

SMR's: technologieën en toepassingen

Expertmeeting Provincie Noord-Brabant

Geert-Jan de Haas

Programmamanager Onderzoek

NRG
PALLAS

Nuclear. For Life.

14-03-2025

Medische isotopen

Levering van medische radio-isotopen, bedrijfsvoering van de HFR tot start Pallas,
Innovatie van productieprocessen voor nieuwe nucleaire geneeskunde

Nuclear Solutions

Consultancy en R&D op het gebied van technologieën voor
kernenergie

PALLAS programma

Bouw van de nieuwe PALLAS reactor

High Flux Reactor en PALLAS-reactor



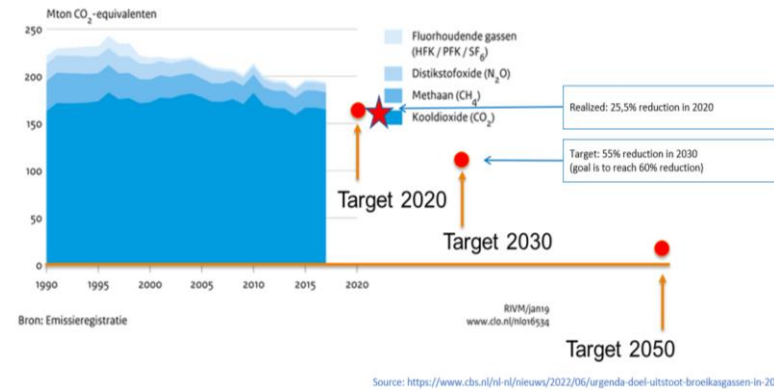
- Ontworpen voor het uitvoeren van onderzoek
- Bouw: 1957-1960
- Operationeel sinds 1961
- 45 MW
- 260-265 *full power days* per jaar



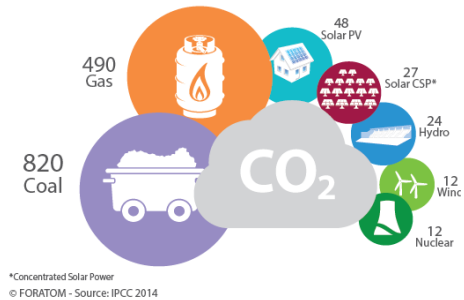
- Ontworpen voor productie van medische isotopen en onderzoek
- Project gestart in 2013
- Start operatie 2030
- 25 MW
- 300 *full power days* per jaar

De energietransitie: doel en middelen

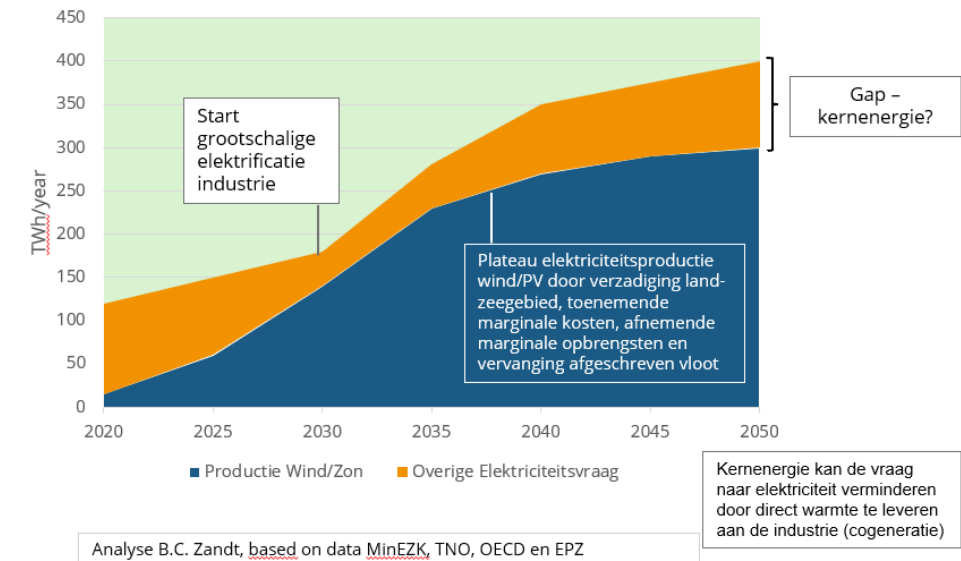
- Doelstelling van 'Parijs': geen CO₂ uitstoot meer in 2050
- Energie: 4 functionaliteiten
 - elektriciteit
 - lage temperatuurwarmte
 - hoge temperatuur proceswarmte
 - transport
- Wind en zon zijn belangrijke bronnen van niet-fossiele elektriciteit.
- De toenemende vraag naar elektriciteit en de leveringszekerheid vraagt om uitbreiding en diversificatie van het productieaanbod.
- Kernenergie kan hier een bijdrage aan leveren:
 - bij de productie van kernenergie komt (nagenoeg) geen CO₂ vrij;
 - kernenergie kan 24/7 leveren en zorgen voor basislast;
 - dit draagt bij aan leveringszekerheid.



