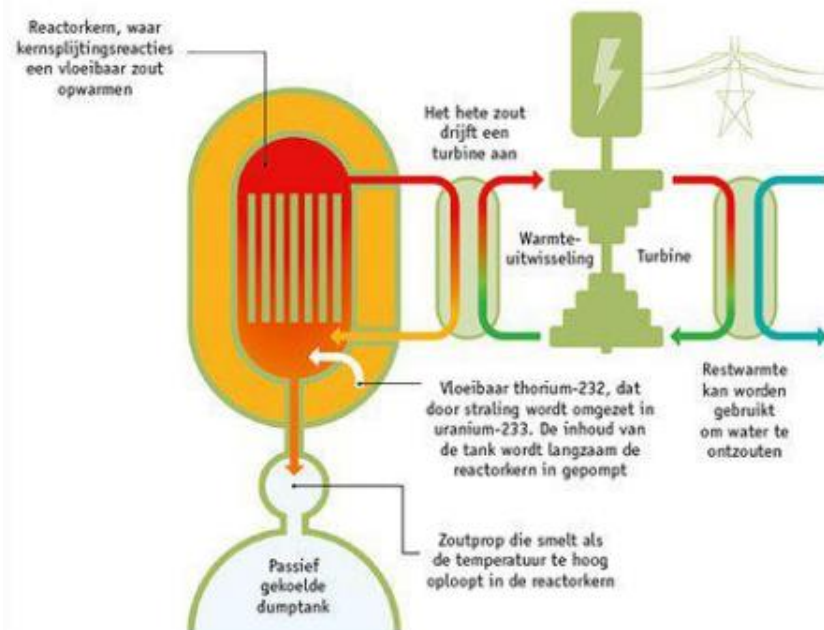


Bron: <https://www.climategate.nl/2021/03/gesmolten-zout-reactor-met-thorium-of-uranium-als-brandstof/>

Gesmolten-zout-reactor met Thorium of Uranium als brandstof



Een bijdrage van **Ap Cloosterman**.

Door de rampen in Tsjernobyl en Fukushima is de opvatting over kernenergie in een ongunstig daglicht komen te staan. Daar komt nog bij dat het onderwerp kernenergie voor velen verre van eenvoudig is. Van de andere kant wordt het steeds duidelijker, dat een volledige energietransitie met zon, wind en biomassa onmogelijk en onhaalbaar is.

Het uit de kast halen van kernenergie roept bij veel burgers en politici grote bezwaren op. Maar ... de vooruitgang, die op het gebied van kernenergie in de afgelopen jaren is bereikt, is onvoldoende bekend.

Dit artikel is bedoeld om hier meer duidelijkheid in te verschaffen onder het motto: 'Eenvoud is het kenmerk van het ware.'

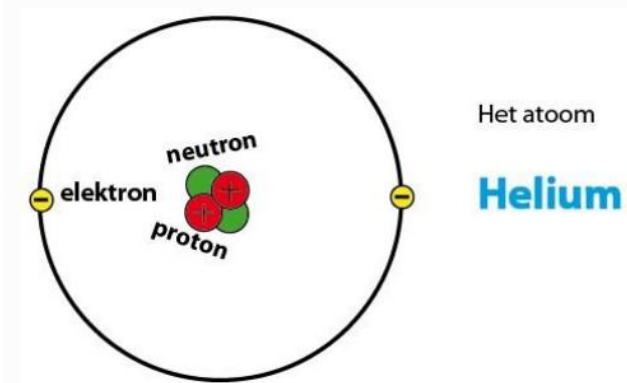
Kernsplitsing

Een atoom bestaat uit een kern met positieve deeltjes (protonen) en neutrale deeltjes (neutronen). Rondom deze kern bevinden zich negatieve deeltjes (elektronen). Er zijn evenveel protonen als elektronen in een atoom aanwezig, zodat het atoom neutraal en stabiel is.

