



Energy research Centre of the Netherlands

# **Fact Finding Kernenergie**

## **t.b.v. de SER-Commissie Toekomstige Energievoorziening**

ECN

M.J.J. Scheepers

A.J. Seebregts

P. Lako

NRG

F.J. Blom

F. van Gemert



Sociaal-  
Economische  
Raad



## Samenvatting

Voor de beantwoording van de vraag of er bij het streven naar een duurzame energievoorziening in Nederland (meer) kernenergie kan en moet worden opgewekt, en zo ja onder welke voorwaarden, heeft de commissie Toekomstige Energievoorziening van de Sociaal Economische Raad (SER) een studie laten uitvoeren waarin feiten en gegevens over kernenergie zijn verzameld (fact finding). Hieronder wordt aan de hand van een aantal veelgestelde vragen een samenvatting gegeven van de informatie die in deze fact finding studie is te vinden.

### *Wat zijn de technische kenmerken van kernenergie?*

De energieproductie in een kerncentrale is gebaseerd op de splijting van atoomkernen van zware elementen, de zogenoemde splijtstoffen, waarbij materie wordt omgezet in energie. Door het instandhouden van een kettingreactie (het proces van opeenvolgende kernsplijtingen) wordt continu energie geproduceerd die via een aantal tussenstappen wordt gebruikt om een generator aan te drijven waarmee elektriciteit wordt geproduceerd. In de loop van de tijd zijn verschillende typen reactoren ontwikkeld. De typen reactoren die op dit moment het meest worden toegepast zijn de drukwaterreactor (*Pressurized Water Reactor*, PWR), zoals de kerncentrale Borssele, en de kokendwaterreactor (*Boiling Water Reactor*, BWR). In beide typen reactoren is een afgesloten stalen vat (reactorvat) geplaatst dat is gevuld met water. In het vat zit een constructie waarin een groot aantal splijtstofelementen is geplaatst (de reactorkern). Het water in het reactorvat wordt verhit met de energie die vrijkomt in de splijtstofelementen. Bij een drukwaterreactor wordt de warmte van het water uit het reactorvat gebruikt om in een zogenoemde stoomgenerator stoom te produceren. Deze stoom drijft een turbinegenerator aan waarmee elektriciteit wordt geproduceerd. Bij een kokendwaterreactor wordt de stoom direct in het reactorvat zelf geproduceerd.

Een kerncentrale gebruikt als brandstof splijtstof, die eerst moet worden geproduceerd uit natuurlijke grondstoffen. De meeste kerncentrales gebruiken verrijkt uranium als splijtstof. Het uraniumerts bestaat vrijwel geheel uit het isotoop uranium-238 (99,3%) en een kleine fractie uranium-235 (0,7%). Het gehalte uranium-235 wordt door verrijking verhoogd tot ongeveer 3 à 5%. In Nederland gebeurt dat met behulp van ultracentrifuges in Almelo. De stappen die moeten worden doorlopen om de splijtstof voor de kerncentrale te maken - de zogenoemde 'front-end' van de splijtstofcyclus - zijn: winning van het uraniumerts, onttrekken van uranium aan het erts, omzetting in gasvormig uranium hexafluoride, verrijking (waarbij het gehalte uranium-235 wordt verhoogd) en splijtstoffabricage. Na het gebruik van de splijtstof in de kerncentrale wordt de splijtstof opgeborgen ('directe berging') of hergebruikt ('opgewerkt'). Deze 'back-end' van de splijtstofcyclus kent dus twee mogelijke routes. Bij directe berging wordt de gebruikte splijtstof eerst tijdelijk opgeslagen, daarna geconditioneerd om in een voor de eindberging geschikte vorm te worden gebracht. De huidige plannen voorzien in opslag in diep gelegen stabiele geologische formaties, zoals zout- en kleilagen of graniet. Bij het hergebruik wordt splijtstof teruggewonnen (uranium en het bij de kernsplijting gevormde plutonium) om weer te worden gebruikt als brandstof voor kerncentrales. De resterende fractie wordt verglaasd en, na een tijdelijke opslag, volgens de huidige plannen eveneens opgeslagen in diepgelegen stabiele geologische formaties.

### *Hoe heeft de kernenergietechnologie zich ontwikkeld en welke ontwikkeling is nog te verwachten?*

Wereldwijd waren in 2006 437 kerncentrales in bedrijf met een totaal vermogen van 370 gigawatt waarmee in 17% van de wereldelektriciteitsvraag en 6% van de wereldenergievraag werd voorzien. Hiervan stonden er 144 in de 27 lidstaten van de Europese Unie met een totaal vermogen van 131 gigawatt, goed voor 31% van de Europese elektriciteitsvraag. Deze kerncentrales zijn bijna allemaal gebouwd in de jaren zeventig, tachtig en negentig van de vorige eeuw en

worden gerekend tot de tweede generatie. Kerncentrales van de eerste generatie waren bedoeld om de technologie te demonstreren. De kerncentrale Borssele heeft een vermogen van 480 megawatt en behoort ook tot de tweede generatie. In de jaren negentig heeft deze kerncentrale een omvangrijke revisie ondergaan waardoor de technische veiligheid is verbeterd. Onlangs is besloten dat de kerncentrale tot 2033 in bedrijf kan blijven. Twee ongevallen met kerncentrales van de tweede generatie, in 1979 in Harrisburg en in 1986 in Tsjernobyl, hebben de ontwikkelingen in belangrijke mate beïnvloed. Na de ongevallen is de nieuwbouw van kerncentrales sterk vertraagd. De ongevallen hebben echter ook 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, waarvan de technische veiligheid verder is verbeterd. Deze reactoren worden aangeduid met generatie III. De nu commercieel verkrijgbare kerncentrales, met vermogens tussen 1000 en 1600 megawatt, passen reactoren toe van deze generatie. Daarnaast zijn nieuwe typen ontwikkeld die gebaseerd zijn op een andere splijtstoftechnologie en veiligheidsfilosofie. Deze Hoge Temperatuur Reactoren (HTR), met een relatief klein vermogen, worden gerekend tot de generatie III+. Prototypen van deze kerncentrales worden nu ontwikkeld voor commerciële toepassing rond 2016. Deze hebben een elektrisch vermogen van circa 160 MW. 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.

