

# Masterclass Kernenergie en SMR's

3 December 2024

**Marieke van Gemert**

Manager Nuclear New Build

- 2007: Afgestudeerd als Biomedisch Ingenieur in TU Twente
- Sinds 2007 werkzaam bij NRG PALLAS
  - Begonnen als Nuclear Safety and Licening Enginieur
  - Kerncentrale Borssele ondersteunt bij levensduurverlenging en daarna de kerncentrales in Zweden en Finland
  - Was verantwoordelijk voor NRGs Waste management and Decommissioning Activiteiten
  - Sinds dit jaar verantwoordelijk voor een nieuw team dat zich volledig richt op het ondersteunen van Nucleaire Nieuwbouwactiviteiten.



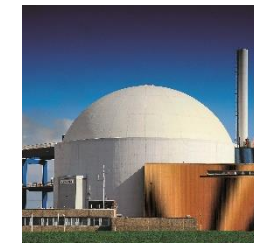
Advanced reactor development



Nuclear new build projects



Operational support



Long Term Operation



Decommissioning services

# NUCLEAR ACADEMY



## Doel

De Nuclear Academy heeft als doel een zichzelf onderhoudend ecosysteem voor nucleair technologische opleidingen en trainingen te realiseren. Dit systeem moet de instroom van gekwalificeerd personeel voor de nucleaire sector zeker stellen en overheden van kennis voorzien, om zo de Nederlands nucleaire ambities te kunnen realiseren.

## Subdoel voor overheden

Nucleaire kennis en expertise vergroten bij de nationale en regionale overheden ter ondersteuning van toekomstige beleidvorming inzake kernenergie.

## Activiteiten zijn onder andere

- Het ontwikkelen van nucleaire technologie mbo- en hbo curricula;
- Het enthousiasmeren van middelbare scholieren, zij-instromers, mbo-, hbo- en wo studenten voor een carrière in de nucleaire sector;
- Het voorlichten van overheden op het gebied van kernenergie, met specifieke aandacht voor SMR's.
  - In 2023 heeft NRG in opdracht van het ministerie van KGG de SMR marktanalyse uitgebracht
  - Binnenkort verschijnt kennismodule SMR's

- Welke soorten kernreactoren zijn er?
  - Conventionele kerncentrales
  - Small Modular Reactors
- Wat is de mogelijke rol van SMR's in de Energiemix?
- Inpassing van SMR's
- Realisatietraject op hoofdlijnen
- Conclusie

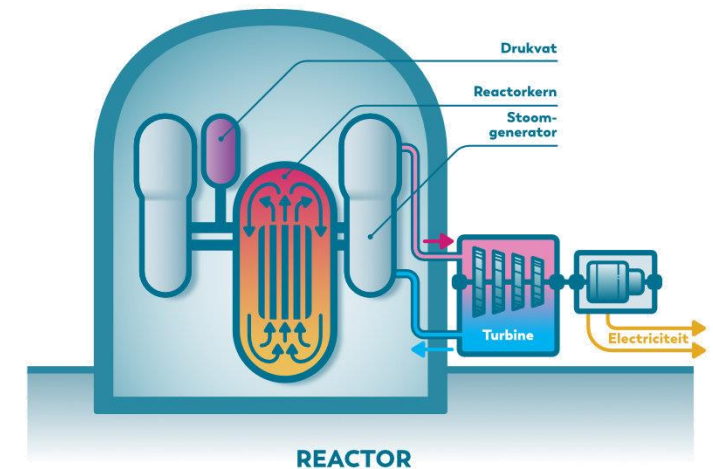


## Bestaande kerncentrales – ca. 440 wereldwijd

- Meerderheid Water Gekoelde Reactoren

## Electriciteitsproductie

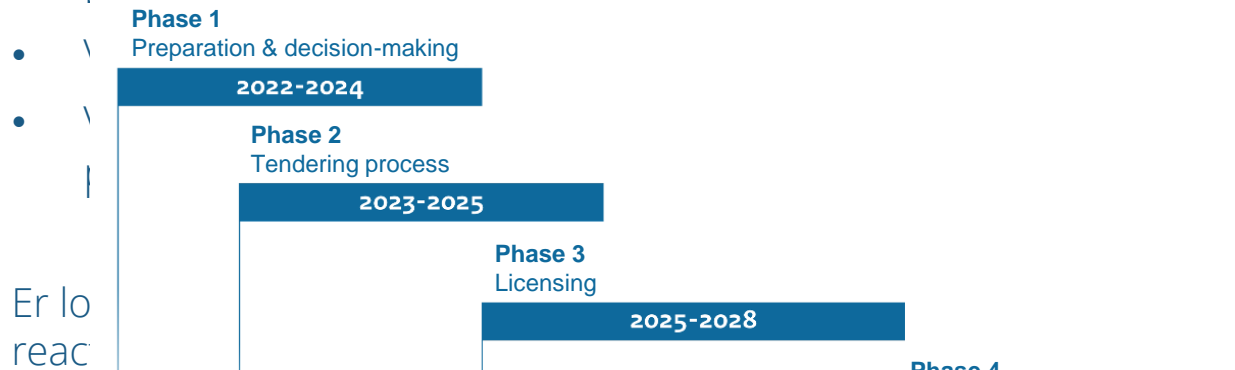
- |  |                |
|--|----------------|
| • Borssele (480 MWe/1500 MW thermisch)   | 3800 GWh/year  |
| • Grote NPP (1500 MWe/4500 MW thermisch) | 12000 GWh/year |
| • Wind turbine (5 MW)                    | 5 GWh/year     |
| • Zonnepanelen (10 panels of 400 W)      | 0.005 GWh/year |