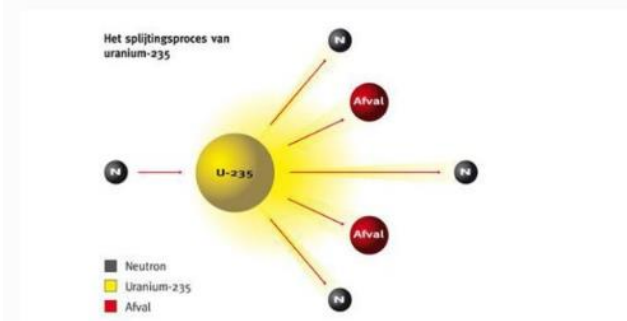
Alle atomen zijn op dezelfde wijze samengesteld. Het aantal deeltjes in de kern bepaalt het soort element. (Zie figuur 1 , het atoom Helium.)

Zo heeft Waterstof slechts een deeltje in de kern, maar Uranium telt maar liefst 235 deeltjes in de kern. Thorium heeft 232 deeltjes in de kern. Een dergelijk groot atoom is dan ook splitsbaar in kleinere atomen. De projectielen voor deze splitsing zijn neutronen. Hiervoor is een hoeveelheid radioactieve straling nodig, die uit neutronen bestaat en dat kan door Plutonium worden geleverd.

Bij de splitsing komt een enorme hoeveelheid energie vrij. Bij de splijting van 1 gram Uranium ontstaat evenveel energie als bij de verbranding van 3000 kg kolen of 2500 l. benzine.



Figuur 1.



Figuur 2.

De splitsing (splijting) vindt plaats door het atoom te bestoken met neutronen. Bij de splitsing van het Uranium atoom (U-235) ontstaan twee kleinere atomen, een enorme hoeveelheid warmte en ook komen er twee neutronen vrij, die op hun beurt weer twee andere Uranium-atomen splijten en dit gaat zo maar door. Er ontstaat dus een kettingreactie, waardoor steeds meer warmte vrijkomt. (Zie figuur 2.)

Het afval is gevaarlijk radioactief en moet dus veilig opgeborgen worden. Naast de kerncentrale in Borssele is er ook een afvalverwerking voor radioactief materiaal (COVRA) gevestigd. (Zie figuur 3.) Het kernafval wordt daar ter plaatse in roestvrijstalen drums afgevuld en vervolgens met vloeibaar glas opgevuld. Na het stollen van het glas is het radioactieve materiaal onbeweeglijk en veilig opgesloten.

De vaten worden in uitsparingen van een enorm dikke betonnen vloer opgeborgen en afgedekt met een dikke laag beton. Het gebouw zelf bestaat uit betonnen muren van +/- 2m dikte, waardoor het bestand is tegen explosieve projectielen.



COVRA (Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval) 1,5 m³ radioactief afval per jaar. Dat wordt met vloeibaar glas gemengd en in een rvs-vat gegoten waarin het stolt. Radioactieve stoffen zitten daarna opgesloten in de structuur van het glas. Er kan dan niets meer mee gebeuren. Opslag ondergronds met een dekselprop van 1,5 m beton

Figur 3.

