

OP NAAR EEN SCHOON EN DUURZAAM ENERGIESYSTEEM

26 CRITERIA WAAR KERNENERGIE NIET AAN VOLDOET

Jan Haverkamp

WISE – senior expert kernenergie en energiebeleid

Februari 2021

Inleiding

Kernenergie is met populistische kracht teruggebracht in het Nederlandse energiedebat. Een aantal decennia heeft het daar niet echt een rol gespeeld, en met goede redenen. Dat wil overigens niet zeggen, dat de milieubeweging kernenergie uit het oog had verloren of kernenergie vanwege de één of andere ideologie buiten spel wenste te houden – kernenergie was absoluut geen taboethema. Kernenergie voldoet gewoonweg niet aan een aantal basale criteria die opgelegd behoren te worden aan technologieën in een duurzaam energiebeleid. Dat kernenergie niet aan deze criteria voldoet werd na de introductie van de eerste kerncentrales pas langzaam duidelijk. In de zeventiger jaren kristalliseerde dat echter in een gedegen kernenergiekritiek op technisch, economisch, sociaal en politiek niveau. In de laatste vijftig jaar is het de atoomindustrie niet gelukt deze problemen uit de weg te ruimen. Wel verschoven bepaalde manieren van kijken: sommige risico's werden tegengegaan door dure veiligheidsmaatregelen, zodat het probleem deels, maar nog steeds niet afdoende, verschoof van risico naar kosten.

Er wordt momenteel geargumenteed dat we bestaande kerncentrales langer open moeten houden om een verdere vergroting van het klimaatprobleem te voorkomen. Er wordt ook geargumenteed dat we nieuwe kerncentrales moeten bouwen om zo broeikasgasemissies te reduceren. Er wordt momenteel gewerkt aan een paar dozijn nieuwe kerncentraleontwerpen¹ die volgens de protagonisten van kernenergie wel de criteria voor een duurzame energievoorziening zouden vervullen. Deze ontwerpen hebben zich echter nog niet in de praktijk hebben bewezen.

Om te bepalen of kernenergie een rol kan, of zelfs zou moeten spelen in het toekomstig energiebeleid, moet het basale criteria van duurzaamheid vervullen.

Centraal in deze analyse staan begrippen als het “*do no harm*” principe ([EU Green Deal, par. 2.2.5.](#)), het *precautionary principle* ([Treaty on the Functioning of the European Union, art. 191](#)), en duurzaamheid (*sustainability*) volgens de gangbare definitie van het Brundtland rapport:

“*development which meets the needs of current generations without compromising the ability of future generations to meet their own needs*” ([WCED, 1987](#)). Op deze basis hebben we een serie criteria opgesteld waaraan energiebronnen zouden moeten voldoen om het label “duurzaam” te kunnen dragen. Voldoet een bron daar niet aan, dan is hij niet duurzaam. De lijst van criteria is in willekeurige volgorde en geeft geen prioriteit aan.

Uit de analyse blijkt duidelijk dat kernenergie aan geen enkele van deze criteria voldoet, en dat kernenergie in de toekomst ook hoogst waarschijnlijk nooit duurzaam kan worden toegepast.

In de tussentijd breiden zich andere, schone technologieën uit met een ongekennde snelheid. Kernenergie lijkt daarmee overbodig te zijn geworden en zeker voor de middellange termijn is iedere aandacht voor kernenergie een afleiding van de politieke en economische prioriteit die de invoering van echt schone technologieën nodig heeft om een klimaatkatastrofe effectief tegen te gaan.

¹ [Staatssecretaris Van Veldhoven 10-02-2021](#): “Wereldwijd zijn er ca. honderd nieuwe typen Small Modular Reactors in ontwikkeling: de U-battery van Urenco is er daar één van”

Over de auteur

Ir. Jan Haverkamp (1959) is afgestudeerd in biochemie en milieuwetenschappen met een zij-specialisatie in kernenergie. Hij werkt sinds de tachtiger jaren aan het onderwerp kernenergie, sinds 1999 voltijd. Tussen 1985 en 2017 heeft hij voornamelijk in Midden-Europa en Brussel gewerkt. Als senior expert kernenergie en kernenergiebeleid werkt hij momenteel voor de milieuorganisaties WISE en Greenpeace.