# Welke verschillende kernreactoren bestaan er?

## Bestaande kerncentrales – Grote watergekoelde Reactoren (GEN III+)

- Bewezen Technologie
- Bouw op de site
- Economy of Scale



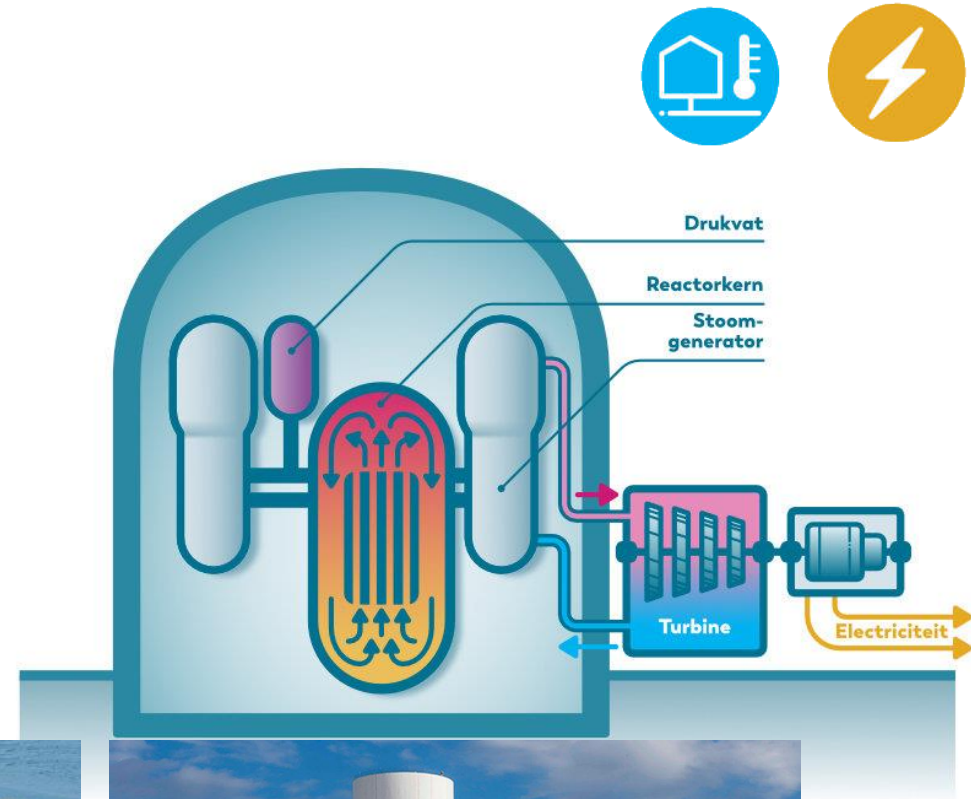
APR1400 (UAE)



EPR (Finland)



AP1000 (VS)



# Welke verschillende kernreactoren bestaan er?

## Small Modular Reactors

**Small:** in zowel formaat als output

### Modular:

De afzonderlijke reactoronderdelen kunnen als bouwstenen gezien worden, die tezamen een reactoreenheid vormen. De reactoronderdelen worden zo veel mogelijk fabrieksmatig vervaardigd en on-site in elkaar gezet.

**Reactors:** gebruikt kernsplijting voor energieopwekking

Wereldwijd 80+ SMR concepten in ontwikkeling



# Welke verschillende kernreactoren bestaan er?

## Small Modular Reactors

### Innovatieve Nucleaire Systemen



#### VEILIG

- Gebruik van passief veilige systemen zorgt ervoor dat personeel pas na enkele dagen hoeft in te grijpen als er iets misgaat.
- Nieuwe materialen vergroten betrouwbaarheid en veiligheid.



#### SCHOON

- Kerncentrales stoten geen CO<sub>2</sub> uit en ze zijn zuiniger door naast elektriciteit ook stoom op te wekken voor de industrie.
- Door gebruikte splijtstof meerdere malen her te gebruiken blijft er bijna geen radioactief afval over.



#### BETAALBAAR

- Geavanceerde productie-methodes in fabrieken zorgen ervoor dat de kosten beperkt blijven.
- Modulaire bouw spreidt de investeringskosten en verlaagt het investeringsrisico.
- Stijgende efficiëntie houdt kernenergie betaalbaar.



