik in 2020<br>- Ca. 19000 kton steenkool in 2020<br>- Ruim 7600 kton biomassa in 2020 voor elektriciteitsproductie |

\* Re: radiotoxiteitsequivalent, een grootheid die de geïmiteerde, c.q. de geloosde hoeveelheid radioactieve stoffen aangeeft, rekening houdend met de stralingsdosis die bij blootstelling aan deze stoffen wordt ontvangen.

## 5. Overige effecten

Sluiting of voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB kent naast effecten voor de elektriciteitsvoorziening en het milieu nog een aantal andere gevolgen. De gevolgen die in dit hoofdstuk worden besproken zijn veiligheid en risico (Paragraaf 5.1), non-proliferatie (Paragraaf 5.2), ruimtelijke ordening (Paragraaf 5.3) en werkgelegenheid en kennisinfrastructuur (Paragraaf 5.4). De gevolgen aangaande deze aspecten worden in Paragraaf 5.5 samengevat.

### 5.1 Veiligheid en risico

#### *Veiligheid*

Periodiek dient NV EPZ de technische, organisatorische, personele en administratieve voorzieningen te evalueren met betrekking tot de nucleaire veiligheid en stralenbescherming en maatregelen te treffen om eventuele tekortkomingen ongedaan te maken, tenzij het treffen van maatregelen redelijkerwijs niet kan worden gevegd. Elke twee jaar dienen de voorzieningen beoordeeld te worden in het licht van de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de van kracht zijnde vergunning. De 2-jaarlijkse evaluaties dienen telkenmale in alle oneven jaren afgerond te zijn. Elke 10 jaar dienen meer omvangrijke evaluaties te worden uitgevoerd waarbij ook de uitgangspunten zelf worden vergeleken met nieuwe ontwikkelingen inzake nucleaire veiligheid en stralenbescherming. De eerstvolgende 10-jaarlijkse evaluatie betreft de periode 2003 tot en met 2012 en dient in 2013 afgerond te zijn. Ter voorbereiding op deze 10-jaarlijkse evaluatie dient NV EPZ uiterlijk 31 december 2011 een definitief plan van aanpak en toetsingskader aan de KFD ter beoordeling voor te leggen. De resultaten van deze evaluaties en de voorgestelde maatregelen dienen ter beoordeling te worden voorgelegd aan de KFD. Te treffen maatregelen naar aanleiding van de tweejaarlijkse en tienjaarlijkse evaluatie dienen twee, respectievelijk vier jaar na afloop van de evaluatieperiode te worden gerealiseerd, tenzij dit in redelijkheid niet kan worden gevegd.

Voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB na 2013 heeft naar verwachting geen nadelige invloed op de veiligheid op lokale en op nationale schaal omdat gezien het resultaat van de recente integrale 10-jaarlijkse evaluatie het mogelijk lijkt het huidige veiligheidsniveau van de bedrijfsvoering van de KCB ook na 2013 te waarborgen door:

- een systeem van kwaliteitsborging (onderhoudsprogramma, verouderingsbeheer, veiligheidscultuur etc.),
- het toezicht door de overheid (inclusief inspectie door buitenlandse diensten en IAEA-missies, zoals OSART en AMAT),
- het uitvoeren van periodieke veiligheidsevaluaties van de KCB (twee- en tienjaarlijks). De evaluatie brengt in kaart welke verbetermogelijkheden er zijn op basis van voortgeschreden inzicht omtrent nucleaire veiligheid (internationaal veiligheidsonderzoek door EU, NEA, IAEA) en ontwikkelingen van de stand ter techniek (door kennisuitwisseling met bedrijven van andere kerncentrales, o.a. via WANO). Met de toezichthouder wordt op basis hiervan afgesproken welke maatregelen redelijkerwijs nodig zijn om de veiligheid van de installatie verder te verbeteren (as low as reasonable achievable, ALARA).

Het invoeren van de genoemde verbeteringen en het treffen van maatregelen die voortkomen uit het verouderingsbeheer kan significante kosten met zich meebrengen.

De KCB gebruikt de zogenoemde 'Living PSA' om de veiligheidsverhogende effecten van de aangebrachte wijzigingen in de installatie, veranderingen in procedures, onderhoudsprogramma's, organisatie etc., te kwantificeren. In deze 'living PSA' worden ook de resultaten verwerkt

van de diverse testprogramma die als onderdeel van de bedrijfsvoering plaatsvinden. In de PSA wordt op basis van statistieken en testen in actuele situaties de kansen op falen van de diverse componenten van de kerncentrale en de onzekerheid hierin, de kans op falen van systemen en de onzekerheid daarin berekend. In de besluitvorming over het nemen van veiligheidsverhogende maatregelen worden behalve de faalkansen ook de onzekerheden hierin meegenomen. Evenzo wordt op basis van faalkansen van systemen en procesgedrag berekend wat de kansen op beschadiging van de reactorkern zijn. Belangrijke ongunstige procesverlopen (ongevalsscenario's) die hierbij worden beschouwd zijn het optreden van verlies van koelmiddel (LOCA) door bijvoorbeeld het falen van kleppen, falen van pakkingen etc., en een te sterke toename van reactiviteit (RIA), bijvoorbeeld bij het opstarten van de reactor. Behalve in het kader van de PSA, waarbij men zich met name richt op het statistische (probabilistische) aspect, worden onder het regime van ontwerpbasisongevallen deterministische analyses van ongevalsscenario's uitgevoerd. Dergelijke analyses vinden regelmatig plaats naar aanleiding van veiligheidsevaluaties van de KCB, internationaal veiligheidsonderzoek door EU, NEA, IAEA en door kennisuitwisseling met bedrijven van andere kerncentrales. Het resultaat van deze analyses kan in sommige gevallen aanleiding geven tot het treffen van maatregelen, in overleg met de KFD, om de kans van optreden van desbetreffend ongevalsscenario en de nadelige invloed hiervan op de veiligheid van de installatie verder te verminderen. Een voorbeeld hiervan zijn technische maatregelen die in het kader van het modificatie project in de jaren negentig bij de KCB zijn genomen.

Behalve het in rekening brengen van falen van componenten, wordt in de PSA ook rekening gehouden met externe gebeurtenissen (overstroming, aardbeving, ontploffingen etc), conform de internationale aanbevelingen van de IAEA en de Nederlandse richtlijnen voor het uitvoeren van PSA's. Recentelijk is ook het effect van gebeurtenissen zoals terroristische aanslagen op de veiligheid van de KCB opnieuw beschouwd. Analyse van mogelijke gevolgen van terroristisch aanslagen valt onder het regime van analyse van ontwerpbasisongevallen waarbij deterministische analyses worden uitgevoerd om op basis hiervan gerichte maatregelen te nemen om de gevolgen te beperken zie hierboven. Voor specifieke zaken, zoals terroristische aanslagen, wordt meestal in internationaal verband samengewerkt. In het verleden heeft dit soort van analyses geleid tot het voorschrijven van een tweede 'gescheiden' locatie waarvan uit de reactor kan worden afgeschakeld. Ook toekomstige onderzoeken kunnen tot maatregelen leiden. Conform de huidige regelgeving is in de KCB een beveiligde extra bedieningsruimte aanwezig, van waaruit de controle over de centrale kan worden uitgevoerd.

Op basis van diverse scenario's, zoals beschadiging van de kern, schade aan de insluiting, beschadiging tijdens handelingen met splijtstofelementen, zijn schattingen gemaakt van kansen van optreden en de grootte van lozingen van radioactieve stoffen in de omgeving. Op basis van deze kansen en de te verwachten dosis bij blootstelling aan de geloosde radioactieve stoffen is het risico voor de omgeving berekend.

Bij de KCB bedraagt het maximum van het plaatsgebonden risico zoals berekend met de Probabilistic Safety Assessment (PSA) voor de huidige situatie ca. 3% van de norm van  $10^{-6}$  per jaar, die de overheid aan het plaatsgebonden risico stelt ( $10^{-6}$  per jaar betekent dat de kans op sterfte is 1 per miljoen jaren bedraagt). De KCB voldoet tevens aan de norm voor het groepsrisico en zal bij voortzetting van de bedrijfsvoering ook na 2013 aan deze norm voldoen. Voortzetting van de bedrijfsvoering zal naar verwachting geen wezenlijke invloed hebben op de risico's op de locatie Borssele. Ook een vervangende kolencentrale of gasgestookte centrale moet voldoen aan de normen voor het plaatsgebonden risico en het groepsrisico.

De conclusie wat betreft het aspect veiligheid luidt, dat er is geen reden is om aan te nemen dat de technische veiligheid voor de bedrijfsduur na 2013 een beletsel zal vormen. Dit zal echter aangetoond dienen te worden in de volgende 10-jaarlijkse veiligheidsanalyse. Bij deze volgende veiligheidsanalyse zal met name de mogelijke veroudering van de installatie een belangrijk aspect zijn

## 5.2 Non-proliferatie

Na beëindiging van de bedrijfsvoering van de KCB zal de nog aanwezige bestraalde splijtstof volgens lopende contracten worden afgevoerd en opgewerkt. Volgens deze contracten zal er geen plutonium naar Nederland terugkeren. Bewaking van transporten en IAEA en Euratom-toezicht op de centrale in het kader van het VN-verdrag betreffende non-proliferatie (het NPT), zal na de afvoer van de splijtstof niet meer nodig zijn. Vanzelfsprekend blijft er tot en met de ontmanteling van de centrale, toezicht van de overheid vanwege onder meer conventionele (niet-nucleaire) veiligheid, de aanwezigheid van radioactiviteit in de installatie en het beheer van radioactief afval.

In april 2005 is door NRG en Clingendael (NRG, 2005) uitgebreid gerapporteerd over non-proliferatie en de kans op mogelijke inbreuken daarop in de Nederlandse situatie. Deze resultaten en die uit andere bronnen zijn door de Staatssecretaris van VROM gerapporteerd aan de Tweede Kamer, onder andere in de notitie van het Ministerie van VROM 'Bedrijfsduur kerncentrale Borssele' (VROM, 2005). Geconcludeerd werd dat het openhouden van de kerncentrale te Borssele (de KCB) ten aanzien van non-proliferatie geen situatie oplevert die ongewenst is.

De KCB maakt geen gebruik van hoogverrijkt uranium (HEU) of van plutonium. Uranium voor kernwapens dient namelijk hoogverrijkt te zijn. In 'verse' splijtstof is geen plutonium aanwezig. In gebruikte splijtstof is deze stof wel in beperkte hoeveelheden aanwezig, verdeeld over de gehele splijtstof en is wat isotopensamenstelling betreft niet van de zogenoemde 'weapon grade' kwaliteit. Dit houdt in dat het plutonium dat uit reprocessing van gebruikte splijtstof wordt verkregen weliswaar in theorie gebruikt kan worden voor het vervaardigen van een primitief wapen<sup>22</sup>, maar dat het technisch zeer veel moeilijker is om hiermee een werkend (primitief) nucleair explosief te maken, waarvan bovendien de betrouwbaarheid niet duidelijk is. Hoe slechter de kwaliteit van het plutonium, met name uit lang gebruikte splijtstof, hoe geavanceerder het ontwerp van een nucleair explosief dient te zijn. Het vervaardigen van een betrouwbaar en efficiënt nucleair explosief met behulp van reactor-kwaliteit plutonium zou de ontwikkeling vergen van nieuwe kernwapens, inclusief nucleaire testen. De hoeveelheid plutonium dat bij opwerking van de gebruikte splijtstof van de KCB vrijkomt bedraagt gemiddeld 0,1 ton plutonium per jaar en wordt onder toezicht van de IAEA en EURATOM overgedragen voor hergebruik.

Verder is gewezen op het toezicht door Euratom en het Atoomagentschap van de Verenigde Naties (de IAEA), dat in ieder geval in de Europese Unie uitstekend functioneert. Gezien het niveau van de veiligheidsvoorzieningen van de installaties en bij transporten van de splijtstofcyclus en bijbehorende beveiligingsmaatregelen, zoals 'fysieke beveiliging', die in (NRG, 2005) en (VROM, 2005) zijn genoemd, wordt de kans op ontvreemding van splijtbare materialen zeer gering geacht. Er zijn geen redenen om aan te nemen dat in deze situatie na 2013 bijzondere wijzigingen zullen optreden.

Er zijn in de afgelopen jaren diverse initiatieven ontplooid, die het non-proliferatie-regime in onze regio verstevigen en de kans op proliferatie, ook na 2013, zullen verkleinen. Te noemen zijn o.a. aanvullingen op het 'Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons' (NPT), het 'Proliferation Security Initiative' (PSI) en 'Security Council resolutie 1540 (UNSCR 1540)'. Meer over deze ontwikkelingen is te lezen in Bijlage G.

---

<sup>22</sup> US Department of Energy (1997), *Nonproliferation and Arms Control Assessment of Weapons-Usable Fissile Material Storage and Excess Plutonium Disposition Alternatives*, DOE/NN-0007, pp. 37-39.

### 5.3 Ruimtelijke ordening

In de toekomst zijn nieuwe locaties voor elektriciteitscentrales nodig, omdat het aantal centrales in Nederland waarschijnlijk zal toenemen en op locaties van bestaande centrales niet altijd nieuwe centrales gebouwd kunnen worden. Er kan van worden uitgegaan dat geschikte locaties voor nieuwe centrales (ten aanzien van toelaatbare milieubelasting, aansluiting op het hoogspanningsnet en brandstofaanvoer) in de toekomst op een zeker moment benut gaan worden. Besluitvorming over de exploitatie van de KCB heeft in beide toekomstscenario's dan vooral invloed op het moment waarop de locaties in gebruik genomen gaan worden. Als de exploitatie van de KCB na 2013 wordt voortgezet dan zal een nieuwe gascentrale of een nieuwe kolencentrale enkele jaren later worden gerealiseerd in vergelijking met de situatie dat de KCB in 2013 wordt gesloten.

Een kolencentrale heeft meer ruimte nodig dan een gascentrale vanwege brandstofvoorraden, brandstofvoorbewerking, rookgasreiniging en asverwerking. Elektriciteitscentrales worden gebouwd in de nabijheid van oppervlaktewater in verband met koeling en, bij kolencentrales, ook vanwege brandstoftoevoer (aanvoer van kolen en biomassa). Locaties in de nabijheid van zeehavens hebben de voorkeur vanwege de brandstoftoevoer en om reden van koelwater<sup>23</sup>. Koelwaterbeperkingen kunnen het gebruik van koeltorens nodig maken, waarvoor extra ruimte nodig is. Extra ruimte is ook nodig voor afvang van CO<sub>2</sub>, ook al wordt een dergelijke installatie pas in een later stadium voorzien.

Indien de KCB na 2013 wordt gesloten, zal niet direct tot ontmanteling worden overgegaan. Ten aanzien van ontmanteling, gaat EPZ uit van ontmanteling na een wachtperiode van 40 jaren. Dit betekent dat het terrein van de KCB niet direct na einde bedrijfsvoering beschikbaar komt voor andere bestemmingen.

### 5.4 Werkgelegenheid, kennisinfrastructuur en competent toezicht

#### 5.4.1 Werkgelegenheid

Indien de KCB in bedrijf blijft, zal dit tot gevolg hebben dat nieuwbouw van (vervangende) centrales op een later tijdstip zal plaatsvinden. Het werkgelegenheidseffect dat samenhangt met de nieuwbouwactiviteiten zal daardoor ook later plaatsvinden.

Wanneer de KCB na 2013 in bedrijf wordt gehouden, blijft daarmee de directe werkgelegenheid voor circa 330 arbeidsplaatsen behouden (EPZ, 2005). Per maart 2005 zijn nog eens 125 personeelsleden extra in dienst gekomen van EPZ (EPZ, 2005b), waardoor er in feite sprake is van 455 arbeidsplaatsen. Dit is het gevolg van overname van personeel binnen de energiesector. Deze personen werken echter ook gedeeltelijk voor de naastgelegen kolencentrale van EPZ.

Beëindiging van de exploitatie van de KCB zal leiden tot verlies van deze werkgelegenheid, al zal dat in verband met de voorbereiding op de ontmanteling niet ogenblikkelijk volledig zijn. Wanneer ook het indirecte banenverlies wordt meegerekend is het verlies aan arbeidsplaatsen groter. De Provincie Zeeland heeft het verlies in Zeeland in 1999 - toen er 330 personen bij EPZ werkzaam waren - geschat op 675 arbeidsplaatsen (Provincie Zeeland, 1999). Daarnaast kan nog sprake zijn van indirect banenverlies voor bedrijven buiten Zeeland, die diensten leveren zoals onderhoud, advies en detachering van nucleaire en stralingsdeskundigen. Voorts zijn er overheidsdiensten die toezicht houden op (nucleaire) veiligheid, die wellicht in omvang kunnen afnemen na sluiting en ontmanteling van de KCB.

---

<sup>23</sup> Bij toename van de temperatuur van het oppervlaktewater en/of afname van de beschikbare hoeveelheid oppervlaktewater dient op een zeker moment de productiecapaciteit van de centrale te worden beperkt. Dit geldt met name voor binnenwateren (bijv. rivierwater). Bij koeling met zeewater speelt dit probleem nauwelijks.



De voorbereiding op een eventuele veilige insluiting en de daadwerkelijke ontmanteling van de centrale, kunnen wel tijdelijke arbeidsplaatsen opleveren. Gezien de internationalisering van de markt voor dit soort activiteiten, is het nog de vraag welk deel daarbij door Nederlandse bedrijven zal worden ingevuld.

In geval van sluiting van de KCB kan nieuwbouw van een elektriciteitscentrale in of in de nabijheid van Borssele het verlies van lokale werkgelegenheid gedeeltelijk compenseren. Een deel van het KCB-personeel heeft kennis en ervaring die ook bij andere energiebedrijven van nut kan zijn. Bij de locatiekeuze voor nieuw te bouwen elektriciteitscentrales zullen producenten de voorkeur hebben voor locaties van reeds bestaande elektriciteitscentrales vanwege de aanwezige elektriciteitsinfrastructuur. De locatie Borssele kan dus een aantrekkelijke locatie zijn voor een nieuwe gas- of kolencentrale. Maar dat is ook het geval wanneer de kerncentrale in bedrijf wordt gehouden, zoals blijkt uit de voornemens voor de nieuwbouw van een gasgestookte STEG (Sloecentrale).

Uiteindelijk zal er bij sluiting van de KCB sprake zijn van een verlies aan directe werkgelegenheid, omdat de exploitatie van een kerncentrale substantieel meer personeel vereist dan een kolen- of gascentrale met gelijke omvang. Voorts is niet te zeggen in hoeverre het resterende deel van EPZ, na sluiting van de kernenergiecentrale, nog zelfstandig kan blijven bestaan. Overname van het restant door andere marktpartijen kan het verlies aan arbeidsplaatsen bij dit deel beperken.

Hoewel sluiting van de KCB tot verlies aan werkgelegenheid kan leiden, zijn er, zoals hier is aangegeven, ook compenserende effecten die het banenverlies beperken (nieuwbouw centrales, ontmanteling, etc.). Bij het EPZ personeel gaat om goed geschoolde werknemers waarvoor deels herplaatsing binnen de elektriciteitssector of aanverwante sectoren mogelijk is. Ook voor de indirecte werkgelegenheid zal vervangende werkgelegenheid mogelijk zijn, met name wanneer in of nabij Borssele een nieuwe elektriciteitscentrale wordt gerealiseerd. De invloed van sluiting van de KCB op de werkgelegenheid op nationaal niveau zal daardoor niet significant zijn, met name als dit voornemen tijdig bekend is.

#### 5.4.2 Kennisinfrastructuur

De overheid heeft een belangrijke rol als toezichthouder op activiteiten waarbij met radioactieve stoffen wordt omgegaan en/of nucleair-technische installaties worden bedreven. Ongeacht het beëindigen of voortzetten van de bedrijfsvoering van KCB per eind 2013, blijven er activiteiten in Nederland die een dergelijk toezicht behoeven. De IAEA, het Atoomagentschap van de VN te Wenen, heeft de eisen aan dat toezicht op hoofdlijnen in diverse 'Safety Standards' (GS-serie) beschreven. Nederlandse ambtenaren hebben zitting gehad in de 'Nuclear Safety Standards Advisory Committee', die betrokken was bij de samenstelling van deze documenten.

De toezichthoudende instantie(s) moeten tevens voldoende personeel in dienst hebben, om hun taken naar behoren te kunnen uitvoeren. De Safety Standards eisen onder meer adequate werkervaring en adequate kennis van de soorten installaties en activiteiten die daar plaats vinden en waarop toezicht moet worden gehouden.

Het is voorstelbaar dat na sluiting van KCB overwogen zal worden, de omvang van de toezichthoudende organen te verkleinen. Afhankelijk van wat toekomstige wetgeving toestaat, kunnen er te zijner tijd vergunningaanvragen voor bouw, inbedrijfname en modificatie van nucleair-technische installaties beoordeeld moeten worden door het bevoegd gezag. Hiervoor zal een minimale expertise gehandhaafd moeten worden bij de overheid. Is dit niet mogelijk, dan moeten constructies worden bedacht, waarmee dergelijke expertise op het moment dat dit nodig is, verkregen of ingehuurd kan worden en op verantwoorde wijze kan worden ingezet.

COVRA heeft op grond van een beschikking krachtens de Kernenergiewet als taak om blijvend en bedrijfsmatig te voorzien in de zorg voor het radioactieve afval in Nederland. De COVRA dient als organisatie in staat te zijn en te blijven om de noodzakelijke zorg te leveren voor het aan haar toevertrouwde radioactief afval.

Sluiting van KCB betekent voor COVRA vermindering van het afvalaanbod en dus vermindering van inkomsten. Er zal echter aanbod van radioactief afval blijven. Punten van zorg daarbij zijn of een voldoende grote organisatie overeind gehouden kan worden en of een voldoende kennisniveau in Nederland aanwezig blijft voor uitvoering en toezicht. Dit probleem is al eerder signaleerd door COVRA en is verwoord in haar 'Beleidsplan 2003 - 2015' (COVRA 2003). Hierin wordt gesteld, dat na het afnemen van de nucleaire activiteiten in Nederland, het personeelsbestand wellicht gehalveerd zal moeten worden. Omdat de maatschappelijke taak van COVRA over een langere termijn gegarandeerd zal moeten worden, stelt COVRA dat er (t.a.v. COVRA) niet sprake mag zijn van een zuiver economische afweging. Dit kan tot gevolg hebben dat aanvullende financiering beschikbaar moeten worden gesteld.

Voor bedrijven in Nederland, die op de internationale markt diensten aan de nucleaire sector verlenen of daaraan gerelateerde diensten aan (Europese) overheden, is het hebben van een thuismarkt een voordeel bij het verwerven van opdrachten. Sluiting van de KCB kan enige invloed hebben op hun lijst van 'referenties'.

Het bevoegd gezag ter zake van nucleaire installaties in Nederland, wordt gevormd door enkele entiteiten. De belangrijkste daarvan zijn de Kernfysische Dienst (KFD) en Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling (SAS), beide diensten van het Ministerie van VROM. Het toezicht op nucleaire installaties in Nederland is momenteel op peil. De overheid heeft, zoals gerapporteerd in het kader van de Nuclear Safety Convention (NSC, 2005), maatregelen getroffen om ook in de toekomst adequaat toezicht op de veiligheid van de nucleaire installaties in Nederland te kunnen waarborgen.

#### *Directie SAS*

De Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling (SAS) bestrijkt een breder gebied dan nucleaire zaken, dit blijkt uit de door VROM geformuleerde doelstellingen van SAS voor diverse beleids-terreinen:

- Bevorderen van de gezondheid van mens en ecosysteem en bescherming van mens en milieu tegen gevaren vanuit chemische stoffen, genetisch gemodificeerde organismen, straling, kernenergie en afvalstoffen.
- Bijdragen aan een duurzame grondstoffen- en energievoorziening door het voorkomen van het ontstaan van afvalstoffen en (her-)gebruiken van de materiaal- en energie-inhoud van onvermijdbare afvalstoffen.

Ten aanzien van nucleaire activiteiten zijn de belangrijkste taken van Directie SAS de ontwikkeling van beleid en verzorgen van de implementatie van regelgeving op het gebied van de stralingshygiëne en de nucleaire veiligheid ter bescherming van mens en milieu. SAS is ook verantwoordelijk voor de vergunningverlening van nucleaire installaties en nucleaire transporten.

Via SAS financiert VROM het RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu), dat via diverse diensten het ministerie ondersteunt bij het toezicht.

#### *Kernfysische Dienst*

Organisatorisch valt de KFD onder de VROM-Inspectie (VI). De taak van de Kernfysische Dienst is het toezicht op de naleving van vergunningsvoorschriften van nucleaire installaties, toezicht op veiligheidsmanagement, veiligheidsbeoordelingen van storingen en wijzigingen en

het leveren van bijdragen aan vergunningen. Daarnaast houdt de KFD zich onder andere bezig met de implementatie van 'severe accident management'.

De KFD heeft alle belangrijke disciplines in huis zoals reactor veiligheid, stralingshygiëne, beveiliging, safeguards en ongevalmanagement. 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 en AMAT verstevigen het veiligheidsregime en zorgen voor een vruchtbare uitwisseling van kennis en ervaring tussen buitenlandse en binnenlandse deskundigen.

De KFD heeft ongeveer 25 formatieplaatsen. Er zijn nieuwe medewerkers aangetrokken met oog op de toekomst. Afgezien van de nieuwe medewerkers, heeft iedere werknemer meer dan tien jaar ervaring in zijn vakgebied. Per jaar gaan de medewerkers tussen de 10 tot 15 dagen in training.

De formatie van de KFD is een punt van aandacht voor het management:

- De gemiddelde leeftijd van de stafleden is meer dan 55 jaar. Het positieve effect van grote ervaring kan op termijn te niet worden gedaan door verlies van expertise door pensioneringen.
- Beperking van budgetten voor opleidings- en onderzoeksinstellingen creëren een situatie waarin de nucleaire expertise in Nederland bedreigd kan worden.
- Bezuinigingen kunnen op termijn de omvang van de KFD doen verkleinen.

Het management van de KFD is zich van deze zaken bewust en vangt de nadelige effecten van genoemde ontwikkelingen op diverse manieren op:

- De KFD trekt nieuw jong personeel aan met relevante kennis, die door 'training on the job' wordt aangevuld. Er wordt een plan gemaakt voor de vervanging van ervaren medewerkers die op termijn met pensioen gaan.
- De KFD heeft intensief contact met collega 'KFD'- diensten zoals de GRS in Duitsland en de AVN en FANC in België. Met deze diensten is er wat betreft taal geen barrière, hetgeen een voordeel is. Verder zijn er contacten met de Zwitserse collega's van HSK en worden contacten gezocht met buitenlandse diensten die in een vergelijkbare positie verkeren als de KFD. Daarnaast zijn de contacten uit WENRA (Western European Nuclear Regulators' Association) en andere internationale organen nuttig voor ondersteuning van de taken van de KFD in Nederland.
- Bezuinigingen hebben invloed op de formatie, hiervoor wordt gecompenseerd via samenwerking met andere inspectiediensten in Nederland die niet-nucleaire zaken voor hun rekening kunnen nemen.
- Omdat bovengenoemde maatregelen misschien niet afdoende zijn om een pensioneringsgolf op tijd op te vangen, breidt KFD ter compensatie zijn bestaande contracten met externe partijen zoals GRS en AVN verder uit.

### *Toezicht na 2013*

Indien de KCB zijn bedrijfsvoering na 2013 voortzet, zal dit blijvend toezicht van de KFD en SAS vereisen. Echter, ongeacht de aanwezigheid van KCB, zal de expertise toch in stand moeten worden gehouden vanwege het bestaan van de COVRA, onderzoeksinstellingen met nucleaire faciliteiten, Urenco en andere in het kader van de kernenergiewet vergunningplichtige inrichtingen.

## 5.5 Samenvatting en conclusies overige aspecten

De gevolgen van voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB voor een aantal overige aspecten worden getoond in Tabel 5.1 ten opzichte van de situatie waarbij de kerncentrale eind 2013 wordt gesloten. Voor deze aspecten zijn er geen verschillen tussen beide scenario's. Omdat er geen goede kwantitatieve informatie is waarmee de effecten kunnen worden vergeleken, is dit niet in de tabel opgenomen.

### *Veiligheid en risico*

Voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB na 2013 betekent dat het ongevalrisico nog aanwezig blijft ten opzichte van sluiting van de KCB. Periodiek dient de exploitant de voorzieningen te evalueren die moeten zorgen voor de nucleaire veiligheid en stralenbescherming en maatregelen te treffen om eventuele tekortkomingen ongedaan te maken. Elke twee jaar worden de voorzieningen beoordeeld ten opzichte van de uitgangspunten van de vergunning. Elke 10 jaar dienen omvangrijkere evaluaties uitgevoerd te worden waarbij ook de uitgangspunten zelf worden vergeleken met nieuwe ontwikkelingen op het gebied nucleaire veiligheid en stralingsbescherming. De eerstvolgende 10-jaarlijkse evaluatie betreft de periode 2003 tot en met 2012 en dient in 2013 afgerond te zijn. De resultaten van deze evaluaties en de voorgestelde maatregelen dienen ter beoordeling te worden voorgelegd aan KFD. Het invoeren van de verbeteringen en het treffen van maatregelen die voortkomen uit het verouderingsbeheer kan significante kosten met zich meebrengen. De exploitant van de KCB zal deze kosten dragen en zal die meenemen in zijn beslissing over voortzetting van de exploitatieduur.

Bij het beoordelen van de veiligheid van de KCB wordt in de analyses rekening gehouden met onzekerheid in de aannames. Bij het berekenen van falen van systemen en het risico van vrijkomen van radioactieve stoffen heeft men te maken met statistische zaken. Onzekerheden in kans op falen van componenten worden hierin meegenomen.

Analyse van mogelijke gevolgen van terroristisch aanslagen valt onder het regime van analyse van ontwerpbasis ongevallen. Op basis van dit soort analyses worden gerichte maatregelen genomen om de gevolgen te beperken. Voor specifieke zaken wordt meestal in internationaal verband samengewerkt. In het verleden heeft dit soort van analyses geleid tot het voorschrijven van een tweede 'gescheiden' locatie van waaruit de reactor kan worden afgeschakeld. Ook toekomstige onderzoeken kunnen tot dit soort maatregelen leiden.

Bij de KCB bedraagt het maximum van het plaatsgebonden risico zoals berekend met de Probabilistic Safety Assessment (PSA) voor de huidige situatie ca. 3% van de norm van  $10^{-6}$  per jaar, die de overheid aan het plaatsgebonden risico stelt ( $10^{-6}$  per jaar betekent dat de kans op sterfte 1 per miljoen jaren bedraagt). De KCB voldoet tevens aan de norm voor het groepsrisico en zal bij voortzetting van de bedrijfsvoering ook na 2013 aan deze norm voldoen. Voortzetting van de bedrijfsvoering zal naar verwachting geen wezenlijke invloed hebben op de risico's op de locatie Borssele. Ook een vervangende kolencentrale of gasgestookte centrale voldoen aan de normen voor het plaatsgebonden risico en het groepsrisico.

### *Non-proliferatie*

Het openhouden van de KCB houdt in dat het toezicht op het handhaven van het non-proliferatie regime bij de KCB door de Nederlandse overheid, Euratom en de IAEA gehandhaafd blijft. In het kader van de 'Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons' (NPT) en het additioneel protocol, en van de 'Convention on the Physical Protection of Nuclear Material' (CPPNM) wordt dit toezicht door de overheid regelmatig met Euratom en de IAEA besproken en door uitwisseling van ervaringen elders verder verbeterd. Na sluiting van de KCB is er na afvoer van gebruikte splijtstof, geen noodzaak op toezicht door de Nederlandse overheid, Euratom en IAEA met betrekking tot handhaving van non-proliferatie bij de KCB.

### *Ruimtelijke ordening*

Nieuwe elektriciteitscentrales hebben effect op de ruimtelijke ordening. Doordat de besluitvorming over voortzetting of beëindiging van de bedrijfsvoering van de KCB in beide toekomstscenario's echter alleen het moment en niet de aard van nieuw te bouwen centrales beïnvloedt, zullen er ten aanzien van deze aspecten geen significante effecten optreden.

### *Werkgelegenheid en kennisinfrastructuur:*

Door het in bedrijf houden van de KCB blijft directe en indirecte werkgelegenheid behouden en draagt bij aan de instandhouding van nucleaire kennisinfrastructuur. Sluiting van de KCB kan in de regio tot verlies van werkgelegenheid leiden. Er zijn echter ook compenserende effecten die het banenverlies beperken, zoals de ontmanteling van de KCB, realisatie van een nieuwe elektriciteitscentrale, etc. Bij het EPZ personeel gaat het om goed geschoold werknemers waarvoor deels herplaatsing binnen de elektriciteitssector of aanverwante sectoren waarschijnlijk weinig problemen zal opleveren. Ook voor de indirecte werkgelegenheid zal vervangende werkgelegenheid mogelijk zijn, met name wanneer in of nabij Borssele nieuwe elektriciteitscentrales worden gerealiseerd. De invloed van sluiting van de KCB op de werkgelegenheid op nationaal niveau zal niet significant zijn, met name wanneer dit voornemen tijdig bekend is.

Het sluiten van de centrale kan negatieve gevolgen hebben voor de nucleaire kennisinfrastructuur in Nederland. Onder meer bij COVRA verwacht, vanwege verminderde inkomsten, een aanzienlijke personeelsreductie. Om haar taken naar behoren te kunnen uitvoeren zal COVRA in staat gesteld moeten worden voldoende gekwalificeerd personeel in dienst te houden. De overheid zal maatregelen moeten nemen om een minimum aan kennisniveau te handhaven. De overheid heeft, zoals gerapporteerd in het kader van de Nuclear Safety Convention, maatregelen getroffen om ook in de toekomst adequaat toezicht op de veiligheid van de nucleaire installaties in Nederland te kunnen waarborgen

Tabel 5.1 *Overige effecten bij voortzetting van de exploitatie van de kerncentrale Borssele ten opzichte van de situatie van sluiting in 2013*

| Beoordelingsaspect                             | SE en GE-scenario                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                | Verandering                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <i>Veiligheid en risico</i>                    | Het ongevalsrisico van de KCB blijft bestaan. Er is netto geen verandering van het veiligheidsrisico. De veiligheid van de KCB kan na 2013 worden gewaarborgd. Het plaatsgebonden risico van KCB is meer dan een factor 30 lager dan de wettelijk norm van $10^{-6}$ per jaar, die ook voor fossiel gestookte centrales geldt.   |
| <i>Non-proliferatie</i>                        | Toezicht op de handhaving van het non-proliferatie regime bij de KCB door de Nederlandse overheid, Euratom en de IAEA blijft gehandhaafd. In het kader van internationale verdragen wordt dit toezicht door de overheid regelmatig met Euratom en de IAEA besproken en door uitwisseling van ervaringen elders verder verbeterd. |
| <i>Ruimtelijke ordening</i>                    | Geen significant effect                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <i>Werkgelegenheid en kennisinfrastructuur</i> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Hoewel werkgelegenheid bij de KCB behouden blijft, per saldo geen significant effect op de werkgelegenheid op nationaal niveau</li><li>- Gunstig voor instandhouding nucleaire kennisinfrastructuur in Nederland.</li></ul>                                                              |

## DEEL B - OVERIGE NUCLEAIRE ASPECTEN

## 6. Veroudering en levensduur kerncentrales

In 2013 zal het veertig jaar geleden zijn, dat de kerncentrale Borssele in gebruik werd genomen. Bij het ontwerp van de centrale is geëist dat deze tenminste veertig jaar veilig in bedrijf te houden moet zijn. In dit hoofdstuk wordt onderzocht of er consequenties zijn voor de veiligheid na einde 2013, als besloten zou worden om de centrale na die datum in bedrijf te houden.

In Paragraaf 6.1 wordt in algemene zin de vraag beantwoord of er technische redenen zijn om een installatie uit bedrijf te nemen bij het bereiken van een zekere levensduur. In Paragraaf 6.2 wordt toegelicht hoe voor kerncentrales informatie over het feitelijk gebruik van de installatie benut wordt om de veiligheidsmarges na een zekere gebruiksduur nauwkeuriger te kunnen bepalen dan bij het ontwerp mogelijk was.

De bij KCB gebruikte methodieken om de installatie in een veilige conditie te blijven bedrijven, het zogenoemde ‘verouderingsbeheer’, worden in Paragraaf 6.3 beschreven. Hoe een dergelijk beheer in de verschillende landen wordt aangepakt en welke trends daarin te zien zijn, komt aan de orde in Paragraaf 6.4. De mate van veroudering van KCB en de manier waarop KCB gebruik maakt van internationale ervaringen komt aan bod in Paragraaf 6.5.

De belangrijkste aspecten bij vergunningstechnische overwegingen bij het beslissen een kerncentrale al dan niet uit bedrijf te nemen zijn beschreven in Paragraaf 6.6. De paragrafen 6.7 en 6.8 bevatten overzichten van oudere reactoren in de wereld en van reactoren met een vergunningsduur langer dan veertig jaar. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een samenvatting (Paragraaf 6.9).

### 6.1 Het begrip levensduur

Bij het ontwerp van de KCB is er van uit gegaan dat de centrale gedurende een periode van veertig jaar in bedrijf zou moeten blijven. Anders gezegd: de KCB heeft een (ontwerp-) levensduur van veertig jaar. Hierbij moet het begrip ‘levensduur’ niet in biologische zin maar in technische zin gehanteerd worden. Wanneer bijvoorbeeld van een technische installatie alle componenten stuk voor stuk vervangbaar zijn, kan de levensduur die bij het ontwerp voorzien was, zonder bezwaar overschreden worden. Immers de installatie als geheel zal, op voorwaarde dat deze voortdurend adequaat onderhouden wordt, niet verder verouderen.

Uit dit voorbeeld blijkt dat het feit dat de bedrijfsduur van een technische installatie de oorspronkelijke ontwerp-levensduur overschrijdt, als zodanig niets zegt over de actuele veiligheid van deze technische installatie. Om uitspraken te kunnen doen over de veiligheid in relatie tot de bedrijfsduur van de installatie is het van belang om na te gaan in hoeverre onderdelen vervangbaar zijn, goed onderhouden worden en tijdig vervangen worden.

Een alledaags voorbeeld aan de hand waarvan het begrip ‘levensduur’ van een installatie kan worden toegelicht, is de bedrijfsduur van een auto. Hiervan is bekend dat de kans op storingen toeneemt met de leeftijd van de auto. Echter, ook is bekend dat een auto toch 15 jaar of langer veilig kan worden gebruikt als het onderhoud maar goed is. Zolang de auto service beurten krijgt en onderdelen tijdig worden vervangen, kan zelfs een oude auto veilig en met weinig storingen worden gebruikt. De maximale leeftijd van een auto hangt daarom vooral samen met de oorspronkelijke kwaliteit, de wijze van gebruik en het onderhoud. Hierbij is het belangrijk dat het technisch mogelijk is alle onderdelen van een auto, zelfs de carrosserie, te vervangen. De economische levensduur is meestal ten einde als het onderhoud te duur wordt ten opzichte van de waarde van de auto.

Hetzelfde geldt in principe voor een kerncentrale: de centrale kan langer veilig gebruikt worden dan de ontwerplevensduur, zolang alle onderdelen hiervan in een veilige conditie worden gehouden door goed onderhoud en zonodig vervanging. Echter vervanging van sommige onderdelen kan hoge kosten met zich meebrengen. De beslissing om de bedrijfsvoering te beëindigen of voort te zetten wordt bepaald door de kosten die nodig zijn om het vereiste veiligheidsniveau te handhaven en is niet een technische, maar een bedrijfseconomische afweging. Net als bij de APK voor auto's is de leeftijd als zodanig geen criterium. Tot een vergelijkbare conclusie komt ook de gezaghebbende Belgische Ampère studie, waarin geconcludeerd wordt dat de levensduur van een centrale in technische zin niet bestaat, maar geheel bepaald wordt door economische afwegingen (AMPERE, 2000).

Het toezicht op kerntechnische installaties is daarom gericht op de veiligheid van de installaties en niet op de leeftijd op zich.

Naast de kwaliteit van het onderhoudsprogramma, zal de periode dat een kerncentrale of een auto veilig en bedrijfseconomisch verantwoord in bedrijf kan worden gehouden, sterk afhangen van de kwaliteit van de gebruikte materialen en onderdelen en de zorgvuldigheid waarmee destijds de installatie is samengesteld.

## 6.2 Technische aspecten van levensduur

Het uitgangspunt bij het ontwerp van de KCB was een bedrijfsduur van veertig jaar. Een dergelijke bedrijfsperiode ('levensduur') was destijds ook het uitgangspunt bij de bouw van olie- en kolengestookte energiecentrales en andere kerncentrales met drukwater reactoren die toen in het buitenland werden gebouwd. In deze paragraaf wordt toegelicht hoe deze ontwerpeis gebruikt is bij het ontwerp en wat het betekent voor de veiligheid als de installatie langer in bedrijf wordt gehouden.

De ontwerplevensduur is gebruikt bij het bepalen van het ontwerp van met name een aantal moeilijk te vervangen hoofdcomponenten. Van bijvoorbeeld het reactorvat is voorzien dat er veroudering zal optreden door blootstelling aan straling en thermo-mechanische belastingen. De hoofdcomponenten zijn zo gedimensioneerd dat ze bij de aangenomen belastingen zeker veertig jaar aan de veiligheidstechnische specificaties voldoen.

Gedurende de periode waarin de installatie in bedrijf is, wordt het feitelijk verouderingsgedrag op componentniveau gecontroleerd en beheerst. Voor bijvoorbeeld het reactorvat wordt het daadwerkelijke verouderingsgedrag vastgesteld via inspectie van de component (o.a. via niet-destructief materiaal onderzoek) en via mechanische beproeving van proefstukken die men versneld laat verouderen door ze bloot te stellen aan een hogere (stralings-)belasting dan het reactorvat zelf. De daadwerkelijke belastingshistorie wordt bijgehouden en vergeleken met de aannames bij het ontwerp. Deze methodieken zijn conform internationale aanbevelingen, nationale regelgeving zoals die van de USNRC en de Duitse KTA regels, zie bijvoorbeeld (KTA, 1996) en (KTA, 2001). Op basis van daadwerkelijk verouderingsgedrag en de daadwerkelijke belastingshistorie kan nauwkeuriger worden bepaald wat na een aantal bedrijfsjaren de marges zijn ten opzichte van de veiligheidstechnische specificaties.

Voor aanvullende informatie over dergelijke analyses van de veroudering van componenten uitgevoerd bij de KCB, wordt verwezen naar Paragraaf 6.5. In het algemeen concludeert een OECD-rapport op basis van de beschikbare technische ervaring dat de gebruiksduur van componenten met een factor twee verlengd kan worden bij een voorziene levensduur van 40 tot 60 jaar (NEA, 2002).



### 6.3 Verouderingsbeheer

In het algemeen zal een technische installatie na tientallen jaren in bedrijf te zijn geweest, niet meer in dezelfde staat verkeren als bij de ingebruikname. Anders dan men wellicht zou denken is slijtage daarbij het probleem niet. Immers, wanneer de installatie adequaat wordt onderhouden, worden slijtende onderdelen tijdig vervangen door nieuwe onderdelen. Door modificaties vanwege de voortgeschreden stand der techniek kan de installatie na tientallen bedrijfsjaren zelfs in betere staat verkeren dan bij de ingebruikname. Onder veroudering verstaan we hier processen waardoor de karakteristieken van systemen, structuren en componenten geleidelijk veranderen in de loop van jaren.

Strikt genomen kunnen de effecten van veroudering zowel gunstig als ongunstig uitwerken. Zo neemt de treksterkte van het materiaal van een nucleair reactorvat toe als gevolg van jarenlange bestraling door neutronen. Maar tegelijkertijd wordt het materiaal ook minder rekbaar en vervormbaar (brosser), wat nadelig is voor de kans op breuk. Met het begrip verouderingsdegradatie worden specifiek effecten van veroudering bedoeld die nadelige invloed kunnen hebben op het vermogen van systemen, structuren en componenten om te functioneren binnen de gestelde veiligheidsgrenzen. Vaak wordt de term veroudering gebruikt met de connotatie van nadelig voor de veiligheid, d.w.z. als synoniem voor verouderingsdegradatie.

In de afgelopen decennia is internationaal het besef gegroeid dat bij nucleaire vermogensreactoren de beheersing van het verouderingsproces (d.w.z. zorgen dat voldaan blijft worden aan de veiligheidstechnische specificaties) niet noodzakelijk adequaat wordt aangepakt binnen de reguliere onderhoudsprogramma's. Sindsdien zijn door aanmerkelijke inspanningen internationale richtlijnen ontwikkeld voor het beheer van veroudering (IAEA 1991, 1992, 2005b). Het verouderingsbeheer binnen KCB is op o.a. de IAEA-richtlijnen gebaseerd (zie Paragraaf 6.5). Deze richtlijnen houden in dat de integriteit en functionaliteit van systemen, structuren en componenten door middel van een systematisch beheersproces worden zekergesteld. Dit beheersproces omvat het minimaliseren van veroudering (voor zover geëigend) o.a. door onderhoud, het tijdig detecteren van degradatie en het tegengaan van degradatie o.a. door vervangen van onderdelen.

Het verouderingsbeheer conform de IAEA-richtlijnen omvat ook conceptuele veroudering. Om terug te komen op het voorbeeld van de auto: een oldtimer kan door onderhoud en revisies in een conditie zijn die te kwalificeren is als 'beter dan nieuw'. Maar een oldtimer voldoet niet vanzelfsprekend aan wat van een moderne auto verwacht mag worden op het gebied van verkeersveiligheid (kreukelzone) of milieu (katalysator). De vraag is dan in hoeverre moderniseringen nodig zijn om deze gevallen van conceptuele veroudering te verhelpen.

Bij de KCB en andere nucleaire installaties is de vraag welke aanpassingen nodig zijn in verband met conceptuele veroudering ondergebracht in de terugkerende evaluaties.

Naast veiligheidstechnische motieven om veroudering te bewaken, kunnen er ook economische motieven in het spel zijn. Wanneer verouderingsbeheer wordt geïntegreerd met economische planning spreken we van life cycle management (NRG, 2002).

### 6.4 Nationale verschillen in aanpak van verouderingsbeheer

In deze paragraaf worden enkele markante verschillen aangestipt in de manier waarop verouderingsbeheer in diverse landen wordt aangepakt.

Bij verouderingsbeheer vanuit veiligheidsoogpunt is het doel zeker te stellen dat de vereiste veiligheidsmarges van systemen en componenten worden gehandhaafd gedurende de levensduur

van de installatie, inclusief eventueel voortzetten van productiebedrijf.. Bij verouderingsbeheer vanuit het oogpunt van vermogensproductie is het doel om de betrouwbaarheid en economische levensvatbaarheid op lange termijn zeker te stellen. Uit een recente OECD-studie blijkt dat de strategische toekomstplanning voor vermogensreactoren meer dan voorheen een economische aangelegenheid is geworden, al zijn er nationale verschillen in de mate waarin dit het geval is (NEA, 2001). In alle gevallen blijft overigens gelden dat voldaan moet zijn aan de veiligheidseisen.

Nationale verschillen zijn er verder ten aanzien van hoe verouderingsbeheer organisatorisch wordt ingebed. In Duitsland bijvoorbeeld is er tot op heden geen specifiek programma voor verouderingsbeheersing en krijgt de veroudering van systemen, structuren en componenten aandacht binnen bestaande onderhouds- en inspectieprogramma's. Daartegenover is in Frankrijk een specifieke organisatie opgezet binnen het nationale energiebedrijf EDF voor coördinatie van alle problemen die samenhangen met veroudering en levensduur van de kerncentrales in Frankrijk. De belangrijkste oorzaak voor dit verschil is dat in Duitse centrales (KCB is een Duits ontwerp) betere mogelijkheden aanwezig zijn voor onderhouds- en inspectieprogramma's vanwege de betere toegankelijkheid in de installaties en de ontwerpeis dat alle constructies in veiligheidssystemen te onderzoeken moeten zijn.

Voor een deel komen de verschillen in aanpak van verouderingsbeheersing voort uit verschillen in overheidsbeleid, verschillen tussen de nationale definities van veroudering en het aantal en types centrales in een land (NRG, 2002). De trend is dat de aanpak in de meeste landen steeds meer conform de IAEA-richtlijnen verloopt.

## 6.5 Veroudering bij de KCB

Bij het ontwerp van de hoofdcomponenten van KCB zijn op basis van de gewenste levensduur de toelaatbare belastingen van de componenten bepaald. Voorbeelden zijn de stralingsbelasting, door met name neutronen, en het aantal malen dat de installatie versneld moet afkoelen als gevolg van een snelle afschakeling waardoor diverse componenten, zoals het reactorvat, tijdelijk extra mechanisch en thermisch worden belast. Om met voldoende zekerheid te kunnen stellen dat de installatie tot ten minste de ontwerplevensduur blijft voldoen aan de veiligheidstechnische specificaties, is een marge genomen in het aantal keren dat zo'n extra belasting zal optreden en zijn de onzekerheden in de berekeningen van de mate van belasting van de component bij zo'n snelle afschakeling afgedekt door conservatieve randvoorwaarden.

In de praktijk blijkt vooral het aantal malen dat versneld is afgekoeld ver achter te blijven bij wat in het ontwerp is aangenomen. Bovendien resulteerden de meeste snelle-afschakelingen in een geringere belasting van het reactorvat dan in het ontwerp van de installatie was verondersteld. Verder blijkt dat door toepassen van verbeterde rekentechnieken een reëlere schatting van de belasting wordt verkregen dan de destijds in het ontwerp conservatief berekende belasting. Door al deze factoren zijn in de loop van de bedrijfsjaren de componenten zoals het reactorvat minder snel verouderd dan ten tijde van de bouw was voorspeld.

Verouderingsgedrag van kerncentrales wordt al decennia lang gevolgd. Sinds 1994 bevat de kernenergiewet vergunning van KCB een voorschrift dat per 1997 een systeem vereist voor het beheer van veroudering. Sindsdien worden alle relevante componenten periodiek gecontroleerd op verouderingsaspecten.. Bij dit verouderingsbeheer geldt:

1. Actieve componenten zoals pompen worden tijdig vervangen binnen de periodieke onderhoudsprogramma's.
2. Het verouderingsgedrag van passieve componenten zoals leidingen is goed te monitoren omdat dergelijke componenten veelal geleidelijk degraderen.

3. Alle systemen en componenten zijn vervangbaar. Alleen het reactorvat is praktisch onvervangbaar. Daarom is er veel aandacht voor de veroudering van deze component, met name voor het aspect materiaalverbrossing als gevolg van de bestraling van het reactorvat door neutronen.

Bij punt drie moet overigens worden opgemerkt dat er inmiddels studies zijn uitgevoerd die aangeven dat vervanging van het reactorvat bij KCB technisch wel mogelijk is.