Duurzaamheidscriteria, waaraan kernenergie niet voldoet

A. Technische criteria

- a) Controleerbare en behandelbare grondstoffenwinning
- b) Duurzame grondstoffenexploitatie
- c) Lage uitstoot van broeikasgassen over de hele bedrijfsketen
- d) Uitsluiting van ongevallen met grootschalige gevolgen
- e) Beperking van de gevolgen van ongevallen tot een aanvaardbaar, lokaal niveau
- f) Inpassing in een totaal-energie-systeem
- g) Geen productie van afval waarvoor geen duurzaam beheer bestaat
- h) Geen mogelijk duaal gebruik voor militaire toepassingen
- i) Voldoende opschaalbaarheid om een duidelijke positieve invloed te hebben vanuit duurzaamheidszicht – het afdekken van een aanzienlijke taartpunt in het tegengaan van de klimaatkatastrofe

B. Economische criteria

- j) Transparante financierbaarheid
- k) Geen andere, meer effectieve, maatregelen economisch wegdrücken
- l) Bijdragend aan een systeem dat langdurig financieel stabiel kan functioneren
- m) Niet tot financiële machtsconcentraties leiden
- n) Geen financiële lasten doorschuiven naar volgende generaties
- o) Geen financiële lasten opleggen aan groepen die geen voordeel van de toepassing hebben
- p) Bijdragen aan een gezonde ontwikkeling van de arbeidsmarkt op lokaal, nationaal en internationaal niveau

Sociale en politieke criteria

- q) Vanwege de urgentie van de klimaatnoodtoestand, de ontwikkeling van meer effectieve technologieën niet hinderen
- r) Geen lasten doorschuiven naar volgende generaties
- s) Geen lasten doorschuiven naar groepen, regio's, landen die niet profiteren
- t) Democratiserend – niet tot machtsconcentratie leiden
- u) Democratiserend – niet tot grotere verschillen tussen arm en rijk leiden
- v) Democratiserend – grotere publieksdeelname aan besluitvorming niet tegenwerken
- w) Niet bijdragen aan militaire spanningen
- x) Verlaging van afhankelijkheid met betrekking tot brandstoffen, expertise en financiering uit het buitenland
- y) Transparantie tijdens de volledige keten van implementatie
- z) Voordelen bieden die niet door andere technologieën kunnen worden geboden

A. Technische criteria

a) Controleerbare en behandelbare grondstoffenwinning

- bestaande kernenergie – Uranium wordt gewonnen in 24 landen in Afrika, Australië, Azië, Europa en Zuid en Noord Amerika. Aan de ene kant worden mijnen gerund door grote bedrijven (bijv. Cameco, Uranium One), grote staatsbedrijven (Rosatom in Rusland, Kazatomprom in Kazachstan, Eldorado in Canada), door buitenlandse staatsbedrijven (Orano, Frankrijk), of door kleine, vrij oncontroleerbare mijnbouwbedrijven (e.g. Wild Horse Energy, Australië – actief in uraniumexploratie in Midden-Europa; Berkeley Energia, Australië – actief in Spanje). Europa koopt uranium gezamenlijk in via het Euratom-verdrag. Uraniumverrijking en brandstofproductie is in handen van een klein aantal bedrijven en landen (Voor Europa: Urenco, Nederland / Duitsland / VK; Westinghouse, US / Zweden; Orano, Frankrijk; TVEL / Rosatom, Rusland; JNFL, Japan). Het aanbod van verschillende bedrijven is niet altijd uitwisselbaar.
- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – Zie bestaande kernenergie.
- nieuwe ontwerpen – Afhankelijkheid van een beperkt aantal landen en bedrijven voor de beschikbaarheid van uranium, thorium en gefabriceerde brandstof blijft ook met het gebruik van nieuwe ontwerpen een belangrijke factor.
- het alternatief – Door hun gedecentraliseerde toepassing zijn de meeste energieëfficiëntietechnologieën en hernieuwbare energiebronnen en de daarbij behorende systemen (transmissie, opslag) minder afhankelijk van bepaalde aanbieders of landen. Voor een aantal grondstoffen bestaat wel afhankelijkheid van een klein aantal aanbieders – hiervoor worden technische alternatieven ontwikkeld (bijvoorbeeld voor het grootschalige gebruik van lithium en kobalt).