Elektriciteits-opwekking



Warmtekracht voor stads-verwarming

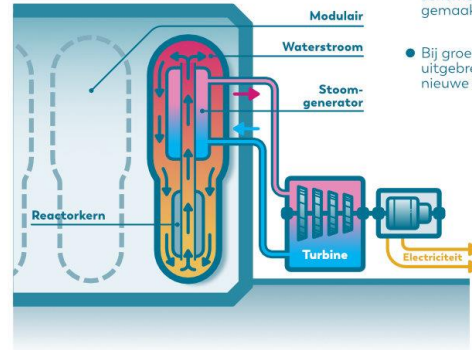


Warmtekracht voor proces-industrie



Verduurzamen splijtstof cyclus

#### KLEINE WATERGEKOELDE REACTOR

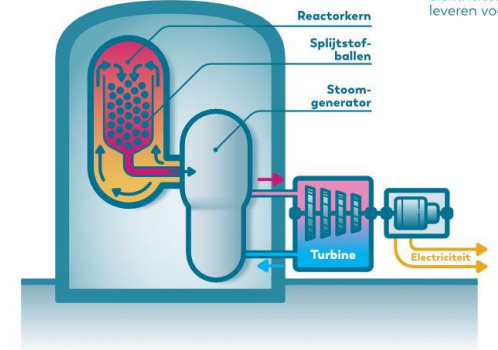


- Kleine kerncentrales op basis van bestaande technologie met water als koelmiddel die seriematig in een fabriek gemaakt worden.

- Bij groeiende vraag kan er uitgebreid worden met nieuwe eenheden.



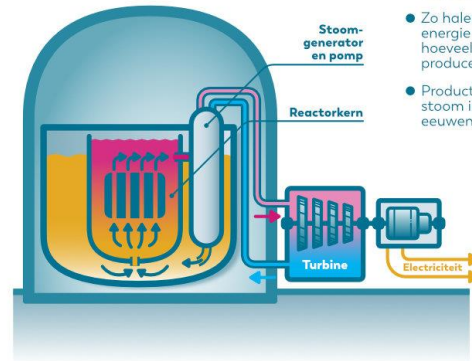
#### GASGEKOELDE HOGE TEMPERATUUR REACTOR



- Gasgekoelde kerncentrales die op middellange termijn een combinatie van elektriciteit en stoom kunnen leveren voor de industrie.



#### METAALGEKOELDE SNELLE REACTOR



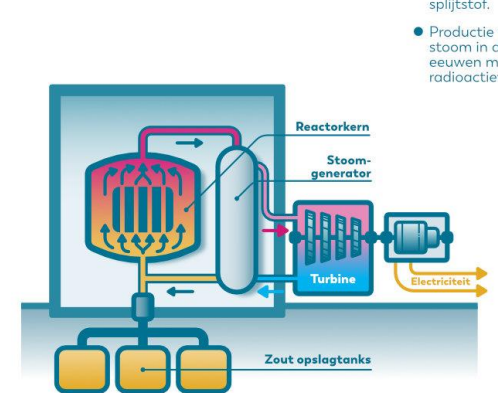
- Metaalgekoelde reactoren die splijtstof meerdere keren kunnen hergebruiken.

- Zo halen ze 20x meer energie uit dezelfde hoeveelheid uranium en produceren minder afval.

- Productie van elektriciteit en stoom in de komende eeuwen.



#### GESMOLTEN ZOUT REACTOR



- Gesmolten zout reactoren in combinatie met thorium als splijtstof.

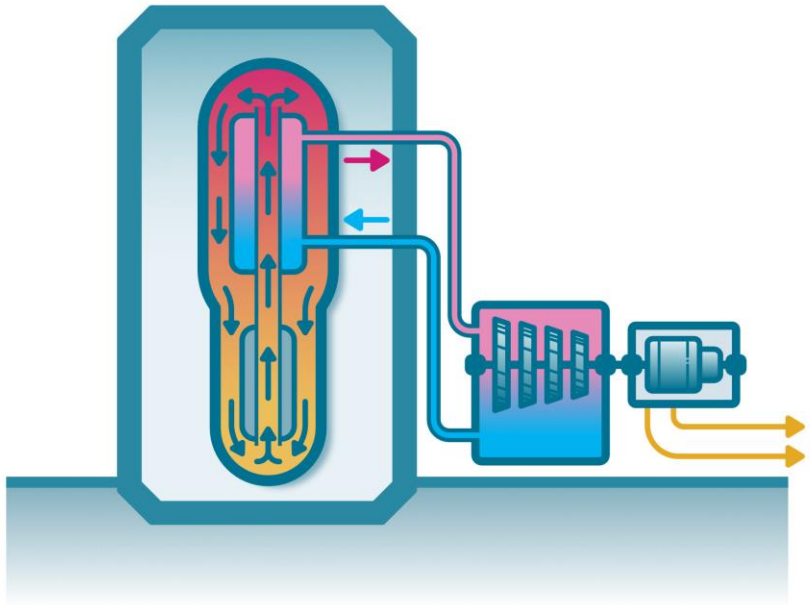
- Productie van elektriciteit en stoom in de komende eeuwen met veel minder radioactieve restproducten.





## Lichtwater SMR's

- Gebaseerd op bestaande lichtwatertechnologie
- Fabrieksmatige productie
- Veelal modulair uitbreidbaar
- Lager vermogen betekent minder koeling nodig en meer passieve veiligheidssystemen
- Verschillende initiatieven van grote nucleaire bedrijven ondersteunt door diverse nationale overheden



Last Energy (VS)



BWRX-300 (VS)



NuWard (Frankrijk)



Rolls-Royce (VK)

## Lichtwater SMR's – Status diverse initiatieven in verschillende landen

### United Kingdom (11/11/24)

“Great British Nuclear has today started detailed negotiations with the final four shortlisted bidders (GE Hitachi, Holtec, Rolls Royce SMR and Westinghouse) into the UK's Small Modular Reactor (SMR) programme. The designs chosen today are considered the most able to deliver operational SMRs by the **mid-2030s**. Final decision is expected in spring 2025.”

