

De verschillende typen kerncentrales (reactorkeuze)

Fact sheet ten behoeve van de werkbijeenkomst Kernenergie georganiseerd door het Rathenau Instituut in samenwerking met Het Portaal op 25 februari 2005

A.I. van Heek¹, Nuclear Research and consultancy Group (NRG), Postbus 25, 1755 ZG Petten

Dit factsheet geeft een globaal overzicht van de kerncentrale-typen die momenteel commercieel beschikbaar zijn of in het stadium van (technisch-economische) demonstratie verkeren. Deze reactorsystemen worden “derde-generatie” systemen genoemd, na een eerste generatie van prototypen uit de jaren vijftig en zestig, en een tweede generatie van commerciële kerncentrales in de jaren zeventig, tachtig en negentig. De Nederlandse kerncentrale Borssele is van deze tweede generatie. De derde generatie kerncentrales heeft gemeenschappelijk dat ze verbeteringen t.o.v. vorige generaties meebrengt, zoals lagere kosten per kWh, eenvoudiger vergunbaar, betrouwbaarder en verdere verhoging van de veiligheid. De onderzoeks-community werkt reeds aan een vierde generatie nucleaire concepten, die naar verwachting rond 2030 commercieel beschikbaar zullen komen. Hierbij wordt de gehele splijstofcyclus in het concept meegenomen.

De derde-generatie typen kerncentrales uit dit factsheet hebben alle een fabrikant en minstens één (serieus geïnteresseerde potentiële) afnemer. Naast vijf watergekoelde reactoren zijn er twee typen gasgekoelde hoge-temperatuurreactor leverbaar, die men wel met Generatie 3+ aanduidt.

De **EPR** is momenteel in aanbouw in Olkiluoto, Finland en staat gepland voor bouw in Flamanville, Frankrijk, te starten in 2007. EPR staat voor European Pressurized water Reactor, een drukwaterreactor. Dit is het enige derde-generatie reactorontwerp van Europese makelij; de fabrikant is Framatome ANP, bestaande uit de gefuseerde Franse reactorbouwer Framatome en Duitse evenknie Siemens. De EPR heeft het grootste eenheidsvermogen van de hier besproken reactoren: 1600 MWe. Het is een volledig evolutionair reactorontwerp, uitgaand van dezelfde veiligheidsfilosofie als de meest recente series Franse en Duitse reactoren. Een extra veiligheidssysteem is de zgn. “corecatcher” (kernvanger) onder het reactorvat, die in het geval van volledig smelten van de reactorkern zorgt dat de radioactieve smelt zich niet verder verspreidt.



De EPR in aanbouw in Finland (artist impression).

¹ Mail: vanheek@nrg-nl.com.

De **AP1000** is een 1100 MWe reactorontwerp van de Amerikaanse fabrikant Westinghouse, een dochteronderneming van het Engelse BNFL. AP staat voor "Advanced Pressurized water reactor"; het gaat dus (net als bij de EPR) om een drukwaterreactor. Een consortium van elektriciteitsbedrijven onder de naam NuStart onder leiding van Exelon treft in samenwerking met de Amerikaanse Nuclear Regulatory Commission, NRC, voorbereidingen om een gecombineerde bouw- en bedrijfsvergunning aan te vragen voor een AP1000 of een ESBWR, op een nog nader te bepalen locatie, waar één van de partners reeds een kerncentrale heeft staan.

NuStart zal in 2005 een vestigingsplaats kiezen, en kiezen tussen de AP1000 en de zogenoemde ESBWR (zie hierna) zogauw ze beide een ontwerpcertificering (zie sectie Certificering) hebben. Voor de AP1000 wordt die in 2005 verwacht.

