

2 Voor- en nadelen van kernenergie, kolen en aardgas

2.1 Afwegingskader

Duurzame energievoorziening is dynamisch concept

In het vorige hoofdstuk is aangegeven dat van een duurzame energievoorziening sprake is als: de gebruikte energiebronnen in voldoende mate beschikbaar zijn en dat ook nog voor zeer lange tijd blijven, de effecten van energiegebruik voor mens en natuur beperkt zijn, de levering betrouwbaar en veilig is, en afnemers (huishoudens en bedrijven) tegen een redelijke prijs toegang tot energie hebben en houden.

In de praktijk zal waarschijnlijk nooit gelijktijdig aan alle duurzaamheidsaspecten volledig te voldoen zijn. Een geheel duurzame energievoorziening is dan ook vooralsnog een utopie, hoe noodzakelijk deze transitie vanuit de klimaatproblematiek bezien ook is. Er zal moeten worden gekozen, bijvoorbeeld tussen de mate van milieuschade die aanvaardbaar wordt geacht en de prijs die de samenleving bereid is hiervoor te betalen (ecologische versus economische duurzaamheid). Naarmate hernieuwbare energiebronnen technologisch verder ontwikkeld zijn en tegen concurrerende marktprijzen kunnen worden geleverd, zal deze spanning afnemen. Maar ook dan zullen er conflicterende belangen zijn die tot keuzes dwingen bij de dan geldende duurzaamheidsopvattingen in brede zin. In zijn advies *Nationale strategie voor duurzame ontwikkeling* stelt de raad in dit verband dat in het streven naar een duurzame ontwikkeling niet kan worden toegewerkt naar één vastomlijnd einddoel¹:

Aan de evenwichtsoefening naar duurzaamheid komt nooit een eind. Dat komt niet alleen doordat de verschillende dimensies van duurzaamheid, mede door de technologische ontwikkeling, elk aan een eigen dynamiek onderhevig zijn. Het is ook een gevolg van het feit dat wat wel en niet duurzaam genoemd wordt, uiteindelijk afhankelijk is van maatschappelijke oordeelsvorming. Het gaat immers om de kwaliteit van de samenleving. Conflicterende waarden en belangen moeten tegen elkaar worden afgewogen. Uiteindelijk gaat het om de waarden die mensen (individueel en collectief) hechten aan verschillende soorten risico's. Nieuwe kennis, een toenemend technisch vernuft en een beter inzicht in de werking van complexe economische, sociale en ecologische systemen zullen dat afweegproces beïnvloeden.

In de kern is het streven naar duurzame ontwikkeling dus een maatschappelijk proces van zoeken, leren, afwegen en zich binden.

Deze dynamische benadering van duurzaamheid sluit aan bij opvattingen over de ontwikkeling naar een duurzame energievoorziening, die in het factfinding-rapport van ECN zijn weergegeven². Zo geven Bruggink en Van der Zwaan aan dat er in de ontwikkeling naar een duurzame energievoorziening niet één maat voor duurzaamheid valt aan

1 SER (2002) *Advies Nationale strategie voor duurzame ontwikkeling*, publicatienr. 02/07, Den Haag, p. 16.
2 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., pp. 83-86.

te geven³. Duurzaamheid kent immers meerdere dimensies (economisch, sociaal en milieu) en richt zich bovendien op de lange termijn, waardoor er grote onzekerheden zijn. De auteurs concluderen dat een afweging of kernenergie een rol kan spelen in een duurzaam energiepad alleen mogelijk is op basis van een beoordeling van de economische, sociale en milieurisico's van kernenergie ten opzichte van dergelijke risico's van andere energiebronnen in het transitiepad. Zo'n afweging vereist een politiek oordeel.

Hernieuwbare elektriciteit in Nederlandse scenario's

Uit de langetermijnverkenningen blijkt dat een ecologisch duurzame energiehuishouding pas ver na het midden van deze eeuw in zicht komt, zelfs bij een maximale beleidsinzet in een internationaal kader⁴. Ook voor een ecologisch duurzame elektriciteitsopwekking is nog een lange weg te gaan. In 2007 was immers slechts 6 procent van de Nederlandse elektriciteitsproductie afkomstig uit hernieuwbare bronnen.

Uit het *Green4sure*-scenario, waarin maximaal wordt ingezet op energiebesparing en CO₂-reductie, komt naar voren dat door de jaarlijkse energie-efficiency van 2,1 procent het totale elektriciteitsgebruik in dit scenario in 2030 iets onder het niveau van 2005 ligt en dat het mogelijk is het aandeel hernieuwbaar in het Nederlandse elektriciteitsgebruik op te voeren tot 41 procent⁵. Dit leidt tot een reductie van de CO₂-uitstoot van 50 procent in 2030 ten opzichte van 1990, zonder uitbreiding van kernenergie.

De ECN/MNP-effectrapportage van het werkprogramma *Schoon en Zuinig* van het vierde kabinet-Balkenende geeft aan dat in 2020 30 procent hernieuwbare elektriciteit nodig is om op een kosteneffectieve wijze de kabinetsdoelstelling van 20 procent hernieuwbare energie te halen⁶. Bij een CO₂-prijs van 50 €/ton kan het aandeel hernieuwbare elektriciteit volgens de ECN/MNP-ramingen naar maximaal 35 procent in 2020 stijgen, onder voorwaarde dat het budget van aflopende MEP-verplichtingen opnieuw binnen de SDE (subsidieregeling duurzame energie) wordt besteed. Bij een CO₂-prijs in 2020 van rond de 20 €/ton kan er bij dezelfde veronderstellingen niet meer dan 22 procent hernieuwbare elektriciteit worden opgewekt.

In de *Energievisie 2050* van ECN/NRG, dat een pad naar een duurzame Europese energiehuishouding schetst, bestaat de Europese energiemix rond het midden van deze eeuw

-
- 3 Bruggink, J.J.C. en B.C.C. van der Zwaan (2002) The role of nuclear energy in establishing sustainable energy paths, *Global Energy Issues*, vol. 18 – nr. 2/3/4, pp. 151-180.
 - 4 Zie bijvoorbeeld het overzicht van een groot aantal energiescenario's in: Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., hoofdstuk 9.
 - 5 Zie: Rooijers, F.J. [et al.] (2007) *Green4sure: Het Groene Energieplan*, op.cit.
 - 6 Menkveld, M. (ed.) (2007) *Beoordeling werkprogramma Schoon en Zuinig: Effecten op energiebesparing, hernieuwbare energie en uitstoot van broeikasgassen*, Petten/Bilthoven, Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)/ Nuclear Research & Consultancy Group (NRG), p. 25. De MEP-regeling betreft de ministeriële regeling Milieukwaliteit Elektriciteitsproductie met als doel de bevordering van duurzame energieproductie. Deze regeling wordt afgebouwd en is inmiddels vervangen door de Subsidieregeling Duurzame Energie (SDE).

voor ruim 35 procent van de totale energievoorziening uit hernieuwbare bronnen (biomassa, wind en zon)⁷. De Europese elektriciteit wordt in deze visie rond 2050 voor 40 procent opgewekt door fossiele brandstoffen (vooral kolen met CCS); eenzelfde percentage komt tot stand door hernieuwbare energie, terwijl 20 procent afkomstig is van kernenergie (nu ruim 30 procent).

De AER is in zijn advies over de toekomstige brandstofmix nagegaan wat de mogelijkheden zijn om in 2020 respectievelijk 20 en 40 procent van de elektriciteit via hernieuwbare energie (vooral wind en biomassa) op te wekken⁸. De AER concludeert onder meer dat voor substantieel meer *windvermogen* (op zee) het nodig is een opslagfaciliteit (energie-eiland op zee) aan te leggen. Dit vereist grote aanvullende investeringen; de jaarlijkse kosten hiervan bedragen naar schatting € 1 mrd. (20 procent-scenario) à € 2 mrd. (40 procent-scenario). De grootschalige inzet van *biomassa* wordt volgens de AER bemoeilijkt door aanbodbeperkingen van duurzame biomassa. Voor het 20 procent-scenario is een forse inzet van biomassa in 2020 wellicht nog wel haalbaar, maar dat geldt zeker niet voor het 40 procent-scenario.

Vergelijkende analyse op basis van vijf aspecten

Hoe het ook zij, het voorgaande maakt duidelijk dat ook als het de komende decennia zou lukken op grote schaal energiebesparing door te voeren en meer hernieuwbare energie in te zetten, dan nog een zeer groot deel van de elektriciteitsproductie door fossiele brandstoffen zou worden opgewekt. De vraag is dan aan de orde welk deel van de fossiele productie om te zetten is in schoon fossiel, en waar mogelijk een rol ligt voor een kerncentrale als bijdrage aan het basislastvermogen van de elektriciteitsproductie. Om deze reden beperkt de vergelijking zich in het vervolg van dit hoofdstuk tot deze drie energiedragers: kolen, gas en kernenergie. In die vergelijking zijn de volgende factoren aan de orde:

- *Betrouwbaarheid*. Bij een betrouwbare energievoorziening staan de voorzienings- en leveringszekerheid centraal. Het is van groot maatschappelijk belang dat het risico dat de stroom uitvalt tot een minimum beperkt blijft. Een mogelijke uitbreiding van kernenergie moet mede in dit licht worden beoordeeld. Uiteraard is in dit verband ook de ontwikkeling van het energieaanbod van buurlanden aan de orde. Daarnaast moet nieuw elektriciteitsproductievermogen inpasbaar zijn in de infrastructuur.
- *Veiligheid*. Bij een veilige energievoorziening is de kans op (ernstige) ongevallen tot een minimum beperkt en lopen werknemers en omwonenden geen gezondheidsrisico's. Veiligheidsrisico's zijn vooral aan de orde bij de winning van kolen (mijnbouwongelukken) en aardgas (omvangrijke gaslekkages, risico's bij aanlanding van vloeibaar aardgas), kernenergie (afvalbeheer, proliferatierisico's) en bij CO₂-afvang en -opslag van kolen- en gasgestookte elektriciteitscentrales.

7 Uyterlinde, M.A., J.R. Ybema, R.W. van den Brink (2007) *De belofte van een duurzame Europese energiehuishouding: Energievisie van ECN en NRG*, Petten/Bilthoven, Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)/ Nuclear Research and Consultancy Group (NRG), p. 13.

8 AER (2008) *Advies Brandstofmix in beweging*, op.cit., p. 93.

- *Milieubelasting.* Een uitbreiding van kernenergie moet passen in het milieu- en klimaatbeleid voor de lange termijn. Hierbij is de klimaatdoelstelling (30 procent emissiereductie in 2020) in het geding, maar ook de invloed van een uitbreiding van kernenergie op andere kabinetsdoelen (energiebesparing, de inzet van meer hernieuwbare bronnen, emissiereductiedoelstellingen anders dan broeikasgassen).
- *Betaalbaarheid.* Een vierde element in de maatschappelijke oordeelsvorming betreft de kosten en betaalbaarheid. Deze aspecten spelen voor mogelijke investeerders in een nieuwe kerncentrale alsook voor het bedrijfsleven en de consument.
- *Andere economische aspecten.* Uiteraard zijn ook andere economische factoren aan de orde, zoals de industriële ontwikkeling (onder meer *spin-offs* en werkgelegenheid) en *lock-in-effecten* (effect op ontwikkeling niet-kernenergieopties).

In de volgende paragrafen volgt op de vijf hierboven genoemde factoren voor ieder van de drie energiebronnen – kolen, gas en kernenergie – een schets van de ‘plussen en minnen’. De analyses uit dit hoofdstuk vormen de basis van het oordeel dat de raad in hoofdstuk 3 uitsprekt.

2.2 Betrouwbare elektriciteitsvoorziening

2.2.1 Voorraden

Mondiale voorraden

De betrouwbaarheid van het toekomstige elektriciteitsaanbod is gediend met een breed aanbod van energiebronnen (diversificatie). De beoordeling wanneer de voorraden kolen, gas en uranium uitgeput raken, is afhankelijk van veronderstellingen en inschattingen. In de literatuur lopen de meningen hierover daardoor uiteen. Het gaat hierbij vooral om de inschatting van de mate waarin de potentiële en onconventionele voorraden ooit commercieel kunnen worden aangeboord. Volgens het MNP zijn de winbare mondiale voorraden aan fossiele brandstoffen groot genoeg om ook in de komende decennia aan onze energiebehoefte te voldoen (zie kader).