Comparison of greenhouse gas emissions (grammes CO₂ eq/kWh)



Prognose elektriciteitsvraag in Nederland

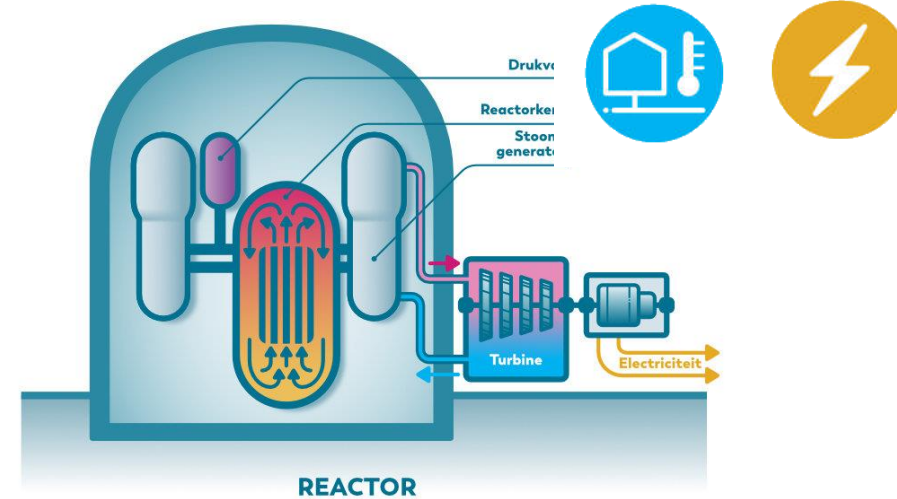


Gen III

Grootschalige watergekoelde reactoren (tot 1600 MW_e)

- bewezen technologie
- fabricage ter plekke
- groot is goedkoop
- veel koeling (zowel normaal als nakoeling)
- veiligheid via redundantie en waar mogelijk passieve systemen

Voor deze reactoren zijn technische haalbaarheidsstudies uitgevoerd die kijken naar de mogelijke inpassing op de locatie Borssele.



APR1400 (UAE)



EPR (Finland)



AP1000 (VS)

De SMR familie - definities

Small Modular Reactor: reactor met een vermogen minder dan 300 MW_e.

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen:

- SMR in strikte zin : een watergekoelde reactor met technologie vergelijkbaar met een Gen III reactor.
- Advanced Modular Reactors (AMR): SMR's die niet met water gekoeld worden maar met:
 - *vloeibaar metaal,*
 - *gas,*
 - *gesmolten zout.*

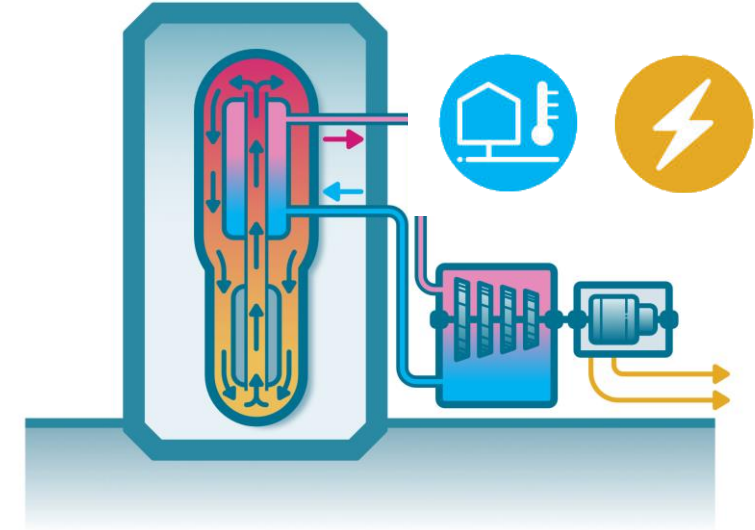
AMR zijn gebaseerd op innovatieve technologieën met verbeterde veiligheidskarakteristieken. AMR's opereren bij hogere bedrijfstemperatuur met als resultaat:

- een hogere efficiëntie,
- betere mogelijkheden voor cogeneratie,
- verduurzaming van de splijtstofcyclus.

