

## **Kernenergie**

Kernenergie is energie die vrijkomt als atomen samensmelten of juist uiteenvallen. Als atomen samensmelten, spreken we van kernfusie. Als atomen uiteenvallen, spreken we van kernsplijting. Kernfusie is het proces dat de zon laat branden. Energie op aarde opwekken met kernfusie staat nog in de kinderschoenen. Hier beperken we ons tot energie die is opgewekt met kernsplijting.

In Nederland staat één centrale voor elektriciteitsproductie. Deze kerncentrale staat in Borssele (Zeeland). De Nederlandse elektriciteitsmix bestaat voor ongeveer 5% uit kernenergie. Borssele heeft hierin het grootste aandeel. De rest komt uit andere Europese landen waarvan wij stroom importeren. De centrale in Borssele zal in 2033 worden gesloten. Er zijn geen plannen voor nieuwe kerncentrales in Nederland.

De moderne kerncentrales die nu in aanbouw zijn, zijn veelal van generatie 3. In deze kerncentrales zijn de veiligheidsmechanismen die in de generatie 2 centrales pas in een later stadium zijn toegevoegd al opgenomen in het ontwerp. Bovendien zijn deze meer op passieve veiligheidsprincipes gebaseerd.

Wereldwijd wordt op universiteiten en R&D-instituten onderzoek gedaan naar generatie-4 kerncentrales. Deze generatie-4 gaan beter om met de beschikbare grondstoffen voorraad en zullen nog veiliger zijn dan generatie 2 en 3.

De meningen over kernenergie zijn verdeeld. Velen zien een groot gevaar in kerncentrales. Anderen vinden het zelfs noodzakelijk om gebruik te maken van kernenergie. Deze vorm van CO<sub>2</sub>-vrije energieproductie is volgens hun nodig om klimaatverandering tegen te gaan.

### **HOE WERKT HET?**

Kernenergie is energie die vrijkomt door atoomkernen van het erts uranium te splijten. Uranium heeft een zware, onstabiele atoomkern en deelt zich bij kernsplijting in twee of meer lichtere atoomkernen. Tijdens die splitsing komt er een grote hoeveelheid energie vrij, die andere uraniumatomen weer aanzet tot kernsplijting. Dat heet een kettingreactie. In een kernreactor houdt een kerncentrale deze kettingreactie onder controle.

In een kerncentrale liggen tienduizenden zogeheten splijtstofstaven van uraniumoxide in een met water gevuld reactorvat. In de staven vinden kernsplijtingen plaats, terwijl er water langs stroomt. De energie die vrijkomt bij kernsplijting is warmte. Het water neemt die warmte op, bereikt een temperatuur van honderden graden Celsius en gaat dan over in stoom. Deze stoom drijft turbines aan die elektriciteit opwekken. Door de lage prijs van uranium en de lange bedrijfstijd van de kerncentrales uit de generatie-3, zullen de generatie-4 kerncentrales pas ver na 2050 nodig zijn.

Eén kilogram uranium (U<sup>235</sup>) levert bijna 23 miljoen kWh elektriciteit op: genoeg om bijna zeven duizend huishoudens een jaar van stroom te voorzien. De energie die uranium in zich heeft, wordt voor ongeveer 35 procent omgezet in elektriciteit (rendement).

## **ONTWIKKELINGSSTAND**

Technology Readiness Levels (TRL) van Generatie-3 kerncentrales is 9, d.w.z. "Demonstratie van het systeem in een gebruiksomgeving. Het concept is technisch en commercieel gereed, productierijp en klaar voor marktintroductie. Verwacht mag worden dat door ervaringen van andere recente nucleaire nieuwbouw projecten de bouwkosten en bouwtijd zullen verminderen. De verwachte bouwtijd is tussen 7 en 10 jaar en de verwachte tijd om een vergunning te verkrijgen tussen 3 en 5 jaar. Hierdoor komt de totale realisatietijd tussen de 10 en 15 jaar. Realistisch kan nieuw nucleair vermogen kan dus pas na 2030 beschikbaar komen. Na 2030 kan kernenergie wel een belangrijke rol spelen. Dan moeten we nu echter de nodige activiteiten gestart worden.

## **CO2 BESPARING**

Uitgaande van 3 kerncentrales van 1500 MWe wordt jaarlijks 9 Mton CO2 bespaart t.o.v. opwekking met gascentrales.

## **SOCIALE IMPACT**

Generatie-3 kerncentrales zijn eenvoudig inpasbaar in de Nederlandse elektriciteitsnetwerk. Er zijn geen grootschalige infrastructurele aanpassingen nodig. Daarnaast zijn de volgende voordelen te noemen.