#### *Hoe wordt de veiligheid van de technologie gewaarborgd?*

Bij elk van de processen van de splijtstofcyclus is er een kans op een ongeval waarbij een hoeveelheid radioactieve stoffen ongecontroleerd in de omgeving terecht komt. Om zowel de kans op een dergelijk ongeval als de hoeveelheid radioactieve stoffen die hierbij zou vrijkomen te beperken, worden er bij de processen van de splijtstofcyclus een groot aantal technische en organisatorische maatregelen toegepast. De eisen hiervoor zijn in de loop van de jaren steeds verder aangescherpt. Hierbij speelt het Internationaal Atoom Energie Agentschap van de Verenigde Naties in Wenen (IAEA) een grote rol. De IAEA, die toezicht houdt op het gebruik van nucleaire technologie en materialen, stelt onder meer veiligheidsstandaarden op. Deze standaarden zijn gebaseerd op het *defense in depth* principe. Hierbij wordt een strategie van veiligheidsmaatregelen en veiligheidsvoorzieningen gehanteerd met als uiteindelijke doel te voorkomen dat enig menselijke handeling, mechanisch falen of combinaties daarvan tot gezondheidsschade van omwonenden zal kunnen leiden. Aan het *defense-in-depth* principe wordt uitvoering gegeven door het aanbrengen van meerdere beveiligingslagen. Deze bestaan uit fysieke barrières (als ook de beveiliging daarvan), veiligheidssystemen en organisatorische maatregelen.

Bij de verschillende reactortypen worden verschillende veiligheidsfilosofieën gevolgd. Reactortypen van de derde generatie gaan uit van dezelfde *defense-in-depth* veiligheidsfilosofie als bestaande kerncentrales waarbij aanvullende veiligheidssystemen zijn aangebracht. De veiligheidsfilosofie is gebaseerd op *actieve en passieve veiligheidssystemen*. Actieve systemen staan onder normaal bedrijf uit en worden pas aangezet (geactiveerd) als dit voor de veiligheid nodig is. Passieve systemen maken gebruik van altijd aanwezige krachten, zoals de zwaartekracht, die ervoor zorgen dat veiligheidssystemen ingrijpen als dat nodig is. Bij reactortypen van generatie III+ wordt een andere veiligheidsfilosofie gehanteerd die toepassing van aparte veiligheidssystemen overbodig maakt. Bij *inherente veiligheid* is de reactor en de toegepaste splijtstof zodanig ontworpen dat een ongecontroleerde reactiviteitsexkursie (een toename van de reactiviteit), waarbij de reactorkern beschadigd wordt, niet mogelijk 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.

#### *Hoeveel brandstof is er beschikbaar voor kerncentrales?*

De omvang van winbare uraniumvoorraden wordt gerelateerd aan de kosten van de uraniumwinning. Naarmate het winnen van uranium moeilijker wordt (bijvoorbeeld doordat de ertslagen dieper liggen of doordat de ertsen minder uranium bevatten), zal de prijs hoger zijn. De bekende

uraniumvoorraad bij een prijs van minder dan \$40 per kg bedraagt ongeveer 2,7 miljoen ton uranium. Bij een prijs van \$130 per kg nemen de bekende voorraden toe tot 4,7 miljoen ton. Deze voorraden zijn wereldwijd verspreid. De grootste voorraden liggen in Australië, Kazakstan en Canada. Bij het huidige uraniumgebruik voor de circa 440 kerncentrales in de wereld (circa 67.000 ton per jaar) is er genoeg voor circa 70 jaar. Deze termijn is afhankelijk van het aantal kerncentrales dat in de toekomst wordt geëxploiteerd. Naast deze voorraden zijn er schattingen die wijzen op moeilijker te winnen uraniumvoorraden met een omvang van 10 miljoen ton. Onconventionele voorraden van uranium zijn voorts aanwezig in fosfaatafzettingen (22 miljoen ton) en in zeewater (4000 miljoen ton). Ontwikkelingen in de nucleaire technologie richten zich onder meer op het efficiënter gebruik van uranium. Met de op dit moment in ontwikkeling zijnde vierde generatie reactoren wordt er naar gestreefd het uranium circa 100 maal efficiënter te gebruiken. Daarnaast kan voor het maken van splijtstof ook thorium worden gebruikt. De natuurlijke voorraden van thorium zijn ten minste vergelijkbaar met die van uranium.

#### *Wat wordt er met nucleair afval gedaan?*

Onderscheid moet worden gemaakt tussen laag-, middel- en hoogradioactief afval. Veel van het laag- en middelactieve afval zal in een periode van 100 jaar vervallen tot niet-radioactief afval. De hoogradioactieve gebruikte splijtstof heeft echter meer dan 100.000 jaar nodig voordat de radioactiviteit van langlevende radioactieve elementen het niveau bereikt van natuurlijk uranium. Deze tijdsduur wordt vooral bepaald door het in de gebruikte splijtstof aanwezige plutonium. In veel landen worden gebruikte splijtstofelementen in een apart bassin op de locatie van de kerncentrale tijdelijk opgeslagen. Bij sommige kerncentrales worden hiervoor speciale containers gebruikt (droge opslag). De bedoeling is dat de gebruikte splijtstofelementen uiteindelijk - na geëigende conditionering en verpakking - definitief in een ondergrondse eindberging worden opgeslagen.

In Nederland wordt de gebruikte splijtstof uit de kerncentrale Borssele eerst opgewerkt. Het hoogradioactieve verglaasde afval afkomstig uit de opwerkingsinstallatie in Frankrijk, met een levensduur van circa 10.000 jaar, wordt in Nederland in een speciaal, bunkerachtig gebouw opgeslagen, het zogenoemde HABOG bij de COVRA in Vlissingen. Jaarlijks gaat het om circa 1,3 kubieke meter. Dit is een bovengrondse opslagvoorziening waarin radioactief afval tijdelijk (tot maximaal 100 jaar) wordt opgeslagen. In die periode neemt de activiteit van het afval met een factor 10 af. Hoogradioactief afval zal, volgens de huidige plannen, na deze periode van opslag in het HABOG, in de diepe ondergrond worden opgeborgen.

In Europa is op dit moment nog nergens een ondergrondse eindberging in bedrijf voor hoogradioactief afval. Wel vinden veel experimenten plaats in ondergrondse testlaboratoria om eindberging in geologisch stabiele lagen te onderzoeken (onder meer in België, Frankrijk, Duitsland, Zwitserland, Zweden en Finland). In Zweden en Finland zijn er concrete projecten voor de realisatie van eindbergingsfaciliteiten voor de opslag van gebruikte splijtstof. In Nederland is nog geen beslissing genomen over de wijze waarop het hoogradioactieve afval in de ondergrond zal worden opgeslagen. Wel is er al gekozen voor terughaalbare eindberging. Dit houdt in dat eenmaal opgeborgen radioactief afval altijd weer terug te halen moet zijn mochten er nieuwe (andere) oplossingen voor de verwerking of berging van dit afval worden gevonden.

