

KLIMAATDOELSTELLINGEN 2050: MET OF ZONDER KERNENERGIE?

Geert Lowet – Maart 2022

Voor KWB Weerde



“CREDITS” EN “DISCLAIMER”

- Controversieel onderwerp: verschillende oogpunten (technisch, ecologisch, economisch, geopolitiek strategisch...) kunnen tot andere opinies leiden.
- Ik heb een ingenieursachtergrond: benadering vanuit technisch/feitelijk oogpunt
- Ikzelf heb geen enkel belang, professioneel of financieel, bij deze materie.
- De bedoeling is niet een bepaalde opinie te vertolken , maar informatie te geven (vooral vanuit een technisch/economisch perspectief) waarmee jullie zelf je oordeel kunnen vormen.
- Het materiaal van deze presentatie komt uit openbare publicaties van oa MIT, CREG, EU, FANC, Klimaat.be, IPCC, WHO, e.a. Referenties zijn ingevoegd in de presentatie.
- Special credits go to Emilio Baglietto, Associate Professor of Nuclear Science and Engineering Thermal Hydraulics at the Massachusetts Institute of Technology (MIT) - I used major parts of his presentation to start from
- Broeikasgassen, CO₂ en CO₂ -equivalent worden als synoniemen gebruikt

INHOUD

- Klimaatambities 2030 - 2050
- Energiebronnen en hun CO₂ impact
- Energiegebruik in België
- Vergelijking van kernenergie t.o.v. andere hernieuwbare bronnen
- Is een oplossing zonder kernenergie in de toekomst betaalbaar?

Even op adem komen...

- Werkingsprincipe van een kerncentrale
- Een (technische) blik in de toekomst
- Vragen?

KLIMAATAMBITIE EU

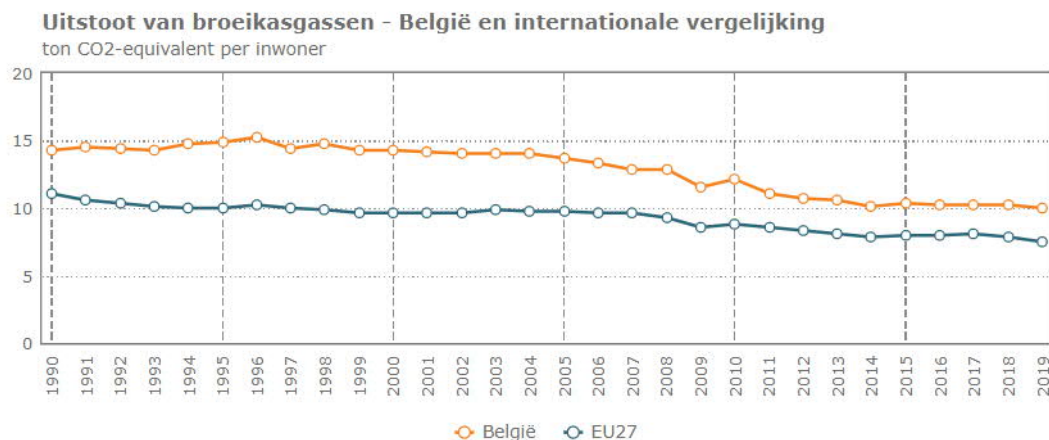
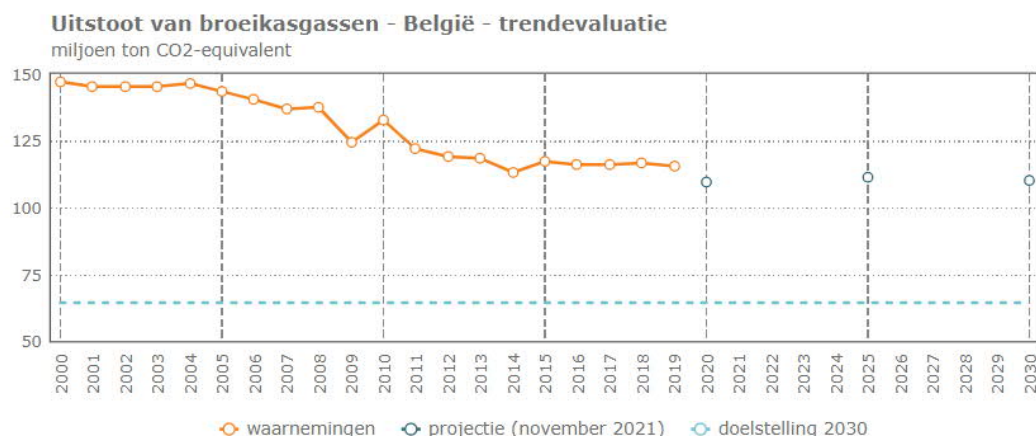
- **Doelstellingen for 2030:**
 - Minstens 40% reductie in uitstoot broeikasgassen (tov 1990)
 - Minstens 32% aandeel van hernieuwbare energie
 - Minstens 32.5% verbetering in energie efficiëntie
- **Doelstelling voor 2050:**
 - 0 uitstoot broeikasgassen



Bron:

https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2020-0005_EN.htm

CO₂ UITSTOOT IN BELGIË



Wist je dat...

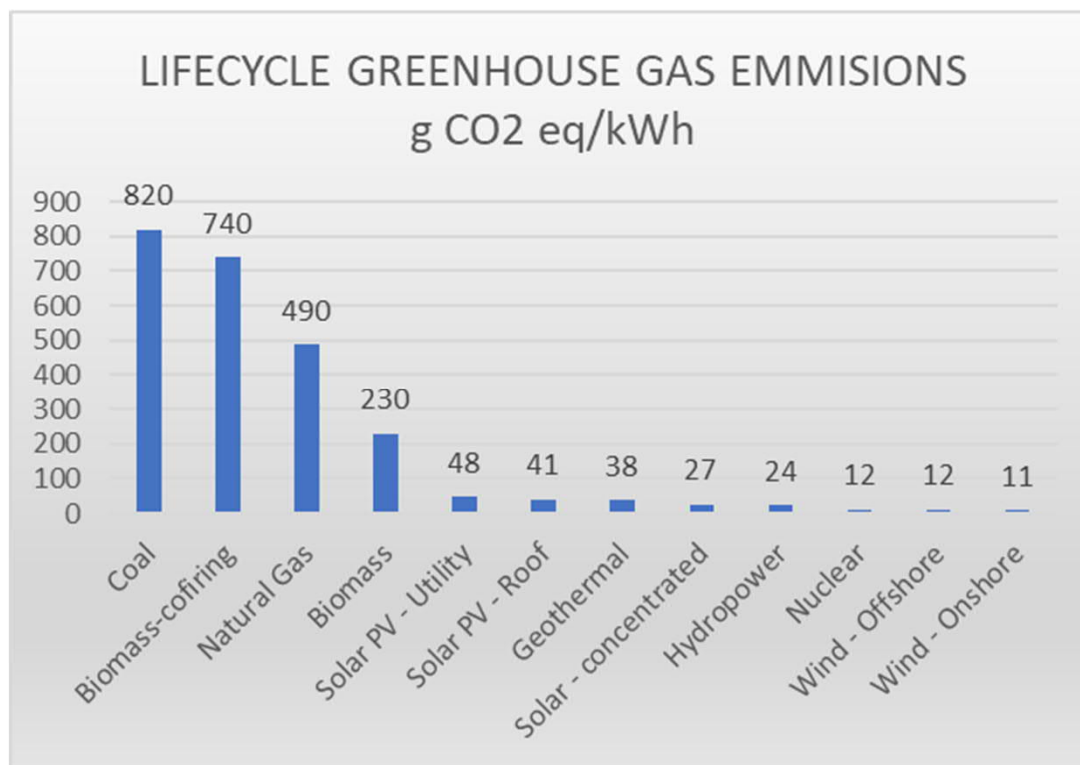
wijzelf –als mens- ongeveer 1kg
CO₂ per dag produceren.
In België samen dus ongeveer
4 miljoen ton/jaar

Blijven ademen!