Voordelen kernenergie generatie-3:

1. Bij de opwekking van kernenergie komen nagenoeg geen CO2 en andere broeikasgassen vrij. DE CO2 foorprint is vergelijkbaar met zonne-energie.
2. Als grondstof is uranium relatief goedkoop.
3. Voor kernenergie zijn we minder afhankelijk van politiek instabiele regio's, dan voor gebruik van olie en gas. Uranium komt over de hele wereld voor in rotsen, bodem en zeewater.
4. Het is een regelbare vorm van elektriciteitsopwekking, in tegenstelling tot wind- en zonne-energie. Kernenergie kan daarom goed supplementair naast deze twee vormen van energieopwekking gebruikt worden.

De volgende nadelen kernenergie generatie-3 worden vaak genoemd:

1. Het grootste nadeel van kernenergie is het radioactieve afval uit een centrale, maar ook het afval van uraniumwinning en het sloofafval na sluiting van een kerncentrale zijn radioactief. Radioactieve straling vormt een groot risico voor de gezondheid. Hoogactief radioactief afval blijft tienduizenden jaren straling afgeven en vormt zo een risico voor vele generaties na de onze. Er is sprake van een relatief

klein volume radioactief afval, waardoor naar de mening van experts dit probleem goed oplosbaar is. Kerncentrale Borssele produceert per jaar maar 1,5 m<sup>3</sup> hoog actief afval.

2. De kans op een ernstig ongeval is weliswaar klein, maar de mogelijke gevolgen zijn groot. Het gaat dan vooral om nadelige gevolgen op lange termijn door verhoogde stralingsniveaus. De kans op een ernstig ongeval is bij de generatie-3 kerncentrales nog kleiner geworden, maar vooral is de impact van een ernstig ongeval verkleind door toepassing van passieve ongevals-filters en corium-catchers. De impact van een ernstig ongeval wordt daardoor met 99% gereduceerd.

3. Kerncentrales en fabrieken die kernafval verwerken vormen een risico voor misbruik. Ze kunnen geschikt worden gemaakt voor de productie van kernwapens. Het internationale non-proliferatieverdrag uit 1968 blijkt zeer effectief. Sinds de ondertekening van het verdrag is nog nooit uranium of plutonium uit kerncentrales onder IAEA toezicht gebruikt voor de productie van kernwapens. Wel hebben sindsdien 4 landen (India, Pakistan, Israël en Noord-Korea) kernwapens ontwikkeld, maar deze landen hebben het verdrag niet ondertekend.

Kernenergie is een gevoelig onderwerp in Nederland. Voor een uitbreiding van kerncentrale areaal als een van de gewenste transitie maatregelen is een maatschappelijke discussie noodzakelijk.

## **Kosten**

De investeringskosten voor een nieuwe generatie-3 kerncentrale in Nederland is moeilijk in te schatten, omdat er het laatste decennium maar weinig projecten in West-Europa zijn geweest en door grote industriële herstart problemen en kostenverhogingen vanwege het nucleaire ongeval in Japan. Niettemin wordt de CAPEX voor een 1500 MWe kerncentrale tussen de 8 en 10 miljard euro begroot, wat neer komt op 5300 – 6700 €/kW.

Hierbij komt de integrale stroomprijs per MWh (LCOE) tussen 55 en 70 €/MWh, inbegrepen afschrijving, splijtstofkosten, bediening & onderhoud, verzekeringen en voorzieningen voor ontmanteling en opslag van het radioactieve afval, uitgaande van een effectieve rente van 5%. Dit komt overeen met de verwachte LCOE van zon en wind voor het volgende decennium.

De kostprijs van elektriciteit is hoger dan de productiekosten alleen. Een energiesysteem moet immers onder alle omstandigheden het gevraagde vermogen kunnen leveren. Met andere woorden: het energiesysteem moet adequaat zijn en een hoge leveringszekerheid bieden. De inzet van zon en wind kan tegen lage marginale kosten, maar hoge netwerkkosten vanwege de hoge variabiliteit van de bron, terwijl de inzet van regelbaar vermogen gepaard gaat met hoge marginale kosten en lage netwerkkosten. Voor kernenergie bedragen de specifieke netwerkkosten circa 2 euro/MWh, terwijl dit voor onshore wind, offshore wind en zon-PV respectievelijk 25, 35 en 45 euro/MWh bedraagt. Om de kostprijs van elektriciteit te bepalen moeten dus de kosten van het gehele energiesysteem worden berekend,

waarbij ook rekening gehouden wordt met ontmanteling en verwerking en opslag van materialen en afval. Wanneer deze zogenaamde systeemkosten meegerekent worden is kernenergie in de toekomst veel goedkoper dan wind- en zonne-energie.

## **Nieuwe ontwikkelingen**

Op vele plaatsen in de wereld gedaan aan nieuwere types kerncentrales dit betreft de revolutionaire generatie 4 kerncentrales, die zeer zuinig omgaan met de beschikbare hoeveelheid Uranium en Thorium. Daarnaast wordt gewerkt aan evolutionaire kleine kerncentrales, de zogenaamde Small Modular Reactor (SMR), die door de modulaire aanpak en de kleine omvang sneller gebouwd kan worden en daardoor goedkoper zal zijn.