Er wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om de levensduur van hoogradioactief gebruikte splijtstof te verkorten van meer dan 100.000 jaar tot circa 2000 jaar of minder. Deze technologie wordt partitioning en transmutatie genoemd. Dit is een geavanceerdere vorm van opwerking en recycling dan nu wordt toegepast. De ontwikkeling van de partitioning en transmutatietechnologie zal nog geruime tijd vergen en mogelijk pas over enkele decennia op industriële schaal beschikbaar komen.

*Wat zijn de risico's van proliferatie en hoe kunnen die worden verkleind?*

Proliferatie is het verspreiden van nucleaire technologie en materiaal voor militaire en niet-vreedzame toepassingen. Regimes van sommige landen in de wereld wensen te beschikken over een nucleair wapen vanwege de macht die er mee kan worden uitgeoefend en het prestige dat hieraan kan worden ontleend. Ook zouden sommige landen een nucleair wapen kunnen ontwikkelen om hun belangen te beschermen als buurlanden ook over nucleaire wapens beschikken (afschrikking). De benodigde grondstoffen voor een kernwapen zijn hoogverrijkt uranium of plutonium. De verrijkingstechnologie kan worden gebruikt om hoogverrijkt uranium te produceren. Het opwerkingsproces zou - wanneer splijtstof wordt verwerkt die slechts kort in de reactor is gebruikt - kunnen worden gebruikt om voor kernwapens geschikt plutonium af te scheiden.

Er zijn internationale afspraken gemaakt 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 kernenergietechnologie en bewaking van de splijtstof. De internationale afspraken zijn ondermeer vastgelegd in het Non-proliferatieverdrag (waarbij 190 landen zijn aangesloten) en het Additioneel protocol. Omdat men dit verdrag nog niet adequaat genoeg vond is in 2003 het Proliferation Security Initiative gelanceerd. Dit initiatief, waarbij 60 landen (waaronder Nederland) zijn aangesloten, is gericht op het onderscheppen en voorkomen van illegale transporten van Weapons of Mass Destruction en goederen waarmee deze kunnen worden gemaakt of gelanceerd. Daarnaast heeft het Internationaal Atoomagentschap van de Verenigde Naties (IAEA) in 2006 het initiatief genomen tot de invoering van een systeem, waarbij de lidstaten splijtstof voor opwekking van kernenergie in bruikleen krijgen uit een internationale reservebank voor nucleaire brandstof. Na gebruik wordt deze splijtstof teruggegeven. Op de lange termijn moet dit ertoe leiden dat alle verrijkings- en opwerkingsinstallaties onder internationaal toezicht komen te staan.

*Wat zijn de risico's van terrorisme en hoe kunnen die worden verkleind?*

Er kunnen drie soorten terroristische bedreigingen worden onderscheiden: (1) het gebruik van een explosief waarbij radioactief materiaal wordt verspreid, ook wel 'vuile bom' genoemd, (2) het verkrijgen van een kernwapen door een terroristische organisatie en (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. Voor de constructie van een 'vuile bom' is geen materiaal uit de splijtstofcyclus nodig. Radioactief materiaal is ook buiten de kernenergiesector aanwezig. Beveiliging van de splijtstofcyclus moet ervoor zorgen dat dit materiaal niet in handen van terroristen terecht komt. 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 nucleaire installaties moet zorgen voor het verkleinen van het risico van terroristische aanslagen. De veiligheidssystemen die er voor 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. Dit geldt ook voor de dreiging van een neerstortend vliegtuig. Oorspronkelijk zijn kerncentrales niet expliciet ontworpen tegen een vliegtuigongeval. Voor nieuw te bouwen centrales worden wel expliciete ontwerpeisen gesteld aan de bestendigheid tegen een aanslag met een verkeersvliegtuig.

*Welke milieueffecten mogen worden verwacht van de toepassing van kernenergie?*

De milieueffecten van kernenergie worden vooral bepaald door de ioniserende straling, emissies van radioactieve stoffen en radioactief afval dat bij de verschillende processtappen van de splijtstofcyclus en tijdens de verschillende fasen van de installaties (d.w.z. productiebedrijf en ontmanteling) ontstaat. Hierbij wordt uitgegaan van normale bedrijfsvoering. Voor een vergelijking met andere elektriciteitsproductieopties zijn ook de emissies van ondermeer kooldioxide (CO<sub>2</sub>) relevant.

De milieubelasting bij winning en verwerking van uranium is afhankelijk van het type mijnbouw, het beheer van de mijn en van de *tailings* (restproduct van de ertsverwerking). De betrokken mijnwerkers worden blootgesteld aan natuurlijk radongas en vrijkomend stof, wat een risicofactor voor longkanker vormt. 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 tailingreservoirs deze milieubelasting te minimaliseren tot een niveau van natuurlijke emissies van radon uit de bodem. Maar zelfs bij goed afgedekte reservoirs blijft een zeker milieurisico bestaan omdat de tailings duizenden jaren radioactief blijven.

De gemiddelde hoeveelheid ioniserende straling waaraan elke Nederlander wordt blootgesteld bedraagt 2500 microsievert per jaar. De stralingsbelasting waaraan de bevolking wordt blootgesteld in verband met emissies van radioactieve stoffen in de lucht door een kerncentrale is minder dan 0,04 microsievert per jaar (kerncentrale Borssele). Van de hele splijtstofcyclus levert, onder normale bedrijfsomstandigheden, de opwerkingsinstallatie met 8 microsievert per jaar relatief de grootste bijdrage aan de stralingsbelasting. Deze wordt vooral bepaald door emissies van de relatief langlevende splijtingsproducten koolstof-14 en krypton-85 die bij de opwerking van bestraalde splijtstof worden geloosd in de lucht.

Omdat hoograadioactief gebruikte splijtstof ruim honderdduizend jaar ioniserende straling produceert moet het in een eindberging goed van de leefomgeving worden afgesloten. Voor de eindberging zijn analyses gemaakt van de maximale stralingsdosis waar de bevolking aan wordt blootgesteld indien de eindberging om allerlei redenen minder goed zou isoleren dan verwacht. De berekende risico's zijn klein maar kennen nog onzekerheden. Deze worden vooral bepaald door lokale omstandigheden. Er is nader locatiespecifiek onderzoek nodig voordat een definitieve keuze kan worden gemaakt voor een eindberging voor hoograadioactief afval.

Bij ontmanteling van een kerncentrale worden emissies en straling op dezelfde wijze gecontroleerd als tijdens het bedrijf van de centrale. Bij ontmanteling ontstaat voornamelijk laag- en middelradioactief afval. Dit afval wordt op dezelfde wijze verwerkt als het laag- en middelradioactief afval dat bij het bedrijven van de kerncentrale ontstaat.