Steekproefsgewijs worden audits gehouden om vast te stellen of het verouderingsbeheer aan de eisen voldoet. In 2003 heeft ook een 'Aging Management Assessment Team' (AMAT) van de IAEA een audit bij KCB gehouden. De resultaten waren gunstig: de installatie is in goede conditie en het verouderingsbeheer voldoet aan de eisen en functioneert goed (VROM, 2004). Meer specifiek resulteerde de AMAT-review in vier hoofdconclusies:

1. De veiligheidsrelevante componenten van de KCB zijn in een goede conditie.
2. De KCB heeft een systeem voor verouderingsbeheersing conform de vergunningseisen. Het bestaande systeem van verouderingsbeheersing voorziet in tijdige detectie en beperking van veroudering zodat de integriteit en functionaliteit van veiligheidsrelevante componenten van de KCB voor de komende tien jaar is gewaarborgd.
3. Het team heeft een aantal mogelijkheden geïdentificeerd waarmee de effectiviteit van het bestaande systeem van verouderingsbeheersing verder verbeterd kan worden. Als voorbeelden worden genoemd:
  - Het systeem van verouderingsbeheersing goed vastleggen in het kwaliteitssysteem.
  - Het verbeteren van het EQ (equipment qualification) programma voor elektronische componenten.
  - Het invoeren van een systematisch verouderingsbeheersingsprogramma voor kabels conform IAEA-aanbevelingen.
  - Het invoeren van een systematisch verouderingsbeheersingsprogramma voor gebouwen en structuren.
4. Het AMAT team heeft bij de KCB een aantal 'good practices' geïdentificeerd, die als voorbeeld kunnen dienen voor andere kernenergiecentrales:
  - Het toepassen van een krachtige database voor veroudering waarmee verbeterpunten vervolgd kunnen worden en waarbij meerdere afdelingen betrokken zijn.
  - De KCB heeft een adequaat systeem voor het aanpassen van bedrijfsvoering op grond van interne en externe ervaring: een goed 'experience feedback' systeem.
  - Het documentatiesysteem van de afdeling mechanisch onderhoud is goed gestructureerd en goed toegankelijk voor medewerkers.

Bij het ontwerp van het reactorvat heeft Siemens KWU destijds gebruik gemaakt van de ervaringen opgedaan in eerder gebouwde centrales. Wat betreft de veroudering van het reactorvat door materiaalverbrossing, gelden bij de KCB de volgende gunstige omstandigheden:

- *Gunstige materiaalkeuze:*  
Het materiaal van het reactorvat van KCB bevat een laag gehalte aan verontreinigingen zoals koper en fosfor, die zouden kunnen zorgen voor een snelle materiaalverbrossing als gevolg van de bestraling met neutronen vanuit de reactorkern. Vanwege de verstandige materiaalkeuze door RDM, de constructeur van het vat, is de verbrossing van het KCB reactorvat veel lager dan die bij reactorvaten van andere centrales van dezelfde generatie.
- *Lage stralingsbelasting:*  
Bij de KCB is er een relatief dikke waterafscherming tussen reactorkern en vatwand toegepast. Hierdoor is de belasting van het reactorvat door bestraling met neutronen relatief laag. Bovendien is na ongeveer tien jaar bedrijf een zogenoemde 'low-leakage kern' toegepast, waardoor de belasting van het reactorvat door neutronen verder wordt beperkt.

Het gevolg van deze gunstige omstandigheden is dat het tempo van de materiaalverbrossing van het reactorvat van de KCB lager is dan bij de reactorvaten van veel andere drukwaterreactoren uit dezelfde bouwperiode, wat zich vertaalt in een langere levensduur.

De werkelijke mate van materiaalverbrossing bij het reactorvat van de KCB is bepaald door proefstaven van vatmateriaal enige tijd mee te bestralen in het reactorvat waarna ze beproefd zijn. Deze bestralingen en beproevingen zijn conform internationale aanbevelingen op het gebied van materiaal beproevingen, zoals die van de ASME, nationale regelgeving zoals die van de USNRC en met name de Duitse KTA regels, zie bijvoorbeeld (KTA, 1996) en (KTA, 2001). Vastgesteld is dat het reactorvat van de KCB ook na meer dan dertig jaar bedrijfsvoering nog zeer taai is en dat het tempo van verbrossing laag is. De proefstukken bleken minder te verbrossen dan werd voorspeld door de conservatieve voorspellingsformules die gehanteerd worden in de nucleaire regelgeving.

Inmiddels is gebleken dat de tot nu toegepaste bewijsvoering voor de integriteit van reactorvaten zeer conservatief is en dat er in werkelijkheid sprake is van zeer grote veiligheidsmarges. Doordat het de laatste jaren mogelijk is geworden om de werkelijke breuktaaiheid met kleine bestraalde proefstaven te kunnen bepalen kan het conservatisme verkleind worden. Deze methodiek ('Master Curve') is inmiddels in de Verenigde Staten in de regelgeving opgenomen en ook in andere landen is men bezig deze methodiek in de regelgeving op te nemen. Voor IAEA aanbevelingen en USNRC regels m.b.t handhaven van sterkte van reactorvaten en gestelde eisen wordt verwezen naar (IAEA, 1999b) en (NRC, 2003).

Op grond van de huidige inzichten wordt geconcludeerd dat materiaalverbrossing van het reactorvat geen beperkende factor vormt voor een veilige bedrijfsvoering van de KCB na 2013.

In het bovenstaande is beschreven wat er feitelijk bekend is over veroudering bij KCB en hoe het verouderingsbeheer wordt aangepakt. Organisaties als 'Union of Concerned Scientists' (UCS)<sup>24</sup> en WISE<sup>25</sup> hebben in algemene zin de vrees geuit dat het verouderingsbeheer niet adequaat zal blijken. In de gerefereerde documenten van UCS en WISE worden gevallen beschreven van lekkages van koelwater, corrosie van componenten, gebrek aan onderhoud, degradatie door verkeerde materiaalkeuze voor reactorvaten en dergelijke. Zoals hieronder wordt beschreven, is deze vrees ten aanzien van de KCB niet op feiten gebaseerd.

Bij een aantal reactoren in de Verenigde Staten, Duitsland en Zwitserland, die inmiddels uit bedrijf zijn genomen, is gesuggereerd dat de uitbedrijfname verband houdt met geconstateerde verouderingsverschijnselen zoals boorzuurcorrosie of materiaalverbrossing van het reactorvat. Tegen beide verschijnselen blijkt het reactorvat van KCB bijzonder goed bestand te zijn vanwege de gunstige materiaalkeuze.

Een verouderingseffect dat wereldwijd veel aandacht heeft gekregen is corrosie aan de buitenkant van het reactorvat en andere primaire componenten door de lekkage van (boorzuurhoudend) koelwater. In 2002 werd bij de Amerikaanse centrale Davis Besse een grote aantasting van het reactorvatdeksel vastgesteld door dit fenomeen. Er bleek jarenlang sprake te zijn geweest van een kleine lekkage ter plaatse van een regelstaafdoorvoering in het reactorvatdeksel via scheurtjes die het gevolg waren van spanningscorrosie in een las. Hierdoor heeft jarenlang water gelekt dat uiteindelijk tot grote aantasting (corrosie) van het deksel heeft geleid.

Kort na de ontdekking van dit corrosieprobleem, kwam de informatie hierover bij de KCB binnen en is er direct op basis van de aanwezige gegevens een evaluatie uitgevoerd in hoeverre dit probleem relevant is voor KCB. Het fenomeen dat het incident initieerde, kleine scheurtjes als

---

<sup>24</sup> Zie o.a. 'US Nuclear Plants in the 21st Century: the Risk of a Lifetime', UCS, 2004.

<sup>25</sup> Zie o.a. 'Verlengde opening Borssele: risico's en kosten', Profundo & WISE voor Greenpeace, 26 april 2005.

gevolg van spanningscorrosie, treedt niet op in de regelstaafdoorvoeringen van de KCB. Het materiaal en de constructie van de regelstaafdoorvoeringen bij de KCB zijn zodanig gekozen dat corrosiegevoelige materialen niet in contact kunnen komen met primair water. Verder beschikt de KCB over adequate systemen voor de detectie van kleine lekkages van het primair systeem, waarvan het reactorvat deel uitmaakt. Met visuele inspecties is bevestigd dat er geen sprake is van aantasting van het reactorvatdeksel. Binnen de bij KCB geldende veiligheidscultuur is uiterst onwaarschijnlijk dat dergelijke lekkages onopgemerkt blijven en tot aantasting van de reactorvatdeksel zouden leiden.

In het kader van hun veiligheidsbeleid houden de bedrijvers van de KCB zich via allerlei kanalen, o.a. WANO (het internationaal overlegorgaan voor bedrijvers van kerncentrales) en de IAEA, op de hoogte van internationale ontwikkelingen en gebeurtenissen die van invloed zouden kunnen zijn op een veilige bedrijfsvoering van de KCB. Alle wereldwijd gerapporteerde gebeurtenissen op dit gebied worden geëvalueerd op hun kans van optreden bij KCB en hun mogelijke impact. Indien nodig worden passende maatregelen genomen.

## 6.6 Aspecten van vergunningverlening en toezicht

Bij de beslissing om een vermogensreactor uit bedrijf te nemen of juist verlengd in bedrijf te houden spelen ook vergunningstechnische overwegingen mee (NEA, 2001). In alle landen met commerciële vermogensreactoren is het een vereiste dat de reactoren een vergunning hebben.

In de meeste West-Europese landen, maar ook in Japan en Canada, wordt gewerkt met vergunningen voor onbepaalde tijd op voorwaarde van een voortdurend veilige bedrijfsvoering. In een aantal landen, zoals de Verenigde Staten, Finland en Mexico, wordt gewerkt met vergunningen met een bepaalde duur, wat aanleiding geeft tot het spreken over (vergunnings-) levensduur. Volgens de Amerikaanse overheid is deze periode van 40 jaar een tamelijk willekeurig compromis dat in de kernenergiewet 1954 is vastgelegd en is deze niet gebaseerd op technische gronden of bedrijfservaring (US-NRC, 2005a).

Hoewel de vorm en duur van de vergunning voor het bedrijven van een kerncentrale van land tot land verschillen, benadrukken deze allemaal dat de vergunninghouder fundamenteel verantwoordelijk is voor de veiligheid. In alle landen is vereist dat de vergunninghouder voldoet aan alle vergunningsvoorwaarden en dat de veiligheid continu wordt gecontroleerd. De toezichthouder bewaakt deze controles en de vergunninghouder moet de centrale aanpassen als er veiligheidsrelevante tekortkomingen of noodzakelijke verbeteringen aan het licht komen. Steeds gebruikelijker wordt het daarbij om periodieke veiligheidsevaluaties te eisen zoals de Tienjaarlijkse Veiligheidsevaluatie die voor de KCB van toepassing is (zie Bijlage C voor meer details).

Enkele specifieke ontwikkelingen in de wetgeving in sommige landen verdienen hier aandacht omdat deze rechtstreeks te maken hebben met voortzetting van productiebedrijf van een kerncentrale na het verstrijken van de ontwerp levensduur. Zo is de Canadese Atomic Energy Control Board begonnen met voorschriften voor verouderingsbeheer. In de VS, waar gewerkt wordt met een stelsel van vergunningen voor bepaalde duur, is de mogelijkheid gecreëerd om de oorspronkelijk vastgestelde vergunningsduur van 40 jaar, via een aanvraag voor vergunningsverlenging, met nog eens 20 jaar te verlengen. Van die mogelijkheid wordt op grote schaal gebruik gemaakt. Bij de aanvraag voor vergunningsverlenging moet aangetoond worden dat de kerncentrale aan alle herziene veiligheidseisen blijft voldoen voor de komende periode. Deze ontwikkelingen in de regelgeving weerspiegelen het inzicht dat niet de kalenderleeftijd maar de conditie van een installatie bepalend is voor de vraag of een vergunning voor voortgezette bedrijfsvoering verantwoord is. De Amerikaanse overheid (US-NRC) benadrukt dat de destijds vastgestelde periode van veertig jaar niet berust op technische beperkingen, maar op economische en antitrust overwegingen (US-NRC, 2005b).

Niet alleen de kerncentrales maken ontwikkelingen door in de jaren dat ze in bedrijf zijn (verouderingsprocessen, renovaties), maar ook de regelgeving waaraan ze moeten voldoen. De algemene eis is dat de oudere centrales minimaal blijven voldoen aan de eisen die golden tijdens de vergunningsverlening. In de praktijk moeten deze centrales echter ook redelijkerwijs voldoen aan nieuwe regels en ontwikkelingen in het veiligheidsdenken ('Safety philosophy'). Hierbij wordt algemeen geaccepteerd dat bedrijfsvoering en onderhoud van oudere centrales vaak gebeuren op basis van meer conservatisme dan de huidige inzichten zouden eisen.

In diverse landen bestaat de tendens om in aanvulling op de gangbare, deterministische, vergunningscriteria gebruik te maken van probabilistische criteria. Probabilistische criteria drukken uit welk risico niveau maatschappelijk acceptabel wordt geacht. Bij deterministische criteria wordt gespecificeerd welke situaties niet mogen voorkomen. Probabilistische veiligheidsanalyses bieden mogelijkheden om de effecten van veroudering te verdisconteren. In huidige probabilistische veiligheidsanalyses wordt al rekening gehouden met veroudering doordat de faalkansen van componenten mede gebaseerd zijn op falen als gevolg van diverse vormen van veroudering. Ter discussie staat nog of verouderingsverschijnselen niet geavanceerder verdisconteerd moeten worden. Bijvoorbeeld is de vraag of met faalkansen moet worden gerekend die variëren met de bedrijfstijd. In de praktijk wordt echter die afhankelijkheid (nog) niet gevonden.

Vast staat evenwel dat de meeste beslissingen om een oudere centrale te sluiten niet zijn gebaseerd op probabilistische criteria, maar op basis van deterministische criteria. Hierbij geldt, zoals eerder is vermeld, dat een centrale minimaal moet blijven voldoen aan de eisen die golden ten tijde van vergunningsverlening en tevens van de centrale verwacht wordt dat redelijkerwijs gelijke tred wordt gehouden met voortschrijdende inzichten en ontwikkelingen. Dit houdt ook in dat de veiligheidseisen kunnen wijzigen. Toetsmomenten hiervoor zijn de integrale 10-jaarlijkse veiligheidsevaluaties (zie Bijlage C). De overheid heeft de mogelijkheid de bedrijfsvoering stop te zetten als de KCB niet aan die eisen voldoet en niet van plan is om de situatie te corrigeren.

Het toezicht van het bevoegd gezag wordt op componentniveau steekproefsgewijs uitgevoerd vanwege het enorme aantal componenten. Zelfs bij een relatief kleine kerncentrale als de KCB bedraagt het aantal uniek genummerde werktuigbouwkundige componenten in de orde van 20.000. Dit grote aantal en de regelmatige wijzigingen daarin maken het ondoenlijk om telkens de veiligheidstechnische toestand van alle componenten afzonderlijk te inspecteren. Wel zijn de technische criteria voor de diverse componenten beschikbaar bij de vergunninghouder (configuratiebeheer) en toegankelijk voor de toezichthouders (KFD en Stoomwezen). Daarnaast worden door de toezichthouder audits uitgevoerd op het beheerssysteem van de vergunninghouder. In sommige gevallen maakt de toezichthouder ook gebruik van diensten van toezichthouders uit nabuurlanden en voor specifieke zaken van de diensten van internationale organisaties zoals de IAEA (bijvoorbeeld voor de AMAT missie in 2003). Deze aanpak is internationaal gebruikelijk en wordt in het geval van KCB verder gerechtvaardigd door de praktijk: het aantal storingen dat per jaar in de KCB optreedt is erg laag. Dit geeft aan dat de beheersing van de kwaliteit en conditie van de individuele componenten van de centrale past bij het veiligheidsniveau.

Duidelijk is dat de commerciële levensvatbaarheid van een centrale wordt bepaald door financiële overwegingen. Ook beslissingen over wanneer het redelijkerwijs ondoenlijk is om vereiste veiligheidsverbeteringen aan te brengen, worden door financiële overwegingen bepaald. Zo zijn de centrale Yankee Rowe in de USA en een aantal van de oudere Magnox reactoren in Engeland gesloten omdat de vergunninghouders het niet economisch verantwoord achtten om de benodigde maatregelen te nemen waarmee deze centrales zouden voldoen aan de wettelijke vereisten.

## 6.7 Overzicht oudere reactoren in de wereld

Uit algemene overzichten blijkt dat er geen vermogensreactoren meer in bedrijf zijn die voor 1965 al (commercieel) vermogen leverden. Dit is mede een gevolg van het feit dat de meeste vermogensreactoren pas na 1965 in bedrijf kwamen. Een overzicht van vermogensreactoren die 35 jaar of langer in bedrijf zijn, is hieronder gegeven (Tabel 6.1). De lijst van onderzoeksreactoren die 40 jaar of ouder zijn is aanmerkelijk langer, maar gelet op variëteit aan bedrijfsvoering niet vergelijkbaar.

Vermogensreactoren die wel de 40 jaar hebben gehaald maar al zijn gestopt zijn de Magnox reactoren Chapelcross 1,2,3 en 4 (60 MW<sub>e</sub>) die in 1959 respectievelijk 1960 zijn gestart en vorig jaar zijn gestopt. Overigens is in Groot Brittannië vergunningsverlening wel actueel. De geavanceerde gasgekoelde reactoren Dungeness B1 en B2, in gebruik genomen in 1984 en 1985, zijn ontworpen voor een periode van dertig jaar. Zeer recentelijk kreeg British Energy de 'go-ahead' om de centrales nog tien jaar langer in bedrijf te houden (NucNet, 2005).

Rusland kent nog een snelle kweekreactor, de OMR Melekes Arbus van 5 MW<sub>e</sub> die sinds 1963 in bedrijf is.

Tabel 6.1 *Lijst van vermogensreactoren die momenteel langer dan 35 jaar in bedrijf zijn*

| Reactor                  | Land        | Vermogen<br>[MW <sub>e</sub> ] | In bedrijfname |
|--------------------------|-------------|--------------------------------|----------------|
| BWR Tarapur 1            | India       | 160                            | November 1969  |
| BWR Tarapur 2            | India       | 160                            | November 1969  |
| PWR Jose Cabrera, Zorita | Spanje      | 160                            | Augustus 1969  |
| PWR Beznau 1             | Zwitserland | 380                            | December 1969  |
| Magnox Dungeness A1      | Engeland    | 228                            | Oktober 1965   |
| Magnox Dungeness A2      | Engeland    | 228                            | December 1965  |
| Magnox Oldbury 1         | Engeland    | 225                            | November 1967  |
| Magnox Oldbury 2         | Engeland    | 225                            | April 1968     |
| Magnox Sizewell A1       | Engeland    | 250                            | Maart 1966     |
| Magnox Sizewell A2       | Engeland    | 250                            | September 1966 |
| BWR Nine Mile Point 1    | USA         | 632                            | December 1969  |
| BWR Oyster Creek         | USA         | 670                            | December 1969  |
| BWR Tsuruga-1            | Japan       | 357                            | November 1969  |

## 6.8 Centrales met een vergunningduur langer dan veertig jaar

In de USA, Finland, Mexico, en een van de centrales in Zwitserland gelden de vergunningen voor een bepaalde duur. In Engeland, Zweden, België, Nederland, Frankrijk, Hongarije, Spanje, Duitsland, Japan, Canada en de Zwitserse centrales (met uitzondering van Mültenberg) geldt de vergunning voor onbepaalde duur. Hierbij dient wel regelmatig het veiligheidsniveau te worden aangetoond. Hierbij wordt opgemerkt dat de Zwitserse centrales die nu een onbeperkte vergunning hebben, oorspronkelijk een vergunning hadden die steeds voor een periode van 10 jaar geldig waren.

In de USA wordt op grote schaal gewerkt aan vergunningsverlenging. In Tabel 6.2 is het overzicht gegeven van de door US-NRC verleende vergunningen (20 jaar bovenop de algemene 40 jaar). In Tabel 6.3 zijn de in behandeling zijnde aanvragen vermeld en in Tabel 6.4 de aangekondigde aanvragen voor verlenging van de vergunning.

Algemeen kan worden gesteld dat voorwaarden met betrekking tot vergunningverlenging gericht zijn op eisen met betrekking tot het veilig in bedrijf houden van componenten die niet of niet gemakkelijk te vervangen zijn, na het verstrijken van de ontwerplevensduur. Programma's die gericht zijn op controle van verouderingsprocessen worden daarbij aangegeven. US-NRC kent voor de aanvraag van een verlenging van de vergunning hiervoor de richtlijn 10CFR Part 54: 'Requirements for Renewal Operating Licenses for Nuclear Power Plants'.

Voor Mexico zijn de criteria voor vergunningsverlenging nog niet vastgesteld. De verwachting is dat Mexico de aanpak van US-NRC zal volgen en eveneens 10CFR part 54 zal hanteren.

Tabel 6.2 *Verleende vergunningen voor verlenging tot 60 jaar bedrijfsvoering (USA)*

| Kerncentrale       | Type | MW <sub>e</sub> * | Bedrijf                      | Vergunning verleend |
|--------------------|------|-------------------|------------------------------|---------------------|
| Calvert Cliffs - 1 | PWR  | 845               | Constellation Energy Group   | Maart 2000          |
| Calvert Cliffs - 2 | PWR  | 845               | Constellation Energy Group   | Maart 2000          |
| Oconee - 1         | PWR  | 887               | Duke Energy                  | Mei 2000            |
| Oconee - 2         | PWR  | 887               | Duke Energy                  | Mei 2000            |
| Oconee - 3         | PWR  | 887               | Duke Energy                  | Mei 2000            |
| Arkansas One - 1   | PWR  | 850               | Entergy Nuclear.             | Juni 2001           |
| Hatch - 1          | BWR  | 777               | Georgia Power Co.            | Januari 2002        |
| Hatch - 2          | BWR  | 784               | Georgia Power Co.            | Januari 2002        |
| Turkey Point - 3   | PWR  | 693               | Florida Power & Light Co.    | Juni 2002           |
| Turkey Point - 4   | PWR  | 693               | Florida Power & Light Co.    | Juni 2002           |
| Surry - 1          | PWR  | 788               | Dominion Energy Co.          | Maart 2003          |
| Surry - 2          | PWR  | 788               | Dominion Energy Co.          | Maart 2003          |
| North Anna - 1     | PWR  | 907               | Dominion Energy Co.          | Maart 2003          |
| North Anna - 2     | PWR  | 907               | Dominion Energy Co.          | Maart 2003          |
| Peach Bottom - 2   | BWR  | 1065              | Exelon Nuclear Co.           | Mei 2003            |
| Peach Bottom - 3   | BWR  | 1065              | Exelon Nuclear Co.           | Mei 2003            |
| St. Lucie - 1      | PWR  | 830               | Florida Power & Light Co.    | Oktober 2003        |
| St. Lucie - 2      | PWR  | 830               | Florida Power & Light Co.    | Oktober 2003        |
| Fort Calhoun - 1   | PWR  | 478               | Omaha Public Power District  | November 2003       |
| Catawba - 1        | PWR  | 1145              | Duke Energy                  | December 2003       |
| Catawba - 2        | PWR  | 1145              | Duke Energy                  | December 2003       |
| McGuire - 1        | PWR  | 1180              | Duke Energy                  | December 2003       |
| McGuire - 2        | PWR  | 1180              | Duke Energy                  | December 2003       |
| H.B. Robinson - 2  | PWR  | 700               | Carolina Power & Light       | April 2004          |
| R.E. Ginna         | PWR  | 470               | Rochester Gas & Electric Co. | Mei 2004            |
| V.C. Summer - 1    | PWR  | 900               | South Carolina AN            | April 2004          |
| Dresden - 2        | BWR  | 794               | Exelon Nuclear Co.           | Oktober 2004        |
| Dresden - 3        | BWR  | 794               | Exelon Nuclear Co.           | Oktober 2004        |
| Quad Cities - 1    | BWR  | 789               | Exelon Nuclear Co.           | Oktober 2004        |
| Quad Cities - 2    | BWR  | 789               | Exelon Nuclear Co.           | Oktober 2004        |



Tabel 6.3 *Aanvraag voor vergunningsverlening in behandeling (USA)*

| Kerncentrale        | Type | MW <sub>e</sub> | Aanvrager                          | Aanvragen per     |
|---------------------|------|-----------------|------------------------------------|-------------------|
| Farley - 1          | PWR  | 829             | Southern Nuclear Operating Co.     | 15 september 2003 |
| Farley - 2          | PWR  | 829             | Southern Nuclear Operating Co.     | 15 september 2003 |
| Donald Cook - 1     | PWR  | 1030            | American Electric Power            | 3 november 2003   |
| Donald Cook - 2     | PWR  | 1100            | American Electric Power            | 3 november 2003   |
| Arkansas One - 2    | PWR  | 912             | Entergy Nuclear                    | 15 oktober 2003   |
| Farley - 1          | PWR  | 829             | Southern Nuclear Operating Co.     | 15 september 2003 |
| Farley - 2          | PWR  | 829             | Southern Nuclear Operating Co.     | 15 september 2003 |
| Millstone - 2       | PWR  | 870             | Dominion Energy Co.                | 22 januari 2004   |
| Millstone - 3       | PWR  | 1159            | Dominion Energy Co.                | 22 januari 2004   |
| Point Beach - 1     | PWR  | 497             | Nuclear Management Co.             | 25 februari 2004  |
| Point Beach - 2     | PWR  | 497             | Nuclear Management Co.             | 25 februari 2004  |
| Nine Mile Point - 1 | BWR  | 620             | Constellation Energy Group         | 27 mei 2004       |
| Nine Mile Point - 2 | BWR  | 1100            | Constellation Energy Group         | 27 mei 2004       |
| Brunswick - 1       | BWR  | 821             | Carolina Power & Light             | 20 oktober 2004   |
| Brunswick - 2       | BWR  | 821             | Carolina Power & Light             | 20 oktober 2004   |
| Beaver Valley - 1   | PWR  | 835             | First Energy Nuclear Operating Co. | 15 februari 2005  |
| Beaver Valley - 2   | PWR  | 836             | First Energy Nuclear Operating Co. | 15 februari 2005  |
| Monticello          | BWR  | 545             | Nuclear Management Co.             | Maart 2005        |
| Palisades           | PWR  | 805             | Nuclear Management Co.             | Maart 2005        |
| Oyster Creek        | BWR  | 650             | AmerGen Energy Co.                 | Juli 2005         |

Tabel 6.4 *Aanvraag voor vergunningsverlening aangekondigd (USA)*

| Kerncentrale       | Type | MW <sub>e</sub> | Aanvrager                           | Verwacht per          |
|--------------------|------|-----------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Pilgrim - 1        | BWR  | 655             | Entergy Operations Inc.             | December 2005         |
| Susquehanna - 1    | BWR  | 1065            | PPL Susquehanna LLC                 | Juli-september 2005   |
| Susquehanna - 2    | BWR  | 1065            | PPL Susquehanna LLC                 | Juli-september 2005   |
| Wolf Creek         | PWR  | 1170            | Wolf Creek Nuclear Operation Co.    | September 2006        |
| Shearon Harris -1  | PWR  | 900             | Carolina Power & Light Co.          | Oktober-december 2006 |
| Vogtle - 1         | PWR  | 1122            | Southern Nuclear Operating Co.      | Juni 2007             |
| Vogtle - 2         | PWR  | 1101            | Southern Nuclear Operating Co.      | Juni 2007             |
| Hope Creek - 1     | BWR  | 1067            | Public Service Electric and Gas Co. | Juli-september 2007   |
| Salem - 1          | PWR  | 1090            | Public Service Electric and Gas Co. | Juli-september 2007   |
| Salem - 2          | PWR  | 1115            | Public Service Electric and Gas Co. | Juli-september 2007   |
| Prairie Island - 1 | PWR  | 530             | Nuclear Management Co.              | April-juni 2008       |
| Prairie Island - 2 | PWR  | 530             | Nuclear Management Co.              | April-juni 2008       |
| River Bend - 1     | BWR  | 934             | Entergy Nuclear.                    | December 2008         |
| Crystal River - 3  | PWR  | 825             | Progress Energy Florida Inc.        | Januari-maart 2009    |
| Grand Gulf -1      | BWR  | 1250            | System Energy Resources.            | Oktober-december 2008 |
| Duane Arnold - 1   | BWR  | 538             | Nuclear Management Co.              | Oktober-december 2008 |
| Cooper             | BWR  | 778             | Nebraska Public Power District      | September 2008        |
| Davis-Besse 1      | PWR  | 906             | First Energy Nucl. Operating Co.    | December 2008         |
| Perry - 1          | BWR  | 1205            | First Energy Nucl. Operating Co.    | September 2010        |

## 6.9 Samenvatting en conclusies veroudering

Internationaal zijn er nog geen met KCB vergelijkbare vermogensreactoren die langer dan veertig jaar in bedrijf zijn. In de VS, waar gewerkt wordt met vergunningen van bepaalde duur, is de trend dat op grond van de bedrijfservaringen de oorspronkelijke vergunningen van 40 jaar wor-

den verlengd tot 60 jaar. Aan ruim 15 Amerikaanse centrales is momenteel al een verlengde vergunning verleend, en voor nog eens 30 is vergunningsverlenging aangevraagd of wordt de aanvraag binnenkort verwacht.

Het uitgangspunt bij het ontwerp van KCB is eveneens een bedrijfsduur van 40 jaren geweest. Inmiddels is de KCB 32 jaren in bedrijf (sinds 1973). Het bereiken van deze leeftijd heeft als zodanig geen consequenties voor het veiligheidsniveau van de centrale. Bepalend is de veiligheidstechnische conditie van de installatie. Deze conditie wordt in standgehouden door de installatie te onderhouden volgens een onderhoudsprogramma conform internationale aanbevelingen en nationale regelgeving. In dit programma is er bijzondere aandacht voor het geleidelijk degraderen van de componenten als gevolg van veroudering, het zogenoemde verouderingsbeheer. Bij de KCB wordt dit beheer uitgevoerd overeenkomstig de door de KFD gehanteerde richtlijnen van de IAEA. Dit beheer houdt in het zekerstellen van integriteit en functionaliteit van systemen, structuren en componenten door middel van een systematisch beheersproces. Dit beheersproces omvat het minimaliseren van veroudering (voor zover geëigend) o.a. door onderhoud, het tijdig detecteren van degradatie en het tegengaan van degradatie o.a. door vervangen van onderdelen.

Voor KCB geldt dat in alle systemen en componenten in principe vervangbaar zijn. Inmiddels uitgevoerde studies geven aan dat ook vervanging van het reactorvat mogelijk is. Praktisch gezien wordt ervan uitgegaan dat het reactorvat niet vervangen zal worden. In 2003 heeft een Aging Management Assessment Team (AMAT) van de IAEA in opdracht van de Nederlandse overheid een audit bij KCB gehouden. De resultaten waren gunstig: de installatie is in goede conditie en het verouderingsbeheer voldoet aan de eisen en functioneert goed.

Het KCB reactorvat is aanmerkelijk minder sterk verouderd dan destijds bij het ontwerp werd verondersteld. Dit komt voornamelijk doordat dit vat minder vaak aan extra mechanische en thermische belastingen tengevolge van snelle afschakelingen werd blootgesteld dan destijds werd verondersteld en doordat het materiaal veel minder snel bros wordt als gevolg van een gunstige materiaalkeuze en een stralingsarm kernontwerp. Ook voor boorzuurcorrosie blijkt het reactorvat relatief ongevoelig door ontwerp en een gunstige materiaalkeuze.

Op grond van de recente tienjaarlijkse veiligheidsevaluatie en de bevindingen van de AMAT-missie wordt geconcludeerd dat het bestaande systeem van verouderingsbeheersing voorziet in tijdige detectie en beperking van veroudering, zodat de integriteit en functionaliteit van veiligheidsrelevante componenten, waaronder het reactorvat, voor de komende tien jaar is gewaarborgd.. De vooruitzichten voor de periode daarna zijn gunstig. In de toekomst zullen de eerder genoemde evaluaties opnieuw plaatsvinden, waarbij de veiligheid van de installatie wederom zal worden geëvalueerd.

## 7. Ontmanteling

Nadat de bedrijfsvoering van de centrale is beëindigd, zal deze ontmanteld moeten worden. Het uiteindelijke doel is het vrijgeven van de locatie zonder radiologische beperkingen. Dat wil zeggen dat het gebruik er van niet wordt belemmerd door het feit dat er een nucleaire installatie heeft bestaan.

De wijze waarop een dergelijke ontmanteling wordt uitgevoerd en het tijdschema varieert van installatie tot installatie. Bepalende factoren zijn onder meer de grootte en aard van de installatie, de beschikbaarheid van budget en van een route voor verwijdering van het afval. De eerder bij andere installaties toegepaste strategieën variëren van een directe (aansluitend aan de bedrijfsvoeringfase) ontmanteling en vrijgave tot ‘in-situ’ ontmanteling door inkapselen van de reactor en tot in lengte van jaren verhinderen van toegang tot de installatie. Voor Nederland is deze laatste optie niet van toepassing.

Voor de kernenergiecentrale van GKN in Dodewaard is gekozen voor uitgestelde ontmanteling. Aansluitend aan de bedrijfsvoeringfase zijn de splijtstoffen verwijderd, installaties schoongemaakt en overbodige systemen afgebroken. Sterk geactiveerde onderdelen, zoals het reactorvat, zijn geconserveerd en het gebouw is geschikt gemaakt voor een wachtperiode van circa veertig jaar. De veilig ingesloten centrale wordt gedurende de wachtperiode bewaakt. Aan het einde van de wachtperiode wordt de centrale volledig ontmanteld en komt het terrein zonder beperkingen beschikbaar.

### 7.1 Ontmantelingsstrategie

In het kader van deze studie worden de in Figuur 7.1 weergegeven opties voor ontmanteling van de kernenergiecentrale in Borssele beschouwd:

- directe ontmanteling
- uitgestelde ontmanteling

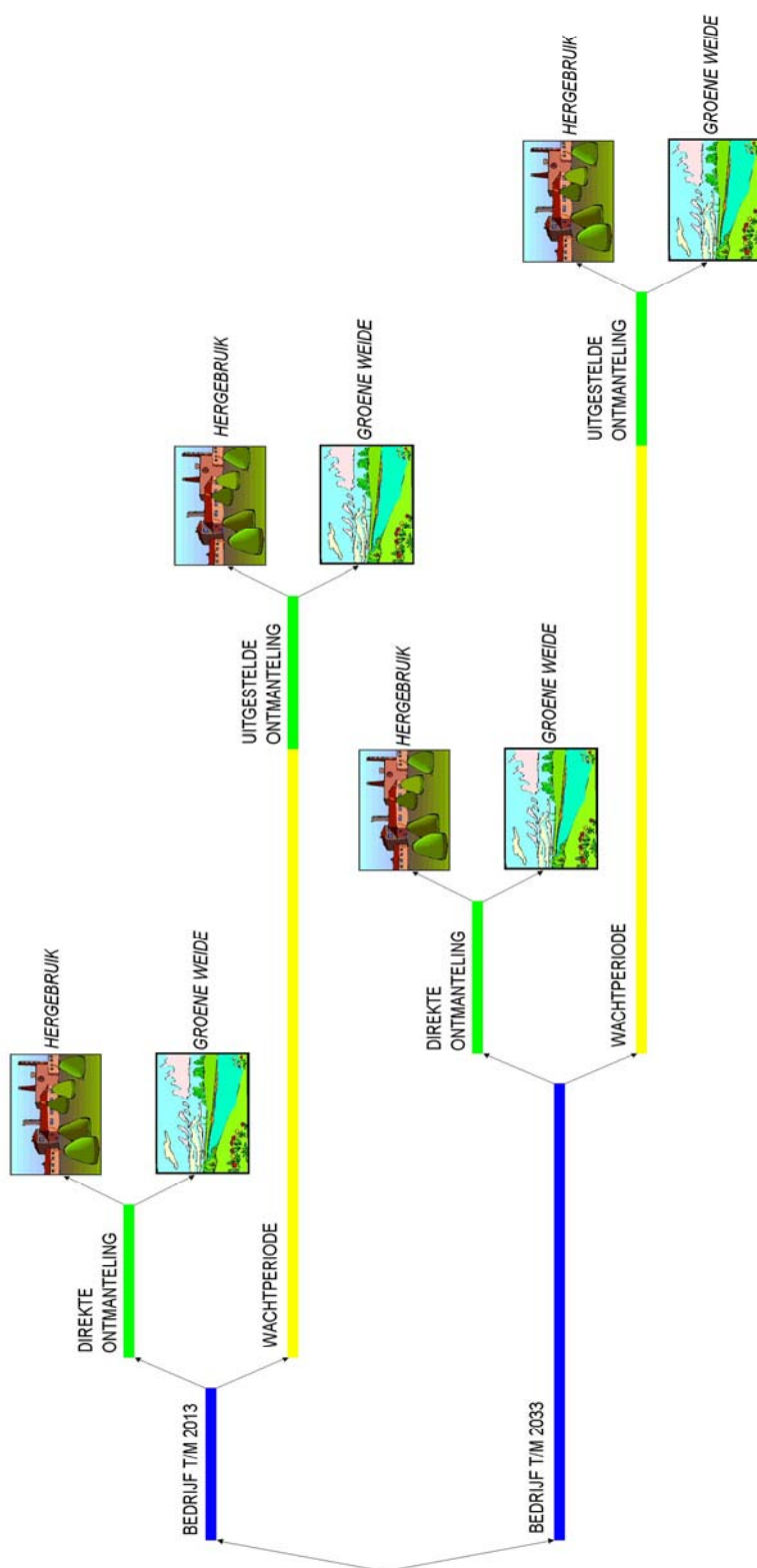
Er worden twee alternatieven ten aanzien van de duur van de bedrijfsvoering beschouwd:

1. einde van de bedrijfsvoering eind 2013,
2. einde van de bedrijfsvoering eind 2033.

In de praktijk kunnen er argumenten zijn om op een ander moment de bedrijfsvoering te beëindigen, maar dat wordt in de voorliggende studie niet verder beschouwd.

Ongeacht de datum van beëindiging van bedrijfsvoering, blijft er altijd keuze tussen de twee ontmantelingsopties: ‘directe ontmanteling’ en ‘uitgestelde ontmanteling’.

Bij de optie *directe* ontmanteling (ook wel snelle volledige ontmanteling genoemd) wordt het ontmantelingsproces zo snel mogelijk doorlopen. Hierbij onderscheidt men een aantal fasen.



Figuur 7.1 Keuzes in ontmantelingsstrategie

### *Fase: Besluitvorming*

Al tijdens de bedrijfsvoeringsperiode wordt onderzocht wat de meest geschikte technieken zijn voor de decontaminatie en verwijdering van de verschillende onderdelen van de installatie. In een milieu effect rapportage (MER) wordt onderzocht wat de gevolgen van de ontmanteling voor het milieu zullen zijn. De radiologische en industriële veiligheidsaspecten worden vastgesteld in het veiligheidsrapport. Er wordt een vergunning aangevraagd voor de ontmanteling van de centrale.

### *Fase: Uitbedrijfname*

Na het definitief beëindigen van de elektriciteitsproductie, worden de splijstofelementen uit het reactorvat verwijderd en, na een afkoelperiode, gereedgemaakt voor afvoer. Het bedrijfsafval wordt verwijderd en uit bedrijf genomen systemen wordengrotendeels gedecontamineerd.

### *Fase: Ontmanteling*

Systemen worden grondiger gereinigd en gedemonteerd. Het afval wordt geclassificeerd, geconditioneerd en verpakt en afgevoerd. Vrijgave vindt plaats conform het vrijgave-meetplan.

Bij de optie *uitgestelde* ontmanteling worden eveneens de fasen besluitvorming en uitbedrijfname doorlopen.

Tijdens de besluitvorming zal bij de veiligheidsevaluatie speciaal aandacht vereist zijn voor veroudering van componenten gedurende de wachtperiode, die bij de uitgestelde ontmanteling behoort. Er wordt een vergunning aangevraagd voor het in een toestand van veilige insluiting brengen van de centrale.

Bij de uitbedrijfname worden - net als bij directe ontmanteling - de splijstofelementen uit het reactorvat verwijderd en, na een afkoelperiode, gereedgemaakt voor afvoer. Het bedrijfsafval wordt verwijderd en uit bedrijf genomen systemen worden (oppervlakkig) schoon gemaakt.

De gebouwen en resterende installaties worden waar nodig gedecontamineerd en geschikt gemaakt voor een wachtperiode van veelal enkele tientallen jaren. De systemen die niet meer nodig zijn worden doorgaans verwijderd. De resterende systemen worden na grondige decontaminatie zonodig aangepast aan de nieuwe situatie en binnen de insluitconstructie volledig geïsoleerd (bijvoorbeeld door leidingen dicht te lassen).

### *Fase: Wachtperiode*

De insluitconstructie (bijvoorbeeld het reactorgebouw) is tijdens de wachtperiode alleen nog via een gecontroleerde toegang te betreden. De ventilatie en de filters zijn gedurende de wachtperiode in bedrijf. Gedurende de wachtperiode ('veilige insluiting') wordt het object bewaakt en vindt er regulier onderhoud plaats.

Na de wachtperiode worden de resterende systemen verder ontmanteld.

### *Eindpunt ontmanteling*

Bij directe en uitgestelde ontmanteling is er voor het eindpunt de keuze tussen:

- hergebruik in niet-nucleaire toepassing,
- 'groene weide'.

Bij hergebruik wordt een andere toepassing in de gebouwen gerealiseerd. Als wordt gekozen voor groene weide worden ook de gebouwen gesloopt en wordt het landschap hersteld. De eerste keuze is bij de KCB niet aan de orde.

## 7.2 Overwegingen bij keuze voor ontmantelingsscenario

Bij de afweging welke van de scenario's de voorkeur genieten, zijn diverse aspecten van belang. In de volgende paragrafen wordt voor een aantal aspecten de belangrijkste voor- en nadelen van de mogelijke scenario's geschetst.

### 7.2.1 Ontwikkelingen in de techniek

In het recente verleden is (gedeeltelijk op kosten van de Europese Commissie) een aantal pilot projecten uitgevoerd waarbij beschikbare technieken voor ontmanteling getest en verder ontwikkeld werden. Intussen zijn, ook buiten Europa, diverse ontmantelingsprojecten uitgevoerd en er is een 'decommissioning industrie' ontstaan. Er wordt daarom door instanties die voorheen onderzoeksprojecten subsidieerden wel gezegd dat de techniek nu voldoende ontwikkeld is. Daar valt echter nog wel wat op af te dingen. Weliswaar is voldoende ervaring opgedaan om selectie van de basistechnieken mogelijk te maken, maar intussen is ook duidelijk geworden dat iedere faciliteit zijn eigen specifieke problemen heeft. Veelal kan niet alleen met technieken en apparatuur 'van de plank' gewerkt worden, maar is het noodzakelijk om voor elke toepassing unieke aanpassingen te ontwikkelen. Geleidelijk zal de stand der techniek zo op een steeds hoger niveau komen. De komende tientallen jaren zullen vele kerncentrales ontmanteld gaan worden. Alhoewel de leercurve steeds vlakker zal gaan lopen, mag worden aangenomen dat bij latere ontmanteling betere technieken beschikbaar zullen zijn.

### 7.2.2 Kennis van de installatie en gebruikservaring

Bij het uit bedrijf nemen van de centrale heeft het operationele personeel een grote kennis van de in installatie opgebouwd. Ook bij dienstverlenende bedrijven (voor bijvoorbeeld onderhoud van installaties) is veel kennis van de apparatuur aanwezig. Als wordt gekozen voor directe ontmanteling zal het grootste deel van die kennis en ervaring nog beschikbaar zijn. Met name oudere werknemers zullen er voor kiezen niet te gaan solliciteren, maar hun loopbaan af te ronden met de ontmanteling van de installatie.

Als daarentegen wordt gekozen voor uitgestelde ontmanteling met een wachtperiode van enkele tientallen jaren, zijn de ervaren mensen niet meer beschikbaar. De opgebouwde kennis zal tijdens de voorbereiding van de periode van veilige insluiting gearchiveerd moeten worden.

Er is in andere industrietakken wel ervaring opgedaan met het vastleggen van de kennis van medewerkers in zogenaamde expertsystemen. Door middel van interviews wordt kennis van de medewerker die het bedrijf gaat verlaten verzameld en vastgelegd in een database. Veelal blijkt dat een dergelijk duur project toch niet oplevert wat men ervan hoopt. Slechts een deel van de bij de mensen aanwezige expertise wordt gereconstrueerd en de inventiviteit die mensen gebruiken bij het verwerken van de beschikbare gegevens kan nog niet in die mate worden ingebouwd in de software.

Vanzelfsprekend zullen veel gegevens ook worden vastgelegd op papier of in een digitaal equivalent. Mits goed opgezet en onderhouden kan dit zonder veel problemen een periode van ten minste enkele tientallen jaren doorstaan. Als na de periode van veilige insluiting anderen met de gegevens moeten werken, is wel weer extra tijd noodzakelijk om het materiaal volledig te doorgronden.

Bovenstaande overwegingen zijn onafhankelijk van het tijdstip van beëindigen van de bedrijfsvoering (2013 of later) en de keuze voor hergebruik of sloop van de gebouwen.

### 7.2.3 Technische staat van de installatie

Er zijn ontmantelingsprojecten beschreven waarbij door jaren van stilstand de technische staat van de installatie sterk verslechterd was. Dit betrof oude installaties waarbij tijdens de bouw geen rekening is gehouden met de latere ontmanteling. Door de materiaal keuze en het ontwerp in combinatie met het achterwege laten van onderhoud kon het gebeuren dat apparatuur (bijvoorbeeld een hijsinrichting in een hot-cell) niet meer werkte op het moment dat het - na een wachtperiode - weer in bedrijf werd gesteld. Bij een relatief moderne centrale als de centrale in Borssele kan door conservering en preventief onderhoud de aanwezige apparatuur - ook gedurende een wachtperiode van enkele tientallen jaren - in goede conditie worden gehouden. Bij langere wachtperiodes (meer dan enkele tientallen jaren) moet er rekening mee worden gehouden dat ook delen van systemen (bijvoorbeeld elektrische systemen) vervangen moeten worden.

### 7.2.4 Radiologische staat van de installatie

Tijdens reactorbedrijf zullen materialen zoals reactorvat, biologisch schild etc. geactiveerd raken. Deze activiteit is gefixeerd in het materiaal. Andere stoffen zoals het koelmiddel en de daarin aanwezige verontreinigen worden ook geactiveerd. De hierbij gevormde radioactieve stoffen zullen zich gedeeltelijk verspreiden in systemen zoals ventilatiekanalen en koelwaterleidingen. Door verval zal de activiteit van de gevormde radioactieve stoffen geleidelijk weer afnemen. Welke radioactieve nucliden worden gevormd is naast de stralingsintensiteit (neutronenflux) en de dimensies van de reactor vooral afhankelijk van de materiaalsamenstelling van componenten in de reactor. De in staal en beton aanwezige sporenelementen bepalen in grote mate de uiteindelijke nuclidensamenstelling. Omdat de samenstelling van materialen en de bestralingshistorie in elke reactor weer anders is, is het niet goed mogelijk de radiologische staat van een centrale af te leiden van die van andere centrales. Metingen of berekeningen moeten een beter beeld opleveren.

De totale hoeveelheid gevormde radioactieve stoffen neemt toe met de bedrijfsduur. Een deel van de radioactieve stoffen vervalst relatief snel. Na verloop van enige tijd ontstaat er een evenwicht waarbij vorming en verval van een radioactief nuclide in evenwicht zijn. Het moment waarop evenwicht bereikt wordt is onder meer afhankelijk van de halveringstijd.

Nadat de reactor buiten bedrijf is gesteld en de splijtstoffen zijn verwijderd, zal activiteit afnemen. Eén van de belangrijkste nucliden is cobalt-60. Dit heeft een halveringstijd van 5,3 jaar. Dat betekent dat 5,3 jaar na buiten bedrijfstelling de activiteit van het cobalt-60 nog maar de helft is van de hoeveelheid bij buiten bedrijfstelling. Weer 5,3 jaar later is er nog maar een kwart (de helft van de helft) over. Cobalt-60 wordt onder meer gevonden in het staal van de bewapening van beton. Andere in staal gevonden nucliden, zoals nikkel-63, blijven veel langer radioactief. De halveringstijd van nikkel-63 is 100 jaar.

Naarmate de centrale langer in bedrijf blijft, zal de bij beëindiging van de bedrijfsvoering aanwezige activiteit dus toenemen.

Door toepassing van een wachtperiode neemt de activiteit weer af. Hoe langer de wachtperiode, hoe minder activiteit nog aanwezig zal zijn. Door een wachtperiode van enkele jaren zijn alle kortlevende nucliden vervallen. Van het bij ontmanteling belangrijke nuclide cobalt-60 is na 40 jaar nog 0,5% aanwezig. Na 105 jaar is nog slechts 1 miljoenste deel aanwezig. Van nikkel-63 is dan nog steeds de helft van de oorspronkelijke activiteit aanwezig.

### 7.2.5 Stralingsbelasting

Door een periode van enkele jaren te nemen tussen het einde van de bedrijfsvoering en het begin van de feitelijke ontmanteling kan de stralingsbelasting van de medewerkers aanzienlijk geredu-

ceerd worden omdat een deel van de activiteit vervallen is. Bij ontmanteling na een wachtperiode van 40 jaar is de stralingsbelasting van de medewerkers nog circa 2/3 van de stralingsbelasting bij directe ontmanteling. Het is dan nog steeds niet mogelijk om alle werkzaamheden zonder op afstand bestuurd gereedschap uit te voeren, zie (NEA/RWM, 2005).

Bij uitgestelde ontmanteling zal bij de aanvang van de werkzaamheden een deel van de activiteit zijn vervallen, hetgeen gunstig is m.b.t. de beperking van de stralingsbelasting. Aan de andere kant kan er bij directe ontmanteling een voordeel behaald worden door de inzet van mensen die de installatie zeer 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.

### 7.2.6 Hoeveelheid en aard van het afval

Door afname van de activiteit door radioactief verval, kan een uitgestelde ontmanteling een licht voordeel opleveren t.o.v. een directe ontmanteling. Alhoewel een deel van de activiteit door verval verdwenen is, blijven de concentraties langer levende radioactieve stoffen op een dusdanig niveau, dat slechts weinig radioactief afval in enkele tientallen jaren onder de vrijgave normen komt.

Het verval heeft ook nadelen. Direct na beëindiging van de bedrijfsvoering is cobalt-60 maatgevend bij de vrijgavemeting van staal. Cobalt-60 zendt goed meetbare straling uit. Als het cobalt-60 grotendeels vervallen is, is men aangewezen op detectie van minder goed meetbare nucliden. Omdat de detectiegrens voor een aantal van deze stoffen hoger is, kan de afvalstroom die niet kan worden vrijgegeven, zelfs groter worden dan bij directe ontmanteling.