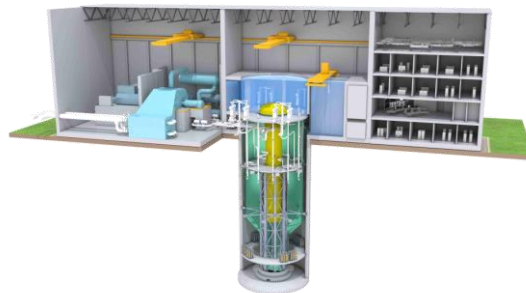


SMR – kenmerken (1)

- Grotendeels bewezen technologie
- Modulaire opzet:
 - seriematige productie in fabriek (off-site)
 - stapsgewijs bijbouwen van nieuwe eenheden bij toenemende energievraag
- Eenvoudiger in te passen dan Gen III:
 - kleinere footprint
 - minder vermogen: minder koeling nodig,
- Inpassing in bestaand netwerk of buiten netwerk om, bijvoorbeeld bij industrieel cluster
- Levering van elektriciteit en/of warmte



Last Energy (VS)



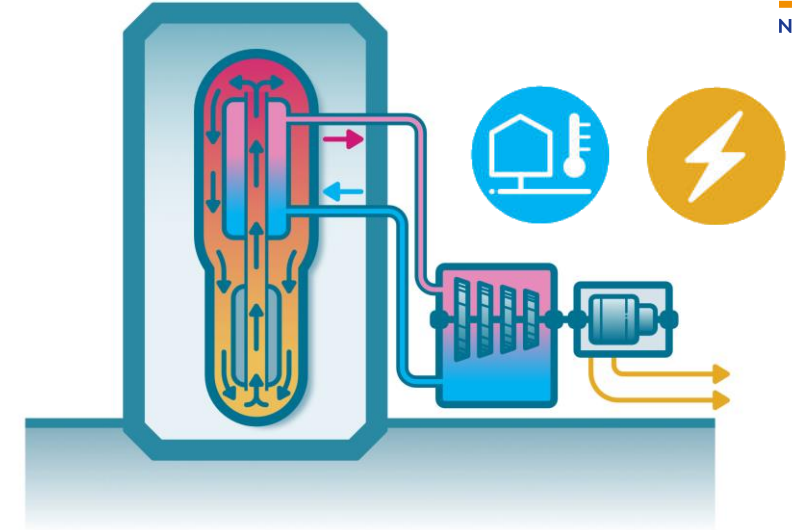
BWRX-300 (VS)



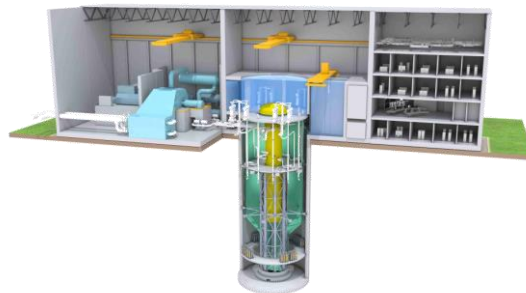
ULC - Rolls-Royce (VK)

SMR – kenmerken (2)

- Reductie van investeringsrisico: kleinere investering, kortere bouwtijd
- Multi-module biedt operationele flexibiliteit
- Eenvoudiger ontwerp
- Gebruik van passieve veiligheidssystemen
- Verwachte tijdlijnen:
 - Eerste ‘first-of-a-kind’ reactoren op de markt rond 2030
 - N-of-a-kind: vergunningsaanvraag 3 jaar, constructie 3-4 jaar



Last Energy (VS)