Mondiale voorraden fossiele brandstoffen

Bij het huidige wereldwijde verbruikstempo is *het totaal van winbare, potentiële en onconventionele voorraden* naar schatting nog goed is voor 150 jaar olie, 360 jaar aardgas en 1300 jaar kolen. De geografische verdeling is echter scheef. Goedkope, conventionele voorraden aardgas en olie worden wel schaarser. De niet-conventionele voorraden zijn vele malen groter dan de conventionele voorraden. In welke mate deze niet-conventionele voorraden zullen worden geëxploiteerd, hangt af van de wereldmarktprijs van energiedragers. Een andere bepalende factor is de beperkende invloed van het klimaatbeleid en andere milieumaatregelen op het gebruik van deze energiedragers.

Overigens bestaat er een belangrijke controverse over de voorraden fossiele brandstoffen. Een groep geologen is van mening dat beschikbare en gemakkelijk winbare voorraden olie en gas zeer beperkt zijn, dat de maximale productieniveaus al bereikt zijn en de productie zal gaan afnemen. Volgens deze zogenaamde Peak-Oil-hypothese moet de wereld zich voorbereiden op een wereld met aanhoudende hoge olieprijsen.

- Bron: Hanemaaijer, A. en W. de Ridder [et al.] (2007) *Nederland en een duurzame wereld: Armoede, klimaat en biodiversiteit: Tweede Duurzaamheidsverkenning*, Bilthoven, Milieu- en Natuurplanbureau (MNP), p. 41.

Kolen

Voor kolen worden tot het midden van deze eeuw veelal geen voorraadproblemen voorzien⁹. Wel zal de sterke stijging van de vraag – zoals bijvoorbeeld uit *World Energy Outlook 2007* blijkt – waarschijnlijk tot hogere prijzen leiden. Voor een betrouwbare levering is het gunstig dat de kolenvoorraden gelijkmatig over de wereld verspreid zijn. Door de bijstook van biomassa in kolencentrales kan elektriciteit met minder kolen worden opgewekt (zie verder paragraaf 2.4.3). Daar staat tegenover dat bij toepassing van CCS het rendement van een kolencentrale op dit moment met zo'n 10 procentpunt afneemt¹⁰.

Aardgas

Voor aardgas is de verwachting dat in de loop van deze eeuw het einde van de winbare voorraden in zicht komt¹¹. Er zijn overigens nog wel grote onconventionele voorraden, vooral in Noord-Amerika, Rusland, China en Japan¹².

Voor de komende decennia is van belang dat de winbare gas- (en olie)voorraden zich voor een belangrijk deel in landen in het Midden-Oosten, Noord-Afrika en de voormalige Sovjet-Unie bevinden. De levering uit deze politiek instabiele regio's wordt door velen als onzeker beschouwd. De gasvoorraden in Europa zijn relatief beperkt. Het Europese continent zal dus steeds afhankelijker worden van gasimporten uit de andere continenten.

Naar verwachting zullen de Nederlandse aardgasvoorraden en -productie de komende decennia een dalend verloop laten zien. Dat hoeft echter niet te betekenen dat gas in de Nederlandse langetermijnenergievoorziening in betekenis afneemt. Integendeel.

Volgens de AER zal de Nederlandse energievoorziening ook in de periode tot 2040 in belangrijke mate van gas afhankelijk blijven¹³. Dit heeft deels een historische reden: de Nederlandse elektriciteitsvoorziening is door gas gedomineerd; de beschikbaarheid

9 Zie Uyterlinde, M.A. [et al.] (2007) *De belofte van een duurzame Europese energiehuishouding: Energievisie van ECN en NRC*, op.cit., p. 18.

10 Uyterlinde, M.A. [et al.] (2007) *De belofte van een duurzame Europese energiehuishouding*, op.cit., p. 37.

11 Uyterlinde, M.A. [et al.] (2007) *De belofte van een duurzame Europese energiehuishouding*, op.cit., p. 18.

12 Hanemaaijer, A. en W. de Ridder [et al.] (2007) *Nederland en een duurzame wereld*, op.cit., p. 41.

13 AER (2008) *Advies Brandstofmix in beweging*, op.cit.

van eigen gas en een goede gasinfrastructuur ondersteunen deze dominante positie. Daarnaast is gas in Nederland de preferente energiedrager voor warmteopwekking. Verder is gasvermogen flexibel. Dit is een groot pluspunt bij realisering van de beoogde toenemende hoeveelheid windenergie. Immers, in periodes dat de wind toe- of afneemt zal dit opgevangen moeten worden met elektriciteitsopwekkingcapaciteit die snel op deze fluctuaties kan reageren.

Tegen deze achtergrond is het streven dat Nederland zich verder ontwikkelt tot 'gasrotonde van Noordwest-Europa' (zie kader). In dit verband investeert de Gasunie in de periode tot 2010 € 1,1 miljard in de uitbreiding van het gastransportnet in Nederland met 500 kilometer leiding en vier compressorstations¹⁴. De Gasunie is ook in overleg met gastransportmaatschappijen in de buurlanden België en Duitsland over uitbreiding van de grensoverschrijdende gasleidingen.

Visie op de gasmarkt

In zijn visie op de gasmarkt van maart 2006 constateerde de toenmalige minister van Economische Zaken, Brinkhorst, dat de mondiale vraag naar gas fors toeneemt, terwijl de gasreserves in de westerse landen (aangesloten bij OESO en EU) afnemen. De gasreserves zijn vooral geconcentreerd in geopolitiek gevoelige landen en regio's: Rusland, Noord-Afrika en het Midden-Oosten. Door een groeiende rol van vloeibaar gas (LNG, Liquefied Natural Gas), raken de regionale gasmarkten langzamerhand met elkaar verweven.

Om risico's van toenemende afhankelijkheid te beperken, betekent dit volgens Brinkhorst de noodzaak van een grotere diversificatie (LNG-initiatieven passen hierin), een betere werking van de Europese gasmarkt (betere spreiding van aanvoerrisico's; meer ruimte voor sterke ondernemingen) en politieke krachtenbundeling op Europese schaal om geopolitieke uitdagingen het hoofd te bieden (goede relaties met producentenlanden; medebepaling van spelregels op gasmarkt).

Voor Nederland is, aldus Brinkhorst, van belang dat de rol van de Gasunie en het Groningerveld fundamenteel verandert. Er moet worden uitgegaan van een dalende productie, meer import en een grotere behoefte aan flexibiliteit. Daar staat tegenover dat Nederland een goede uitgangspositie op de gasmarkt heeft en houdt door zijn geologie, winning, infrastructuur en kennis.

De visie van Brinkhorst houdt in dat de goede Nederlandse uitgangspositie kan worden uitgebouwd door meer gasgerelateerde investeringen en een betere integratie van Nederland in de Noordwest-Europese gasmarkt. Nieuwe gasstromen,

14 Persbericht Gasunie, 21 juli 2007.

waaraan door specifiek Nederlandse omstandigheden waarde kan worden toegevoegd, leiden op deze wijze tot meer economische activiteit in gastransport, gashandel en aanverwante activiteiten als gasopslag. Met het aantrekken en verde-len van nieuwe gasstromen wordt ook een degelijk basis gelegd voor leverings-en voorzieningszekerheid op lange termijn. Zo kan Nederland zich verder ont-wikkelen tot de ‘gasrotonde’ van Europa. Dit betekent onder meer dat een goed Nederlands investeringsklimaat van belang is voor gastransport (pijpleidingen), gasopslag (de Nederlandse ondergrond is bij uitstek geschikt voor de opslag van gas; de Europese markt voor seizoenopslag zal naar verwachting sterk groeien) en LNG-aanlandterminals.

• Bron: *Visie op de gasmarkt*, brief van minister Brinkhorst aan de Tweede Kamer, 17 maart 2006.

Voor de internationale positie van Nederland als gasland wordt een belangrijke rol toege-dicht aan vloeibaar gas (LNG) dat over grote afstanden per schip kan worden aangevoerd. Op 26 september 2007 heeft de minister van Economische Zaken het groene licht gegeven voor de bouw van drie LNG-terminals, twee in de Rijnmond en een in de Eemshaven¹⁵. Hierdoor kunnen ondernemingen investeren in LNG-projecten, waardoor contracten voor de levering van LNG gedurende twintig jaar kunnen worden afgesproken.

De toekomstige positie van gas in de Nederlandse energievoorziening wordt verder mede beïnvloed door de ontwikkeling van ‘groen’ gas (gas uit biomassa)¹⁶. Het platform Groene Grondstoffen heeft zelfs de ambitie uitgesproken om in 2030 25 procent van de elektrici-teitsvraag uit groene grondstoffen te laten bestaan¹⁷. Daarbij zou 20 procent van het aardgas door groen gas moeten worden vervangen.

Kernenergie: uraniumvoorraden

Voor de productie van kernenergie worden tot aan het eind van deze eeuw geen substan-tiële voorraadproblemen verwacht, zo blijkt uit de factfinding-studie¹⁸. Bij het huidige uraniumverbruik voor de circa 440 kerncentrales in de wereld (circa 67.000 ton per jaar) is er genoeg voor circa 70 jaar. Naast deze voorraden zijn er schattingen die wijzen op moeilijker te winnen uraniumvoorraden met een omvang van 10 miljoen ton. Bij oplo-pende uraniumprijzen wordt winning hiervan in toenemende mate economisch rendabel. Onconventionele voorraden van uranium zijn voorts aanwezig in fosfaatafzettingen

15 Persbericht ministerie van Economische Zaken, 26 september 2007.

16 Groen gas wordt gemaakt door gas uit biomassa op te werken tot aardgaskwaliteit. Momenteel is het mogelijk groen gas te produceren via vergisting van natuurlijke (rest)stromen. Grootschalige vergassing van biomassa (SNG: *Synthetic Naturel Gas*) is op zijn vroegst over vijf jaar operationeel. Op korte termijn kunnen eerste stappen worden gezet door de biologische vergisting van biomassa (mest, GFT, slachtafval, etc.). Door dit op gang te brengen, wordt de weg bereid voor grootschaliger groengasproductie in de toekomst. Bron: Ministerie van LNV (2007) *De keten sluiten: Overheidsvisie op de bio-based economy in de energietransitie*, Den Haag.

17 Platform Groene Grondstoffen (2007) *Groenboek energietransitie*, Sittard.

18 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., pp. 28-29.

(22 miljoen ton) en in zeewater (4000 miljoen ton). Met de op dit moment in ontwikkeling zijnde vierde generatie kernreactoren wordt ernaar gestreefd het uraniumgebruik circa 100 maal efficiënter te maken, waardoor substantieel minder brandstof nodig is. Net als kolen kan uraniumerts op voorraad worden gehouden. Voor het maken van splijtstof kan naast uranium ook thorium worden gebruikt. De omvang van de natuurlijke voorraden van thorium is ten minste vergelijkbaar met die van uranium.

De grootste uraniumvoorraden liggen in Australië, Kazakstan en Canada. Kleinere uraniumreserves zijn verspreid over de wereld – deels in politiek instabiele regio's – te vinden: Zuid-Afrika, Namibië, Brazilië, Niger, Rusland, Uzbekistan en China.

2.2.2 Productiecapaciteit

*Het Nederlandse productievermogen*¹⁹

Zoals eerder vermeld, wordt in Nederland op dit moment ruim 60 procent van de elektriciteit via gascentrales opgewekt; 24 procent is afkomstig van kolencentrales²⁰. Verder is Nederland in vergelijking met de buurlanden in sterke mate afhankelijk van stroomimporten: 21 procent; daarnaast wordt 5 procent geëxporteerd.

Een belangrijke determinant voor de leveringszekerheid in de komende decennia is de investeringsbereidheid van de energiebedrijven en de betrokken overheden. De afgelopen jaren is een groot aantal nieuwbouwplannen gepresenteerd. Deze omvatten voor de periode 2007-2013 een totale omvang van ongeveer 9500 MW, bij een opgesteld productievermogen van 22.100 MW in 2006²¹. Het gaat hierbij om 5000 MW kolengestookt vermogen (met bijstook van biomassa), om 4500 MW gasgestookt vermogen en om 180 MW windvermogen.