Het al of niet afbreken van het lege (schone) gebouw als laatste stap van de decommissioning, heeft alleen gevolgen voor de hoeveelheid conventioneel niet-radioactief afval.

### 7.2.7 Beschikbaarheid van routes afvalverwerking

COVRA in Borssele is aangewezen als de faciliteit om Nederlands radioactief afval op te slaan. De voorzieningen zijn bedoeld als tijdelijke opslag. Gedurende deze periode wordt onderzoek gedaan naar een geschikte route voor definitieve opberging. De faciliteiten van COVRA zijn modulair opgezet. Zo nodig is het technisch gezien mogelijk de bestaande faciliteiten verder uit te breiden. Voor alle scenario's zijn geschikte routes voor afvalverwerking beschikbaar dan wel nog te realiseren.

### 7.2.8 Sociale aspecten

Het heeft voordelen (een deel van) het beschikbare personeel in te zetten bij de voorbereiding en de uitvoering van de decommissioning, aangezien dan geprofiteerd kan worden van hun kennis van de installatie. Ook t.a.v. de werkgelegenheid is het belangrijk het personeel bij het project te betrekken. Duidelijke afspraken moeten worden gemaakt over de duur van het contract van de medewerkers, zodat zij zich tijdens het project kunnen voorbereiden op een loopbaan elders. Dit schept zekerheid voor de medewerkers, een belangrijk sociaal aspect.

Bij een directe ontmanteling zijn er meer mensjaren werk te verdelen onder de 'operationele' werknemers dan bij een uitgestelde ontmanteling. In dit opzicht verdient directe ontmanteling de voorkeur.

Wel moet er aandacht zijn voor goede begeleiding van de medewerkers. Niet alleen het uitzicht op beëindigen van het contract, na afronding van de werkzaamheden, maar ook de aard van het



werk kan deze medewerkers in geestelijke nood brengen. Het moeten afbreken van wat men heeft opgebouwd en het declasseren van veiligheidssystemen die jaren lang als hoogste goed werden beschouwd, kan belastend zijn. Dit kan een argument zijn om niet met het eigen personeel te werken, maar een buitenfirma in te huren.

### 7.2.9 Public Relations

Het beeld dat de milieubeweging en ‘het publiek’ van de nucleaire sector hebben, is niet onverdeeld positief. Indien wordt gekozen voor een directe in plaats van uitgestelde ontmanteling, kan dit bijdragen tot een beter imago van de sector. De last die bij latere generaties wordt gelegd, beperkt zich dan tot de afvalproblematiek. De installatie zelf wordt door de generatie die er van geprofiteerd heeft, immers ook weer snel en efficiënt verwijderd.

### 7.2.10 Opbouw van fondsen

Tijdens de bedrijfsvoering worden door de jaren heen reserves opgebouwd, waaruit de toekomstige ontmanteling betaald kan worden. Bij een uitgestelde ontmanteling kunnen opgebouwde fondsen verder ‘groeien’ door rendement op spaartegoeden of beleggingen. Dit geeft een voordeel bij keuze voor uitgestelde ontmanteling.

In het jaarverslag van EPZ over 2004 is aangegeven hoe EPZ op dit moment de opbouw van de benodigde fondsen voorziet:

*“Er wordt van uitgegaan dat amovering van de kernenergie-eenheid zal plaatsvinden 40 jaar nadat de exploitatie daarvan is beëindigd. .... De gehanteerde rekenrente bedraagt 4 procent. .... De studie van de kosten van amovering van de kernenergie-eenheid zal periodiek worden uitgevoerd. Zolang de kernenergie-eenheid in productie blijft wordt, in de periode tussen twee studies de voorziening amovering kerncentrale jaarlijks middels prijsindexatie aangepast aan de vigerende prijsontwikkelingen. Na het beëindigen van de productie zal worden begonnen met de oprenting van de voorziening over de ‘vervalperiode’ van 40 jaar. Ultimo 2003 heeft de voorziening amovering kernenergie-eenheid haar noodzakelijk geachte omvang door middel van een conservatieve opbouwperiode van 30 jaar vanaf de datum van ingebruikname, op basis van prijspeil ultimo boekjaar bereikt, Ultimo 2004 is de voorziening amovering kernenergie-eenheid, behoudens de aanpassing voor de nieuwe studie, middels prijsindexatie, aangepast naar het prijspeil ultimo 2004.”*

Op de balans per 31 december 2004 is een bedrag van M€ 144,7 vastgelegd. Daarnaast is er een voorziening voor de verwijdering van de laatste splijststoflading die bij beëindiging van de levensduur van de kernenergie-eenheid nog in de kern van de reactor aanwezig zal zijn en een voorziening voor de opwerkings- en opslagkosten van het radioactief afval.

In de huidige financiële onderbouwing is er dus gebaseerd op het scenario uitgestelde ontmanteling met een wachtperiode van 40 jaar. Het fonds zal onvoldoende zijn als gekozen wordt voor directe ontmanteling. Er wordt immers gerekend met opbrengst uit rente gedurende een wachtperiode, die noodzakelijk is om het benodigde kapitaal voor de ontmanteling bijeen te brengen.

### 7.2.11 Kosten van ontmantelen

De laatste jaren is steeds meer inzicht verkregen in de opbouw van de kosten van het ontmantelen van een kernenergiecentrale. Men heeft lopende en afgeronde ontmantelingsprojecten geanalyseerd en er is gewerkt aan het standaardiseren van de methode voor kostenraming.

Vroeger werden wel kostenramingen gemaakt door te vergelijken met de ontmantelingskosten bij een vergelijkbare installatie elders. Intussen is duidelijk geworden dat dit geen goede methode is. Verschillen in regelgeving (zoals vrijgavenormen), beschikbaarheid van afvalroutes en kosten van afvalverwerking kunnen sterk variëren van land tot land. Verschillen in materiaal-samenstelling van componenten, lay-out van de installatie en bestralingshistorie, maken dat de hoeveelheid radioactieve stoffen en de plaats waar ze voorkomen sterk kunnen variëren, ook in gelijksoortige installaties.

Gebleken is dat, naarmate beter bekend is wat de radiologische situatie van de installatie is, de kosten beter geschat kunnen worden. Het is dan ook van belang al tijdens de operationele fase resultaten van radiologische metingen vast te leggen in een database. Dit betreft zowel routine-matige metingen als de metingen bij eventuele incidenten.

Op initiatief van de Europese Commissie, het International Atomic Energy Agency (IAEA), en de OECD/Nuclear Energy Agency is een aantal jaren geleden een voorstel voor een checklist ontwikkeld (NEA, 1999) voor de raming van de kosten van ontmanteling. Deze lijst van 'cost-items' geeft een groot aantal aspecten die van belang zijn bij raming van de ontmantelingskosten.

Bij het maken van een kostenraming zijn drie kostencategorieën te onderscheiden:

1. Een deel van de kosten is gebonden aan specifieke activiteiten, bijvoorbeeld het contamineren of verwijderen van componenten. De kosten worden onder meer bepaald door de benodigde manuren, materialen, energie-verbruik en huur van apparatuur. Vaak kan bij grotere aantallen van dergelijke activiteiten een eenheidsprijs (kilo- of stuksprijs) worden bepaald. Als de eenheidsprijs bekend is, en uit het projectplan volgt het aantal eenheden dat verwerkt moet worden, dan zijn de kosten eenvoudigweg te berekenen.
2. Een ander deel van de kosten is niet zozeer gebonden aan aantallen componenten, maar zijn afhankelijk van de duur van een project(deel). Hierbij valt te denken aan kosten voor project management, routinematig onderhoud en inspanningen op het gebied van radiologische en industriële veiligheid.
3. Een derde groep van kosten is vrijwel niet afhankelijk van het aantal manuren of de duur van een activiteit. Hieronder vallen bijvoorbeeld de kosten voor aanschaf van een apparaat dat bij een aantal verschillende activiteiten wordt gebruikt, maar ook het aanvragen van de benodigde vergunningen.

Naast kosten van ontmantelen is tegenwoordig de opbrengst van ontmantelen van belang. De schrotprijs van (schone) metalen is de laatste jaren sterk gestegen. Bij een gunstige markt kan de recycling van onder meer lood en staal een significante bijdrage opleveren.

#### *Directe ontmanteling vs. uitgestelde ontmanteling*

In absolute waarde is directe ontmanteling voordeliger dan uitgestelde ontmanteling met veilige insluiting. Voor de veilige insluiting moeten onder meer systemen worden aangepast, tijdelijke constructies worden gebouwd en documenten worden gearhiveerd. Ook moet gedurende een periode van tientallen jaren onderhoud en toezicht worden verzorgd. Kosten die bij een directe ontmanteling niet of in veel mindere mate aan de orde zijn.

Bij directe ontmanteling kan gebruik gemaakt worden van de kennis en kunde van mensen die de installatie goed kennen. Dit kan de kosten van ontmanteling positief beïnvloeden. Bij uitgestelde ontmanteling is er het voordeel van rendement op spaartegoeden en investeringen (zie item 'opbouw van fondsen'). Echter, extra kosten zijn te verwachten t.a.v. onderhoud en bewaking van de installatie tijdens wachttijd, verlies van kennis over de installatie (die niet volledig is te documenteren), wijzigingen in de regelgeving t.a.v. afvalverwerking, etc.

In het verleden werden wel lange wachtperiodes gehanteerd, zonder goede voorbereiding op de latere ontmanteling. Dit leidt tot extra kosten, omdat apparatuur dan later als daadwerkelijk ontmanteld gaat worden niet altijd meer betrouwbaar is. Het minste risico loopt men in dit opzicht bij directe ontmanteling. Omdat alle installaties en systemen nog goed functioneren, kan dan efficiënt gewerkt worden. Dit komt ook tot uiting in lage kosten.

De komende tientallen jaren zullen nog vele nucleaire installaties ontmanteld gaan worden. De bedrijfstak zal zich verder gaan ontwikkelen. Dit zou in de toekomst, door de concurrentie in de markt en door verder ontwikkelen van technieken, kunnen leiden tot lagere tarieven en kostenbesparingen. Hiervan zou bij uitgestelde ontmanteling kunnen worden geprofiteerd.

### 7.2.12 Bewaking

Indien na een besluit tot beëindiging van de bedrijfsvoering gekozen wordt voor uitgestelde ontmanteling, moet gedurende een langere periode voor bewaking van het bedrijfsterrein worden gezorgd dan bij 'directe' ontmanteling. Hieraan zijn kosten voor de eigenaar verbonden vanwege het op peil houden van het kennisniveau en uitrusting van het personeel dat de centrale tussentijds monitort en bewaakt. De aard van de te bewaken objecten is echter anders dan tijdens normale bedrijfsvoering van een kerncentrale. Na besluit tot ontmantelen wordt doorgaans in korte tijd alle aanwezige splijtstof afgevoerd. Voorts worden diverse systemen gedecontamineerd en overbodige installaties en bijgebouwen gesloopt. De resterende gebouwen worden dichtgemaakt, tot op een enkele toegangspoort. Tijdens de eventuele wachtperiode tot de afronding van de ontmanteling, wordt een gebouw bewaakt, waarin zich geactiveerd of gecontamineerd schroot en beton bevinden, maar geen zaken die van groot belang zijn in het kader van non-proliferatie of veiligheid.

### 7.2.13 Onzekerheden

Hoe verder het eindpunt van de ontmanteling in de tijd van ons af ligt hoe groter de onzekerheden zijn in de kosten van de decommissioning. Zo is onder meer nog niet bekend in hoeverre de techniek zich verder zal ontwikkelen.

Ervaring bij diverse ontmantelingsprojecten in het buitenland leert, dat bij ontmanteling van installaties snel na buiten gebruik stelling, minder technische problemen worden ondervonden. Bij uitstel van ontmanteling kan verontreiniging zich hardnekkiger in/op het oppervlak vastzetten, waardoor decontaminatie bemoeilijkt wordt.

Een belangrijke kostenpost is radioactief afval. Als echter in de loop van de jaren de vrijgavenormen veranderen, dan kan dit betekenen dat er meer materiaal als afval moet worden afgevoerd, waarvoor de benodigde budgetten voor afvalverwerking op dat moment dan ontoereikend kunnen zijn.

De rentevoet en inflatie zijn factoren die kosten en rendement van fondsen beïnvloeden, maar deze factoren worden vooral bepaald door externe omstandigheden.

## 7.3 Samenvatting aspecten van decommissioning en invloed bedrijfsduur KCB

Bij directe ontmanteling kan beschikt worden over kennis en kunde van personen die de installatie bijzonder goed kennen. Bij uitgestelde ontmanteling is dit soort kennis ten tijde van de ontmantelingswerkzaamheden beperkter aanwezig. Wel kan tegen die tijd het inzicht in ontman-

telingswerkzaamheden in zijn algemeenheid zijn toegenomen en kunnen betere technieken voorhanden zijn.

De absolute kosten zijn lager bij directe ontmanteling dan bij uitgestelde ontmanteling. Voor het realiseren van een veilige insluiting (nodig voor de wachtperiode bij uitgestelde ontmanteling) moeten kosten worden gemaakt, die anders achterwege kunnen blijven.

Uitgestelde ontmanteling kan een voordeel zijn voor de fondsenopbouw, maar de onzekerheden in deze opbouw blijken in de loop van de jaren steeds groter te worden.

De bedrijfsduur van de installatie heeft geen grote invloed op de uitkomst van de afweging tussen een uitgestelde en een directe ontmanteling aan het einde van de bedrijfsvoering. Een langere bedrijfsduur geeft wel de mogelijkheid tot het verstevigen van de fondsopbouw. Voorts kan bij een langere bedrijfsduur, wellicht in de toekomst geprofiteerd worden van het voortschrijden van de stand der techniek betreffende decommissioning. Dit kan een kostenvoordeel geven.

## 8. Internationale ontwikkelingen kernenergie

In dit hoofdstuk wordt kort ingegaan op ontwikkelingen ten aanzien van de inzet van kernenergie voor de elektriciteitsproductie.

### 8.1 Europa

Na een periode van stagnatie in nucleaire nieuwbouw is het Finse elektriciteitsbedrijf TVO in 2004 begonnen met de bouw van een nieuwe kerncentrale in Olkiluoto, naast twee reeds operationele reactoren, zie Figuur 8.1. De Frans-Duitse EPR drukwaterreactor is hiervoor geselecteerd. Dit type staat ook gepland voor nieuwbouw in Flamanville, Frankrijk, te starten in 2007. In juni 2005 heeft het Franse parlement de bouw van deze centrale goedgekeurd als demonstratieproject, en het is de bedoeling om vanaf 2020 het hele Franse centralepark te vervangen met één EPR-centrale per jaar.

EPR staat voor European Pressurized water Reactor, een drukwaterreactor. Over de karakteristieken van dit type reactor ten aanzien van de veiligheid is meer te lezen in Bijlage C. De EPR is het enige derde-generatie reactorontwerp van Europese makelij; de fabrikant is Framatome ANP, bestaande uit de gefuseerde Franse reactorbouwer Framatome en Duitse evenknie Siemens. De EPR heeft het grootste eenheidsvermogen van de momenteel leverbare reactoren: 1600 MW<sub>e</sub>. Het is een volledig evolutionair reactorontwerp, uitgaand van dezelfde veiligheidsfilosofie als de meest recente series Franse en Duitse reactoren. Een belangrijk verschil tussen het ontwerp van een derde-generatie kerncentrale zoals de EPR en die van een vorige generatie zoals de KCB, is dat van meet af aan het ontwerp gericht is op de beheersing van kernsmeltongevallen. Zo is er een extra veiligheidssysteem, de zgn. 'core-catcher' (kernvanger) onder het reactorvat, die in het geval van volledig smelten van de reactorkern zorgt dat de radioactieve smelt zich niet verder verspreidt. Meer hierover is te vinden in Bijlage C.

In Oost-Europa zijn drie elektriciteitsbedrijven bezig met uitbreiding van hun nucleair vermogen: de firma's Rosenergoatom in Rusland, SNN in Roemenië en NEK in Bulgarije.

Drie Europese landen met een grote afhankelijkheid van kernenergie (30-60%, in totaal 35.000 MW) hebben op politiek niveau in de jaren negentig van de twintigste eeuw het besluit genomen hun kerncentrales eerder te sluiten dan hun technische levensduur zou toestaan. Zweden, Duitsland en België. Italië had al in 1987 besloten geen gebruik meer te maken van kernenergie, en de facto een grote hoeveelheid te importeren uit Frankrijk. Echter, er wordt nagevoel geen vervangingscapaciteit gepland en er gaan in de drie landen steeds meer stemmen op om de uitfaseringsbesluiten terug te draaien. Het Belgische elektriciteitsbedrijf Electrabel en zijn Italiaanse evenknie ENEL ontwikkelen momenteel plannen voor deelname in één of meer nieuwe Franse kerncentrales.



Figuur 8.1 De EPR in aanbouw in Finland (artist impression)

## 8.2 Verenigde Staten

In de Verenigde Staten, waar de laatste kerncentrale werd besteld in 1973, wordt een comeback van kernenergie verwacht. Met overheidshulp bereiden elektriciteitsbedrijven voorzichtig nieuwbouw van centrales voor. Daarnaast worden centrales ook veelvuldig opgevoerd naar een groter vermogen. In het verleden heeft dit geleid tot in totaal 4400 MW aan extra nucleaire capaciteit, en in de komende vijf jaar komt daar nog eens 1548 MW bij.

Er hebben zich drie consortia van elektriciteitsbedrijven gevormd, die in samenwerking met de Amerikaanse 'United States Nuclear Regulatory Commission', de US NRC, voorbereidingen treffen om een gecombineerde bouw- en bedrijfsvergunning aan te vragen.

Een consortium van negen elektriciteitsbedrijven en twee reactorbouwbedrijven, opererend onder de naam NuStart, heeft in september 2005 twee vestigingsplaatsen geïdentificeerd: de Bellefonte centrale van TVA in Alabama en de Grand Gulf centrale van Entergy in Mississippi. Voor de Bellefonte centrale wordt een vergunning voor de AP1000 drukwaterreactor van reactorbouwer Westinghouse voorbereid. Voor de Grand Gulf centrale werkt men aan een vergunning voor een ESBWR kokendwaterreactor van fabrikant General Electric. Een keuze tussen de twee centrales zal worden gemaakt zo gauw ze beide een ontwerpcertificering van de NRC hebben ontvangen. Voor de AP1000 wordt die nog in de loop 2005 verwacht, en voor de ESBWR in 2007.

Een consortium geleid door het elektriciteitsbedrijf Dominion, heeft de kerncentrale North Anna van Dominion in de staat Virginia geïdentificeerd als mogelijke vestigingsplaats voor een nieuwe kerncentrale, en werkt ook aan een vergunning voor een ESBWR. Het Amerikaanse elektriciteitsbedrijf TVA leidt een consortium, dat in samenwerking met de NRC toewerkt naar de bouw van een ABWR kokendwaterreactor bij hun bestaande kerncentrale Bellefonte, in de staat Alabama.

Bij het ontwerp van de AP1000 lag de nadruk op vereenvoudiging ten opzichte van de meest recente Amerikaanse drukwaterreactoren. Volgens Westinghouse heeft dit ontwerp dan ook 50% minder kleppen, 35% minder pompen, 80% minder leidingen, 45% minder seismisch gebouwsvolume en 70% minder kabel. De AP1000 maakt beduidend meer gebruik van passieve veiligheidssystemen, zoals voor noodkoelwatertoevoer, restwarmteafvoer en koeling van het reactorgebouw.

Ook de ESBWR maakt substantieel meer gebruik van passieve veiligheidssystemen dan de oudere kokendwaterreactor-ontwerpen. Zo zijn de primaire koelmiddelpompen geheel komen te vervallen, en geschiedt de koeling van de reactorkern op basis van natuurlijke circulatie. De Nederlandse nucleaire sector heeft veel bijgedragen aan de ontwikkeling van dit reactorontwerp, omdat de Nederlandse experimentele centrale Dodewaard model stond voor het ESBWR ontwerp.

De ABWR is een 1350MW<sub>e</sub> kerncentrale, eveneens van de Amerikaanse fabrikant General Electric op basis van kokendwaterreactortechnologie. ABWR staat voor Advanced Boiling Water Reactor. Dit ontwerp is reeds gebouwd in Japan, en in aanbouw in Taiwan. Het ontwerp is gecertificeerd door de Amerikaanse US NRC. Net als de EPR is de ABWR een evolutionair reactorontwerp, met dezelfde veiligheidsfilosofie als de voorgaande generatie kokendwaterreactoren.

### *Energy Policy Act*

Op 8 augustus 2005 heeft president Bush de 'Energy Policy Act' getekend, een brede wet over energie uit nucleaire en fossiele bronnen. M.b.t. kernenergie omvat de wet onder meer:

- Overheidsdekking van de kosten van vertraging tijdens de bouw van nieuwe kerncentrales, die buiten de controle van de industrie ontstaat, tot maximaal 500 miljoen dollar per eenheid.
- De mogelijkheid voor de overheid om leengaranties tot 80% te verstrekken, voor een centrale met 'nieuwe emissie-arme technologie', zowel nucleair, met kolen of hernieuwbare energie.
- De financiering van een nieuw prototype centrale met een hoge-temperatuurreactor voor de productie van waterstof., ter waarde van 1,25 miljard dollar.

## 8.3 Azië

De geïndustrialiseerde landen in Azië hebben niet de stagnatie in nucleaire nieuwbouw gekend zoals West-Europa en Noord-Amerika. Met enige regelmaat werden er in Japan, Taiwan en Zuid-Korea steeds nieuwe kerncentrales bijgebouwd. Recent is China hier als groot-afnemer van nieuwe centrales bijgekomen. Hier wordt veelal Amerikaanse technologie geïmporteerd, die steeds meer door nationale (Chinese) bedrijven onder licentie wordt gebouwd.

Japan heeft in juli 2005 de vierde ABWR in gebruik genomen: eenheid 2 van de Shika centrale. Hiermee komt het aantal operationele kerncentrales in Japan op 56. Er is er nog één in aanbouw, en verwacht wordt dat in het najaar een nieuwe ABWR in aanbouw gaat.

Naast de meer gangbare grote kernenergiecentrales met watergekoelde reactoren, is in China en Japan de hoge-temperatuur-reactortechnologie met heliumkoeling in ontwikkeling. Japan heeft sinds 1998 een proefreactor in bedrijf voor waterstofproductie, de HTTR. China heeft eveneens sinds 2000 een testreactor, in eerste instantie bedoeld voor waterstoftoepassingen zoals onder meer waterstofproductie. Later is deze ook uitgerust met een turbine en een generator voor elektriciteitsproductie. Van deze centrale is nu een grotere versie in ontwikkeling, de HTR-PM met een vermogen per eenheid van 160MW<sub>e</sub>. Het Chinese elektriciteitsbedrijf 'China Huaneng Group' zal de eerste HTR-PM gaan afnemen. De eerste HTR-PM is gepland om in 2007 in aanbouw te worden genomen en in 2010 voltooid te zijn. Over de veiligheid van dergelijke systemen is te lezen in Bijlage C (Technische veiligheid kerncentrales).

## 8.4 Afrika

Het Zuid-Afrikaanse elektriciteitsbedrijf ESKOM heeft een demonstratiereactor gepland naast de bestaande kerncentrale Koeberg bij Kaapstad (Figuur 8.2), met een optie op een serie van

ten op dezelfde vestigingsplaats. De start van de bouw is momenteel gepland in 2007, en zal volgens de fabrikant twee jaar duren.

De PBMR is een reactorontwerp van slechts 160 MW<sub>e</sub> per eenheid, in een vergevorderd stadium van ontwikkeling door de Zuid-Afrikaanse fabrikant PBMR (Pty) Ltd. Het is de bedoeling dat een centrale gaat bestaan uit zes tot tien van deze reactoren op één vestigingsplaats, bestuurd vanuit één centrale regelzaal. PBMR staat voor Pebble Bed Modular Reactor, en is een helium-gekoelde kogelbed hoge-temperatuurreactor. Net als bij de HTR-PM bestaat de reactorkern uit een losse stapeling van tennisbalvormige splijfstof. Over de veiligheid van dergelijke systemen is meer te lezen in Bijlage C.



Figuur 8.2 *Artist impression van de PBMR-centrale bij de kerncentrale Koeberg. Op de achtergrond de twee operationele drukwaterreactoren.*

## 8.5 Het Generation IV initiatief

Op langere termijn zal de ontwikkeling van de beschikbaarheid van uraniumbronnen de ontwikkeling van zogenoemde ‘snelle’ reactoren aanmoedigen. Deze gebruiken hun brandstof een factor 60 efficiënter dan de bestaande reactoren. Deze technologie is echter wel complexer en kostbaarder dan de huidige technologie.

Ook kan een tweede hulpbron beschikbaar gemaakt worden: het element thorium kan in een kernreactor worden geconverteerd naar splijtbaar materiaal. Thorium komt op aarde viermaal méér voor dan uranium.

In het jaar 2002 werd de ‘Generation IV Technology Roadmap’ gepubliceerd. Dit heeft de basis gelegd voor een wereldwijde samenwerking op het gebied van nucleaire ontwikkeling, genaamd Generation IV, bestaande uit elf lidstaten (10 landen<sup>26</sup> plus het Europese Euratom consortium).

<sup>26</sup> Verenigde Staten (initiatiefnemer), Frankrijk, Verenigd Koninkrijk, Canada, Japan, Zuid Korea, Zwitserland, Zuid Afrika, Argentinië en Brazilië.



Nucleaire centrales van de vierde generatie<sup>27</sup> zullen volgens de ‘Generation IV Technology Roadmap’ beschikbaar komen vanaf 2030. Het samenwerkingsverband is geïnteresseerd in systemen die op concurrerende wijze gebouwd en bedreven kunnen worden, en die voldoen aan eisen betreffende nucleaire veiligheid, afvalbeheer en non-proliferatie. In deze aspecten moeten de Gen-IV systemen de prestaties van voorgaande generaties voorbijstreven. Generation IV is een samenwerking tussen regeringen; de betreffende generatie reactoren heeft nog geen fabrikanten. Drie typen ‘snelle’ reactoren zijn onderdeel van dit ontwikkelingsprogramma.

---

<sup>27</sup> De eerste generatie betreft de prototype centrales in de jaren ‘50 en ‘60 van de twintigste eeuw, de tweede de commerciële centrales, vooral gebouwd in de jaren ‘70 en ‘80, en de derde generatie de geavanceerde commerciële centrales gebouwd in de jaren ‘90 en in of na 2000 in Azië, en recent ook in aanbouw in Finland en nu ook gepland voor Frankrijk.

## BIJLAGEN

## Bijlage A Toekomstscenario's elektriciteitsvoorziening

De beschrijving van de toekomstige ontwikkeling van de elektriciteitsvoorziening beperkt zich in Paragraaf A.1 van dit hoofdstuk tot ontwikkelingen aan de aanbodzijde van de elektriciteitssector, dat wil zeggen de groothandelsmarkt voor elektriciteitsproductie. Sluiting dan wel voorzetting van de bedrijfsvoering van de KCB beïnvloedt namelijk in eerste instantie alleen het elektriciteitsaanbod. Ontwikkelingen op het gebied van de netinfrastructuur of het elektriciteitsverbruik blijven hier dus buiten beschouwing. Wel zal de ontwikkeling van de totale elektriciteitsvraag aan de orde komen.

In het SE-scenario is verondersteld dat de KCB in 2013 sluit, terwijl de KCB in het GE-scenario in bedrijf blijft tot 2033. In Hoofdstuk 3 wordt nagegaan wat de gevolgen zijn wanneer deze veronderstellingen zich wijzigen.

Met behulp van een model voor de Nederlandse elektriciteitsmarkt zijn de toekomstscenario's gekwantificeerd. Hierbij is nagegaan hoe verschillende factoren invloed hebben op onder meer de inzet van centrales (brandstofmix), de uitwisseling met het buitenland (importen), en de elektriciteitsprijzen. Met de modellen is ook de invloed van investeringen in nieuwe centrales op deze kwantitatieve grootheden gesimuleerd. Aan de hand van de elektriciteitsproductie uit verschillende centrales zijn vervolgens emissies naar de lucht berekend. Paragraaf A.2 bespreekt de kwantitatieve kenmerken van beide scenario's.

### A.1 Bepalende factoren voor ontwikkeling van de elektriciteitsproductie

Factoren die van invloed zijn op de ontwikkeling van de elektriciteitsproductie zijn:

- De ontwikkeling van de vraag naar elektriciteit.
- De prijzen van fossiele brandstoffen die van invloed zijn op de kosten van verschillende elektriciteitsproductieopties en de elektriciteitsprijs.
- Het klimaat- en het duurzame energiebeleid dat door de overheid wordt gevoerd, waar onder handel in CO<sub>2</sub>-emissierechten en stimulering van elektriciteitsproductie uit duurzame bronnen.
- De technologische ontwikkeling die van invloed is op de kosten van elektriciteitsproductie-alternatieven.
- Ontwikkeling op buitenlandse elektriciteitsmarkten en ten aanzien van landgrensoverschrijdende verbindingen.
- De marktstructuur en concurrentie op de groothandelsmarkt.
- Investeringsklimaat en investeringsgedrag in verband met nieuw productievermogen.

Deze factoren zijn belangrijke uitgangspunten en randvoorwaarden bij het bepalen van de kwantitatieve grootheden van de toekomstscenario's. De verschillende factoren worden in de navolgende paragrafen besproken.

#### A.1.1 Elektriciteitsvraag

Voor het aanbod van elektriciteit is het van belang hoe de vraag van elektriciteit zich zal gaan ontwikkelen. De vraag naar elektriciteit is de afgelopen 20 jaar steeds toegenomen, maar het groeitempo neemt geleidelijk af. De afgelopen tien jaar lag de groei op gemiddeld 2,8% per jaar en de finale vraag bedroeg in 2003 ruim 111 TWh. Voor beide scenario's is met behulp van energievraagmodellen de ontwikkeling van de energievraag, waaronder die voor elektriciteit, berekend. De energievraag is daarbij afhankelijk onder meer de demografische ontwikkeling, de

economische ontwikkeling en ontwikkeling in de woning- en utiliteitsbouw, de technologieontwikkeling, het energiebesparingsbeleid en de energieprijzontwikkeling<sup>28</sup>. Ten aanzien van energiebesparing is uitgegaan van huidig en geïnstrumenteerd beleid. In de toekomstscenario's is dus geen rekening gehouden met nieuwe besparingsinstrumenten, zoals in het Energierapport 2005 (EZ, 2005) is aangegeven. Daarbij wordt een belangrijke rol toebedeeld aan Energiebesparing-certificaten, ook wel Witte Certificaten genoemd.

In het SE-scenario blijft de finale elektriciteitsvraag de komende jaren groeien, en wel tot ruim 122 TWh in 2010 en bijna 139 TWh in 2020 (zie ook Tabel A.1). In dit scenario is de groei tot 2010 gemiddeld circa 1,5%. Daarna neemt het groeitempo af tot gemiddeld 1,3% per jaar. In het GE-scenario is de groei hoger en resulteert een finale elektriciteitsvraag van bijna 130 en ruim 157 TWh in resp. 2010 en 2020. Het groeitempo ligt in dit scenario daarmee tot 2010 op 2,1% en neemt daarna af tot gemiddeld 2,0% per jaar. De groei van elektriciteitsverbruik in het GE-scenario is hoger vanwege de hogere economische groei, vooral in de huishoudens en diensten-sector.

Tabel A.1 *Ontwikkeling Nederlands finaal elektriciteitsverbruik*

| Scenario | 2003 | 2010 | 2015 | 2020 | 2030* |
|----------|------|------|------|------|-------|
| [TWh]    |      |      |      |      |       |
| GE       | 111  | 130  | 143  | 157  | 182   |
| SE       |      | 122  | 131  | 139  | 149   |

\*) De absolute waarde voor het jaar 2030 is gebaseerd op een 'oude' WLO projectie, en kan in de definitieve WLO studie anders zijn.

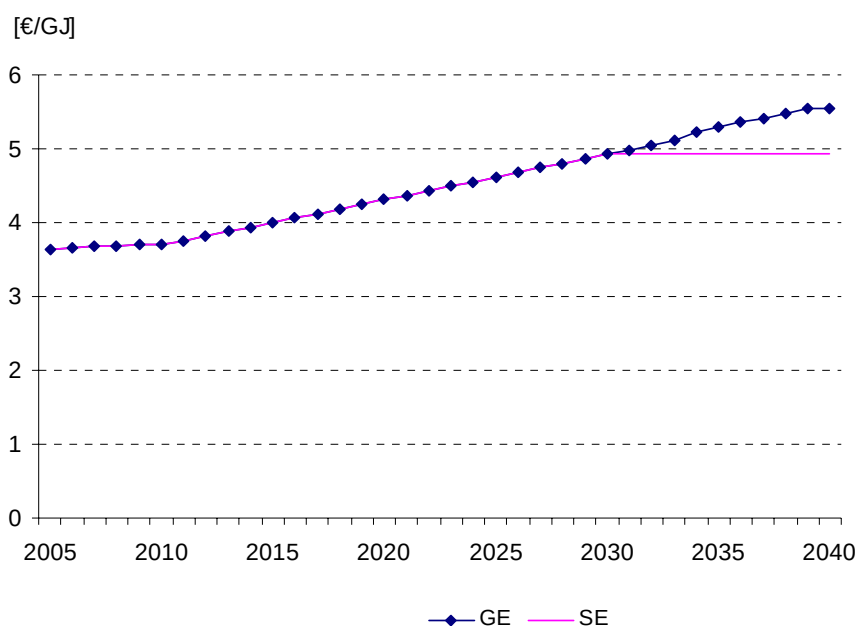
### A.1.2 Brandstofprijzontwikkeling

Brandstofprijzen hebben effect op de elektriciteitsprijzen en beïnvloeden ook de keuze tussen verschillende elektriciteitsproductieopties. In beide scenario's zijn de Nederlandse gasprijzen aanvankelijk nog gekoppeld aan de olieprijs<sup>29</sup>. De gasprijzen op de Nederlandse gasmarkt sluiten na 2010 aan bij het (hogere) prijsniveau op de Europese gasmarkt. Hierdoor is in beide scenario's sprake van een stijgende trend voor de aardgasprijs. De aardgasprijs voor elektriciteitscentrales (commodityprijs vermeerderd met tarieven voor transport en capaciteit) ontwikkelt zich van 3,7 €/GJ in 2005 tot circa 4,0 €/GJ in 2015, en daarna tot 4,9 en 5,2 €/GJ in 2035, afhankelijk van het scenario (zie Figuur A.1). Voor de periode 2014-2033, is de gemiddelde aardgasprijs 4,5 €/GJ. Het verschil in aardgasprijs tussen beide scenario's ontstaat pas na 2030. De olieprijsen gaan al na 2020 meer uiteenlopen. De olieprijsen zijn gebaseerd op de 'Four Futures' studie van CPB (Bollen et al., 2004).

In de twee scenario's is de kolenprijs 1,7 €/GJ (inclusief kosten voor transport en opslag) en constant over de tijd. Deze kolenprijs ligt tussen waarden in die in andere studies worden gerapporteerd, waarbij prijzen worden genoemd van 1 €/GJ en 2,7 €/GJ in 2050 (Menkveld, 2004).

<sup>28</sup> Zie voor een uitgebreide toelichting op de ontwikkeling van de energievraag (ECN/NMP, 2005).

<sup>29</sup> In de oorspronkelijke scenario's is uitgegaan van een prijsniveau voor olie op de lange termijn van circa 23 \$<sub>2000</sub>/barrel. Bij hogere olieprijsen zal de koppeling tussen gas- en olieprijsen langer in stand kunnen worden gehouden. In Paragraaf A.3 wordt de gevoeligheid voor hogere olieprijsen besproken.

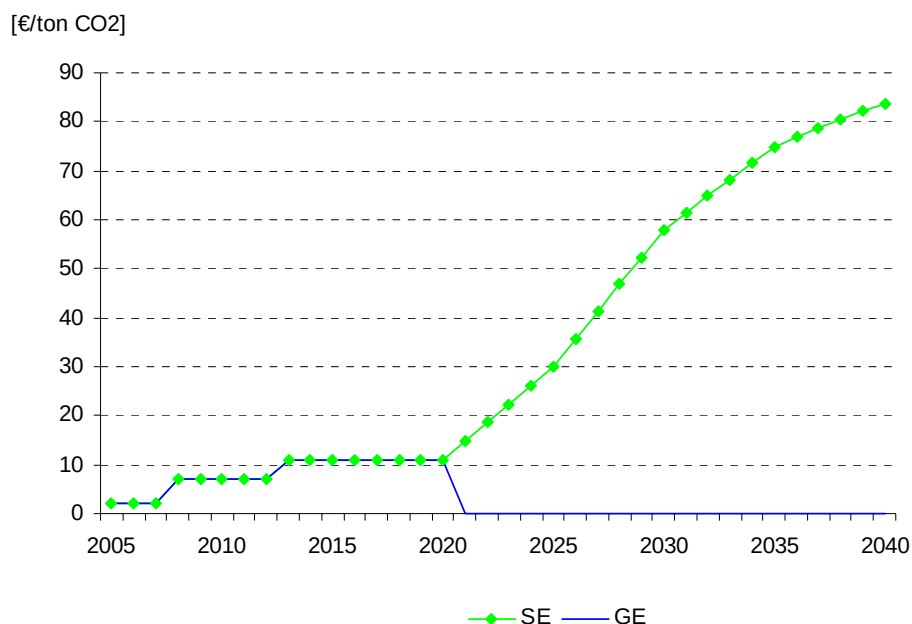


Figuur A.1 Aardgasprijs (commodityprijs, plus transport- en capaciteitsstarief) voor elektriciteitscentrales

### A.1.3 CO<sub>2</sub>-emissiehandel

In beide scenario's wordt ervan uitgegaan dat het huidige klimaatbeleid (samenhangend met het Kyoto-protocol) tot 2020 wordt voortgezet. Om aan nationale doelstellingen te kunnen voldoen worden in de scenario's beleidsinstrumenten zoals CO<sub>2</sub>-emissiehandel, JI en CDM toegepast. Het Europese CO<sub>2</sub>-emissiehandelssysteem is vanaf 2005 in werking getreden. Dit omvat de elektriciteitsproductie, de aardolieraffinage en de meeste energie-intensieve industrie en olie- en gaswinning. Het investeringsklimaat voor emissiereducerende maatregelen is goed in het SE-scenario. Er is een algemene verwachting dat na 2012 landen buiten Europa gaan deelnemen aan het Europese emissiehandelssysteem. Bedrijven hebben de voorkeur voor investeren in eigen reductiemaatregelen in plaats van het kopen van emissierechten. Dit komt voort uit onzekerheid over de CO<sub>2</sub>-prijs, maar ook door de verwachting dat de prijs op termijn structureel zal stijgen. In het GE-scenario ontstaan daarentegen na de eerste budgetperiode (2008-2012) grote twijfels over voortzetting van het klimaatbeleid. Bedrijven houden rekening met een mogelijk laag prijsniveau voor CO<sub>2</sub>-emissierechten.

De gemiddelde prijs voor de periode 2013-2020 bedraagt 11 € per ton CO<sub>2</sub>. Daarbij is wereldwijd een ruim aanbod aan reductieopties voorhanden. Door voortzetting en aanscherping van het klimaatbeleid stijgt de prijs voor CO<sub>2</sub>-emissierechten in het SE-scenario geleidelijk tot een niveau van circa 75 € per ton CO<sub>2</sub> in 2035. In het GE-scenario is na 2020 niet langer sprake van emissiehandel, dat wil zeggen dat de prijs voor CO<sub>2</sub>-emissierechten nihil wordt. In Figuur A.2 staat de ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-prijs weergegeven. De CO<sub>2</sub>-prijzen zijn gebaseerd op de 'Four Futures' studie van CPB (Bollen et al., 2004).



Figuur A.2 Prijs voor CO<sub>2</sub>-emissierechten

Initieel hebben elektriciteitsproducenten, evenals andere deelnemende partijen, de CO<sub>2</sub>-emissierechten gratis toebedeeld gekregen. Voor deze toebedeelde rechten worden dus geen kosten gemaakt, maar omdat het CO<sub>2</sub>-emissierecht in de emissiemarkt een waarde heeft, wordt het door de producenten wel beschouwd tot de variabele productiekosten (zogenaamde opportuniteitskosten) (Sijm et al, 2005). Dat wil nog niet zeggen dat deze kosten daarmee volledig in de elektriciteitsprijs tot uitdrukking komen. Doorberekening van de CO<sub>2</sub>-prijs kan leiden tot veranderingen in de elektriciteitsmarkt, waaronder kostenverschuivingen tussen verschillende typen elektriciteitsproductie, wijziging van de elektriciteitsvraag (prijselasticiteit) en aanpassing van strategisch gedrag van producenten. De ‘doorwerking’ van de prijs van CO<sub>2</sub>-emissierechten ligt daardoor lager dan 100%. Empirisch onderzoek heeft uitgewezen dat de doorwerking thans in de orde ligt van 30 tot 70% (Sijm et al, 2005). In beide scenario’s is er van uitgegaan dat aanvankelijk 60% van de CO<sub>2</sub>-prijs doorwerkt in de elektriciteitsprijs, doch dat op termijn deze doorwerking toeneemt tot 100%.

#### A.1.4 Warmtekrachtkoppeling en duurzame elektriciteitsproductie

Door de overheid wordt de productie van elektriciteit door warmtekrachtkoppeling (WKK) en uit duurzame energie gestimuleerd (Wet Milieukwaliteit Elektriciteitsproductie, MEP; Energie Investeringsaftrek, EIA).

##### WKK

De ontwikkeling van warmtekrachtkoppeling wordt sterk bepaald door ontwikkeling van de warmtevraag en energieprijontwikkeling (zowel die van elektriciteit als gas). Prijzen op de elektriciteitsmarkt zullen de inzetstrategie van WKK steeds meer gaan bepalen. Flexibel inspelen op prijsveranderingen wordt dan ook steeds belangrijker. De ontwikkeling van de gas- en elektriciteitsprijs valt in het SE-scenario per saldo gunstig uit voor WKK. Dit is vooral het gevolg van de hogere elektriciteitsprijzen in de off-peak perioden<sup>30</sup>. In het GE-scenario stijgt deze dalprijs ook.

<sup>30</sup> Off-peak of dalperioden hebben betrekking op weekdays van 23.00 tot 7.00, alsmede zaterdag, zondag en feestdagen.

Met de invoering van de MEP is de exploitatieondersteuning van WKK gebaseerd op de CO<sub>2</sub>-prestatie van een installatie. Conform het Europees Milieusteunkader mag deze steun maximaal 50% van de onrendabele top dekken. Verder kan, indien de marktomstandigheden voor WKK verbeteren, de vergoeding dalen en mogelijk zelfs nul worden. De regeling maakt daarom in principe een gemiddelde investering niet rendabel. De MEP-vergoeding wordt evenwel gebaseerd op de rentabiliteit van een representatieve installatie. Nieuwe WKK-projecten die in gunstige zin voldoende afwijken van die gemiddelde rentabiliteit kunnen toch kostendekkend worden gerealiseerd. In het SE-scenario zal de MEP-regeling ook na 2020 worden voortgezet. In het GE-scenario houdt de MEP-regeling na 2020 op te bestaan.

CO<sub>2</sub>-emissiehandel kan in de toekomst ook aanzet geven tot nieuwe investeringen in WKK indien de marktprijs van CO<sub>2</sub> voldoende hoog is en in voldoende mate doorberekend wordt in de elektriciteitsprijs. Tot 2020 zal het effect van emissiehandel relatief beperkt zijn (zie Paragraaf A.1.3). Bestaande regelingen voor WKK zoals de EIA en de vrijstelling voor de energiebelasting (gas en elektriciteit) blijven van kracht. De belastingvrijstelling voor eigen gebruik van WKK-electriciteit wordt verrekend met de MEP-inkomsten. Belangrijk voor de toepassing van WKK is de Europese WKK-Richtlijn van februari 2004, die moet leiden tot een geharmoniseerde methode om de kwaliteit van WKK te bepalen. In feite geeft de richtlijn nadere invulling aan eerdere richtlijnen waarin lidstaten verplicht worden de economische haalbaarheid van WKK te onderzoeken bij nieuwbouwprojecten in de industrie en de utiliteitsbouw.

### *Duurzaam*

De Nederlandse overheid heeft als doelstelling de bijdrage van duurzame energiebronnen aan de energievoorziening te laten toenemen tot 5% in het jaar 2010 en 10% in 2020. Voor de elektriciteitsconsumptie is er in Europees verband een doelstelling vastgesteld, die voor Nederland 9% van de elektriciteitsconsumptie bedraagt in 2010. Voor de periode na 2010 is er in EU-verband voor elektriciteit nog geen doelstelling afgesproken.

Voor stimulering van duurzame energie zijn de MEP-subsidies geïntroduceerd. In beide scenario's wordt de MEP-regeling tot 2020 gecontinueerd. In het GE-scenario wordt de MEP-regeling na 2020 stopgezet. In de twee scenario's wordt met name het windvermogen fors uitgebreid alsmede de meestook van biomassa in kolencentrales. In het SE-scenario zet die ontwikkeling zich na 2020 door. In het GE-scenario vinden, als gevolg van het verdwijnen van de MEP-regeling, na 2020 geen nieuwe investeringen in duurzaam opwekkingsvermogen meer plaats.

### **A.1.5 Technologiekeuze**

Bij de keuze voor nieuw productievermogen lijken kolencentrales aantrekkelijk gezien de relatief lage en constante brandstofkosten, met name in verband met concurrentie met buitenlandse elektriciteitsproductie. Het is echter niet waarschijnlijk dat op korte termijn nieuwe kolencentrales worden gerealiseerd. De investering is relatief hoog en er bestaat onzekerheid over het verkrijgen van emissierechten en de duur van de vergunningverlening. Verder vermindert het brandstofkostenvoordeel ten opzichte van aardgas als de prijs voor CO<sub>2</sub>-emissierechten stijgt. Van de oudste twee kolencentrales, Gelderland-13 en Amer-81, wordt verondersteld dat zij tot circa 2018 blijven doordraaien. Er worden in het SE-scenario geen nieuwe poederkoolcentrales in gebruik genomen, gezien de verwachte sterke prijsstijging voor CO<sub>2</sub>-rechten na 2020. Daardoor neemt in SE in 2020 de inzet van kolen fors af tot 2025. Na 2025 wordt wel geïnvesteerd in kolenvergassing (KV STEG<sup>31</sup>) met CO<sub>2</sub>-afvang.

---

<sup>31</sup> KV staat voor kolenvergassing; STEG staat voor stoom en gasturbine.

In het GE-scenario wordt na 2015 wel geïnvesteerd in nieuw kolenvermogen in de verwachting dat het CO<sub>2</sub>-emissiehandelssysteem na 2020 verdwijnt. Door het wegvallen van de CO<sub>2</sub>-prijs worden kolencentrales goedkoper dan aardgasgestookte STEG's. Tevens biedt het een portfolio waarin de prijsrisico's van aardgas beter worden afgedekt. Poederkoolcentrales blijven dan aantrekkelijk, ondanks de hogere CO<sub>2</sub>-emissies vergeleken met gascentrales. De oudste twee kolencentrales blijven tot na 2020 in bedrijf. Er wordt tevens geïnvesteerd in nieuwe poederkoolcentrales, in de periode 2015-2020 met een totale omvang van 2000 MW.

In beide scenario's wordt rekening gehouden met de realisatie van nieuwe aardgasgestookte vermogen (STEG's), zoals de net gerealiseerde Rijnmond Energie centrale (Intergeren, 790 MW) en de Sloe-centrale (820 MW) die naar verwachting vanaf 2008 stroom gaat leveren. In het SE-scenario blijven dergelijke aardgasgestookte STEG's de geprefereerde optie bij volgende nieuwe investeringen.

In het SE-scenario wordt de kerncentrale Borssele eind 2013 gesloten. De publieke acceptatie van deze technologie blijft in het SE-scenario laag. Daarentegen wordt in het GE-scenario geïnvesteerd in het veilig in bedrijf houden van de kerncentrale tot 2033. In het GE-scenario wordt niet gekozen voor de bouw van een nieuwe kerncentrale. Elektriciteitsproducenten bevinden zich in dit scenario in een sterk competitieve markt (zie volgende paragraaf) waardoor zij geen grote investeringsrisico's kunnen nemen<sup>32</sup>. Kolencentrales zijn dan een aantrekkelijker alternatief voor basislastcapaciteit.

Ten aanzien van specifiek beleid voor 'schoon fossiel' c.q. CO<sub>2</sub>-afvang, is uitgegaan van huidig (anno 2004) en geïnstrumenteerd beleid. Zonder aanvullend en specifiek beleid, worden pas na 2025 en alleen in het SE-scenario opties met CO<sub>2</sub>-afvang aantrekkelijk (zie ook Paragraaf 3.4.3). De keuze valt dan voornamelijk op kolenvergassing STEG met CO<sub>2</sub>-afvang. Bij een prijs van circa 30 €/ton CO<sub>2</sub> en bij de gehanteerde prijzen voor steenkool en aardgas kunnen fossiel gestookte centrales met CO<sub>2</sub>-afvang rendabel worden.

#### A.1.6 Marktstructuur en mate van concurrentie

De groothandelsprijzen worden bepaald door de variabele productiekosten van de marginale centrale, dat wil zeggen de centrale waarmee de marginale elektriciteitsvraag wordt gedekt. De marginale centrale heeft de hoogste variabele kosten. Deze kosten worden hoofdzakelijk bepaald door de brandstofkosten (zie Paragraaf A.1.2) en de prijs van CO<sub>2</sub>-emissierechten (zie Paragraaf A.1.3). Producenten kunnen in het algemeen een hogere prijs (een mark-up) realiseren dan deze marginale variabele productiekosten. Dit hangt af van de marktstructuur en de mate van concurrentie op de markt, zowel in Nederland als met het aangrenzende buitenland. In het SE-scenario wordt een matig competitieve elektriciteitsmarkt verondersteld. Het verschil tussen de marginale variabele productiekosten en de marktprijzen, de mark-up, verandert gemiddeld in dit scenario niet ten opzichte van de huidige. In het GE-scenario neemt daarentegen de concurrentie op de elektriciteitsmarkt toe, hetgeen op de middellange termijn resulteert in een daling van de gemiddelde mark-up.

De mate van concurrentie, en daarmee de mark-up hangen samen met de strategieën van de producenten die actief zijn op de Nederlandse elektriciteitsmarkt. Maar ook het aantal aanbieders is van belang: naast de grootschalige binnenlandse producenten zijn dit buitenlandse aanbieders, kleinschalige decentrale producenten en onafhankelijke handelaren.

---

<sup>32</sup> De investeringsrisico's voor kerncentrales worden ongunstig beïnvloed door de schaalgrootte, hoge specifieke investeringskosten en de lange plannings- en bouwtijd (Scheepers, 2005).