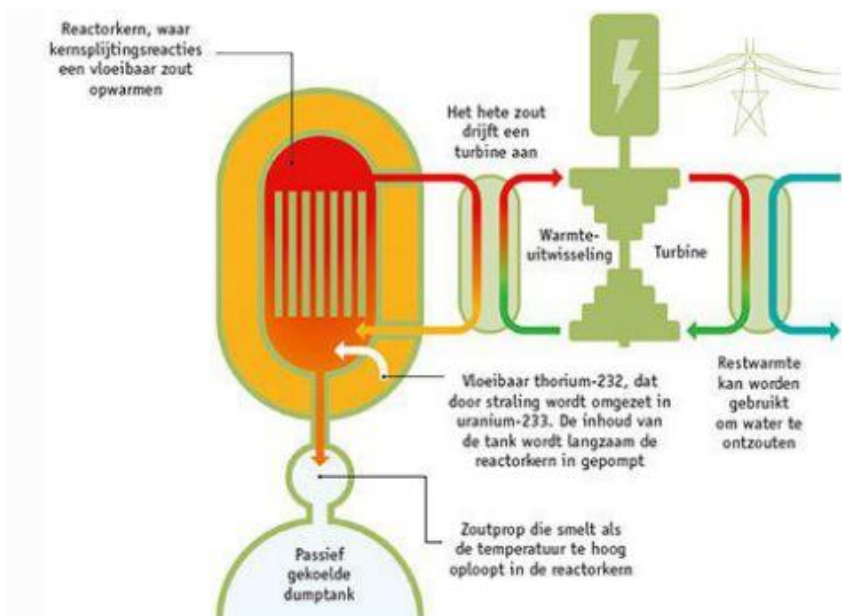
Het afval van een uraniumreactor heeft 100.000 jaar nodig om tot aanvaardbare veilige stralingsniveaus te zakken. Het is uiteindelijk de bedoeling dat de vaten met dit radioactieve afval worden opgeborgen in rotsachtige catacomben. Finland is bezig om deze catacomben op een diepte van 450 m te realiseren en waar dus het radioactieve materiaal voor vele eeuwen veilig kan worden opgeborgen.

Thorium

Figure 4.

Aan thorium geen gebrek. Foto: Atomic Research Center Mumbai

De huidige wereldvoorraad aan het zeer gevaarlijke Plutonium is voldoende om 72 jaar lang in Thoriumcentrales bij te stoken.



Figuur 5: Schema van een gesmolten-zout-reactor met Thorium als brandstof.

Thorium wordt gebruikt in de zgn. gesmolten-zout-reactor. (Zie figuur 5.) Daarbij wordt Thorium in de vorm van een vloeibaar zout in de reactor gebracht. Het zout is vloeibaar bij hoge temperatuur en vast op kamertemperatuur. Omdat het zout stolt bij lagere temperaturen is het beveiligen van de reactor relatief simpel. Het reactorvat staat in contact met een van koeling voorzien vat in de kelder. Een deel van de leiding naar deze dumptank wordt constant gekoeld. Het zout is in deze leiding gestold en vormt dus een harde vaste prop waardoor het vloeibare zout in de reactor niet kan wegstromen. Als de elektriciteit uitvalt, valt ook de koeling van deze leiding uit. Het goedje smelt langzaam en de soep loopt leeg in de dumptank. Daar koelt het af en stolt weer. In vaste vorm neemt de neutronabsorptie sterk af en daarmee stopt de kettingreactie.

Het gaat nog enkele tientallen jaren duren voordat er daadwerkelijk commercieel draaiende thoriumreactoren zullen zijn. Het ontbreekt volgens professor Kloosterman (reactorfysicus aan de Technische Universiteit Delft) met name nog aan kennis over het gedrag van het zout dat met temperaturen van 700 à 800 °C door het systeem loopt en dus zeer agressief is. Onderzoek behelst o.a. de chemie om het zout te zuiveren en de zoutsamenstelling te controleren. Verder het onderzoek naar nieuwe materialen die onder hoge temperatuur en in een intens stralingsveld de agressieve fluoridezouten kunnen weerstaan. Dit onderzoek vraagt vele miljarden aan financiën. In 2015 heeft de TU Delft 2 miljoen Euro aan Europese subsidie ontvangen voor onderzoek. Dat budget is dusverre van voldoende.

China en India lopen qua ontwikkeling voorop. Met een investering van 3,3 miljard dollar houdt China de hoop op veilige kernenergie levend. De centrale overheid heeft opdracht gegeven voor de bouw van twee gesmolten-zout-reactoren in de Gobi-woestijn, [meldt](#) de South China Morning Post.

Ook militaire toepassingen worden overwogen, bijvoorbeeld om vliegdekschepen of spionagedrones van energie te voorzien.