### Canada

OPG heeft opdracht gegeven aan GE Hitachi (BWRX-300) voor de bouw van 1 SMR's (met optie voor nog 3) op de Darlington site. Start bouw is gepland voor 2025 en in bedrijfname voor **2029**.

### Polen

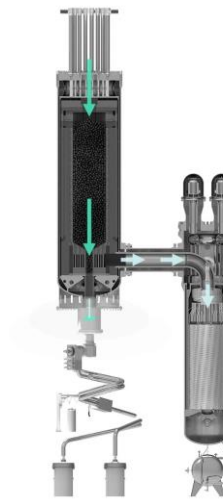
“Poland's Ministry of Climate and Environment has issued decisions-in-principle for the construction of power plants based on GE Hitachi Nuclear Energy's BWRX-300 small modular reactor at six locations. A total of 24 BWRX-300 reactors are planned at the sites.” The PSAR, which is an important requirement for the construction license is scheduled for 2026.

### Tsjechie

Het Tsjechische staatsbedrijf CEZ gaat een strategisch partnerschap aan met het Britse Rolls-Royce SMR voor de ontwikkeling van kleine modulaire reactoren (SMR). CEZ is van plan om de eerste SMR's op de bestaande nucleaire site Temelin te bouwen in de **eerste helft van 2030**.

## Geavanceerde SMR's

- Maken geen gebruik van lichtwater als koelmiddel, maar van een vloeibaar metaal, een gas of een gesmolten zout.
- Systeemtemperatuur van deze reactoren een stuk hoger (tot 1100 °C)
- Daardoor ook een iets ander toepassingsgebied.
- Bijkomende voordeel: verduurzaming van de splijtstofcyclus
- Beschikbaarheid: Nog niet op de markt



X-energy



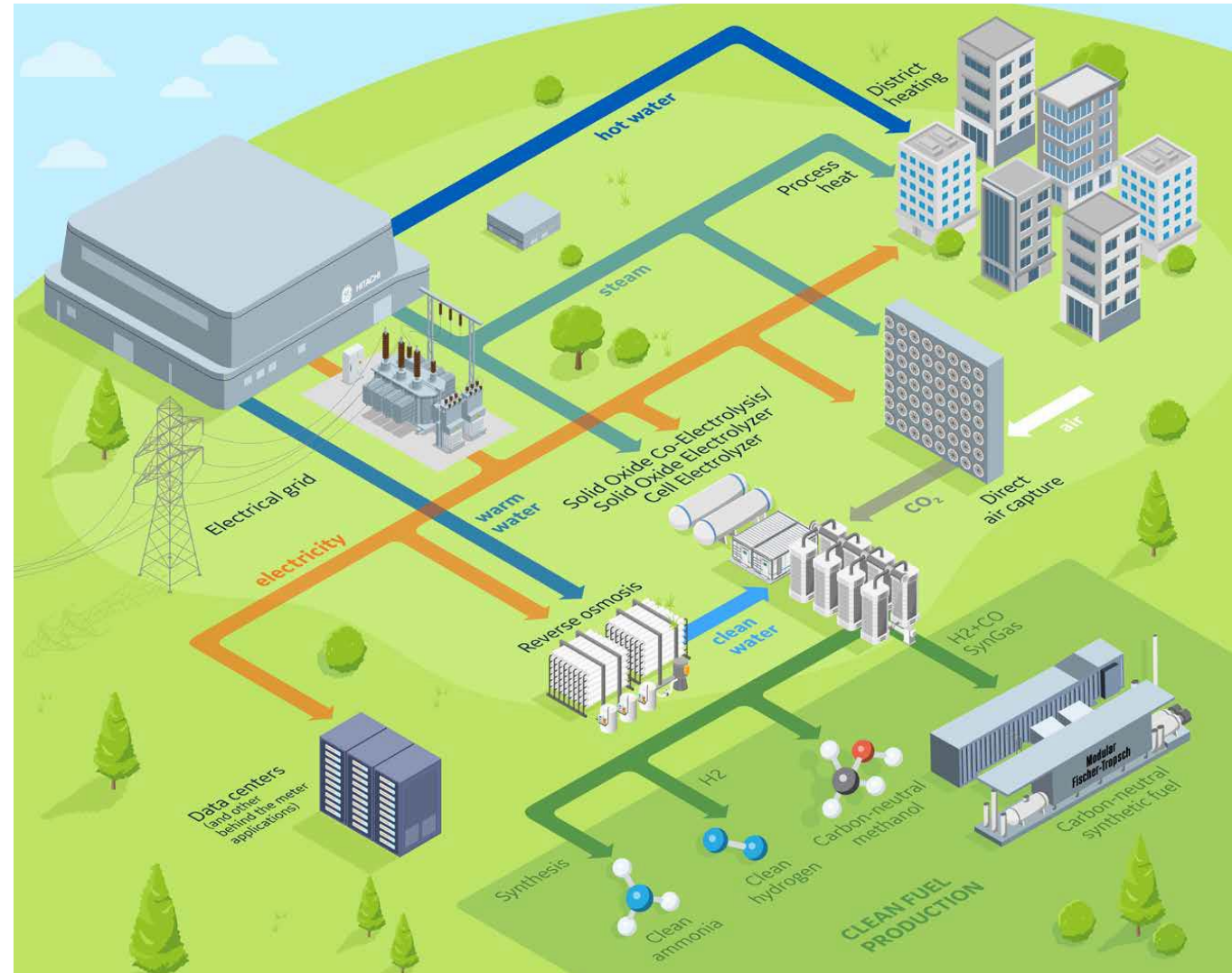
Thorizon

# Mogelijke rol van SMRs in de Energie Mix?

SMR's zijn een mogelijke stabiele en flexibele bron van energieproductie. Ze kunnen op 2 manieren een bijdrage leveren aan een betrouwbaar energiesysteem:

- Elektriciteitsproductie
- Warmtelevering

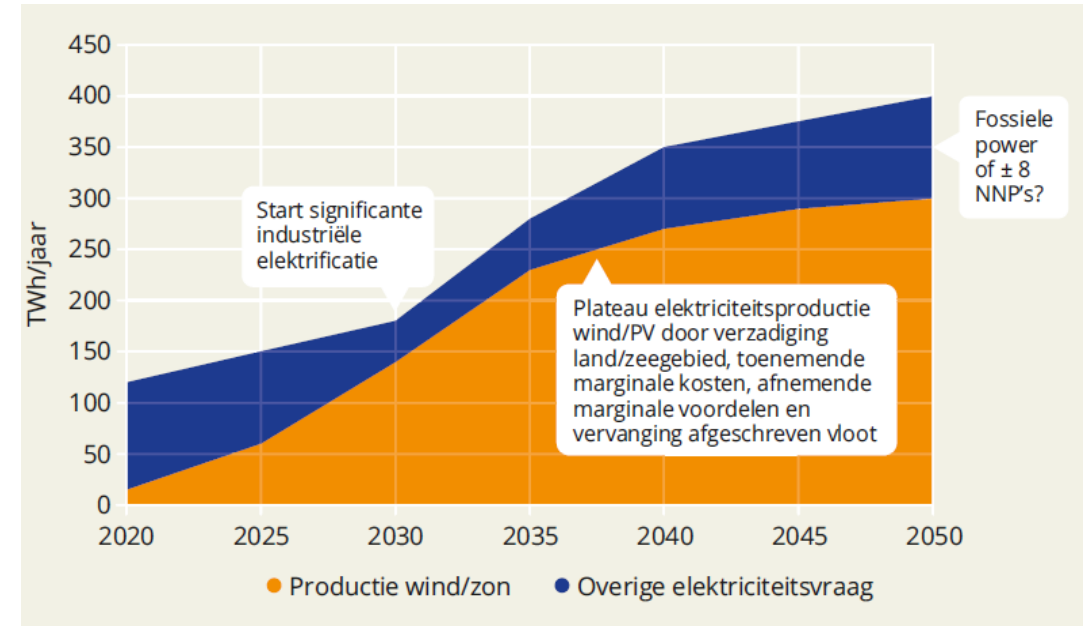
Een combinatie van beiden (cogeneratie) is ook mogelijk.