### A.1.7 Ontwikkeling van het buitenlands aanbod en interconnectie capaciteit

Via de relatief grote capaciteit van de hoogspanningsverbindingen met het buitenland (interconnectors) kan Nederland aanzienlijke hoeveelheden elektriciteit importeren of exporteren. Dit is primair afhankelijk van de verschillen tussen elektriciteitsprijzen in Nederland met die in aangrenzende landen. Wanneer deze elektriciteitsprijzen lager liggen zal door leveranciers en handelaren in Nederland elektriciteit in het buitenland worden gekocht. Hiervoor bestaat evenwel een volumebeperking die wordt bepaald door de capaciteit van de interconnectors.

In beide scenario's wordt er vanuit gegaan dat Nederland elektriciteit uitwisselt met vijf landen: België, Frankrijk, Duitsland, Verenigd Koninkrijk en Noorwegen. Evenals in Nederland wijzigt ook in deze landen de samenstelling van het productiepark en daarmee de marginale productiekosten. Voor het buitenlandse productieaanbod zijn aanbodscurven geconstrueerd die zijn ontleend aan Europese energiescenario's (EC, 2003a en 2003b). Doordat in alle genoemde landen gascentrales worden gebouwd, zal in de piekperioden niet langer sprake zijn van grote verschillen in marginale productiekosten. In de dalperioden zullen zich nog wel prijsverschillen voordoen doordat bepaalde landen blijven beschikken over centrales met lage variabele productiekosten die niet in andere landen aanwezig zijn (nucleair, waterkracht).

Ten aanzien van de interconnectiecapaciteit worden geen verschillen verondersteld tussen de twee scenario's. De capaciteit van de verbindingen met Duitsland en België nemen slechts in beperkt mate toe. Voorts is verondersteld is dat de verbinding met Noorwegen van 700 MW in 2008 gereed komt. Eind 2004 is hiertoe door TenneT besloten, na goedkeuring door DTe. Er zijn tevens plannen voor een verbinding met het Verenigd Koninkrijk van 1300 MW. Die plannen gaan er van uit dat deze verbinding rond 2008/2009 gerealiseerd wordt (TenneT, 2004). In beide scenario's is echter verondersteld dat de verbinding met het Verenigd Koninkrijk pas tot stand komt in 2011. In tegenstelling tot de verbindingen met België en Duitsland, wordt de uitwisseling van stroom over deze gelijkstroomkabels met Noorwegen en Engeland niet beïnvloed door stroomtransport op andere hoogspanningsverbindingen<sup>33</sup>.

### A.1.8 Investeringsklimaat en investeringsgedrag

In beide scenario's wordt van een gunstig investeringsklimaat uitgegaan. Voor nieuwe centrales zijn elektriciteitsproducenten in staat om op redelijke termijn nieuwe locaties te vinden en vergunningen te verkrijgen voor bouw en exploitatie van de centrales. Producenten zijn goed in staat om met onzekerheden in de markt om te gaan waardoor de marktrisico's beperkt blijven.

De elektriciteitsprijs is een belangrijke indicator voor investeringsbeslissingen. Realisatie van nieuw productievermogen wordt aantrekkelijk wanneer het gemiddelde prijsniveau de integrale kosten van elektriciteitsproductie overstijgt. In de praktijk zullen investeringsbeslissingen echter vooral worden genomen op basis van analyses en verwachtingen over de ontwikkeling van de elektriciteitsvraag en het productieaanbod. Dit komt doordat het realiseren van nieuw productievermogen een lange voorbereidings- en bouwtijd vergt. De traagheid van afstemming van het productieaanbod op de toekomstige vraag kan tot zogenaamd cyclisch investeringsgedrag leiden. Verschillende producenten besluiten vrijwel gelijktijdig tot uitbreiding van de productiecapaciteit, hetgeen na enkele jaren kan resulteren in een capaciteitsoverschot. Dit heeft tot gevolg dat de gemiddelde marktprijzen soms onder de integrale kostprijs duiken en om vervolgens enige tijd later hierboven uit te komen.

---

<sup>33</sup> De verbindingen met Noorwegen en het Verenigd Koninkrijk worden uitgevoerd als gelijkstroomkabels.

Door de prijsvorming in de markt met behulp van een model te simuleren kan het moment worden voorzien waarop nieuw vermogen nodig is (perfect foresight)<sup>34</sup>. In de simulatie wordt nieuw vermogen bijgeplaatst als de gemiddelde elektriciteitsprijs (baseload) in een bepaalde periode uitstijgt boven een zeker prijsniveau<sup>35</sup>. Afhankelijk van het gepercipieerde marktrisico ligt dit niveau hoger of lager. Een cyclisch investeringsgedrag is verondersteld voor een meer competitieve marktomgeving, zoals in het GE-scenario. In het SE-scenario zal uitbreiding van nieuw vermogen geleidelijker plaatsvinden. Door de toenemende CO<sub>2</sub>-prijzen of stijgende aardgasprijzen hoeft de prijsdaling niet persé in te zetten, maar zal de prijs, ondanks de investeringen in nieuwe capaciteit, verder kunnen oplopen.

## A.2 Toekomstscenario's elektriciteitsvoorziening in cijfers

In de navolgende subparagrafen wordt een overzicht gegeven van de resultaten van modelsimulaties voor de twee hierboven beschreven scenario's. Deze modelsimulaties, die zijn uitgevoerd met het elektriciteitsmarktmodel POWERS (zie Bijlage A), geven inzicht in de ontwikkeling van de productiecapaciteit, de inzet van centrales (brandstofmix), de uitwisseling met het buitenland (importen) en de elektriciteitsprijzen. Op basis van de brandstofmix voor de elektriciteitsproductie uit de verschillende centrales zijn CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>- en fijn stof emissies bepaald.

In de twee scenario's was nog niet voorzien in de vermogensuitbreiding van de KCB. Deze vermogensuitbreiding bedraagt circa 35 MW (EPZ, 2005) en zal tijdens de splitsstofwisselperiode in 2006 worden gerealiseerd. Ten behoeve van analyses van de effecten van het al dan niet beëindigen van de bedrijfsvoering van de KCB in 2013, is deze vermogensuitbreiding in de berekeningen voor beide scenario's verwerkt.

### A.2.1 Ontwikkeling productiecapaciteit

De eerstkomende jaren kan de Nederlandse elektriciteitsvraag nog worden gedekt door de bestaande elektriciteitscentrales en importen uit het buitenland. Door stijging van de vraag ontstaat echter na verloop van tijd een steeds krapper markt. Deze krapte doet zich voor op momenten waar de piekvraag samenvalt met een beperking in de productiecapaciteit, bijvoorbeeld als gevolg van storingen of een te hoge temperatuur van het oppervlaktewater dat gebruikt wordt voor koeling van de centrales. De marktprijzen kunnen daarbij zeer hoog oplopen en gelijktijdig zal de hoeveelheid beschikbaar reservevermogen afnemen. Een dergelijke situatie deed zich voor in de zomer van 2003, en in iets mindere mate in de zomer van 2005.

Marktwerving op de elektriciteitsmarkt zal zorgen voor tijdige investeringen in nieuw productievermogen, zowel voor dekking van de groei in de vraag als vervanging van technisch verouderde productie-eenheden. Het teruglopen van de bestaande productiecapaciteit kan echter ook worden uitgesteld door investeringen in levensduurverlenging of het opnieuw in gebruik stellen van oude stilgelegde centrales. Zo heeft Electrabel inmiddels besloten tot verlenging van de levensduur van de Bergum-, Harculo-, en Gelderlandcentrales. Essent overweegt de eenheid Amer-71 weer in bedrijf te nemen.

De ontwikkeling van de totale productiecapaciteit tot en met 2020 staat weergegeven in Figuur A.3. Tot 2010 wordt er in beide scenario's vooral geïnvesteerd in (decentrale) WKK en duurzame opwekking (windenergie en biomassa meestook in kolencentrales). Tussen 2010 en 2020 wordt tevens geïnvesteerd in nieuw grootschalig fossiel gestookt vermogen. Vanaf 2013

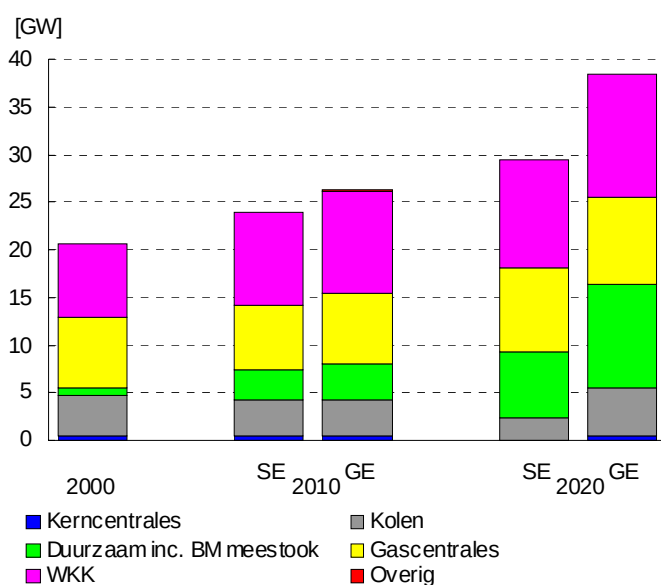
---

<sup>34</sup> Behalve stijgende piekprijzen, zijn een toenemend importsaldo en een dalende reservefactor indicatoren voor een tekort aan binnenlandse productiecapaciteit.

<sup>35</sup> De integrale kostprijs voor een nieuwe gascentrale (STEG) bedraagt, afhankelijk van de gasprijs, 45 tot 50 €/MWh, rekening houdend met een economische levensduur van 20 jaar en een reële rentevoet van 10%.

wordt in het SE-scenario geïnvesteerd in gasgestookte STEG's. In het GE-scenario wordt na 2017 ook geïnvesteerd in nieuwe poederkoolcentrales (in totaal 2000 MW). In 2020 is er in het SE-scenario 2 GW wind op land en 3,5 GW wind op zee geplaatst; in het GE-scenario resp. 3 en 6 GW.

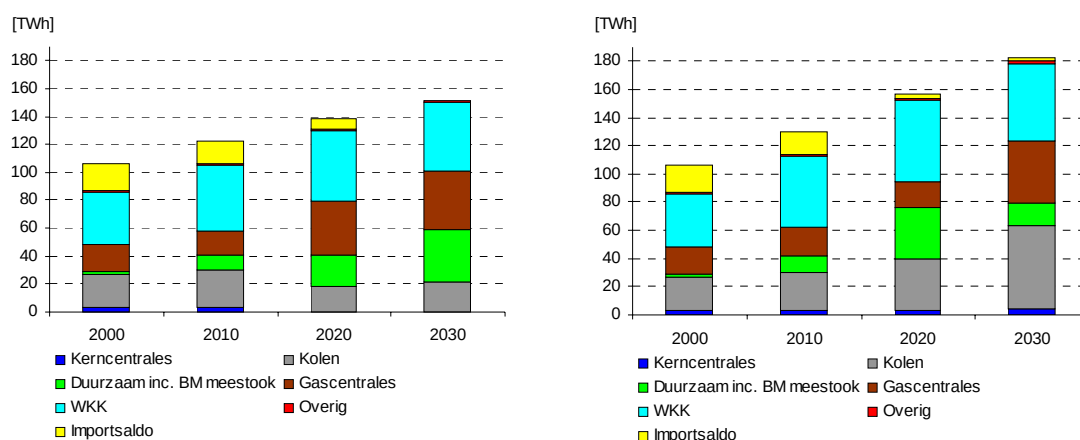
Na 2020 vinden er in het GE-scenario geen investeringen meer plaats in nieuw duurzaam vermogen, maar nog wel in fossiel vermogen. In het SE-scenario groeit de capaciteit aan windenergie in 2040 door tot 10 GW wind op zee. Na 2025 worden in het SE-scenario tevens opties met CO<sub>2</sub>-afvang aantrekkelijk (zie ook Paragraaf 3.4.3). De keuze valt dan voornamelijk op kolenvergassing STEG met CO<sub>2</sub>-afvang. Bij een prijs van circa 30 €/ton CO<sub>2</sub> en bij de gehanteerde prijzen voor steenkool en aardgas kunnen fossiel gestookte centrales met CO<sub>2</sub>-afvang rendabel worden.



Figuur A.3 Ontwikkeling productiecapaciteit

## A.2.2 Brandstofmix

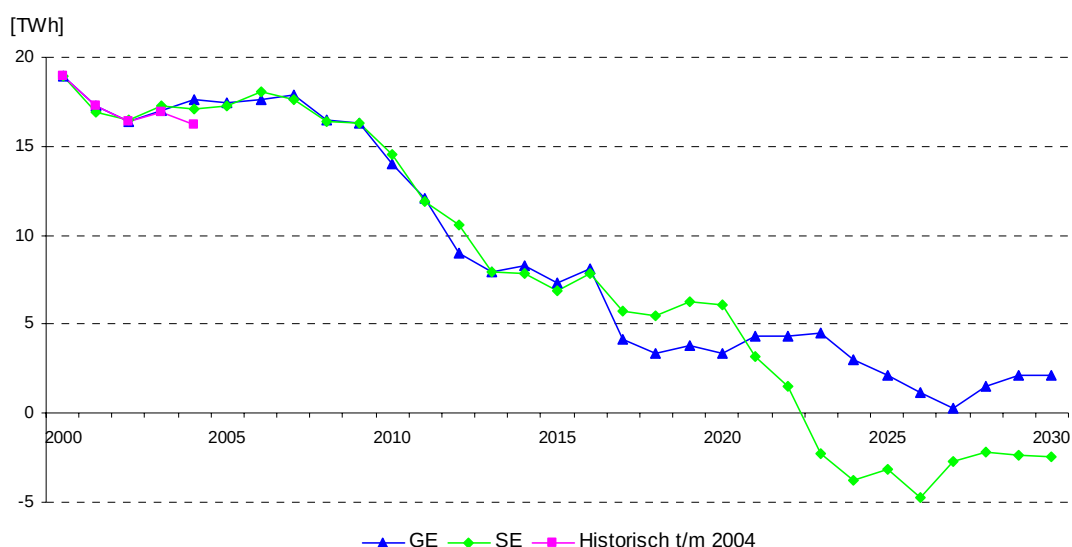
De elektriciteitsproductiemix is tot op zekere hoogte een afspiegeling van de ontwikkeling van de productiecapaciteit en staat voor de periode tot 2030 weergegeven in Figuur A.4.



Figuur A.4 Ontwikkeling elektriciteitsproductiemix (SE, links; GE, rechts)

### A.2.3 Importsaldo

Het aandeel van elektriciteitsimport was in Nederland in de afgelopen jaren relatief hoog in vergelijking met andere Europese landen. Het saldo lag tussen de 19 TWh in 2000 en ruim 16 TWh in 2004. De omvang van elektriciteitsimport wordt bepaald door prijsverschillen van elektriciteit met het buitenland en door de beschikbare capaciteit voor elektriciteitstransport. Vanwege het relatief grote aandeel van gascentrales in de Nederlandse elektriciteitsproductie en de daarvoor structureel hogere prijzen, is doorgaans sprake van import, maar op sommige momenten wordt ook elektriciteit geëxporteerd. De ontwikkeling van het importsaldo is weergegeven in Figuur A.5.

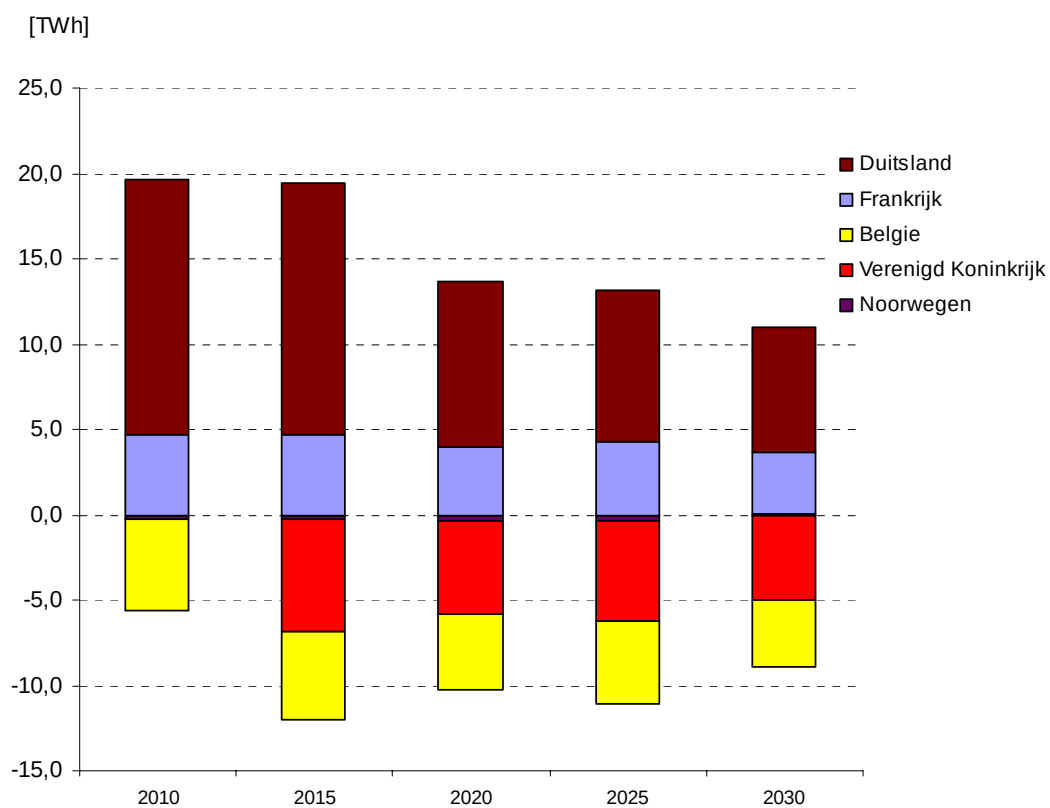


Figuur A.5 Importsaldo van elektriciteit<sup>36</sup>

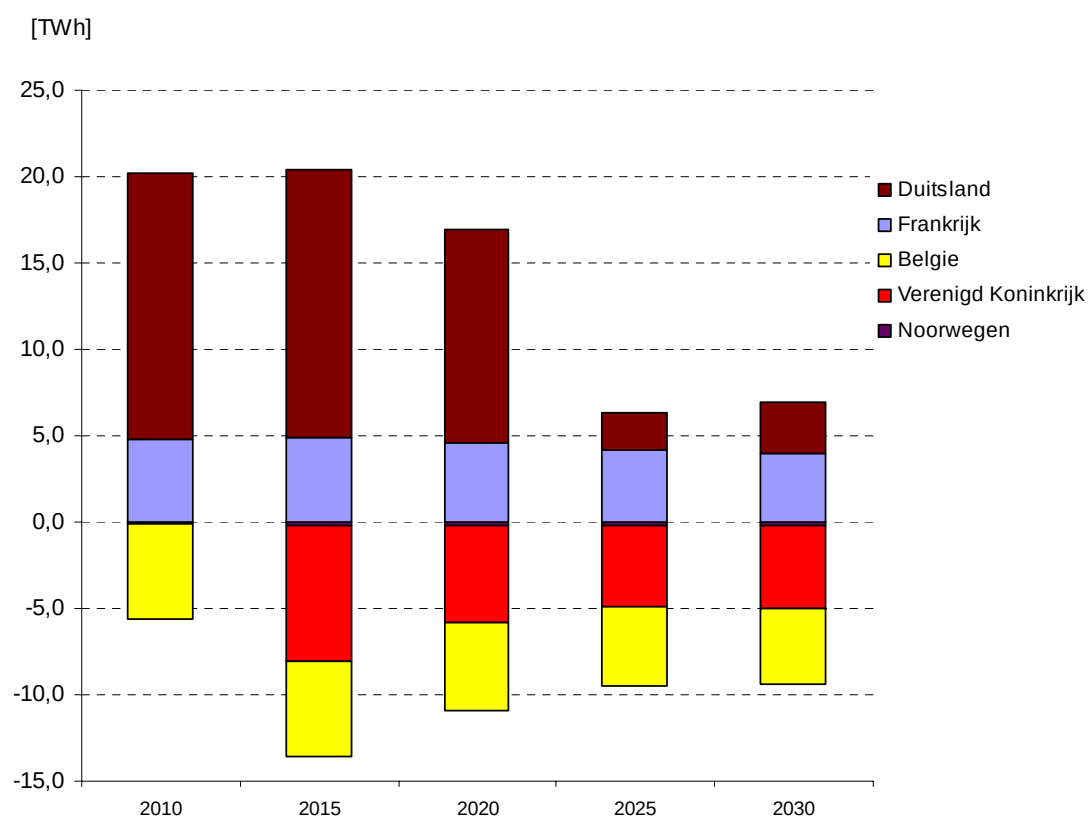
In beide scenario's is ook de eerstkomende jaren sprake van een aanzienlijke netto import. Als gevolg van afnemende prijsverschillen neemt het importsaldo met Duitsland na 2008 structureel af. Ook ontstaan exporten vanaf het moment dat de verbindingen met Noorwegen en enkele jaren daarna met Engeland zijn gerealiseerd. Zowel in SE als in GE resteert in 2020 een importsaldo van resp. 6 en 3 TWh. In GE is er in 2017 sprake van een sterke daling in importsaldo door een nieuwe investeringsgolf in relatief goedkoop en efficiënt poederkoolvermogen. Hierbij moet worden opgemerkt dat kleine verschillen in elektriciteitsprijzen relatief grote effecten hebben op de handelsstromen van elektriciteit. Deze handelsstromen hebben bovendien grote effecten op de nationale CO<sub>2</sub>-emissie.

In de figuren A.6 en A.7 staan per land de ontwikkelingen in het importsaldo, voor resp. het GE en SE-scenario. In het laatste scenario is na 2020 heel duidelijk de afname van import uit Duitsland waar te nemen.

<sup>36</sup> Het verschil in het historisch getal voor 2004 en de modelberekening is circa 1 TWh en kan verklaard worden uit het feit dat de modelberekeningen uitgegaan zijn van de historische realisaties tot en met 2003 ten aanzien van brandstofprijzen en de elektriciteitsvraag. Indien de feitelijke brandstofprijzen en de elektriciteitsvraag van 2004 zouden zijn gebruikt, is het verschil vergelijkbaar met de eerdere jaren. Daarnaast speelt de productie van de Rijnmond Energie centrale een rol. Deze 790 MW<sub>e</sub> centrale is in 2004 veel eerder in bedrijf gekomen dan in de raming was verondersteld.



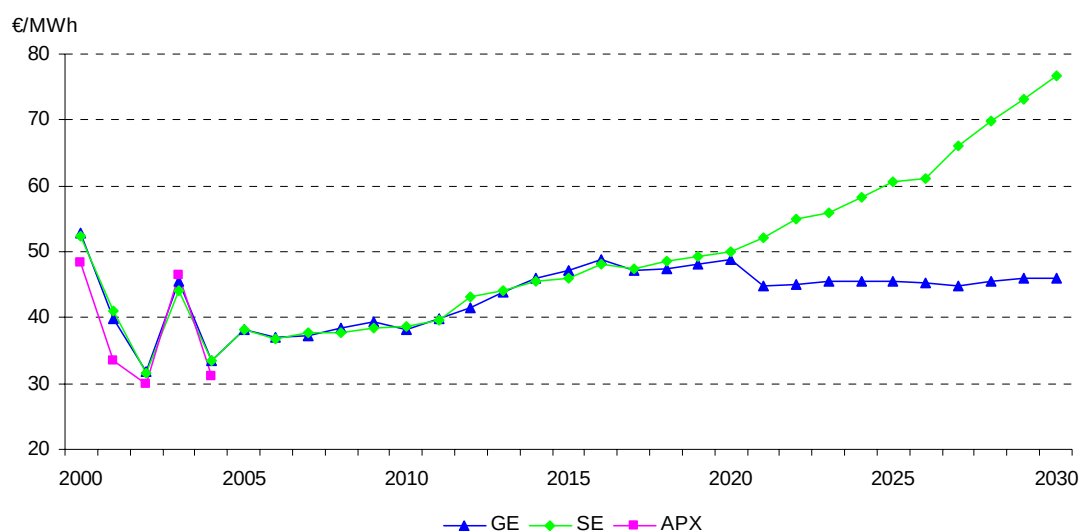
Figuur A.6 Importsaldo van elektriciteit, onderverdeeld naar land, GE



Figuur A.7 Importsaldo van elektriciteit, onderverdeeld naar land, SE

## A.2.4 Elektriciteitsprijzen

De baseload elektriciteitsprijzen voor de groothandelsmarkt zijn in Figuur A.8 voor beide toekomstscenario's weergegeven. De getoonde prijzen representeren de prijzen op moment van levering. Deze prijzen zijn daardoor nagenoeg vergelijkbaar met de prijzen op de day-ahead markt van de APX<sup>37</sup>. De figuur toont ter vergelijking jaargemiddelden van day-ahead prijzen voor de periode van 2000 tot en met 2004.



Figuur A.8 Elektriciteitsprijzen groothandelsmarkt tot en met 2030, GE- en SE-scenario

In 2015 lopen de elektriciteitsprijzen op tot 45 en 47 €/MWh. Tot 2020 lopen de prijzen in beide scenario's verder op tot circa 50 €/MWh. Na 2020 nemen de prijzen in het SE-scenario toe tot bijna 80 €/MWh, met name als gevolg van een sterke stijging in de prijzen van CO<sub>2</sub>-emissierechten. In het GE-scenario dalen de prijzen na 2020 tot een niveau van circa 45 €/MWh.

## A.2.5 Emissies

In Tabel A.2 worden de totale Nederlandse emissies CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub> in de beide toekomstscenario's gepresenteerd zoals die zijn gepubliceerd in de Referentieramingen (ECN/MNP, 2005)<sup>38</sup>. Eveneens wordt het verbruik aangegeven van kolen en aardgas door de elektriciteitsproductiesector en door de totale energievoorziening.

### CO<sub>2</sub>

In het SE-scenario worden na 2025 KV STEG installaties met CO<sub>2</sub>-afvang gebouwd, waarin tevens meestook van biomassa plaatsvindt. In dat geval is er sprake van een extra reductie van CO<sub>2</sub> waardoor de gemiddelde CO<sub>2</sub>-emissiefactor van het centrale elektriciteitsproductiepark fors wordt verlaagd, tot circa 0,21 kg/kWh in 2030. Deze CO<sub>2</sub>-arme productie-eenheden kunnen, samen met het duurzame opwekkingsvermogen de inzet van de nieuwe STEG's uit de periode 2013-2020 fors verminderen.

In het GE-scenario is er na 2020 juist weer een toenemende trend in de gemiddelde emissiefactor van het productiepark. Omdat de vervangende nieuwe productiecapaciteit voor de KCB in

<sup>37</sup> De meeste elektriciteit wordt verhandeld op basis van termijncontracten. Over langere perioden komen de prijsniveaus van termijncontracten en die op day-ahead markten met elkaar overeen.

<sup>38</sup> Definitieve emissiecijfers voor periode na 2020 zijn ten tijde van publicatie van dit onderzoek nog niet beschikbaar uit de WLO-studie. Vandaar dat deze emissiecijfers hier niet kunnen worden weergegeven. Wel is het mogelijk om relatieve verschillen aan te geven bij veranderingen in de scenario's, zoals gebeurt in Paragraaf 4.1.1.

2014 bestaat uit een poederkoolcentrale, zullen de vermeden emissies na 2020 juist toenemen. De fossiele inzet zal namelijk toenemen bij het wegvallen van het CO<sub>2</sub>-emissiehandelssysteem. De inzet van de vervangende poederkoolcentrale zal daarom in 2015 lager zijn dan bijvoorbeeld in 2025.

Tabel A.2 Emissies CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub>

|                                           |        | 2002  | 2010  |       | 2020  |       |
|-------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                           |        |       | SE    | GE    | SE    | GE    |
| <i>Emissies, totaal</i>                   |        |       |       |       |       |       |
| CO <sub>2</sub>                           | [Mton] | 174,9 | 179,2 | 183,2 | 187,4 | 205,3 |
| SO <sub>2</sub>                           | [kton] | 67    | 66    | 66    | 64    | 80    |
| NO <sub>x</sub>                           | [kton] | 396   | 284   | 288   | 262   | 272   |
| Fijn stof                                 | [kton] | 46    | 42    | 44    | 41    | 47    |
| CO <sub>2</sub> , energiesector           | [Mton] | 67,7  | 72,5  | 75,0  | 76,8  | 87,3  |
| waarvan elektriciteitsproductie           | [Mton] |       | 54,7  | 57,2  | 58,4  | 67,8  |
| waarvan centrale productie <sup>39</sup>  | [Mton] |       | 43,0  | 44,4  | 41,8  | 49,7  |
| SO <sub>2</sub> (centrale productie)      | [kton] | 14    | 17    | 17    | 12    | 23    |
| NO <sub>x</sub> <sup>1)</sup>             | [kton] | 95    | 73    | 75    | 77    | 84    |
| Fijn stof, PM <sub>10</sub> <sup>1)</sup> | [kton] | 13    | 12    | 12    | 12    | 14    |
| <i>Verbruikssaldo</i>                     |        |       |       |       |       |       |
| <i>elektriciteitsproductie</i>            |        |       |       |       |       |       |
| Aardgas                                   | [PJ]   | 418   | 437   | 484   | 640   | 544   |
| Kolen                                     | [PJ]   | 250   | 267   | 266   | 187   | 341   |
| Totaal, aardgas                           | [PJ]   | 1133  | 1465  | 1532  | 1546  | 1542  |
| Totaal, primair                           | [PJ]   | 1524  | 3350  | 3434  | 3547  | 3867  |

<sup>1)</sup> De NO<sub>x</sub>- en PM<sub>10</sub>- emissies worden in (ECN/MNP, 2005) niet apart onderscheiden voor de sectoren industrie, raffinaderijen, energiesector en afvalverwerking. De getallen betreffen hier het totaal van deze vier sectoren.

### NO<sub>x</sub>

Vanaf 1 juni vallen de verbrandingsemissies van de centrales onder de NO<sub>x</sub>-emissiehandel. In dit systeem moeten zij voldoen aan een prestatienorm, die tussen 2005 en 2010 wordt aangescherpt tot 40 g/GJ. Die prestatie-eis is ook voor de periode daarna verondersteld, conform de uitgangspunten in de Referentieramingen (ECN/MNP, 2005).

De Nederlandse NO<sub>x</sub>-emissie daalt van 396 kton in 2002 tot 288 (GE) tot 284 (SE) kton in 2010, dus hoger dan het NEC-doel van 260 kton. In 2020 nemen de emissies verder af tot resp. 272 en 262 kton.

### SO<sub>2</sub>

SO<sub>2</sub> komt voornamelijk vrij bij verbranding van steenkool(producten) en olie(producten). De energiesector en dan met name de kolencentrales zorgen voor het grootste deel van de SO<sub>2</sub>-emissies. Bij gascentrales komt nauwelijks SO<sub>2</sub> vrij, hoewel er wel sommige eenheden olieproducten bijstoken (bijv. stookolie of bio-olie) die SO<sub>2</sub>-emissies veroorzaken. Een toename van de meestook van bio-olie in gascentrales kan daarom de SO<sub>2</sub>-emissies verhogen. In de beide toekomstscenario's is echter vooral meestook van biomassa in kolencentrales verondersteld, vanaf 2015 zo'n 20% meestook op basis van energie-inhoud. Met de kolencentrales wordt on-

<sup>39</sup> Het centraal productievermogen zoals gedefinieerd in het POWERS-model (zie ook Bijlage B).

derhandeld over een reductie tot 13,5 kton SO<sub>2</sub> in 2010. Inmiddels is er met de brancheorganisatie EnergieNed een akkoord over dit NEC-plafond.

De totale Nederlandse SO<sub>2</sub>-emissies zijn in 2010 66 kton, 16 kton meer dan het NEC-plafond. De emissies van de centrale elektriciteitsproductie is 17 kton in 2010, 4,5 kton meer dan het NEC-plafond van 13,5 kton. In SE is de emissie in 2020 gedaald tot 12 kton, terwijl in GE de emissie toeneemt tot 23 kton.

### *Fijn stof*

Fijn stof (PM<sub>10</sub>) komt vrij bij verbrandingsprocessen in de industrie, verkeer, landbouw en energiesector. In 2002 nam de energiesector circa 1% van de totale PM<sub>10</sub>-emissie voor haar rekening. Binnen die 1% vallen de verbrandingsemissies van het stoken van kolen en biomassa. De fijn stof emissies van de Nederlandse centrale elektriciteitsproductie zijn relatief laag<sup>40</sup>. Verondersteld is dat alleen koleninzet en biomassa meestook in kolencentrales emissies van fijn stof opleveren. Daarbij is een emissiefactor van 1 g/GJ gebruikt.

## A.2.6 Elektriciteitsproductie KCB

Ten behoeve van de analyse naar de gevolgen van het wel of niet voortzetten van de bedrijfsvoering van de kerncentrale na 2013, wordt in Tabel A.3 de bijdrage weergegeven van de kerncentrale Borssele aan de totale Nederlandse elektriciteitsproductie<sup>41</sup>.

In het GE-scenario blijft de kerncentrale ook na 2013 in bedrijf. In het SE-scenario wordt de kerncentrale Borssele na 2013 gesloten. Het aandeel van de elektriciteitsproductie van de kerncentrale Borssele is in 2003 nog 3,6% van het finale Nederlandse elektriciteitsverbruik. In de toekomstscenario's daalt dit aandeel door een toenemend elektriciteitsverbruik tot minder dan 3% in 2020. Het aandeel in het opgestelde elektrisch vermogen daalt van iets meer dan 2% in 2004 tot 1,3% (GE) en 1,6% (SE) in 2020.

Tabel A.3 *Aandeel elektriciteitsproductie KCB*

|                                                 |       | 2003  | 2010        | 2015        | 2020         |
|-------------------------------------------------|-------|-------|-------------|-------------|--------------|
| <i>Finaal elektriciteitsverbruik</i>            |       |       |             |             |              |
| in GE                                           | [TWh] | 111   | 130         | 143         | 157          |
| in SE                                           | [TWh] |       | 122         | 131         | 139          |
| <i>Aandeel productie KCB</i>                    |       |       |             |             |              |
| <i>bij voortzetting bedrijfsvoering na 2013</i> |       |       |             |             |              |
| Productie KCB                                   | [TWh] | 3,7   | 4,0         | 4,0         | 4,0          |
| Aandeel in GE                                   | [%]   | 3,6   | 3,1         | 2,8         | 2,5          |
| Aandeel in SE                                   | [%]   |       | 3,3         | 3,0         | 2,9          |
| <i>Importsaldo</i>                              |       |       |             |             |              |
| in GE                                           | [TWh] | 16,9  | 14,0        | 7,4         | 3,3          |
| in SE                                           | [TWh] |       | 14,5        | 6,9         | 6,0          |
| <i>Productievermogen</i>                        |       |       |             |             |              |
| Totaal GE/SE                                    | [MW]  | 20908 | 26200/24000 | 28200/31800 | 385000/29400 |
| Kerncentrale Borssele                           | [MW]  | 449   | 484         | 484         | 484          |
| aandeel KCB                                     | [%]   | 2,1   | 1,9-2,0     | 1,5-1,7     | 1,3-1,6      |

<sup>40</sup> Zie ook (Meij & te Winkel, 2005). Meij, R., H. te Winkel (2005): *Stofemissies van de Nederlandse kolencentrales*, in: Het Dossier/ArenA, Nr. 5, september 2005 blz. 65-68.

<sup>41</sup> Evenals bij emissiecijfers zijn ten tijde van publicatie van dit onderzoek geen exacte elektriciteitsproductiecijfers bekend voor beide scenario's voor periode na 2020 aangezien die nog niet definitief beschikbaar zijn uit de WLO-studie. Wel zullen in Hoofdstuk 3 relatieve verschillen worden aangegeven, op basis van voorlopige WLO cijfers. De verschillen zijn namelijk veel robuuster dan de absolute niveaus.



### A.3 Wijziging toekomstscenario's bij een hogere olie- en aardgasprijs

Gezien de sterke prijsstijgingen voor ruwe olie in 2005, is een gevoeligheidsanalyse ten aanzien van de olieprijs uitgevoerd. Deze gevoeligheidsanalyse heeft zich beperkt tot het GE-scenario. In het SE-scenario zijn er gelijksoortige veranderingen te verwachten.

De olieprijs in de Referentieramingen is gebaseerd op CPB-scenariogegevens<sup>42</sup>. Voor het afleiden van de aardgasprijs is tevens gebruik gemaakt van een olieprijsscenario van de US DOE<sup>43</sup>. Voor 2005 lag de olieprijs in dit scenario tussen de 22 en 23 US\$<sub>2000</sub>/vat. De gevoeligheidsanalyse gaat uit van 50 US\$<sub>2005</sub>/vat<sup>44</sup>, hetgeen overeenkomt met 48 US\$<sub>2000</sub>/vat<sup>45</sup>. Dit is ongeveer een verdubbeling van de prijs voor ruwe olie. In de gevoeligheidsanalyse is het hele prijspad 2005-2030 van het oorspronkelijke olieprijsscenario met deze factor verhoogd. Het effect op de aardgasprijs is een stijging van circa +1,9 €/GJ (6,1 €/m<sup>3</sup>) boven op de oorspronkelijke prijs. Voor de gasprijzen voor elektriciteitsproductie in de landen waarmee importverbindingen bestaan, wordt dezelfde stijging verondersteld zodat ook de elektriciteitsprijzen in die landen kunnen veranderen.

De gevoeligheidsanalyse voor deze substantieel hogere olie- en daarmee hogere aardgasprijs in het GE-scenario is slechts een partiële en indicatieve analyse. Op grond van deze analyse wordt geschat dat de groothandelsprijs voor elektriciteit circa 15 €/MWh hoger wordt in het GE-scenario, dus gemiddeld van circa 45 naar ruim 60 €/MWh zal stijgen. Een dergelijk effect op zowel de aardgas- als de elektriciteitsprijzen heeft grote gevolgen voor de inzet van WKK en de verhouding tussen de centrale en decentrale elektriciteitsproductie, en de relatieve inzet van kolen- versus gascentrales. Tevens zullen er effecten optreden in de eindverbruikerssectoren. Het elektriciteitsverbruik kan sterk veranderen, onder meer door meer energiebesparing. Mogelijk zelfs zou de inzet van duurzame energie na 2020 toe kunnen nemen ondanks het wegvallen van de MEP-regeling.

Omdat het hier om een indicatieve analyse gaat, zijn effecten op het investeringsgedrag niet verdisconteerd. Er wordt dus niet nog meer in nieuwe kolencentrales geïnvesteerd. Effecten op de inzet van de centrales, op het importsaldo en op de resulterende CO<sub>2</sub>-emissies zijn in deze analyse wel bepaald.

De gevolgen van een hogere aardgasprijs in het GE-scenario zijn in Tabel A.4 samengevat. De hogere aardgasprijzen zorgen voor hogere elektriciteitsprijzen, waardoor de importen toenemen, en de binnenlandse Nederlandse elektriciteitsproductie lager wordt. Het aandeel van kolen wordt groter, en het aandeel van aardgas kleiner. Vanwege de verminderde binnenlandse productie en het hogere importsaldo worden de binnenlandse CO<sub>2</sub>-emissies netto lager dan in het oorspronkelijke GE-scenario.

---

<sup>42</sup> Bollen, J., T. Manders, M. Mulder (2004): Four futures for energy markets and climate change, CPB/RIVM-NMP, Den Haag, april 2004.

<sup>43</sup> DOE/EIA (2003): International Energy Outlook 2003, report DOE/EIA-0484(2003).

<sup>44</sup> Prijsniveau voorjaar 2005. De huidige noteringen olieprijsen liggen rond de 60 a 70 USD/vat.

<sup>45</sup> Terugrekening naar USD<sub>2000</sub> op basis van de CPI voor de US. Omrekening naar €<sub>2000</sub> op basis van de wisselkoers in 2000.

Tabel A.4 *Gevolgen van een hogere aardgasprijs in het GE-scenario: mutaties ten opzichte van het oorspronkelijke GE-scenario*

| Aspect                                                                       | Gemiddeld effect 2014-2030                                         |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Baseload elektriciteitsprijs                                                 | +15 €/MWh (van 46 €/MWh naar 61 €/MWh)                             |
| Importsaldo                                                                  |                                                                    |
| Totaal                                                                       | +2,4 TWh (van 3,7 naar 6,1 TWh)                                    |
| Importsaldi België, Frankrijk, Noorwegen                                     | Verwaarloosbare effecten                                           |
| Importsaldo Duitsland                                                        | +1,1 TWh (dus meer import)                                         |
| Exportsaldo Verenigd Koninkrijk                                              | -1,2 TWh (dus minder export)                                       |
| Brandstof inzet (centrale park)                                              |                                                                    |
| Kolen                                                                        | +3 PJ                                                              |
| Aardgas                                                                      | -14 PJ                                                             |
| CO <sub>2</sub> -emissies centrale elektriciteitsproductie (fysieke emissie) | -0,5 Mton<br>(netto effect van meer import en andere brandstofmix) |

## A.4 Samenvatting

Een overzicht van een aantal belangrijke uitgangspunten en veronderstellingen voor de twee toekomstscenario's wordt getoond in Tabel A.5.

Tabel A.5 *Bepalende factoren voor de elektriciteitsmarkt voor de oorspronkelijke scenario's Strong Europe en Global Economy*

| Scenario aspect                                                  | Strong Europe (SE)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Global Economy (GE)                                            |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Gemiddelde jaarlijkse groei bruto binnenlands product, 2002-2020 | 1,8%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2,9%                                                           |
| Gemiddelde jaarlijkse groei elektriciteitsvraag 2003-2040        | 0,9%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1,6%                                                           |
| Olieprijs                                                        | 23,0\$/vat in 2004<br>23,0\$/vat in 2020<br>23,2\$/vat in 2030                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 23,0\$/vat in 2004<br>23,2\$/vat in 2020<br>26,8\$/vat in 2030 |
| Aardgasprijs**                                                   | Stijgend, van circa 3,6 €/GJ in 2004<br>4,3 €/GJ in 2020<br>4,9 €/GJ in 2030                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                |
| Kolenprijs                                                       | Constant na 2004: 1,7€/GJ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                |
| Beleid, algemeen                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bestaand (anno 2004) energiebesparings-, klimaat- en luchtverontreinigingbeleid wordt voortgezet, m.u.v. het klimaatbeleid en duurzaam energiebeleid dat na 2020 in het GE scenario wordt afgeschaft.</li> <li>- Van beleid dat sterk in ontwikkeling is, worden plausibele verdere ontwikkelingen voorzien.</li> <li>- Van nationaal beleid dat afloopt (zoals Convenanten), worden logische voortzettingen van de beleidsdruk verondersteld.</li> <li>- Beleid voor energiemarkten kan verschillen per scenario.</li> </ul> |                                                                |
| Emissiehandel (CO <sub>2</sub> -prijs)                           | 11 €/ton 2020, daarna sterk oplopend tot 84 €/ton in 2040                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 11 €/ton 2020, daarna 0 €/ton                                  |
| MEP-regeling                                                     | MEP-regeling ook na 2020 handhaven                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | MEP-regeling verdwijnt na 2020                                 |

| Scenario aspect       | Strong Europe (SE)                          | Global Economy (GE)                                                           |
|-----------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Duurzame productie    | Grootschalige investering in windenergie    | Tot 2020: grootschalige investering in windenergie; daarna niet meer (afbouw) |
|                       | Biomassa meestook in kolencentrales         | Tot 2020: Biomassa meestook in kolencentrales                                 |
|                       |                                             | Na 2020 geen investeringen meer in duurzame productie                         |
| Nieuwe kolencentrales | KV STEG met CO <sub>2</sub> -afvang na 2025 | Poederkoolcentrales vanaf 2017                                                |

\* Olieprijzen zijn hier in dollars van het jaar 2000 uitgedrukt, en in berekeningen naar € van het jaar 2000 vertaald.

\*\* Prijzen zijn uitgedrukt in € van het jaar 2000. Een hogere olie- en gasprijs heeft nauwelijks effect op de hier uitgevoerde analyse, omdat deze geldt voor zowel de situatie waarbij de KCB in bedrijf blijft als waarin de KCB sluit; zie ook Paragraaf 3.5. Voor de gasprijs geldt de prijs voor de commodity plus transport en distributie bij een bedrijfstijd van 7500 uur per jaar. Door de toenemende gas-to-gas competitie is de aardgasprijs na 2012 steeds meer ontkoppeld van de olieprijs.

De twee toekomstscenario's voor de Nederlandse elektriciteitsvoorziening kunnen als volgt worden gekarakteriseerd:

- *SE-scenario:* Door de beperkte groei van de elektriciteitsvraag (gemiddeld 0,9% per jaar) is de behoefte aan nieuw productievermogen beperkt. Levensduurverlening, nieuwe WKK en duurzame energie voorzien aanvankelijk in de groeiende vraag. Nieuwe centrales die vanaf 2013 worden gebouwd zijn gasgestookte STEG's. Tot 2020 lopen de elektriciteitsprijzen op tot 50 €/MWh en daarna, vooral onder invloed van hogere CO<sub>2</sub>-prijzen tot bijna 80 €/MWh. Stimulering van duurzame energie wordt na 2020 voortgezet, hetgeen resulteert in verdere toename van windenergie en inzet van biomassa. Omstreeks 2025 wordt geïnvesteerd in een kolenvergassing STEG met CO<sub>2</sub>-afvang. Elektriciteitsimporten uit het buitenland nemen gestaag af van vanwege de kleinere prijsverschillen met de omringende landen. Tot 2015 nemen de CO<sub>2</sub>-emissies van de elektriciteitsproductie toe om daarna geleidelijk te dalen.
- *GE-scenario:* Groei van de elektriciteitsvraag (gemiddeld 1,6% per jaar) maakt investeringen in nieuwe productiecapaciteit noodzakelijk. Aanvankelijk wordt geïnvesteerd in gasgestookte STEG's, maar door het verdwijnen van het klimaatbeleid en de daarmee samenhangende CO<sub>2</sub>-emissiehandel, worden investeringen in conventionele poederkoolcentrales aantrekkelijk. De elektriciteitsprijs stijgt tot 2020 naar een niveau van circa 50€/MWh om daarna te dalen naar een niveau van circa 45 €/MWh. De CO<sub>2</sub>-emissies van de elektriciteitsproductie blijven na 2010 stijgen.

Behalve het verschil in economische groei, verschillen de beide scenario's op de lange termijn ten aanzien van het klimaat- en energiebeleid. In Strong Europe is er een stringent en stevig post-Kyoto klimaatbeleid en wordt het duurzame energiebeleid (MEP-regeling) voortgezet. In Global Economy is er geen post-Kyoto klimaat beleid en wordt na 2020 de MEP-regeling afgeschaft.

In een gevoeligheidsanalyse is het effect van een hogere olie- en gasprijs onderzocht voor het GE-scenario. Hogere gasprijzen hebben in dit scenario tot gevolg dat de elektriciteitsprijzen hoger worden, de importen van elektriciteit (weliswaar beperkt) toenemen en meer kolen en minder gas worden ingezet voor de elektriciteitsproductie. Per saldo zal dit, ten opzichte van het oorspronkelijke GE-scenario, leiden tot een verlaging van de binnenlandse CO<sub>2</sub>-emissies van de centrale elektriciteitsproductie.

## Bijlage B Beschrijving POWERS-model

De toekomstige elektriciteitsprijzen voor de Nederlandse elektriciteitsmarkt en de operationele inzet van de centrales zijn voor de beide scenario's berekend met behulp van het POWERS-model. POWERS is een dynamisch simulatiemodel dat zowel de inzet van de afzonderlijke elektriciteitscentrales als de groothandelsprijzen bepaalt voor een groot aantal achtereenvolgende perioden (dagdelen: dal - plateau - piek, weken, jaren). Het model kent een tijdshorizon van 1998 tot en met 2040, en modelleert dus zowel de fysieke kant van de elektriciteitsvoorziening als de elektriciteitsmarkt die sinds 1998 is geliberaliseerd. Tevens is het model in staat de interacties met het buitenland te bepalen.

Een beschrijving van de werking en eerste resultaten van het POWERS-model zijn te vinden in (Rijkers et al., 2001). Sindsdien is het model in het kader van o.a. de 'Referentieramingen energie en emissies 2005-2020' (ECN/MNP, 2005) op een aantal wezenlijke punten uitgebreid. Het model is tevens gebruikt ter ondersteuning van de adviezen voor de MEP-tarieven (Seebregts et al., 2004), in de kosten-batenanalyse voor windenergie op de Noordzee (CPB/ECN, 2005) en bij de bepaling van het waardeverlies van de KCB als gevolg van sluiting per ultimo 2013 (VROM, 2005). In beide studies hebben de Referentieramingen en WLO-scenario's als basis een belangrijke rol gespeeld.

Het POWERS-model is een belangrijk onderdeel van het modellen systeem voor de Nederlandse energiehuishouding, het zogenoemde NEV-Rekensysteem (Volkers, 2005). Dat modellen systeem wordt ingezet in de belangrijkste scenariostudies en ramingen voor de Nederlandse overheid.

Naast het POWERS-model beschikt ECN ook over het model COMPETES (Hobbs & Rijkers, 2004; Lise & Hobbs, 2005). Dat model richt zich met name op de Nederlandse elektriciteitsmarkt in een uitgebreide EU context (inmiddels EU-20 in detail).

In deze bijlage worden de belangrijkste aspecten van het POWERS-model geschetst.

Gegeven de scenario's zijn de volgende aannames en onzekerheden het belangrijkst qua doorwerking op de resulterende elektriciteitsprijzen in het POWERS-model en vervolgens op de inzet van de centrales (in volgorde van afnemend belang):

1. brandstofprijzen aardgas en kolen,
2. CO<sub>2</sub>-prijs en de mate waarin deze prijs wordt doorberekend in de elektriciteitsprijzen,
3. stijging in de vraag naar elektriciteit als gevolg van economische groei,
4. marktgedrag van producenten, zowel het investeringsgedrag als de operationele inzet van centrales,
5. ontwikkeling van interconnectie capaciteit en ontwikkeling van elektriciteitsprijzen in Duitsland, Frankrijk, België, Engeland en Noorwegen,
6. rol van WKK en grootschalige duurzame elektriciteitsproductie.

### B.1 Invoergegevens

Een aantal belangrijke invoergegevens zal hieronder verder worden toegelicht:

1. elektriciteitsvraag
2. productiepark (centraal, decentraal WKK en duurzaam)
3. interactie met het buitenland.

