

Onderzoek en financiering nieuwe vormen kernenergie

Met de productie van CO₂-vrije elektriciteit en warmte kan kernenergie bijdragen aan een fossielvrij, klimaatneutraal energiesysteem. Kernenergie zorgt voor diversificatie van de energiemix en leveringszekerheid in een door wind en zon gedomineerd energiesysteem.

In Nederland wordt volop gewerkt aan ontwikkeling van nieuwe kernenergietechnologieën, zogeheten Generatie IV reactoren, inclusief het gebruik van thorium in de splijtstofcyclus. Eén en ander wordt ondersteund met nationale (PIONIER, Topsector Energie) en Europese (Euratom, IPCEI) programma's en financiering.

Versnelling van de ontwikkeling van deze nieuwe technologieën is, gezien de internationale ontwikkelingen en nationale ambities, noodzakelijk. Dat vraagt een substantiële uitbreiding van de inzet van financiële middelen. Daarnaast is een overheidsgedreven regieprogramma noodzakelijk. Alleen dan kan Nederland haar positie in de internationale nucleaire markt behouden en benutten.

1. STAND VAN ZAKEN ONDERZOEK

Wereldwijd wordt nieuwbouw van kerncentrales voorbereid, met name van Generatie III reactoren met vermogens tot 1.600 MW. Dit zijn de opvolgers van de Generatie II reactoren, zoals de kerncentrale in Borssele. Tevens wordt ingezet op het langer open houden van Borssele en de introductie van SMR's; kleinschalige uitvoeringen van grote Generatie III reactoren om op meer lokale schaal te kunnen voldoen aan de toekomstige energievraag.

De herwaardering van kernenergie geeft een impuls aan de ontwikkeling van Generatie IV reactoren. Door hun technologische eigenschappen en schaal kunnen ze op verschillende manieren een bijdrage leveren aan verduurzaming van de energiemix. Zo kunnen ze elektriciteit opwekken in combinatie met hoge temperatuur industriële (proces)warmte.

Het onderzoek in Nederland naar Generatie IV reactoren richt zich hoofdzakelijk op drie technologieën:

- gasgekoelde reactoren (High Temperature Reactors, HTR)
- vloeibaar metaal gekoelde reactoren (Liquid Metal Fast Reactors, LMFR)
- gesmoltenzoutreactoren (Molten Salt Reactors, MSR)

Generatie IV reactoren werken met zeer hoge temperaturen tot 700 °C, wat leidt tot een hoger rendement van energieconversie en daarmee een betere benutting van de splijtstof. Door modulaire opzet kunnen Generatie IV reactoren, net als andere Small Modular Reactors (SMR's), bijdragen aan het verminderen van netcongestie omdat ze los van het netwerk bij de gebruiker geplaatst kunnen worden. De fasering van de verschillende generaties reactoren en hun toepassingen wordt weergegeven in onderstaande figuur.

Eén van de technologische vernieuwingen is het gebruik van **thorium** als alternatief voor uranium. De splijtstof die door bestraling van thorium in een reactor gevormd wordt, levert minder langlevend afval op. Het gebruik van thorium draagt bij aan leveringszekerheid van splijtstof. Resultaten van grootschalige experimenteel programma's tonen dat Generatie IV reactoren de mogelijkheid bieden tot het recyclen van componenten uit radioactief afval zoals plutonium en americium. Deze reactoren kunnen dus radioactief afval hergebruiken als brandstof. Met deze nieuwe splijtstofcyclus kan de introductie van deze reactoren resulteren in een verdere verduurzaming van kernenergie met meer opgewekte energie per gram splijtstof.

De basis van het Generatie IV onderzoek stamt uit de jaren '60 en '70 van de vorige eeuw toen ook de eerste experimentele opstellingen en testreactoren werden gebouwd. Nederland had in die tijd al een zeer vooraanstaande positie in het nucleaire onderzoek. Wij profiteren nog steeds van experimentele data uit die tijd die onder meer door NRG PALLAS nu worden aangevuld met nieuwe data.

De nadruk ligt op onderzoek naar en het testen van geschikte materialen. Die staan direct bloot aan hoge temperaturen en een agressieve omgeving van zouten of vloeibare metalen. De kennis die dit oplevert, wordt ingebracht in computermodellen. Met computersimulaties wordt onder andere de (lange termijn) integriteit van een toekomstige reactor onderzocht.

De beschikbaarheid van deze modellen vormt een belangrijke randvoorwaarde om toestemming van de toezichthouder te kunnen verkrijgen voor de bouw van prototypen die nodig zijn om de gebruikte modellen te valideren (Technological Readiness Level (TRL) 5), de kwaliteit van de data vast te stellen en om ontbrekende data te identificeren. Daarna volgt de demonstratie van prototypen voor het opdoen van operationele ervaring (TRL 7). Naast de bouw van prototypes gaat de aandacht uit naar de ontwikkeling van ondersteunende voorzieningen. Denk aan de toekomstige fabricage van nieuwe splijtstoffen en thoriumhoudende startmaterialen én aan de verwerking en recycling van het radioactief afval.

In Nederland werken **Thorizon en Allseas** aan de ontwikkeling van respectievelijk gesmolten zout en gasgekoelde reactoren. In België wordt met Italië en Roemenië in het EAGLES consortium gewerkt aan een metaal (lood)gekoelde reactor. Het rapport van Peter Wennink "Route naar toekomstige welvaart" (december 2025) noemt Thorizon en Allseas veelbelovende innovaties.