(ref: klimaathelpdesk.org)

Bron:
https://indicators.be/nl/i/G13_GHG/Ui
tstoot_van_broeikasgassen

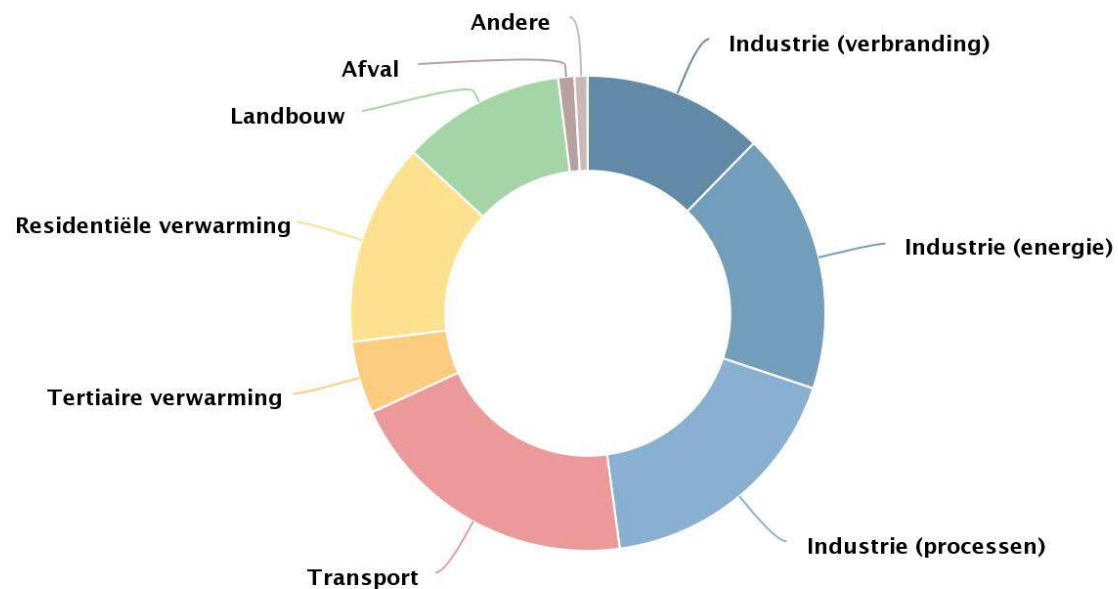
CO₂ IMPACT VAN VERSCHILLENDE ENERGIEBRONNEN



Bron: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf

WAAR KOMT DE CO₂ UITSTOOT VANDAAN?

Het aandeel van de verschillende sectoren
in de totale uitstoot in 2020 (%)



klimaat.be

Bron: <https://klimaat.be/in-belgie/klimaat-en-uitstoot/uitstoot-van-broeikasgassen/uitstoot-per-sector>

VOOR WE VERDERGAAN: EEN PAAR (= 2) TECHNISCHE BEGRIPPEN

Vermogen – Energie

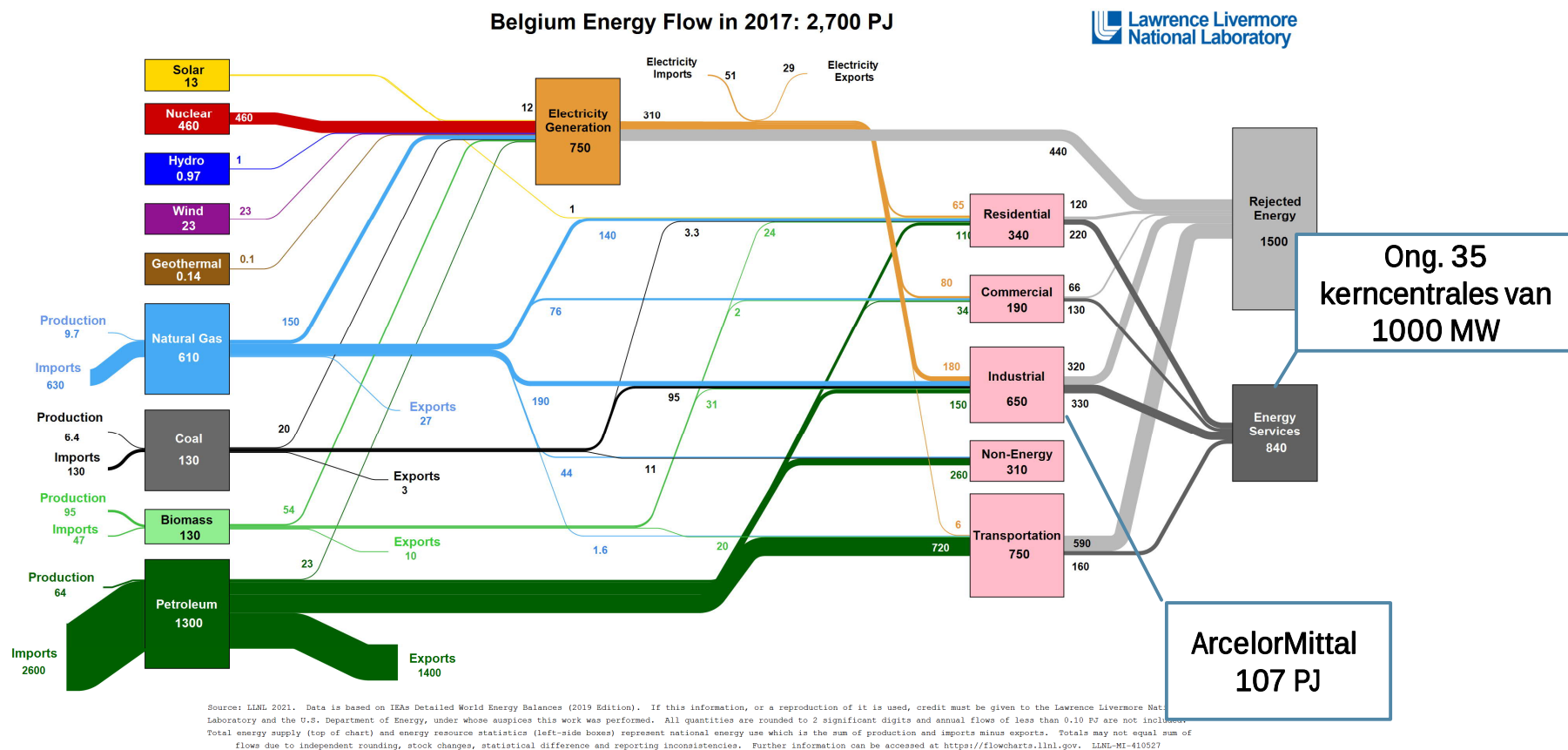
- **Vermogen**
 - Energie per tijdseenheid – **Watt**
 - Voorbeeld: Microgolfoven: 1000 W (of 1kW) versus 500 W
- **Energie**
 - Vermogen * tijd – SI eenheid is **Joule**,
 - Bij elektriciteit meestal uitgedrukt in **kWh** of **MWh** (1 MW= 1000 kW) – 1 (k)Wh=3600 (k)J
 - Voorbeeld: Oven wordt bv. 100 uur op een jaar gebruikt: $1000\text{W} \times 100\text{h} = 10.000\text{ Wh}$ (of 10 kWh)
 - Bestaat in vele “vormen”: elektriciteit, aardgas, benzine, hout....

ENKELE 'ANKERPUNTEN'

Vermogen van huidige kerncentrales in België:	5900 MW
Geleverde energie (2019 – 'normaal jaar'):	41.4 TWh (1TWh=1.000.000 MWh)
Geïnstalleerd vermogen windturbines (2020):	4700 MW
Geleverde energie (2020):	12.6 TWh
Gemiddeld jaarverbruik elektriciteit van gezin in Vlaanderen 2020:	2944 kWh (ong. 3 MWh)
Energieverbruik ArcelorMittal Gent (diverse energiebronnen) in 2015:	30 TWh (elektriciteitsverbruik van ong. 10 miljoen gezinnen – 1/3 van de totale elektriciteitsproductie vandaag)

Bronnen : https://nl.wikipedia.org/wiki/Windturbines_in_Vlaanderen, <https://fanc.fgov.be/nl/dossiers/kerncentrales-belgie>, <https://www.vreg.be/nl/energieverbruik#:~:text=Elektriciteitsverbruik,Vlaams%20gezin%202.944%20kWh%20elektriciteit>, <https://www.milieuinformatie.be/dms/d/d/workspace/SpacesStore/992e3660-cb61-4b4e-a009-6df9c69023e9/ESM13100137%20-%20ArcelorMittal%20Gent%20-hervergunning%20-%20MER%20-%20ev.pdf>, <https://www.febeg.be/statistieken-elektriciteit>, <https://www.creg.be/nl/publicaties/nota-z2045>