De meeste gegevens kunnen op jaarbasis worden ingevoerd (via de Excel user-interface). Tevens kunnen centrales op weekbasis expliciet uit bedrijf worden genomen, bijvoorbeeld als gevolg van langdurig onderhoud (bijvoorbeeld de Amer-91 die door een ongeval een deel van 2003 en 2004 buiten bedrijf was. In een bepaalde te kiezen periode is tevens een beperktere beschikbaarheid te modelleren, bijvoorbeeld als gevolg van een hete zomer met koelwaterbeperkingen.

Zodoende kunnen met het POWERS ook eenvoudig een aantal korte termijn, typische ‘what-if’ analyses gemaakt worden, zowel ten aanzien van historische feiten als gepostuleerde toekomstige situaties.

De precieze invulling van de invoergegevens kan per scenario verschillen. De parameters voor bestaande productie-eenheden, de historische prijzen, en de elektriciteitsvraag in het verleden liggen vast. Jaarlijks worden de ontwikkelingen door ECN gemonitord (zie ook Seebregts & Volkers, 2005), en zonodig aangepast.

De ontwikkeling van het WKK-vermogen wordt in een apart model bepaald. De input vanuit het WKK-model is tevens op jaarbasis, en uitgesplitst naar belastingspatroon (piek en dal). De input uit het WKK-model en uit overige modellen worden uit een scenario-specifieke centrale Access-database gehaald.

### B.1.1 Elektriciteitsvraag

De elektriciteitsvraag wordt in het model per type (dalvraag, plateauvraag en piekvraag) en per type eindverbruiker ingegeven in MW<sub>e</sub>. Deze vraag kan per week variëren zodat de seizoensafhankelijkheid in de elektriciteitsvraag meegenomen wordt. De eindverbruikers kunnen vervolgens hun vraag voldoen op de spotmarkt of op de contractenmarkt. Alleen de grootverbruikers kunnen zelf direct actief zijn op deze markten. De huishoudens en de middenkleinverbruikers zijn op deze markten actief via een handelaar.

De elektriciteitsvraag wordt vanuit de diverse sectormodellen en de centrale NEV-RS database (Volkers, 2005) ingelezen voor de volgende sectoren:

1. Huishoudens
2. Diensten en overheid (HDO)
3. Transport
4. Industrie + Bouw
5. Land- en tuinbouw
6. Raffinaderijen
7. Gaswinning.

De elektriciteitsvraag is bepaald op basis van vraagontwikkeling per energieverbruiksector die voor elke sector afhankelijk is van economische groei, demografische ontwikkelingen, structurele effecten en energiebesparingsbeleid. De elektriciteitsvraag is de finale Nederlandse elektriciteitsvraag, inclusief de elektriciteitsvraag die gedekt wordt door decentrale productie en importen. Gedurende het jaar vertoont deze vraag seizoensfluctuaties en ook fluctuaties over de dag. Deze fluctuaties in de elektriciteitsvraag zijn afgeleid van de hoeveelheid elektriciteit afgenomen van het koppelnet in het jaar 1998.

De fluctuaties over de dag zijn niet waarneembaar aangezien het model rekent in tijdstappen van weken. Deze weken zijn wel opgedeeld naar drie typen vraagsegmenten: off-peak, peak en super peak, om toch rekening te houden met de belastingverschillen gedurende de dag<sup>46</sup>.

---

<sup>46</sup> De totale dalperiode (‘off-peak’) is 88 uur per week en vertegenwoordigt de daluren doordeweeks (23h - 7h) plus het weekend. De plateauperiode bestaat uit 50 uren per week en wordt opgebouwd uit de dagdelen 7h -10h

## B.1.2 Productiepark

### *Centrale park*

Het bestaande centrale Nederlandse productiepark is tot in detail gemodelleerd, zie Tabel A.1. Toekomstige productie-eenheden kunnen tevens worden ingevoerd. Elke productie-eenheid is bij een van de bestaande grote producenten ondergebracht. Nieuwkomers, niet vallend onder een van de grote producenten, worden gezamenlijk onder de producent 'Nieuwkomer' ondergebracht. Voorbeeld hiervan is de Rijnmond Energie centrale van Intergen die in 2004 in bedrijf is gekomen.

Per productie-eenheid zijn de volgende parameters van belang:

1. brandstof (aardgas, hoogovengas, steenkool, olie, biomassa, afval, uranium)
2. netto elektrisch vermogen ( $MW_e$ )
3. jaar wanneer voor eerst in bedrijf
4. jaar uit bedrijf
5. elektrisch rendement
6. thermisch rendement
7. variabele B&O kosten (excl. brandstof) (€ct/kWh)
8. investeringskosten (€/kW)
9. maximale beschikbaarheid, per seizoen
10. wel of geen biomassa meestook of bijstook
11. vrijgekomen CO<sub>2</sub> wel of niet gebruikt voor bemesting
12. in geval van warmtelevering: naar welke sectoren de warmte wordt geleverd (in verband met koppeling en integratie met sectormodellen).

Het centrale park bevat het totaal beschikbare vermogen, dus ook het door TenneT gecontracteerde regel- en reservevermogen. Dat vermogen wordt echter niet expliciet geïdentificeerd.

---

en 13h-17h en 20h-23h. De overige uren behoren tot de piekperiode, dit zijn de dagdelen 10h-13h en 17h-20h. De plateau- plus piekperiode wordt vaak tezamen ook als 'peak' periode benoemd (bijv. APX).

Tabel B.1 *Bestaand centrale productiepark*

| Producent  | Naam eenheid/centrale | Type eenheid    | Hoofd brandstof | Nominaal Vermogen<br>[MW <sub>e</sub> ] | In bedrijf |
|------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------------------|------------|
| Electrabel | Almere-1              | STEG            | Gas             | 67                                      | 1988       |
|            | Almere-2              | STEG            | Gas             | 53                                      | 1994       |
|            | Bergum-10             | Combi           | Gas             | 332                                     | 1975       |
|            | Bergum-20             | Combi           | Gas             | 332                                     | 1976       |
|            | Eems-20               | Combi           | Gas             | 695                                     | 1978       |
|            | Eems-30               | STEG            | Gas             | 341                                     | 1996       |
|            | Eems-40               | STEG            | Gas             | 341                                     | 1996       |
|            | Eems-50               | STEG            | Gas             | 341                                     | 1996       |
|            | Eems-60               | STEG            | Gas             | 341                                     | 1997       |
|            | Eems-70               | STEG            | Gas             | 341                                     | 1997       |
|            | Gelderland-13         | Kolen           | Kolen           | 602                                     | 1982       |
|            | Harculo-60            | Combi           | Gas             | 350                                     | 1983       |
|            | Flevo-30GT            | Gasturbines     | Gas             | 120                                     | 2004       |
| Nuon       | Diemen-33             | STEG            | Gas             | 249                                     | 1996       |
|            | Hemweg-7              | Combi           | Gas             | 599                                     | 1979       |
|            | Hemweg-8              | Kolen           | Kolen           | 630                                     | 1995       |
|            | IJmuiden1             | STEG            | Hoogoven gas    | 145                                     | 1997       |
|            | Lage Weide-6          | STEG            | Gas             | 247                                     | 1996       |
|            | Merwede-10            | STEG            | Gas             | 96                                      | 1979       |
|            | Merwede-11            | STEG            | Gas             | 103                                     | 1985       |
|            | Merwede-12            | STEG            | Gas             | 217                                     | 1990       |
|            | Purmerend-1           | STEG            | Gas             | 69                                      | 1989       |
|            | Velsen-24             | Conventioneel   | Hoogoven gas    | 459                                     | 1975       |
|            | Velsen-25             | Conventioneel   | Hoogoven gas    | 360                                     | 1987       |
|            | Velsen-GT1            | Gasturbine      | Gas             | 26                                      | 1976       |
|            | Buggenum-7            | KV-STEG         | Kolen           | 250                                     | 1994       |
| E.ON       | Gallilei-1            | Stadsverwarming | Gas             | 209                                     | 1989       |
|            | Maasvlakte-1          | Kolen           | Kolen           | 520                                     | 1989       |
|            | Maasvlakte-2          | Kolen           | Kolen           | 520                                     | 1988       |
|            | UCML                  | STEG            | Gas             | 77                                      | 2004       |
|            | Roca-1                | STEG            | Gas             | 25                                      | 1983       |
|            | Roca-2                | STEG            | Gas             | 25                                      | 1983       |
|            | Roca-3                | STEG            | Gas             | 220                                     | 1997       |
| Essent     | Amer-8                | Kolen           | Kolen           | 645                                     | 1981       |
|            | Amer-9                | Kolen           | Kolen           | 600                                     | 1994       |
|            | Donge-1               | STEG            | Gas             | 121                                     | 1977       |
|            | WKC Swentibold        | STEG            | Gas             | 190                                     | 2000       |
|            | Moerdijk-1            | STEG            | Gas             | 339                                     | 1998       |
|            | Maasbracht-A          | Conventioneel   | Gas             | 638                                     | 1978       |
|            | Maasbracht-B          | Conventioneel   | Gas             | 640                                     | 1979       |
| EPZ        | Borssele-12           | Kolen           | Kolen           | 406                                     | 1988       |
|            | Borssele-30           | Kern            | Nucleair        | 449                                     | 1974       |
| Interge    | Rijnmond Energie      | STEG            | Gas             | 820                                     | 2004       |

De middelgrote eenheden van Essent zijn in Tabel B.1 achterwege gelaten. Het grootste deel van deze ‘decentrale’ Essent eenheden is wel opgenomen in het POWERS-model.

### *Warmtekrachtkoppeling (WKK)*

De decentrale productie bestaat uit elektriciteitsproductie met behulp van ondermeer warmtekrachtkoppeling, windturbines en afvalverbrandingsinstallaties (AVI's). In de praktijk kan decentrale productie in eigendom zijn van grootverbruikers, kleinverbruikers en ook van energieleveranciers (i.e. de handelaren). Omdat het decentraal vermogen van de kleinverbruikers en huishoudens op individuele schaal zeer klein is en omdat deze verbruikersgroepen in het model de leverancier als intermediair gebruiken, is aangenomen dat dit vermogen gelijkmatig over het vraagpatroon is verdeeld.

Het grootste aandeel decentraal vermogen wordt gedekt door warmtekrachtkoppeling (WKK). Dit WKK-vermogen is onder te brengen naar drie klassen:

1. grootschalige WKK in eigendom van een productiebedrijf,
2. grootschalige WKK in eigendom van een grootverbruiker,
3. kleinschalige en grootschalige WKK in eigendom van een energieleverancier.

De eerste categorie is ondergebracht bij het park van de verschillende producenten (o.a. Moerdijk, Swentibold, Velsen). In de exploitatiekosten van deze centrales wordt tevens rekening gehouden met de inkomsten door warmteproductie.

Het aanbod van WKK uit de laatste twee categorieën wordt in een apart en gedetailleerd model bepaald, het zogenoemde SAVE-productie/WKK-model (zie ook Daniëls en Van Dril, 2005). Investerings- en inzet van dat WKK-vermogen is afhankelijk van de marktprijs. Bij een te lage marktprijs zal (een deel van het) WKK-vermogen niet worden ingezet. De benodigde warmte wordt dan met (hulp)ketels geproduceerd.

### *Duurzame opwekking*

In POWERS kan het grootschalig duurzaam opwekkingsvermogen apart worden gemodelleerd, zoals bijvoorbeeld off-shore windparken of biomassa centrales. De bijdragen van meer kleinschalig en decentraal duurzaam vermogen, zoals wind op land, waterkracht, PV, kleine biomassa gestookte eenheden en AVI's worden apart ingeschat. De geschatte productie wordt verrekend in de elektriciteitsvraag die voor het POWERS-model resteert, op een vergelijkbare manier als het kleinschalige WKK-vermogen.

### **B.1.3 Interactie met het buitenland: import en export van elektriciteit**

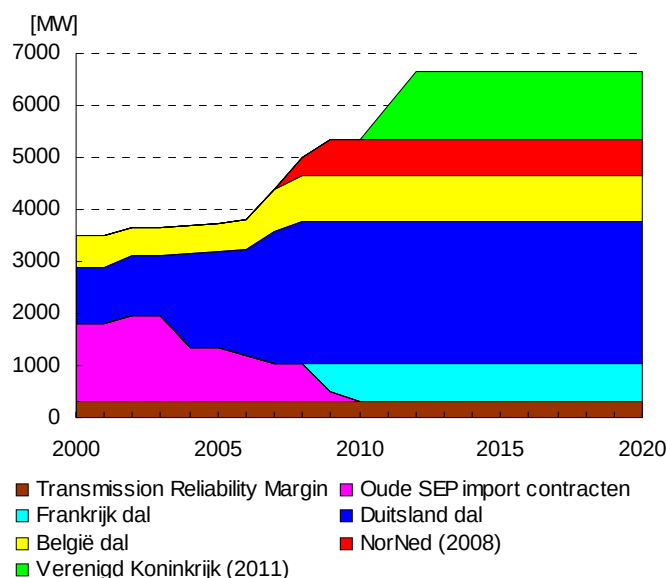
Voor het buitenlandse productieaanbod zijn aanbodscurven gebruikt die zijn ontleend aan Europese energiescenario's (EC, 2003a en 2003b). In het huidige model is er een uitwisseling mogelijk met vijf landen: België, Frankrijk, Duitsland, Verenigd Koninkrijk en Noorwegen. De laatste twee landen zullen in de toekomst een verbinding met Nederland krijgen.

De hoeveelheid elektriciteit die met het buitenland wordt uitgewisseld is primair afhankelijk van verschillen in marginale productiekosten van elektriciteitsopwekking in Nederland met die in aangrenzende landen. Wanneer deze productiekosten lager liggen zal door leveranciers en handelaren elektriciteit in het buitenland worden gekocht. Hiervoor bestaat evenwel een volumebeperking die wordt bepaald door de capaciteit van de interconnectors.

In de beide scenario's SE en GE worden in alle genoemde landen gascentrales gebouwd, en is in de piekperiodes niet langer sprake van grote verschillen in marginale productiekosten. In de dalperiodes zullen zich nog wel structurele kostenverschillen voordoen doordat bepaalde landen blijven beschikken over centrales met lage variabele productiekosten die niet in andere landen aanwezig zijn (nucleair, waterkracht).



Ten aanzien van de interconnectie capaciteit worden geen verschillen verondersteld tussen de twee scenario's, zie Figuur B.1. Verondersteld is dat de verbinding met Noorwegen van 700 MW in 2008 gereed komt. Eind 2004 is hiertoe door TenneT besloten, na goedkeuring door DTe. Er zijn tevens plannen voor een verbinding met het Verenigd Koninkrijk van 1300 MW. De plannen gaan er van uit dat deze rond 2008/2009 gerealiseerd wordt (TenneT, 2004). In SE en GE is echter verondersteld dat die verbinding pas later tot stand komt, tussen 2011 en 2012. In tegenstelling tot de verbindingen met België en Duitsland, wordt de uitwisseling van stroom over deze gelijkstroomkabels met Noorwegen en Engeland niet beïnvloed door stroomtransport op andere hoogspanningsverbindingen.



Figuur B.1 Ontwikkeling interconnectie capaciteit in off-peak periode in SE en GE

## B.2 Werking van het model

De kosten en prijzen in POWERS zijn in reële termen ( $\text{€}_{2000}$ ), conform de recente Referentieramingen (ECN/MNP, 2005) en de prijzen zoals gebruikt in de modellen voor de verschillende eindverbruikerssectoren van het NEV-Rekensysteem van ECN (Volkers, 2005).

### B.2.1 Bepaling elektriciteitsprijs

De elektriciteitsprijs wordt door het POWERS-model berekend aan de hand van de elektriciteitsvraag en de short-run marginal costs (SRMC) van de elektriciteitsproductie (brandstofprijzen en variabele B&O-kosten). In de off-piek ('dal') perioden is altijd sprake van voldoende productiecapaciteit, zodat in een perfect werkende markt de elektriciteitsprijs gereflecteerd wordt door de SRMC. De werkelijke marktprijzen liggen hier echter veelal boven omdat de marktpartijen zich in werkelijkheid minder competitief gedragen (bewust, maar ook onbewust, bijvoorbeeld vanwege onvolledige informatie). In de piekperioden kan de marktprijs veel hoger zijn dan de SRMC wanneer er sprake is van een krap aanbod. Dat hoeft niet veroorzaakt te worden door bewust of onbewust minder competitief gedrag: er ontstaan dan voor producenten zondermeer zogenaamde *scarcity rents*. Deze opbrengsten zijn nodig om de vaste kosten van, met name, het piekvermogen te dekken. Tot 2020 is sprake van een gematigd competitieve markt met oligopolistische kenmerken. De prijzen tenderen daarin naar het niveau van de long-run marginal costs (LRMC). Na 2020 ontstaat er in het GE-scenario een meer competitieve markt, terwijl er in het SE-scenario een oligopolistische markt blijft bestaan.

De toeslag die producenten kunnen realiseren op de variabele kosten hangt af van de mate van concurrentie, zowel in binnen- als in het aangrenzend buitenland. In het SE-scenario wordt een matig competitieve elektriciteitsmarkt verondersteld. Het verschil tussen de marginale variabele productiekosten en de marktprijzen, de mark-up, verandert gemiddeld in dit scenario niet ten opzichte van de huidige. In het GE-scenario neemt daarentegen de concurrentie op de elektriciteitsmarkt toe, hetgeen op de middellange termijn resulteert in een daling van de gemiddelde mark-up.

De mate van concurrentie, en daarmee de mark-up hangen samen met de strategieën van de producenten die actief zijn op de Nederlandse elektriciteitsmarkt. Maar ook het aantal aanbieders is van belang: naast de grootschalige binnenlandse producenten zijn dit buitenlandse aanbieders, kleinschalige decentrale producenten en onafhankelijke handelaren.

Voor het bepalen van de marginale kosten van de elektriciteitsproductie is vooral de simulatie van de spotmarkt in het model van belang.

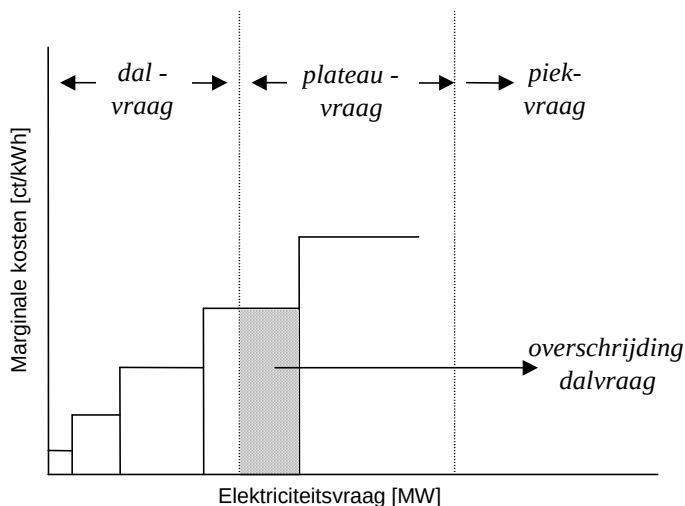
Het basisprincipe van het model is dat de prijs wordt bepaald door het totale aanbod op de markt te vergelijken met de vraag. Gegeven de (spot)marktprijs uit het verleden gaan producenten bepalen hoeveel capaciteit zij bereid zijn aan te bieden op de spotmarkt. Dit wordt de zogenaamde optimaal aan te bieden capaciteit van de producent genoemd. Deze hoeveelheid optimaal aan te bieden capaciteit wordt bepaald door de spotprijs te vergelijken met de marginale kosten van de producent. Hier wordt aangenomen dat producenten alleen hun marginale kosten terug hoeven te verdienen. De uiteindelijke verdeling van de vraag op de spotmarkt over de producenten vindt plaats naar ratio van de aangeboden capaciteit (dit is vergelijkbaar met concurrentie op volume).

Op basis van de berekende optimaal aan te bieden capaciteiten van de producenten en de totale vraag op de markt wordt de marktprijs voor het volgende tijdstip vastgesteld. Als de vraag kleiner is dan de 'optimale capaciteit' zal de prijs afnemen (met een vaste stapgrootte), indien deze vraag groter is dan de optimale capaciteit zal de prijs stijgen. Dit is een continu proces waarmee vraag en aanbod op de markt in evenwicht worden gebracht.

Indien de optimale capaciteit lager is dan de vraag, zijn in het model vooraf zgn. 'onbalans' centrales aangewezen, die voor de resterende productie zorgdragen. Op deze wijze is ten allen tijde evenwicht tussen vraag en aanbod is, en is de elektriciteitsbalans kloppend.

## B.2.2 Inzet van centrales

De inzet van centrales door een producent wordt gedaan op basis van minimale marginale kosten (in ct/kWh). Gegeven de totale vraag (in MW<sub>e</sub>) die gedekt moet worden door de producent, wordt steeds de goedkoopste centrale ingezet totdat de totale vraag gedekt is. Dit gebeurt voor elk van de drie typen elektriciteitsvraag (piekvraag, plateauvraag en dalvraag). Eerst wordt gekeken naar de dalvraag. Deze vraag wordt opgevuld totdat de laatst ingezette centrale de totale dalvraag overschrijdt. Voor deze laatst ingezette centrale wordt een nieuwe selectie procedure in gang gezet. Het zou namelijk kunnen zijn dat het goedkoper is om een andere centrale in te zetten als deze de overschrijding van de vraag duidelijk zou kunnen verminderen (zie Figuur B.2).



Figuur B.2 Inzet van centrales

### B.2.3 Investerings in nieuw vermogen

Nieuwbouw en het uit bedrijf nemen van productiecapaciteit op de Nederlandse elektriciteitsmarkt vindt (exogeen) in het POWERS-model plaats aan de hand van de berekende elektriciteitsprijs. Er wordt nieuw vermogen bijgeplaatst als de elektriciteitsprijs (baseload) in een bepaalde periode uitstijgt boven een zeker prijsniveau. Dit gaat uit van de perceptie van de investeerder (de producent) die zijn integrale kosten wil terug verdienen.

In de berekeningen wordt verondersteld dat, in een tijdsbestek van enkele jaren, in meerdere eenheden wordt geïnvesteerd, waardoor in de daarop volgende jaren, als gevolg van enige overcapaciteit, een prijsdaling plaatsvindt gevolgd door een opnieuw toenemend prijsniveau. Dit cyclisch investeringsgedrag zal vooral in een meer competitieve marktomgeving plaatsvinden, zoals die wordt verondersteld in het Global Economy (GE) scenario. In het Strong Europe (SE) scenario zal uitbreiding van nieuw vermogen geleidelijker plaatsvinden.

### B.2.4 Iteratie met WKK-model en andere vraagmodellen

Een iteratie tussen het POWERS-model en het SAVE-productie/WKK-model zorgt er voor dat de totale elektriciteitsproductie en de elektriciteitsmarkt, integraal en consistent worden doorgerekend.

Met het SAVE-productie/WKK-model wordt de energievraag van industrie en landbouw en de WKK-vermogens en -productie van de sectoren industrie, landbouw, raffinage en diensten bepaald. Belangrijke inputs zijn het historische energieverbruik en historisch vermogen van WKK, de economische ontwikkeling, brandstofprijzen en elektriciteitsprijzen (dal en piek).

De elektriciteitsprijzen voor de verschillende categorieën gebruikers worden berekend vanuit de prijzen voor de groothandelsmarkt, zoals door POWERS bepaald.

De uit deze iteratie resulterende elektriciteitsprijzen, het WKK-vermogen en de WKK-productie zijn uiteindelijk in evenwicht voor de veronderstelde brandstofprijzen en opbouw van het centrale elektriciteitspark. Op deze manier garandeert de rondgang onderlinge consistentie van de aangenomen brandstofprijzen, de opbouw van het centrale park, de elektriciteitsprijzen en de WKK-vermogens en -productie.

Indien in een volgende iteratie de elektriciteitsprijzen niet wezenlijk verschillen, is een voldoende mate van consistentie bereikt. De praktijk leert dat er per scenario met wezenlijk andere brandstofprijzen of een wezenlijk andere energievraag, er twee tot drie iteraties nodig zijn, om tot een redelijk evenwicht te komen. Bij een beperkte verandering in uitgangspunten volstaat daarna meestal één iteratie om tot een nieuw evenwicht te komen.

### B.2.5 Import en export

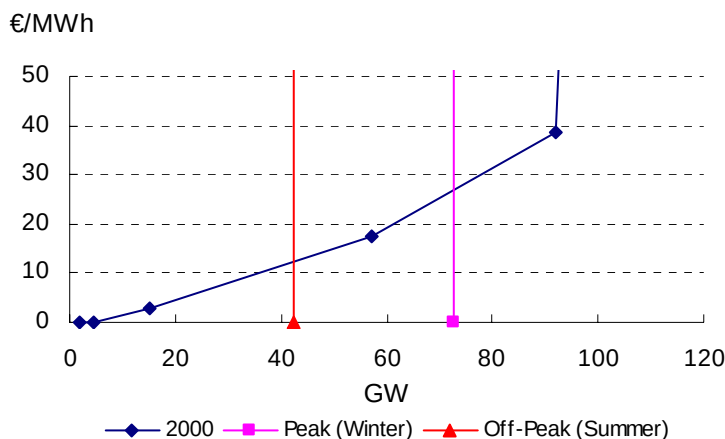
De aanbodcurve voor elk van de landen waarmee een verbinding bestaat is bepaald op basis van (EC, 2003a en 2003b). De elektriciteitsvraag is per land onderscheiden in een off-peak (=dal POWERS) en een peak vraag (= plateau+piek POWERS).

De aanbodcurven zijn in de genoemde EuropeSE-scenario's om de vijf jaar gegeven. In POWERS is er voor de tussenliggende jaren meestal een interpolatie verondersteld. Hetzelfde geldt voor de elektriciteitsvraag in de betreffende landen.

Op basis van de aanbodcurven en de elektriciteitsvraag is er per land een off-peak en een peak prijs te bepalen, zie Figuur B.3. Deze prijzen worden vergeleken met de berekende Nederlandse prijzen.

Indien de prijs in Nederland lager ligt, is er potentieel voor export naar het andere land. Is de prijs in Nederland hoger, dan is er potentieel voor import uit dat land, maximaal tot het niveau waarop de prijzen aan elkaar gelijk zouden zijn en tevens gemaximeerd door de fysieke capaciteit van de verbinding. Ook eventuele export heeft de beperkende voorwaarde van de interconnectie capaciteit.

De import uit de landen waarmee op deze wijze vanwege het prijsverschil import mogelijk is, wordt - analoog aan de optimaal aan te bieden Nederlandse aan te bieden productiecapaciteit - naar ratio verdeeld over deze landen en de Nederlandse producenten (dus dit is vergelijkbaar met concurrentie op volume).



Figuur B.3 Voorbeeld van aanbodcurve buiteland met peak en off-peak vraag (gestileerd, Duitsland, jaar 2000)

### B.2.6 CO<sub>2</sub>-emissies

De CO<sub>2</sub>-emissies worden in het POWERS-model berekend met behulp van de standaard emissiefactoren (SenterNovem, 2004), dus gebaseerd op de brandstofinzet. Afgevangen en opgeslagen CO<sub>2</sub> wordt daarbij verrekend. Dat is in het SE-scenario na 2025 van belang. In het geval

van CO<sub>2</sub>-afvang bij een KV STEG en met een groot percentage biomassa meestook, kunnen zelfs negatieve CO<sub>2</sub>-emissies optreden.

De standaard emissiefactoren worden tevens gebruikt ter bepaling van de variabele kosten die samenhangen met de prijs voor CO<sub>2</sub>-emissierechten.

### B.3 Overige mogelijkheden

Het POWERS-model is inmiddels uitermate geschikt om te worden gebruikt als belangrijk onderdeel voor de integrale toekomstscenario's en ramingen van ECN. Tot het jaar 2040 kunnen gegevens worden ingevoerd en kunnen modelresultaten worden gegenereerd. Gezien de mate van detail, zowel ten aanzien van de individuele productie-eenheid als de tijdstappen (weken en dagdelen), kunnen met het POWERS-model ook voor de kortere termijn verschillende 'what-if' analyses worden gedaan. Voorbeelden hiervan zijn het bepalen van effecten van:

- het tijdelijk niet beschikbaar zijn van bepaalde productie-eenheden,
- een hete zomer (koelwaterproblematiek),
- (tijdelijke) veranderingen in brandstofprijzen of prijzen voor CO<sub>2</sub>-emissierechten,
- investeringen in nieuwe productiecapaciteit.

Zowel de effecten op elektriciteitsprijzen als op de inzet van centrales en bijbehorende brandstofmix en op de importen, zijn snel te bepalen.

In combinatie met de nieuw ontwikkelde user-interface in Excel, kunnen integrale scenario's en gevoeligheidsanalyses in relatief korte tijd worden gedefinieerd en worden doorerekend.

### B.4 Validatie van resultaten

ECN Beleidsstudies gebruikt statistische informatie om modellen voor de Nederlandse elektriciteitsmarkt zo goed mogelijk te voorzien van zo nauwkeurig mogelijke invoergegevens, en om na te gaan hoe goed de modellen de (historische) werkelijkheid kunnen beschrijven. De mate waarmee dergelijke modellen het verleden kunnen reproduceren, geeft inzicht in de mate van nauwkeurigheid waarmee projecties voor de toekomst gemaakt kunnen worden.

Met informatie uit milieujaarverslagen over de jaren 2000-2004 heeft ECN inmiddels een overzicht beschikbaar voor de elektriciteits- en warmteproductie, brandstofinzet en emissies als CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> van individuele centrales en productie-eenheden voor de periode 2000-2004 (Seebregts & Volkers, 2005). In Tabel A.1 staat het overzicht gegeven van de productie-eenheden waarvan informatie beschikbaar is.

De modelresultaten van POWERS zijn gevalideerd op basis van dergelijke historische gegevens van de recente jaren (2000-2003). De APX prijzen voor de jaren 2000-2004 zijn gebruikt om een inschatting te maken voor de toekomstige mark-up (zie ook B.2.1). De gemiddelde mark-up in de jaren 2000-2004 is als basis voor de toekomstige jaren genomen.

De fysieke validatie heeft betrekking op:

1. omvang van de elektriciteitsproductie door centrales
2. importsaldo
3. brandstofgebruik (aandeel kolen, aardgas en nucleair), en daaruit afgeleid:
4. CO<sub>2</sub>-emissies.

De validatie-aanpak bestaat er uit, om uitgaande van historische beschikbare informatie over:

- brandstofprijzen,
- finale elektriciteitsvraag,
- beschikbaar productievermogen,
- inzet van decentrale WKK en duurzaam vermogen,

de inzet van het centrale park, de brandstofmix, CO<sub>2</sub> emissies, importsaldo, en elektriciteitsprijzen te berekenen. Berekende elektriciteitsprijzen worden vergeleken met APX prijzen.

De fysieke grootheden zoals de berekende brandstofmix, de CO<sub>2</sub> emissies en importsaldo voor deze jaren kunnen worden vergeleken met de statistische informatie die via bijvoorbeeld CBS beschikbaar is. ECN gebruikt tevens de MONIT tool (Boonekamp, 2004) om deze vergelijking te kunnen maken.

Ontwikkelingen in deze grootheden geven, naast de mate waarin POWERS-resultaten aansluiten bij het recente verleden, tevens aan hoe toekomstige ontwikkelingen zich laten vergelijken met de trends uit eerdere jaren.

Validatie van het POWERS-model gebeurt in nauwe samenhang met de andere ECN modellen, als onderdeel van het zogenoemde NEV-RS (Nationale Energie Verkenningen - RekenSysteem, zie (Volkers, 2005)). De elektriciteitsvraag uit de sectormodellen is input voor POWERS, dus is deels bepalend voor de productie. Daarnaast levert het WKK-model en het duurzaam model ook een deel van de elektriciteitsproductie, die in POWERS verdisconteerd moet worden, zie ook Paragraaf B.2.4.

De elektriciteitsvraag en de elektriciteitsproductie uit andere modellen worden dus als een gegeven voor POWERS gezien.

Het NEV-RS als geheel genereert resultaten voor meerdere zichtjaren, met een interval van 5 jaar. De afzonderlijke deelmodellen kunnen echter meer en gedetailleerdere zichtjaren hebben; zo rapporteren SAVE-productie/WKK en POWERS op jaarbasis. POWERS kent een nog verdere verfijning (zie Paragraaf B.1).

In het kader van de studie (CPB/ECN, 2005) is tevens een vergelijking gemaakt tussen de toekomstige elektriciteitsprijzen in de beide scenario's SE en GE, zoals berekend met het POWERS-model en het elektriciteitsmarktmodel Elmar van het CPB (ten Cate & Leijssen, 2005). Beide modellen gaven ten aanzien van de elektriciteitsprijzen vergelijkbare resultaten.

## Bijlage C Technische veiligheid kerncentrales

### C.1 Het 'defence-in-depth' principe

Als inleiding op het aspect technische veiligheid van kerncentrales wordt een van de belangrijkste basis principes bij nucleaire veiligheid nader toegelicht. Het 'defense-in-depth' principe is naast zaken als kwaliteitsborging en 'safety culture', van essentieel belang voor het veiligheidsbeheer bij het bedrijven van een kerncentrale. Het ontwerp en de uitvoering van technische systemen in een kerncentrale zoals de KCB en de bedrijfsvoering van deze kerncentrale zijn gebaseerd op dit principe, dat is vastgelegd in de 'Requirements and Safety Guides' van de IAEA NUSS programma, waarop, in geamendeerde versies, de Nederlandse Nucleaire Veiligheids Regels (NVR) zijn gebaseerd.

Het 'defense-in-depth' principe is gebaseerd op het aanbrengen van meerdere beveiligingslagen ('verdedigingslinies') bij het beheersen van het splijttingsproces of het insluiten van radioactieve stoffen in de kerncentrale. Deze beveiligingslagen kunnen bestaan uit fysieke barrières (bijvoorbeeld, de splijtstofbekleding, het reactorvat, insluitconstructies) inclusief de bijbehorende veiligheidssystemen, zoals ventilatiesystemen bij een insluitconstructie, die het vrijkomen van radioactief materiaal naar de omgeving moeten verhinderen.

Een beveiliginglaag kan ook bestaan uit een aantal organisatorische maatregelen, zoals noodprocedures en andere maatregelen die het publiek en het leefmilieu tegen schade moeten beschermen in geval de fysieke barrières zouden falen. Ook het beschermen van de fysieke barrières is onderdeel van dit principe.

Samengevat bestaat het 'defence-in-depth' principe bij een kerncentrale uit het toepassen van een algemene strategie van veiligheidsmaatregelen en veiligheidsvoorzieningen op deze installatie met als uiteindelijke doelstelling te voorkomen dat enig menselijke handeling of mechanisch falen tot gezondheidsschade van het publiek zal kunnen leiden. Deze strategie moet ook bescherming bieden tegen combinaties van mechanisch falen die, met een zeer kleine waarschijnlijkheid, tot gezondheidsschade kunnen leiden.

Het toepassen van het 'defence-in-depth' principe in een kerncentrale zorgt er voor dat de drie basis veiligheidsfuncties (beheersen van het vermogen, afvoer van de warmte en insluiting van het radioactief materiaal) onder voorziene omstandigheden worden gehandhaafd en waarbij voorkomen wordt dat radioactief materiaal in de omgeving van de kerncentrale vrijkomt.

Naast het aanwezig zijn en functioneren van een groot aantal algemene structurele en organisatorische beveiligingslagen in een kerncentrale, omvat het algemene 'defence-in-depth' principe ook het handhaven van twee specifieke veiligheidsprincipes, te weten; de preventie van ongevallen en de bestrijding van de gevolgen van eventuele ongevallen. Deze twee principes worden in de volgende alinea's kort toegelicht.

#### *Preventie van ongevallen*

Het optreden van ongevallen als gevolg van een inleidende gebeurtenis met interne oorzaak, kan worden voorkomen door er voor te zorgen dat het ontwerp, de constructie en de bedrijfsvoering van de installatie van een hoge kwaliteit zijn en dat de kans op afwijkingen van de normale bedrijfsvoering kleiner is dan de vergunde waarden en dat deze kans op basis van voortschrijdend technisch inzicht verder wordt verkleind. Een ander middel om nadelige gevolgen van een inleidende gebeurtenis te voorkomen is het gebruik van veiligheidssystemen die als reservesystemen

voor het hoofdsysteem kunnen optreden. Hiermee wordt voorkomen, dat het falen van het hoofdsysteem, bijvoorbeeld door een afwijkingen in de bedrijfsvoering, niet automatisch tot een ongeval leidt. Het verlies van vitale veiligheidsfuncties wordt dus voorkomen door de voor deze veiligheidsfuncties relevante systemen redundant uit te voeren (meervoudige uitvoering van systemen), diversitair uit te voeren (systemen van verschillend ontwerp maar met dezelfde functie) en een fysieke scheiding tussen meervoudig uitgevoerde (parallele) systemen aan te brengen. Om er voor te zorgen dat de veiligheidssystemen deugdelijk blijven werken worden zij regelmatig geïnspecteerd en getest in het kader van inspectie- en testprogramma's die ook deel uitmaken van het programma van 'verouderingsbeheer'. De status en het functioneren van veiligheidssystemen worden bewaakt door diverse detectiesystemen en de wacht (bedieningspersoneel) is getraind om adequaat en tijdig te reageren bij meldingen van deze systemen. Ook zijn sommige veiligheidssystemen in staat bij overschrijding van ingestelde referentie waarden (set-points), automatisch corrigerende maatregelen uit te voeren. Een voorbeeld van zo'n automatisch handelend veiligheidssysteem is het reactorbeveiligingssysteem. Een voorbeeld van een corrigerende maatregel door dit systeem is het toevoegen van koelmiddel bij dalen van het waterniveau in het reactordrukvat.

De belangrijkste basis voor de diverse inspectie-, test- en onderhoudsprogramma's, waaronder het verouderingsbeheer, de bedrijfsprocedures en opleiding en training van het personeel, is het bedrijfs kwaliteitssysteem, waarvan de implementatie zowel intern als extern frequent wordt geaudit.

Uitvoering van veiligheidsstudies leidt tot betere kennis van functioneren van de installaties en het opsporen van zwakke plekken in de implementatie van de 'defence-in-depth' in de installatie en bedrijfsvoering.

#### *Beperken van de gevolgen van ongevallen*

Om bestrijding ('mitigeren') van de gevolgen van ongevallen mogelijk te maken dienen er in de installatie voorzieningen getroffen te zijn, te onderscheiden in: *ongevalsmanagement* en *veiligheidsvoorzieningen* in de kerncentrale.

Het ongevalsmanagement bestaat uit een aantal vastgelegde bedrijfsprocedures en goedgekeurde handelingen van de wacht, die bij het optreden van ongevallen (d.w.z. bij overschrijding van de ontwerpspecificaties) worden toegepast, gebruikmakend van bestaande bedrijfssystemen en -apparatuur. Het doel van het ongevalsmanagement is de installatie terugbrengen in een veilige toestand. Voor een kerncentrale betekent dit:

- een afgeschakelde reactor,
- het langdurig in stand houden van de kernkoeling, en
- behoud van de insluitfunctie.

De procedures voor het ongevalsmanagement die primair gericht zijn op bovengenoemde drie doelstellingen heten de zogenoemde Emergency Operation Procedures (EOP's). Deze procedures zijn installatie specifiek, maar berusten wel op een aantal algemeen geldende door de IAEA geadviseerde principes.

Ter ondersteuning van het beperken van een ongevalslozing wordt gebruik gemaakt van 'Severe Accident Management guidelines' (SAM-G's), die vaak in internationaal verband zijn ontwikkeld. Deze SAM-G's beschrijven onder meer het gebruik van de speciale voorzieningen, die volgens de huidige regelgeving in het kader van de bestrijding van de zogenoemde buiten-ontwerp ongevallen dienen te worden aangebracht. Deze buiten-ontwerp ongevallen onderscheiden zich van de ontwerpongevallen en andere bedrijfsmatige storingen vanwege het feit dat met dergelijke ongevallen in het oorspronkelijk ontwerp van de installatie en bijbehorende veiligheidssystemen geen rekening is gehouden.



De veiligheidsvoorzieningen in een kerncentrale dienen in staat te zijn de gevolgen van een ontwerpgeval binnen de voorgeschreven veiligheidsgrenzen te houden en de installatie in een veilige toestand te brengen. Dit dient in een veiligheidsanalyse te worden aangetoond. Bijvoorbeeld, de voorzieningen moeten bij het optreden van een ontwerp ongeval, waarbij splijtingsproducten uit de brandstofelementen vrijkomen, in staat zijn de lozing van radioactieve stoffen naar de omgeving zodanig te beperken dat de doses ontvangen door de omwonenden binnen de vastgestelde limieten blijven. Voorbeelden van deze veiligheidsvoorzieningen zijn fysieke barrières (primaire en secundaire insluiting), ventilatie en filtersystemen.

In het kader van het bestrijden van buiten-ontwerpgevallen zijn na 1986 in de meeste kerncentrales extra voorzieningen aangebracht, die onder meer ingezet kunnen worden om de condities binnen de insluitconstructie gunstig te beïnvloeden danwel te voorkomen dat er binnen deze constructie ongunstige condities ontstaan waardoor de insluitfunctie van deze constructie in gevaar komt. Voorbeelden van deze extra voorzieningen zijn een systeem voor het gefilterd afblazen van gassen uit de insluitconstructie om het onbeheerst falen van deze insluitconstructie door overdruk te verhinderen en een kernopvangconstructie (de zogenoemde core-catcher die bij de EPR aanwezig is) om het doorsmelten van de bodem van de insluitconstructie te voorkomen. Andere voorbeelden van voorzieningen die ter bescherming van de insluitconstructie zijn aangebracht zijn ontsteeksysteemen voor waterstof (het voorkomen van waterstofexplosies) en sproeisysteemen om de stoom binnen de insluitconstructie te condenseren en daarmee de druk binnen de insluitconstructie te verlagen een belangrijk neveneffect is het doen neerslaan van radioactieve aerosolen binnen de insluitconstructie en het condenseren van dampvormige radioactieve stoffen. Deze processen zorgen er voor dat naast het verkleinen van de kans op falen van de insluitconstructie ook de potentiële lozing van radioactieve gassen en aerosolen bij het falen van deze constructie kleiner wordt. In de derde-generatie kerncentrales, zoals de EPR, zijn de hiervoor genoemde veiligheidsvoorzieningen, die met name gericht zijn op de beheersing van kernsmeltongevallen, al in het ontwerp aanwezig.

## C.2 Voortschrijdend inzicht in nucleaire veiligheid

Internationaal bestaat er met betrekking tot de nucleaire veiligheidsvoorschriften een voorzichtige tendens tot harmonisatie. Belangrijk zijn hierbij de regels en richtlijnen van de IAEA die door een groot aantal landen worden onderschreven en die voor een belangrijk deel de basis vormen voor de Nederlandse nucleaire veiligheidsregels en -richtlijnen (NVR's). Binnen Europa bestaat verder de wens tot het hanteren van geharmoniseerde voorschriften zowel vanuit de Europese Commissie als vanuit de organisatie van West-Europese nucleaire veiligheidsautoriteiten (WENRA). Dit betreft voornamelijk echter alleen enkele verkennende stappen. Een andere internationale ontwikkeling met betrekking tot veiligheidsvoorschriften betreft de aandacht voor de risico's als gevolg van nucleaire activiteiten als onderdeel van de richtlijnen (Risk Informed Regulation, RIR). Dit richtte zich in eerste instantie op de bedrijfsvoering, onderhoud en inspecties maar uiteindelijk ook op het ontwerp van kernenergiecentrales. Deze tendens vindt zijn oorsprong met name in de VS en krijgt in Europa, en ook in Nederland, steeds meer aandacht al heeft het nog niet tot concrete wijziging van regelgeving geleid.

Met betrekking tot de nucleaire veiligheid en de stralingsbescherming worden incidenten internationaal geregistreerd op basis van de daarvoor vastgestelde INES-schaal (International Nuclear Event Scale). Deze schaal loopt van nul tot zeven overeenkomend met een afwijking zonder veiligheidsbelang tot een zwaar ongeval. In Nederland wordt deze schaal sinds 1990 toegepast door de Kernfysische Dienst (KFD) voor de meldingsplichtige gebeurtenissen van de Nederlandse nucleaire installaties. In de periode 1990-2003 zijn door de kernenergiecentrale Borssele (KCB) 193 gebeurtenissen gemeld aan de overheid. Het overgrote deel hiervan (180) betrof geringe afwijkingen die geen enkel veiligheidsbelang hebben (INES-0). In 12 gevallen betrof het

afwijkingen die buiten de voorgeschreven specificaties vielen en daarom in INES-1 geklasseerd zijn en in één geval werd een meer significante afwijking in een veiligheidsvoorziening gemeld (INES-2). In geen van deze gevallen is echter de nucleaire veiligheid en de stralingsbescherming voor de medewerkers en de omgeving in het geding geweest. Door de KCB worden alle afwijkingen en storingen geëvalueerd en zo mogelijk worden maatregelen getroffen om herhaling te voorkomen. Het aantal afwijkingen en storingen laat door de jaren heen een dalende tendens zien.

Met betrekking tot bestaande kernenergiecentrales is het internationaal gebruikelijk om de nucleaire veiligheid en de stralingsbescherming regelmatig te toetsen aan het voortschrijdend inzicht op deze gebieden. Ook bij KCB worden de installatie en de bedrijfsvoering getoetst aan de stand der techniek ten aanzien van de veiligheid, aan het voortschrijdend inzicht in de nucleaire veiligheid en de stralingsbescherming en aan de regelgeving, zowel in Nederland als internationaal. De verplichting voor EPZ, om elke tien jaar een veiligheidsevaluatie uit te voeren, is vastgelegd in haar Kernenergiewet-vergunning. De uitvoering van de 10-jaarlijkse veiligheidsevaluatie vindt plaats volgens de internationale IAEA-regels (IAEA 1994, 1995, 1998) en het door de Nederlandse overheid opgestelde document 'Nota Backfittingbeleid' (KFD, 1991).

De eerste 10-jaarlijkse veiligheidsanalyse conform de nota backfittingbeleid is door EPZ uitgevoerd in 1992. Op basis hiervan is een omvangrijk modificatieproject uitgevoerd waarmee de KCB een inhaalslag heeft gemaakt ten opzichte van het voortschrijdende inzicht op het gebied van nucleaire veiligheid. Circa tien jaar daarvoor was al een eerste belangrijke stap gezet in de modernisering van het veiligheidstechnische ontwerp van de KCB door het installeren van gebunkerde reserve veiligheidssystemen. Deze gebunkerde systemen zorgden ervoor dat de centrale beter beschermd was tegen externe invloeden zoals overstroming en aardbeving en vergrootten de marges van het veiligheidsconcept door het uitbreiden van de redundantie van de veiligheidssystemen.

Uit de meest recente 10-jaarlijkse veiligheidsevaluatie (2003) blijkt dat de veiligheid van de KCB goed voldoet aan de huidige eisen van de regelgeving en de stand der techniek (EPZ, 2004 en KFD, 2005). De verbeteringsmaatregelen die voortkomen uit deze evaluatie zijn van beperkte omvang en impact in vergelijking met de modificaties die in de 80-er en 90-er jaren zijn uitgevoerd. De inhaalslag ten opzichte van het voortschrijdend inzicht in de nucleaire veiligheid is gemaakt. De aandacht richt zich nu op verdere optimalisatie. Uit de evaluatie is ook gebleken dat de installatie in een goede staat verkeert, dat de veroudering van de installatie geen probleem vormt en dat de belangrijkste componenten de beschouwde periode (de komende tien jaar) zullen voldoen aan de veiligheidscriteria. Het toegepaste systeem van verouderingsbeheersing is daarbij voldoende om tijdig degradatie van veiligheidsrelevante componenten vast te stellen, zoals is bevestigd door de AMAT-missie (Ageing Management Assessment Team) van de IAEA in 2003 (EPZ, 2004). De 'Guidelines' voor AMATs zijn te vinden in (IAEA, 1999).

Voor de periode na 2013 zal de KCB steeds weer getoetst worden aan het voortschrijdende inzicht in de nucleaire veiligheid en de stralingsbescherming middels het instrument van 10-jaarlijkse veiligheidsevaluaties.

Naast bovengenoemde evaluatie van de nucleaire veiligheid en stralingsbescherming wordt ook de beveiliging van de KCB door de overheid nauw gevolgd. De laatste jaren is de aandacht hiervoor sterk toegenomen vanwege de ontwikkelingen in de wereld met betrekking tot terrorisme. Conform de huidige regelgeving is in de KCB reeds een beveiligde extra bedieningsruimte aanwezig, van waaruit de controle over de centrale kan worden uitgevoerd. De recente ontwikkelingen hebben geleid tot aanpassing van technische en procedurele beveiligingsaspecten en in de toekomst kunnen mogelijk verdere aanscherpingen worden verwacht.

Met betrekking tot de dreiging van terrorisme is de beveiliging tegen een neerstortend vliegtuig van belang. Oorspronkelijk is de KCB niet ontworpen tegen een vliegtuigongeval, maar er is wel 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 beschermen tegen een neerstortend vliegtuig. Andere veiligheidssystemen zijn in gebunkerde gebouwen ondergebracht. Naast de discussie wat de mogelijke gevolgen van de inslag kunnen zijn, dient ook het aspect 'kans' te worden beschouwd; immers het is niet eenvoudig is om met een groot verkeersvliegtuig de relevante gebouwen effectief te raken. Mocht dit toch lukken, dan kan zonder verdere gedetailleerde berekeningen niet worden uitgesloten dat een vliegtuigmotor een gat kan maken in het betonnen reactorgebouw en eventueel ook in de stalen bol van het reactorgebouw. Aangezien het reactorvat met daarin de reactorkern en de gebruikte splijtstof in het waterbassin nog door zware betonnen structuren liggen omsloten, is het echter niet aanemelijk dat deze zullen worden beschadigd. Van belang is verder dat de kerosine van het vliegtuig met name is opgeslagen in tanks in de vleugels. Aangezien dit relatief lichte structuren zijn, zullen deze het reactorgebouw niet kunnen beschadigen. Een optredende kerosinebrand zal daarom voornamelijk buiten het reactorgebouw plaatsvinden. De voor de veiligheid belangrijke gebouwen zijn gedurende een bepaalde tijd bestendig tegen brand. Verder worden in het kader van de huidige 10-jaarlijkse evaluatie extra voorzieningen getroffen ter bestrijding van een kerosinebrand en ter beperking van de gevolgen van een dergelijke brand.

In het kader van de recente ontwikkelingen loopt er momenteel bij de overheid een programma naar de noodzaak en mogelijkheden voor de beveiliging van vitale functies en belangrijke installaties in Nederland, zoals de KCB.

### C.3 Globale vergelijking veiligheidskenmerken KCB en moderne reactorontwerpen

Voor een beschouwing van de veiligheid van de Kernenergiecentrale Borssele (KCB) is het interessant om een vergelijking te maken tussen de KCB (behorende tot de groep van zogenoemde tweede generatie kernreactoren, evenals de meeste momenteel in bedrijf zijnde kerncentrales) en een vergelijkbare moderne reactor zoals die momenteel gebouwd zou kunnen worden volgens de huidige stand der techniek (derde generatie) of een reactor zoals die in de toekomst gebouwd zou kunnen worden (vierde generatie).