Chinese onderzoekers in Sjanghai zullen binnenkort een experimentele reactor gereed hebben. Voor een tijdige plaatsing van gesmolten-zout-reactoren met Thorium als brandstof zal Nederland wellicht afhankelijk worden van China en de vraag is dan of dit wel zo verstandig is.

Kerncentrales waren in veel landen van Europa taboe, vooral na de *meltdowns* van Three Miles Island (Harrisburg) in 1979, Tsjernobyl in 1986 en Fukushima in 2011. Om rampen te

voorkomen moesten alle kerncentrales worden gesloten. De regeringen in Nederland, België en Duitsland stonden onder druk en beslisten inderdaad tot afbouw.

Het afval van een kernreactor met Uranium blijft honderdduizend jaar gevaarlijk radioactief en produceert duizendmaal meer kernafval dan een gesmolten-zout-reactor. Het afval van een gesmolten-zout-reactor heeft 300 jaar nodig om tot aanvaardbare stralingsniveaus te zakken.

Toen de opwarming van de Aarde door broeikasgassen op de politieke agenda kwam, werd kernenergie beetje bij beetje uit de kast gehaald. Kernenergie produceert geen CO₂ en wint het daarom van bijvoorbeeld kolengestookte. Dat verklaart de hernieuwde aandacht.

"Kernenergie? Ja, graag"

Er gloort hoop aan de horizon. Een viertal organisaties hebben een kennisconsortium opgericht voor de ontwikkeling van de Nederlandse gesmolten-zout-reactor. Het betreft NRG, TU Delft, DIFFER en Thorizon Engineering BV.

TU Delft is al meer dan tien jaar betrokken bij een samenwerking met de Verenigde Staten in het kader van het Generation IV-programma, dat de ontwikkeling van een gesmolten-zout-reactor beoogt.

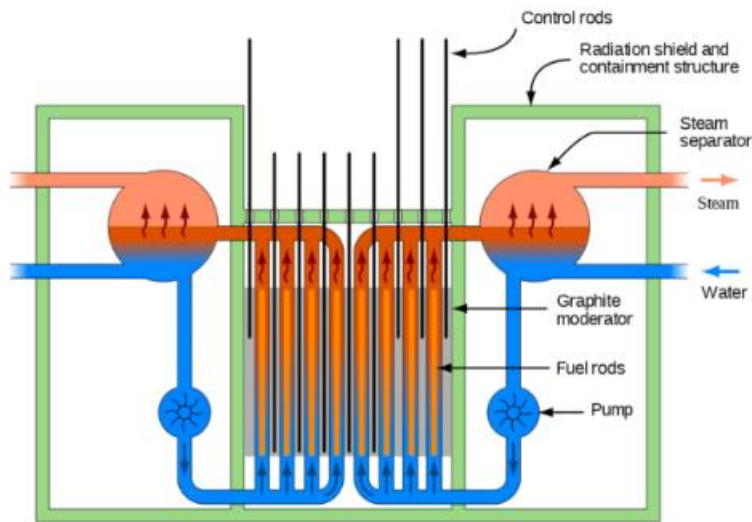
Thorizon Engineering BV in Amsterdam werkt aan het ontwerp voor de gesmolten-zout-reactor. De onderneming streeft ernaar rond 2035 een eerste reactor in bedrijf te hebben.

Grote kerncentrales zijn heel erg duur. Kleine reactoren zijn voordeliger in aanschaf en mogelijk ook in gebruik. Daarom is er wereldwijd veel aandacht voor kleine reactoren. De onderdelen kunnen in een fabriek gemaakt worden. Deze onderdelen kunnen eenvoudig naar de plek vervoerd worden waar de kerncentrale moet komen te staan. Daar worden ze dan als een soort bouw pakket in elkaar gezet. Bij grote kerncentrales worden de meeste onderdelen op de locatie gemaakt wat veel duurder is.