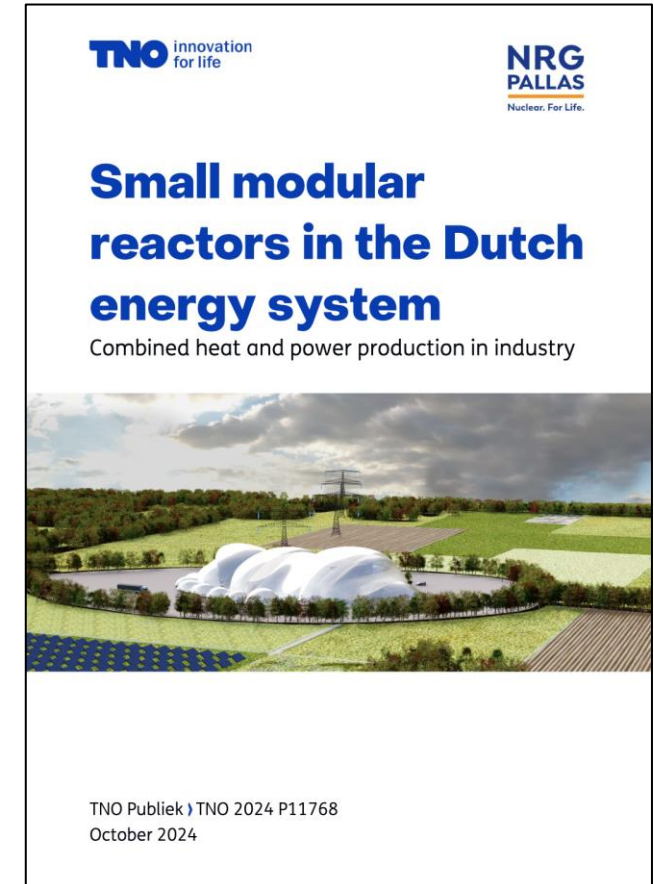
BWRX-300 (VS)



ULC - Rolls-Royce (VK)

SMR's en de energietransitie: cogeneratie

- Cogeneratie: het afwisselend of gelijktijdig produceren van elektriciteit en proceswarmte.
- Cogeneratie kan een goede oplossing zijn voor industriële toepassingen waarbij er vraag is naar beide energiestromen, zoals in de chemische, metaal- en papierindustrieën.
- Opmerkingen:
 - bij leveren van warmte neemt het elektrisch rendement af;
 - SMR en afnemer dichtbij elkaar (niet meer dan enkele km) vanwege efficiëntie.
- TNO en NRG studie naar de mogelijke rol van SMR's in het Nederlandse energiesysteem:
 - plaats voor 3 tot 13 SMR's, afhankelijk van de toekomstige industriële activiteit in Nederland;
 - deze SMR's zullen voornamelijk warmte leveren voor bijvoorbeeld raffinaderijen en fabrieken voor de productie van chemicaliën;
 - inzet van kernenergie heeft een positief effect op de totale systeemkosten.



Advanced Modular Reactors (1)



Gasgekoelde reactoren

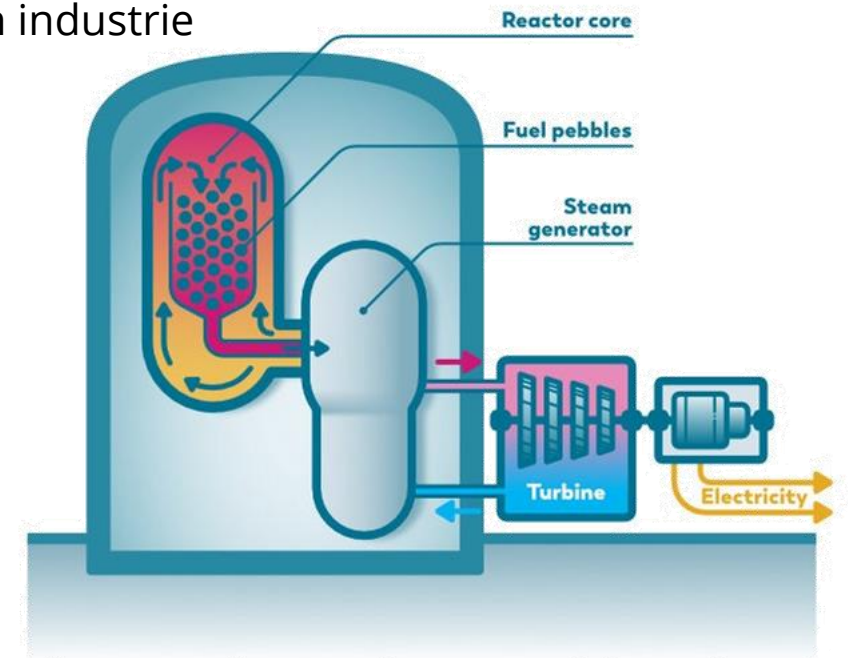
- Technologie bekend en beproefd
- Testreactoren in Duitsland, nieuwe testreactor in China
- Hoge temperatuur laat warmte-kracht koppeling toe voor proceswarmte in industrie
- Splijtstof opgesloten in grafiet, kan niet smelten