# Mogelijke rol van SMRs in de Energie Mix?

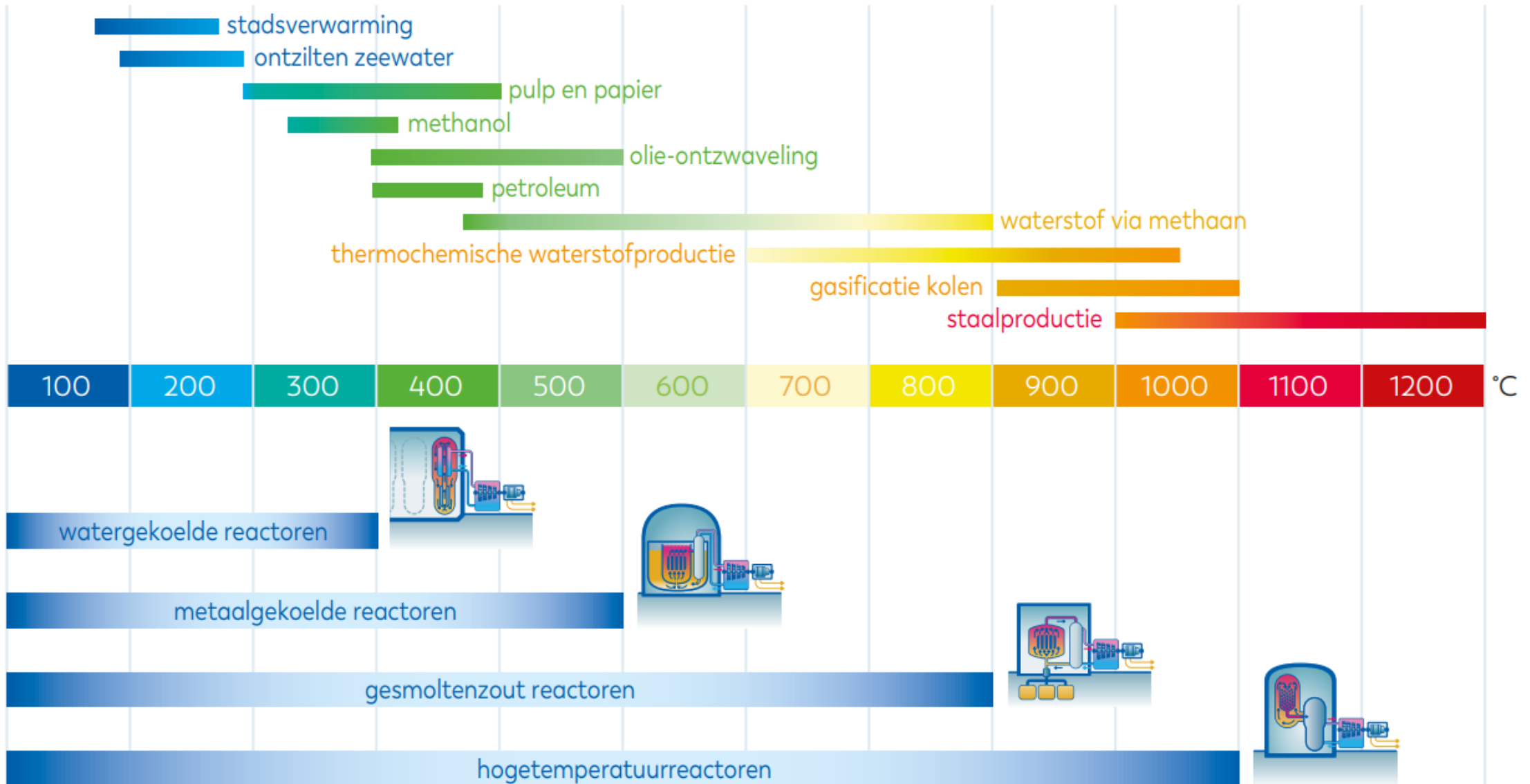
## Electriciteitsproductie

- Verwachting is dat de vraag naar elektriciteit in 2050 3x groter is dan nu.
- Door de lage kosten van zon en wind zal groot deel hiervan voor rekening komen van zon en wind.
- Onderzoek van NRG PALLAS en TNO laat zien echter zien dat boven 350 TWh zon en wind niet afdoende zijn. Daarboven is kernenergie noodzakelijk als alle energie CO<sub>2</sub>-arm opgewekt moet worden. Dit kan met grote, conventionele centrales of SMR's geleverd worden.
- Vanuit huidig economisch en technisch standpunt verdient het de voorkeur om kernenergie (en dus SMR's) te gebruiken als basislast.
- Echter een SMR heeft de mogelijkheid voor "load following"



# Mogelijke rol van SMRs in de Energie Mix?

## Gebruik van warmte?



# Mogelijke rol van SMRs in de Energie Mix?

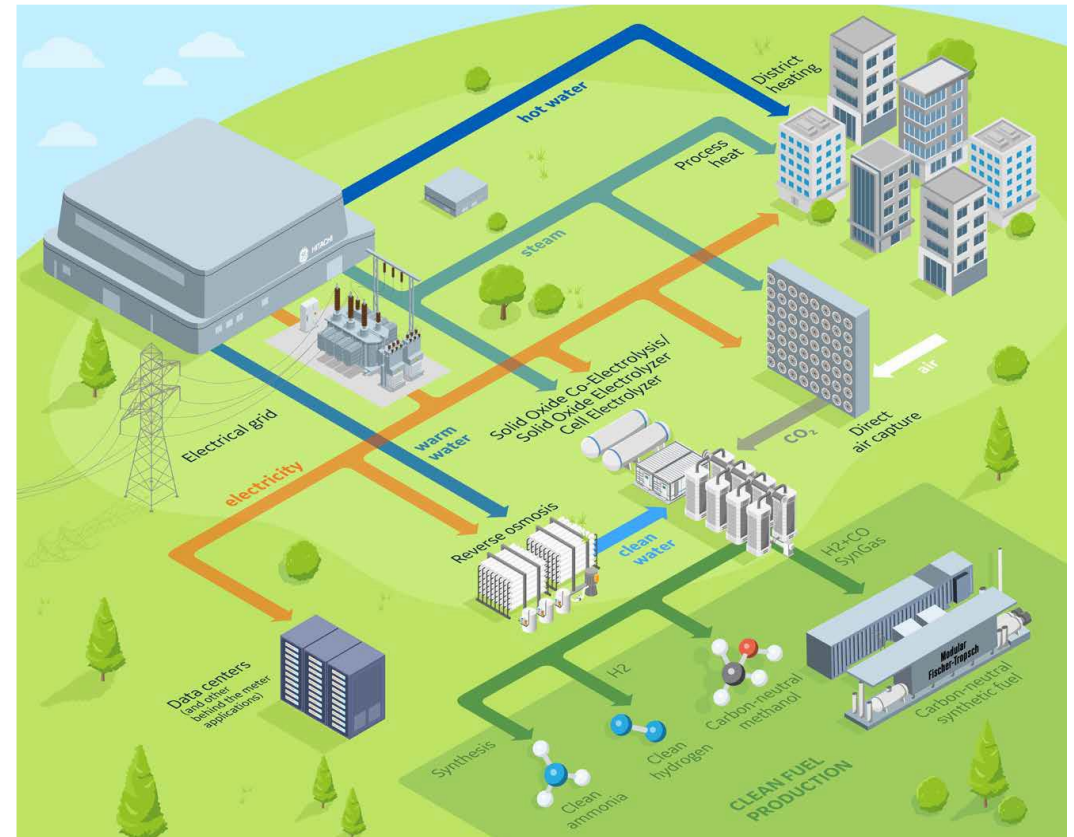
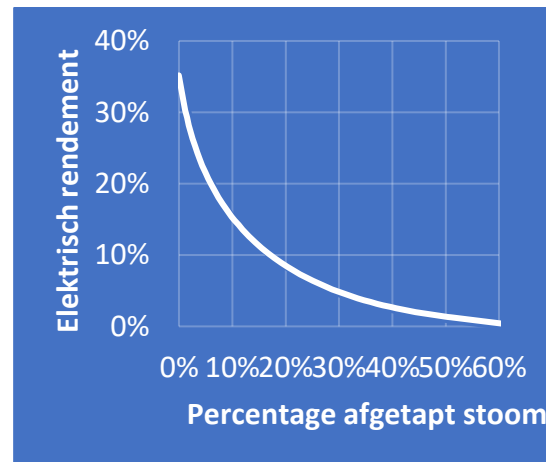
## Cogeneratie