b) Duurzame grondstoffenexploitatie

- bestaande kernenergie – Uraniummijnbouw heeft uitgebreid gedocumenteerde grote gevolgen voor mens en milieu.² Dit varieert van grootschalige vergiftiging van grond- en oppervlaktewater met mijnbouwtailings, verspreiding van radioactieve stof en gecontamineerde materialen binnen het menselijk leefmilieu (Akokan, Niger, etc.), tot grootschalige mensenrechtenschendingen (Kazachstan, Niger, Mali, VS, Canada, Australië, (voormalig) Oost-Duitsland, Tsjechië).
- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – Uranium is een beperkte grondstof. Bij gelijk gebruik van kernenergie als op het moment (ongeveer 400 GWe) zonder hergebruik in snelle kweekreactoren is de beschikbaarheid van winbare reserves ongeveer 90 jaar.³ Een nieuwe kerncentrale wordt geacht 60 jaar in bedrijf te zijn. Met minstens 10 jaar bouwtijd, betekent dat dat nieuwe centrales problemen kunnen gaan krijgen met de levering van voldoende uranium. Verbetering in de negatieve gevolgen van uraniummijnbouw drukt de beschikbaarheid verder naar beneden.
- nieuwe ontwerpen – Snelle kweekreactoren en het gebruik van thorium als brandstof zouden de beschikbaarheid van uranium met honderden jaren kunnen verlengen. Echter, de mijnbouwgevolgen en afhankelijkheid van een beperkt aantal landen worden daarbij niet direct verbeterd.

2 Biegert, Claus, Horst Hamm (eds.), *Uranium Atlas – Facts and Data about the Raw Material of the Atomic Age*, Berlin (2020), Rosa Luxemburg Stiftung, Nuclear Free Future Foundation, Beyond Nuclear, IPPNW; https://www.rosalux.de/fileadmin/rls_uploads/pdfs/sonst_publicationen/UraniumAtlas_2020.pdf

3 <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium.aspx>

- het alternatief – Voor verhoogde energie-efficiëntie en het gebruik van duurzame energiebronnen is ook mijnbouw nodig. Bij een deel daarvan komen ook radioactieve en anders toxische stoffen in het milieu, voor een aantal stoffen vindt mijnbouw plaats in een klein aantal landen, en een aantal stoffen is ook beperkt beschikbaar. Technieken voor recycling bestaan voor de meeste van deze stoffen en zijn minder vervuילend dan opwerking van gebruikt uranium en plutonium. Voor andere stoffen worden alternatieven ontwikkeld. In vergelijking met alternatieve bronnen is uraniummijnbouw niet duurzaam.