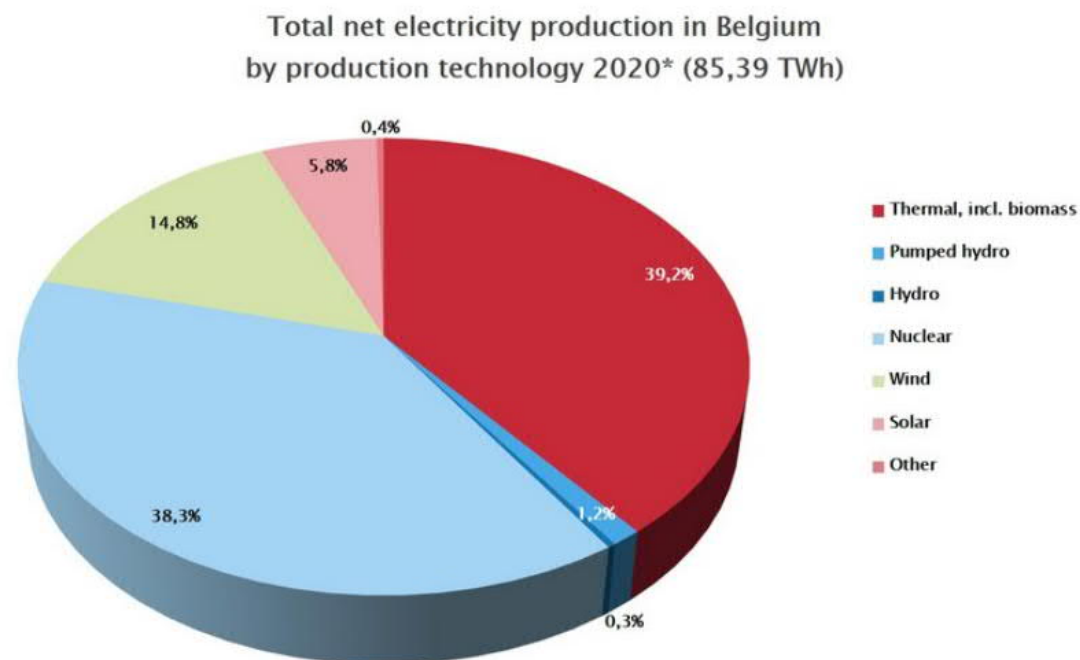
ENERGIE: VEEL, VEEL MEER DAN ENKEL ELEKTRICITEIT



Bron: <https://flowcharts.llnl.gov/commodities/energy>

Gelijkaardige info: <https://www.milieurapport.be/publicaties/2017/mira-systeembalans-2017-milieu-uitdagingen-voor-het-energie-mobiliteits-en-voedingssysteem-in-vlaanderen>

DE ELEKTRICITEITSPRODUCTIE IN BELGIË - 2020



Bron: <https://www.febeg.be/statistieken-elektriciteit>

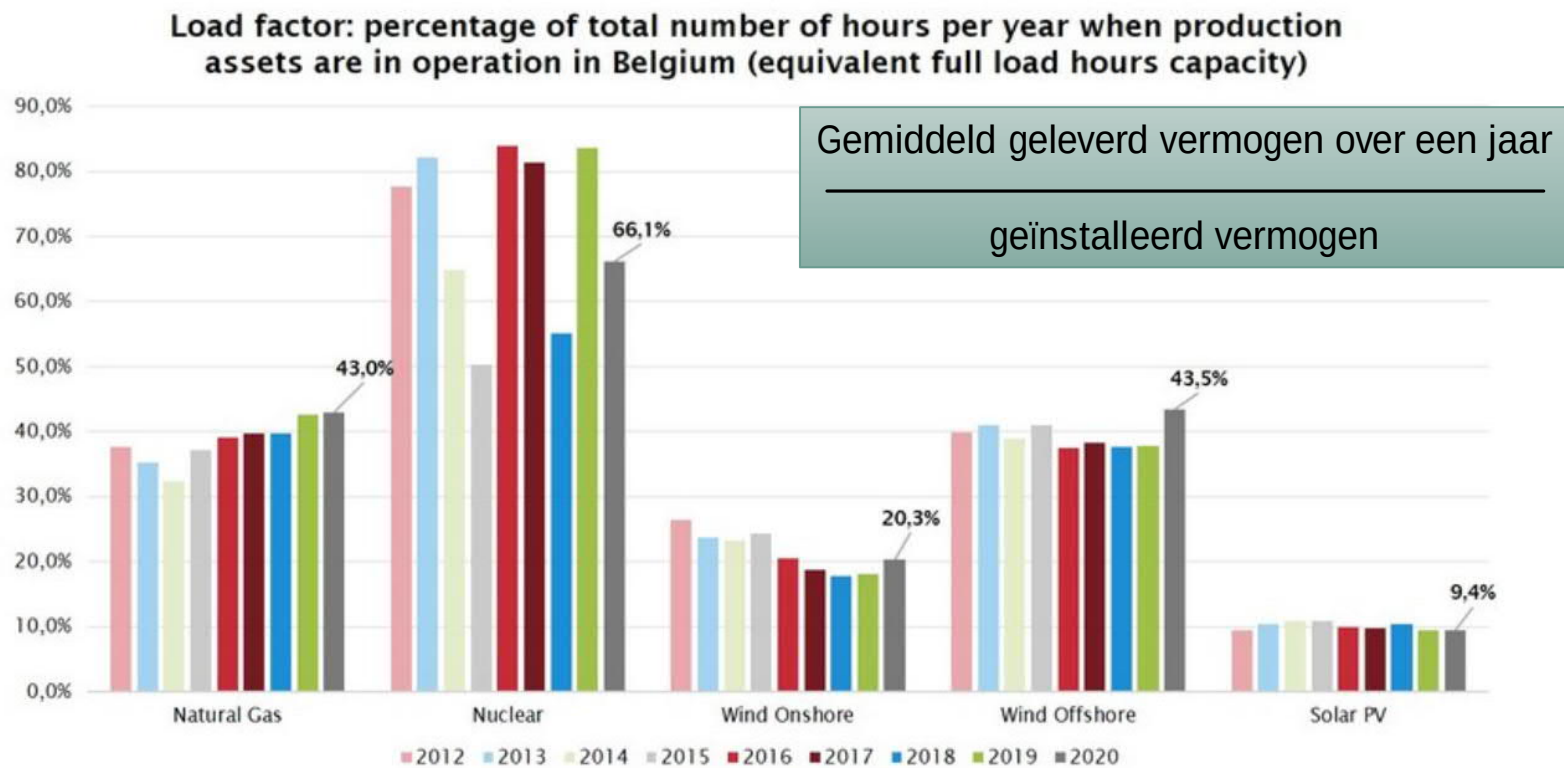
DOORDENKERTJE - 1

- Als je wagen 5 liter benzine/100 km verbruikt, hoeveel km kan je dan rijden tot je 3000 kWh energie hebt verbruikt? (het gemiddeld elektriciteitsverbruik van een gezin)

7000 km



VERGELIJKING VAN KERNENERGIE TOV ANDERE HERNIEUWBARE BRONNEN: CAPACITEITSFACTOR



VERGELIJKING VAN KERNENERGIE TOV ANDERE HERNIEUWBARE BRONNEN: RUIIMTEBEHOEFTE



	Ruimte-behoefte
Kernenergie	~2260 MW/km ²
Zonne-energie	~6 MW/km ² “Concentrated” solar vraagt beduidend minder ruimte. Nieuwere generaties doen het beter dan oudere
Windenergie	1 – 6 MW/km ² (Bvb Nobelwind park aan de kust: 3MW/km ²) Nieuwere generaties doen het beter dan oudere – locatie is belangrijk

Bronnen: https://keith.seas.harvard.edu/files/tkg/files/miller_2018_environ._res._lett._13_104008.pdf?m=1538665410
https://nl.wikipedia.org/wiki/Lijst_van_windmolenparken_in_de_Noordzee
<https://unece.org/sites/default/files/2021-10/LCA-2.pdf>