Cogeneratie: is 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 (chemische, metaal-, minerale-, voedingsmiddelen-, papier- en pulpindustrieën)

Enkele kanttekeningen:

- Bij leveren van warmte neemt het elektrisch rendement af
- Noodzakelijk dat de SMR en afnemer dichtbij elkaar zitten (lees niet meer dan enkele kilometers) vanwege efficiëntie.



# Mogelijke rol van SMRs in de Nederlandse Energie Mix?

- Afgelopen jaar hebben TNO en NRG de mogelijke rol van SMR's in het Nederlandse energiesysteem onderzocht.
- Hieruit blijkt dat er in 2050 ruimte is voor ca. 10 SMR's (bandbreedte 2 -27). Het exacte aantal is afhankelijk van de toekomstige industriële activiteit in Nederland.
- Deze SMR's zullen niet alleen ingezet worden voor het leveren van elektriciteit, maar voornamelijk warmte leveren voor bijvoorbeeld raffinaderijen en fabrieken voor de productie van chemicaliën.
- Het onderzoek zal worden uitgebreid naar o.a. lage temperatuur warmtetoepassingen (100 – 200 °C ). Deze vraag zit meer verdeeld door het land
- Bij de inzet van kernenergie zullen de total systeemkosten 1% tot 2,5% lager zijn. Dit komt doordat het toevoegen van een stabiele energiebron aan de mix de behoefte aan overcapaciteit van variabele energiebronnen vermindert en er minder noodzaak is voor flexibiliteitsystemen en netverzwaring.





## Ruimtebeslag

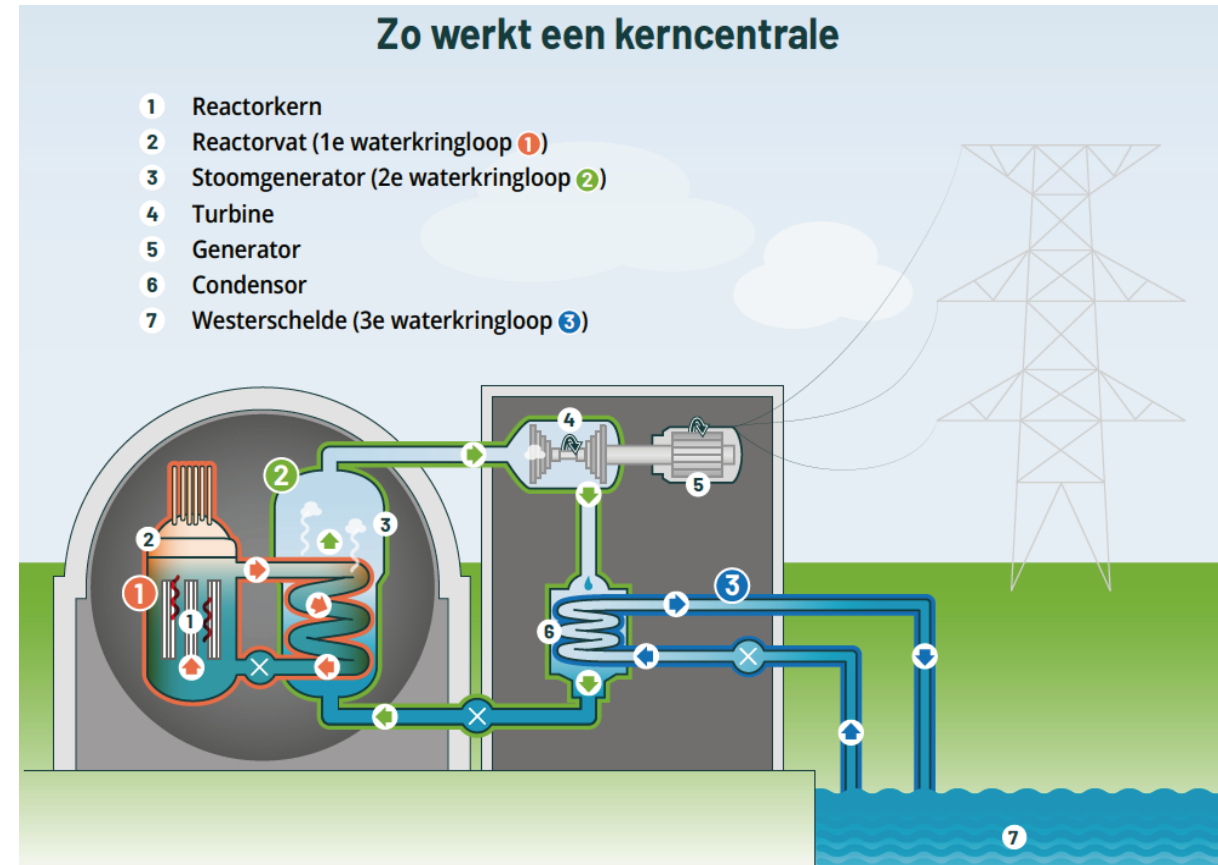
- Ruimtebeslag gehele terrein:
  - 85 – 300m<sup>2</sup> per MWe (ca. 4 – 20 voetbalvelden)
  - Aan de terreingrens gelden wettelijke eisen voor het groeps- en individueel risico en dosislimiet voor de bevolking.
- Veiligheidszones om het terrein:
  - Er gelden geen restricties voor het gebruik van de ruimte buiten het terrein.