TenneT concludeerde onlangs dat Nederland tot en met 2008 voor de leveringszekerheid afhankelijk blijft van buitenlands aanbod²². Bij volledige realisatie van alle nieuwbouwprojecten voor elektriciteitscentrales zou er daarna sprake van een omslag zijn en zou er meer elektriciteit dan de nationale behoefte worden opgewekt²³. Om enig inzicht in de bandbreedte van de ontwikkeling op middellange termijn te krijgen heeft TenneT ook een scenario doorgerekend waarin maar een kwart van de voorgenomen nieuwbouwprojecten wordt gerealiseerd. In zo'n scenario blijft de leveringszekerheid in 2014 op het niveau van de afgelopen jaren steken, dat wil zeggen dat sprake blijft van een flink aan-

19 Zie ook paragraaf 2.2 van bijlage 1.

20 AER (2008) *Advies Brandstofmix in beweging*, op.cit.

21 Zie voor details: AER (2008) *Advies Brandstofmix in beweging*, op. cit, inz. par. 4.2.2.

22 TenneT (2007) *Rapport Monitoring Leveringszekerheid 2006-2014*, Arnhem.

23 De AER baseert zich in zijn advies over de toekomstige brandstofmix op deze gegevens.

deel stroomimport²⁴. De leveringszekerheid blijft in zo'n situatie sterk afhankelijk van de productieontwikkeling in de buurlanden.

Het is onzeker of de geplande toename van grootschalig nieuw nationaal productievermogen ook daadwerkelijk geëffectueerd zal worden. Bij de mate van realisatie van de nieuwbouwplannen speelt naast kosten- en rendementsaspecten in de besluitvorming onder meer de vraag of voldoende menskracht en specialistische kennis aanwezig zijn om min of meer gelijktijdig meerdere nieuwbouwprojecten uit te voeren²⁵. Verder zouden langdurige vergunningprocedures en tekorten in transportcapaciteit tot (forse) vertragingen en wellicht afstel kunnen leiden. 'Timing' van investeringen is namelijk een van de relevante factoren voor de beslissing van een investeerder om het bouwvoornemen tot uitvoering te brengen, zo stelt de AER²⁶. Geen investeerder is bereid bewust een overcapaciteit te creëren. Als de concurrentie – bij een verwachte vraag – al voldoende heeft weten te bouwen, zal de (noodgedwongen) laatkomer afzien van zijn bouwvoornemen.

KEMA geeft aan dat door de *leadtime* tussen beslissingen over en realisatie van nieuwe centrales er verschillende tijdspaden zijn²⁷. Voor kolencentrales (inclusief biomassa) moet rekening worden gehouden met een periode van 7 à 8 jaar; voor gasgestookte centrales moet met circa 5 jaar worden gerekend. Om in 2017 over extra grootschalig windvermogen te beschikken zou echter nu met de voorbereiding moeten worden begonnen. Voor kernenergie is de *leadtime* nog groter: als in 2008 tot uitbreiding zou worden besloten dan zou een nieuwe kerncentrale pas rond 2023 operationeel zijn.

De Noordwest-Europese elektriciteitsvoorziening

De UCTE (Unie voor de Coördinatie van het Elektriciteitstransport) geeft in haar *System Adequacy Forecast 2007-2020* aan dat de leveringszekerheid in de Noordwest-Europese elektriciteitsmarkt na 2014-2015 in het geding kan komen als niet tijdig tot investeringen wordt overgegaan in nieuwe productiecapaciteit. Niet alleen Nederland, maar ook België, Frankrijk en Duitsland zullen dan afhankelijk worden van importen van buiten zodra er meer dan gemiddelde productie-uitval is door storingen, revisies of gebrek aan wind- en waterkracht. Interne knelpunten in het Duitse en Belgische net vormen dan een reëel risico voor Nederlandse importen van elektriciteit. Daarnaast is het essentieel dat in de Noordwest-Europese elektriciteitsmarkt de verschillende transportnetten met hun onderlinge verbindingen voldoende capaciteit hebben om de vereiste nationale en grensoverschrijdende transporten mogelijk te maken.

-
- 24 Ook energiestenari's van KEMA duiden op een mogelijke discrepantie tussen nationale vraag en aanbod na 2015. Beekes, M. en W. van der Veen (2007) *Energiescenario's*, Arnhem, KEMA.
- 25 Dit knelpunt speelt ook in internationaal verband. Zo wijst de Duitse energiemaatschappij RWE er in haar *Electricity Generation Capacity Factbook* op dat vanwege de vergrijzing steeds minder personeel beschikbaar zal zijn. Ook wijzen zij erop dat de productie van essentiële onderdelen van een elektriciteitscentrale niet gemakkelijk is op te schalen doordat het om specifieke ingewikkelde technologie gaat.
- 26 AER (2008) *Advies Brandstofmix in beweging*, op.cit, inz. pp. 52-53.
- 27 Beekes, M. en W. van der Veen (2007) *Energiescenario's*, op.cit.

2.2.3 Infrastructuur

Betrouwbaarheid en het transportnet

Aangezien de uitbreiding van de elektriciteitsproductie grotendeels in de Rijnmond/ Maasvlakte en Eemshaven is gepland, zal op deze trajecten eerst de transportcapaciteit moeten worden uitgebreid, alvorens TenneT voor alle projecten de benodigde capaciteit kan garanderen²⁸. Deze problematiek speelt overigens niet alleen bij de nieuwbouw van grote elektriciteitscentrales, maar ook bij meerdere kleinschalige nieuwbouwplannen²⁹. Door de langdurige procedures zijn deze knelpunten veelal niet op korte termijn op te lossen. Ook de combinatie van nieuwe elektriciteitscentrales en een groeiend offshore windvermogen moet door netverzwaring en nieuwe netverbindingen worden opgelost³⁰. Dit betekent dat het moment van de aansluiting van een nieuwe kerncentrale, mocht daar de komende jaren het initiatief toe worden genomen, afhankelijk is van het tempo waarin TenneT voor voldoende netcapaciteit kan zorgen.

Betrouwbaarheid en inpasbaarheid

In het factfinding-rapport wijst ECN erop dat een eventuele extra (kern)centrale met een vermogen van 1000 MW of meer vereist dat de markt voor regel- en reservevermogen moet worden uitgebreid om stroomtekorten op te vangen³¹. Dit geldt overigens ook voor gas- en kolencentrales met grote vermogens, die bovendien qua beschikbaarheid over het algemeen lager scoren dan kerncentrales. Dat noodzaakt tot forse investeringen, die naar verwachting van ECN door marktpartijen zal worden gedragen. De AER wijst in dit verband ook nog op de totstandkoming van interconnectie met Noorwegen³². Door deze connectie kan waterkracht een rol spelen bij het opvangen van netproblemen als gevolg van een fluctuerende productie van windenergie. In de huidige situatie zorgt aardgas voor de opvang van fluctuaties in de energieopwekking. De mate waarin opslagcapaciteit bij een groeiend aandeel *off shore* windvermogen nodig is, is op voorhand niet goed in te schatten en bijvoorbeeld mede afhankelijk van de exportmogelijkheden.

Betrouwbaarheid in de context van de Noordwest-Europese elektriciteitsmarkt

In een Noord-Europese elektriciteitsmarkt is voor een betrouwbare energievoorziening ten slotte ook de aansluiting van de Nederlandse elektriciteitsvoorziening op de internationale infrastructuur van belang. Importafhankelijkheid is een risico als het totale productievermogen (inclusief reservecapaciteit) van de gezamenlijke elektriciteitsmarkt onvoldoende dreigt te worden. Zoals in paragraaf 2.2.2 al is aangegeven, is er enige reden tot zorg over de realisatie van voldoende nieuwe productiecapaciteit in de Noordwest-Europese elektriciteitsmarkt. De voortgang van de nieuwbouw is met veel onzekerheden

28 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., pp. 68-69.

29 AER (2008) *Advies Brandstofmix in beweging*, op.cit., par. 4.2.2.

30 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., p. 69.

31 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., p. 69.

32 AER (2008) *Advies Brandstofmix in beweging*, op.cit., par. 4.2.5.

omgeven, onder meer vanwege maatschappelijke oppositie tegen kolencentrales, onzekerheden over de CO₂-prijs en rondom grootschalige CCS-toepassing, alsook door beperkte beschikbaarheid en hoge kosten van engineering, ketels, turbines, installatiewerk en dergelijke.

2.3 Veilige energievoorziening

2.3.1 Kolen en gas

Veiligheidsrisico's doen zich in diverse fasen van de energieketen voor. Bij kolen betreft het vooral ernstige ongevallen in de winningsfase. Alleen al in China komen jaarlijks duizenden mijnwerkers om bij ongelukken in mijnen door explosies, branden, instortingen en overstromingen³³. Ook is bekend dat werken in de mijnbouw zeer schadelijk is voor de gezondheid. Veilige en gezondheidbeschermende arbeidsomstandigheden in de mijnbouw vormen daarom een van de belangrijke voorwaarden voor een meer duurzame kolenproductie. Voor Nederlandse kolencentrales gelden risico- en veiligheidsanalyses. Hiervoor worden schattingen gemaakt van de kans dat een bepaalde gebeurtenis optreedt. De analyses slaan neer in risiconormen waaraan de centrales zich moeten houden.

Vooraf bij de winning van aardgas en het transport hiervan doen zich in landen als Rusland veiligheids- en milieuproblemen voor vanwege grote gaslekkages waarbij veel methaan – een broeikasgas dat vijf maal sterker is dan CO₂ – vrijkomt³⁴. Meer in het algemeen is explosiegevaar een veiligheidsrisico voor de inzet van vloeibaar gas (LNG) en aardgas.

In Nederland gelden voor gascentrales, net als voor kolencentrales, risiconormen op het gebied van externe veiligheid. Bijzondere aandacht vragen transport en overslag van LNG. In de afgelopen 50 jaar dat LNG per schip wordt vervoerd, hebben zich nog nooit ernstige ongelukken voorgedaan als gevolg van grote lekkages³⁵. Mede om redenen van veiligheid meren LNG-schepen op de Maasvlakte af in een aparte haven. Op de afmeerplaats is lekkage van LNG door een aanvaring vrijwel uitgesloten (kop-kopaanvaringen en oploopaanvaringen zijn in de LNG-haven hoogst onwaarschijnlijk)³⁶.

Voor de toekomstige bouw van kolen- en gascentrales is de mogelijkheid van CCS een belangrijk aandachtspunt (zie kader). Bij CCS spelen veiligheidsrisico's tijdens het trans-

33 Zie bijvoorbeeld Novum/AP (2006) China sluit duizenden kolenmijnen, *Trouw* – 5 januari 2006.

34 De omvang van de Russische aardgaslekken zijn enorm. Hetzelfde geldt voor olielekkages. Uit schattingen komt naar voren dat voorkoming van dergelijke gas- en olielekkages tot een energiebesparing zou leiden die gelijk is aan anderhalf maal de elektriciteitsproductie van de totale nucleaire industrie. Hirsch, H. en O. Targulian (2000) *Cutting Losses: A win/win-scenario for Russia*, Moskou, Greenpeace Rusland.

35 Zie: www.gate.nl/nl/1/7/40/default.aspx.

36 Bovenstaande bron geeft aan dat de kans op vrijkomen van LNG in de nabijheid van industrie en woonbebouwing 1 op 4 miljard jaar bedraagt. Er is niet vermeld wat het effect van een mogelijke calamiteit is.

port en bij de opslag van CO₂³⁷. Als een grote wolk CO₂ snel vrijkomt, is er een risico voor mens en dier. Bij windstil weer kan zo'n wolk tot verstikking leiden.

Na het afvangen in de elektriciteitscentrale zal CO₂ via pijpleidingen naar de opslaglocatie worden getransporteerd. In het dichtbevolkte Nederland lopen deze leidingen dan onvermijdelijk door dichtbevolkte gebieden. Het plotseling vrijkomen van een grote CO₂-wolk is een risico dat tegen te gaan is door in de leiding kleppen te plaatsen die kunnen worden afgesloten zodra CO₂ dreigt te ontsnappen. Goede detectieapparatuur moet een lekkage snel kunnen opsporen, waardoor de veiligheidsrisico's tot een minimum worden beperkt.

CCS: de afvang en opslag van CO₂

CCS gaat over het afvangen, transporteren en opslaan van kooldioxidegas afkomstig van de verbranding van fossiele brandstoffen in de bodem. Afvang gebeurt door CO₂ van de rookgassen te scheiden. Dat kan op verschillende manieren: voor verbranding (pre-combustion; vergassing van onder meer aardgas en steenkool), gevolgd door een water-gas-shift-reactie en afscheiding van CO₂ na verbranding (post-combustion; afvang van CO₂ uit de rookgassen, bijvoorbeeld met amines) of bij verbranding met zuivere zuurstof (oxyfuel combustion). Na afvang kan transport en opslag plaatsvinden. Ook voor opslag zijn er verschillende opties. Olie- en aardgasvelden komen in aanmerking, maar ook watervoerende lagen (aquifers) en soms ook kolenlagen. Daarnaast kan CO₂ worden vastgelegd door biofixatie, mineralisatie en via bepaalde industriële toepassingen. Afhankelijk van de technologie moet het mogelijk zijn om CO₂ in verschillende fases van het proces voor 85 à 95 procent af te scheiden.