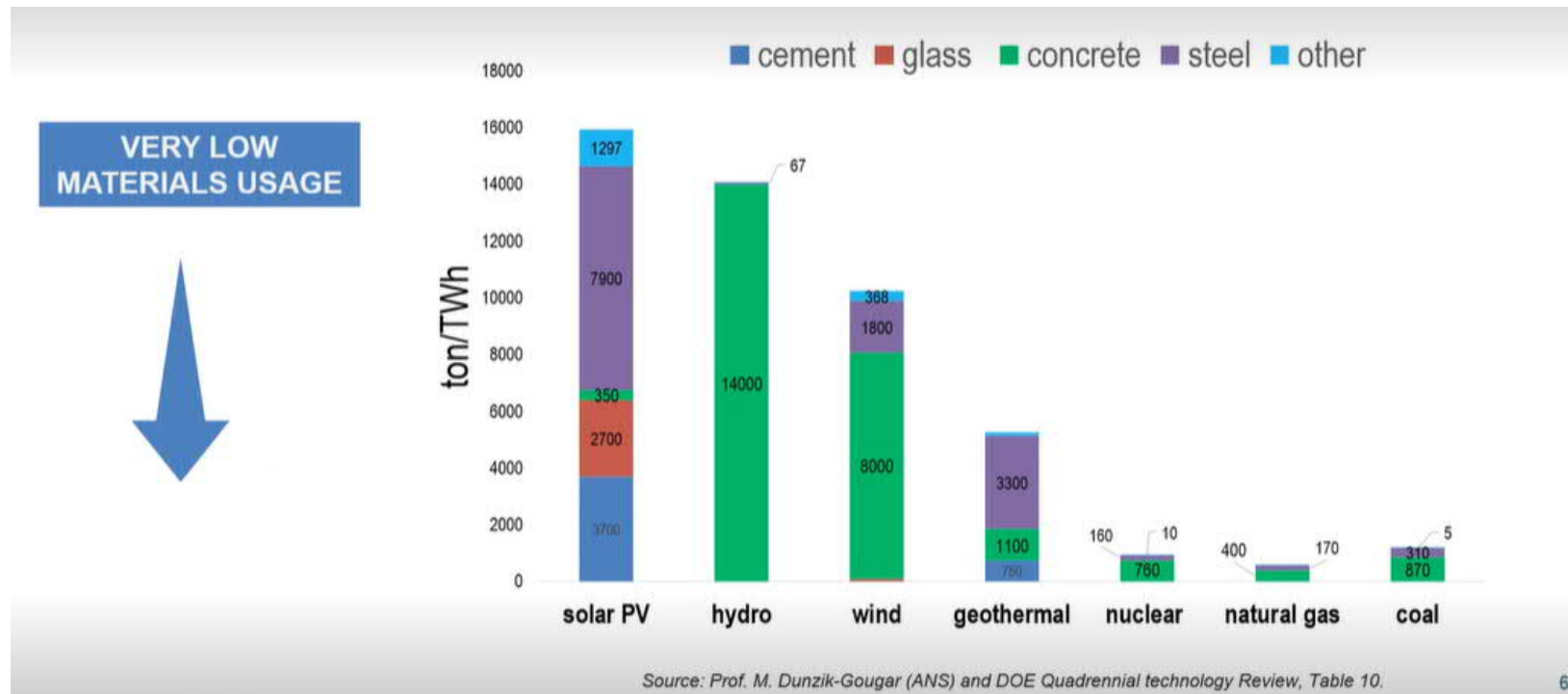
DOORDENKERTJE - 2

- Hoeveel van de oppervlakte van België moet je van zonnepanelen of windmolens voorzien om (gemiddeld) de huidige jaarproductie van elektriciteit te bekomen?

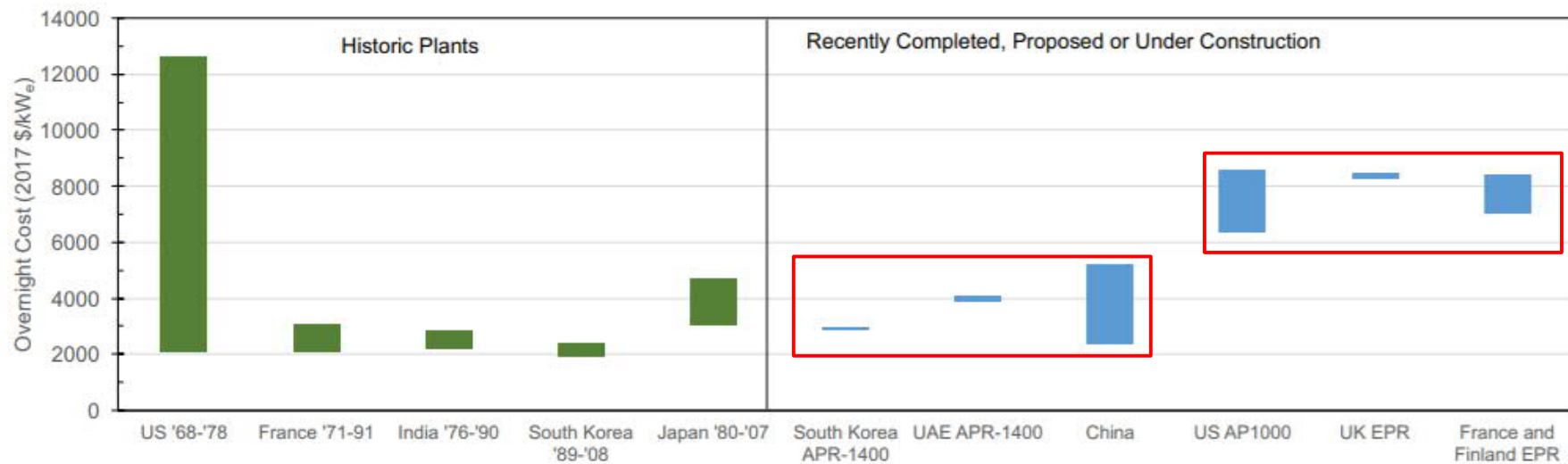
meer dan 10%



VERGELIJKING VAN KERNENERGIE TOV ANDERE HERNIEUWBARE BRONNEN: MATERIAALKOST



VERGELIJKING VAN KERNENERGIE TOV ANDERE HERNIEUWBARE BRONNEN: INVESTERINGSKOST KERNENERGIE



Investeringskost
8000\$/kW geïnstalleerd vermogen
Capaciteitsfactor 80%
10000 \$/kW effectief vermogen

Bron: <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2018/09/The-Future-of-Nuclear-Energy-in-a-Carbon-Constrained-World.pdf>

INTERMEZZO: WAAROM KOST HET ZOVEEL MEER IN EUROPA?

VS - Europa

- Bouw start met minder dan 50% v.h. design klaar
- Beperkte aanbod van toeleveranciers, beperkte ervaring
- Juridische complexiteit tussen de verschillende partijen
- Regelgeving laat weinig flexibiliteit toe doorheen het proces
- Private financiering, of via schuld

Azie

- >90% design klaar voor start constructie
- Vaste toeleveranciersketen, getraind personeel
- Fabrikanten, aannemers worden betrokken in het design team
- 1 contract manager
- Flexibele regulator
- Overheidsfinanciering

Bron: <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2018/09/The-Future-of-Nuclear-Energy-in-a-Carbon-Constrained-World.pdf>

VERGELIJKING VAN KERNENERGIE T.O.V. ANDERE HERNIEUWBARE BRONNEN: INVESTERINGSKOST WINDENERGIE

Windturbine op zee	Windturbine op land
4000\$/kW geïnstalleerd vermogen	1800 \$/kW geïnstalleerd vermogen
Capaciteitsfactor 40%	Capaciteitsfactor 20%
10000 \$/kW effectief vermogen	9000 \$/kW effectief vermogen

Exclusief kosten voor
energieopslag

Bron: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf

VERGELIJKING VAN KERNENERGIE T.O.V. ANDERE HERNIEUWBARE BRONNEN: INVESTERINGSKOST ZONNE-ENERGIE

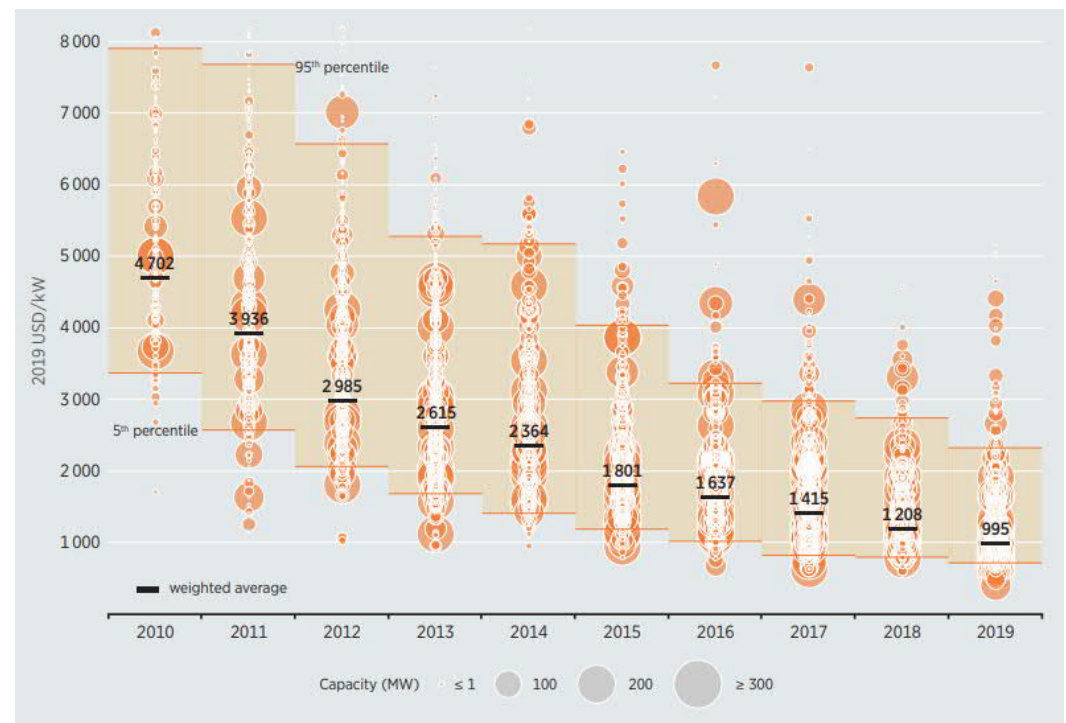
Industriële PV installatie

1000\$/kW geïnstalleerd vermogen

Capaciteitsfactor 10%

10000 \$/kW effectief vermogen

Exclusief kosten voor
energieopslag



Source: IRENA Renewable Cost Database.