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

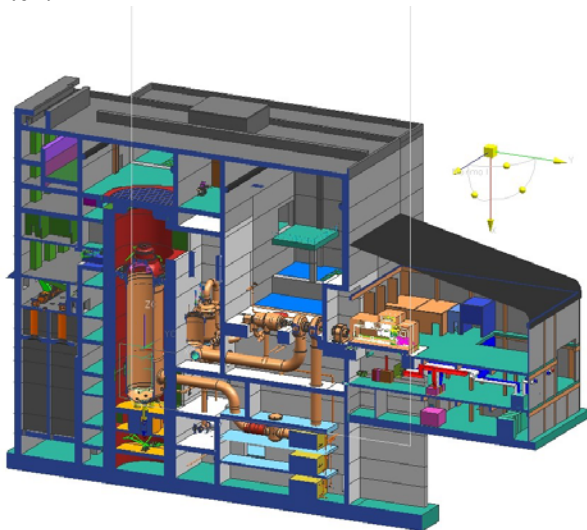
De **ESBWR** is een 1400 MWe reactorontwerp van de Amerikaanse fabrikant General Electric. ESBWR staat voor Economic and Simplified Boiling Water Reactor; dit is dus een kokendwaterreactor. Twee Amerikaanse consortia van elektriciteitsbedrijven zijn bezig in samenwerking met de NRC naar een gecombineerde bouw- en bedrijfsvergunning voor dit reactortype toe te werken: het bovengenoemde consortium NuStart (die dit ook doet voor de bovengenoemde AP1000), en een consortium geleid door het elektriciteitsbedrijf Dominion. Deze laatste werkt hierbij met een referentie-vestigingsplaats: de kerncentrale North Anna van Dominion in de staat Virginia. Voor de ESBWR wordt de ontwerpcertificering in 2007 verwacht.

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

De **ABWR** is een 1350MWe kerncentrale, eveneens van de Amerikaanse fabrikant General Electric op basis van kokendwaterreactortechnologie. ABWR staat voor Advanced Boiling Water Reactor. Dit ontwerp is reeds gebouwd in Japan, en in aanbouw in Taiwan. Het ontwerp is gecertificeerd door de Amerikaanse NRC. Het Amerikaanse elektriciteitsbedrijf TVA leidt een consortium dat in samenwerking met de NRC naar de bouw van een ABWR bij hun bestaande kerncentrale Bellefonte, in de staat Alabama, toewerkt. Net als de EPR is de ABWR een evolutionair reactorontwerp, met dezelfde veiligheidsfilosofie als de voorgaande generatie kokendwaterreactoren.

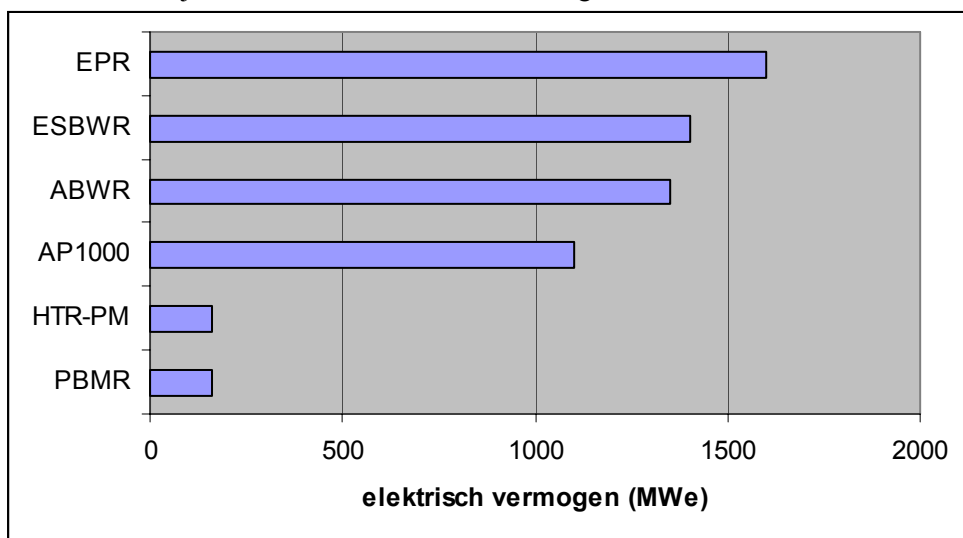
De **PBMR** is een reactorontwerp van slechts 160 MWe per eenheid, in een vergevorderd stadium van ontwikkeling door de Zuid-Afrikaanse fabrikant PBMR (Pty) Ltd. Het is de bedoeling dat een centrale gaat bestaan uit 6 tot 10 van deze reactoren op één vestigingsplaats, bestuurd vanuit één centrale regelzaal. PBMR staat voor Pebble Bed Modular Reactor, en is een heliumgekoelde kogelbed hoge-temperatuurreactor. "Kogelbed" geeft aan dat de reactorkern bestaat uit een losse stapeling tennisbalvormige splijtstofelementen. Het Zuid-Afrikaanse elektriciteitsbedrijf ESKOM heeft een demonstratiereactor gepland naast de bestaande kerncentrale Koeberg bij Kaapstad, met een optie op een serie van 10 op dezelfde vestigingsplaats. De start van de bouw is momenteel gepland in 2007, en zal volgens de fabrikant twee jaar duren. Als enige van de hier besproken reactorontwerpen wordt er met de PBMR geen stoom geproduceerd om turbines aan te