Een goed voorbeeld zijn kleine lood-gekoelde reactoren. Ze kunnen afgelegen dunbevolkte gebieden zonder elektriciteit, bijvoorbeeld in het noorden van Canada, van stroom voorzien. Bovendien zijn deze kleine lood-gekoelde reactoren zeer geschikt als stadsverwarming of om industrie van warmte te voorzien. Hiervoor zijn vergevorderde plannen in bijvoorbeeld Engeland en Finland.

Veiligheid van gesmolten-zout-reactoren

Schema van een Russische RBMK grafietreactor zoals het type van Tsjernobyl.



Figuur 6.

De reactor van de huidige kerncentrales bestaat uit pijpen (brandstofstaven=*fuel rods*), die gevuld zijn met korrels Uranium. Verder plaatst men tussen de brandstofstaven zogenaamde *control rods*, bestaande uit grafiet, een stof die erg gemakkelijk neutronen absorbeert. Hoe dieper men deze controlestaven laat zakken tussen de brandstofstaven die het uranium bevatten, hoe moeilijker het wordt voor de neutronen die bij de kernsplijting vrij komen om een nieuwe uraniumkern te vinden om te splijten, waardoor de kettingreactie dus trager verloopt en er minder energie geproduceerd wordt. (Zie figuur 6.)

De kernramp van Tsjernobyl

In de ochtend van 26 april 1986 moest in kernreactor nummer 4 van het complex een test worden uitgevoerd, maar werd uitgesteld omdat een andere elektriciteitscentrale uitgevallen was. Daarom moest de avondploeg, zonder voorbereiding, testen of de generator bij uitschakelen van de reactor nog genoeg vermogen gaf om de koelinstallatie te laten werken. Door een bedieningsfout ging de reactor op een gegeven moment onbedoeld in een bijna *shut-down* regime. De bedieningsmensen haalden daarop de controlestaven omhoog. Doordat er nog slechts zes van de voorgeschreven 26 veiligheidsstaven in de reactor aanwezig waren, nam het vermogen alsmaar toe. Een operator drukte op een snelle noodstop, om alle regelstaven weer in de reactorkern te laten zakken.

Dit mislukte en er volgde een explosie, waardoor de veiligheidsstaven klem kwamen te zitten op een derde van hun normale diepte. De kettingreactie werd onvoldoende geremd en het reactorvermogen nam zeer snel toe. Om 01:23 uur bereikte de reactor tien keer zijn normale vermogen van 3 GW. De brandstofstaven smolten, en de druk steeg en veroorzaakte een stoomontploffing, die het 2000 ton zware dak van de reactor wegblies. Door de binnenstromende lucht vlogen de hete *control rods*, die van grafiet waren gemaakt, in brand. **Bij de brand en de explosie kwamen 31 mensen om.**

De kernramp van Fukushima

Op 11 maart 2011 veroorzaakte een enorme vloedgolf (tsunami) de zwaarste kernramp sinds de explosies in de reactor van Tsjernobyl. De ramp was het gevolg van problemen met het ontwerp van de centrale die al veel eerder verholpen hadden moeten worden. Om de kernreacties onder controle te houden zijn ze afhankelijk van koelwater uit nabijgelegen meren, rivieren of de zee. Zelfs bij een gecontroleerde stillegging moet de reactor nog maandenlang gekoeld worden. Het oppompen van dat koelwater vereist elektriciteit.

Valt de toevoer van elektriciteit weg, dan wordt ook geen koelwater meer aangevoerd. Daarom zijn er doorgaans batterijen en generatoren aanwezig om in noodgevallen elektriciteit te kunnen leveren. Die laatsten lieten het tijdens de ramp in Fukushima afweten. De kelder, waar de generatoren stonden, liep tijdens de tsunami onder water, waardoor alle generatoren niet meer werkten.

Als gevolg van het gebrek aan koeling vond in drie units een kernsmelting plaats: brandstofelementen smolten waardoor kernbrandstof op de bodem van de reactoren terecht kwam. Er volgde een reeks explosies in de reactoren van het complex.

De Tsunami op zich, kostte bijna 19.000 mensen het leven. Sinds de ramp werden meer dan 100.000 mensen geëvacueerd vanuit hun huizen om hen te beschermen tegen radioactieve besmetting.