De CO<sub>2</sub>-emissies van kernenergie gedurende de levenscyclus van een kerncentrale zijn per kWh vergelijkbaar met die van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen. Voor kerncentrales worden waarden gerapporteerd van 5 tot 65 gram CO<sub>2</sub> per kWh. Voor Europese kerncentrales zijn emissies berekend van 8 tot 32 gram CO<sub>2</sub> per kWh. De cijfers gelden voor de huidige winning van uranium, maar kunnen toenemen bij winning van armere uraniumertsen. Voor windenergie zijn CO<sub>2</sub>-emissies berekend van 6 tot 23 gram per kWh en voor elektriciteit afkomstig van huidig type zonnepanelen 30 tot 100 gram CO<sub>2</sub> per kWh. Voor CO<sub>2</sub>-emissies van de levenscyclus van kolencentrales zonder CO<sub>2</sub>-afvang en -opslag worden waarden gerapporteerd die liggen tussen 815 en 1153 gram per kWh en voor gascentrales tussen 362 en 622 gram per kWh.

#### *Welke ongevalrisico's bestaan er bij de toepassing van kernenergie?*

Het risico van een ongeval in de splijtstofcyclus voor de bevolking verschilt van die voor het personeel. Van het personeel dat betrokken is bij de splijtstofcyclus is het individuele overlidensrisico van mijnwerkers bij de uraniummijnen het hoogst. Het gaat daarbij in hoofdzaak om dezelfde soorten ongevallen als bij de mijnbouw van andere delfstoffen. Bij de andere onderdelen van de splijtstofcyclus zijn de risico's voor het personeel vergelijkbaar of kleiner dan die bij de lichte industrie. Ook de risico's door verhoogde blootstelling aan straling en radioactieve stoffen tijdens ongevallen zijn, afgezien van de hiervoor genoemde risico's bij de mijnbouw, vergelijkbaar met die van 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. Blootstelling aan straling leidt bij een hoge dosis tot overliden door stralingsziekten op korte termijn.

Een lagere dosis leidt tot verhoging van de kans op het ontwikkelen van gezondheidsschade, met mogelijk overlijden op lange termijn tot gevolg. De risico's van een kerncentrale worden periodiek getoetst aan wettelijk vastgelegde risiconormen. Naast slachtoffers en gezondheidsschade, kan een kernongeval tot gevolg hebben dat ernstige milieu-, economische en sociaal-psychologische schade ontstaat, die zich bij ongelukken met andere elektriciteitsproductietechnologieën meestal niet in dergelijke omvang voordoen. Wordt de hele energieketen beschouwd, dan komen ernstige ongevallen (meer dan vijf slachtoffers) ook voor bij kolen (bijv. mijnongelukken), aardgas en olie. Een dambreuk van een waterkrachtcentrale kan eveneens een groot aantal slachtoffers tot gevolg hebben.

### *Wat kost kernenergie?*

Kerncentrales die nu commercieel verkrijgbaar zijn, zijn van de derde generatie. De bouwkosten van een dergelijk kerncentrale liggen, exclusief bouwrente, tussen € 1590 en € 2297 per kilowatt elektrisch vermogen. Voor een kerncentrale met een vermogen van 1600 megawatt is dat € 2,5 tot € 3,7 miljard. De spreiding hangt ondermeer samen met de vraag of rekening is gehouden met het risico op kostenoverschrijdingen. Er zijn namelijk nog maar weinig kerncentrales van de derde generatie gebouwd. Door bouwrente nemen de investeringskosten verder toe (tot € 4,2 à € 4,7 miljard voor een kerncentrale van 1600 megawatt). De bouwtijd bedraagt 4,5 tot 6 jaar. In deze periode moet er al wel geld beschikbaar worden gesteld, zonder dat er inkomsten zijn uit de elektriciteitsproductie. De rentes van leningen tijdens de bouw zijn relatief hoog. Wordt de bouwtijd langer, dan nemen de investeringskosten door bouwrente toe.

De kosten die worden gemaakt om de kerncentrale te exploiteren liggen tussen 1,1 en 1,8 cent per kilowattuur. Naast de kosten voor onderhoud en bediening zitten hierbij inbegrepen de kosten van de splijtstofcyclus (splijtstofkosten: 0,3 à 0,6 cent per kilowattuur; kosten voor verwerking en opberging van het nucleaire afval: circa 0,1 cent per kilowattuur) en de kosten voor ontmanteling van de kerncentrale (circa 0,1 cent per kilowattuur). Er is uitgegaan van de huidige praktijk ten aanzien van verwerking en berging van nucleair afval en ontmanteling.

De kostprijs van kernenergie ligt tussen 3,1 en 8 cent per kilowattuur. Deze bandbreedte is gebaseerd op 6 kostenstudies. De hoogste waarde is afkomstig van een Amerikaanse studie, die wordt gevolgd door een Europese studie met een kostprijs van 5,4 cent per kilowattuur. De kostprijs wordt voor 70 tot 80% bepaald door de kapitaalkosten. Daardoor is de kostprijs van kernenergie relatief stabiel. Ramingen van de kapitaalkosten lopen uiteen doordat uitgegaan wordt van verschillende exploitatieperioden (25 of 40 jaar; technisch kunnen kerncentrales langer mee), verschillende veronderstellingen over de rente over geleend kapitaal (de looptijd van de lening is korter dan de exploitatieperiode) en verschillende rendementen op het geïnvesteerde eigen vermogen. De gebruikte rentevoet voor berekening van de kapitaalkosten varieert hierdoor tussen 5 en 11,5%.

De kostprijs kan worden vergeleken met de elektriciteitsprijs op de groothandelsmarkt, de markt waar de kernenergie-exploitant de geproduceerde elektriciteit verkoopt, en de kostprijs van andere elektriciteitsproductietechnologieën. De gemiddelde elektriciteitsprijs voor basislast op de Nederlandse elektriciteitsmarkt was in 2006 6,6 cent per kilowattuur en op de Duitse markt 5,5 cent per kilowattuur. Dit waren de hoogste gemiddelde prijzen voor basislast jaarcontracten sinds beide elektriciteitsmarkten zijn geliberaliseerd. De kostprijs voor elektriciteit uit kolencentrales ligt tussen 2 en 5,6 cent per kilowattuur, die voor gascentrales tussen 3,4 en 6,6 cent per kilowattuur. De elektriciteitsmarktprijzen en de kostprijzen voor kolen- en gascentrales worden beïnvloedt door de brandstofprijzen en de prijs van CO<sub>2</sub>-emissierechten. De kostprijs voor windenergie ligt thans tussen 4,1 en 8,4 cent per kilowattuur voor wind op land en voor wind op zee tussen 8,6 en 11,2 cent per kilowattuur. Deze kostenindicaties zijn ontleend aan dezelfde kostenstudies als waaruit de kosten van kernenergie zijn gerapporteerd. Bij deze kostenstudies is uitgegaan van de huidige technologie. Als gevolg van technologische ontwikkeling en ontwikkeling van de brandstofprijzen en de CO<sub>2</sub>-prijs kunnen de toekomstige kostprijzen anders zijn (bijv. voor kolen en aardgas hoger en voor wind lager).