c) Lage uitstoot van broeikasgassen over de hele bedrijfsketen

- bestaande kernenergie – Schattingen van emissies van kernenergie lopen uiteen van 3.7 tot 110 gCO₂eq/kWh.⁴ Lage schattingen zijn echter meestal gebaseerd op niet-transparante industriestudies en de mediane waarde van 12 gCO₂eq/kWh in het AR5 van het IPCC is daarom een onderschatting. De meeste emissies vinden plaats tijdens de bouw van kerncentrales, de productie van brandstof (mijnbouw, verrijking, brandstofproductie) en afvalfase (opwerking). Wanneer de uraniumerts kwaliteit sterk gaat afnemen, nemen de emissiewaarden van kernenergie toe.
- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – Zie bestaande kerncentrales.
- nieuwe ontwerpen – Het is de verwachting dat de uitstoot van nieuwe ontwerpen kerncentrales vergelijkbaar blijven met wind- en zonne-energie.
- het alternatief – Waterkracht, windenergie en zonne-energie scoren vergelijkbaar met kernenergie zolang er nog uraniumerts van redelijke kwaliteit beschikbaar is.

d) Uitsluiting van ongevallen met grootschalige gevolgen

- bestaande kernenergie – De kans op ongevallen neemt bij verouderende kerncentrales toe met de leeftijd, ondanks investeringen in verbeteringen. Hoewel de kans op een groot ongeval in bestaande kerncentrales heel klein wordt ingeschat (eens in de 10.000 reactorjaren voor een kernsmelting) hebben we al vijf kernsmeltingen met aanzienlijke uitstoot van radioactieve stoffen meegemaakt in de 70 jaar dat kernenergie bestaat (Three Mile Island 2, USA - 1979; Tsjernobyl 4, Sovjet Unie - 1986; Fukushima 1,2,3 - 2011), en een twee dozijn incidenten waarbij kernsmelting is opgetreden zonder dat radioactieve stoffen in aanzienlijke hoeveelheden zijn uitgetreden. Daarnaast hebben zware ongelukken plaatsgevonden in opwerkingsfabrieken in Rusland (Mayak, 1957) en Engeland (Windscale / Sellafield, 1957). Dit heeft geleid tot evacuatie van honderduizenden omwonenden, enorme sociale en gezondheidsgevolgen en duizenden vroege sterfgevallen door straling en sociale disruptie. De kans op toekomstige ongevallen wordt geprobeerd met verbeteringen zo klein mogelijk te houden, maar kan niet worden uitgesloten.
- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – Bij nieuwe kerncentrales van de generatie III en III+ is de theoretische kans op een zwaar ongeval verder teruggedrongen (kleiner dan eens in de 100.000 reactorjaren), maar kan nog steeds niet worden uitgesloten. Deze schattingen zijn bovendien grotendeels gebaseerd op *engineers estimates*, vooral daar waar het niet-technische factoren geldt (e.g. menselijk gedrag). De kans op zware ongevallen door kwaadwillig gedrag (sabotage, terroristische aanslagen, oorlogshandelingen) kan vrijwel niet worden ingeschat.

4 Schlömer Steffen e.a., *Annex III: Technology-specific cost and performance parameters. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2014 (Cambridge, UK and NY, USA) Cambridge University Press; https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf – Table A.III.2, Emissions of selected electricity supply technologies.

- nieuwe ontwerpen – Veel van de voorgestelde nieuwe ontwerpen kerncentrales zijn kleine versies van de al bestaande ontwerpen en hebben vergelijkbare risico's voor een ongeval waarbij grotere hoeveelheden radioactieve stoffen in het milieu kunnen komen. De hoeveelheid van deze stoffen is in dat geval wel kleiner dan bij grote reactoren. Een aantal andere ontwerpen heeft de mogelijkheid van kernsmelting uitgesloten. De kans op andere ongevallen waarbij een deel van de geconcentreerde hoogradioactieve inhoud in het milieu kan komen blijft echter bestaan, zoals als gevolg van moedwillige sabotage, terroristische aanslag of oorlogshandelingen. Omdat deze reactoren veelal kleiner zijn, moet het aantal reactoren wereldwijd sterk toenemen om een vergelijkbare hoeveelheid elektriciteit op te wekken, en daarmee neemt de kans weer toe dat zo'n ongeluk kan plaatsvinden.
- het alternatief – Hoewel er ook ongevallen kunnen gebeuren bij hernieuwbare energiebronnen (denk aan brand in een windturbine, mensen die naar beneden vallen bij het aanbrengen van zonnecellen op een dak), hebben deze bronnen niet het risico van een ongeval met de noodzaak tot massa-evacuaties en grootschalige blootstelling aan straling. Energieëfficiëntiemaatregelen en hernieuwbare energiebronnen kunnen bij gebruik ook geen zeer langdurige (decennia- tot eeuwenlange) negatieve milieugevolgen veroorzaken. Het is verder makkelijker maatregelen te nemen ter voorkoming van ongevallen.