Intussen is er een alsmaar toenemende controverse over de draagwijdte van de ramp en de berichtgeving hierover. **"The World Nuclear Association" verklaarde in oktober 2017 dat er geen sterfgevallen of gevallen van stralingsziekte door het nucleaire ongeval zijn geweest.**

Bovengenoemde ongevallen bepalen in hoge mate de weerstand tegen kernenergie en dat is te begrijpen. **Echter de technische ontwikkelingen gaan verder en zijn we op een punt gekomen, dat nieuwe generatie kerncentrales qua veiligheid verantwoord in gebruik kunnen worden genomen om de energie transitie te verwezenlijken. (Zie figuur 5.)**

Het gesmolten zout in de reactor, waarin de brandstof is opgelost, heeft een zeer bijzondere eigenschap. Gebleken is dat als het zout warmer wordt, dus in volume toeneemt, de doorlaatbaarheid van neutronen afneemt en dus de kernreactie minder actief is en dus ook minder warmte produceert.

Als de vraag naar elektriciteit afneemt zal er dus minder warmte uit de reactor worden afgenomen en stijgt de temperatuur met als gevolg dat de neutronenstroom afneemt en er minder warmte wordt geproduceerd. Omgekeerd als er meer elektriciteit wordt afgenomen neemt de temperatuur in de reactor af met daarmee een inkrimping van het volume van het zout waardoor de neutronenstroom toeneemt. In feite is er sprake van een geheel geautomatiseerd veilig proces. Mocht er onverhoopt toch iets fout gaan en de zoutmassa dus onbeheerst veel te heet wordt dan smelt de gestolde vaste prop en loopt de inhoud in de onderliggende koeltanks.

Beslaglegging op land door kerncentrales t.o.v. van windmolens en zonneparken

1 TWh (TeraWattuur) = 1 miljoen KWh

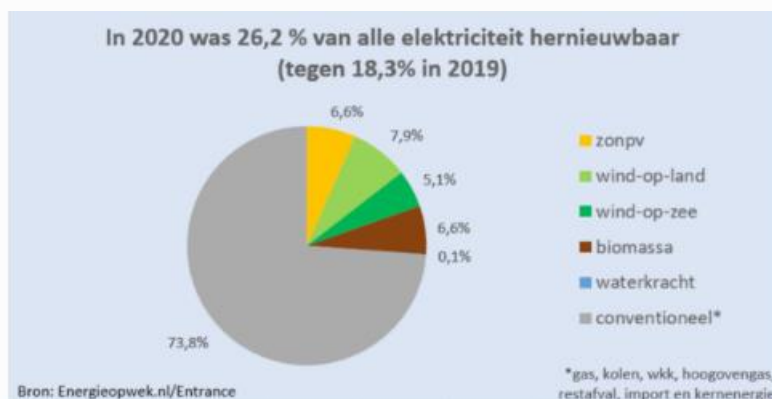
Elektriciteitsverbruik in Nederland

	t/m 2019	t/m 2020
Totaal energieverbruik	861 TWh	idem
Elektriciteitsverbruik	122 TWh = 14,2 % van het totale energieverbruik	idem
Hiervan duurzaam	22,4 TWh = 18,3 % van 122TWh	32,1 TWh = 26,2 % van 122TWh
Op totaal energieverbruik	2,6 %	3,7 %

(Zie figuur 7.)

In het Klimaatakkoord staat dat in 2030 het aandeel duurzame stroom op gemiddeld 70 procent moet liggen. Nu is dit 26,2%. Dat betekent dat er nog een factor 1,5 extra aan duurzaam bij moet komen.

Biomassa in de vorm van houtsnippers is een enorme aanslag op onze bossen en zou verboden moeten worden. Bomen zijn de klimaatregelaars op Aarde. Volgens oud-minister Wiebes zijn er voor de levering van houtpellets contracten afgesloten, waar Nederland aan zal moeten voldoen. Maar ... als het verstoken van houtpellets meer verontreiniging geeft en dus de volksgezondheid in gevaar brengt dan moet hier toch een juridische mouw aan te passen zijn.