Bij toepassing van kernenergie kunnen externe kosten en baten ontstaan. Hiervan is sprake als bij het exploiteren van de kerncentrale negatieve of positieve effecten ontstaan die ten laste komen van derden en niet in de prijs van kernenergie zijn verwerkt. De externe kosten van milieueffecten die voor kernenergie zijn berekend liggen beneden 1 cent per kilowattuur. Dit is qua orde van grootte vergelijkbaar met de externe kosten voor windenergie en die van elektriciteit geproduceerd met zonnepanelen. Voor elektriciteit geproduceerd uit kolen en gas (zonder CO<sub>2</sub>-opslag) liggen die een factor tien hoger. Andere externe kosten zijn bijvoorbeeld kosten die de overheid moet maken voor publieksvoorlichting over kernenergie, voor beveiliging van afvaltransporten en voor beveiliging tegen terroristische acties of hebben te maken met uitputting van uraniumvoorraden en gevolgen van proliferatie. Toepassing van kernenergie heeft een gunstig effect op energievoorzieningszekerheid en reductie van broeikasgasemissies. Baten die ontstaan door hoge elektriciteitsprijzen als gevolg van prijsstijging van fossiele brandstoffen of de prijs van CO<sub>2</sub>-emissierechten worden door de kernenergie-exploitant echter niet vanzelf doorgegeven aan de afnemers. Deze voordelen kunnen dan niet worden aangemerkt als *externe baten*.

#### *Heeft uitbreiding van kernenergie effect op de elektriciteitsprijs?*

Elektriciteitscentrales ontvangen voor de geproduceerde stroom de elektriciteitsmarktprijs. De elektriciteitsmarktprijs bepaalt voor ongeveer 30% de eindgebruikerprijs van kleinverbruikers. Voor industriële afnemers is dat voor ongeveer 75%. De rest van de eindgebruikerprijs is bestemd voor het netwerkbedrijf of gaat, in de vorm van belastingen en heffingen, naar de overheid. Uitbreiding van kernenergie in Nederland heeft 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. De elektriciteitsmarktprijs verandert door wijzigingen in de prijs van brandstoffen en CO<sub>2</sub>-emissierechten. 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. De contractprijs zal worden gebaseerd op de verwachte toekomstige marktprijs. Met lange termijn contracten wordt vooral het prijsrisico tussen de exploitant en afnemer verdeeld. Pas achteraf kan worden vastgesteld of contractpartijen voor- of nadeel hebben ondervonden van prijsverschillen tussen contractprijs en de gemiddelde gerealiseerde marktprijs. De elektriciteit die met lange termijn contracten is gecontracteerd, blijft gedurende de looptijd van het contract verhandelbaar op de elektriciteitsmarkt.

Elektriciteitsproducenten lopen in de huidige elektriciteitsmarkt een risico van afnemende opbrengsten op het moment dat sprake is van een sterke toename van het productievermogen. Dat zou bijvoorbeeld kunnen gebeuren als de thans voorgenomen nieuwbouwplannen voor elektriciteitscentrales worden gerealiseerd. Er is dan sprake van een *boom and bust cycle*, die ook in andere kapitaalsintensieve productmarkten niet ongebruikelijk is.

#### *Met welke andere elektriciteitsproductietechnologieën concurreert kernenergie?*

Kerncentrales zijn basislastcentrales die elektriciteit produceren in zowel de dal- als de piekuren. Kerncentrales concurreren met andere basislastcentrales. In de Nederlandse markt zijn dat vooral kolencentrales en gasgestookte warmtekrachtinstallaties. Nederlandse kerncentrales concurreren ook met buitenlands basislastvermogen die bestaat uit kolencentrales en kerncentrales. Door een verdere integratie van de Nederlandse elektriciteitsmarkt met die van onze buurlanden zal de markt voor basislastvermogen toenemen. Gelijktijdig zal een sterke groei van het windvermogen de vraag naar basislastvermogen doen afnemen. Windenergie produceert ook in de daluren elektriciteit. Wanneer dat niet het geval is zal de elektriciteit worden geproduceerd uit andere flexibele productie-eenheden (eventueel opslag), maar niet uit basislasteenheden. Blijft

de marktinrichting ongewijzigd, dan zal de elektriciteitsprijs voor basislastvermogen ook in de toekomst worden bepaald door de elektriciteitsproductietechnologie met de hoogste variabele productiekosten in de dal- en piekuren. Omdat de variabele productiekosten voor hernieuwbare bronnen (behalve biomassa) en kernenergie lager zijn dan die van centrales met fossiele brandstoffen (kolen, gas), zullen deze laatste ook op langere termijn bepalend blijven voor de elektriciteitsprijs.

#### *Is de Nederlandse elektriciteitsmarkt aantrekkelijk voor kernenergie?*

Electriciteitsproducenten zijn tegenwoordig internationale ondernemingen die in verschillende landen opereren. Deze bedrijven zullen bij hun investeringsbeslissingen een keuze kunnen maken uit verschillende nationale elektriciteitsmarkten. Voor het te verwachten rendement op de investering in een basislastcentrale lijkt Nederland aantrekkelijk. De elektriciteitsprijzen voor basislastvermogen zijn relatief hoog, doordat gasgestookte centrales voor een deel van de tijd de marginale prijs bepalen. Ondermeer door uitbreiding van het aantal netverbindingen met het buitenland raakt de Nederlandse elektriciteitsmarkt steeds beter geïntegreerd met elektriciteitsmarkten in ons omringende landen. Hierdoor neemt niet alleen de concurrentie toe, maar ook de omvang van de markt die vanuit Nederland met elektriciteit kan worden voorzien. Andere aspecten waarmee een elektriciteitsproducent rekening houdt zijn: de nationale wet- en regelgeving op het gebied van kernenergie, de aanwezigheid van locaties waar planologisch rekening is gehouden met de bouw van kerncentrales, de beschikbaarheid van koelwater en mogelijkheden om op het elektriciteitstransportnet aan te sluiten.