e) **Beperking van de gevolgen van ongevallen tot een aanvaardbaar, lokaal niveau**

- bestaande kernenergie – Er zijn heel veel maatregelen genomen om te voorkomen dat een groot ongeval bij een kerncentrale plaatsvindt, en iedere keer als er ergens ter wereld een serieus incident met een kerncentrale plaatsvindt, leidt dit tot aanvullende maatregelen bij iedere vergelijkbare reactor. Bovendien worden veiligheidsmaatregelen regelmatig geëvalueerd en verbeterd. De meeste incidenten hebben daarom ook kleine, veelal aanvaardbare gevolgen voor de omgeving. Dit is echter één van de belangrijkste redenen achter de hoge kosten van kernenergie. Daarnaast moeten er bij iedere kerncentrale rampenplannen zijn en op een afdoende niveau getest worden om in het geval van een zwaar ongeluk de gevolgen te beperken. Recent onderzoek voor Europese Commissie heeft laten zien dat hier nog veel aan schort – op papier lijkt alles redelijk in orde, maar in de praktijk is het vrijwel zeker dat bij een zwaar ongeval een uiterst chaotische reactie zal komen.⁵
- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – Zie bestaande kernenergie.
- nieuwe ontwerpen – Omdat nieuwe ontwerpen kerncentrales nog niet zijn gebouwd (en dat de komende 20 jaar ook niet op enige schaal te verwachten zijn), is er weinig bekend over de mogelijke gevolgen van zware ongevallen met deze centrales. Er zijn plannen om kleine centrales dichtbij grote dichtbevolkte gebieden te plaatsen (bijvoorbeeld voor wijkverwarming). Hierdoor neemt het risico van lokale gevolgen toe.
- het alternatief – Bestaande planningsmaatregelen voorkomen grote gevolgen van ongevallen met hernieuwbare energiebronnen als zonnecellen en windturbines.

f) **Inpassing in een totaal-energie-systeem**

- bestaande kernenergie – Nederland heeft een doelstelling om in 2030 70% van zijn elektriciteitsbehoefte te voorzien met hernieuwbare energiebronnen en fossiele bronnen in 2050 helemaal uit de elektriciteitssector te hebben uitgefaseerd. De bestaande kerncentrale Borssele speelt daarin een marginale rol van minder dan 4% de huidige

5 Zie ondermeer: <http://www.nuclear-transparency-watch.eu/wp-content/uploads/2015/12/NTW-EPR-position-12-2015-EN.pdf>

elektriciteitsproductie. Doordat deze oudste kerncentrale van de EU al een hoge leeftijd heeft, is het waarschijnlijk dat deze in de komende jaren toenemend zal uitvallen. Bij iedere ongeplande uitval verdwijnt binnen minuten 485 MW van het netwerk, dat door andere bronnen moet worden opgevangen.

Bij toenemend gebruik van variabele energiebronnen als wind en zon in het elektriciteitsnetwerk, zal er ook toenemend een noodzaak ontstaan om niet-variabele bronnen te modereren of zelfs af te schakelen. Daardoor neemt de economische efficiëntie van Borssele nog verder af.

- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – Ook nieuwe kerncentrales hebben grote investeringskosten tegenover relatief lage operationele kosten (zij het nog altijd veel hoger dan bij hernieuwbare bronnen). Verschillende studies hebben al laten blijken dat zulke kerncentrales onder normale marktvoorwaarden geen economische rol kunnen spelen. Deze rol wordt zelfs verder onhoudbaar als ze niet met voorrang toegang tot het netwerk hebben en met uitzondering van geplande brandstofwisseling en onderhoud 24/7 stroom kunnen leveren.⁶ Hoewel er wordt verwacht dat deze ontwerpen minder ongeplande uitval hebben (er worden *load factors* van boven 90% voorspeld, waar die van huidige kerncentrales tussen 80 en 85% liggen), zal iedere ongeplande uitval een groter effect hebben op het netwerk doordat deze centrales met 1000 tot 1658 MW veel groter zijn dan Borssele.
- nieuwe ontwerpen – Gezien de vergelijkbare kosten als nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen⁷ zal inpassing van deze centrales de totaalkosten van het elektriciteitssysteem onnodig omhoog drukken. Zelfs wanneer surplus elektriciteit wordt ingezet voor sowieso al dure waterstofproductie, betekent introductie van dure stroom in de mix dat de prijzen van waterstof nog verder zullen stijgen en de toepasbaarheid daarvan verder zullen bemoeilijken. Omdat nieuwe reactorontwerpen pas op de markt komen wanneer Nederland al veel meer dan 70%, of zelfs meer dan 90% van zijn stroom uit goedkopere hernieuwbare bronnen haalt, is dit kostenaspect zelfs nog nijpender.
- het alternatief – De ruggengraat van de Nederlandse stroomvoorziening wordt in de komende decennia gevormd door variabele stroombronnen als wind- en zonne-energie. Dit wordt aangevuld met niche-toepassingen voor andere bronnen als duurzame biomassa, waterkracht en mogelijk getijden- en andere zee-energievormen. De stabiliteit van het netwerk zal worden gegarandeerd door overcapaciteit, im- en export van elektriciteit, verschillende opslagvormen, vraag-management en het gebruik van duurzaam biogas en kleinere hoeveelheden groene waterstof.

g) Geen productie van afval waarvoor geen duurzaam beheer bestaat

- bestaande kernenergie – Borssele produceert per jaar 1,5 m³ hoog- en 1,5 m³ middel radioactief afval en 70 m³ laagradioactief afval. Voor het hoog en middel radioactief afval bestaat geen technologie die dit gegarandeerd veilig voor honderduizenden jaren uit het milieu kan houden. Let wel, het gaat hier bij Borssele om 1,5 m³ hoograadioactief afval als overblijfsel van opwerking – dat is verglaasd afval dat niet, op geen enkele manier, kan worden hergebruikt, ook niet in mogelijke toekomstige nieuwe reactorontwerpen. Eventueel bruikbaar uranium en plutonium zijn daar al uitgehaald. Bij

6 Zie bijvoorbeeld: Kerkhoven John, Rob Terwel, Tuuli Tiihonen, Bert den Ouden, *Systeemeffecten van nucleaire centrales in Klimaatneutrale Energiescenario's 2050*, Utrecht (2020) Berenschot / Kalavasta https://www.berenschot.nl/publish/pages/8627/systeemeffecten_van_nucleaire_centrales_in_klimaatneutrale_energiescenario_s_2050.pdf

7 OECD IEA, NEA, *Projected Costs of Generating Electricity - 2015 Edition*, pag. 159: "In terms of generation costs, generation IV technologies aim to be at least as competitive as generation III technologies [...] though the additional complexity of these designs [...] will make this a challenging task."

opwerking in La Hague in Frankrijk worden nog eens enorme hoeveelheden middel en laag radioactief afval geproduceerd die in Frankrijk blijven, alsook opgewerkt uranium en plutonium, waarvan alleen de laatste voor een klein deel in Borssele wordt hergebruikt, dat daarna met de huidige opwerkingstechnologie niet verder kan worden opgewerkt en als onbruikbaar hoog radioactief afval overblijft.