Bron: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf

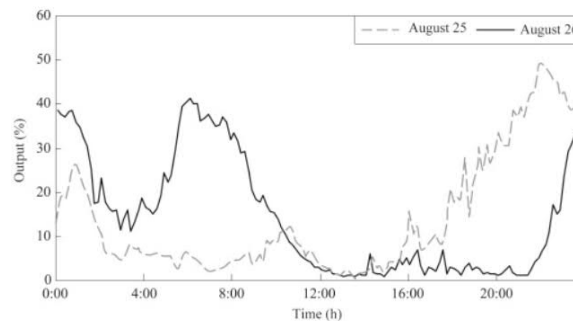
VERGELIJKING VAN KERNENERGIE T.O.V. ANDERE HERNIEUWBARE BRONNEN: VARIABILITEIT – OUTPUT CONTROLE - VOORSPELBAARHEID

Kernenergie

- Continue, voorspelbare productie
- Zeer beperkt regelbaar
- Productie dag/nacht

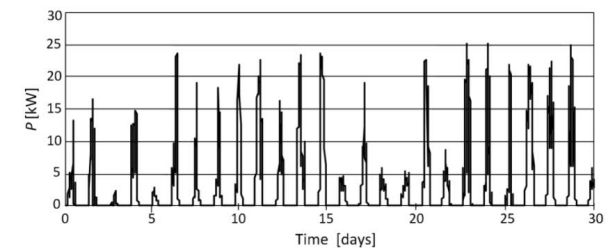
Wind

- Weersafhankelijke productie – redelijk voorspelbaar op korte termijn
- Beperkt regelbaar
- Productie dag/nacht



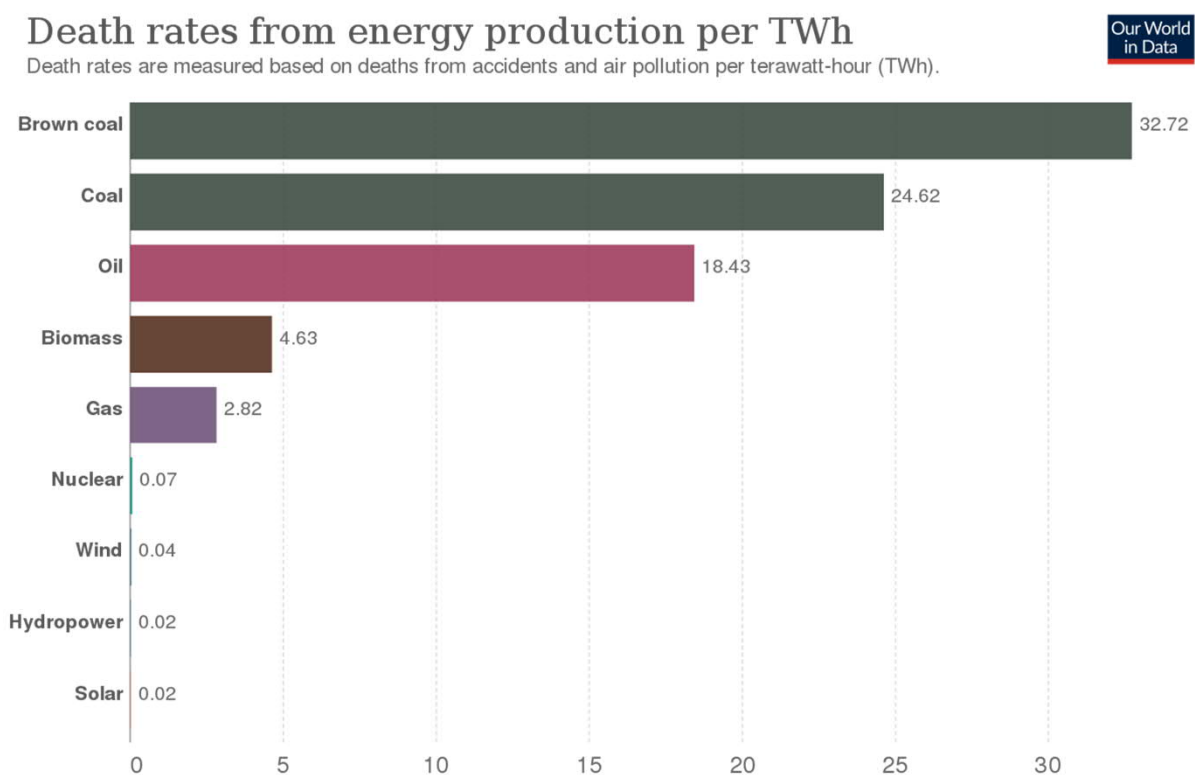
Zon

- Weersafhankelijke productie – onvoorspelbaar
- Niet regelbaar
- Geen productie s' nachts



Bron: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/rated-wind-speed>
<https://www.intechopen.com/chapters/44206>

VERGELIJKING VAN KERNENERGIE T.O.V. ANDERE HERNIEUWBARE BRONNEN: VEILIGHEID



Source: Markandya & Wilkinson (2007); Sovacool et al. (2016)

Bron: <https://ourworldindata.org>

VERGELIJKING VAN KERNENERGIE T.O.V. ANDERE HERNIEUWBARE BRONNEN: AFVAL (TIJDENS LEVENSLLOOP)

Kernenergie

- Productie van radioactief afval
- Vooral problematisch voor hoogradioactief afval (natuurlijk verval duurt ordegrötte 100.000 jaar)
- Volume is beperkt:
 - hoog-radioactief aandeel 1.4% v.h. totale volume.
 - Eind 2019 in België: 432 m³ totaal sinds begin exploitatie
- Lange-termijn stockage (ondergronds) is mogelijk
- Technieken bestaan/zijn in ontwikkeling om afval terug als brandstof te gebruiken

Wind

- Geen

Zon

- Geen

Bronnen: <https://fanc.fgov.be/>,
<https://hbr.org/2021/06/the-dark-side-of-solar-power>

VERGELIJKING VAN KERNENERGIE T.O.V. ANDERE HERNIEUWBARE BRONNEN: RECYCLAGE

Kernenergie

- Levensduur >40 jaar
- Duidelijk gelokaliseerd
- Ontmanteling is duur/complex
- Beperkte impact op omgeving na verwijdering

Wind

- Levensduur 20-25 jaar
- Grotendeels recycleerbaar – grootste probleem zijn de turbinebladen
- Duidelijk gelokaliseerd
- Geen (of verwaarloosbare) impact op omgeving na verwijdering