Als vergelijkingsreactor van de derde generatie wordt de EPR (European Pressurised Reactor) van de firma Framatome ANP gebruikt. Van dit reactortype wordt momenteel de eerste gebouwd in Finland en vanaf 2007 zal deze ook worden gebouwd in Frankrijk. Het betreft een drukwaterreactor (evenals de KCB) welke gebruik maakt van de huidige inzichten op het gebied van nucleaire veiligheid. Omdat de EPR van hetzelfde basistype (drukwaterreactor) is als de KCB is het mogelijk om na te gaan in hoeverre de ontwikkelingen op het gebied van reactorveiligheid voor ontwerpwijzigingen hebben gezorgd en in hoeverre de modificaties die bij KCB door de jaren heen zijn getroffen ervoor gezorgd hebben dat deze ontwikkelingen, voor zover redelijkerwijs mogelijk, zijn gevolgd.

Als vergelijkingsreactor van de vierde generatie wordt de Gasgekoelde Modulaire Hoge Temperatuur Reactor (GMHTR) gebruikt. Van dit type reactor zijn verschillende ontwerpen in ontwikkeling. De momenteel veel in de belangstelling staande PBMR (Pebble Bed Modular Reactor) zoals die in Zuid-Afrika wordt ontwikkeld op basis van een oorspronkelijk Duits ontwerp zal als referentieontwerp voor dit type reactor worden gebruikt. Omdat deze gasgekoelde reactoren qua ontwerp wezenlijk verschillen van een drukwaterreactor zoals de KCB zal deze vergelijking slechts zeer globaal uitgevoerd kunnen worden.

### C.3.1 Vergelijking tussen KCB en de EPR

De EPR (zie Figuur C.1) is een verdere ontwikkeling van de modernste in werking zijnde drukwaterreactoren zoals die in bedrijf zijn in Duitsland (reactortype Konvoi) en Frankrijk (reactortype N4). Een uitgangspunt voor het ontwerp van de EPR is geweest dat gebeurtenissen waarbij grote, vroegtijdige en langdurige tegenmaatregelen voor de omgeving (zoals bijvoorbeeld evacuatie) nodig zijn, een bijzonder kleine waarschijnlijkheid dienen te hebben.

Een belangrijk verschil tussen de EPR en de KCB betreft het vermogen. De KCB produceert circa 450 MW elektrische energie tegen 1600 MW van de EPR. Het werkingsprincipe van beide reactoren blijft echter hetzelfde. De warmte wordt geproduceerd in de reactorkern welke is opgebouwd uit splijstofelementen met splijstofstaven die laag verrijkt uranium bevatten (circa 4-5%). De kern bevindt zich in een groot reactorvat en wordt gekoeld door het primaire systeem waarin water onder hoge druk wordt rondgepompt. De warmte van dit primaire water wordt via stoomgeneratoren afgegeven aan het secundaire circuit als gevolg waarvan het secundaire water gaat koken. De geproduceerde stoom wordt naar de turbine geleid die de generator aandrijft waarmee de elektriciteit wordt geproduceerd. Tot zover zijn beide reactoren in principe gelijk. Een duidelijk verschil is dat de EPR een primair systeem met vier loops heeft, en dus ook vier pompen en stoomgeneratoren terwijl de KCB er twee heeft. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het grotere vermogen van de EPR en de maximale capaciteit van de pompen en stoomgeneratoren. Op de veiligheid heeft dit geen wezenlijke invloed.

Het primaire systeem bevindt zich bij de EPR in een containment opgebouwd uit een dubbele koepel van voorgespannen respectievelijk gewapend beton. Het containment van de KCB bestaat uit een binnenste bol van staal met daarom heen een koepel van gewapend beton. Beide containments zijn ontworpen om enerzijds de interne druk te weerstaan die kan optreden tijdens interne ongevallen en anderzijds de reactor te beschermen tegen externe invloeden. Het containment van de KCB heeft een relatief groot volume ten opzichte van het reactorvermogen. Daar staat tegenover dat het containment van de EPR een grotere bestendigheid tegen invloeden van binnenuit en van buitenaf heeft dan die van de KCB. Zo is het containment van de EPR bestand tegen de gevolgen van een kernsmeltongeval en zal de KCB tijdens een dergelijk ongeval eventueel gebruik moeten maken van de gefilterde containment afblaasinstallatie. Hierdoor zal er in deze zeer onwaarschijnlijke gevallen bij KCB een beperkte lozing optreden. Zo'n afblaasinstallatie wordt bij veel kernreactoren toegepast en is bij KCB bij de modificaties in de 90-er jaren geïnstalleerd om in alle gevallen het falen van het containment te voorkomen en eventuele lozingen zoveel mogelijk te beperken.



Figuur C.1 Doorsnede van de EPR met daarin het primaire systeem bestaande uit het reactorvat (1), de stoomgeneratoren (2), de drukhouder (3) en de hoofdkoelmiddelpompen (4). Verder zijn aangegeven het dubbele containment (5, 6), de kernsmeltopvang (7), de regelzaal (8), de noodstroomdieselgebouwen (9) en het turbinegebouw (10).

Van groot belang voor de veiligheid van een kernreactor is, dat de kern in alle gevallen gekoeld kan worden, ook na afschakelen van de reactor, omdat dan nog steeds een bepaalde hoeveelheid (afnemende) vervalwarmte wordt geproduceerd. Hiertoe is voorzien in een nakoelsysteem en in injectiesystemen om ervoor te zorgen dat er ook bij lekkages altijd voldoende koelwater aanwezig is. Zowel de EPR als de KCB zijn voorzien van een nakoelsysteem, een hoge druk en een lage druk injectiesysteem en op druk staande buffervaten die bij een dalende druk vanzelf leeglopen in het primaire systeem. Bij de EPR bestaan deze systemen uit vier gescheiden en onafhankelijke deelsystemen waarvan er twee voldoende zijn voor de betreffende functie (4x50%). Bij KCB bestaan de systemen uit twee deelsystemen waarvan er één voldoende is (2x100%). Oorspronkelijk waren deze systemen bij KCB niet volledig gescheiden en onafhankelijk ontworpen. Hierin is bij de modificaties in de 80-er en 90-er jaren echter een sterke verbetering aangebracht, door betere scheiding van de bestaande systemen en door het installeren van reservesystemen. Bij de EPR zijn deze systemen bestand tegen externe invloeden, zoals overstroming en aardbeving. Bij KCB is dit niet volledig het geval. Er zijn echter in de 80-er jaren gebunkerde reservesystemen bijgebouwd die wel bestand zijn tegen externe invloeden. Deze systemen worden bij de huidige modificaties verder verbeterd. Daarnaast is in de jaren negentig een reserve-nakoelsysteem geïnstalleerd, dat bestand is tegen externe invloeden en gebruik maakt van grondwater. Ook dit systeem wordt bij de huidige modificaties verder verbeterd.

Voor het geval van totale stroomuitval is de EPR voorzien van twee gescheiden gebouwen met noodstroomdieselgeneratoren, die bestand zijn tegen externe invloeden. Bij KCB is in de jaren negentig een nieuw noodstroomdieselgebouw voor het reeds bestaande noodstroomnet gebouwd met nieuwe dieselgeneratoren waardoor de ruimtelijke scheiding van de dieselgeneratoren voldoende is gewaarborgd. Verder is in de 80-er jaren bij de gebunkerde reserve systemen een tweede noodstroomnet met twee onafhankelijke dieselgeneratoren geïnstalleerd welke bestand

is tegen externe invloeden. Met deze modificaties is de noodstroomvoorziening van de KCB op een vergelijkbaar niveau gebracht als die van de EPR.

Tabel C.1 *Overzicht van enkele kenmerken van de EPR en de KCB*

|                                      | EPR                                         | KCB                                        |
|--------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Elektrisch vermogen                  | 1600 MW                                     | 450 MW                                     |
| Verrijkingsgraad splijtstof          | 4-5%                                        | 4,4%                                       |
| Aantal loops primair systeem         | 4                                           | 2                                          |
| Containment                          | 1× gewapend beton<br>1× voorgespannen beton | 1× gewapend beton<br>1× staal              |
| Containment vrije volume             | 80 000 m <sup>3</sup>                       | 37 000 m <sup>3</sup>                      |
| Gefilterd containment afblaassysteem | Nee                                         | Ja                                         |
| Nakoelsysteem                        | 4 × 50%                                     | 2 × 100%                                   |
| Hoge druk kerninjectie               | 4 × 50%                                     | 2 × 100%                                   |
| Lage druk kerninjectie               | 4 × 50%                                     | 2 × 100%                                   |
| Kernsmeltopvang                      | Ja                                          | Nee                                        |
| Noodstroomdieselgeneratoren          | 4                                           | 3 (noodstroomnet 1)<br>2 (noodstroomnet 2) |

Een veiligheidsvoorziening die de EPR heeft en die niet aanwezig is bij KCB betreft de kernsmeltopvang. Dit is een voorziening die de kern kan opvangen en koelen, in het onwaarschijnlijke geval dat deze door gebrek aan overige koeling gesmolten is en door de reactorvatbodem is heen gesmolten. Dit is een voorziening die bij KCB redelijkerwijs niet is te installeren. Wel zijn er voorzieningen getroffen die de kans op een kernsmeltongeval verlagen en de lozingen naar de omgeving indien zo'n ongeval zich zou voordoen beperken.

Concluderend kan gesteld worden dat de veiligheidssystemen van de EPR grotendeels ook bij de KCB aanwezig zijn en dat de verschillen met het oorspronkelijke ontwerp van de KCB zoveel mogelijk zijn verholpen door de diverse modificaties die in de loop der jaren zijn doorgevoerd. Deze oorspronkelijke verschillen betreffen met name de redundantie en onafhankelijkheid van systemen en de bestendigheid tegen externe invloeden. Een enkele veiligheidsvoorziening van de EPR, zoals de kernsmeltopvang, kon niet worden doorgevoerd bij KCB. In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat bij moderne reactoren het ontwerp van de veiligheidsvoorzieningen gebaseerd is op de laatste veiligheidsinzichten, terwijl bij de KCB door middel van modificaties van het oorspronkelijke ontwerp de moderne inzichten zo goed mogelijk zijn ingebracht. Een moderne reactor voldoet daarmee op een completere en meer gestructureerde wijze aan de huidige veiligheidsinzichten.

Om na te gaan wat bovenstaande verschillen en overeenkomsten betekenen voor de veiligheid, kan gebruik worden gemaakt van de PSA (Probabilistic Safety Assessment). Dit is een rekenkundig instrument waarmee de kansen en de gevolgen van ernstige ongevallen vastgesteld kunnen worden. Met een PSA wordt met name de kans op een kernsmeltongeval berekend, uitgedrukt in de kernsmeltfrequentie. Daarnaast is het met name in Nederland gebruikelijk om ook de gevolgen voor omwonenden met de PSA te bepalen, uitgedrukt in het individueel risico en groepsrisico.

De kernsmeltfrequentie van de KCB zal na uitvoering van de maatregelen van de huidige 10-jaarlijkse veiligheidsevaluatie rond de  $10^{-6}$  per jaar liggen, wat overeenkomt met een kans van eens in de miljoen jaar (IAEA, 1994). Door de IAEA wordt voor nieuwe kernenergiecentrales een richtlijn van  $10^{-5}$  per jaar gehanteerd, dus een factor 10 hoger. Het individueel risico, oftewel de kans voor omwonenden om te overlijden als gevolg van een ongeval bij de KCB, ligt rond  $10^{-8}$  per jaar terwijl het criterium in het Nederlandse risicobeleid  $10^{-6}$  per jaar (een factor 100 hoger) ligt. Ook het groepsrisico ligt ruimschoots onder de door de Nederlandse overheid

opgelegde normen. De kans op een tiental vroege dodelijke slachtoffers als gevolg van een ongeval bij de KCB ligt volgens de MER (milieu-effect rapportage) van 2004 op circa  $10^{-10}$  per jaar terwijl het criterium daarvoor  $10^{-5}$  per jaar bedraagt (een factor honderdduizend hoger).

Tabel C.2 *Vergelijking van de kernsmeltfrequentie*

|                     | KCB                      | EPR                                  | IAEA-norm voor een nieuwe kerncentrale |
|---------------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| Kernsmeltfrequentie | Circa $10^{-6}$ per jaar | Circa $10^{-6}$ - $10^{-7}$ per jaar | $<10^{-5}$ per jaar                    |

Ter vergelijking wordt voor de EPR een kernsmeltfrequentie van  $10^{-6}$  tot  $10^{-7}$  gehanteerd. De exacte waarde hangt af van het detailontwerp van een specifieke centrale. Het individueel en groepsrisico van de EPR worden in het buitenland vaak niet als criterium gebruikt. Op grond van bovenstaande gegevens kan aangenomen worden dat de EPR zeker zal voldoen aan de Nederlandse criteria ten aanzien van individueel en groepsrisico.

Tabel C.3 *Individueel en groepsrisico van de KCB ten opzichte van de norm*

|                                | KCB                        | Norm conform Nederlands Risicobeleid |
|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| Individueel risico             | Circa $10^{-8}$ per jaar   | $<10^{-6}$ per jaar                  |
| Groepsrisico: Kans op 10 doden | Circa $10^{-10}$ per jaar* | $<10^{-5}$ per jaar                  |

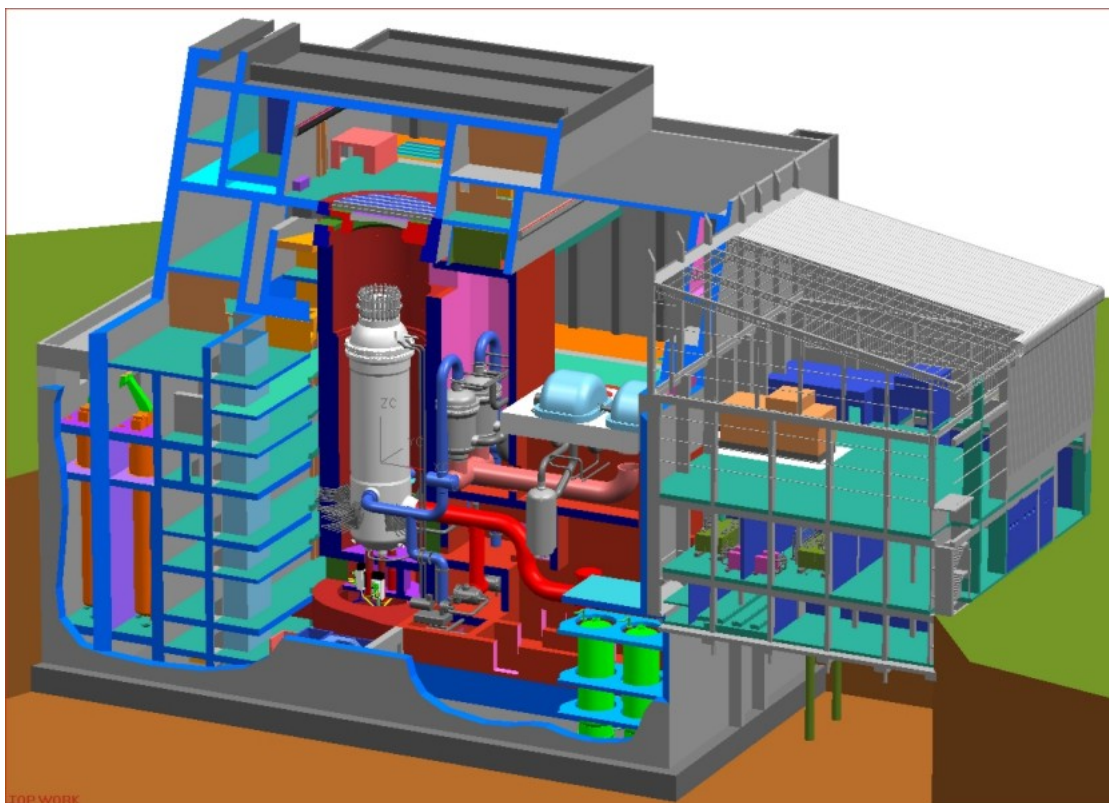
\* De kans op grotere aantallen slachtoffers is navenant kleiner.

De hierboven genoemde risicogetallen zijn gebaseerd op zogenoemde best-estimate waarden en zijn met name relevant om in het kader 'effecten op het milieu en volksgezondheid' het risico te kwantificeren. Behalve deze analyse zijn er diverse gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om de invloed van onzekerheden in de verschillende aannames (zoals faalkansen van componenten) op het eindresultaat te bepalen. Naast de PSA zijn er ontwerpbasisanalyses uitgevoerd. Hierbij wordt niet gekeken naar de kans van een gebeurtenis maar alleen naar het gevolg. Aan de overheid moet worden aangetoond dat de gevolgen van de zogenoemde ontwerpgevallen beperkt zullen zijn. Ook bij de beveiliging tegen gebeurtenissen als een terroristische vliegtuiginslag, worden dergelijke analyses toegepast, omdat het begrip kans hier niet aan de orde is.

### C.3.2 Vergelijking met de PBMR

De PBMR (zie Figuur C.2) is een gasgekoelde reactor waarbij de splijtstof (laag verrijkt uranium) in de vorm van kleine korrels is opgenomen in ballen van grafiet ter grootte van een biljartbal. De kern van de reactor bevindt zich in een groot reactorvat en bestaat uit circa 450.000 van deze ballen welke worden gekoeld door helium. Het vermogen van de PBMR is relatief klein en bedraagt 165 MW<sub>e</sub>.





Figuur C.2 Doorsnede van de PBMR met links van het midden het reactorvat in grijs

De belangrijkste veiligheidskenmerken van de PBMR zijn:

- een lage overreactiviteit van de kern waardoor grote ongewenste vermogensveranderingen worden voorkomen,
- een sterk negatieve temperatuurcoëfficiënt van de splijtstof waardoor de reactor bij uitval van de normale koeling vanzelf afschakelt als gevolg van de hoge temperatuur,
- een goede bestendigheid van de splijtstofballen tegen hoge temperaturen waardoor de splijttingsproducten ook bij een hoge temperatuur in de ballen worden vastgehouden,
- een lage vermogensdichtheid van de kern waardoor koeling van de kern in storingssituaties door middel van warmtestraling en -geleiding mogelijk is zonder dat actieve systemen gebruikt moeten worden.

Door deze kenmerken kan bij de PBMR na uitval van de normale bedrijfssystemen het afschakelen en koelen van de kern tot een stabiel veilige toestand is bereikt volledig plaatsvinden met passieve systemen. Dit soort reactoren wordt daarom ook wel passieve reactoren genoemd.

De duidelijkste verschillen tussen de KCB en de PBMR betreffen de koeling met water respectievelijk met helium, de splijtstof welke zich in metalen staven in de splijtstofelementen bevindt bij de KCB en in ballen van grafiet bij de PBMR en het hogere vermogen van de KCB. Met betrekking tot het veiligheidsconcept is het belangrijkste verschil dat de KCB gebruikt maakt van actieve veiligheidssystemen die uitgevoerd zijn met redundantie, ruimtelijke scheiding en diversiteit waardoor een hoge betrouwbaarheid en veiligheid worden verkregen. De PBMR maakt voor de veiligheid gebruik van passieve systemen en inherente eigenschappen van het ontwerp. Hierdoor wordt met een relatief eenvoudig systeem een hoge mate van betrouwbaarheid en veiligheid verkregen. De splijtstofballen van de PBMR hebben een zodanig lage vermogensdichtheid dat zij hun warmte altijd voldoende kwijt kunnen waardoor geen kernsmelten kan optreden.



Zoals eerder aangegeven voldoet de KCB ruimschoots aan de Nederlandse normen voor het risico van omwonenden. Voor de PBMR (of vergelijkbare gasgekoelde reactorontwerpen) is dit (nog) niet aangetoond, maar naar verwachting zal dit reactortype eveneens ruimschoots kunnen voldoen aan deze normen. Of daarbij grotere marges aanwezig zullen zijn ten opzichte van deze normen, hangt af van specifieke ontwerpkeuzes en is daarom niet op voorhand aan te geven. Voor de inzichtelijkheid van het veiligheidsconcept hebben de passieve en inherente veiligheidsaspecten van de PBMR een voordeel.

### C.3.3 Conclusie van de vergelijking van de KCB met moderne reactorontwerpen

Uit bovenstaande beschouwing kan worden geconcludeerd, dat ten aanzien van de veiligheid, de KCB de vergelijking met moderne, momenteel in aanbouw zijnde reactoren in grote lijnen kan doorstaan. Er zijn wel verschillen. Bij modernere reactoren is het ontwerp van de veiligheidsvoorzieningen gebaseerd op de laatste inzichten, terwijl bij de KCB door middel van modificaties van het oorspronkelijke ontwerp de moderne veiligheidsinzichten zo goed mogelijk zijn ingebracht. Een moderne reactor voldoet daarmee op een completere en meer gestructureerde wijze aan de huidige veiligheidsinzichten. Op grond van de probabilistische veiligheidsanalyse van de KCB kan echter worden geconcludeerd dat het veiligheidsniveau van de KCB dicht in de buurt komt van dat van moderne reactoren en voldoet aan de betreffende nationale en internationale normen.

De vergelijking met de zogenoemde passieve reactoren is lastiger omdat de wijze van het berekenen van het gewenste veiligheidsniveau verschilt. Bij uitdrukking van het gewenste veiligheidsniveau in risicogetallen voldoet de veiligheid van de KCB aan de daarvoor geldende normen. Zo is het plaatsgebonden risico 3% van wat de norm toestaat. Naar verwachting zullen de reactoren met passieve veiligheidssystemen ook aan de normen voldoen en mogelijk in nog ruimere mate.

## C.4 Technische veiligheid in relatie tot bedrijfsduur

De technische veiligheid van de kernenergiecentrale Borssele wordt iedere tien jaar beoordeeld in een veiligheidsevaluatie, zoals vereist vanuit de kernenergiewet vergunning. In deze evaluatie worden de installatie en de bedrijfsvoering getoetst aan het voortschrijdende inzicht en de regelgeving op het gebied van nucleaire veiligheid en stralingsbescherming, zowel in Nederland als internationaal. Hiermee wordt iedere tien jaar vastgesteld of de technische veiligheid voldoende is voor het voortzetten van de bedrijfsduur gedurende de volgende tien jaar en eventueel welke maatregelen daarvoor getroffen moeten worden. Indien niet voldaan kan worden aan het gewenste veiligheidsniveau of indien de kosten om dit niveau te bereiken te hoog zijn, zal de bedrijfsvoering worden gestopt. Zolang voldaan kan worden aan het geldende inzicht van nucleaire veiligheid is er geen veiligheidstechnische reden om de bedrijfsduur te verkorten.

Uit de recente 10-jaarlijkse veiligheidsevaluatie is geconcludeerd dat de technische veiligheid van de KCB in relatie tot de bedrijfsduur voor de komende tien jaar (t/m 2013) geen beletsel vormt (EPZ, 2004). Deze conclusie wordt gedeeld door de overheid (KFD, 2005). De veiligheid van de KCB voldoet ruimschoots aan de daarvoor in Nederland geldende normen.

Uit het voorgaande mag de conclusie worden getrokken, dat er geen reden is om aan te nemen dat de technische veiligheid van de KCB voor de bedrijfsduur na 2013 een beletsel zal vormen. Dit zal echter aangetoond dienen te worden in de volgende 10-jaarlijkse veiligheidsanalyse. Bij deze volgende veiligheidsanalyse zal met name de mogelijke veroudering van de installatie een belangrijk aspect zijn.

## Bijlage D Volksgezondheid

In Hoofdstuk 4 worden onder meer de emissies van radioactieve stoffen in lucht, de lozingen van radioactieve stoffen in water en de blootstelling aan ioniserende straling behandeld, die allen nadelige effecten op de volksgezondheid hebben. Deze bijlage gaat met name in op de regels die aan de dosisbelasting worden gesteld en de lozingen en doses van andere nucleaire installaties (met name in het buitenland) waarin de brandstof voor de KCB wordt geproduceerd en waarin de gebruikte brandstof en bedrijfsafval wordt verwerkt en opgeslagen. Om deze dosisbelasting in perspectief te brengen wordt in deze bijlage een vergelijking gemaakt met de dosisbelasting van de bevolking in Nederland en elders door blootstelling aan de natuurlijke achtergrond straling en in de natuur aanwezige radioactieve stoffen, inclusief de bijdragen hieraan door niet-nucleaire industriële activiteiten.

### D.1 Gezondheidseffecten van straling en hantering van dosislimieten

De verwachte nadelige effecten op de gezondheid door blootstelling aan radioactieve stoffen en ioniserende straling worden gekwantificeerd aan de hand van de hierbij ontvangen stralingsdosis. Onder normale omstandigheden zijn deze doses, ontvangen door het lichaam of een deel van het lichaam, zodanig laag dat hierdoor geen gezondheidseffecten op korte termijn optreden. Wel is er een kans, die evenredig is met de ontvangen dosis, dat er ten gevolgen van de blootstelling zich een tumor of andere vorm van kanker ontwikkelt waaraan met overlijdt. Om de bevolking tegen deze gevolgen van blootstelling aan straling te beschermen, zijn er limieten gesteld aan de dosis die de bevolking jaarlijks mag ontvangen. Bij de beoordeling van een installatie waaruit radioactieve stoffen worden geloosd en/of ioniserende straling vrijkomt, wordt de effectieve individuele jaardosis bepaald, die door een 'gemiddelde' blootgestelde bewoner van een bepaald gebied per jaar als gevolg van het bedrijf van deze installatie wordt ontvangen (dosisbelasting). De overheid stelt in haar beleid zoals dat is vastgelegd in het Besluit stralingsbescherming, dat de maximale dosis die door leden van de bevolking door blootstelling aan straling tengevolge van handelingen en werkzaamheden met radioactieve stoffen jaarlijks wordt ontvangen, niet meer bedraagt dan 1 mSv. Tevens geldt voor blootstelling aan straling tengevolge van een specifiek bedrijf zoals KCB of specifieke handelingen, zoals het transport van radioactieve stoffen, dat de hierbij ontvangen dosis jaarlijks niet meer bedraagt dan 0,1 mSv. Voor het personeel van KCB en de andere bedrijven waar handelingen of werkzaamheden met radioactieve stoffen worden uitgevoerd gelden aanvullende dosisbeperkingen. Zo mag de maximale jaarlijkse dosis van het personeel waarvan de blootstelling niet individueel wordt bewaakt (de niet blootgestelde werker) niet meer bedragen dan 1 mSv. De blootstelling van het personeel dat behoort tot de groep van blootgestelde werkers, wordt wel individueel bewaakt. Deze groep is onderverdeeld in personeel waarvan de maximale dosis door de jaarlijkse blootstelling lager is dan 6 mSv en in een groep die op individuele basis, gemiddeld over een periode van 5 jaar, jaarlijks niet meer dan 20 mSv mag ontvangen. Naast deze limieten voor de dosisbelasting over het gehele lichaam gelden er nog orgaanspecifieke limieten, zoals een limiet voor de dosis op de ooglen of dosis op vingers.

In andere EU-lidstaten, zoals Duitsland, Frankrijk en Groot-Brittannië, waar industriële activiteiten gerelateerd aan de splijtstofcyclus van KCB plaatsvinden, gelden vergelijkbare beperkingen van de dosis die individuen bij jaarlijkse blootstelling aan radioactieve stoffen en ioniserende straling mogen ontvangen.

Behalve de hiervoor beschreven individuele dosis, wordt ook vaak de collectieve dosis gehanteerd als maat bij het vergelijken van de dosisbelasting van specifieke blootgestelde groepen van de bevolking. Deze maat dient volgens de ICRP met de nodige voorzichtigheid te worden ge-

hanteerd. De collectieve dosis is altijd betrokken op een blootgestelde groep en is gelijk aan de over deze groep gesommeerde individuele doses. De eenheid van collectieve dosis is de menssievert (mensSv). Als in bijvoorbeeld een groep van 100 personen iedereen gemiddeld 1 microsievert ontvangt (1 miljoenste sievert), dan is de collectieve dosis van deze groep 100 maal de individueel ontvangen dosis, en dit is 100 micro mensSv.

Bij lage individuele doses zoals die door leden van het publiek worden ontvangen als gevolg van de diverse industriële activiteiten als onderdeel van de splijtstofcyclus (veel lager dan de individuele dosisbelasting door de achtergrondstraling), is de collectieve dosis niet geschikt voor het inschatten van gezondheidsgevolgen van deze activiteit. Bij blootstelling van het personeel betrokken bij handelingen met radioactieve stoffen kan de individuele dosis hoger zijn dan de dosis vanwege de achtergrondstraling. Hier wordt vaak de collectieve dosis van een groep van het personeel dat betrokken is bij een specifieke handeling gebruik als controle van de effectiviteit van de in het kader van ALARA getroffen beschermende maatregelen.

De collectieve dosis voor de bevolking zou wel geschikt zijn voor het vergelijken van de prestaties op gebied van milieubeheer door de jaren heen of het vergelijken van de milieuprestaties van verschillende alternatieven. Omdat er een direct verband is tussen de hoeveelheid geloosde radioactieve stoffen in radiotoxisch equivalenten eenheden (Re) en de collectieve dosis, zou men de totale gezondheidseffecten van industriële activiteiten, die samenhangen met de collectieve doses, onderling kunnen vergelijken door vergelijking van de jaarlijkse lozing in Re's.

## D.2 Dosisbelasting in perspectief

Om de invloed van het al dan niet voortzetten van het productiebedrijf na 2013 op de dosisbelasting in beeld te brengen, moet onderscheid gemaakt worden tussen de dosisbelasting (van de lokale bevolking) als direct gevolg van het productiebedrijf en de dosisbelasting (van de bevolking elders en lokaal) vanwege het aandeel van KCB in de gehele (internationale) splijtstofcyclus.

Deze twee bijdragen tot de dosisbelasting van de bevolking dienen wel in perspectief te worden geplaatst met betrekking tot de overige bijdragen tot de dosisbelasting van de bevolking. Zowel nationaal als internationaal blijken de bijdragen van de splijtstofcyclus tot de dosisbelasting van de bevolking minder dan 1% van de totale dosisbelasting te bedragen, zie Figuur D.1 en Figuur D.2.

In onderstaande tabellen (D 1 en D.2) zijn de diverse dosisbijdragen van stralingsbronnen op wereldschaal gegeven. De belangrijkste dosisbijdragen worden geleverd door exhalatie van radon uit de bodem (50%), straling van af de bodem (21%) en kosmische straling (17%). In totaal ontvangt de gemiddelde wereldburger 2,4 mSv per jaar.

Tabel D.1 *Dosisbelasting van de wereldbevolking door natuurlijke bronnen (UNSCEAR 2000)*

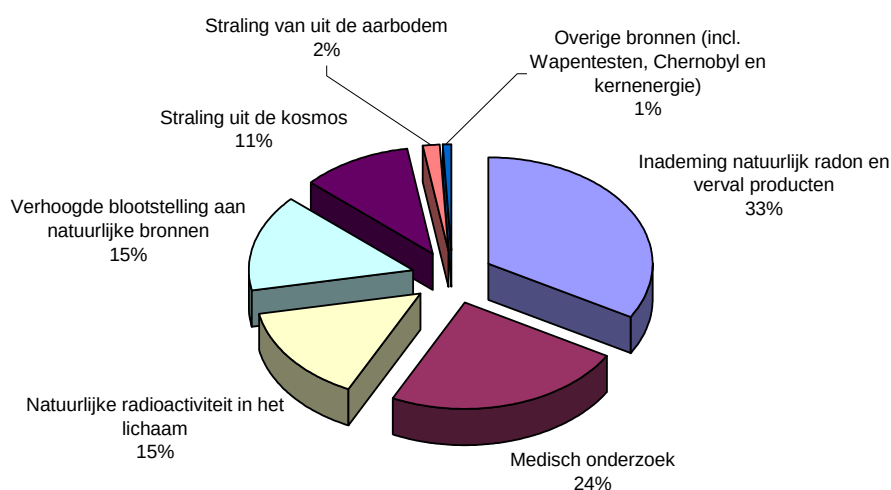
| Natuurlijke stralingsbron       | Mondiaal gemiddelde jaardosis<br>[mSv/jaar] | Jaardosis traject<br>[mSv] |
|---------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|
| Kosmische straling              | 0,4 (17%)                                   | 0,3-1,0                    |
| Gammastraling van de bodem      | 0,5 (21%)                                   | 0,3-0,6                    |
| Emanatie gassen uit de bodem    | 1,2 (50%)                                   | 0,2-10                     |
| Ingestie natuurlijke RA-stoffen | 0,3 (12%)                                   | 0,2-0,8                    |
| Alle natuurlijke bronnen*       | 2,4                                         | 1-10                       |

\* Jaardoses zijn 1-3 mSv voor 65% van de wereldbevolking. Slechts 10% ontvangt jaardoses hoger dan 3 mSv.

Tabel D.2 *Dosisbelasting van de wereldbevolking door kunstmatige bronnen (UNSCEAR 2000)*

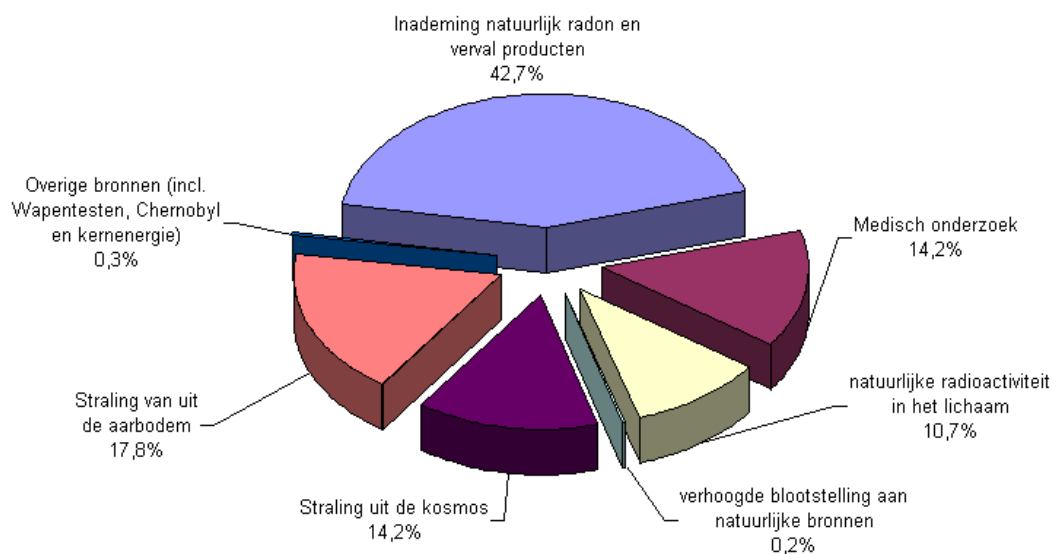
| Kunstmatige stralingsbron | Mondiaal gemiddelde jaardosis<br>[mSv/jaar] | Jaardosis traject<br>[mSv] |
|---------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|
| Wapentesten (1945- 1963)  | 0,005 (41%)                                 | 0,0045-0,0055              |
| Emissies kerncentrales    | <0,0002 (2%)                                | -                          |
| Chernobyl (buiten SU)     | 0,002 (16%)                                 | 0,0-1,2                    |
| Bulk industrie            | 0,005 (41%)                                 | 0,001-0,1                  |
| Alle kunstmatige bronnen* | 0,0122                                      | 0,0055-1,3                 |
| Bronnen voor diagnostiek  | 0,4                                         | 0,1-10                     |

\* Uitgezonderd radiodiagnostiek en radiotherapie.



Figuur D.1 *Stralingsbelasting van Nederlandse bevolking vanuit diverse bronnen*

Noot: Kernenergie zit in post 'overige bronnen' samen met fall out, Tjernobyl en diverse industriële bijdragen. Veruit de grootste post is de inhalatie van radon en vervalproducten. Onder 'externe straling verhoogd...' wordt verstaan: van natuurlijke bron, maar door ons handelen verhoogd, zoals gebruik van bepaald bouw materiaal of het maken van een vliegreis



Figuur D.2 *Stralingsbelasting van de wereldbevolking uit diverse bronnen (UNSCEAR 2000)*

Uit beide figuren blijkt duidelijk dat de in de natuur voorkomende radioactieve stoffen en andere bronnen van ioniserende straling, een groot aandeel hebben in de jaarlijkse dosisbelasting van de wereldbevolking en meer specifiek de Nederlandse bevolking.

Veel voorkomende radioactieve stoffen in de bodem (maar ook ten dele in het menselijk lichaam) zijn kalium-40 en isotopen van uraan en thorium. Veelvoorkomende radioactieve stoffen in de atmosfeer zijn Berillium-7, waterstof-3 en koolstof-14, Radon en vervalproducten. Andere bronnen van ioniserende straling zijn de zon en overige objecten in het heelal (kosmische straling).

Individueel zal de blootstelling aan deze natuurlijke bronnen van ioniserende straling sterk verschillen. Zo zal de bevolking van hooggebergte een hogere dosis ontvangen zowel vanwege de hogere intensiteit van de kosmische straling als van de straling afkomstig van de bodem. Immers graniet en basalt bevatten relatief veel uranium en thorium. Ook leefgewoonte (veel vliegen) of keuze woning (radon in kruipruimten, gebruik van hardsteen) beïnvloeden de individuele stralingsbelasting. Tenslotte speelt ook het welvaartniveau een rol, immers een goede gezondheidszorg gaat meestal gepaard met relatief veel toepassen van straling en radioactieve stoffen ten behoeve van diagnostiek.

Al deze belastingspaden zorgen ervoor dat de gemiddelde wereldburger jaarlijks een dosis van 2 à 3 milliSv ontvangt (gemiddeld 2,4 mSv per jaar aan natuurlijke bronnen en ca. 0,4 mSv door kunstmatige bronnen door medische diagnostiek). De totale dosisbelasting van de 'gemiddelde' Nederlander is circa 2,5 mSv per jaar. Deze waarde wijkt dus niet veel af van de dosisbelasting van een 'gemiddelde' wereldbewoner.

Overigens is de gemiddelde dosis in Nederland lager dan die in de ons *omringende* landen, voornamelijk vanwege het feit dat blootstelling aan radon elders een belangrijkere factor is.

### D.3 Dosisbelasting als gevolg van de splijtstofcyclus gerelateerd aan het aandeel tot deze splijtstofcyclus van KCB-productiebedrijf

Bij het schatten van de dosisbelasting van de bevolking elders door opwerking van gebruikte splijtstof is gebruik gemaakt van de MARINA-studie (MARINA II, 2002) en de studie van dosisevolgen van lozingen door nucleaire installaties EU-landen over de periode 1987 - 1996 (EC-report, Radiation Protection series, 2002) en een rapportage van de ASN.

#### D.3.1 Radioactiviteit in de Noordegope wateren, MARINA-studie

Hier volgt een analyse van de inzichten uit het recentelijk (2002) verschenen MARINA II rapport. Dit rapport geeft inzicht in de lozing van radioactieve stoffen door diverse industrieën in het OSPAR-gebied, hun concentraties en de consequenties voor de mens en het leven in zee. Het rapport voorziet de Europese Commissie van informatie voor haar activiteiten op OSPAR-gebied. In de MARINA studie wordt vastgesteld dat de lozingen van de opwerkingsfabrieken in de afgelopen decennia aanzienlijk zijn gedaald en dat niet-nucleaire activiteiten in en rond het OSPAR gebied de grootste bijdrage aan de stralingsdosis ten gevolge van industriële activiteiten leveren. Voorts wordt gesteld dat er geen aanwijzingen zijn dat schade aan de marine biota wordt toegebracht door de huidige radioactieve emissies.

De belangrijkste onderzoeksresultaten van MARINA-II:

- De overall radiologische impact van de nucleaire industrie is in de periode 1978 - 2000 gedaald van 280 mens Sv/jaar tot 14 mens Sv/jaar. De bijdrage hierin van kernenergiecentrales, splijtstoffabrieken en onderzoeksreactoren is verwaarloosbaar t.o.v. de bijdrage van de opwerkingsfabrieken. De totale impact is gedaald tot het niveau van 1950, toen er nog nauwelijks sprake was nucleaire activiteiten.
- De bijdrage van de fall-out van wapentesten bedroeg in het jaar 2000, 7 mensSv/jaar, terwijl de jaarlijkse dosisbijdrage van de lozing van Chernobyl (ongeval in 1986) bijna verdwenen was.
- De allergrootste bijdrage aan de collectieve dosis door niet-natuurlijke bronnen, wordt geleverd door de niet-nucleaire industrie. Die leverde in 2000 de rest van de circa 220 mens Sv/jaar. (ongeveer 95%). Het betrof met name de olie- en gasindustrie (off shore) en de fosfaat industrie.
- Deze waarde wordt echter ruim overtroffen door de bijdrage uit natuurlijke bronnen uit de zee van circa 17000 mens Sv/jaar en een jaarlijkse collectieve dosis uit alle bronnen van natuurlijke achtergrondstraling van 844000 mens Sv.
- De methode om de impact van radioactiviteit op het leven in de zee te bepalen is nog niet uitontwikkeld. Echter er is geen aantoonbare invloed van de door de industrie vrijgezette radioactiviteit.

De resultaten van de MARINA studie zijn beschouwd door de OSPAR Contracting Parties en dit heeft geleid tot hun aanbeveling tot rapportage van de lozingen van de niet-nucleaire industrie.

### D.3.2 Rapportage van de ASN betreffende dosisbelasting bevolking bij La Hague

De ASN (l'Autorité de Sûreté Nucléaire) is de instantie die namens de Franse overheid toeziet op de nucleaire veiligheid en de stralingshygiëne in het land.

De ASN brengt jaarlijks verslag uit van haar bevindingen. In het jaarrapport van de ASN van 2003 wordt melding gemaakt van een limiet uitgedrukt in een effectieve individuele dosis voor de lokale bevolking van 20 microsievert per jaar, die opgenomen is in de vergunning van Cogema - La Hague. In werkelijkheid is de individuele dosis die zogenoemde referentiegroepen aldaar van de fabrieken ontvangen, niet hoger dan 8 microsievert per jaar, Dit is circa 0,3% van de totale jaardosis (uit natuurlijke en medische bronnen), die ter plekke circa 2500 microsievert bedraagt. Een referentiegroep is gedefinieerd als een groep die representatief is voor de mensen die de hoogste stralingsdosis zullen ontvangen van een bepaalde bron, in dit geval de faciliteiten van Cogema- La Hague.

De bijdrage van met name de opwerking van gebruikte splijtstof tot de collectieve dosis van de bevolking in het OSPAR gebied, blijkt zeer klein ten opzichte van de totale bijdrage van industriële activiteiten die lozen in dit gebied en een bijzonder kleine fractie is van de bijdrage van natuurlijke bronnen. Dit houdt ook in, dat het als na 2013 geen gebruikte splijtstof meer aan La Hague wordt aangeboden, dit een zeer geringe invloed heeft op de collectieve dosisbelasting van de bevolking in het OSPAR-gebied.

Door het voortzetten van de bedrijfsvoering van KCB zal uranium gebruikt blijven worden, die gedeeltelijk direct uit mijnbouw is verkregen. Hierdoor in principe de collectieve dosis van de bevolking die aan uranium-mijnbouwactiviteiten is blootgesteld, toenemen. Dit geldt eveneens voor de dosisbijdrage van het conversieproces, het transport van splijtstoffen, de verrijking van splijtstoffen en de fabricage van splijtstoffen.

In de EU-DG-Environment studie 5, zijn schattingen gemaakt van de jaarlijkse dosis vanwege lozingen van opwerkingsinstallaties in zee. In 1996, het laatste jaar dat in deze studie is beschouwd, was de maximale jaardosis als gevolg van Cap de la Hague 19 microSv voor leden van de meest blootgestelde groep. Voor dezelfde installatie is ook de maximale jaardosis als gevolg van lozingen in lucht geschat. Deze bedroeg 32 microSv. De algemene trend is dat lozingen in oppervlaktewater (zee) in de loop van de tijd zijn afgenomen, maar dat lozingen in lucht relatief zijn toegenomen.

### D.3.3 Studie door de NEA

In de onderstaande tabel met gegevens ontleend aan een studie door de (OECD/NEA, 2000), is de collectieve dosis weergegeven per eenheid van geleverde hoeveelheid energie. Hier is de opwerkingsroute getoond, die relevant is voor Nederland. Bij deze resultaten moet worden opgemerkt, dat de verschillende dosisbijdragen veelal in verschillende gebieden worden ontvangen en door populaties van verschillende grootte. De dosis betreffende de vermogensproductie (kerncentrale) wordt in Nederland ontvangen, van de overige stappen wordt de dosis vrijwel volledig in het buitenland ontvangen.

Tabel D.3 *Collectieve dosis per eenheid geproduceerde energie uit de NEA-studie*

| Stappen                          | Dosis<br>[manSv/Gwa]* |
|----------------------------------|-----------------------|
| Mijnbouw                         | 0,8                   |
| Conversie, Verrijking, Fabricage | 0,0009                |
| Kerncentrale                     | 0,6                   |
| Opwerking                        | 1,2                   |
| Transport                        | -                     |
| Disposal                         | *                     |
| <i>Totaal</i>                    | <i>2,6</i>            |

\* Deze dosis is afgekapd na 500 jaar, waardoor bijdrage van eindberging niet aanwezig is. De KCB produceert 0,45 GWa.

Zoals eerder in deze paragraaf vastgesteld, is het belang van de splijtstofcyclus voor de stralingsbelasting van de bevolking gering. Zie onder andere Figuur D.1 waarin de post 'Overige bronnen' (waarin o.a. kernenergie, fall out, Tsjernobyl en overigen) een aandeel in de individuele dosis neemt van 0.8%. Hierdoor is de stralingsbelasting een niet zo onderscheidende parameter bij de vergelijking van de opties voortzetten en beëindigen bedrijfsvoering.

#### *Toelichting op mijnbouw*

Meer dan de helft van alle uranium wordt gewonnen in Australië en Canada. In 2005 kwam ongeveer 40% van de wereldproductie uit ondergrondse mijnbouw, 27% uit zogenoemde 'open-pit' mijnen, 21% uit 'in-situ leaching' en 12% kon beschouwd worden als productie van uranium als bijproduct van de winning van andere mineralen.

Oorzaak van de stralingsbelasting bij mijnbouw is dat materiaal uit de aardkorst dat van nature radioactief is, aan de oppervlakte komt te liggen. Als de opgeslagen 'tailings' verstuiven en afspoelen dan wordt dit materiaal in de omgeving verspreid. In volume zijn de 'tailings' vergelijkbaar met 'tailings' bij andere vormen van mijnbouw. In het verleden bleef na het sluiten van de mijn een voortdurende belasting van de omgeving in stand omdat de 'tailings' niet werden afgedekt. Tegenwoordig worden deze wel afgedekt en wordt het landschap na beëindigen van een mijnbouwactiviteit hersteld.

Bij het extractie proces 'milling', dat na 'mining' plaats vindt, wordt het erts vermalen, waarna met bepaalde extractiemethoden uraniumverbindingen aan het erts worden onttrokken.

'Milling' wordt steeds meer op de mijnlocatie uitgevoerd (in situ milling of leaching, ISL), hetgeen de milieubelasting belangrijk vermindert. Afval van deze processen wordt lokaal gestort bij de tailings in een afgesloten bekken, hetgeen lekkage naar de omgeving verhindert. Bij sluiting worden deze bekkens afgesloten en worden de 'tailings' met lagen klei en aarde afgedekt en wordt de omgeving gecontroleerd. Alternatieven zijn het drogen van de 'tailings,' waarna de overgebleven vaste stof ondergronds op geringe diepte wordt op geslagen.

Er is steeds meer belangstelling voor het verantwoord omgaan met mijnbouw en deze trend beperkt zich niet tot de winning van uranium. Veel grote mijnbouwbedrijven in Australië, Canada en Kazachstan (de drie grootste producenten) beschikken tegenwoordig over een ISO 14001 certificaat, dat aangeeft dat deze bedrijven een controleerbaar milieuzorgsysteem bezitten.

Recentelijk (2004) betrok EPZ zijn uranium uit Kazachstan, waar ISL een belangrijke manier van mijnbouw is. De installaties waarvan EPZ zijn grondstoffen betreft, zijn ISO 14001 gecertificeerd door bureau Veritas Quality International.

#### D.3.4 Conclusie dosisbelasting van de Nederlandse bevolking door lozingen en externe straling door de KCB

Uit de gegevens van de dosisbelasting van leden van de Nederlandse bevolking, blijkt dat de jaarlijkse dosis die door blootstelling aan straling door lozingen van radioactieve stoffen uit nucleaire installaties in Nederland wordt ontvangen minder dan 0,001 millisievert (mSv) per jaar bedraagt, dat wil zeggen dat is minder dan 1 microsievert per jaar

Kijken we specifiek naar de bijdrage aan de dosisbelasting van de bevolking als direct gevolg van het productiebedrijf bij Borssele, dan bedraagt deze bijdrage op basis van gemiddelde jaarlozingen gedurende de laatste 10 jaar in lucht en in water die minder dan 5% van de vergunningslimiet bedragen (0,04 microsievert voor lozingen in lucht en 0,002 microsievert voor lozingen in water). Daarnaast kan door blootstelling aan externe straling nabij het hek jaarlijks maximaal 0,1 microsievert worden ontvangen (indien iemand daar echt woont).

Ook is een schatting gemaakt van de maximale dosis die een omwonenden tengevolge van transporten van gebruikte splijtstof zou ontvangen, deze dosis bedraagt 0,6 - 0,9 microsievert per jaar (MER KCB 2004).

De totale dosisbijdrage door lozingen is minder dan 0,002 % van totale dosisbelasting van een gemiddeld lid van de Nederlandse bevolking. Ten opzichte van de blootstelling aan andere bronnen zoals radon in woningen of medische diagnostiek, is de bijdrage van deze lozingen gering.

Op basis van de kleine directe bijdrage van het productiebedrijf van KCB tot de dosisbelasting, moge het duidelijk zijn dat het wel of niet beëindigen van het productiebedrijf bij KCB weinig invloed heeft op de stralingsbelasting van de Nederlandse bevolking, zie ook eerdere opmerkingen over het verminderen van de collectieve dosis door het niet in gebruik nemen van vervangend vermogen in de vorm van fossielgestookte centrales.

De conclusie is daarom dat voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB na 2013 weinig invloed zal hebben op de volksgezondheid in Nederland. Ook in het buitenland is deze invloed gering gezien het kleine aandeel van de KCB (9 ton splijtstof per jaar) in de totale splijtstofcyclus binnen Europa.