Aangezien investeren in nieuw productievermogen in Nederland op dit moment aantrekkelijk is, waren er begin 2007 van meerdere partijen initiatieven bekend voor nieuwbouw van (conventionele) centrales. In totaal gaat het om 12 nieuwbouwplannen met een gezamenlijk vermogen van circa 10.500 megawatt. Dit is bijna gelijk aan de helft van het in Nederland opgestelde productievermogen in 2005 (21.800 megawatt).

#### *Hoe staat het met de ontwikkeling van kernenergie in andere West-Europese landen?*

Over de rol van kernenergie wordt in andere Europese landen nogal verschillend gedacht. Landen als Duitsland, België en Zweden hebben enkele jaren geleden besloten de rol van kernenergie in de nationale energievoorziening op termijn te beëindigen (uit te faseren). In Zweden zijn twee kerncentrales gesloten, maar sluiting van de overige kerncentrales is nog niet zeker. Onder bepaalde omstandigheden (bijv. energievoorzieningszekerheid) kan in België op het besluit worden teruggekomen. Finland en Frankrijk hebben besloten kernenergie in hun nationale energievoorziening te handhaven of uit te breiden. In Finland is een nieuwe kerncentrale in aanbouw en bestaan er plannen voor nog een kerncentrale. Ook in Frankrijk wordt binnenkort met de bouw van een nieuwe kerncentrale begonnen. Het voorlopige standpunt van de overheid in het Verenigd Koninkrijk is dat kernenergie in de energievoorziening een rol zou moeten blijven spelen. De Engelse overheid overweegt het bouwen van nieuwe kerncentrales mogelijk te maken.

#### *Kunnen nieuwe kerncentrales in de Nederlandse elektriciteitsvoorziening worden ingepast?*

Er bestaat op dit moment een groot aantal plannen om in Nederland nieuwe elektriciteitscentrales te bouwen, ondermeer op plaatsen die gelden als mogelijke locatie voor een nieuwe kerncentrale (Eemshaven, Borssele, Maasvlakte). De beheerder van het landelijke hoogspanningsnet, TenneT, moet voor de huidige nieuwbouwplannen investeringen doen om de inpassing van de nieuwe centrales mogelijk te maken. Aansluiting van een nieuwe kerncentrale, mocht daar de komende jaren het initiatief toe worden genomen, is afhankelijk van het tempo waarin TenneT voor voldoende netcapaciteit kan zorgen. Kerncentrales hebben een aanzienlijk groter vermogen (1000 tot 1600 megawatt) dan de centrales die nu op het Nederlandse elektriciteitsnet zijn aangesloten (circa 600 megawatt). Om het plotseling uitvallen van een grote productie-eenheid te kunnen opvangen, zal er voldoende reservevermogen beschikbaar moeten zijn. De huidige om-

vang van regel- en reservevermogen bedraagt doorgaans 750 tot 1500 megawatt. Naar verwachting van TenneT gaat de markt zelf voorzien in uitbreiding van dit reservevermogen.

De verwachting is dat het windvermogen in Nederland in de komende jaren sterk zal toenemen. Het in Nederland opgestelde vermogen kan groeien van de huidige 1600 megawatt tot mogelijk 9000 megawatt (waarvan 6000 megawatt op zee). Door een relatief sterke groei van het windvermogen zal er meer vraag ontstaan naar flexibel productievermogen en minder naar basislastvermogen, zoals door een kerncentrale wordt geleverd. Hierdoor zou een overschot aan basislastvermogen kunnen ontstaan. Daartegenover staat dat door nieuwe verbindingen met Noorwegen, Duitsland en Engeland de capaciteit van landgrensoverschrijdende netverbindingen zal toenemen van 3500 tot 6000 à 7500 megawatt. Bij voldoende buitenlandse vraag kan een eventueel overschot aan elektriciteit worden geëxporteerd.

#### *In welke mate beïnvloedt de overheid de investeringsbeslissing?*

Het huidige beleid van de Nederlandse overheid is dat in een geliberaliseerde energiemarkt de bouw van kerncentrales niet moet worden gestimuleerd noch worden belemmerd. Dat wil zeggen dat er geen sprake kan zijn van overheidssubsidies of steunmaatregelen die de bouw van kerncentrales aantrekkelijk maken of heffingen of belastingen worden ingesteld die de bouw van kerncentrales zal bemoeilijken. Door het scheppen van adequate randvoorwaarden (bijv. ten aanzien van vergunningverlening, oplossing nucleair afval, etc.) kan de overheid ervoor zorgen dat reguleringsrisico's voor de investeerder worden beperkt.

De overheid in het Verenigd Koninkrijk is bezig deze randvoorwaarden te scheppen. In Frankrijk en Finland worden nieuwe kerncentrales gebouwd. De Finse en Franse overheid zijn daar niet direct bij betrokken. De kerncentrale in Finland wordt gebouwd door een consortium van een Finse elektriciteitsproducent en een aantal grote elektriciteitsafnemers. Volgens sommige berichten heeft het consortium leningen kunnen afsluiten tegen 'aantrekkelijke' voorwaarden. De leverancier Areva bouwt de centrale op basis van 'turn key' voorwaarden, waarbij de risico's van kostenoverschrijding en vertraging in de bouw grotendeels ten laste komen van de leverancier.

#### *Kan er sprake zijn van mededingingsverstoring?*

De mate van concurrentie op de groothandelsmarkt wordt beïnvloed door het aantal marktpartijen en de marktaandelen van deze marktpartijen. Dit wordt aangeduid met marktconcentratie. De marktconcentratie op de groothandelsmarkt voor elektriciteit verandert door nieuwbouw of sluiting van centrales, door veranderingen in de importcapaciteit en door fusies en bedrijfsovernames. Toename van importcapaciteit zal de mogelijkheid van een marktpartij om de elektriciteitsprijs te beïnvloeden verkleinen. Een kerncentrale is een relatief grote productie-eenheid. Het marktaandeel van een producent die zijn productiecapaciteit uitbreidt met een kerncentrale kan hierdoor vooral in de piekuren aanzienlijk toenemen, omdat in die periode de markt geografisch beperkter is. Of de concentratiegraad hierdoor verandert is echter niet zondermeer te zeggen. Dit hangt mede af van andere factoren, zoals veranderingen van de productiecapaciteit bij concurrenten, uitbreiding van importcapaciteit en wijzigingen van de brandstof- en CO<sub>2</sub>-prijzen.