AVR (Germany)



HTR-PM (China)

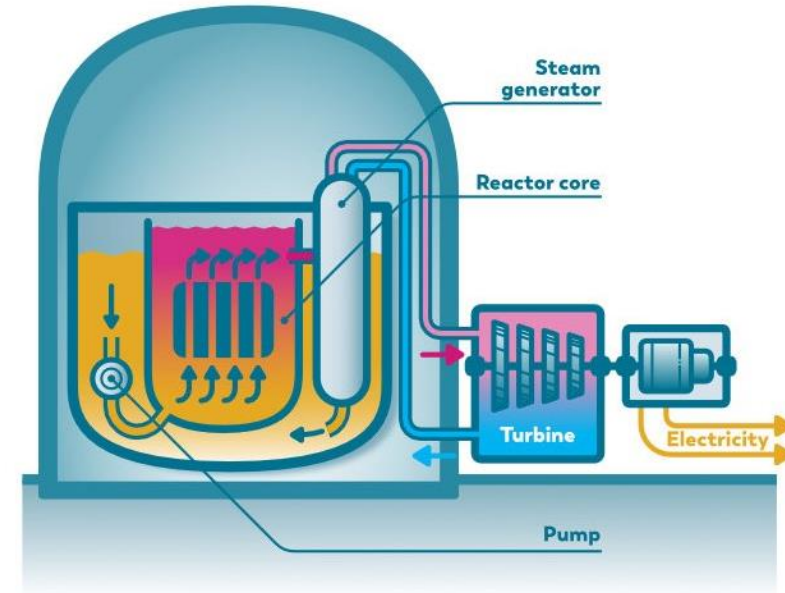


Advanced Modular Reactors (2)



Metaalgekoelde reactoren

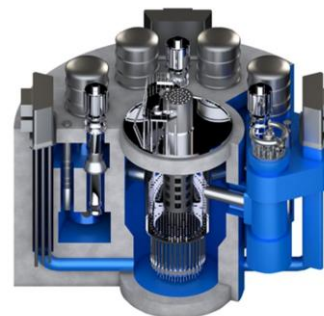
- Koeling met natrium of lood
- 20x meer energie uit uranium
- Hergebruik van gebruikte splijtstof
- Minder hoog radioactief afval
- Bedrijf bij lage druk
- Goede warmtegeleiding en (zeer) hoog kookpunt
- Stollen van koelmiddel



Superphenix (France)



ALFRED (Europe)



BREST (Russia)

Advanced Modular Reactors (3)

Gesmolten zout reactoren

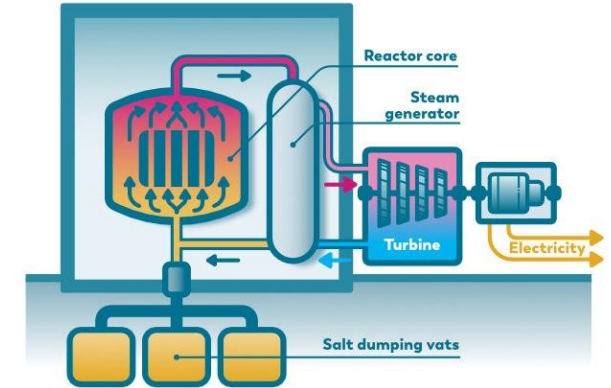


Zoutgekoelde reactor

- compacte reactor , concept van gasgekoelde reactor
- vaste splijtstof (nagenoeg bewezen technologie)
- bedrijfsvoering bij lage druk

Splijtstofhoudende zoutreactor

- gebruik van thorium of plutonium
- veel minder hoog radioactief afval
- optie van on-site opwerking van het zout
- warmte en elektriciteit
- bedrijfsvoering bij lage druk



Kairos (USA)



Thorizon (NL)

Gesmolten zouten (ontwerpuitdagingen)

- slechte warmte geleiding
- mogelijkheid voor passieve veiligheidssystemen
- stollen van koelmiddel

Micro-reactoren

Microreactoren

- minder dan 10 MWe
- afgelegen gebieden
- mobiel (in container)
- zelfstandig bedrijf (van afstand)
- fabrieksmatige productie in series
- minder koeling, nieuwe koeltechnologieën, passieve koeling
- geen refuelling



eVinci (USA)