drijven. De turbine is een aangepaste gasturbine die direct door het koelgas helium wordt aangedreven. Hierdoor, en door de hoge bedrijfstemperaturen, is het omzettingsrendement van warmte naar elektriciteit erg hoog: ca. 41% vs. ca. 34% bij de waterreactoren. De veiligheidsfilosofie van de PBMR stoelt in grote mate op zijn inherente veiligheidseigenschappen (zie de volgende paragraaf): door o.m. het eenheidsvermogen klein te kiezen en een materiaalkeuze voor temperatuurbestendigheid kan de reactorkern niet smelten.



TOP WORK
PBMR module in gebouw: links het reactorvat, en rechts het energieconversiesysteem.

De **HTR-PM** is net als de PBMR een heliumgekoelde kogelbed hoge-temperatuurreactor met een eenheidvermogen van 160MWe, momenteel in ontwikkeling door de Chinese fabrikant Chinese Nuclear Engineering and Construction Corporation (CNECC) in samenwerking met het Institute of Nuclear Energy Technology dat een kleine testreactor van hetzelfde type bedrijft. HTR-PM staat voor High Temperature Reactor Pebble-bed Module, net als de PBMR met bolvormige splijtstofelementen. Het Chinese elektriciteitsbedrijf China Huaneng Group zal de eerste HTR-PM gaan afnemen. De eerste HTR-PM is gepland in aanbouw te worden genomen in 2007, en in 2010 voltooid te zijn. Voor de vestigingsplaats wordt een keuze gemaakt tussen de provincies Shandong en Anhui. De reactorkern lijkt erg op die van de PBMR, en er wordt dezelfde veiligheidsfilosofie gevolgd. De energieconversie geschiedt echter net als bij de waterreactoren via een stoomgenerator.



Veiligheid

Bij de beschreven reactortypen worden verschillende veiligheidsfilosofieën gevolgd. De EPR en ABWR zijn evolutionaire ontwikkelingen uit bestaande reactortypen, en gaan uit van dezelfde veiligheidsfilosofie: de integriteit van de splijtstof wordt gewaarborgd door zeer betrouwbare **actieve veiligheidssystemen**. Een voorbeeld is een noodkoelsysteem, bestaande uit een waterreservoir, een pomp en een klep. “Actief” wil zeggen dat het systeem wordt aangedreven door motoren (om de klep open te zetten en de pomp aan te drijven), die tijdens normaal bedrijf uitstaan, en aan worden gezet als het systeem wordt aangesproken. Alle onderdelen van deze veiligheidssystemen moeten dus zeer betrouwbaar zijn, en in de loop van de jaren zijn de eisen aan deze betrouwbaarheid steeds verder opgeschroefd. Omdat dit ook een opwaartse druk veroorzaakte op de investeringskosten van nieuwe kerncentrales, zijn sommige fabrikanten op zoek gegaan naar nieuwe mogelijkheden om de publieke veiligheid te waarborgen. Hieruit kwam de filosofie van de **passieve veiligheid**: gebruik maken van altijd aanwezige krachten zoals de zwaartekracht. Een passief noodkoelsysteem bijvoorbeeld, is boven de reactor geplaatst zodat de pomp kan vervallen en de zwaartekracht het werk kan doen. Een gemotoriseerde klep wordt vervangen door een breeschijf die boven een bepaald drukverschil altijd opengaat. In de AP1000 en de ESBWR ontwerpen zit deze filosofie met name verwerkt.