Stillegging van Borssele zou de hoeveelheid afval bevrozen en het mogelijk maken een op de één of andere manier acceptabele verwerking te ontwikkelen. Momenteel wordt het afval van kernenergieproductie in Nederland tijdelijk opgeslagen bij COVRA voor meer dan 100 jaar, en Nederland werkt nauwelijks aan plannen wat daarna met dit afval te doen.

- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – Deze centrales produceren door hun grotere omvang ook grotere hoeveelheden radioactief afval.
- nieuwe ontwerpen – Die nieuwe ontwerpen die gebaseerd zijn op de huidige kokend- en drukwaterreactoren leveren dezelfde hoeveelheden problematisch radioactief afval op. Een aantal andere reactorontwerpen leveren kleinere hoeveelheden hoogradioactief afval en een grotere hoeveelheid korterlevende isotopen (die echter nog wel honderden jaren buiten het milieu moeten worden gehouden en in het begin veel radioactiever zijn). Een aantal ontwerpen kan een deel, maar niet alles(!), van het opgewerkte uranium en plutonium gebruiken als brandstof en omzetten in korterlevende isotopen. Daarbij blijft echter nog steeds hoogradioactief afval ontstaan en de benodigde opwerkingsprocessen voor en na het gebruik van de brandstof voor deze reactoren levert enorme hoeveelheden laag radioactief afval op dat ook meerdere generaties uit het milieu moet worden gehouden.
Nieuwe ontwerpen lossen het radioactief afvalprobleem daarom ook niet kwalitatief op.
- het alternatief – Ook bij de productie en afbraak van hernieuwbare energiebronnen, opslagsystemen en energie-efficiëntie-technieken komt problematisch, vooral toxisch afval vrij. Hergebruik en herwinning van deze stoffen is echter een stuk eenvoudiger dan opwerking van radioactief afval.

h) Geen mogelijk duaal gebruik voor militaire toepassingen

- bestaande kernenergie – Omdat Nederland heeft gekozen voor opwerking van kernbrandstof, wordt in Frankrijk het plutonium dat in de kerncentrale Borssele ontstaat er uitgehaald. Dit plutonium kan theoretisch weer in een kerncentrale als brandstof gebruikt worden, maar het overgrote deel blijft momenteel in Frankrijk in afwachting van verder gebruik of uiteindelijke opslag in één of andere vorm. Dit materiaal kan ook gebruikt worden voor kernwapens.
Nederland is verder één van de drie eigenaars van de verrijkingsfabriek Urenco met een vestiging in Almelo. Deze verrijkingstechnologie (ultracentrifuges) kan ook worden gebruikt voor het verrijken van uranium tot een niveau dat het voor kernwapens kan worden gebruikt – Pakistan heeft uraniumbommen geproduceerd met technologische kennis uit Almelo.
Daarnaast produceert Urenco verarmd uranium. Tot 2009 verscheepte het dat naar Rusland, waar het werd opgeslagen in containers in de open lucht. Sinds 2017 exporteert Urenco's Duitse vestiging in Gronau weer verarmd uranium naar Rusland. Dit verarmd uranium kan daar gebruikt worden voor het kweken/broeden van plutonium in één van de twee snelle kweekreactoren van Rusland. Het kan ook worden gebruikt als bepantsering en voor de productie van zogenaamde uranium anti-pantser bewapening, waarbij het uiterst dichte en brandbare uraniummetaal wordt ingezet om door staal en beton door te dringen.
- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – Zie bestaande kernenergie.