Het onderzoek dat bij NRG PALLAS en TU Delft plaatsvindt voor deze projecten geeft Nederland een uitstekende positie. NRG PALLAS is sinds jaar en dag voorloper in materiaal onderzoek. Zo is de splijtstof voor de eerste commerciële gasgekoelde hoge temperatuur reactor in China (in bedrijf sinds 2021) gekwalificeerd. In 2017 voerde NRG PALLAS het eerste bestralingsexperiment ter wereld met gesmolten zout en splijtstof uit.

Voor het Amerikaanse nucleaire bedrijf KAIROS POWER doet NRG PALLAS momenteel testen op materialen en brandstoffen die zullen worden gebruikt bij de SMR's die het bedrijf gaat bouwen voor onder andere de Google data-centers. Recent is de Hoge Flux Reactor (HFR) gestart met tests om te zien hoe materialen en brandstof reageren op contact met gesmolten zout onder neutronenbestraling. Doel is te onderzoeken welke materialen geschikt zijn

voor toekomstige reactoren en hoe splijtingsproducten zich gedragen. Dit onderzoek gebeurt in samenwerking met het Joint Research Centre in Karlsruhe.

2. FINANCIERING ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

- Via het onderzoeksprogramma PIONIER draagt NRG PALLAS al decennia bij aan nucleaire innovaties. Het ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG) financiert dit onderzoek met 8,6 miljoen per jaar (2026).
- De Europese Commissie verzorgt financiering waarmee NRG PALLAS – samen met zusterinstellingen, universiteiten en de industrie – onderzoek kan uitvoeren in de Hoge Flux Reactor (HFR) in Petten. Deze beschikbaarheidsbijdrage is 7 miljoen per jaar (2026). Daarnaast ontvangt NRG PALLAS vanuit Euratom/Horizon Europe 2 miljoen euro per jaar voor onderzoeksprojecten.

Ter versterking lanceerde de Europese Commissie in 2025 een Important Project of Common European Interest (IPCEI). Daarmee krijgen lidstaten budgetten voor de ontwikkeling en implementatie van demonstratiemodellen en First Of A Kind (FOAK) SMR's. In Nederland worden de eerste stappen gezet om hier voorstellen voor in te dienen.

Vanuit RVO en NWO komt in de periode 2026-2030 een tweede Nederlandse geldstroom met een omvang van ruim 45 miljoen euro beschikbaar om de huidige kennisbasis voor innovatie een stap verder te brengen. Ook private partijen dragen bij met substantiële investeringen. De Nederlandse start-up Thorizon ontwikkelt een gesmoltenzoutreactor met privaat en overheidsgeld. Het maritiem bedrijf Allseas investeert 300 miljoen euro in de ontwikkeling van een gasgekoelde reactor.

3. WELKE TOEKOMSTIGE ONDERZOEKS- EN INVESTERINGSBEHOEFTE VERSNELLEN DE ONTWIKKELINGEN (WAARONDER THORIUM)?

De Nederlandse overheid heeft de afgelopen jaren 65 miljoen ter beschikking gesteld voor de versterking van de nucleaire kennisinfrastructuur en een additioneel bedrag van 65 miljoen voor SMR ontwikkeling. Deze bedragen waren een goede eerste aanzet maar de noodzaak om versnelling aan te brengen vraagt om inzet van meer middelen uit het Klimaatfonds (waarin 13,5 miljard is gereserveerd voor kernenergie).

NRG PALLAS pleit voor snelle extra investeringen in nucleaire (onderzoeks) infrastructuur om:

- I. De benodigde nucleaire professionals te trainen en op te leiden,
- II. Bestralingstechnologisch onderzoek te kunnen blijven voortzetten, voor kwalificatie en testen van nieuwe kerntechnologieën,
- III. De PALLAS-reactor geschikt te maken voor het kwalificeren van nieuwe materialen en splijtstoffen.

De overheid kan hiervoor de al gereserveerde budgetten voor kernenergie eerder vrijmaken. Daarnaast zal het kabinet de regie moeten nemen bij de realisatie van een demonstratiemodel of First of A Kind (FOAK) SMR. Hiermee

zijn honderden miljoenen euro tot één miljard gemoeid. Dat is veel meer dan de huidige beschikbare budgetten van de overheid en investeerders.

Het rapport Wennink noemt snelheid hierbij cruciaal omdat Nederland moet concurreren met onder andere Amerikaanse reactorontwikkelaars. Die worden gesteund met miljarden euro's overheidssubsidie en zetten grote stappen richting 'deployment'. Dus hoe eerder een Nederlandse reactor op de markt komt, hoe groter de kans op succes en hoe beter de positie van de nationale toeleveringsketen op de internationale markt. Niet alleen het verdienvermogen wordt dan verzilverd, nucleaire innovaties geven ook een antwoord op maatschappelijke vraagstukken zoals de energietransitie en netcongestie.

Overzicht van de fasering van kerntechnologie toepassingen, generatie II, III, en IV, en voorbeelden van de Nederlandse ontwikkelingen.

Generatie II (Borssele) is in bedrijf, generatie III wordt voorbereid, en generatie IV wordt ontwikkeld.

Voor elke technologie is het type splijtstof (uranium, thorium, plutonium) weergegeven, alsook het type koelmiddel (water, gas, zout, metaal).

De nieuwe generatie IV kernenergietechnologieën hebben meer energiefuncties, niet alleen elektriciteit, maar ook lage temperatuur toepassingen voor huisverwarming en hoge temperatuur toepassingen voor proceswarmte. Tevens biedt de gesmoltenzoutreactor mogelijkheden, middels recycling van afvalstromen, voor verbeterde splijtstofeconomie.