#### *Aan welke voorwaarden zouden nieuwe kerncentrales moeten voldoen?*

De voorwaarden voor meer kernenergie kunnen worden gebaseerd op het principe van duurzame ontwikkeling waarbij in de behoeften van de huidige generatie wordt voorzien zonder daarbij de behoeften van de toekomstige generaties in gevaar te brengen. Daarnaast moet een balans worden gevonden tussen economische, sociale en milieuaspecten. Wanneer hiervan wordt uitgegaan ontstaan vragen zoals: Blijft de brandstof voor kernenergie beschikbaar? Kan met kernenergie het milieu worden ontzien? Is kernenergie op de lange termijn betaalbaar? Of nog specifieker: aan welke voorwaarden moet kernenergie voldoen om te kunnen worden gekwalificeerd als een geschikte optie om op duurzame wijze te voorzien in de huidige en toekomstige energievraag?

Uit discussies over deze laatste vraag kan worden geconcludeerd dat in ieder geval de volgende aspecten een rol spelen:

- Publieke acceptatie van kernenergie en de splijtstofcyclus.
- Veiligheidsrisico's van kerncentrales en andere onderdelen van de splijtstofcyclus.
- Levensduur en beheer van nucleair afval, vooral het hoogradioactieve afval.
- Verspreiding (proliferatie) van nucleair materiaal en kernwapens.
- Accumulatie van radioactieve stoffen in de biosfeer.
- Schaarste van natuurlijke voorraden voor het vervaardigen van splijtstof.
- Kosten van kernenergie.
- Industriële ontwikkeling (lokale kennisinfrastructuur, belangstelling afnemers, spin offs, werkgelegenheid).
- Lock-in effecten (effect op ontwikkeling niet-kernenergie opties).

Op grond van deze aspecten kan kernenergie in zijn huidige vorm niet als duurzame technologie worden aangemerkt. Hiervoor dient de technologie op een aantal aspecten te worden verbeterd (o.m. ten aanzien van veiligheid, levensduur nucleair afval en proliferatie). Of kernenergie in een overgangperiode naar een duurzame energievoorziening een rol kan spelen hangt af van de beoordeling van de economische, sociale en milieuaspecten van kernenergie ten opzichte van deze aspecten van andere energiebronnen, die in dezelfde overgangperiode een rol spelen.

In samenhang met aanpassingen van de Kernenergiewet zijn door de Nederlandse regering (onder kabinet-Balkenende III) voorwaarden geformuleerd. De randvoorwaarden zijn opgesteld voor een politieke discussie. De randvoorwaarden spelen een rol bij de behandeling van de wetswijziging in de Tweede Kamer. De randvoorwaarden hebben betrekking op toepassing van nieuwe kerncentrales, radioactief afval en opwerking, ontmanteling, locatiekeuze, uraniumwinning, non-proliferatie en beveiliging en anti-terreurmaatregelen.

#### *Wat zijn de procedures en regelgeving bij uitbreiding van kernenergie?*

Nadat politieke besluitvorming heeft plaatsgevonden over de randvoorwaarden, zullen in de gewijzigde Kernenergiewet de voorwaarden worden vastgelegd die de overheid aan kernenergie verbindt. Een wijzigingsvoorstel voor de Kernenergiewet is door de vorige regering ingediend bij de Tweede Kamer. Maar hierover heeft nog geen besluitvorming plaatsgevonden. De ministers van VROM, Economische Zaken en Sociale Zaken en Werkgelegenheid beslissen gezamenlijk over een vergunning voor een nieuwe kerncentrale. Meer gedetailleerde regelgeving is opgenomen in de Nucleaire Veiligheidsregels (NVR's) die zijn gebaseerd op de richtlijnen van het Internationaal Atoomenergieagentschap in Wenen (IAEA).

In het verleden heeft de overheid vijf plaatsen aangewezen als mogelijke locatie voor een nieuwe kerncentrale. De locaties bij Borssele en Eemshaven lijken op dit moment geschikter te zijn dan de andere drie locaties (Westelijke Noordoostpolderdijk, Moerdijk en Maasvlakte). Door de vergunningaanvrager voor een nieuwe kerncentrale zal een milieueffectrapport moeten worden opgesteld. In de milieueffectrapportage dienen de milieueffecten van de kerncentrale te worden beschreven en ook die van alternatieven. De Kernfysische dienst (KFD) van VROM is betrokken bij de beoordeling van het ontwerp van nieuwe kerncentrales. Voor besluitvorming door de overheid gelden inspraakmogelijkheden waarbij burgers bezwaar kunnen maken en beroep kunnen instellen tegen deze besluiten. Waarschijnlijk zal met de besluitvorming en het vergunningsproces een periode gemoeid zijn van 5 tot 7 jaar.

#### *Hoeveel technische kennis is in Nederland aanwezig voor uitbreiding van kernenergie?*

Uitbreiding van kernenergie in Nederland vereist voldoende capaciteit aan mensen met nucleaire kennis. Op het gebied van kernenergie zijn in Nederland zeven bedrijven en kennisinstellingen (NRG, EPZ, COVRA, RID/R<sup>3</sup>, Urenco, Enrichment Technology, Institute for Energy) actief op de gebieden van verrijking, elektriciteitsproductie met kernenergie en de verwerking en opberging van nucleair afval. Internationale samenwerking zorgt er voor dat het kennisniveau

op hoog niveau blijft. Voor beleid, vergunningverlening en toezicht op de nucleaire sector is ook bij de overheid nucleaire kennis nodig. Deze kennis is geconcentreerd bij de Directie Stof-fen, Afvalstoffen en Straling (SAS) van het Ministerie van VROM en de Kernfysische Dienst (KFD). Door een stagnerende ontwikkeling op het gebied van kernenergie in de afgelopen jaren, is de kennisinfrastructuur bij alle genoemde organisaties geleidelijk afgenomen. Daarnaast is het personeelsbestand vergrijsd wat inmiddels ook heeft geleid tot het vertrek van kennis en ervaring. Mede door internationaal groeiende aandacht voor kernenergie wordt deze vergrijzing nu aangepakt door nieuw personeel aan te trekken en op te leiden. Ook zijn er plannen om de onderzoeks- en opleidingsinfrastructuur te vernieuwen en te verbeteren, zodat in de toekomst de goede positie van het Nederlandse nucleaire onderzoek en opleiding zeker kan worden gesteld. Nederlandse bedrijven zijn betrokken bij de mondiale groei van de kernenergie-industrie.

#### *Wat zijn de opvattingen en meningen van de bevolking over kernenergie?*

De opvattingen en meningen van de bevolking over kernenergie worden op twee manieren onderzocht. In wetenschappelijk onderzoek wordt nagegaan wat de verschillende factoren zijn die bij acceptatie van kernenergie een rol spelen. Dit soort onderzoek richt zich vooral op de perceptie van de risico's die samenhangen met het toepassen van de kernenergietechnologie en andere industriële activiteiten. Dit onderzoek geeft onder meer een verklaring voor het verschil van risicoperceptie tussen 'experts' en personen zonder specifieke kennis over bepaalde gevaren. Voor het publiek is de kansoverweging veel minder relevant. Zij zijn meer geïnteresseerd in de vraag of nucleaire ongevallen als in Harrisburg en Tsjernobyl niet nog eens kunnen gebeuren. Wetenschappelijk onderzoek laat ook zien dat het Tsjernobyl-ongeluk invloed heeft gehad op de risicoperceptie.