Door CCS-toepassing kan de aanwezige kolen- en gasvoorraad als energiebron worden ingezet zonder de nadelen van een omvangrijke CO₂-uitstoot. Naast dit voordeel zijn er echter ook nadelen. Zo is CCS nog geen volledig uitontwikkelde technologie, die mede daardoor duur is. De grootste kostenpost is in de afvangfase. De totale kosten van afvang, transport en opslag hangen af van de gebruikte technologieën en de mogelijke kostendalingen door technologische verbeteringen, leereffecten en opschaling (schaalvoordelen). Verder spelen de energie- en CO₂-prijzen in de totale CCS-kosten een rol, aangezien CO₂-afvang op zich resulteert in een hoger energieverbruik (minstens 10 procent extra brandstofinzet) en daarmee meer CO₂-productie. De AER gaat ervan uit dat CCS in kolencentrales circa €50 per ton CO₂ zal gaan kosten; dat komt neer op €35 per MWh. De kosten zouden kunnen worden gedrukt door in het ETS voor CCS CO₂-emissierechten te verlenen.

Een ander nadeel is dat CO₂ in beginsel voor altijd ondergronds opgeslagen moet blijven met als risico dat CO₂ in ontoelaatbare hoeveelheden weglekt.

37 Zie bijvoorbeeld Uyterlinde, M.A. [et al.] (2007) *De belofte van een duurzame Europese energiehuishouding: Energievisie van ECN en NRG*, op.cit., p.38.

Mede in dit licht is een juridisch raamwerk nodig waarin de (korte- en langetermijn)verantwoordelijkheden voor risico's van ondergrondse CO₂-opslag worden vastgelegd.

CO₂-opslag wordt op dit moment vrijwel alleen experimenteel toegepast; grootschalige toepassing zal waarschijnlijk pas na 2015 aan de orde zijn. Proefprojecten vinden op diverse plaatsen in de wereld plaats. In Nederland bestaan er ook concrete plannen. De werkgroep Schoon Fossiel maakt melding van vier projecten, die samen de Nederlandse CO₂-emissie met ten minste 1 tot 1,5 Mton CO₂ per jaar zouden kunnen doen verminderen. Het technische potentieel in Nederland is echter veel groter: circa 60 Mton per jaar, ongeveer een derde van de totale Nederlandse CO₂-emissies. Inmiddels heeft EZ-minister Van der Hoeven middelen geoormd voor de realisatie van drie van deze projecten.

- Bronnen: IEA (2007) *Legal aspects of storing CO₂: Update and recommendations*, Paris, International Energy Agency, inz. hoofdstuk 1: Overview of carbon capture and storage. AER (2008) *Advies Brandstofmix in beweging*, op.cit. Zie ook: Platform Nieuw Gas (2007) *Beleidsrapportage Schoon Fossiel: Advies van de Werkgroep Schoon Fossiel*, Den Haag; ook: www.nl.wikipedia.org/wiki/co2-afvang_en_opslag.

De afgevangen CO₂ moet voor eeuwig worden opgeslagen in ondergrondse reservoirs. Hierbij bestaat het veiligheidsrisico uit het langzaam weglekken van CO₂ uit het opslagreservoir. Hiervoor bestaat nog geen eis. Door sommigen wordt een norm van maximaal 0,01 procent per jaar voorgesteld. Volgens de IPCC zijn er waarschijnlijk voldoende opslagreservoirs die voor CO₂-opslag geschikt zijn. Uitgebreid onderzoek naar de geschiktheid van een opslaglocatie is een absoluut vereiste. Plotseling vrijkomen van een wolk CO₂ uit een reservoir bestaand uit poreus gesteente is onmogelijk. Lege gasvelden zijn in principe dicht, aangezien ze al miljoenen jaren lang aardgas hebben vastgehouden. Toch zou via boorgaten alsnog lekkage kunnen optreden. Er zijn evenwel technologieën beschikbaar om dit soort lekken snel te detecteren en te dichten. Om ongelukken snel te ontdekken is goede monitoring van met CO₂-ge vulde reservoirs noodzakelijk.

2.3.2 Kernenergie

Veiligheidsrisico's worden tot de belangrijkste nadelen van het gebruik van kernenergie gerekend. Hoewel de kans op een ongeluk zeer klein is, kunnen de effecten enorm zijn³⁸. Er kunnen bij een ongeluk met een kerncentrale niet alleen direct dodelijke slachtoffers vallen, maar daarnaast dreigt ook zeer langdurige radioactieve besmetting van een

38 In hun reactie op het commentaar van reviewer prof. Turkenburg hebben de opstellers van de factfinding-studie een kadertekst in het rapport overgenomen over overlijdensrisico's voor kerncentrales (Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., p. 148). Daarin staat vermeld dat de maximale overlijdensrisico's voor de kerncentrale van Borssele kleiner is dan eens in de 100 miljoen jaar, een ruimschoots kleiner individueel risico dan het wettelijk criterium van eens in de 1 miljoen jaar.

omvangrijk gebied³⁹. De veiligheidsrisico's hebben zowel betrekking op de technische veiligheid (transport van nucleair materiaal, kernreactorongelukken, verwerking en beheer van radioactief afval) als op de risico's van proliferatie en terrorisme⁴⁰. Het verkleinen van veiligheidsrisico's is dan ook een belangrijk punt van zorg⁴¹.

Voor het personeel dat betrokken is bij de splijtstofcyclus, is het individuele overlijdensrisico van mijnwerkers bij de uraniummijnen het hoogst, volgens het factfinding-rapport vergelijkbaar met hetzelfde soort ongevallen in de mijnbouw van andere delfstoffen. Bij andere onderdelen van de splijtstofcyclus zijn de risico's voor het personeel vergelijkbaar of kleiner dan die voor het personeel in de lichte industrie.

Als er sprake is van vervanging van een kolencentrale kan uitbreiding van kernenergie leiden tot minder uitstoot van verzurende stoffen en fijn stof. Dit heeft een gunstig effect op de volksgezondheid⁴².

Daarnaast kunnen er in de splijtstofcyclus straling en radioactieve stoffen vrijkomen. Van het personeel dat betrokken is bij de splijtstofcyclus, is het individuele overlijdensrisico van mijnwerkers bij de uraniummijnen het grootst⁴³. Bij de andere onderdelen van de splijtstofcyclus zijn de risico's voor het personeel vergelijkbaar of kleiner dan die bij de lichte industrie. De risico's voor de bevolking door ongevallen bij de verschillende processen van de splijtstofcyclus zijn klein in vergelijking tot andere gevaren waaraan de bevolking blootstaat. Bij een zeer ernstig ongeval kan er daarnaast sprake zijn van een ernstige maatschappelijke ontwrichting, bijvoorbeeld als een gebied voor langere tijd niet meer toegankelijk is.

De ongevallen in Harrisburg (1979) en in Tsjernobyl (1986) hebben geleid tot een verbetering van de veiligheid van kerncentrales (ook bij de bestaande centrales) en meer internationale samenwerking. Gebruikmakend van ervaringen met de bestaande reactoren is een nieuwe generatie reactoren ontwikkeld (generatie III en III+), waarvan de technische veiligheid verder is verbeterd (zie kader). Meer geavanceerde reactoren van de generatie IV, met verdere verbeteringen op het gebied van duurzaamheid, veiligheid, betrouwbaarheid en economie, bevinden zich nog in de ontwikkelingsfase en worden omstreeks 2030 op de markt verwacht.

39 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., par. 10.5.

40 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., paragrafen 2.6 en 2.7.

41 Het terugdringen van veiligheidsrisico's is een belangrijk onderdeel van de brief *Randvoorwaarden voor nieuwe kerncentrales* van de vorige staatssecretaris van VROM, Van Geel (ECN-rapport, pp. 88-89). Tot die randvoorwaarden behoren de technische eisen (beproefd type, technische veiligheidseisen), eisen ten aanzien van radioactief afval en opwerking, het ontmantelingsbeleid, de locatiekeuze, de uraniumwinning, non-proliferatie-eisen, beveiligings- en antiterreurmaatregelen.

42 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., p. 130. Zie ook: Bollen, J. en H. Eerens (2007) *Effect van een nucleaire uitbreiding in Europa op de gezondheidsschade door luchtverontreiniging*, Bilthoven, Milieu- en Natuurplanbureau (MNP).

43 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., p. 13.

Veiligheidsfilosofieën in kerncentrales

Bij de nieuwe generatie-III-reactortypen worden verschillende veiligheidsfilosofieën gevolgd. Reactortypen van de generatie III gaan uit van dezelfde *defense-in-depth*-veiligheidsfilosofie als bestaande kerncentrales waarbij aanvullende veiligheidssystemen zijn aangebracht. De veiligheidsfilosofie is gebaseerd op *actieve of passieve veiligheidssystemen*. Actieve systemen staan onder normaal bedrijf *stand-by* en worden pas aangezet (geactiveerd) als dit voor de veiligheid nodig is. Dit systeem wordt toegepast in de reactortypen EPR en ABWR. De kans op het smelten van de reactorkern ligt bij de EPR in de orde van grootte van 1 op de miljoen jaar. Passieve systemen maken gebruik van altijd aanwezige krachten, zoals de zwaartekracht, die ervoor zorgen dat veiligheidssystemen ingrijpen als dat nodig is. De reactortypen AP1000 en ESBWR worden ontworpen volgens de passieve veiligheidsfilosofie. Dit principe reduceert de kans op het smelten van de kernreactor tot zeer kleine waarden, in de orde van grootte van 1 op de 2,5 miljoen jaar (AP1000) tot 1 op de 33 miljoen jaar (ESBWR).

Bij reactortypen PBMR en HTR-PM van generatie-III+-centrales wordt de filosofie van de inherente veiligheid gehanteerd. Deze reactoren en de toegepaste splijtstof zijn zodanig ontworpen dat een ongecontroleerde toename van de reactiviteit, waarbij de reactorkern beschadigd wordt, onmogelijk is, en de reactor zichzelf veilig uitschakelt bij het uitvallen van de koeling. Bij wegvallen van de koeling blijft de reactorkern intact en is het smelten van de kern fysiek onmogelijk gemaakt. In het laatste geval maakt het veiligheidssysteem gebruik van altijd aanwezige krachten en natuurlijke processen zonder interventie van mensen of systemen. De PBMR-centrales kunnen naar verwachting vanaf 2016 op commerciële gebouwd worden.

- Bron: Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., pp. 34-36 en pp. 41-43.

Wellicht het belangrijkste knelpunt in de kernenergieketen is het *beheer van hoogradioactief afval*. In Nederland is ervoor gekozen de gebruikte hoogradioactieve splijtstof uit de kerncentrale Borssele eerst in Frankrijk op te laten werken⁴⁴. Hierdoor wordt 95 procent van het hoogradioactief afvalmateriaal teruggewonnen als uranium (*recycling*); een restfractie van 4 procent wordt verglaasd en tijdelijk (tot maximaal 100 jaar) in een speciaal hiertoe ontworpen en ingerichte opslagbunker (HABOG: Hoogradioactief Afval Behandelings- en Opslag Gebouw) bij de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) in Vlissingen opgeborgen. Jaarlijks gaat het om circa 1,4 m³. Dit wordt in glas gegoten waardoor P&T⁴⁵ (dat eventueel in de toekomst beschikbaar zal komen) voor dit afval niet mogelijk zal zijn.

44 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., p. 10.

45 P&T (partitioning and transmutation) maakt het mogelijk de levensduur van gebruikte hoogradioactieve splijtstof te verkorten.

Daarnaast ontstaat er jaarlijks 2 m³ samengeperste hoogradioactieve metaaldelen (splijtstofbuizen en dergelijke) en 30 à 40 m³ licht radioactief afval per jaar⁴⁶.

Hoogradioactief afval zal, volgens de huidige plannen, na de bovengrondse opslagperiode in de diepe ondergrond worden opgeborgen. Het duurt meer dan 100.000 jaar voordat langlevende radioactieve elementen in gebruikte splijtstof het niveau van natuurlijk uranium hebben bereikt. De ondergrondse berging moet zeker 1000 jaar intact blijven; verval en verdunning zorgen er dan voor dat het restant aan radioactiviteit naar verwachting geen negatief effect meer kan hebben, mocht het bovengronds komen⁴⁷. In Europa is op dit moment nog nergens een ondergrondse eindberging in bedrijf voor hoogradioactief afval. Wel is in Finland een eindberging in aanbouw⁴⁸.