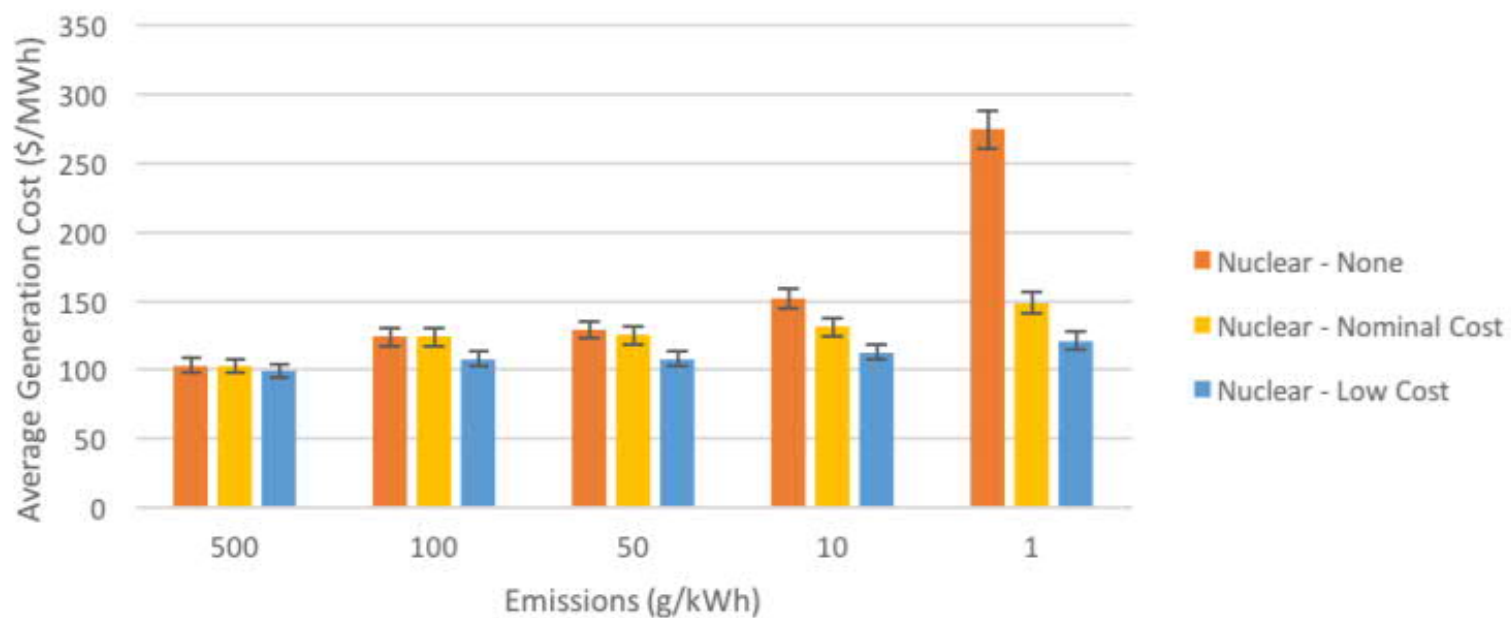
Zon

- Levensduur 20-25 jaar
- Recyclage vrij duur (geschat 20-30\$/paneel)
- Gefragmenteerd (particulier – KMO- grote installaties)
- Geen (of verwaarloosbare) impact op omgeving na verwijdering

Bronnen: <https://fanc.fgov.be/>,
<https://hbr.org/2021/06/the-dark-side-of-solar-power>

IS EEN OPLOSSING ZONDER KERNENERGIE IN DE TOEKOMST BETAALBAAR?

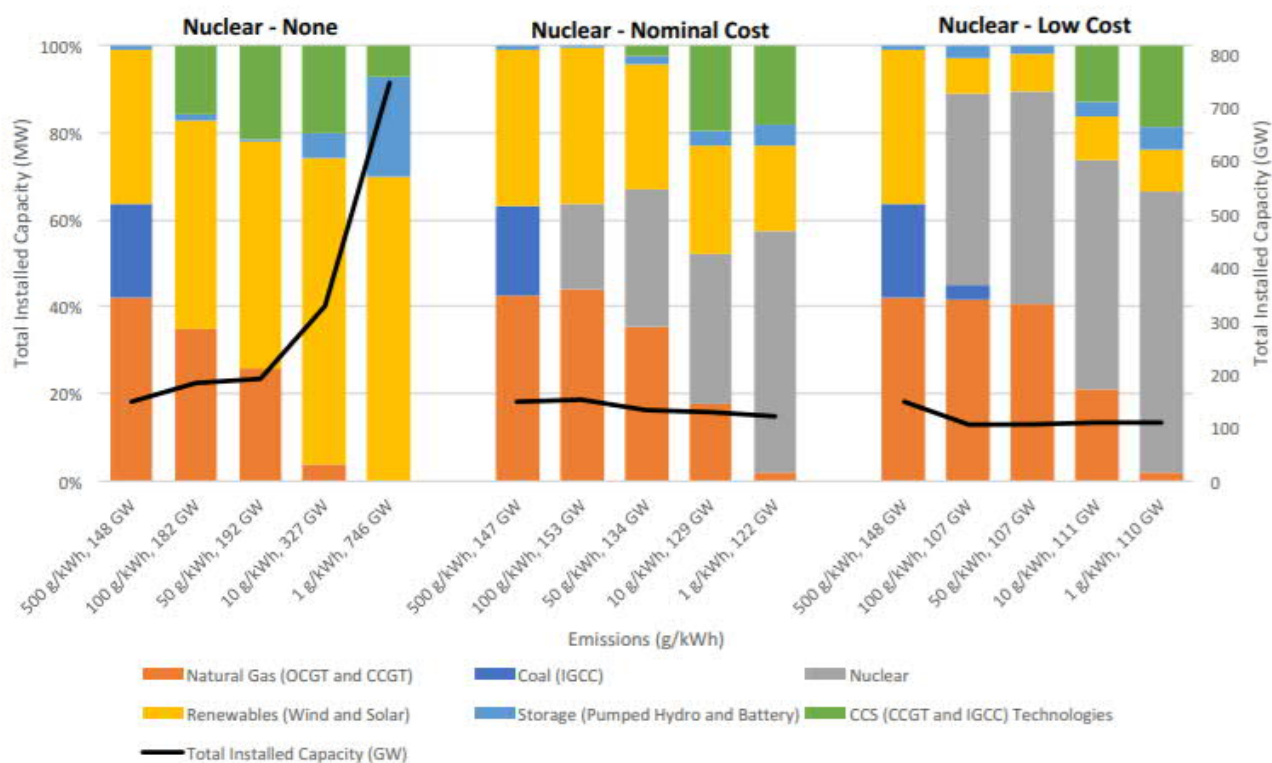
Figure 1.5e: France cost of electricity generation



Bron: <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2018/09/The-Future-of-Nuclear-Energy-in-a-Carbon-Constrained-World.pdf>

IS EEN OPLOSSING ZONDER KERNENERGIE IN DE TOEKOMST BETAALBAAR?

Figure 1.10: Optimal capacity mixes for France

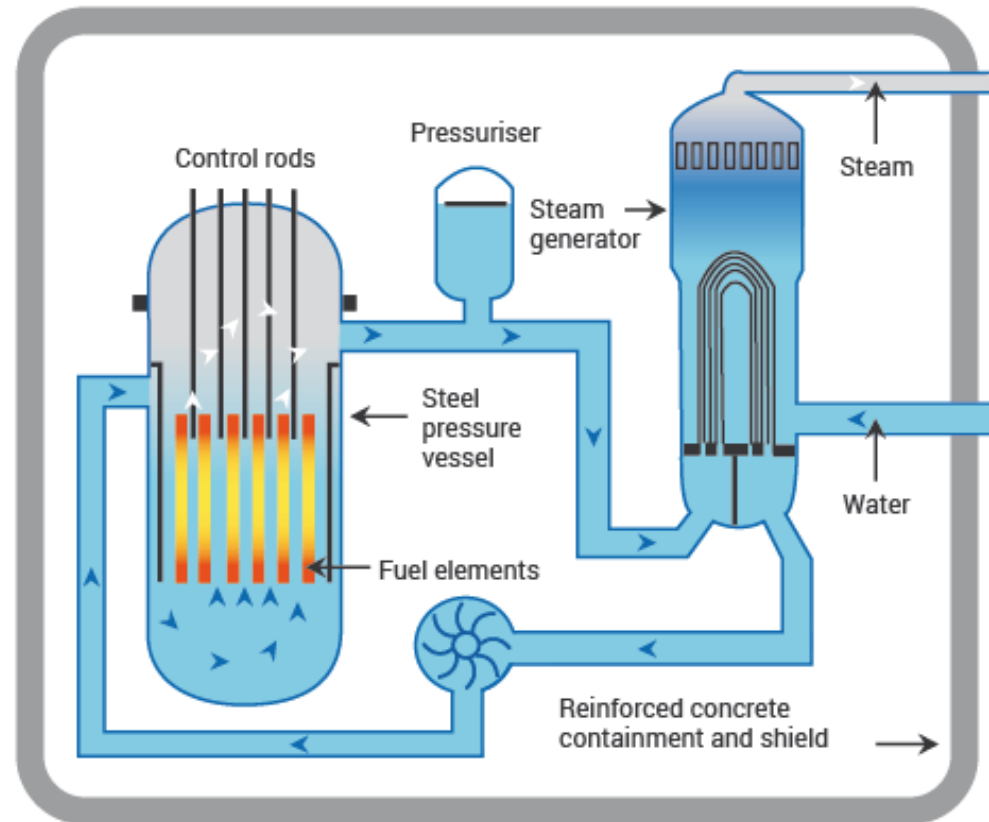
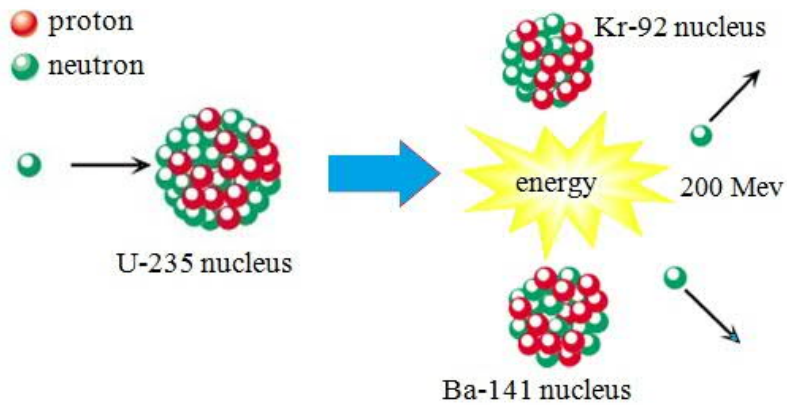


Bron: <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2018/09/The-Future-of-Nuclear-Energy-in-a-Carbon-Constrained-World.pdf>

DEZE PAUZE HEEFT U DUBBEL EN DIK VERDIEND!