Kortom een SMR kan zeker in de bebouwde omgeving ingepast worden. Voor een specifiek SMR ontwerp op een bepaalde locatie zal wel een risicobeoordeling noodzakelijk zijn.



## Koeling

- Bij gebruik van een doorstroomsysteem is inpassing langs de grote rivieren, IJsselmeer of Noordzee noodzakelijk
- Echter inpassing is ook mogelijk langs kleinere rivieren en locaties met beperkte beschikbaarheid van oppervlaktewater wanneer gekeken wordt naar droge koelsystemen, koeltorens of hybride systemen.





1. Besluitvorming: Start van een initiatief; dit kan door verschillende partijen.

2. Locatie: Selectie van een locatie; bevoegd gezag beoordeeld de geschiktheid van de locatie op basis van randvoorwaarden.

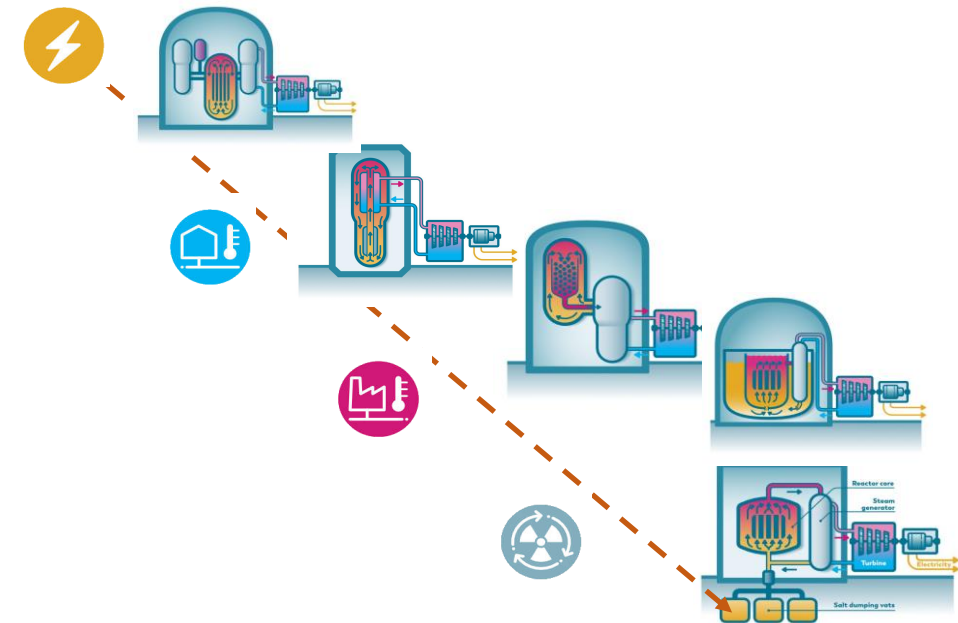
3. Aanbesteding: Als de initiatiefnemer geen technologieleverancier is, zal de initiatiefnemer een programma van eisen opstellen. SMR-aanbieders kunnen zich inschrijven op de aanbesteding door een offerte in te dienen. Daarna selecteert de initiatiefnemer de aanbieder die de opdracht krijgt op basis van de vooraf opgestelde criteria.

4. Ontwerp: De ontwikkelaar zorgt voor inpassing van het standaard SMR-ontwerp in de lokale omgeving. Daarbij wordt rekening gehouden met de specifieke lokale randvoorwaarden.

5. Vergunning: De ontwerp- en vergunningsfase lopen deels parallel.

Etc.

- We staan voor een enorme uitdaging richting 2050
- Daarom moeten we naar alle opties kijken; dus ook nucleaire energie
- De regering investeert in 4 grote lichtwatergekoelde reactoren; deze zullen gebruikt worden voor het leveren van elektriciteit.
- SMR's zijn van toegevoegde waarde binnen het Nederlandse energiesysteem; met name voor het leveren van (industriële) warmte.
- Er zijn wereldwijd meer dan 80 SMR initiatieven
- Enkel de LW-SMR's zijn op korte termijn beschikbaar
- Verwachting FOAK LW-SMR's in 2029 – begin 2030
- Voor Nederland moet rekening gehouden worden met ca. 7jaar voor vergunningverlening en bouw



# What is Nuclear Energy? – Limited Space Required

As Nuclear Energy has a high energy density and is also requires limited space