Figuur 7.

Figuur 7.

Voor onze totale elektriciteit omschakeling naar duurzaam zijn in totaal 14.460 windturbines en 317.000 voetbalvelden voor zonnepanelen nodig. In januari 2021 stonden er op zee en land: 2610 windturbines. Voor onze totale energie omschakeling naar duurzaam zijn 100.000 windturbines en 2.240.000 voetbalvelden met zonnepanelen nodig.

Wat betreft het grondoppervlak van een kerncentrale geef ik u hierbij wat informatie over de 6 kerncentrales, die gevestigd zijn in Zaporizja aan de rivier de Dnjepr in Oekraïne



Figuur 8.

6 centrales 6000 MW: Zaporizja Nuclear Power Station Oekraïne.

Voor opwekking van 6000 MW zijn 6000 windturbines van 4 MW nodig: rendement van een 4MW turbine op land is slechts 25%.



Figuur 9. De regelkamer

De 6 kerncentrales beslaan een grondoppervlak van 135 ha = 200 voetbalvelden

Het doorgaan op dit onhaalbare en krankzinnige klimaatbeleid wordt de doodsteek van ons mooie Nederland.

Er is geen enkele reden om overhaast een energietransitie door te voeren. De energietransitie heeft als doel om de CO₂-uitstoot te verminderen, omdat CO₂ beschouwd wordt als de oorzaak van de opwarming van de Aarde. Bij de opwarming van de Aarde speelt CO₂ slechts een ondergeschikte rol. De grote schuldige blijft overigens wel de mens door het extreem kappen van bossen.

Uitspraak van Greenpeace: De goedkoopste en meest voor de hand liggende manier om de wereld voor een klimaatcrisis te behoeden, is stoppen met ontbossing.

Indonesië



Figuur 10.

Boskap of ontbossing heeft een directe invloed op het klimaat. De regencyclus raakt verstoord en er vindt een grotere opwarming van de bodem plaats. Er zijn wetenschappers die de oorzaak van de ondergang van de Mayacultuur in Mexico wijten aan een enorme boskap. In het jaar 950 verdween de eens zo machtige beschaving van de Maya's in een rap tempo. Onderzoeken wijzen erop dat extreme droogte ten gevolge van een massale boskap de ondergang van de Maya beschaving is geweest.

We moeten geduld hebben totdat de gesmolten-zout-kerncentrales volledig zijn uit ontwikkeld. Als we dit huidige beleid doorzetten dan zullen tussen 2040 en 2050 praktisch alle geplaatste windturbines vervangen moeten worden: een gigantische kostenpost qua aanschaf van nieuwe turbines en ontmanteling van de oude turbines!

Het is dus beter om te stoppen met het plaatsen van windturbines en zonneparken en rond 2040 te starten met het optuigen van kerncentrales. Bij de ingebruikname van de eerste kerncentrale kan een fossiele centrale gesloten worden.

Gegevens over de transitie naar gesmolten-zout-kerncentrales

8 miljard is de kostprijs per 1500 MW-centrale;
8 jaar bouwtijd;
6 centrales van 1500 MW of meerdere kleinere centrales zijn nodig om aan de totale elektriciteitsbehoefte te voldoen.
60 tot 80 jaar levensduur.

De transitiekosten elektriciteitsopwekking van fossiel naar duurzaam

Een 4 MW windturbine kost +/- € 6 miljoen.
14.460 windturbines, die nodig zijn voor elektriciteit opwekking kosten in totaal € 87 miljard.
De kosten van zonnepanelen zijn hierbij dan nog niet eens meegerekend.
6 kerncentrales van 1500 MW kosten in totaal € 48 miljard.
Wellicht dat voor de stroomopwekking de turbines en generatoren van de bestaande centrales nog bruikbaar zijn.

