



Energy research Centre of the Netherlands



Kerncentrale Borssele na 2013

Gevolgen van beëindiging of voortzetting van de bedrijfsvoering

SAMENVATTING

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 (CO₂, NO_x, SO₂, 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 ₂ , SO ₂ , NO _x 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 _x 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	Brandstofprijswontwikkeling	107
A.1.3	CO ₂ -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 ₂ -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 CO₂, NO_x, SO₂ en PM₁₀</i>	52
Tabel 4.2	<i>Vermeden CO₂-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 m³ 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 CO₂, NO_x, SO₂ en PM₁₀</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 capaciteitsstarief) voor elektriciteitscentrales</i>	108
Figuur A.2	<i>Prijs voor CO₂-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 ₂ -emissies
EU	Europese Unie
GBq	Gigabecquerel, 10 ⁹ 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 Splijtings 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), toezichthoudende 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 elektriciteitsstelsel) 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 CO₂-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 CO₂ 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: - Gemiddeld 23 PJ/jaar aardgas minder - Gemiddeld 2 PJ/jaar kolen minder - Gemiddeld 0,5 PJ/jaar biomassa minder		Voor elektriciteitsproductie in 2015-2030: - Gemiddeld 2 PJ/jaar aardgas meer - Gemiddeld 32 PJ/jaar kolen minder - Gemiddeld 3,5 PJ/jaar biomassa minder	
		Voor elektriciteitsproductie in 2020: - 187 PJ kolen - 640 PJ gas (excl. WKK) - 76 PJ biomassa		Voor elektriciteitsproductie in 2020: - 341 PJ kolen - 544 PJ gas (excl. WKK) - 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. - Gunstig voor brandstofdiversificatie - Gunstig voor gasvoorraden		- Geen effect op leveringszekerheid elektriciteit, mits besluitvorming KCB tijdig bekend is. - 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 CO₂, NO_x, SO₂ 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 CO₂ emissierechten ontstaat bij voortzetting van de exploitatie van de KCB meer ruimte voor het emitteren van CO₂. De door de KCB geproduceerde elektriciteit substitueert elektriciteit die anders met een kolen- of gascentrale zou zijn geproduceerd. De CO₂-emissierechten die daarvoor nodig zijn worden nu niet aangewend voor Nederlandse elektriciteitsproductie, maar kunnen worden gebruikt voor CO₂-emissies van andere installaties die deelnemen aan het handelssysteem. Op Europese schaal is er dan ook geen sprake van een feitelijke CO₂-emissiereductie. Het beschikbaar komen van CO₂-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 CO₂-emissies zullen Nederlandse elektriciteitsproducenten minder kosten hebben voor het verwerven van emissierechten. Wanneer het handelssysteem voor NO_x na 2010 wordt voortgezet, dan zal de afname van de NO_x-emissies bij de elektriciteitsproductie, als gevolg van de voortzetting van de bedrijfsvoering van de KCB, resulteren in een verlaging van de nationale NO_x 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 ₂)	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 ₂)	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 _x)	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 ₁₀)	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 ₂)	<ul style="list-style-type: none"> - Geen effect op Europese CO₂-emissies - Mogelijk zeer beperkt effect op CO₂-prijs - Lagere kosten Nederlandse elektriciteitsproducenten (ca. 17 tot 77 miljoen euro per jaar) 	<ul style="list-style-type: none"> - Plafond emissiehandel in eerste handelsperiode (2005-2007): 2,2 Gton/jaar voor Europa en 95 Mton/jaar voor Nederland - CO₂-prijs: 11 €/ton tot 2020, daarna oplopend tot 58 €/ton in 2030 	<ul style="list-style-type: none"> - Geen effect op Europese CO₂-emissies - Mogelijk zeer beperkt effect op CO₂-prijs tot 2020 - Tot 2020 lagere kosten Nederlandse elektriciteitsproducenten (ca. 28 miljoen euro per jaar), daarna geen kosteneffect 	<ul style="list-style-type: none"> - Plafond emissiehandel in eerste handelsperiode (2005-2007): 2,2 Gton/jaar voor Europa en 95 Mton/jaar voor Nederland - CO₂-prijs: 11 €/ton tot 2020, daarna nihil
- Stikstofoxiden (NO _x)	- 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"> - Emissies in lucht: Gemiddeld ca. 250 - 77.000 Re* per jaar lager - Lozingen in water: geringe toename jaarlijkse lozing van radioactieve stoffen in water bij de KCB 	- 77.000 Re* in 2020 voor Nederland door fossiel gestookte centrales	<ul style="list-style-type: none"> - Emissies in lucht: Gemiddeld ca. 7000 Re* per jaar lager - Lozingen in water: geringe toename jaarlijkse lozing van radioactieve stoffen in water bij de KCB 	- 110.000 Re* in 2020 voor Nederland door fossiel gestookte centrales
<i>Volksgesondheid</i>				
- Radioactiviteit	<ul style="list-style-type: none"> - Lokaal: per saldo geringe toename nadelige effecten door externe straling - Nationaal: geringe afname nadelige effecten door lagere blootstelling aan geëmitteerde radioactieve stoffen 	Ontvangen dosis als gevolg van nature aanwezige radioactiviteit ligt 1000 tot 100.000 keer hoger dan de verandering.	<ul style="list-style-type: none"> - Lokaal: per saldo geringe afname nadelige effecten door externe straling - Nationaal: geringe afname nadelige effecten door lagere blootstelling van geëmitteerde radioactieve stoffen 	Ontvangen dosis als gevolg van nature aanwezige radioactiviteit ligt 1000 tot 100.000 keer hoger dan de verandering.
- NO _x , 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"> - 1,3 m³ warmteproducerend hoogactief afval - maximaal 2,5 m³ niet-warmteproducerend hoogactief afval - 30 a 40 m³ middel- tot licht radioactief afval 		Extra afval tijdens bedrijf KCB per jaar op te slaan bij COVRA: <ul style="list-style-type: none"> - 1,3 m³ warmteproducerend hoogactief afval - Maximaal 2,5 m³ niet-warmteproducerend hoogactief afval - 30 a 40 m³ middel- tot licht radioactief afval 	

* 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 ³ aardgas per jaar	- 49 miljard m ³ binnenlands aardgasverbruik in 2020	- Gemiddeld 0,1 miljard m ³ aardgas per jaar meer	- 49 miljard m ³ 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_x en fijn stof. Deze lagere uitstoot zal bijdragen aan een vermindering van de nadelige gezondheidseffecten die NO_x 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 m³ 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 m³ 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 m³ 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 m³ 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 m³ 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"> - Hoewel werkgelegenheid voor de KCB behouden blijft, per saldo geen significant effect op de werkgelegenheid op nationaal niveau. - Gunstig voor instandhouding nucleaire kennisinfrastructuur in Nederland.

- *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.