De resterende 1 procent van de gebruikte splijtingstof is plutonium. Dit wordt vrijwel geheel teruggewonnen en hergebruikt. Door de opwerking van het splijtingsafval en het (her)gebruik van uranium en plutonium neemt de levensduur van het hoogradioactief afval af tot 10.000 jaar. Door geavanceerdere vormen van opwerking en recycling (P&T: partitioning en transmutatie) kan de levensduur van gebruikte hoogradioactieve splijtstof over twee à drie decennia worden verkort tot iets meer dan 2000 jaar en wellicht nog korter. Bovendien wordt de restfractie plutonium, inzetbaar voor de productie van kernwapens, zeer vergaand gereduceerd. De vierde generatie kernreactoren, die naar verwachting rond 2030 op de markt komt, is er onder meer op gericht dat het resterende afval een kortere levensduur heeft.

Belangrijke veiligheidsrisico's van kernenergie bestaan uit *terroristische bedreigingen* en *proliferatierisico's*. Het is daarbij een discussiepunt of *uitbreiding* van kernenergie in Nederland tot wezenlijk grotere veiligheidsrisico's leidt dan in de huidige situatie met een kerncentrale.

Er kunnen drie soorten *terroristische bedreigingen* worden onderscheiden⁴⁹:

- 1 Het gebruik van een explosief waarbij radioactief materiaal wordt verspreid, ook wel 'vuile bom' genoemd. Voor de constructie van een 'vuile bom' is geen materiaal uit de splijtstofcyclus nodig. Radioactief materiaal is ook buiten de kernenergiesector aanwezig, bijvoorbeeld in ziekenhuizen. Beveiliging van de splijtstofcyclus moet ervoor zorgen dat dit materiaal niet in handen van terroristen terechtkomt.
- 2 Het verkrijgen van een kernwapen door een terroristische organisatie. Vanwege de grootte en complexiteit van de benodigde installaties is het voor terroristische organisaties niet eenvoudig een kernwapen te ontwikkelen en te bouwen. Beveiliging van

46 Zie: www.epz.nl/navigatie/frameset.asp?knop_id=10000061&mainurl=10000213.

47 Informatie verstrekt door prof. T.H.J.J. van der Hagen, directeur van het Reactor Instituut Delft.

48 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., p. 38.

49 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., p. 38.

- nucleaire installaties moet zorgen voor het verkleinen van het risico van terroristische aanslagen.
- 3 Een aanslag op een nucleaire installatie, opslagplaats of transport van radioactief materiaal, met als doel radioactieve stoffen te laten ontsnappen en daarmee de omgeving te besmetten. De veiligheidssystemen die ervoor zorgen dat bij verkeerde acties van de operator de reactor automatisch afschakelt, beperken de potentiële dreiging die uitgaat van een eventuele terroristische overname van de centrale. Daarnaast wordt bij het ontwerp van nucleaire installaties en transportcontainers rekening gehouden met terroristische aanslagen. Voor nieuw te bouwen centrales heeft de Amerikaanse regelgever NRC voorgesteld expliciete ontwerpvoorschriften te stellen aan de bestendigheid tegen een aanslag met een verkeersvliegtuig⁵⁰. Deze eis was ook opgenomen in de zogenaamde Randvoorwaardenbrief van de toenmalige staatssecretaris Van Geel⁵¹.

Ten slotte is er nog het *proliferatierisico*. Proliferatie is het verspreiden van nucleaire technologie en materiaal voor militaire en niet-vreedzame toepassingen⁵². De benodigde grondstoffen voor een kernwapen zijn hoogverrijkt uranium of plutonium. De verrijkingstechnologie kan worden gebruikt om hoogverrijkt uranium te produceren. Het opwerkingsproces zou – zeker wanneer splijtstof wordt verwerkt die slechts kort in de reactor is gebruikt – kunnen worden gebruikt om plutonium af te scheiden dat voor kernwapens geschikt is.

Er zijn internationale afspraken gemaakt (Non-proliferatieverdrag en het Additioneel protocol) om handel in nucleair materiaal en technologie, en de verspreiding van kennis om een nucleaire installatie te kunnen bouwen, te onderwerpen aan internationaal toezicht. Dit houdt controle in op het vreedzame gebruik van de kernenergie-technologie en bewaking van de splijtstof. Het Internationaal Atoomagentschap van de Verenigde Naties (IAEA) ontwikkelt initiatieven die erop zijn gericht op de lange termijn alle verrijking- en opwerkingsinstallaties onder internationaal toezicht te plaatsen. Op dit moment is de situatie nog niet adequaat.

Ervan uitgaande dat Nederland zich aan de internationale afspraken zal houden, mag worden verwacht dat uitbreiding van kernenergie in ons land niet tot een groter proliferatierisico zal leiden dan in de huidige situatie met een kerncentrale. In de gehele keten van de kernenergieproductie zijn proliferatierisico's echter nooit geheel uit te sluiten. Een illustratie hiervan is de ervaring uit de jaren zeventig van de vorige eeuw met de ontvreemding van kennis over de verrijkingstechnologie bij Urenco⁵³.

50 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., p. 47.

51 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., p. 89.

52 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., pp. 44-46.

53 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., p. 44.

2.4 Schone energievoorziening

2.4.1 Algemeen

Winning, transport en verbruik van fossiele energiedragers, alsook de productie van elektriciteit veroorzaken een aanzienlijke milieudruk⁵⁴:

- bij winning, transport en distributie van aardgas en aardolie ontstaan emissies naar de lucht, vooral methaan⁵⁵;
- elektriciteitscentrales gebruiken grote hoeveelheden koelwater;
- bij de productie van elektriciteit ontstaan belangrijke luchtmissies (onder andere kooldioxide en stikstofoxiden), en vaste afvalstoffen;
- het verbruik van aardgas, aardolie en steenkool veroorzaakt belangrijke emissies van stoffen naar de lucht.

In het milieu- en klimaatbeleid krijgt vooral de uitstoot van broeikasgassen veel aandacht. Dat zal ook in deze paragraaf het geval zijn. Een koolstofarme energiehuishouding is zowel gunstig in de mondiale strijd tegen de klimaatverandering als belangrijk voor de lokale luchtkwaliteit en de daarmee gepaard gaande gezondheidswinst⁵⁶. Van belang hierbij is dat andere vormen van energieopwekkinggerelateerde milieubelasting – NO_x-emissies, thermische verontreiniging en stofuitstoot – op betaalbare wijze tot aanvaardbare niveaus zijn terug te dringen⁵⁷.

Alvorens op de CO₂-uitstoot gedurende de levenscyclus van elektriciteitsopwekking in te gaan, wordt eerst kort ingegaan op de milieuaspecten van uraniumwinning, de brandstof van kerncentrales.

2.4.2 Milieuaspecten van uraniumwinning

Uraniumerts kan worden gewonnen door dagbouw uit ‘open pit’-mijnen (30 procent van de wereldproductie), uit ondergrondse mijnbouw (40 procent) en uit oplossingsmijnbouw (*in situ leaching*; 30 procent); in het laatste geval wordt uranium in de ertslaag opgelost en daarna naar de oppervlakte gepompt⁵⁸. Qua milieuaspecten van open uraniumwinning – dagbouw of ondergronds – spelen dezelfde problemen als bij andere open ertswinning, maar daarnaast ontstaan grote hoeveelheden radioactief erts.

54 Ontleend aan informatie van het MNP; zie www.milieuennatuurcompendium.nl.

55 In paragraaf 2.3.1 is al gewezen op de grote milieu- en veiligheidsrisico's die bij winning en transport van aardgas in landen als Rusland optreden.

56 Zie bijvoorbeeld Bollen, J. en H. Eerens (2007) *Effect van een nucleaire uitbreiding in Europa op de gezondheidsschade door luchtverontreiniging*, op.cit.

57 AER (2008) *Advies Brandstofmix in beweging*, op.cit., par. 2.1.3.

58 Gebaseerd op: Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., par. 3.1.1.

De feitelijke milieubelasting bij winning en verwerking van uranium is afhankelijk van het beheer van de mijn, zowel tijdens exploitatie als na sluiting ervan, en van het restproduct van de ertsverwerking (*tailings*). De belasting van het milieu houdt voornamelijk verband met de radonemissies naar de lucht en emissies van zware metalen naar water en bodem. In principe is het mogelijk door een goede afdichting van de *tailing*-reservoirs deze milieubelasting te minimaliseren tot een niveau van natuurlijke emissies van radon uit de bodem⁵⁹. De milieubelasting door zware metalen en radon is bij oplossingsmijnbouw lager dan bij open mijnbouw, omdat er geen erts naar het oppervlak wordt gebracht. Het op grote schaal in de bodem brengen van oplosmiddelen (zuur of basisch, afhankelijk van het gesteente) beïnvloedt echter de kwaliteit van de bodem en het grondwater. Na sluiting van zulke mijnen zijn dan ook saneringsprojecten noodzakelijk om de grondwaterkwaliteit weer zoveel mogelijk te herstellen.

Er is steeds meer aandacht voor het verantwoord omgaan met de winning van uranium, zo stelt het factfinding-rapport⁶⁰. Veel grote bedrijven die uraniummijnen exploiteren in Australië, Canada en Kazakstan (de drie grootste producenten) beschikken tegenwoordig over een ISO 14001-certificaat, dat aangeeft dat zij een controlebaar milieuzorgsysteem bezitten dat gekoppeld is aan een vergunning. Certificering biedt echter geen absolute garanties voor een verantwoorde uraniumwinning. Wel is er in het kader van dit milieuzorgsysteem een monitorprogramma waarmee frequent concentraties zware metalen en chemische verbindingen in grondwater worden bepaald, zodat indien nodig tijdig aanvullende maatregelen te treffen zijn. Toepassing van het milieuzorgsysteem wordt regelmatig gecontroleerd.

Nederland betreft het voor de kerncentrale Borssele gebruikte uranium uit Kazakstan. Voormalig staatssecretaris Van Geel heeft aangegeven dat de drie grootste mijnbouwbedrijven in Kazakstan over een ISO 14001-certificaat beschikken, maar dat hem niet bekend is of alle mijnbouwactiviteiten in dit land ISO-gecertificeerd zijn⁶¹. Ook meldt Van Geel dat de uraniumwinning in Kazakstan voornamelijk ondergronds (*in situ leaching*) gewonnen wordt, hetgeen uit milieuoogpunt de voorkeur verdient.

2.4.3 CO₂-uitstoot gedurende de levenscyclus van de elektriciteitsproductie

Voor CO₂-emissies gedurende de levenscyclus van *kolencentrales* zonder CCS worden waarden gerapporteerd tussen 815 en 1153 gram per kWh. De CO₂-emissie van een kolengestookte centrale valt te beperken door bij- of meestook van biomassa (zie kader)⁶².

59 In Afrikaanse mijnen worden de *tailings* vaak niet afgedicht met als gevolg dat omwonenden aan radioactiviteit worden blootgesteld.

60 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., p.51.

61 Brief *Antwoorden op vragen over de randvoorwaarden voor nieuwe kerncentrales* van staatssecretaris Van Geel van 13 oktober 2006.

62 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., par. 3.2.

Ook kunnen door nieuwe technieken nog forse rendementsverbeteringen met minder CO₂-, SO₂- en NO_x-emissies worden behaald, terwijl bij voldoende bij- of meestook van biomassa door CCS toe te passen CO₂ aan de atmosfeer wordt onttrokken⁶³. Zoals eerder werd geconstateerd, heeft het gebruik van de huidige CCS-technologie als nadeel dat het rendement van een kolencentrale met circa tien procentpunt daalt.

Bij *gasgestookte centrales* is de CO₂-uitstoot gedurende de levenscyclus ongeveer de helft van de uitstoot van kolengestookte centrales: tussen 362 en 622 gram per kWh⁶⁴. Ook voor dit type centrales gelden mogelijkheden voor flinke emissiereducties door rendementsverbeteringen en CCS⁶⁵.

CO₂-emissies van kolencentrales met en zonder bijstook van biomassa

Het ministerie van Economische Zaken heeft medio 2006 de CO₂-emissies van bestaande kolen- en gascentrales met een zelfde omvang vergeleken met kolencentrales – poederkool en kolenvergasser – zoals die in de nieuwbouwplannen zijn opgenomen. In de plannen van nieuwbouwcentrales is het steeds de bedoeling ook veel biomassa bij te stoken. Uit onderstaande tabel komt naar voren dat een moderne kolencentrale met 50 procent bijstook van biomassa ongeveer evenveel CO₂ uitstoot als een moderne gasgestookte centrale.