#### D.4 Dosisbelasting werkers

De stralingsbelasting van het personeel van de KCB wordt overeenkomstig het Besluit stralingsbescherming bewaakt en door het treffen van diverse maatregelen overeenkomstig ALARA zo veel mogelijk beperkt. In de loop der jaren zijn door diverse maatregelen, met name het beperken van activeringsproducten in het primaire koelmiddel de doses sterk gedaald.

De stralingsbelasting in termen van collectieve dosis bedraagt de laatste jaren gemiddeld 0,3 mansievert per jaar.

Na het eventueel beëindigen van het productiebedrijf en afvoer van de gebruikte splijtstof zal de jaarlijks gecumuleerde collectieve dosis nog gering zijn.

Door voorzetting productiebedrijf zal de totale activering van het reactorvat en andere constructiedelen nabij het reactorvat toenemen. Dit heeft een gering effect op de dosis die het personeel tijdens normaal bedrijf ontvangen, omdat het merendeel van de dosisbelasting dan het gevolg is van de kort-levende activerings- en splijtingproducten.

Wel wordt verwacht dat dosisbelasting door onderhoudswerkzaamheden ietwat kan toenemen, door meer gecumuleerde activeringsproducten in de afvalverwerkingssystemen en een hoger stralingsniveau nabij de reactor vanwege de activering.

## Bijlage E Afvalbeheer

Eerder zijn door NRG de ontwikkelingen betreffende de eindverwerking van gebruikte splijtstof en hun impact voor de Nederlandse situatie gerapporteerd (NRG, 2005), met vooral aandacht voor de verschillen tussen twee opties: de huidige praktijk (met opwerking van gebruikte splijtstof) en een alternatief (directe opslag van gebruikte splijtstof). De bevindingen van de NRG-studie zijn samen met informatie uit andere bronnen later door het Ministerie van VROM gerapporteerd aan de Tweede Kamer (VROM, 2005). In het voorliggende rapport ligt de nadruk gezien de onderzoeksvraag op de invloed van de duur van bedrijfsvoering van de kernenergiecentrale te Borssele (de KCB) op diverse aspecten van het afvalbeheer. Deze bijlage geeft aanvullende informatie bij Paragraaf 4.4 (Afval-nucleair).

### E.1 Beleid en voorzieningen in Nederland

Uitgangspunt is dat al het radioactief afval wordt opgeslagen volgens de zogenoemde IBC criteria; Isoleren, Beheersen en Controleren. De uitvoering van het radioactief afvalbeleid is in handen gegeven van de COVRA NV, de 'Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval'. COVRA is de enige door de overheid erkende organisatie die radioactief afval mag inzamelen en opslaan.

Op het terrein van deze organisatie zal al het radioactieve afval langdurig (tenminste 100 jaar) bovengronds worden opgeslagen. Deze vorm van opslag wordt ook wel interim opslag genoemd.

Er is in Nederland nog geen beslissing genomen over wat er met het afval na deze periode moet gebeuren. Wel is onderzoek gaande naar het opslaan van dit type afval in een ondergrondse berging in geologisch stabiele lagen. Een dergelijke ondergrondse voorziening noemt men wel een 'eindberging'. In enkele Europese landen zijn dit soort zogenoemde eindbergingen in aanleg en/of wordt hiermee geëxperimenteerd. Nederland werkt op het gebied van eindberging samen met andere partners in Europese onderzoeksprojecten. Tevens participeren Nederlandse adviseurs en onderzoekers in commerciële projecten voor buitenlandse overheden en bedrijven.

Veel van het laag- en middelactieve afval zal overigens na de voorziene lange periode van bovengrondse interim opslag, zodanig veel van zijn radioactiviteit verloren hebben, dat dit zal mogen worden afgevoerd als niet-radioactief afval. Dit afval zal dus niet in een eindberging belanden en zal zelfs voortijdig de huidige bovengrondse interim-opslag mogen verlaten. Nu al experimenteert COVRA met het selecteren en afvoeren van dit afval, dat vrijgegeven mag worden. Zodra de selectiemethoden zijn geperfectioneerd, kan COVRA hiermee zijn toekomstige kosten van interim-opslag en eindberging enigszins gaan verkleinen.

#### *Interim opslag voorzieningen in Nederland en mogelijke uitbreidingen daarop*

Het laag- en middelactieve afval verblijft in bovengrondse loodsen op het COVRA terrein. Het hoogactieve afval wordt opgeslagen in het zogenoemde HABOG. Dit bunkerachtige gebouw is geschikt voor de ontvangst van gebruikte splijtstof van de onderzoeksreactoren en afval afkomstig uit de opwerking van gebruikte splijtstof van de centrales te Dodewaard (de KCD) en Borssele (de KCB). Het gebouw is niet geschikt voor de directe opslag van gebruikte splijtstofelementen van de kernenergiecentrale.

Volgens opgave van de COVRA is er in het HABOG voldoende opslagcapaciteit voor het opwerkingsafval afkomstig van de productie van de KCB tot en met 2007. Dit jaartal heeft geen absolute waarde omdat de afvalproductie uiteraard afhangt van de werkelijke efficiency van het

opwerkingsproces en van de werkelijke gemaakte bedrijfsuren van de KCB. Het HABOG kent vaste opslagposities waarvan aanpassing niet mogelijk is. Er kan dus in de huidige situatie niet meer in het HABOG dan in het ontwerp voorzien is. Voor de productie van de KCB tot 2013 zal uitgebreid moeten worden, en natuurlijk indien KCB na 2013 de bedrijfsvoering voortzet.

Het HABOG is modulair uitbreidbaar. De bouw van HABOG heeft ongeveer 125 miljoen Euro gekost. Voor een uitbreiding ten behoeve van de opslag van containers met verglaasd hoog actief afval zal beduidend minder geld nodig zijn. Voor een opslagmodule die ruimte biedt aan afval die behoort bij een elektriciteitsproductie door KCB tussen 2007 tot en eind 2033, dient volgens COVRA rekening te worden gehouden met een prijsniveau van circa 30 miljoen Euro. Echter omdat dan sprake is van een veel langere periode waarover afval in het HABOG wordt gebracht (een langere exploitatiefase) kan mogelijk worden geoptimaliseerd in de opslagconfiguratie, en daarmee kosten worden bespaard. Afval dat al voldoende is afgekoeld kan dicht bij elkaar staand worden opgeslagen en daardoor kan de nieuw te bouwen opslagruimte mogelijk worden verkleind. De kosten zijn uiteraard veel lager dan de oorspronkelijke bouwkosten van het HABOG, omdat alleen opslagruimte moet worden gebouwd en geen ontvangst- en behandelingsruimte.

Meer over noodzakelijke uitbreiding van het HABOG, is te lezen in Paragraaf F.4 'Invloed bedrijfsduur KCB op aspecten van radioactief afvalbeheer'.

In de studie van NRG van april 2005, is uitgebreid aandacht geweest voor de bestemming van het plutonium (Pu, circa 0,1 ton per jaar) en uranium uit opwerking (de zogenoemde REPU). Er is aan de hand van lopende contracten vastgesteld, dat het Pu van de KCB is verkocht en dus niet terugkeert naar Nederland. Het REPU is deels weer ingezet bij de KCB en deels verkocht. Uit communicatie met de bedrijver van de KCB (EPZ) in oktober 2005, is gebleken, dat ook voor de periode na 2013 via contracten is zeker gesteld dat Pu wordt verkocht en niet zal terugkeren. Gezien de ervaringen sinds de jaren '70 van de twintigste eeuw, meent EPZ ook na 2013 de combinatie van hergebruik en verkoop van REPU succesvol te kunnen continueren. Voor de producten REPU en Pu is dus in Nederland geen extra opslagruimte noodzakelijk.

#### *Nederlands eindbergingsconcept met 'terugneembaarheid'*

Er is in Nederland nog geen beleid vastgesteld voor de behandeling van het radioactieve afval bij COVRA, na de voorziene periode van interim opslag. Verlenging van de periode van interim opslag, geologische eindberging of mogelijk andere alternatieven behoren dus tot de mogelijkheden, op dit gebied is nog geen keuze gemaakt.

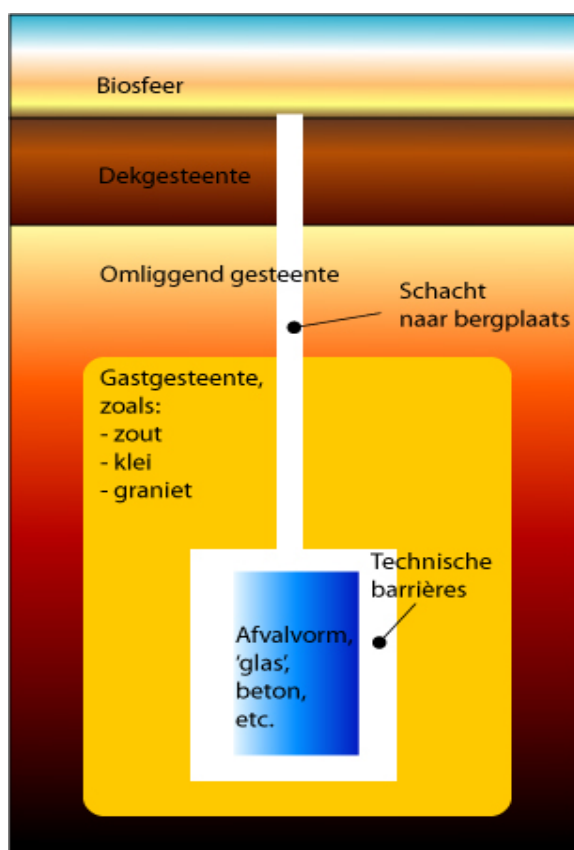
Mocht het afval ooit in een geologische berging worden geplaatst, dan dient dat wel volgens het Nederlandse beleid in eerste instantie 'terugneembaar' te gebeuren. Dat wil zeggen, dat het mogelijk moet zijn het gedurende een bepaalde periode uit de eindberging terug te halen. Het idee hierachter is, dat men hiermee de tijd heeft zich nog te bedenken, als bijvoorbeeld door het voortschrijden van de techniek betere oplossingen zich aan mogen bieden.

Het concept van terugneembaarheid heeft mede dankzij Nederland, ook elders in de wereld aanhangers gekregen. Er zijn diverse opbergconcepten voor de veilige opberging van radioactief afval. Allen gaan zij in het kader van 'Isoleren' uit van een ontwerp met meerdere barrières ('defense in depth') tussen het radioactieve afval en de leefomgeving van de mens (de 'biosfeer'). In Figuur E.1 is het principe van het multi-barrière concept weergegeven. Met 'gastgesteente' wordt het gesteente bedoeld, waarin de eigenlijke berging wordt aangelegd. Indien een eindberging in Nederlandse zou worden aangelegd, zou het gastgesteente een klei- of een steenzoutformatie kunnen zijn.

De vele 'barrières' tussen de het afval en de leefomgeving van de mens, zorgen ervoor, dat radioactieve stoffen, mochten zij vrij komen uit de verpakking, op weg naar de biosfeer vertraagd

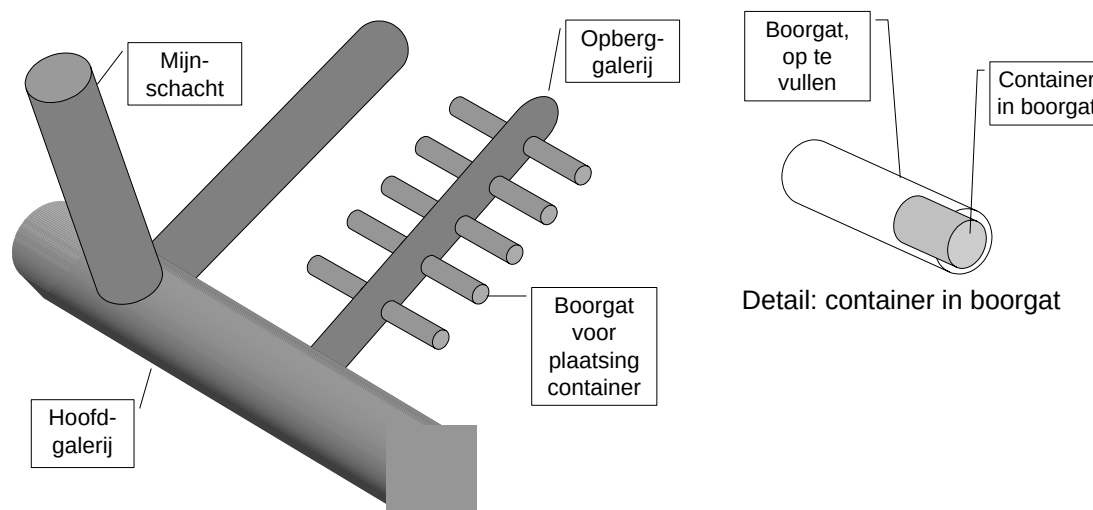
en verdund worden. Bovendien verliezen de stoffen tijdens deze reis steeds meer radioactiviteit en daarmee hun schadelijkheid, waardoor de uiteindelijke mogelijke blootstelling van de bevolking beneden de toegestane waarden blijft.

In het CORA-programma (CORA, 2001) is veel aandacht geweest voor veiligheidsanalyses van diverse opbergconcepten in zeer diep gelegen zout- of kleilagen. In de CORA-analyses is ook rekening gehouden met (gepostuleerde) scenario's waarbij de natuurlijke processen verstoord worden, bijvoorbeeld door onderlopen van een opbergmijn met grondwater. De maximale stralingsdosis voor de bevolking wordt in een dergelijk scenario volgens de analyses honderdduizend jaar na de gepostuleerde verstoringen of later bereikt. Deze dosis is op dat moment een minder dan 1% van de bijdrage van de natuurlijke achtergrondstraling (d.w.z. minder dan 1% van 2,5 mSv/jaar).



Figuur E.1 *Principe van het multi-barrière systeem voor een eindberging.*

Noot: De schacht verdwijnt na de definitieve sluiting van de eindberging. De afvalvorm, zoals 'verglaasd' afval, is op zich al een goede eerste barrière.



Figuur E.2 *Principe van een eindberging voor hoogactief afval in steenzout*

Noot: Containers worden aangevoerd via de mijnschacht en gaan via de hoofdgalerij naar opberggalerijen. In de opberggalerijen, waarvan er hier één getoond is, worden de containers in boorgaten geplaatst. Deze boorgaten worden daarna opgevuld. Boven de eindberging bevindt zich een zoutlaag van enkele honderden meters dikte.

### *Alternatieven voor opwerken*

Af en toe is er discussie over de verwerkingsoptie die in Nederland gekozen is voor gebruikte splijtstof, de optie van opwerking. Dit onderwerp stond centraal in de (in april 2005) gerapporteerde studie van NRG (NRG, 2005). Uit deze studie kan geconcludeerd worden dat er in termen van milieu, non-proliferatie en economie, in de Nederlandse situatie geen voordelen zijn te behalen uit het veranderen van eindverwerkingsoptie. Het alternatief zou zijn direct opslaan van gebruikte splijtstof. Hiervoor zou eerst een conditioneringsfaciliteit moeten worden gezocht of gebouwd, die het materiaal in een toestand kan brengen, die geschikt is voor langdurige bovengrondse interim opslag, gevolgd door geologische eindberging. Ook zou een interim opslag moeten worden geconstrueerd, die ruwweg dezelfde veiligheidskenmerken zou moeten hebben als het huidige HABOG, maar wel een andere ontwerp en afmeting zou moeten hebben vanwege de andere dimensies van bestraalde splijtstof. De kosten van een dergelijk interim-opslaggebouw, inclusief voorzieningen voor ontvangst en manipulatie van containers, zal in dezelfde orde van grootte liggen als die van het HABOG.

Conditioneringsfaciliteiten zijn in aanbouw in Scandinavië, omdat daar eindbergingsfaciliteiten aangelegd worden voor gebruikte splijtstof. Hierover is uitgebreid bericht in de studie van NRG van april 2005. De splijtstof wordt in een vorm gebracht, die past bij het eindbergingsconcept aldaar (opslag in graniet). Het is niet zeker of deze conditioneringsmethode geschikt zou zijn voor de Nederlandse splijtstof, waarvoor nog geen definitief eindbergingsconcept is gekozen. Daarom kan er niet a-priori van uitgegaan worden dat voor Nederlandse splijtstof een beroep kan worden gedaan op buitenlandse conditioneringsinstallaties. Technische problemen kunnen weliswaar opgelost worden, maar niet zonder meerkosten. Daarnaast zijn er barrières van wettelijke en politieke aard. Deze verhinderen (voorlopig) zelfs het delen van een conditioneringsfaciliteit door Zweden en Finland, terwijl deze landen hetzelfde eindbergingsconcept hebben<sup>47</sup>.

### *Onderzoek als onderdeel van het overheidsbeleid*

Het beleid van de overheid voorziet in onderzoek naar de veilige berging van radioactief afval in de diepe ondergrond. Hierbij wil men aansluiten bij Europees onderzoek (de zogenoemde Kader Programma's) en tevens participeren in een buitenlandse ondergrondse testfaciliteit, ook wel een 'Underground Research Laboratory' (URL) genoemd. Nederlandse onderzoeksinstel-

<sup>47</sup> Personal Communication, oktober 2005 in Helsinki met het 'Ministry of Trade and Industry' van Finland.

lingen werken met betrekking tot praktisch onderzoek in ondergrondse testfaciliteiten al jaren samen met partijen in de buurlanden Duitsland (steen-zout) en België (klei). De samenwerking met België (met een URL in de plaats Mol) is van recente datum en is interessant omdat daarmee in Nederland nog weinig ervaring is opgedaan. Mocht er een opvolging komen van het succesvolle CORA-programma, dat in 2001 is afgesloten, dan ligt het voor de hand de samenwerking met de Belgische onderzoekers in de URL te Mol te intensiveren.

De expertise van de Nederlandse deskundigen manifesteert zich niet enkel in onderzoeksprogramma's, maar ook in (commerciële) dienstverlening aan buitenlandse bedrijven en overheden.

## E.2 Kosten van eindberging en toekomstige multinationale oplossingen

### *Kostenschattingen*

In het CORA programma zijn verkennende berekeningen uitgevoerd om de kosten van een geheel Nederlandse eindberging in zout- of kleilagen te bepalen. In 2001 werd gerapporteerd dat deze in prijspeil 1994 tussen de 280 miljoen Euro (eindberging in zout) en 400 tot 800 miljoen Euro (eindberging in klei, met optimalisatie van ontwerp) zouden liggen. Om terugneembaarheid te garanderen zou nog jaarlijks aan onderhoudskosten circa 1,8 miljoen Euro per jaar (prijspeil 1994) besteed moeten worden. Voor omrekening naar andere jaren moet men een inflatiecorrectie toepassen. In de Nederlandse situatie moet COVRA het eindbergingsfonds beheeren. In een schatting uit 2004 heeft COVRA het raambedrag voorzichtigheidshalve op 1274 miljoen Euro gezet, berekend op prijspeil 2002. COVRA gaat er bij de opbouw van haar fonds vanuit, dat een reële rente van 3% haalbaar moet zijn. Dit lijkt een conservatieve (voorzichtige) schatting, gezien de lange periode van fondsopbouw (meer dan honderd jaar) waarover gerekend mag worden.

### *Benutten van schaalvoordelen - rekenvoorbeeld*

Op zich is Nederland een bijzonder kleine producent van radioactief afval, zodat samenwerking met andere landen uit kosteneffectief oogpunt verstandig zou zijn. De kosten van een eindberging zijn namelijk niet evenredig met de hoeveelheid daar te bergen afval. De kosten hangen voor een groot deel af van de aan te leggen infrastructuur, de mijnschacht naar de eindberging op grote diepte en de ondergrondse hoofdgaleries. In feite dalen de kosten per kubieke meter afval, met de hoeveelheid te bergen afval. Zo bezien maakt een groter aanbod van afval voor een bepaalde eindberging, deze relatief goedkoper. In het Beleidsstandpunt van de Staatssecretaris van (VROM, 2002), wordt daarom ook gesteld:

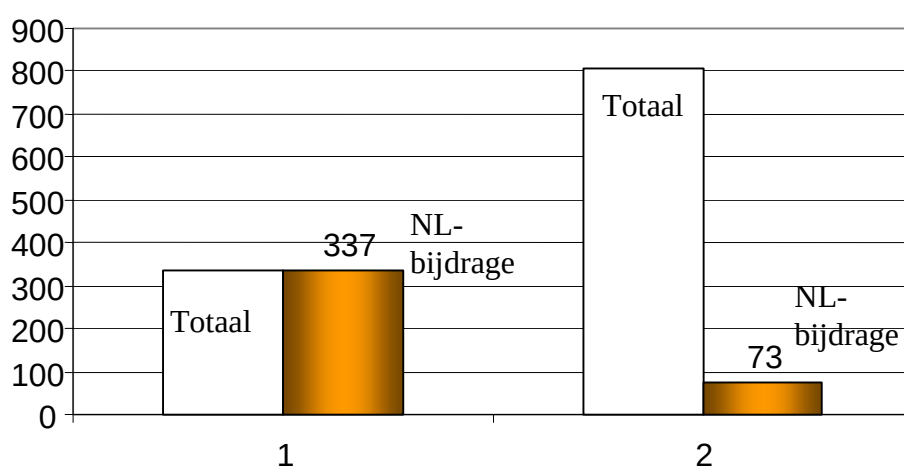
*“Er wordt bovendien naar gestreefd om zo mogelijk deze eindberging gemeenschappelijk met andere landen te bedrijven. Dit verzekert enerzijds dat het aantal van deze eindbergingen kan worden beperkt tot de meest optimale locaties en anderzijds dat zij efficiënter te exploiteren zijn.”*

Deze mening wordt door de meeste deskundigen op het gebied van eindberging gedeeld. In 2003 kwamen bij het Atoomagentschap van de VN (de IAEA) de landen bijeen, die partij zijn bij de ‘Joint Convention’ betreffende het veilig beheer van radioactief afval en gebruikte splijtstof. Bij die gelegenheid werd door vertegenwoordigers van diverse landen gepleit voor het verkennen van de mogelijkheden voor regionale samenwerking. Er bestond wel de indruk, dat de behoefte daartoe vooral bestond bij landen, die een relatief klein nucleair programma hebben.

Het is interessant te zien wat schaalvoordeel voor de kosten van een eindberging kan betekenen. Stel Nederland kan samenwerken met een land dat beschikt over een nucleair vermogen dat ongeveer tien maal dat van Nederland bedraagt. Hierbij gaan we er van uit dat het andere land even lang centrales in bedrijf heeft als Nederland en ongeveer 10 maal zoveel gebruikte splijtstof heeft geproduceerd als Nederland. Bij evenredige verdeling van de kosten zou Nederland

ongeveer 9% van de kosten van de aanleg en het onderhoud van de faciliteit moeten betalen. Natuurlijk zou dit percentage onderdeel van de onderhandelingen zijn, waarbij het ook uitmaakt waar de eindberging gerealiseerd zou worden. Bij samenwerking met nog meer landen, zou het schaalvoordeel nog meer economisch voordeel op gaan leveren.

Bij meer afval is een grotere en dus duurdere eindberging nodig. De prijs van een dergelijke berging is echter niet evenredig met de hoeveelheid te bergen materiaal. In de kostenberekening moet voornamelijk geschaald worden op de posten aanleg ondergrondse infrastructuur en bergen van het afval in de aangelegde structuur, maar niet op dure posten als de bovengrondse voorzieningen en liftschachten en bijbehorende faciliteiten. In de volgende figuur wordt dit gedemonstreerd voor een eindberging in steenzout. De totale kosten van een grote berging van afval van twee landen zijn in absolute zin wel groter dan die van een nationale berging. Omdat in het rekenvoorbeeld het theoretische aandeel hierin van Nederland slechts ongeveer 9% is, wordt toch ongeveer 80% bespaard ten opzichte van een nationale oplossing.



Figuur E.3 *Rekenvoorbeeld met de kosten van een eindberging in steenzout, met het aandeel van Nederland (gearceerd) daarin en het effect van schaalvoordeel*

Noot: Bij (1) de nationale oplossing, waarbij Nederland 100% van de kosten draagt, hier 337 Meuro gebaseerd op cijfers van CORA, omgerekend naar prijspeil 2002. Bij (2) de internationale oplossing, waarbij Nederland ongeveer 9% van de in absolute zin duurdere internationale berging betaalt, hetgeen ongeveer 80% besparing oplevert ten opzichte van een nationale oplossing.

### *Uitzicht op internationale oplossingen*

Op dit moment lijkt een internationale eindberging, die door schaalvoordelen economisch te prefereren is boven een nationale oplossing, nog niet tot de politieke mogelijkheden te behoren. Maar met de voortschrijdende integratie in de Europese Unie zal een multinationale aanpak in de toekomst waarschijnlijker worden. Ook initiatieven van de IAEA, zoals de Multilateral Nuclear Approach (MNA), kunnen bijdragen aan de acceptatie van een multinationale berging. In de MNA streeft men naar een gemeenschappelijk gebruik van nucleaire faciliteiten door meerdere landen, onder mogelijk gemeenschappelijk beheer en toezicht. Met de nodige lange-termijn garanties op te leveren diensten door centrale faciliteiten, kan het economisch aantrekkelijk zijn voor landen om af te zien van het bouwen van eigen faciliteiten. Dit kan, indien het initiatief wereldwijd aanslaat, gunstig zijn voor het handhaven van het regime van non-proliferatie doordat er dan minder faciliteiten toezicht behoeven, met als gunstig neveneffect kostenbesparing.

## E.3 P&T en afvalbeheer

Wereldwijd wordt er onderzoek gedaan naar de mogelijkheden voor recycling van actiniden en splijtingsproducten. In de huidige opwerkingsstrategieën wordt het uranium en plutonium afgescheiden en hergebruikt, de splijtingsproducten en de zogenoemde ‘minor actinides’<sup>48</sup> worden verglaasd. Deze verglaasde materialen zijn daarmee in principe ongeschikt voor verdere recycling.

In geavanceerde ‘partitioning and transmutation’ (P&T) opwerkingsstrategieën wordt ook de recycling van ‘minor actinides’ en van een aantal splijtingsproducten beschouwd. ‘Partitioning’ is het chemisch afscheiden van de relevante actiniden en splijtingsproducten. ‘Transmutation’ is het omzetten van langlevende radioactieve nucliden (vervaltijd orde-grootte 100.000 jaar) naar kortlevende (vervaltijd orde-grootte 100 jaar) of stabiele nucliden. Het doel van ‘partitioning and transmutation’ is het verkleinen van de schadelijkheid van het radioactief afval. Dit wordt bereikt door selectieve afscheiding van een aantal relevante nucliden - welke de grootste bijdrage leveren aan deze schadelijkheid - en deze vervolgens in een geschikte vorm in een reactor te brengen. De relevante splijtingsproducten zijn technetium, jodium en cesium. Relevante actiniden zijn plutonium, americium en curium.

P&T vereist aangepaste of uitgebreide opwerkingsfaciliteiten voor de separatie (partitioning) van splijtingsproducten en actiniden. Als tweede stap zijn faciliteiten nodig, waarin deze afgescheiden producten omgezet kunnen worden in zogenoemde te bestralen ‘targets’ dan wel in nieuwe splijtstoffen voor gebruik in kernreactoren. Als derde stap zijn faciliteiten nodig, waarin de transmutatie kan plaats vinden. Dit kunnen snelle reactoren zijn, dan wel versneller-gedreven sub-kritische reactoren, ook wel ADS genoemd (Accelerator Driven System).

De plannen met P&T hebben een relatie met de plannen voor nieuwe typen reactoren. Verschillende typen reactoren stellen verschillende eisen aan de splijtstof die zij kunnen gebruiken. De producten uit geavanceerde opwerking (‘partitioning’) moeten hierop afgestemd worden.

De tijdschalen voor introductie van innovatieve P&T strategieën zijn niet eenvoudig te ramen. In het algemeen zou men rekening moeten houden met enkele decennia voor onderzoek en ontwikkeling, vergunningverlening en realisatie van deze innovatieve methoden. De commerciële introductie van innovatieve P&T methoden op industriële schaal is daarom niet in het komende decennium te verwachten. Wel is het duidelijk dat er door veel Europese instanties stevig wordt ingezet op P&T. Er zijn zelfs plannen om te komen tot een pilot plant (proeffabriek), te bouwen voor de eerste stap van P&T, partitioning.

Volgens de ‘Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems’ (2002) voorziet men als toepassingen van Generation IV reactoren, behalve grootschalige elektriciteitsopwekking, vanaf 2025 ook transmutatie van actiniden uit het afval van oudere reactoren. Een recent rapport door het Franse parlementaire bureau voor de evaluatie van wetenschappelijke en technologische opties (OPESCT)<sup>49</sup> stelt voor huidige studies op laboratorium schaal betreffende scheidingsprocessen (‘partitioning’) nog een decade voort te zetten. Deze onderzoeksfase dient gevolgd te worden door demonstraties op ‘industriële schaal’ te beginnen rond 2015, en weer een decade te duren, dus tot circa 2025. Het rapport geeft niet aan gedurende welke termijn er een proefinstallatie (een zogenoemde ‘pilot plant’) voorafgaand daaraan in bedrijf moet zijn. Een dergelijke installatie is de ‘brug’ tussen experimenten op laboratoriumschaal en tests op industriële schaal.

Gezien de hierboven geschetste ontwikkelingen is het aannemelijk dat voor de gebruikte splijtstof van de KCB, industriële implementatie van P&T waarschijnlijk te laat zal komen. Zelfs indien P&T over twintig jaar in Europa op beperkte schaal gerealiseerd zou zijn, is het niet zeker

---

<sup>48</sup> De minor actinides zijn de elementen Neptunium, Curium en Americium.

<sup>49</sup> Office Parlementaire d’Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, Rapport sur l’Etat d’Avancement et les Perspectives des Recherches sur la Gestion des Déchets Radioactifs, Assemblée Nationale, 16.03.2005.



of het dan interessant zou zijn voor de bedrijver van de KCB (EPZ), om af te wijken van de beproefde en veilige route van opwerking en interim opslag in het HABOG, met mogelijk uitzicht op geologische eindberging.

#### E.4 Invloed bedrijfsduur KCB op aspecten van radioactief afvalbeheer

Als een kerncentrale langer in bedrijf is, produceert deze naast meer CO<sub>2</sub>-arme elektriciteit, tevens meer radioactief afval. Hieronder worden diverse punten uitgewerkt, die een relatie met de bedrijfsduur hebben.

##### *HABOG uitbreiding*

Ook als KCB per eind 2013 zou moeten sluiten, is uitbreiding van de capaciteit van het HABOG nodig. Dit betekent de aanleg van een module voor de opslag van warmte producerend hoog-radioactief afval. Mocht de bedrijfsduur in principe verlengd worden tot en met het jaar 2033, dan is het wel zo verstandig om deze module meteen de capaciteit te geven die daarvoor nodig is, omdat één maal uitbreiden meestal goedkoper is dan tweemaal uitbreiden. De kosten van een extra module worden door COVRA geschat op circa 30 miljoen Euro. Als er zoveel langer afval in het HABOG gebracht gaat worden, is er wel de mogelijkheid tot optimalisatie van de opslagconfiguratie, hetgeen de kosten kan drukken. Afval dat voldoende is afgekoeld kan namelijk dichter bij elkaar staand worden opgeslagen en daardoor kan de te bouwen opslagruimte mogelijk worden verkleind.

Uitbreiding van het HABOG moet in een overleg tussen COVRA en EPZ, de bedrijver van de KCB, geregeld worden. Hierbij is het wellicht zinvol andere gebruikers van het HABOG te betrekken bij het overleg. Voor de hand liggende gesprekpartners zijn bedrijvers van onderzoeksreactoren, die wellicht ook extra opslagruimte nodig hebben.

Planning, opzet projectorganisatie, vergunningentraject en bouw zal volgens schattingen van COVRA ongeveer tien jaar in beslag nemen. Dit vertegenwoordigt geen probleem ten aanzien van de logistiek van de terugkeer naar Nederland van opwerkingsafval. Dit materiaal komt met een vertraging van vele jaren naar Nederland, waarbij de indruk bestaat dat over het tempo van de aanvoer onderhandeld kan worden.

Het langer ‘open zijn’ van het HABOG brengt ook enige exploitatiekosten met zich mee, die door de gebruikers van deze faciliteit zullen worden gedragen.

Recentelijk is de kerncentrale overgegaan op een hogere verrijking van haar splijtstof (4,4%). Hierdoor kan de centrale efficiënter met haar splijtstof omgaan en behoeven per jaar minder splijtstofelementen te worden verwisseld. Dit resulteert ook in een geringere afvalproductie uit opwerking. De hoeveelheid te verwerken restjes van pijpjes en andere metalen componenten van de splijtstofelementen neemt namelijk af.

Recente ontwikkelingen bij Cogema met betrekking tot compactering van niet-warmteproducerend afval uit opwerking, zullen de jaarproductie van KCB van dit type afval de komende jaren verder kunnen gaan verkleinen. Dit betekent dat de hiervoor gereserveerde ruimte in het HABOG, voor meer jaren zal volstaan dan begroot. De precieze omvang van de besparing is op dit moment nog niet te geven.

##### *Invloed bedrijfsduur KCB op de nationale infrastructuur voor het beheer van radioactief afval*

Sluiting van de KCB na 2013 betekent voor COVRA vermindering van het afvalaanbod en dus vermindering van inkomsten. Als consequentie zal COVRA in dat geval tot inkrimping (halvering) van de organisatie moeten overgaan. Punten van zorg daarbij zijn of een voldoende grote

organisatie overeind gehouden kan worden en of een voldoende kennisniveau in Nederland aanwezig blijft voor uitvoering en toezicht. Deze punten zijn reeds behandeld in het Beleidsplan van COVRA voor de periode 2003-2015, waarin werd aangenomen dat KCB eind 2013 zou sluiten.

Bij sluiting van de KCB zal ook bij de overheid een personeelsreductie ter sprake komen voor diensten die zich bezig houden met toezicht op nucleaire faciliteiten. Toch zal, omdat er altijd radioactief afval zal zijn, (ook uit de niet-nucleaire sector) enige kennis hierover in stand moeten worden gehouden. Dat kan bij een afgeslankte overheidsdienst, maar ook bij andere instellingen die de overheid kunnen adviseren.

#### *Invloed bedrijfsduur KCB op de bekostiging van een eindberging*

In Paragraaf F.2 is getoond wat de invloed van de schaal van een eindberging op de prijs van een dergelijke onderneming heeft. Naarmate de hoeveelheid te bergen afval toeneemt, daalt de prijs per eenheid te bergen afval. Mocht KCB na 2013 de bedrijfsvoering voortzetten, dan zal COVRA hieruit inkomsten genereren, waarmee het fonds voor de constructie van een eindberging kan worden versterkt.

De initiatieven van de Multilateral Nuclear Approach zijn al eerder in deze Bijlage toegelicht. Hierbij werd opgemerkt dat deze zeker ten aanzien van eindberging een economisch voordeel bieden boven nationale oplossingen, maar dat deze in Europa niet op korte termijn te voorzien zijn. Echter met de toenemende integratie binnen de Europese Unie is het denkbaar dat multilaterale oplossingen politiek haalbaar worden, waarmee een aanzienlijke kostenreductie gerealiseerd kan worden, naast de voordelen ten aanzien van safeguards in het kader van het NPT.

## Bijlage F      Non-proliferatie en beveiliging - internationale afspraken

In deze sectie zal voornamelijk ingegaan worden op relatief recente internationale afspraken of initiatieven die het non-proliferatie regime kunnen verstevigen.

Na een kort resumé van recente Nederlandse rapportages betreffende non-proliferatie, wordt ingegaan op het verdrag betreffende 'Non-Proliferation of Nuclear Weapons' (NPT) en de recente uitbreiding daarop. Daarna worden enkele recente initiatieven behandeld, die de kans op inbreuken op het non-proliferatie regime door 'state actors' (landen) en non-state actors (zoals terroristen) verder moeten verminderen. Voorbeelden daarvan zijn de MNA (Multilateral Nuclear Approach), het PSI (Proliferation Security Initiative) en de 'Security Council Resolution 1540' oftewel de UNSCR 1540. Verder is er aandacht voor het thema 'dirty bomb' dat soms ten onrechte exclusief verbonden wordt geacht met de nucleaire splijtstofcyclus. Tenslotte wordt het belang van de geschetste ontwikkelingen voor de Nederlandse situatie tot en voorbij 2013 beschouwd.

### F.1      Resumé recente rapportages betreffende non-proliferatie

In april 2005 is door NRG en Clingendael (NRG, 2005) uitgebreid gerapporteerd over non-proliferatie en de kans op mogelijke inbreuken daarop in de Nederlandse situatie (opwerking van gebruikte splijtstof) en een alternatief daarvoor (directe opberging van gebruikte splijtstof). Deze resultaten en die uit andere bronnen zijn door de Staatssecretaris van VROM gerapporteerd aan de Tweede Kamer, onder andere in de notie van het Ministerie van VROM 'Bedrijfsduur kerncentrale Borssele' (VROM, 2005). Geconcludeerd werd dat het openhouden van de kerncentrale te Borssele (de KCB) ten aanzien van non-proliferatie geen situatie oplevert die ongewenst is.

De KCB maakt geen gebruik van hoogverrijkt uranium (HEU) of van plutonium. Uranium voor kernwapens dient namelijk hoogverrijkt te zijn. In 'verse' splijtstof is geen plutonium aanwezig. In gebruikte splijtstof is deze stof wel in beperkte hoeveelheden aanwezig, maar is niet van de zogenoemde 'weapon grade' kwaliteit. Verder is gewezen op het toezicht door Euratom en het Atoomagentschap van de Verenigde Naties (de IAEA) dat in ieder geval in de Europese Unie uitstekend functioneert. Gezien het niveau van de veiligheidsvoorzieningen van de installaties van de splijtstofcyclus en bijbehorende beveiligingsmaatregelen die in (NRG, 2005) en (VROM, 2005) zijn genoemd, wordt de kans op ontvreemding van splijtbaar materiaal zeer gering geacht. Er zijn geen redenen om aan te nemen dat in deze situatie na 2013 bijzondere wijzigingen zullen optreden.

In de studie van NRG en Clingendael van april 2005 werd voorts geconstateerd dat er mogelijk dreigingen zijn van buiten de Europese nucleaire splijtstofcyclus en die zich buiten de directe invloedssfeer van Nederland bevinden. 'Nuclear capability' is tegenwoordig op veel meer plekken in de wereld aanwezig. Zo heeft kennis en kunde vanuit Pakistan zijn weg gevonden naar landen in het Midden-Oosten. In de internationale gemeenschap zijn er ook zorgen over Iran en Noord-Korea. Het is niet zeker of deze staten voldoende maatregelen genomen hebben, om non-state actors, zoals terroristen, te beletten radioactief of zelfs splijtbaar materiaal te bemachtigen.

Diverse NGOs ('Non-Governmental Organisations') zoals Greenpeace en de 'Union of Concerned Scientists' in de VS, hebben bezwaren tegen de praktijk van opwerking. Er worden vragen gesteld met betrekking tot opwerking en de 'proliferatie-bestendigheid' daarvan ten opzichte

van de optie van niet-opwerken ('directe opberging'). Een vergelijking van de twee opties behoort niet tot de hoofdthema's van de onderzoeksopdracht. Voor de geïnteresseerden in een dergelijke vergelijking wordt verwezen naar (NRG, 2005). Tevens is in Paragraaf G.7 van deze Bijlage een Annex ondergebracht, die de hierboven gerefereerde informatie uit (NRG, 2005) over non-proliferatie en opwerking deels (in een bewerking) herhaalt.

## F.2 NPT - Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons en aanvullingen daarop

De IAEA is het 'International Atomic Energy Agency' van de Verenigde Naties. Het IAEA beoogt de veilige en vreedzame toepassing van nucleaire wetenschap en techniek te bevorderen. Het speelt een belangrijke rol bij het streven naar internationale vrede en veiligheid en wil daarnaast bijdragen aan sociale en economische ontwikkeling alsmede het milieu.

Bij de uitvoering van diverse belangrijke verdragen en de controle op de naleving daarvan, is aan de IAEA een centrale rol toegekend. Zo controleert het IAEA meer dan 900 nucleaire installaties in meer dan 140 landen. De IEAE-inspecteurs voeren routinematig periodieke controles uit, maar ook kunnen ze onaangekondigde bezoeken brengen aan faciliteiten.

Voor het voorliggende rapport is het verdrag op de non-proliferatie van nucleaire wapens, het NPT, het belangrijkste verdrag. Binnen het NPT is er voor Europa een speciale rol voor Euratom, hierover wordt in de volgende sectie ingegaan.

### F.2.1 Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons (NPT)

Het nucleaire non-proliferatie beleid is gericht op het verhinderen van de verspreiding van kennis en materiaal dat gebruikt kan worden voor de constructie van kernwapens. De belangrijkste politieke instrumenten voor non-proliferatie zijn:

- Het genoemde NPT, waarbij naast de vijf bestaande kernwapenstaten, alle andere toegetreden staten beloven geen kernwapens te verwerven (van kracht sinds 1970), ongeveer 190 staten zijn partij bij het NPT.
- Het Additional Protocol, dat nog niet door alle NPT-staten is geratificeerd;
- Het IAEA Statuut, dat de basis vormt voor een wereldwijde samenwerking bij alle toepassingen van nucleaire technieken.
- Het Euratom Verdrag, dat alle vreedzame nucleaire activiteiten in de Europese Unie aan regels bindt. Euratom werkt op dit punt samen met het IAEA.

Deze verdragen leiden tot het toepassen van internationale inspecties op vreedzame nucleaire activiteiten, de splijtstofbewaking of 'safeguards' door Euratom en de IAEA. Wat betreft de splijtstofcontrole hebben de landen van de Europese Unie daarom de bijna gelijktijdige ontwikkeling van twee parallelle controlesystemen meegemaakt. Dit betekent, dat inzake safeguards de landen van de Europese Unie op dit moment onderworpen zijn aan twee waarborgsystemen, het Euratomsysteem (gecreëerd door het Verdrag van Rome van 1957) en de IAEA controle door de toetreding tot het NPT.

#### *De rol van Euratom binnen het NPT*

De bepalingen uit het Euratom verdrag geven met name aanwijzingen betreffende de bescherming van de bevolking en werknemers tegen straling en het beschermen van splijtbaar materiaal tegen misbruik voor andere doeleinden dan waarvoor ze bedoeld zijn. Euratom neemt ook de controle op zich ingevolge een overeenkomst met het Atoomagentschap van de VN (het IAEA) krachtens het 'Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons' (NPT).

Het Euratom inspectoraat (Euratom DCS - Luxemburg) is verplicht controles uit te voeren in de installaties binnen de EU, die splijtstoffen in hun bezit hebben. Inspecteurs hebben toegang tot alle plaatsen waar nucleair materiaal zich bevindt. Overeenkomsten (verkoop/uitleen) over splijtstoffen moeten goedgekeurd worden door Euratom.

Het Euratom systeem is een *supranationaal systeem*, er wordt rechtstreeks onderhandeld met bedrijvers van nucleaire faciliteiten en niet met de overheden van de landen waar deze faciliteiten staan.

Recent (februari 2005) is een geactualiseerde versie verschenen van de Euratom safeguards (Euratom, 2005a en 2005b). Voor de bedrijven en instellingen betekent dit voornamelijk dat zij nog meer gegevens aan Euratom moeten verstrekken dan voorheen. Aan de andere kant krijgt Euratom hiermee nog meer grip op de safeguards.

#### *Uitbreiding NPT met Additional Protocol*

Sinds 2004 is het Additional Protocol bij het NPT van kracht binnen de Europese Unie (EU). De Europese Commissie hoopt dat andere landen zich bij dit initiatief van de IAEA zullen aansluiten en dat de EU daarbij als voorbeeld kan dienen. Het protocol is ontworpen om de IAEA de mogelijkheid te geven om sneller clandestiene activiteiten waar te nemen. De IAEA controles omvatten (in staten die het Additional Protocol onderschrijven) niet enkel de faciliteiten van de splijtstofcyclus, maar ook bijvoorbeeld onderzoeksreactoren en andere faciliteiten waar met kleinere hoeveelheden splijtstoffen gewerkt wordt.

Alle lidstaten van de Europese Unie (EU) zijn gehouden aan dit protocol. De lidstaten zijn verplicht uitgebreide opgaven te verstrekken van hun nucleaire faciliteiten en de materialen die er gehanteerd worden. Universiteiten, laboratoria en ziekenhuizen vallen ook onder het protocol. In de Europese context maakt het van kracht worden van het 'Additional Protocol' dat de Europese Commissie een centrale rol vervult in de communicatie met het IAEA. De meeste rapportages van EU-lidstaten over hun installaties, zullen eerst door de diensten van de Commissie in Luxemburg worden verwerkt, alvorens ze aan het IAEA te Wenen door te geven. De aanwezigheid van inspecteurs namens de Commissie bij site inspecties, zorgt er bovendien voor, dat de toepassing van het 'Additional Protocol' overal in de EU op dezelfde manier zal plaatsvinden.

#### *Beperkingen NPT*

In het kader van het NPT worden alleen die activiteiten gecontroleerd, die opgegeven zijn aan het IAEA in het kader van het verdrag. Het is echter mogelijk dat staten op bepaalde locaties fabrieken hebben, waar niet-opgegeven ('undeclared') materiaal of installaties aanwezig zijn. De ervaringen met Irak, Noord-Korea en Zuid Afrika hebben dit aangetoond. Wereldwijde acceptatie van het Additional Protocol zou het IAEA meer instrumenten geven om 'undeclared' activiteiten op te sporen.

### **F.2.2 Enkele andere belangrijke aanvullende verdragen in het kader van non-proliferatie**

#### *Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, IAEA*

Nederland is een Contracting Party bij dit verdrag, dat zoals de naam al suggereert, beoogt het veilig beheer van gebruikte splijtstof en radioactief afval te bevorderen. Dit verdrag is in 2001 van kracht geworden en is door veel industrielanden ondertekend, met als belangrijke uitzonderingen landen als China en Rusland. De 'parties' dienen periodiek een 'national report' te produceren waarin ze aantonen aan de volledige set artikelen van de Conventie te voldoen of activiteiten in gang te hebben gezet om er aan te gaan voldoen.

### *Joint Convention on Nuclear Safety, IAEA*

Nederland is een contracting party bij dit verdrag, dat beoogt een veilig bedrijf van nucleaire installaties te waarborgen. Het verdrag werd in 1996 van kracht.

### *Convention on the Physical Protection of Nuclear Material*

Nederland is een contracting party bij dit verdrag, dat contracting parties verplicht nucleair materiaal te beschermen tijdens het transport over hun grondgebied. Het werd van kracht in 1980.

### *Meer verdragen*

Er zijn meer verdragen die onder auspiciën van de VN tot stand zijn gekomen en die onder meer tot doel hebben het handhaven van een regime van non-proliferatie. Meer recente initiatieven die tot internationale verdragen hebben geleid, worden behandeld in Paragraaf F.4.

## F.2.3 Technische voorzieningen in het kader van safeguards en beveiliging

### *Safeguards*

Aan de ‘juridische’ kant zijn er de verdragen die staten dwingen zich aan het handhaven van het non-proliferatie verdrag te houden, voor zover ze het NPT onderschreven hebben. Om de wereld voldoende zekerheid te geven, dat dit regime gehandhaafd wordt, is er een technische kant aan de controle door de IAEA (in de EU in samenwerking met Euratom), in aanvulling op de procedurele kant van onder andere rapportages door de landen. Dit zijn de zogenoemde ‘safeguards’.

De technische kant bestaat uit controles door inspecteurs, periodiek maar ook onaangekondigd. Daarnaast zijn er allerlei technische hulpmiddelen, die controleren in (fysieke) afwezigheid van de controleurs van het IAEA en Euratom.

De inspecteurs doen (milieu)metingen in de omgeving van nucleaire installaties om mogelijk niet-opgegeven activiteiten op te sporen. Hiertoe worden monsters genomen van de bodem, oppervlaktewater, organismen e.d., waarin middels sporen de aard van de bezigheden in een faciliteit beoordeeld kunnen worden. Ook binnen de faciliteiten beschikken de inspecteurs over meetapparatuur, zoals ‘core discharge monitors’, waarmee door meting van straling vastgesteld kan worden of bestraalde splijtstof verplaatst wordt.

Alle installaties die in het kader van het NPT onder IAEA en Euratom toezicht staan, zijn voorts voorzien van optische apparatuur, die activiteiten binnen een bepaalde kijkhoek vastlegt voor latere beoordeling. Optische apparatuur wordt ook op extra plaatsen ingezet, als daar speciale handelingen worden verricht, zoals een splijtstofwisseling. De optische apparatuur is verzegeld, om te voorkomen dat apparatuur onopgemerkt kan worden gemanipuleerd.

Verzegeling wordt ook door inspecteurs gebruikt om materiaal of apparatuur te kunnen controleren tussen twee inspecties en om er zeker van te zijn dat zij niet zonder opgave verwijderd kunnen worden. Ook hijskranen in nucleaire faciliteiten kunnen worden verzegeld om te voorkomen dat ze worden gebruikt om zogenoemde ‘safeguarded material’ ongemerkt te verplaatsen. Zegels kunnen van papier zijn (voor korte tijdsintervallen), van metaal, maar ook worden geavanceerdere verzegelingstechnieken toegepast, zoals elektronische zegels met glasvezeltechniek.

Tegenwoordig wordt ook geëxperimenteerd met op afstand uit te lezen apparatuur, die middels satelliet-verbindingen op iedere plek ter wereld kan worden geïnstalleerd en gebruikt. Deze techniek is niet afhankelijk van mogelijk niet honderd procent betrouwbare internet- of telefoonverbindingen, waarmee al in de jaren ‘90 van de twintigste eeuw is geëxperimenteerd. Het eerste experiment met satellietverbindingen, is in april 2005 gestart in een kerncentrale in Slo-

wakije. Van de reactorkern en het bassin met gebruikte splijtstof worden sindsdien iedere vijf minuten beelden gestuurd naar het IAEA-hoofdkwartier. Het grote voordeel van deze techniek is, dat inspecteurs minder hoeven te reizen en real-time beelden kunnen analyseren.

### *Beveiliging*

De bedrijvers van nucleaire faciliteiten is er veel aan gelegen om ontvreemding van materiaal uit hun installaties te voorkomen. Naast gebruikelijke fysieke beveiliging tegen inbraak en sabotage, wordt er ingezet op zorgvuldige selectie van personeel, om malversaties vanuit de organisatie te voorkomen. Voorts dient men zich in veel faciliteiten tot op het ondergoed uit te kleden en daarna bedrijfskleding aan te trekken, alvorens toegang te krijgen tot gebieden waar met splijtstof wordt gewerkt. Er zijn voorzieningen om neutronen en andere vormen van straling te meten waardoor ongemerkt meenemen van splijtstoffen onwaarschijnlijk wordt. Speciale technische voorzieningen zijn weging bij betreden en verlaten van ruimtes, in combinatie met meting in portaalmonitoren.