Ander, meer toegepast onderzoek geeft inzicht in de acceptatie van kernenergie onder de bevolking. Uit onderzoek dat in het voorjaar van 2006 in Nederland is uitgevoerd, komt de opvatting naar voren dat de overheid een grote rol zou moeten spelen bij een eventuele nieuwe kerncentrale. De overheid moet voorschrijven welk type kerncentrale mag worden gebouwd. Eventueel moet de overheid zelf de kerncentrale bouwen. Burgers uiten hun twijfels over het besluitvormingsproces binnen de overheid en hun werkelijke betrokkenheid daarbij. Uit Europees onderzoek, uitgevoerd in 2006, blijkt dat 35% van de Nederlandse bevolking vóór uitbreiding van kernenergie is omdat het niet bijdraagt aan klimaatverandering. 57% is tegen uitbreiding van kernenergie omdat het risico van ongelukken met zich meebrengt en radioactief afval veroorzaakt. De resultaten van vergelijkbare onderzoeken uit het verleden laten zien dat deze resultaten sterk kunnen variëren afhankelijk van de precieze vraagstelling.

#### *Welke rol wordt in lange termijn energiescenario's aan kernenergie toegekend?*

Energiescenario's zijn verkenningen van toekomstige ontwikkelingen en geen 'voorspellingen'. Onderscheid kan worden gemaakt tussen twee soorten energiescenario's: trendscenario's, waarbij het bestaande overheidsbeleid wordt voortgezet, en scenario's die uitgaan van een beleidsintensivering. In de lange termijn scenario's verandert zowel de elektriciteitsvraag als het elektriciteitsaanbod. In alle Nederlandse en Europese scenario's, zowel trendmatige als beleidsintensiverende, is de elektriciteitsvraag in 2030 groter dan in 2005. Het aandeel kernenergie in de Nederlandse elektriciteitsproductie ligt nu op circa 4%. In vier van de vijf beschouwde Nederlandse trendscenario's neemt het aandeel kernenergie af, omdat geen uitbreiding van kernenergie plaatsvindt. In één trendmatig scenario neemt het aandeel kernenergie in Nederland toe tot 17% in 2030. In één van de drie beschouwde beleidsintensiverende scenario's wordt ook uitbreiding van kernenergie verondersteld tot 30% in 2030.

Het aandeel kernenergie in de Europese elektriciteitsproductie ligt nu op 31%. Veel van de huidige kerncentrales in Europa zijn al enkele decennia in bedrijf. Indien er geen nieuwe kerncentrales meer in bedrijf worden genomen dan de centrales die nu in aanbouw zijn of zijn gepland (totaal 3 gigawatt) en de exploitatie van de bestaande centrales wordt na 40 jaar beëindigd, dan loopt het aandeel kernenergie in 2030 naar verwachting terug tot beneden de 5%. Dit is niet alleen het gevolg van het sluiten van kerncentrales, maar komt ook door de veronderstelde stij-

gende elektriciteitsvraag. Wordt de exploitatie van alle bestaande kerncentrales verlengd tot 60 jaar (dit zal niet voor alle kerncentrales het geval zijn), dan daalt dit percentage in 2030 naar verwachting tot iets onder de 25%.

In vier Europese trendskenario's neemt het aandeel kernenergie af, maar in sommige trendskenario's wordt wel in de bouw van nieuwe kerncentrales voorzien. In verschillende beleidsintensiverende scenario's neemt het aandeel kernenergie in de Europese elektriciteitsproductie toe ten opzichte van het trendskenario uit dezelfde scenariostudie. Er zijn echter ook beleidsintensiverende scenario's waarbij het aandeel kernenergie afneemt (wordt uitgefaseerd).

*Indien Nederland meer kernenergie zou overwegen, wat zijn dan de effecten op sociaal-economisch terrein?*

In een scenario waarbij op lange termijn geen klimaatbeleid wordt gevoerd, is het macro-economische effect (d.w.z. effect op het BNP) van uitbreiding van kernenergie onzeker. Dit hangt af van de rentabiliteit van kernenergie ten opzichte van de andere elektriciteitsproductie-opties en van marktverhoudingen (bijv. of er sprake is van import of export). Is kernenergie rendabeler, dan kan er macro-economisch een positief effect ontstaan. Wanneer dit niet het geval is, kan het effect ook negatief zijn. Onder de condities van een scenario met streng klimaatbeleid en hoge CO<sub>2</sub>-prijzen kan een kerncentrale ten opzichte van het fossiele alternatief een macro-economisch voordeel opleveren wanneer de kosten voor de elektriciteitsproductie met een toegenomen aandeel kernenergie lager zijn dan wanneer dezelfde elektriciteit met kolen- of gascentrales wordt geproduceerd. Ook wanneer dezelfde elektriciteit uit hernieuwbare bronnen (zonder CO<sub>2</sub>-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 minder geprofiteerd kan worden van eventuele positieve economische effecten die met de ontwikkeling en toepassing van innovatieve technologie samenhangen.

Van uitbreiding van kernenergie met één centrale wordt nauwelijks effect op de elektriciteitsprijzen verwacht. Dan zullen er ook geen concurrentievoordelen ontstaan voor industriële afnemers en is hiervan ook geen werkgelegenheidseffect te verwachten (m.u.v. de bouw van de kerncentrale). Een verdere uitbreiding van kernenergie zou wel kunnen leiden tot een relatief iets lagere elektriciteitsprijs. Over het mogelijke werkgelegenheidseffect op langere termijn is echter geen uitspraak te doen.

Uitbreiding van kernenergie in Nederland stimuleert naar verwachting het nucleaire onderzoek in Nederland, vooral bij onderzoeksinstituten en universiteiten. Onderzoek naar andere innovatieve elektriciteitsproductieopties (bijv. hernieuwbare energie, afvang en opslag van CO<sub>2</sub>, etc.) zal blijven plaatsvinden al zal de omvang van dit energieonderzoek mogelijk worden beïnvloed. Een nieuwe kerncentrale vergroot de nucleaire sector in Nederland. Bij het exploiteren van een kerncentrale zijn meer mensen betrokken dan bij gas- en kolencentrales. Hierdoor is er mogelijk een (gering) positief economisch effect op de regio waar een kerncentrale staat.