In de vergelijking is geen aandacht besteed aan de toepassing van CCS. Tegenover het voordeel van de reductie van de CO₂-emissie en andere schadelijke stoffen staan de nadelen van rendementsverlies (in de orde van grootte van zo'n 10 procentpunt) en extra kosten.

| Type centrale | Elektrisch rendement (%) | CO ₂ -emissie (kt/j) |
|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Poederkoolcentrale, 100% kolen | 46 | 5200 |
| Idem, 50% biomassa | 46 | 2600 |
| Kolenvergasser, 100% kolen | 42,5 | 5600 |
| Idem, 50% biomassa | 42,5 | 2800 |
| Bestaande kolencentrale, 100% kolen | 41 | 5800 |
| Idem, 25% biomassa | 41 | 4400 |
| Gasgestookte centrale (STEG) | 59 | 2400 |

- Bron: Brief van minister Brinkhorst aan Tweede Kamer van 21 juni 2006 over uitbetaling tegemoetkoming MEP.

63 Zie: Menkveld, M. (red.) (2004) *Energietechnologieën in relatie tot transitiebeleid*, Petten, Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), p. 21.

64 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., par. 3.2.

65 Menkveld, M. (red.) (2004) *Energietechnologieën in relatie tot transitiebeleid*, op.cit., pp. 14-15.

In het ECN-rapport wordt een beeld geschetst van de CO₂-uitstoot gedurende de levenscyclus van *kernenergie* in vergelijking met andere energiebronnen⁶⁶. De conclusie is dat de omvang van de CO₂-uitstoot van kernenergie grofweg gelijk is aan de uitstoot die gepaard gaat met de productie van *wind- en zonne-energie*: (ruim) beneden 100 gram per kWh⁶⁷. Als grotere inzet van kernenergie in de plaats zou komen van kolencentrales zonder CCS, dan kan daarmee tevens voor een verbeterde luchtkwaliteit worden gezorgd; dit levert een aanzienlijke gezondheidswinst op⁶⁸.

Tegenover het voordeel van de geringe uitstoot van broeikasgassen heeft elektriciteitsopwekking door kernenergie het nadeel van langdurig radioactief afval⁶⁹. In zekere zin is deze afvalproblematiek vergelijkbaar met de CSS-problematiek bij kolen- en gasgestookte elektriciteitscentrales (zie paragraaf 2.3.1). Een verschil is wel dat de hoeveelheid radioactief afval veel geringer is dan de hoeveelheid CO₂ die moet worden opgeslagen. Anderzijds is CO₂ niet giftig of radioactief en kan het in de ondergrond worden gebonden.

2.5 Betaalbare energievoorziening

Belangrijke elementen in de maatschappelijke oordeelsvorming over de inzet van meer kernenergie betreffen de kostenkant en de betaalbaarheid⁷⁰.

2.5.1 Kosten van grootschalige energiecentrales

Nederland heeft belangrijke vestigingsplaatsvoordelen voor grootschalige elektriciteitsproductie: uitstekende aanvoermogelijkheden via het water, grote koelwatercapaciteit aan de zee, relatief grote gasvoorraden, een verfijnd gasleidingnet en een goed elektriciteitshoogspanningsnet. Op dit moment is Nederland ook een aantrekkelijke plaats om te investeren in nieuw productievermogen, aangezien de elektriciteitsprijzen voor basislastcentrales relatief hoog zijn⁷¹.

66 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., p.13.

67 Naarmate het winnen van uranium moeilijker wordt, neemt de uitstoot van CO₂ door de extra winningsinspanningen in deze fase van de levenscyclus waarschijnlijk toe. Dit zal overigens ook voor de winning van kolen en gas gelden.

68 Bollen, J. en H. Eerens (2007) *Effect van een nucleaire uitbreiding in Europa op de gezondheidsschade door luchtverontreiniging*, op.cit.

69 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., par. 2.4.2.

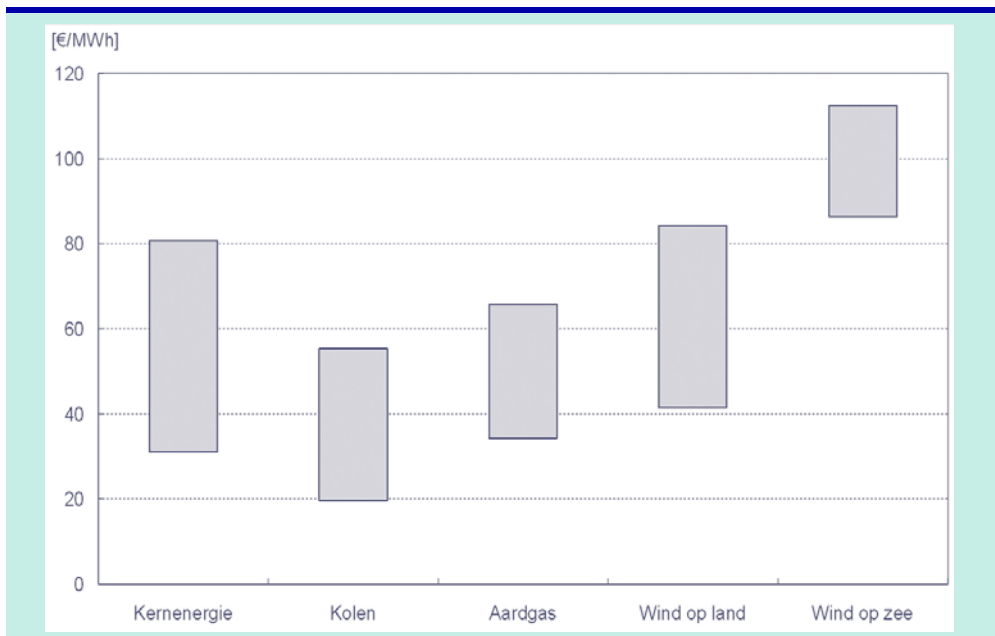
70 In het ECN-rapport wordt uitvoerig ingegaan op de kostenkant en economische aspecten van kernenergie. Dit gebeurt in de hoofdstukken 4 en 5 van het rapport. Hier wordt volstaan met een beperkt aantal elementen.

71 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., p.15. Kerncentrales concurreren vooral met andere basislastcentrales. In de huidige Nederlandse markt gaat het dan om kolencentrales, afvalverbrandingsinstallaties (AVI's), industriële warmtekrachtinstallaties en gascentrales die warmte leveren voor stadsverwarming (STEG SV). Een kerncentrale in Nederland concurreert ook met buitenlandse basislastcentrales. Dit zijn op dit moment kolencentrales en kerncentrales. De elektriciteitspieken worden in Nederland overwegend door gascentrales opgevangen.

Het kostenaspect speelt uiteraard in het bijzonder voor mogelijke investeerders in een nieuwe elektriciteitscentrale. Van belang is hierbij dat de kostenopbouw van kolen- en gascentrales enerzijds en kerncentrales anderzijds sterk verschilt. Bij kerncentrales vormen de kapitaalkosten verreweg de grootste kostenpost; de brandstofkosten vormen maar een beperkt deel van de totale kosten. Bij kolen- en gascentrales is het aandeel van de brandstofkosten veel groter. Een stijging van de kolen- en gasprijzen werkt daardoor relatief sterk door in de kosten van elektriciteitsopwekking via deze energiedragers. Een stijging van de uraniumprijs heeft daarentegen maar een beperkte invloed op de kosten van kernstroom.

Het ECN-rapport geeft een vergelijkend overzicht van de kostprijs van diverse elektriciteitsproductietechnologieën wereldwijd, uitgaande van de huidige situatie (zie figuur 2.1)⁷². Door uiteenlopende regionale omstandigheden en leeftijdverschillen tussen centrales kunnen de kosten sterk uiteenlopen; ook zijn er verschillen in de gehanteerde kostenmethodieken. Het blijkt dan ook moeilijk een scherp beeld van de kosten per energiedrager te krijgen. Het overzicht laat daardoor grote marges per technologie zien. Behalve de feitelijke kosten moet bovendien nog rekening worden gehouden met de externe kosten van energieopwekking (zie kader). Uiteraard zijn de kosten relevant op het moment dat de investeringsbeslissing feitelijk wordt genomen.

figuur 2.1 Vergelijking kostprijs van diverse elektriciteitsproductietechnologieën op basis van recente literatuur (in euro's per MWh)



Bron: Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., p. 78.

72 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., pp. 77-78.

Externe kosten

Ook de berekeningen van de externe kosten van milieuschade zijn verre van eenduidig en lopen daardoor per bron flink uiteen. Globaal is het beeld dat de externe milieukosten van kernenergie beneden 1 cent per kilowattuur liggen, min of meer vergelijkbaar met de externe kosten voor windenergie en die van elektriciteit geproduceerd met zonnepanelen. Voor elektriciteit geproduceerd uit kolen en gas (zonder CO₂-opslag) liggen de externe kosten een factor tien hoger.

Voor kernenergie gelden daarnaast wel specifieke externe kosten, bijvoorbeeld kosten die de overheid moet maken voor publieksvoorlichting over kernenergie, voor beveiliging van afvaltransporten en voor beveiliging tegen terroristische acties. Ook moet kosten worden gemaakt om proliferatie tegen te gaan. Een bijzonder punt van aandacht vormen de externe kosten van een nucleair ongeval. De kans hierop wordt zeer klein geacht, maar het effect hiervan is daarentegen erg groot. De exploitant van een kerncentrale is op grond van de Wet aansprakelijkheid kernongevallen aansprakelijk voor de schade die door een kernongeval wordt veroorzaakt. Deze aansprakelijkheid is beperkt tot € 340 miljoen (wordt verhoogd tot € 700 miljoen). Mocht de schade hoger zijn dan stelt de overheid middelen voor schadevergoeding beschikbaar tot een bedrag van € 2.269 miljoen.

- Bron: M.J.J. Scheepers [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., pp. 81 en 91.

De huidige brandstofmix in Nederland is vooral ongunstig voor de energie-intensieve industrie⁷³. Het Nederlandse productiepark is sterk afhankelijk van aardgas als brandstof. Dit is een relatief dure energiebron om elektriciteit op te wekken, mede vanwege de koppeling van de prijs van aardgas aan de olieprijs. In ons omringende landen zoals Duitsland, België en Frankrijk is het productiepark heel anders ingericht. In deze landen zijn verhoudingsgewijs veel meer kolengestookte of nucleaire centrales te vinden, waardoor de elektriciteitsprijs zich onafhankelijker beweegt van de olieprijs.

Toekomstige kostenontwikkeling

Voor de toekomstige energiekosten zijn diverse factoren van belang.

Zo waarschuwt de *World Energy Outlook 2007* voor fors oplopende kolen- en gasprijzen door de *sterk groeiende energiebehoefte* in landen als China en India.

Daarnaast is de *hoogte van de CO₂-prijs* van groot belang. Bij een effectief emissiehandels-systeem zorgt de CO₂-prijs voor een kostennadeel voor kolencentrales en – in mindere mate – voor gascentrales. In de voorstellen van de Europese Commissie zullen elektrici-

73 SER (2006) *Advies Naar een kansrijk en duurzaam energiebeleid*, publicatienr. 06/10, Den Haag, p. 81. Zie ook: AER (2008) *Advies Brandstofmix in beweging*, op.cit.

teitproducenten onder het nieuwe ETS-systeem vanaf 2013 hun emissierechten op de veiling moeten kopen.

Verder is de *technologische vooruitgang* een belangrijke bepalende factor voor de toekomstige prijsontwikkelingen van en de prijsverhouding tussen energiedragers. Zo zijn leereffecten vooral van betekenis voor nog niet uitontwikkelde technologieën. Door R&D-inspanningen en schaaleffecten zijn voor tal van energietechnologieën nog forse kostenreducties mogelijk. Daar kunnen overigens ook kostenverhogende investeringen tegenover staan, bijvoorbeeld voor opslagcapaciteit van weersafhankelijke energiedragers. Ten aanzien van de kerncentrales van de derde generatie zijn er waarschijnlijk nog technologische kinderziektes te overwinnen. Kerncentrales van deze nieuwe generatie zijn nog maar weinig gebouwd. Hierdoor zijn er onzekerheden die doorwerken in de bouwtijd en de bouwkosten en mogelijk leiden tot kostenoverschrijdingen. Dit risico zal afnemen wanneer meerdere kerncentrales van hetzelfde type zijn gebouwd.