De mate van beveiliging is proportioneel met het belang van de te beschermen processtap uit de splijtstofcyclus en de aard van de stoffen die worden gehanteerd. Beveiliging van mijnbouwkundige installaties waar ertsen worden gehanteerd, in het kader van non-proliferatie van gering belang, heeft een geringere prioriteit dan beveiliging van bijvoorbeeld opwerkingsfabrieken. Bij dergelijke installaties zijn daarom beschermende fysieke voorzieningen aanwezig zoals (gewapende) bewaking, omheiningen, detectiemiddelen en de structuur van de gebouwen.

Overigens zijn om voor de hand liggende redenen niet alle getroffen voorzieningen inzake de beveiliging openbaar.

## F.3 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. Het enthousiasme voor de MNA van de directeur-generaal van de IAEA, Mohamed ElBaradei en het werk van de MNA Expert Group, is in april 2005 door NRG gerapporteerd (NRG, 2005). Hieronder wordt deze 'Approach' nader beschouwd.

Beheer volgens de MNA kan inhouden: beheer door multinationalaal management van meerdere locaties (het Urenco model) of beheer door een nationaal management op één locatie of in één land (het Eurodif model). 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 multinationalaal beheer te realiseren en te bedrijven. Het aanvaarden van MNA door een land, betekent niet het afzien van het gebruik van bepaalde processtappen uit de nucleaire brandstofcyclus. Een land kan dergelijke processtappen in eigen land delen met anderen of deze diensten afnemen van centrale faciliteiten die zich elders bevinden.

Op 22 februari 2005 is er een zogenoemd 'Expert Group Report' (IAEA, 2005) aangeboden aan de directeur-generaal van de IAEA, met aanbevelingen voor een multilaterale benadering van de splijtstofcyclus, die het non-proliferatieregime kan versterken en die geleidelijk zou 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. Bestaande nucleaire faciliteiten zoals opwerkingsfabrieken zouden tot multinationale instellingen kunnen worden omgevormd, met gedeeld eigendom of beheer, hetgeen de controle op het werk op die locaties kan versterken.

De MNA-optie is zeker niet nieuw. Reeds in 1946 was er het Amerikaanse 'Baruch plan'. Hierbij moet worden opgemerkt dat in die tijd de Verenigde Staten nog het monopolie hadden op kernenergie en kernwapens. Het Baruch Plan stelde voor een soort International Atomic Development Authority op te richten, die het monopolie zou krijgen op mijnbouw (uranium en thorium) en de andere stappen van de splijtstofcyclus, inclusief de bouw van kernenergiecentrales. Deze autoriteit zou door de Verenigde Naties moeten worden opgericht en de VS zouden deze instantie van de benodigde kennis voorzien, waarvan op dat moment de VS de enige eigenaar was. Maar het Rusland van Stalin accepteerde dit plan niet, waarna de (nucleaire) wapenwedloop begon.

Deze geschiedenis is leerzaam en geeft enkele mogelijke redenen waarom niet alle landen de MNA-optie zullen omhelzen. Sommige landen zullen naast de beschikking over kernenergie willen streven naar een status van kernmacht; in dat geval is zelfs bij grote economische voordelen de MNA-optie voor hen niet interessant. Indien een land beschikt over voldoende economische middelen, grondstoffen en een wetenschappelijke infrastructuur, zal zij in staat zijn een eigen volledige nucleaire splijtstofcyclus te ontwikkelen, desnoods zonder hulp van buitenaf. Alleen grote economische, politieke en/of militaire druk zal zo'n land permanent of tijdelijk van een volledige cyclus - met uitzicht op een nucleair wapen - af kunnen houden.

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 onderdelen van de splijtstofcyclus plaatsvonden.

## F.4 Recente internationale initiatieven betreffende 'counterproliferation'

In de afgelopen jaren zijn er initiatieven ontplooid die een aanvulling beogen te zijn op het bestaande non-proliferatiebouwwerk van het NPT en andere verdragen en de bijbehorende safeguards. Met name is er een behoefte aan een actievere benadering van 'illicit trafficking', illegale transporten van materiaal dat kan worden gebruikt voor de constructie van massavernietigingswapens of terreurwapens met beperkte fysieke impact zoals 'dirty bombs'. Dit soort initiatieven worden ook wel aangeduid met de term 'counterproliferation'.

In 2003 is het Proliferation Security Initiative (PSI) gelanceerd, een initiatief van momenteel circa 60 landen, 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. In 2004 is in dezelfde geest een motie van de Veiligheidsraad aangenomen die ook de verspreiding van WMD moet tegengaan. Deze initiatieven worden in de volgende subparagrafen behandeld.

### F.4.1 UNSCR 1540 tegen de dreiging van 'Weapons of Mass Destruction' (WMD)

In april 2004 nam de Veiligheidsraad van de Verenigde Naties (Security Council of the UN) unaniem resolutie 1540 aan, tegen de proliferatie van nucleaire, chemische en biologische wapens en onbemande middelen (zoals raketten) om deze bij een doel te brengen. De resolutie roept alle staten op om de artikelen uit de resolutie in de nationale wetgeving op te nemen en



fysieke bescherming en andere zaken te regelen, die de verspreiding van deze zaken moeten voorkomen. Resolutie 1540 wordt ook wel gerefereerd als UNSCR 1540 (UNSCR, 2004).

UNSCR 1540 was de eerste unaniem aangenomen Security Council resolutie die de dreiging adresseerde, die uitgaat van de proliferatie van massavernietigingswapens oftewel 'Weapons of Mass Destruction' (WMD). De landen die UNSCR 1540 onderschrijven moeten middels nationale rapporten aan de UN aantonen dat zij en hoe zij zorgen dat ze voldoen aan de eisen uit de resolutie. Vooral de Verenigde Staten hebben zich na '9/11' zeer ingespannen om deze resolutie tot stand te brengen.

Inmiddels hebben meer dan honderd landen al een nationaal rapport ingediend, waaronder de Verenigde Staten (VS)<sup>50</sup>, Europese Unie<sup>51</sup> en individuele EU-landen zoals Nederland<sup>52</sup> en Frankrijk<sup>53</sup>.

Het nationale rapport van de VS is het meest uitgebreid en beschrijft onder meer de vergaande bevoegdheden van de overheden, wetgeving en andere maatregelen die getroffen zijn in het kader van non-proliferatie. Refererend aan artikel 7 van UNSCR 1540 (betreffende assistentie aan andere staten) beschrijft het ook de programma's van de VS voor ondersteuning van de strijd tegen de verspreiding van WMD elders in de wereld. Dit betreft onder meer training van overheidsinstanties, hulp bij de opbouw van de beveiliging van belangrijke objecten, verstrekking van gereedschap en diensten bij het ontmantelen van ballistische kernwapens en terugname van hoogverrijkt uranium (HEU) uit onderzoeksreactoren.

Interessante initiatieven van de VS en anderen, is het aan het werk helpen (houden) van nucleaire deskundigen uit de voormalige Sovjet-Unie. Deze personen kunnen op die manier afgehouden worden van het 'vermarkten' van hun kennis op de schimmige markt van state actors en non-state actors, die een 'nuclear capability' nastreven.

In het Nederlandse nationale rapport in het kader van UNSCR 1540 wordt verwezen naar de samenwerking met de VS ten aanzien van de beveiliging van de Rotterdamse haven. In dat kader worden de container monitoren genoemd, waarmee binnenkomende en vertrekkende ladingen kunnen worden gecontroleerd. Hierbij moet worden opgemerkt dat op dit moment niet alle containers die Nederlandse havens inkomen, gecontroleerd worden met dit systeem. Dit is vanwege de omvang van het containertransport momenteel niet mogelijk.

#### F.4.2 Proliferation Security Initiative (PSI)

Dit initiatief wordt onder meer door de VS gezien als een essentiële en praktische aanvulling op UNSCR 1540. In het PSI werken sinds 2003 vele landen samen om illegale transporten te kunnen onderscheppen of te voorkomen. Hierbij gaat het om WMD of grondstoffen en middelen om deze zaken te vervaardigen. De te blokkeren transporten worden wel aangeduid met 'illicit trafficking'. Net als UNSCR 1540 bestrijdt het PSI de verspreiding van zowel chemische, biologische als nucleaire WMD.

---

<sup>50</sup> Annex to the letter dated 12 October 2004 from the Deputy Permanent Representative of the United States of America to the United Nations addressed to the Chairman of the Committee, *United States report to the Committee established pursuant to resolution 1540 (2004) - Efforts regarding Security Council resolution 1540 (2004)*.

<sup>51</sup> Annex to the letter dated 28 October 2004 from the Permanent Representative of the Netherlands to the United Nations addressed to the Chairman of the Committee - *European Union report on the implementation of Security Council, resolution 1540 (2004)*.

<sup>52</sup> Annex to the letter dated 28 October 2004 from the Permanent Representative of the Netherlands to the United Nations addressed to the Chairman of the Committee - *National report of the Kingdom of the Netherlands on the implementation of Security Council resolution 1540 (2004)*.

<sup>53</sup> Annex to the letter dated 28 October 2004 from the Permanent Representative of France to the United Nations addressed to the Chairman of the Committee - *Report submitted by France to the Security Council Committee established pursuant to resolution 1540 (2004), in accordance with paragraph 4 of that resolution*.

Het PSI is geen formele verdragsorganisatie. Er is wel een zogenoemde ‘PSI Statement of Interdiction Principles’, dat de basis vormt voor de samenwerking van de aangesloten landen. Het schept geen formele verplichtingen voor de aangesloten landen, maar het is wel een teken van gezamenlijke politieke commitment om proliferatie-gevoelige transporten te onderscheppen waar mogelijk. Nederland is een zogenoemde ‘core member’, die bijzonder vaak participeert in internationale PSI-oefeningen en bijeenkomsten<sup>38</sup>.

Het PSI beoogt een meer dynamische en pro-actieve bestrijding van de pogingen tot proliferatie door state actors en non-state actors. De PSI-staten delen informatie en werken samen bij de onderschepping. Door samenwerking kunnen bestaande overheidsdiensten van elkaar leren. Er zijn ook regelmatig oefeningen waarbij steeds wisselende groepen landen samenwerken, steeds afhankelijk van de regio waar een oefening plaats vindt en de behoeftes van de deelnemende landen. Regelmatig zijn er bijeenkomsten van de PSI ‘Operational Experts Group’. Dit is een groeiend netwerk van deskundigen met kennis van defensie, juridische zaken, politie en diplomatie.

Momenteel zijn er ongeveer 60 landen aangesloten bij het PSI, waaronder Nederland. Hierbij moet worden aangetekend dat er grote verschillen zijn tussen de landen voor wat betreft de opvattingen ten aanzien van het mandaat van de PSI-staten, om daadwerkelijk in te grijpen bij vermoedens van ‘illicit trafficking’. Bovendien ontbreekt er een belangrijk land zoals China.

#### *PSI - successen en beperkingen*

Het PSI is in zoverre een succes, dat het een basis biedt voor landen om samen te werken, informatie te delen en van elkaar te leren in een soort ‘counterproliferation effort’. Naarmate meer landen zich er bij aansluiten en er meer overeenstemming komt over de reikwijdte van het mandaat van het PSI, zal dit initiatief steeds meer landen gaan aanspreken. De VS hebben bovendien zogenoemde ‘boarding agreements’ gesloten met Liberia en Panama, zodat schepen die onder die vlaggen varen door PSI-staten geïnspecteerd kunnen worden. Het PSI maakt via deze en andere acties het handelen in WMD en gerelateerde goederen duurder en lastiger voor state actors en non-state actors.

PSI-deelnemers kunnen niet onder alle omstandigheden verdachte transporten onderscheppen, wanneer deze door een schip of vliegtuig van een niet-PSI land worden uitgevoerd. Bij de scheepvaart zal op de eigen binnenwateren van een PSI-lid het mandaat duidelijk zijn en ook in territoriale wateren is er een mandaat, hoewel het toch wel gebonden is aan allerlei internationale wetten, zoals de UN Convention on the Law of the Seas (UNCLOS). Buiten de territoriale wateren wordt het bij de scheepvaart juridisch gezien al veel lastiger om in te grijpen op schepen die niet onder vlag van PSI-leden varen of onder vlaggen waarvoor geen ‘boarding agreement’ bestaat.

Non-state actors kunnen er voor kiezen routes te kiezen die minder van PSI-interventie te duchten hebben. Hierbij kan men denken aan routes door gebieden waar nauwelijks controle is of lokale overheden eenvoudig met financiële middelen welwillend gemaakt kunnen worden. Een illegaal transport zou bijvoorbeeld vanuit Rusland naar de Kaukasus kunnen gaan en dan via Turkije en de Balkan naar Europa. Ook transport door de lucht is in sommige gebieden buiten bereik van het PSI. Zo is de controle van het luchtruim boven grote delen van (dunbevolkt) Afrika gering.

#### *PSI vooruitzichten*

Als de PSI-leden er in slagen veel meer landen te laten samenwerken in het PSI, zal het initiatief een groter bereik krijgen en grotere legitimiteit. Het niet deelnemen van China is in dat verband een obstakel. Ondersteuning door een resolutie van de Veiligheidsraad is pas mogelijk als duidelijk wordt onder welke omstandigheden kan worden ingegrepen en daarover consensus is, te

beginnen onder de PSI-leden. Dezelfde PSI-leden zouden kunnen overwegen een VN Commissie te initiëren die tot doel heeft een formele versie van de PSI onder VN vlag te creëren, die een grotere legitimiteit zou kunnen bereiken.

#### F.4.3 G8 Statements

Op de G8-bijeenkomst te Gleneagles (Schotland) van juni 2005 hebben de deelnemers het belang van UNSCR 1540 en het PSI benadrukt. De G8 stellen tevens dat zij van mening blijven dat het verstandig is in het komende jaar geen kennis en technologie van opwerking en verrijking aan staten over te dragen, die deze technologie nog niet beheersen. Landen die afzien van deze en andere technologieën zouden in die zin moeten worden beloond, dat zij toegang behouden tot diensten uit de nucleaire splijtstofcyclus. Daarom betoont de G8 zich een voorstander van het Multilateral Nuclear Approach (MNA), zoals voorgesteld door het IAEA. De G8 ziet ook de samenwerking van veel staten in de 'Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management' (zie Paragraaf F.2.2) als belangrijk in het kader van veiligheid. Voorts vraagt de G8 ook aandacht voor de controle op radioactieve bronnen, die ook buiten de nucleaire sector in grote getale in gebruik zijn, en die misbruikt kunnen worden voor het maken van 'radioactive dispersion devices' (RDD) of 'dirty bombs'.

#### F.5 Het thema 'dirty bombs'

Met 'dirty bomb' of 'vuile bom' bedoelt men de combinatie van een conventioneel explosief met een hoeveelheid radioactief materiaal. Deze combinatie wordt in het jargon ook wel een 'radioactive dispersion device' (RDD) genoemd.

Voor de constructie van een RDD is geen materiaal uit de splijtstofcyclus nodig; radioactief materiaal is ruim voorhanden buiten de nucleaire industrie. Zelfs in een land als Frankrijk, met een grote nucleaire sector, maken de transporten voor de splijtstofcyclus maar circa een procent uit van het totaal aantal transporten van radioactief materiaal. Zo bezien is de dreiging met een RDD niet uniek voor de splijtstofcyclus. Buiten deze cyclus zijn bijzonder sterke radioactieve bronnen voorhanden, waarmee een aanzienlijke lokale besmetting kan worden veroorzaakt, indien zij in een RDD worden gebruikt. Deze bronnen genieten momenteel niet de zelfde mate van bescherming als stoffen uit de splijtstofcyclus.

Doorgaans zal het aantal acute slachtoffers van de inzet van een RDD enkel veroorzaakt worden door de explosieve kracht van het conventionele deel van de bom. Bij de explosie kan een hoeveelheid radioactief materiaal verspreid worden, indien dit aan het explosief is toegevoegd. De gezondheidseffecten van de radioactieve component zullen meestal zeer beperkt zijn. Een RDD is daarom geen 'Weapon of Mass Destruction' (WMD). Logistiek kan een RDD veel problemen veroorzaken zoals een schoonmaakactie in een druk gebied. Daarbij komt dan nog de er mee veroorzaakte onrust. Om onrust te veroorzaken volstaat het waarschijnlijk zelfs om te dreigen met detonatie van een RDD, zelfs als men niet over een dergelijk explosief beschikt.

In termen van dreiging door non-state actors met radioactief materiaal, lijkt de optie van de inzet van een RDD het meest voor de hand liggend, aangezien het materiaal daarvoor buiten de goed beveiligde (Europese) splijtstofcyclus beschikbaar is.

Er zijn veel initiatieven om gebruikte radioactieve bronnen te verzamelen en veilig op te slaan. In het rapport aan de VN in het kader van UNSCR 1540 melden de VS onder meer het voornemen om 20 000 radioactieve bronnen binnen de VS in te zamelen.

In Nederland is voor het gebruik van radioactieve bronnen een vergunning nodig. Bovendien wordt iedere bron die in onbruik is geraakt, in principe overgedragen aan de nationale beheerder van radioactief afval, de COVRA.

De EU-richtlijn HASS (Highly Active Sealed Sources) is de ‘Richtlijn inzake de controle op hoog radioactieve ingekapselde bronnen’, die in Nederland is geïmplementeerd. De richtlijn stelt dat het verlenen van een vergunning van een handeling, waarbij een hoogactieve bron moet worden gebruikt, voorafgegaan moet worden door een onderzoek naar diverse belangrijke aspecten. Voorbeelden zijn het veilig gebruik, bescherming van de bronnen tegen ontvreemding, en het beheer van de bron nadat deze niet meer gebruikt wordt. Dit vereist voorzieningen zoals een deugdelijke administratie van het gebruik en de verplaatsing van bronnen. De richtlijn gaat het ontstaan van zogenoemde ‘orphan sources’, zoekgeraakte bronnen, tegen. ‘Zoekgeraakt’ betekent in dit verband niet per sé dat de bron verdwenen is. De bron kan bijvoorbeeld niet-deugdelijk- of niet-geregistreerd in een instelling of bedrijf verblijven.

## F.6 Belang van gesignaleerde ontwikkelingen voor de Nederlandse situatie en de KCB

Op basis van een eerder uitgevoerde studie door NRG en Clingendael (april 2005) en de bevindingen door het ministerie van VROM (april 2005), wordt geconcludeerd dat het open houden van de kernenergiecentrale te Borssele ten aanzien van non-proliferatie geen situatie oplevert die ongewenst is.

De aanvulling op het NPT, zoals die in ieder geval in Europa is geïmplementeerd en de actualisering van de Euratom safeguards, verstevigen het non-proliferatie regime in onze regio. Initiatieven zoals UNSCR 1540 en het PSI zorgen wereldwijd voor een actievere bestrijding van ‘illicit trafficking’, ook in Europa. Nederland heeft aan bijna alle PSI ‘interdiction excises’ en bijeenkomsten meegedaan<sup>38</sup>, waardoor vele instanties hun expertise hebben kunnen vergroten. In die zin zal de kans op proliferatie in onze regio de komende jaren, ook na 2013, nog kleiner kunnen worden.

Ondanks deze positieve ontwikkelingen, bestaat er nog steeds de dreiging van non-state actors, die buiten de door VN en PSI gecontroleerde gebieden radioactief materiaal kunnen bemachtigen en dit Europa binnen kunnen smokkelen. Een waterdichte controle van de grenzen op de invoer door kwaadwillenden van radioactief materiaal is een utopie.

Van de ‘Multilateral Nuclear Approach’ optie, het MNA, moet afgewacht worden in hoeverre deze mondiaal de komende decennia een realiteit kan worden. Commerciële belangen en machtspolitieke overwegingen zorgen er voor, dat een mondiale implementatie van de MNA niet op korte termijn is te verwachten. Door de consolidatieslag in de nucleaire industrie lijkt een gedeeltelijke MNA in Europa wel kans van slagen te hebben. Hierbij kan men denken aan het ontstaan van het Franse Areva, dat vrijwel alle stappen van de splijtstofcyclus beheerst.

Als de MNA zich ooit gaat uitstrekken naar gezamenlijk beheer van radioactief afval en eindberging, kunnen door schaalvoordelen grote economische voordelen voor ‘kleine’ afvalproducenten zoals Nederland ontstaan. De kosten van bijvoorbeeld eindberging, worden voornamelijk bepaald door de aanleg van de opbergmijn en niet zozeer door de hoeveelheid afval. Bij een voortschrijdende integratie van de landen in de Europese Unie zullen in de komende decennia multinationale oplossingen als gemeenschappelijke eindbergingen haalbaarder worden dan momenteel het geval is, met voordelen ten aanzien van economie en non-proliferatie.

In de Nederlandse situatie moet aandacht blijven voor ‘illicit trafficking’ en de beveiliging van radioactieve bronnen tegen ontvreemding, maar dit heeft geen relatie met de KCB of haar bedrijfsduur.

Ondanks deze positieve ontwikkelingen, bestaat er nog steeds de dreiging van non-state actors, die buiten de door VN en PSI gecontroleerde gebieden radioactief materiaal kunnen bemachtigen en dit Europa binnen kunnen smokkelen. Een waterdichte controle van de grenzen op de invoer door kwaadwillenden van radioactief materiaal is niet mogelijk. In de Nederlandse situatie moet er aandacht blijven voor deze ‘illicit trafficking’ en de beveiliging van radioactieve bronnen tegen ontvreemding, maar dit heeft geen relatie met de KCB of haar bedrijfsduur.

## **F.7 Annex bij de Bijlage, betreffende eerder gerapporteerde zaken betreffende opwerking en non-proliferatie in (NRG, 2005)**

In de studie van NRG en Clingendael van april 2005 (NRG 2005) zijn de routes ‘opwerking’ (genoemd: Route 1) en ‘directe opberging’ (genoemd: Route 2) met elkaar op diverse punten vergeleken, waaronder mogelijkheden tot inbreuk op het non-proliferatie regime. Het hier navolgende stuk is een bewerking van Paragraaf 4.4 ‘Non-proliferatie’ uit de gerefereerde studie van NRG en Clingendael.

In dit stuk worden de twee routes vergeleken met betrekking tot de waarschijnlijkheid van inbreuk op het non-proliferatieregime. Hierbij is naast aandacht voor dit aspect in het heden, ook aandacht voor de lange termijn. Er is hier geen kwantitatieve analyse te maken, omdat niet alle ‘counterproliferation’ maatregelen van industrie en overheid openbaar zijn. In het onderstaande worden eerst de mogelijke inbreuken geëvalueerd, waarna de beschouwde routes worden vergeleken. Voor een breder perspectief is er tevens enige aandacht voor invloeden buiten onze directe invloedssfeer.

### **F.7.1 Non-proliferatie en evaluatie mogelijke inbreuken**

Alle staten die het NPT en andere verdragen bij de IAEA hebben getekend, hebben zich verplicht tot het hanteren van uitgebreide ‘safeguards’ (waarborgen). De staten van de EU zijn zelfs onderworpen aan twee safeguards-regimes, Euratom en NPT. Tot op heden zijn geen inbreuken op dit safeguards regime in de EU geconstateerd.

In het volgende beschouwen we de inbreuk op non-proliferatie door ontvreemding van materiaal. Dit kan gebeuren van binnenuit (diefstal door medewerker) of van buitenaf (overval). De bescherming van materialen in faciliteiten uit de nucleaire splijtstofcyclus, is proportioneel met het belang van de te beschermen installaties en de materialen die er gehanteerd worden. Zo behoeven ertsen minder bescherming dan sommige producten uit een opwerkingsinstallatie.

#### *Proliferatie van materiaal uit een faciliteit*

Diefstal van materiaal door medewerkers is een aspect dat al decennia lang de aandacht heeft van de nucleaire industrie en waar veel voorzieningen tegen getroffen zijn. Zo dient men zich in veel faciliteiten tot op het ondergoed uit te kleden en daarna bedrijfskleding aan te trekken, alvorens toegang te krijgen tot de gebieden waar met splijtstof wordt gewerkt. Tevens zijn er voorzieningen voor de detectie van neutronen, waarmee de aanwezigheid van splijtstof direct kan worden gesignaleerd. Het is bekend dat in veel faciliteiten de medewerkers voor en na betreden van ruimtes gewogen worden tijdens het verblijf in een portaalmonitor. Tot slot kennen zeker bedrijven zoals de splijtstoffabrieken en opwerkingsfaciliteiten in Europa een uitgebreide screening van hun medewerkers.

Een gewelddadige overval op een zwaar bewaakte nucleaire faciliteit zoals een opwerkingsfabriek, met als doel het onvreemden van materiaal, is een onwaarschijnlijk scenario, gezien de fysieke voorzieningen, die bij die faciliteiten zijn getroffen in de vorm van (gewapende) bewaking, omheiningen, detectiemiddelen en de structuur van de gebouwen. Op dezelfde gronden is een inbraak van buitenaf met daarbij ontsnapping met proliferatiegevoelig materiaal even onwaarschijnlijk.

#### *Proliferatie van materiaal van transporten*

Er is voortdurend veel aandacht voor de beveiliging van de transporten van materiaal uit de splijtstofcyclus. Transporten kennen beveiliging door de karakteristieken van de transportmiddelen (sterkte en gewicht containers) en de fysieke beveiliging door bijvoorbeeld politie. Tevens wordt het verloop van het transport op afstand gevolgd. De inzet van de middelen is daarbij proportioneel met het belang van het vervoerde materiaal. Ertsen behoeven bijvoorbeeld veel minder beveiliging dan gebruikte splijtstof, aangezien het onvreemden daarvan nauwelijks relevantie heeft voor de non-proliferatie.

Diefstal door bijvoorbeeld een chauffeur van een transport van gebruikte splijtstof, kan als zeer onwaarschijnlijk worden beoordeeld. Hij moet er eerst in slagen zijn voertuig van de route laten afwijken ondanks de zorg van de politie, maar dan nog zal het moeilijk zijn ongemerkt met de zware container te ontsnappen. Transporten kunnen bovendien op afstand gevolgd worden middels GPS en andere technische middelen.

Het slagen van een gewelddadige overval op een transport, met als doel verkrijgen van materiaal, moet ook als onwaarschijnlijk worden geacht. Als het doel is verkrijgen van materiaal, dan zal men de zware container en het transportmiddel in tact moeten laten. Ook als men de container in of op een ander vervoermiddel tracht te plaatsen, dan zal nog steeds dit transport niet onopgemerkt plaats kunnen vinden. Hierdoor zullen de autoriteiten de tijd hebben om in te grijpen met geëigende middelen.

### **F.7.2 Vergelijking Route 1 (opwerking) en Route 2 (directe opberging)**

Niet alle materialen uit de splijtstofcyclus zijn interessant voor illegaal opererende actoren, die een nucleair explosief willen produceren. Ertsen, uranium concentraten, ‘lastig’ hanteerbare vormen als uraniumhexafluoride, zijn minder aantrekkelijk en vereisen veel bewerkingen, waarvoor uitgebreide faciliteiten noodzakelijk zijn. Meest geschikt voor het maken van een nucleair explosief zijn hoogverrijkt plutonium (weapon-grade) of hoogverrijkt uranium, maar deze komen beide niet voor in de routes 1 en 2.

Route 1 (opwerking) kent in zijn totaliteit meer faciliteiten en meer trajecten waarlangs materiaal moet worden getransporteerd. Uit proliferatie-oogpunt is bovendien het optreden van afgescheiden plutonium en zuiver MOX op een beperkt aantal plekken een belangrijk gegeven. Dit ‘reactor-grade’ plutonium, is praktisch gezien ongeschikt voor het maken van een kernwapen. Mocht men de theoretische mogelijkheid daarvan willen verkennen, dan eist dat veel van de detonatietechniek.

Voor de Nederlandse situatie zijn er bij Route 2 mogelijk meer faciliteiten en transporten op nationaal grondgebied dan bij Route 1. Bij Route 2 moet een nieuwe stap geïntroduceerd worden, de conditionering. Dit is de stap waarbij de splijtstof klaar gemaakt wordt voor berging en in bergingscontainers geplaatst en/of transportcontainers. Dit hangt af van het ontwerp.

Overigens moet opgemerkt worden, dat indien in Nederland gekozen zou worden voor Route 2, dit niet betekent dat de buitenlandse faciliteiten van Route 1 daarmee gesloten worden. In totaal zou dus het aantal faciliteiten in Europa die gebruikte splijtstof hanteren, toenemen door een

Nederlandse keuze voor Route 2. Immers een conditioneringsfaciliteit zou moeten worden opgericht, die splijtstof in zodanige toestand kan brengen en verpakken, dat deze lange tijd onbewerkt bovengronds bewaard kan worden, en later eventueel in een geologische berging geplaatst kan worden.

#### *Voorzieningen voor de processtappen ‘conditionering’ en eindberging*

Op zich is het realiseren van voorzieningen, die de non-proliferatie moeten garanderen, bij de conditioneringsfaciliteit niet anders dan bij andere nucleaire faciliteiten: ontwerp, meetmethodes, verzegelingen, monitoringsystemen, camera’s en dergelijke. Deze technieken zijn bekend. Deze processtap kan in principe in Nederland uitgevoerd worden, of tegen betaling in een nog te bouwen faciliteit in het buitenland. De kans dat Nederlandse splijtstof op korte termijn in een buitenlandse faciliteit behandeld kan worden, wordt niet groot geacht. Zie hiervoor onderbouwing in de Bijlage over Afvalbeheer (Bijlage E).

Na conditionering kan de gebruikte splijtstof in een eindberging worden geplaatst. Hierbij zijn er drie fases, waarbij de eerste fase bij Route 2 vooral van belang is bij de beschouwing van non-proliferatie.

- De berging als ‘actieve’ berging, met tunnels waarin voortdurend geconditioneerde splijtstof wordt aangevoerd, en transportcontainers de berging na lossen weer verlaten;
- De berging in fase van ‘terughaalbaarheid’ van afval, gedurende welke de tunnels nog toegankelijk zijn, maar geen containers worden geplaatst;
- De berging nadat deze afgesloten is, opgevuld en een definitieve eindberging is geworden.

In de eerste fase van berging in Route 2 zijn er continue bewegingen van gebruikte splijtstof. Er moet voor gewaakt worden, dat transportcontainers, die na lossen de berging verlaten, nog splijtstof bevatten. Verificatieactiviteiten zijn nodig om de afwezigheid van een onttrekking van splijtstof aan de ‘open’ berging aan te tonen.

### F.7.3 Non-proliferatie voor de lange termijn

Bij Route 1 wordt een ander eindproduct in een ondergrondse eindberging geplaatst dan bij Route 2. Bij de eerste route zal gebruikte (MOX) splijtstof en verglaasd afval opgeborgen worden. In de Nederlandse situatie keert er overigens geen plutonium naar ons land terug; het eigendom is overgedragen. Zodoende zal er geen gebruikte MOX in een eventuele Nederlandse berging bewaard gaan worden. Bij de tweede route gaat het alleen om gebruikte UO<sub>2</sub> splijtstof die opgeborgen dient te worden.

Uit proliferatie-oogpunt is het verglaasde afval van Route 1 niet interessant, omdat dit splijttingsproducten en ‘minor actinides’ bevat en geen uranium of plutonium. In de eerste jaren van bedrijf van de eindbergingsfaciliteit, zal dit verschil met Route 2 niet relevant zijn, mits er afdoende safeguards zijn.

Maar op langere termijn (100 jaar, enkele eeuwen) kan dit wel van belang zijn, indien men beschouwt dat latere generaties de gebruikte splijtstof van Route 2 zouden willen delven. In theorie is de gebruikte splijtstof weer (na bewerking) te gebruiken als splijtstof.

Ter relativering mag wel worden gesteld dat een omvangrijke operatie (mijnbouw) vereist is, om een eenmaal afgesloten ondergrondse berging weer in gebruik te nemen. In principe moeten alle gangen weer opnieuw gedolven worden om bij het opgeslagen materiaal te komen; geen operatie die ongemerkt kan worden uitgevoerd. Indien het materiaal toch gedolven zou worden dan kan men het volgende onderscheid tussen routes 1 en 2 aangeven:

- Bij Route 1 opwerking is, per eenheid van geleverde hoeveelheid electriciteit, minder plutonium opslagen in een eindbergingfaciliteit dan bij Route 2 directe opslag.
- Bij Route 1 opwerking is de plutonium concentratie in gebruikte MOX splijtstof hoger dan de plutonium concentratie in gebruikte UO<sub>2</sub> splijtstof.
- Echter, de kwaliteit van het plutonium in Route 1 is minder geschikt (het betreft hier het zogenoemde 2e generatie of 'dirty' plutonium) voor het vervaardigen van een nucleair explosief dan het plutonium in Route 2.

#### F.7.4 Non-proliferatie en bedreigingen buiten onze directe invloedssfeer

Het is van groot belang dat Nederland en andere partijen die het NPT ondertekend hebben, een optimaal beleid voeren ten aanzien van non-proliferatie en verbeteringen en uitbreidingen daarop implementeren, waar deze mogelijk zijn. Hierbij mag echter niet uit het oog verloren worden, dat er buiten onze directe invloedssfeer mogelijkheden zijn voor kwaadwillende personen en organisaties om aan nucleaire kennis en materiaal te komen. Zo is recent vastgesteld dat vanuit Pakistan kennis en kunde zijn weg heeft gevonden naar vele landen in het Midden-Oosten. In de internationale gemeenschap zijn er voorts zorgen over de nucleaire activiteiten van landen zoals Noord-Korea en Iran.

Voor het maken van een eenvoudig kernwapen dient men te beschikken over uranium-235 in de vorm van zeer hoog verrijkt uranium. In routes 1 en 2 wordt dit niet gebruikt. Om verrijkt uranium, uitgaande van natuurlijk of laag-verrijkt uranium, te verkrijgen, zijn hoogwaardige technologische kennis en faciliteiten nodig. Het beheer van een dergelijk productieproces vereist een organisatie van enige omvang. Dit kan alleen door medewerking van een zogenoemde state actor gerealiseerd worden. De schaal van een dergelijke bedrijfsvoering maakt dat deze lastig is te verbergen, maar dit is niet onmogelijk.

Een ander optie is gebruik van het splijtbare Pu-239 in de vorm van opgewerkt kort bestraald uranium. Kort bestraald uranium (enkele weken bestraald) komt niet voor in de splijtstofcyclus. Dit houdt in dat men zelf uranium moet gaan bestralen. Een activiteit die niet eenvoudig ongemerkt kan plaats vinden omdat men hiervoor een reactor moet bouwen. Ook dit vereist de medewerking van een state actor. Langdurig bestraald uranium dat wel in de splijtstofcyclus voor komt, is praktisch gezien niet geschikt. Dit geldt in meerdere mate voor bestraalde MOX splijtstof.

Een directere route naar een compleet kernwapen, die minder faciliteiten en technische kennis vereist, is de clandestiene aankoop van een dergelijk object. Een nadere beschouwing van deze optie valt buiten het bestek van deze studie.



## Referenties

- AMPERE (2000): *Rapport van de Commissie voor de Analyse van de Productiemiddelen van Elektriciteit en de Reoriëntatie van de Energievectoren (AMPERE) aan de Staatssecretaris voor Energie en duurzame Ontwikkeling, België*. Oktober 2000.
- Bollen, J., T. Manders, M. Mulder (2004): *Four futures for energy markets and climate change*, CPB/RIVM-NMP, Den Haag, april 2004.
- Boonekamp, P.G.M., J.P.M. Sijm, R.A. van den Wijngaart (2004): *Milieukosten energiemaatregelen 1990-2010 - Overzicht kosten en mogelijke verbeteringen in de monitoring*. ECN/RIVM, ECN-C-04-040, April 2004.
- Boonekamp, P.G.M. (2004). Energy and emission monitoring for policy use - Trend analysis with reconstructed energy balances, In: *Energy Policy*, July 2004, page 969-988.
- ten Cate, Arie, Mark Leijssen (2005): *The Elmar model: output and capacity in imperfectly competitive electricity markets*, Paper prepared for the Workshop on Market modelling of the Central Western European Electricity Market, 15-16 September 2005, KU Leuven, downloadable at: <http://www.kuleuven.be/ei/Public/Agenda-bestanden/Session1-2-TenCateandLeijssen-paper.pdf>
- CBS (2005): Centraal Bureau voor de Statistiek, StatLine, <http://statline.cbs.nl/>, 27 juli 2005. Productiemiddelen elektriciteit; Cijfers over 2004 zijn als voorlopig gemarkeerd.
- CORA (2001): *Terugneembare berging - een begaanbaar pad*, Commissie Opberging Radioactief Afval, februari 2001.
- CPB/ECN (2005): *Windenergie op de Noordzee - Een maatschappelijke kosten-batenanalyse*, Annemiek Verrips, Hage de Vries, Ad Seebregts, Mark Lijesen, CPB-publicatie 57, ISBN 90-5833-232-2, CPB/ECN, 's-Gravenhage/Petten.
- Daniëls, B.W. en A.W.N. van Dril (2005): *WKK in de referentieramingen 2005-2020 - Achtergrondgegevens bij de WKK-resultaten*, ECN-C--05-076, ECN, Petten, Juli 2005.
- EC (2003a): *European Energy and Transport Trends to 2030*. European Commission, Directorate-General for Energy and Transport, ISBN 92-894-4444-4, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2003.
- EC (2003b): *World energy, technology and climate policy outlook - WETO 2030*. Report EUR 20366, European Commission, Directorate-General for Research - Energy, ISBN 92-894-4186-0, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2003.
- ECN/MNP (2005): *Referentieramingen energie en emissies 2005-2020*. ECN-C--05-018, Petten.
- EPZ (2005): *Mens en Milieu 2004*, en *Jaarverslag 2004*, EPZ, beide via <http://www.epz.nl/>, 15 juli 2005
- EPZ (2005b) communicatie met EPZ, september 2005
- EPZ (2004) Rapport 10-jaarlijkse veiligheidsevaluatie KCB 2003, EPZ, KT/R026658, 6 mei 2004
- EUNDETRAF (2005): Report van de werkgroep ontmanteling.
- Euratom (2005a): *COMMISSION REGULATION (Euratom) No 302/2005 of 8 February 2005 on the application of Euratom safeguards*. Official Journal of the European Union, L54, 28 februari 2005.

- Euratom (2005b): *VERORDENING (Euratom) Nr. 302/2005 VAN DE COMMISSIE van 8 februari 2005 betreffende de toepassing van de veiligheidscontrole van Euratom*, Publicatieblad van de Europese Unie, L54, 28 februari 2005.
- FD (2005): *Delta wil bouw kerncentrale Zeeland*, Financieel Dagblad, 14 oktober 2005.
- Gijssen, A., A.J. Seebregts (2005): CN/MNP (2005): *Onzekerheden in de Referentieramingen - Achtergrondrapport bij het rapport 'Referentieramingen energie en emissies 2005-2020'*. MNP/ECN, Rapportnr. 773001032/2005, Bilthoven.
- IAEA (1991): *Data Collection and Record Keeping for the Management of Nuclear Power Plant Ageing, a Safety Practice*, Safety Series No. 50-P-3, IAEA 1991.
- IAEA (1992): *Methodology for Management of Ageing of Nuclear Power Plant Components Important to Safety*, Technical Report Series No. 338, IAEA, Vienna.
- IAEA (1994): *Periodic Safety Review of Operational Nuclear Power Plants*, IAEA 50-SG-O12, Vienna.
- IAEA (1995) *A Common Basis for Judging the safety of Nuclear Power Plants Built to Earlier Standards*, IAEA INSAG Series No.8, Vienna.
- IAEA (1998) *Evaluation of the Safety of Operating Nuclear Power Plants Built to Earlier Standards*, IAEA Safety Report Series No.12, Vienna.
- IAEA (1999) *AMAT Guidelines Reference Document for the IAEA Ageing Management Assessment Teams (AMATs)*, IAEA Services Series No. 4, Vienna, 1999
- IAEA (1999b): *Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: PWR pressure vessels*, IAEA-TECDOC-1120, Vienna, 1999.
- IAEA (2002): *Cost drivers for the assessment of nuclear power plant life extension*, International Atomic Energy Agency, IAEA-TECDOC-1309, 2002.
- IAEA (2004) *Uranium 2003: Resources, Production and Demand*, IAEA 2004
- IAEA (2005): *INFCIRC/640, Multilateral Approaches to the Nuclear Fuel Cycle: Expert Group Report submitted to the Director General of the IAEA*, 22 February 2005.
- IAEA (2005b): *Safety Guide on Ageing Management for Nuclear Power Plants and Research Reactors*
- KEMA (2005): *Opportunities for a 1000 MW<sub>e</sub> biomass-fired power plant in the Netherlands*, report 50461976-KPS/PIR 04-1114, KEMA Power Generation & Sustainable, Arnhem, The Netherlands, 29 August 2005.
- KFD (1991) *Nota Backfittingbeleid*, KFD, RT91-119, juni 1991
- KFD (2005) *Brief KFD, VI/KFD/05/040529.01.457*, 25 mei 2005 met bijlage: *Rapport RT05-014.457, Tienjaarlijkse veiligheidsevaluatie Kenenergiecentrale Borssele 2003/Eindrapport beoordeling door KFD*, april 2005
- HTA (1996): *HTA 3201.2, Components of the Reactor Coolant Pressure Boundary on Light Water Reactors, Part 2: Design and Analysis*
- HTA (2001): *HTA 3203, Surveillance of the Irradiation Behaviour of Reactor Pressure Vessel Materials of LWR Facilities*
- Leenhouts, H.P. et al. (1996): *Non-nuclear industries in the Netherlands and radiological risks*, RIVM report No 61000530003 (1996).
- MARINA II (2002): *MARINA II Update of the MARINA Project on the radiological exposure of the European Community from radioactivity in North European marine waters*, C6496/TR/004, August 2002.

- Meij, R., H. te Winkel (2005): *Stofemissies van de Nederlandse kolencentrales*, in: Het Dossier/ArenA, Nr. 5, september 2005, blz. 65-68.
- Menkveld, M. (ed.) (2004): *Energietechnologieën in relatie tot transitiebeleid - Fact sheets*. ECN-C--04-020, ECN, Petten.
- Menkveld, M., B. Daniëls, Y. Boerakker, H. Jeeninga, P. Kroon, A. Seebregts, H. de Wilde (2005): *Het onbenut rendabel potentieel voor energiebesparing*, ECN-C-05-062, ECN, Petten, juli 2005
- Meij, R., H. te Winkel (2005): *Stofemissies van de Nederlandse kolencentrales*, in: Het Dossier/ArenA, Nr. 5, september 2005, blz. 65-68.
- MNP/RIVM (2005): *Fijn stof nader bekeken*. Milieu- en Natuurplanbureau, en sector Milieu en Veiligheid van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- NEA (OECD Nuclear Energy Agency) (1999), *Nuclear Decommissioning, A Proposed Standardised List of Items for Costing Purposes*
- NEA (OECD Nuclear Energy Agency) (2001): *Regulatory aspects of Life Extension and Upgrading of NPPs*, NEA/CNRA/R(2001)1, 2001.
- NEA (OECD Nuclear Energy Agency) (2002): *Technical Aspects of ageing for long-term operation*, NEA/CSNI/R(2002)26, 2002.
- NEA/RWM (2005): *NEA/RWM/WPDD, 3 Achieving the goals of the decommissioning safety case*, Status report of the NEA Working Party on Decommissioning and Dismantling, NEA, Paris.
- NRC (2003): *NRC-10CFR50, Proposed Rule Making 10 CFR part 50. section 50.61, Fracture Toughness Requirements for Protection Against Pressurized Thermal Shock*, NRC, 2003 en *Proposed Rule Making 10 CFR part 50. appendix G, Fracture toughness requirements*, U.S. NRC, 2003.
- NRG (2002): *NPP Ageing Management, A Review of International Guidelines*. NRG rapport 20481/01.42838/C, oktober 2002.
- NRG (2005): *Ontwikkelingen met betrekking tot eindverwerking van gebruikte splijtstof*, R. Jansma et al., NRG rapport nr. 21468/05.64940/C, 13 april 2005, met medewerking van E. Bakker (Clingendael).
- NRPB, NRG and GRS (2002): *Assessment of the Radiological Impact on the Population of the European Union of Discharges from European Union Nuclear Sites between 1987 and 1996*. Prepared by NRPB, NRG and GRS in 2002 for EC-DG-Environment, published in Radiation Protection 128, 2002.
- NucNet (2005): *News Alert N°3/05/A*. 15 September 2005.
- OECD/NEA (2000): *Radiological Impacts of Spent Nuclear Fuel Management Options, a Comparative Study*, OECD/NEA, ISBN 92-64-17657-8 (2000).
- OECD/NEA (2002): *Accelerator-driven Systems (ADS) and Fast reactors (FR) in Advanced Nuclear Fuel Cycles*, OECD/NEA, 2002.
- OECD/NEA (2004): *Uranium 2003: Resources, Production and Demand*, IAEA, OECD/NEA, 2004.
- Provincie Zeeland (1999): *Standpunt GS van Provincie Zeeland betreffende 'Sluiting kerncentrale Borssele'*, 994356/5, 11 mei 1999.
- Puch, K.-H., G. Keller and W. vom Berg (1997): *Radioactivity of combustion residues from coal fired power stations*, Proceedings, international symposium on radiological problems with NORM, KEMA, Amsterdam, 8 - 10 September, 1997.

- Rijkers, F.A.M., J.J. Battjes, F.H.A. Janszen (EUR), M. Kaag, (EUR) (2001): *POWERS - Simulatie van prijsvorming en investeringsbeslissingen in een geliberaliseerde Nederlandse elektriciteitsmarkt*, ECN-C--01-033, ECN, Petten.
- William C. Sailor, David Bodansky, Chaim Braun, Steve Fetter and Bob van der Zwaan, A Nuclear Solution to Climate Change?, *Science*, Vol. 288, 19 May 2000, pp. 1177-1178.
- Sambeek, E.J.W. van, H.J. de Vries, A.E. Pfeiffer, J.W. Cleijne (2004): *Onrendabele toppen van duurzame elektriciteitsopties - Advies ten behoeve van de vaststelling van de MEP-subsidies voor de periode juli tot en met december 2006 en 2007*, ECN/KEMA, ECN-C--04-101, Petten, November 2004.
- Scheepers, M.J.J., B.C.C. van der Zwaan (2002): *Bedrijfseconomische beoordeling van twee CO<sub>2</sub>-vrije opties voor elektriciteitsproductie voor de middellange termijn - Exploitatieverlenging kerncentrale Borssele en offshore windenergie*, ECN-C-02-055, ECN, Petten.
- Scheepers, M.J.J., A.F. Wals, F.A.M. Rijkers (2003): *Position of Large Power Producers in Electricity Markets of North Western Europe*, Report for the Dutch Energy Council on the Electricity Markets in Belgium, France, Germany and the Netherlands, ECN-C-03-003, ECN, Petten.
- Scheepers, M.J.J.; Werven, M.J.N. van; Seebregts, A.J. (ECN); Poort, J.P., Nooij, M. de, Baarsma, B.E.; Norm voor leveringszekerheid; Een minimumnorm voor waarborging van het evenwicht tussen elektriciteitsvraag en -aanbod op lange termijn; ECN-C--04-055, ECN, Petten, mei 2004
- Scheepers, M.J.J.; *Kernenergie in een geliberaliseerde elektriciteitsmarkt*; Factsheet opgesteld voor het Rathenau Instituut, februari 2005  
<http://www.rathenau.nl/showpage.asp?item=1075>
- Seebregts, A.J., M.J.J. Scheepers, H.J. de Vries (2004): *Baseload elektriciteitsprijzen en brandstofprijzen 2005 tot en met 2020 - Onderbouwing van de elektriciteitsprijs in het advies technisch-economische parameters van duurzame elektriciteitsopties 2006-2007*, ECN-I--04-002, ECN, Petten, oktober 2004.
- Seebregts, A.J., C.H. Volkers (2005): *Monitoring Nederlandse elektriciteitscentrales 2000-2004*, ECN-C--05-090, ECN, Petten, november 2005.
- SenterNovem (2004): *Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO<sub>2</sub>-emissiefactoren*, 14 december 2004, H.H.J. Vreuls.
- Sijm, J.P.M., Bakker, S.J.A., Chen, Y., Harmsen, H.W., Lise, W. (2005): *CO<sub>2</sub>-price dynamics: The implication of EU emission trading for the price of electricity*, ECN-C--05-081, ECN, Petten, september 2005
- Singels, M., J.P.G.N. Klooster, G. Hoek (2005): *Luchtkwaliteit in Nederland: gezondheidseffecten en hun maatschappelijke kosten - Een beknopt overzicht van de stand van zaken in 2005*, CE, Delft, Publicatienummer: 05.4094.27, september 2005.
- van Soest, Jan Paul, e.a. (2005): *De kern van de discussie - Sluiting 'Borssele' 2013 in het licht van de transitie naar een duurzame energiehuishouding*, Advies voor Duurzaamheid, IMSA Amsterdam e.a., 19 april 2005.
- Stromen (2005), jaargang 7, no. 18, 21 oktober 2005
- TenneT (2004): *Ontwikkeling import- en exportcapaciteit voor de markt*, 5 oktober 2004. TenneT, Arnhem. <http://www.tennet.org/transport/capaciteit>.
- UNSCEAR (2000), Annex B: *Exposures from natural radiation sources*.
- UNSCR (2004): *United Nations Security Council Resolution 1540 (2004)*. 28 April 2004.

- US-NRC (2005a): *A Short History of Nuclear Regulation, 1946-1999*,  
<http://www.nrc.gov/who-we-are/short-history.html>, geraadpleegd 29 september 2005
- US-NRC (2005a): *Fact Sheet on Reactor License Renewal*,  
<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/license-renewal.html>,  
geraadpleegd 29 september 2005
- Volkers, C.H. (2005): *NEV-Rekensysteem - Technische beschrijving*, ECN, Petten (in voorbereiding).
- VROM-raad/AER, *Energietransitie: Klimaat voor nieuwe kansen*, December 2004
- VROM (2002): *Beleidsstandpunt Onderzoek Radioactief Afval*, bij brief van Staatssecretaris van VROM, 11 november 2002, Tweede Kamer, vergaderjaar 2002-2003, 28 674, nr. 1.
- VROM (2004): *Convention on nuclear safety, National Report of the Kingdom of the Netherlands*, VROM, Den Haag, september 2004
- VROM (2005). *Bedrijfsduur kerncentrale Borssele - Notitie over aspecten die een rol spelen bij de besluitvorming over de bedrijfsduur van de kerncentrale Borssele*. Notitiebijlage bij brief SAS/2005039331, Ministerie van VROM, Den Haag
- VROM (2005b) Aantekeningen van VROM DGM Directie SAS, 6 april 2005
- VROM (2005c). *Evaluatienota Klimaatbeleid 2005 - Onderweg naar Kyoto, Een evaluatie van het Nederlandse klimaatbeleid gericht op realisering van de verplichtingen van het Protocol van Kyoto*. Ministerie van VROM, Den Haag, oktober 2005