WERKINGSPRINCIPE VAN EEN NUCLEAIRE REACTOR (PWR)



DE VOLLEDIGE INSTALLATIE (PWR)



HOE WERKEN DE HUIDIGE CENTRALES?

- Overgrote deel van de huidige centrales zijn van het type “Light Water Reactors”: gebruiken ‘gewoon’ water voor koeling en moderatie (afremmen van neutronen)
 - Grootste deel zijn van type “PWR” Pressurized Water Reactor (2de generatie) (vb. Doel, Thiange)
 - Enkele van type “BWR” Boiling water reactor (vb Borsele, Fukushima)
- Andere gebruikte types
 - RBMK – Koolstof-gemodereerde reactor (Tsjernobyl)
 - Heavy Water reactor: gebruikt Deuterium (vb CANDU – Canada)
- Gebouwd/ontworpen om groot, constant vermogen te leveren
- Ontwerpen dateren van jaren ‘70

Wistjedaatje...

Op dit moment zijn er 415 kerncentrales in bedrijf, en 53 in constructie. De VS heeft het grootste aantal centrales

(ref:
<https://www.statista.com/chart/20750/number-of-operational-reactor-units-by-country/>)

EEN (TECHNISCHE) BLIK IN DE TOEKOMST: TRENDS

Net-geschakelde reactoren

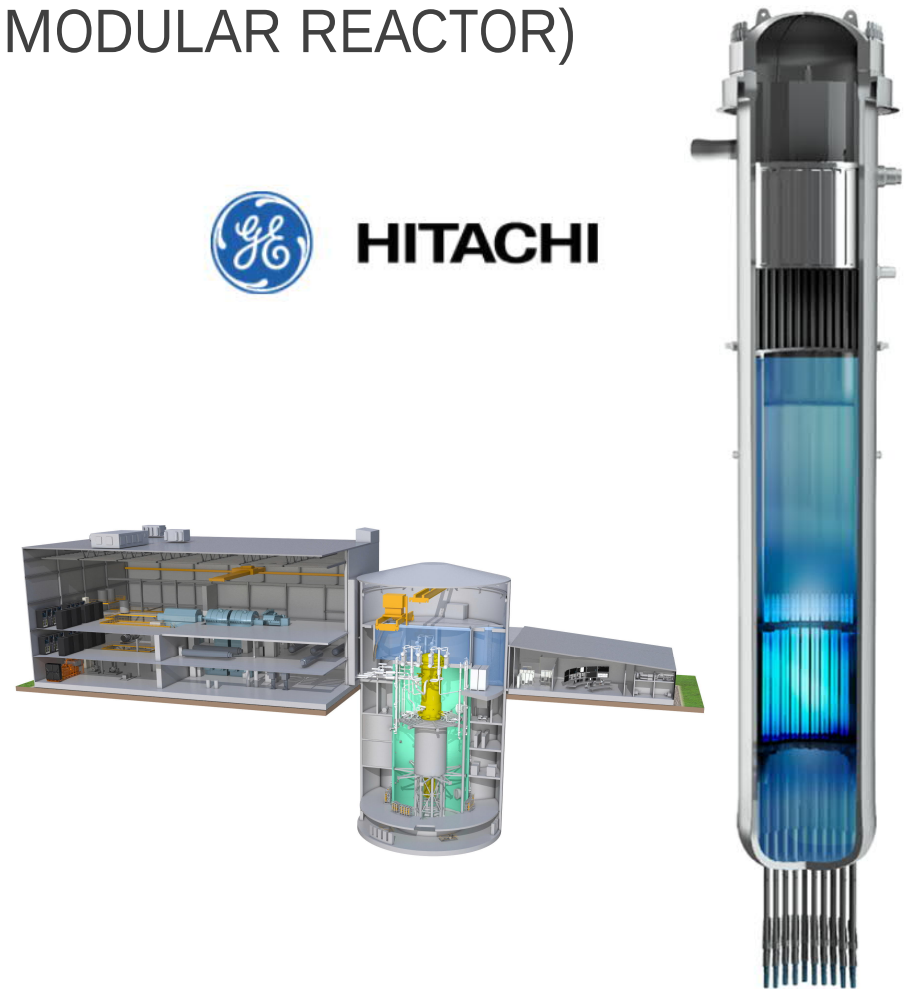
- **Korte termijn (<2030): SMR - Kleinere reactoren (100-300 MW)**
 - Voortbouwend op kennis van huidige generatie LWR (Light Water Reactor)
 - Passieve veiligheid – minimaal aantal onderdelen
 - Gestandaardiseerd ontwerp
 - schakelbaar voor grotere vermogens (SMR)
 - Bouwkost 10% huidige kost - 3-5 jaar voor constructie
- **Iets langere termijn? (rond 2030)**
 - Gasgekoelde reactoren
 - Fast Sodium Reactors, Molten Salt Reactors...

Nucleair batterijen (Microreactors)

- Bestaan vandaag voor specifieke toepassingen
- In constructie voor toepassingen als energieleverancier voor industrie, afgelegen gebieden, noodgeneratoren enz.

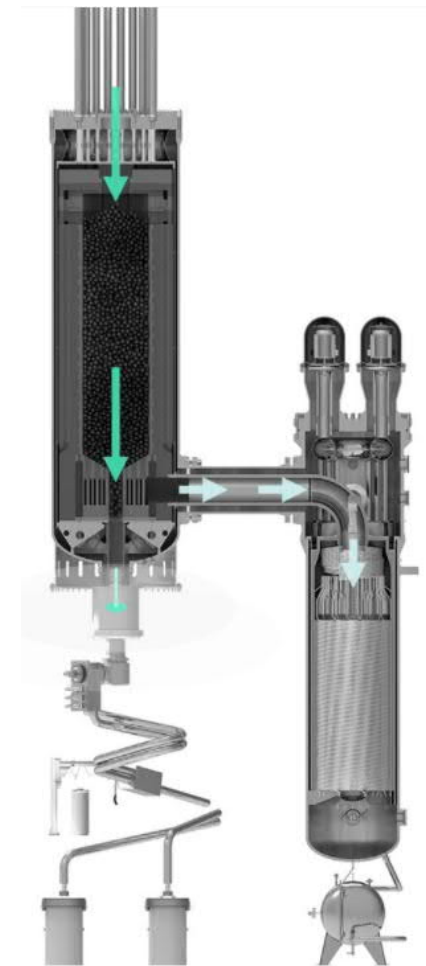
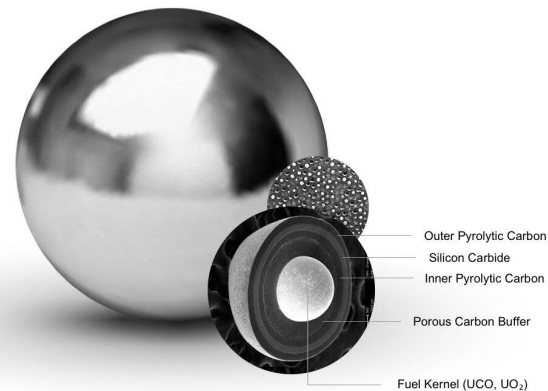
VOORBEELD VAN EEN SMR (SMALL MODULAR REACTOR)

- 300 MW
- Werkingsprincipe: Boling Water Reactor
- Minimaal aantal componenten: gunstig voor prijs en veiligheid
- Passieve koeling (natuurlijke circulatie)
- Passieve veiligheid: kan bij incident 7 dagen autonoom in veiligheidsmodus
- Eenvoudigere en kleinere site-constructie
- Investering 60% kleiner dan klassieke centrale (voor vergelijkbare output)
- Voorziene operatie: 2028



IETS VERDERAF? GASGEKOELDE CENTRALES

- X-Energy
- 80 MW – kan geschakeld worden tot 320 MW
- Brandstof ge-incapsuleerd (TRISO bollen)
- Verdragen tot meer dan 2000 °C - geen risico meltdown)
- Continu proces: nieuwe brandstof kan aangevoerd worden, oudere verwijderd
- Hoge temperatuur (750 °C)-> hoger rendement
- Koelgas: Helium (inert gas, geen interactie met de constructiematerialen)
- Was niet realiseerbaar met de engineering tools van 1960/1970