Voor Nederland en de andere EU-lidstaten is niet in de laatste plaats de voortgang van de *geïntegreerde elektriciteitsmarkt* een belangrijke factor voor het functioneren van de markt en de daaruit voortvloeiende prijsontwikkeling.

2.5.2 *Betaalbaarheid*

Een goede werking van de elektriciteitsmarkt heeft via de kostenontwikkeling uiteraard ook een doorwerking op de betaalbaarheid van elektriciteit. De effecten van de liberalisering en internationalisering zijn in dit verband cruciaal. In een geliberaliseerde markt heeft de inzet van meer kernenergie volgens het factfinding-rapport (p. 15) in Nederland nauwelijks effect op de elektriciteitsmarktprijs:

Een kerncentrale is een ‘price taker’. Een kerncentrale ontvangt de prijs die in de markt door andere typen elektriciteitsproductie wordt bepaald. Dit zijn in Nederland in de daluren voornamelijk kolencentrales en in de piekuren voornamelijk gascentrales. In Duitsland draaien in de piekuren minder vaak gascentrales, waardoor de gemiddelde Duitse elektriciteitsmarktprijs onder die van Nederland ligt. (...) Eventuele prijsvoordelen die door de exploitant van een kerncentrale worden genoten, worden niet automatisch doorgegeven aan afnemers. Met lange termijn contracten, die (industriële) afnemers met een kernenergie-exploitant kunnen afsluiten, ontstaat in principe geen andere situatie.

Eerder heeft de SER erop gewezen dat de elektriciteitsmarkt voor grootgebruikers ondoorzichtig is⁷⁴. Deze partijen kopen voornamelijk energie in op de groothandelsmarkten die een eigen prijsvorming kennen. De prijzen op deze markten zijn voor een belangrijk deel ondoorzichtig omdat ze berusten op bilaterale onderhandelingen en con-

74 Deze passage is overgenomen uit het SER-advies *Naar een kansrijk en duurzaam energiebeleid*, op.cit., inz. par. 4.4.2.

tracten (zie kader). Daarbij speelt ook dat de Noordwest-Europese markt voor elektriciteit en gas nog in ontwikkeling is.

Structuur van de groothandelsmarkten voor energie

De ondoorzichtigheid van de prijsvorming op de groothandelsmarkten voor energie wordt veroorzaakt door de marktstructuur. Belangrijkste probleem is dat de groothandelsmarkt voor energie bestaat uit een groot aantal marktplaatsen. Voor de levering van elektriciteit kunnen producenten en leveranciers onderling contracten overeenkomen. We spreken dan van een bilaterale markt. Contractpartijen spreken in dit geval onderling de specificaties van het contract af. In de tweede plaats is het mogelijk gestandaardiseerde contracten af te sluiten. Dit is de ‘over the counter’ (OTC) markt waar contracten worden verhandeld voor standaardhoeveelheden elektriciteit met verschillende looptijden. Op deze markt brengen makelaars vraag en aanbod van elektriciteit bij elkaar. Dan zijn er in de derde plaats nog twee elektronische handelsplatforms waar partijen zonder tussenkomst van makelaars handelen in termijncontracten (Endex) en spotcontracten (APX).

De groothandelsmarkt voor aardgas bestaat uit drie soorten handelsplaatsen. Het overgrote deel van de Nederlandse gasconsumptie (ongeveer 95 procent) wordt via bilaterale contracten op de verschillende gasontvangststations verkocht. Het Nederlandse net kent ongeveer 1100 van dit soort fysieke marktplaatsen. Daarnaast is er een Title Transfer Facility (TTF), een virtuele marktplaats waar bilateraal kan worden gehandeld of via de gasbeurs APX Gas NL. Op het TTF wordt ongeveer 5 procent van de Nederlandse gasconsumptie verhandeld. De derde marktplaats is de Eurohub, een gasbeurs in de regio Bunde-Emden waar echter weinig op gehandeld wordt.

Grootgebruikers maken relatief veel gebruik van bilaterale contracten op de groothandelsmarkt. Dit soort contracten is niet gestandaardiseerd waardoor prijzen vaak onbekend en, indien wel bekend, moeilijk vergelijkbaar zijn. Uit recente onderzoeken in opdracht voor het ministerie van Economische Zaken blijkt dan ook dat er voor grootgebruikers geen betrouwbare tijdreeks kan worden opgesteld van de prijsontwikkeling. Er is, kortom, een gebrek aan inzicht in wat grootgebruikers daadwerkelijk aan leveringscontracten met hun toeleveranciers zijn overeengekomen.

- Bronnen: DTe (2005) *Onderzoek marktwerking groothandelsmarkt gas*, Den Haag; DTe (2006) *Marktmonitor: Ontwikkeling van de groothandelsmarkt voor elektriciteit 2005*, Den Haag, Nederlandse Mededingingsautoriteit, Directie Toezicht Energie.

De energie-intensieve industrie is belangrijk voor de Nederlandse industrie en de industriële werkgelegenheid (zie kader). Langetermijncontracten voorkomen grote prijsfluctuaties. Dit is van belang voor de concurrentiepositie van energie-intensieve bedrijven.

Langetermijncontracten met energieleveranciers kunnen alleen met nationale elektriciteitsproducenten omdat het op dit moment onmogelijk is om voor de lange termijn grensoverschrijdende interconnectiecapaciteit te reserveren. *Cross border*-contracten voor de lange termijn zijn in de praktijk zeer moeilijk te sluiten aangezien de interconnectiecapaciteit jaarlijks moet worden geveild. Dit betekent dat voor grote internationaal opererende energie-intensieve ondernemingen in Nederland voldoende basislastvermogen tegen concurrerende prijzen voorhanden moet zijn om de langetermijncontinuïteit zeker te stellen.

De economische betekenis van de energie-intensieve industrie

De energie-intensieve industrie vormt een belangrijk onderdeel van de Nederlandse industrie.

Afgezet tegen de *totale industrie* zorgt deze sector voor ongeveer een kwart van de toegevoegde waarde, voor 15 procent van de werkgelegenheid en voor 38 procent van de export. De energie-intensieve industrie is ook kennisintensief; een aantal grote ondernemingen behoort tot de top 25 van bedrijven met de hoogste O&O-uitgaven. Zij hebben hierdoor nauwe contacten met kennisinstellingen; ook hebben ze hiermee een belangrijke positie in kennisnetwerken.

Afhankelijk van de inschatting van de toekomstige ontwikkelingen op de energiemarkten kan vanuit de industriële optiek een uitbreiding van kernenergie in Nederland kostenvoordelen opleveren. De afhankelijkheid van prijzen die in hoge mate worden gedreven door olie of gas neemt dan af. In zo'n situatie is een constructie denkbaar waarin een consortium van energie-intensieve bedrijven het voortouw neemt om uitbreiding van het kernvermogen tot stand te brengen. Een dergelijke constructie is vergelijkbaar met de wijze waarop de in aanbouw zijnde Finse EPR-centrale van de derde generatie tot stand is gekomen.

2.6 Andere sociaal-economische aspecten

2.6.1 Algemeen

Voor een beoordeling van de maatschappelijke effecten van een uitbreiding van kernenergie zijn naast de betaalbaarheid en de kosten ook andere (sociaal-)economische effecten van belang. Het factfinding-rapport besteedt hier door middel van een maatschappelijke impact analyse aandacht aan⁷⁵. Uit het rapport komt naar voren dat de effecten moeilijk zijn in te schatten.

In aanvulling op het ECN-rapport komt in deze paragraaf een aantal relevante sociaal-economische aspecten aan bod. Hier wordt niet nader ingegaan op de economische en

75 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., hoofdstuk 10.

werkgelegenheidsbelangen van de energie-intensieve industrie in relatie tot een mogelijke uitbreiding van kernenergie; dit aspect is in de vorige paragraaf al behandeld.

Achtereenvolgens komen de drie volgende aspecten aan de orde:

- industriële en exportkansen van nieuwe energietechnologieën;
- mogelijke verdringing van hernieuwbare energie door meer kernenergie;
- macro-economische effecten.

2.6.2 Industriële en exportkansen van nieuwe energietechnologieën

In het algemeen kan worden gesteld dat specialisatie in een van de nog niet uitontwikkelde energietechnologieën de mogelijkheid geeft tot nieuwe industriële bedrijvigheid. Zo bieden de snel groeiende mondiale energiemarkten en markten voor milieugoederen en milieudiensten interessante exportkansen voor het Nederlandse bedrijfsleven⁷⁶.

Op voorhand is moeilijk in te schatten of die kansen vooral liggen in energiebesparing, hernieuwbare energie, schoon fossiel (vooral de CCS-technologie) of geavanceerde nucleaire technologieën. Het is aan bedrijven zelf om hierin keuzes te maken. Van de overheid mag worden verwacht dat zij maatschappelijk wenselijke opties faciliteert en dat zij een voor- en consistent beleid voert, waardoor onzekerheden bij marktpartijen worden beperkt. Van belang hierbij is lering te trekken uit eerdere ervaringen (zie kader).

Succes- en faalfactoren bij stimulering van windturbine-industrie

Uit vergelijkend onderzoek naar de ontwikkeling van de Nederlandse en Deense windturbine-industrie komen de volgende factoren naar voren, die het Nederlandse falen en het Deense succes verklaren:

- In Denemarken was sprake van een betere kennisuitwisseling over windturbines.
- Nederlandse bedrijven hielden lang vast aan een tweebladig design en toepassing van relatief zware generatoren, mede door de subsidie op capaciteit in plaats van op prestatie.
- In Nederland was sprake van 'technology push' en veel minder van de ontwikkeling van een markt, onder meer vanwege problemen met vergunningen en gebrek aan coördinatie.
- Nederlandse bedrijven profiteerden in tegenstelling tot de Denen niet van de internationale markt voor windturbines, omdat ze zich (te) lang op de eigen, onderontwikkelde markt bleven richten. Zo verloren ze de concurrentiestrijd.
- Het Nederlandse beleid voor windenergie kende veel veranderingen, wat leidde tot een gebrek aan continuïteit en onvoldoende zekerheid voor marktpartijen.

• MNP (2005) *Milieubalans 2005*, Bilthoven, Milieu- en Natuurplanbureau, p. 32.

76 Zie ook: SER (2005) *Advies Milieu als kans*, publicatienr. 05/13, Den Haag.

2.6.3 Verdringing tussen kernenergie en hernieuwbare energie?

Tegen deze achtergrond is het de vraag of uitbreiding van kernenergie ten koste gaat van investeringen en O&O-inspanningen in maatschappelijk wenselijke alternatieven zoals hernieuwbare energie. Volgens het factfinding-rapport van ECN wordt er bij uitbreiding van kernenergie mogelijk minder geïnvesteerd in nieuwe energietechnologieën en wordt niet geprofiteerd van eventuele positieve economische effecten die met de ontwikkeling en toepassing van innovatieve technologie samenhangen⁷⁷.

Op empirische gronden is het niet eenvoudig op de verdringingsvraag een eenduidig antwoord te geven. Te constateren valt dat in de periode dat kernenergie sterk in opkomst was, er ook veel in O&O geïnvesteerd is (zie kader). In de meer recente geschiedenis is de rol van kernenergie in Europa, Frankrijk uitgezonderd, echter in betekenis teruggelopen. In de meeste landen is de afgelopen jaren meer in hernieuwbare energie geïnvesteerd.

O&O-uitgaven in energie

Op basis van IEA-statistieken komt ECN tot de conclusie dat in de periode 1993-2004 verreweg de grootste publieke budgetten naar kernenergie zijn gegaan (zie tabel). Dat neemt niet weg dat de jaarlijkse totale O&O-uitgaven aan kernenergie in reële termen zijn teruggelopen van \$₂₀₀₄ 4,8 mrd. in 1993 naar \$ 3,8 mrd. in 2004. De nucleaire grootgebruikers doen grosso modo ook de grootste O&O-uitgaven; Japan steekt ver boven de rest uit. Opvallend is dat België – voor 55 procent afhankelijk van kernstroom – veel minder aan publiek gefinancierde nucleaire O&O doet dan Nederland (4 procent kernstroom). Het jaarlijkse Nederlandse budget voor nucleaire O&O is overigens ruimschoots gehalveerd ten opzichte van en decennium geleden: € 54,6 mln. in 1993 versus € 22,3 mln. in 2004.