Een derde categorie reactorontwerpers zocht naar mogelijkheden om de veiligheidssystemen geheel overbodig te maken, terwijl toch de publieke veiligheid gewaarborgd blijft. Dit is de filosofie van **inherente veiligheid**. Het stelt een sterke beperking aan het maximale vermogen dat men uit een reactor kan halen, en stelt hoge eisen aan de hittebestendigheid van de gebruikte materialen. Met de jaren '60 begonnen ontwerplijn van de Hoge Temperatuur Reactor (zoals de naam al zegt bedoeld voor hoge temperatuurtoepassingen) is het idee van de modulaire reactor ingevoerd: het vermogen per reactoreenheid wordt beperkt tot ongeveer 1/10 van het vermogen van een traditionele waterreactor, en een centrale wordt opgebouwd uit meerdere eenheden naast elkaar ('modules'). Mocht bij zo'n reactor bijvoorbeeld de koeling geheel uitvallen, dan wordt alle geproduceerde warmte opgenomen in de reactor zelf, die hierdoor een paar honderd graden opwarmt. Door de hittebestendige materialen (grafiet, siliciumcarbide) blijft de splijtstof echter geheel intact. Het eenheidsvermogen is dus zo gekozen dat er onvoldoende vermogen beschikbaar is om de splijtstof te smelten. De PBMR en de HTR-PM vallen in deze categorie.

Certificering

Doorgaans wordt een nieuw type kerncentrale het eerst gebouwd in het land van herkomst van de fabrikant. De overheid van het betreffende land is dus de eerste aan wie een vergunning wordt gevraagd. De vergunningsautoriteiten van andere landen steunen bij de vergunningsprocedures van kerncentrales van buitenlandse herkomst sterk op die van het betreffende land. Daarnaast zullen alle regels en procedures getoetst worden aan die van het Internationaal Atoom Energie Agentschap (IAEA) te Wenen.

In de Verenigde Staten geeft de vergunningsautoriteit NRC ontwerpcertificaten uit. Een kerncentrale-ontwerp doorloopt hierbij het volgende traject:

Pre-certification, Stand Safety Analysis Report, Final Design Approval, Design Certification.

De ESBWR bevindt zich momenteel in het stadium van pre-certification; de AP1000 heeft kortgeleden zijn Final Design Approval bereikt, en de ABWR beschikt al enige jaren over een Design Certification.

De EPR heeft een ontwerpcertificering van de Franse vergunningsautoriteit DGSNR.

De PBMR en HTR-PM verkeren nog in een vroeger stadium van ontwikkeling, maar omdat dit minder complexe systemen zijn wordt verwacht dat de Zuid-Afrikaanse resp. de Chinese vergunningsautoriteiten op korte termijn een ontwerpvergunning zullen verlenen, zodat ze in de genoemde jaren in aanbouw kunnen worden genomen. Hierbij moet worden aangetekend

dat de Chinese vergunningsautoriteit reeds een vergunning voor een soortgelijke reactor heeft verleend, en dat PBMR voor de Zuid-Afrikaanse vergunningsautoriteit de eerste in zijn soort is.

Uraniumgebruik en opwerking

Van alle zeven reactortypen kan de splijtstof in principe opgewerkt worden. De keuze voor al dan niet opwerken wordt tot nu toe gemaakt op nationaal niveau. Van de besproken landen werken alleen Frankrijk en Japan hun gebruikte splijtstof op; de overige genoemde landen doen dit momenteel niet. Overigens zijn er ook opwerkingsfabrieken in andere landen, zoals het Verenigd Koninkrijk. De behoefte aan uraniumerts is voor de genoemde reactoren ongeveer gelijk.