Bron: <https://x-energy.com/>

IETS VERDERAF? VLOEIBAAR ZOUT GEKOELDE CENTRALES

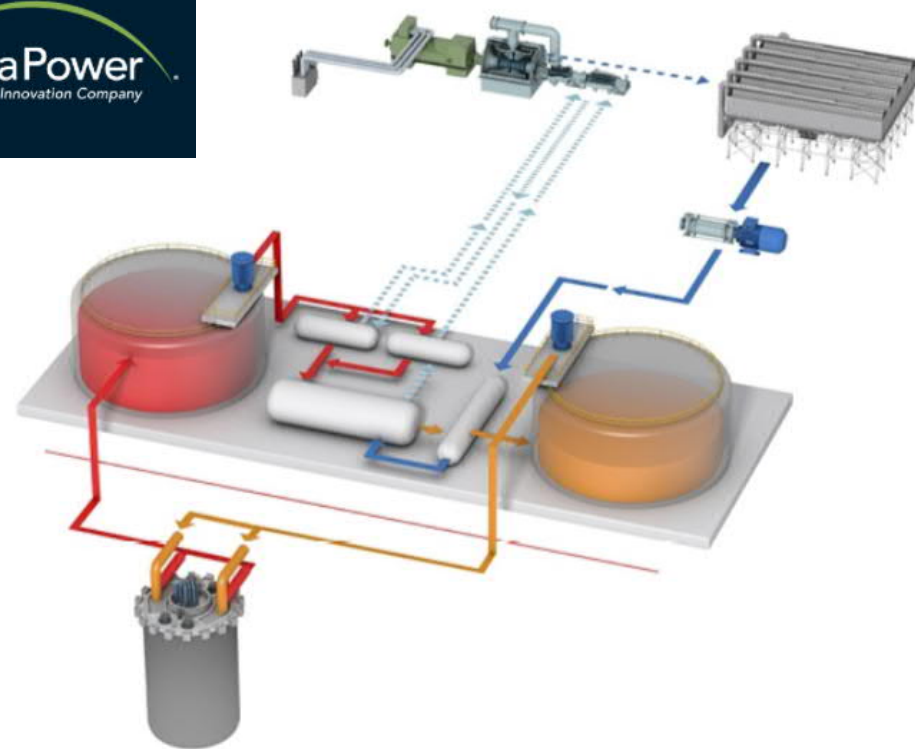
- Terrapower – GE Electric samenwerking
- Vloeibare Natrium wordt gebruikt voor koeling en warmteopslag
- 345 MW reactor - tot 500 MW piek door warmte-opslag
- Sponsors met diepe zakken

Bill Gates and Warren Buffett to build new kind of nuclear reactor in Wyoming

The project in Wyoming - the country's top coal-producing state - is a small advanced reactor with salt-based storage that could boost output



Warren Buffett's Pacific Corp and Bill Gates's TerraPower have joined forces on a plan to launch an advanced Natrium nuclear reactor in Wyoming. Photograph: Jason Lee/Reuters



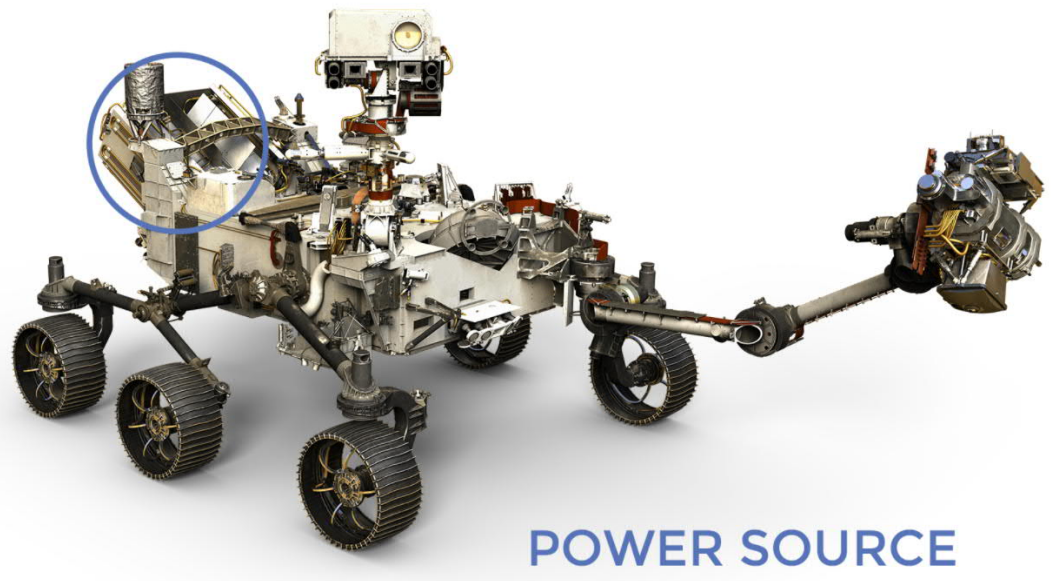
Bron: <https://www.terrapower.com/our-work/natriumpower/>

NUCLEAIRE BATTERIJEN



NUCLEAIRE BATTERIJEN: IN DE RUIMTE

- MARS Perseverance Rover
- Plutonium brandstof
- 110 Watt gedurende 14 jaar



Bron: <https://mars.nasa.gov/mars2020/spacecraft/rover/electrical-power/>

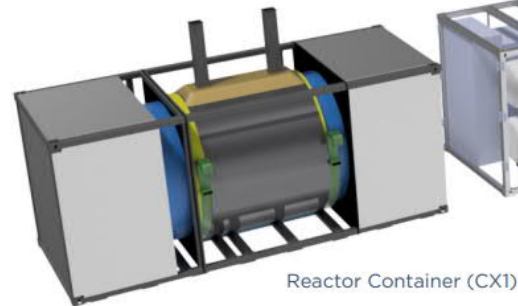
...EN WAT DICHTERBIJ

- Akademik Lomonosov (Rusland)
- Bevat 2 PWR reactoren
- Genereren samen 70 MW electriciteit
- Genereren samen 60 MW warmte-energie
- Brandstof cyclus: 3 jaar

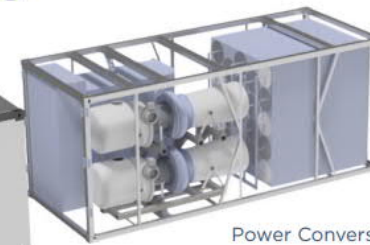


INDUSTRIEEL GEBRUIK: CENTRALE IN ENKELE CONTAINERS...

- eVinci
- Vermogens tussen 1 – 5 MW
- Levert elektriciteit en warmte
- Standaard' levering – operationeel in maanden
- Brandstof cyclus: 3 jaar
- Ontworpen voor 40 jaar
- Autonome operatie



Reactor Container (CX1)



Power Conversion Container (CX3)



ICE Container (CX2)

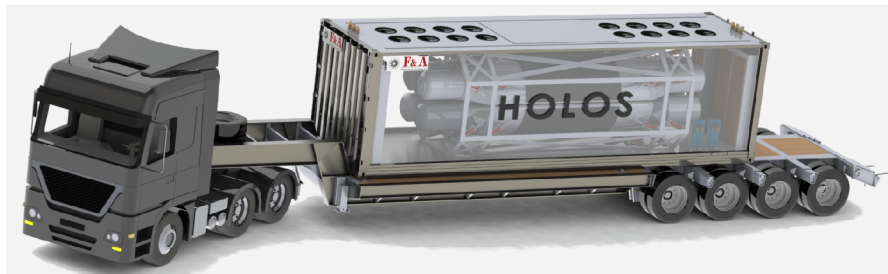


Bron: <https://www.westinghousenuclear.com/new-plants/evinci-micro-reactor>

...OF 1 CONTAINER

HolosGen™

- 13 MW gedurende 12-20 jaar
- Meerdere units kunnen gecombineerd worden tot 81 MW
- Ontworpen voor 60 jaar gebruik
- Autonome operatie



Bron: <http://www.holosgen.com/generators/>
<https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2021/11/01/us-picks-eielson-air-force-base-for-the-air-forces-first-nuclear-microreactor/?sh=5f6140ce3983>

KLIMAATDOELSTELLINGEN 2050 EN KERNENERGIE - GEERT LOWET - KWB WEERDE - MAART 2022



A U.S. Army Truck hauling a Holos small nuclear generator with skin, shields and auxiliary ...
[+] HOLOS

Eielson Air Force Base was selected by the U.S. Air Force to receive its first nuclear microreactor, a nuclear power plant of up to 5 MWe, which could be operational there as soon as 2027.

In a news release announcing the project Mark Correll, the Deputy Assistant Secretary of the Air Force for Environment, Safety and Infrastructure, said "Energy is a critical asset to ensure mission continuity at our installations. Microreactors are a promising technology for ensuring energy resilience and reliability, and are

EN DAN NU TIJD VOOR...