Tabel – Publieke O&O-uitgaven naar energiedragers
(gecumuleerd voor de periode 1993-2004, in mln. US\$)

| | biomassa | zon | wind | nucleair |
|------------|----------|------|------|----------|
| Nederland | 127 | 170 | 82 | 335 |
| België | 5 | 10 | 3 | 166 |
| Duitsland | 71 | 440 | 212 | 2093 |
| Denemarken | 63 | 14 | 73 | 32 |
| Frankrijk | 21 | 41 | 12 | 5631 |
| VK | 48 | 30 | 38 | 10596 |
| VS | 853 | 712 | 318 | 4132 |
| Japan | 146 | 1001 | 55 | 32886 |
| Totaal IEA | 1852 | 2826 | 1167 | 51210 |

77 Scheepers, M.J.J. [et al.] (2007) *Fact Finding Kernenergie*, op.cit., p. 20.

In absolute termen zijn relatief bescheiden bedragen beschikbaar voor hernieuwbare energie. Nederland maakt hier verhoudingsgewijs veel publieke middelen voor vrij. Van alle IEA-landen stond ons land in 2004 op de plaatsen 3 (biomassa), 4 (zonne-energie) en 4 (windenergie). De afgelopen jaren zijn in ons land steeds meer publieke middelen vrijgemaakt voor biomassa (\$1,4 mln. in 1993; \$19,9 mln. in 2004), zonne-energie (\$7,5 mln. in 1993; \$17,4 in 2004) en windenergie (\$6,4 mln. in 1993; \$13,0 mln. in 2004). De ECN-onderzoekers concluderen dat er een zekere samenhang bestaat tussen de omvang van de publieke budgetten voor hernieuwbare energiebronnen en het hierop gerichte marktbevorderende beleid.

ECN heeft ook de *totale energierelateerde O&O-stromen* voor de Benelux in kaart proberen te brengen. Hieruit blijkt dat de private O&O-bedragen aanzienlijk hoger liggen dan de publieke. Zo werd op basis van de WBSO-subsidies^a berekend dat het Nederlandse bedrijfsleven in de jaren 2003, 2004 en 2005 jaarlijks circa € 220 mln. in energierelateerde O&O geïnvesteerd heeft. Daarvan ging verreweg het grootste deel naar energiebesparing (circa € 120 mln.); zowel aan hernieuwbare als nucleaire energie werd jaarlijks zo'n € 25 mln. uitgegeven. Het totale bedrag aan private energierelateerde O&O-investeringen was echter aanzienlijk hoger (€ 534 mln. in 2005), vooral doordat grote bedragen werden vrijgemaakt voor (verhoogde) productie en raffinage van olie en gas.

- a De WBSO (Wet Bevordering Speur- en Ontwikkelingswerk) is een fiscale stimuleringsregeling waarmee de Nederlandse overheid een deel van de loonkosten voor speur- en ontwikkelingswerk, vergelijkbaar met Onderzoek en Ontwikkeling, compenseert.
- Bronnen: Lako, P. en M.E. Ros (2006) *R&D expenditure for H2 and FC as indicator for political will*, Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN); Lako, P. en M.E. Ros (2007) *Public and private energy RTD expenditures in Belgium, Luxembourg and the Netherlands*, Petten, Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN).

Een belangrijke notie voor de vergelijking tussen kernenergie en de andere energiedragers is dat kernenergie vooral concurreert met andere grootschalige centrales op basis van kolen en gas en in de toekomst ook met wind op zee. Zo bezien zal een uitbreiding van kernenergie vooral leiden tot verdringing van kolen- of gasgestookte centrales en in de toekomst mogelijk ook van windenergie.

De ontwikkeling van hernieuwbare energie is vooral gedreven door kabinetsbeleid. Zolang de kabinetsambities op dit terrein hoog blijven, zal de overheid instrumenten blijven inzetten die het aantrekkelijk maken om in hernieuwbare energie te investeren.

Tot slot geldt voor energieproducenten die onder het emissiehandelssysteem vallen, dat emissiereducties tegen zo laag mogelijke kosten moeten plaatsvinden. In die situatie zal een producent minder in hernieuwbare energie investeren als flankerend overheidsbeleid gericht op de bevordering hiervan onvoldoende is. Meer kernenergie wordt dan aantrekkelijker. Daar staat tegenover dat de plannen van de Europese Commissie beogen de

opbrengsten van het ETS grotendeels naar de lidstaten terug te sluizen ter bevordering van duurzame energie, CCS en R&D-inspanningen.

2.6.4 *Macro-economische effecten*

In een scenario met streng klimaatbeleid en hoge CO₂-prijzen, zoals het kabinet met het werkprogramma *Schoon en zuinig* beoogt, kan een kerncentrale ten opzichte van fossiele alternatieven (bijvoorbeeld kolen- of gascentrales met CCS) een macro-economisch voordeel opleveren. Ook wanneer dezelfde elektriciteit uit hernieuwbare bronnen (zonder CO₂-emissies) wordt geproduceerd, ontstaat met uitbreiding van kernenergie een voordeel, zolang de kosten van kernenergie relatief laag en die van hernieuwbare energie relatief hoog blijven. Aangezien een eventuele uitbreiding van kernenergie door de lange voorbereidings- en bouwtijd pas over vele jaren geëffectueerd zal kunnen worden, is het overigens waarschijnlijk dat tegen die tijd de duurzame technologieën verder zijn uitontwikkeld en opgeschaald, waardoor prijsdalingen hebben plaatsgevonden. De prijsverschillen tussen kernstroom en elektriciteit uit hernieuwbare energie kunnen hierdoor afnemen.

Uit het factfinding-rapport (pp. 128-129) komt naar voren dat het effect op het bruto nationaal inkomen van uitbreiding van kernenergie afhangt van de rentabiliteit van kernenergie ten opzichte van de andere elektriciteitsproductieopties en marktverhoudingen; in het laatste geval bijvoorbeeld of er sprake is van import of export. Onder de condities van een scenario met streng klimaatbeleid en hoge CO₂-prijzen kan een kerncentrale ten opzichte van het fossiele alternatieven een macro-economisch voordeel opleveren als de kosten voor de elektriciteitsproductie met een toegenomen aandeel kernenergie lager zijn dan als dezelfde elektriciteit met kolen- of gascentrales wordt geproduceerd. Ook wanneer dezelfde elektriciteit uit hernieuwbare bronnen (zonder CO₂-emissies) wordt geproduceerd, ontstaat met uitbreiding van kernenergie een voordeel, vanwege de aanvankelijk hogere kosten van duurzame energietechnologie. Daartegenover staat dat er bij uitbreiding van kernenergie mogelijk minder geïnvesteerd wordt in nieuwe energietechnologieën en niet geprofiteerd kan worden van eventuele positieve economische effecten die met de ontwikkeling en toepassing van innovatieve technologie samenhangen.

2.7 **Belangrijkste conclusies**

De omvorming van het elektriciteitsproductiepark in duurzame richting is een dynamisch proces van vele decennia. In de praktijk zal waarschijnlijk moeilijk gelijktijdig aan alle duurzaamheidsaspecten volledig te voldoen zijn. Een volledig duurzame energievoorziening is dan ook vooralsnog een utopie. Er zal dan moeten worden gekozen, bijvoorbeeld tussen de mate van milieuschade die aanvaardbaar wordt geacht en de prijs die de samenleving bereid is hiervoor te betalen (ecologische versus economische duurzaamheid).

In de afweging tussen betrouwbaar, schoon en veilig, en betaalbaar scoort vooralsnog geen enkele energiedrager op alle onderdelen positief. Toegespitst op de vergelijking tussen kolen, gas en kernenergie is het algemene beeld van de plussen en minnen als volgt.

- Bij *kolen* zijn de enorme winbare voorraden in grote delen van de wereld het belangrijkste pluspunt. In de mijnbouw vallen jaarlijks echter vele duizenden doden. Daarnaast is de grote CO₂-uitstoot een belangrijk knelpunt, zij het dat bijstook van duurzame biomassa (indien voldoende beschikbaar) tot emissiereducties leidt. Een stijgende CO₂-prijs maakt elektriciteit uit kolen- (en gas)gestookte centrales duurder. Grootschalige toepassing van de technologie om de uitstoot van CO₂ uit kolencentrales af te vangen en op te slaan (CCS) bevindt zich voorlopig nog in de fase van proefprojecten, kent specifieke veiligheidsrisico's en juridische vragen. CCS is bovendien prijsverhogend en heeft een negatief effect op het energetisch rendement van centrales.
- Bij *aardgas* speelt ook de CO₂-problematiek, zij het dat gasgestookte elektriciteitscentrales veel minder CO₂ uitstoten (ongeveer de helft) dan kolengestookte centrales. Ook gascentrales lenen zich voor CCS-toepassing. Met het geleidelijk opraken van de Nederlandse gasvoorraad, wordt Nederland (en zijn buurlanden) de komende decennia afhankelijker van importen deels uit politiek instabiele landen. Bij gaswinning in verre buitenlandse landen (zoals Rusland) gaat veel aardgas verloren door gaslekken bij exploratie en transport, hetgeen in een toename van het broeikas-effect resulteert. Het risico van grotere afhankelijkheid van instabiele regio's kan deels worden gemitigeerd door een groeiende inzet van meer vloeibaar en, zij het vooralsnog prijzig, 'groen' gas. Een voordeel van gasgestookte centrales is de grote flexibiliteit. Dit is belangrijk als de betekenis van weersafhankelijke energiedragers (vooral wind) toeneemt. Een nadeel is de relatief hoge en volatiele prijs.
- Bij *kernenergie* is de relatief geringe CO₂-uitstoot gedurende de levenscyclus een belangrijk milieuvoordeel. Er zijn de eerstkomende decennia geen leveringsproblemen met betrekking tot uranium. De productie van kernstroom wordt gekenmerkt door grote initiële investeringen en lage variabele kosten. Door de ongevallen met kerncentrales in Harrisburg (1979) en Tsjernobyl (1986) richt de maatschappelijke aandacht zich in eerste instantie vooral op de veiligheidsrisico's van kernreactoren. De laatste jaren is er ook de angst voor misbruik door nucleaire proliferatie. Bij de afvalproblematiek speelt het ontstaan van radioactief afval gedurende de mijnbouw en ook de opslag en eindberging van hoogradioactief afval. De kerncentrale van Borssele produceert jaarlijks 1,4 m³ hoogradioactief afval en 2 m³ samengeperste hoogradioactieve metaaldelen die onder gecontroleerd toezicht voor maximaal 100 jaar in speciaal hiertoe ontworpen en ingerichte opslagbunker (HABOG) worden opgeslagen. Vervolgens zal dit afval opgeslagen worden in een ondergrondse berging. De ondergrondse berging moet naar verwachting zeker 1000 jaar intact blijven om de grootste negatieve effecten te voorkomen. Uiteindelijk duurt het zo'n 100.000 jaar voordat het hoogradioactieve afval het radioactiviteitsniveau bereikt van natuurlijk uranium. In Europa is nog nergens een ondergrondse eindberging in bedrijf; wel is er in Finland een in aanbouw.

Hoewel de kans op een ongeluk in een kerncentrale zeer klein is, kunnen de effecten enorm zijn, zowel in termen van aantallen slachtoffers als door langdurige radioactieve straling van grote gebieden. De veiligheidsrisico's van kernenergie zijn wezenlijk, maar ze zijn tijdens de bedrijfsvoering van kerncentrales de afgelopen decennia sterk verminderd. Bij de kernreactoren die nu op de markt zijn, streeft men ernaar de reactorveiligheid te waarborgen via principes van actieve en passieve veiligheid.

Actieve systemen staan onder normaal bedrijf *stand-by* en worden pas geactiveerd als dit voor de veiligheid nodig is. Nieuwe reactoren die thans op de markt komen, maken meer van passieve veiligheidssystemen gebruik. Passieve systemen maken gebruik van altijd aanwezige krachten, zoals de zwaartekracht, die ervoor zorgen dat veiligheidssystemen – zonder tussenkomst van mensen – ingrijpen als dat nodig is. Deze systematiek vermindert de kans op ongelukken als gevolg van een eventuele terroristische aanslag.

In de afweging tussen de inzet van diverse vormen van energie zijn ook de kansen voor nieuwe industriële bedrijvigheid aan de orde. Op voorhand is niet aan te geven op welke deelterreinen Nederlandse bedrijven de grootste commerciële kansen hebben. De overheid moet zich in het algemeen beperken tot het faciliteren van maatschappelijk wenselijke opties.

Tot slot is er een reëel risico dat een eventuele uitbreiding van kernenergie in Nederland ten koste zou gaan van O&O-inspanningen op het terrein van hernieuwbare energie. Dat hangt mede af van de kabinetsinzet om de ambitieuze kabinetsdoelstellingen ter zake te realiseren.