- nieuwe ontwerpen – Voor die nieuwe ontwerpen die zijn gebaseerd op de bestaande kokend- en drukwaterreactoren gelden dezelfde argumenten als bij bestaande kernenergie. Voor andere ontwerpen is het proliferatierisico zelfs nog hoger. Omdat bij de meeste ontwerpen opwerkingstechnologie (geavanceerde chemie) moet worden bijgeleverd om de brandstofketen op gang te houden, krijgen landen ook de mogelijkheden in handen om verschillende stoffen uit de brandstof te isoleren. Dat betekent bij een aantal ontwerpen, dat landen zelf de mogelijkheden krijgen om plutonium uit de brandstof te verwijderen. Thorium-reactoren hebben verder de mogelijkheid om proactinium-233 te isoleren en dat in zuivere vorm te laten vervallen tot zuiver uranium-233 dat ook voor bommen kan worden gebruikt. Daarnaast wordt in veel van de nieuwe ontwerpen HALEU brandstof gebruikt (High-Assay Low-Enriched Uranium, oftewel rond 20% verrijkt uranium). Dit uranium kan waarschijnlijk al voor kernwapens gebruikt worden, maar ook de drempel tot een iets hogere verrijking voor gebruik in wapens (boven de 20%) wordt met toegang tot deze grondstof verlaagd.
- het alternatief – Een hernieuwbaar energiesysteem levert geen nieuwe mogelijkheden voor militair gebruik dan er nu al bestaan – inderdaad, ook legers gebruiken zonnecellen en windmolens voor elektriciteitsproductie.

i) Voldoende opschaalbaarheid om een duidelijke positieve invloed te hebben vanuit duurzaamheidszicht – het afdekken van een aanzienlijke taartpunt in het tegengaan van de klimaatkatastrofe

- bestaande kernenergie – Zowel op wereldschaal als in Nederland levert kernenergie maar een marginale hoeveelheid elektriciteit, minder dan 4%. Borssele draait op het moment met verlies voor zijn aandeelhouders PZEM en RWE, en in plaats van dat financiële gat op te vullen zou het veel effectiever zijn om Borssele te sluiten en het geld te besteden aan de ontwikkeling van goedkopere hernieuwbare energiesystemen. Borssele kan zonder al te grote invloed op de Nederlandse broeikasgasemissies direct gesloten worden.
- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – Scenario's uitgewerkt door de wereldwijde nucleaire lobbyorganisatie WNA en door de kernenergiepromotiearm van de OECD, de Nuclear Energy Agency (NEA) mikken op een verdubbeling of meer van de kernenergiecapaciteit in 2050. Zo'n verdubbeling zou tot minder dan 4% broeikasgasreductie leiden in een jaar waar we al 100% moeten hebben teruggedrongen. Kortom, zelfs in dat geval is de bijdrage van kernenergie marginaal. Op het moment komen er tussen de drie en tien nieuwe reactoren on-line per jaar, vooral in China. Voor zo'n verdubbeling zouden zo'n 35 nieuwe grote kerncentrales (van 1 GWe) per jaar aan het net moeten worden gebracht. Vanaf nu, ieder jaar tot aan 2050. Dat is puur technisch volstrekt onmogelijk. Het is ook niet mogelijk om de productiecapaciteit voor de bouw van kerncentrales zodanig op te voeren dat we in 20 jaar bijvoorbeeld 70 of meer reactoren kunnen produceren. Daarvoor zou een ongeëvenaarde opbouw van capaciteit voor grote reactoronderdelen nodig zijn die alleen vergeleken kan worden met de verandering van de industriële capaciteit in de Tweede Wereldoorlog. Daarbij hebben we het nog niet over de noodzakelijke toename van uraniummijnbouw, verrijking, opwerking en afvalopslag. En dat alles voor minder dan 4% broeikasgasemissievermindering...
- nieuwe ontwerpen – Bij nieuwe ontwerpen kerncentrales is het probleem van opschaling nog veel groter. Ze bestaan vooralsnog alleen nog maar op papier. Voordat de eerste commerciële reactoren op de markt zouden kunnen verschijnen, is het al 2035. Omdat het om relatief kleine reactoren gaat (ongeveer 1/10 tot een derde van de huidige reactoren) zouden er dan in de resterende 15 jaar duizenden moeten worden

geproduceerd om een vergelijkbare minder dan 4% broeikasgasemissievermindering te krijgen in 2050.

- het alternatief – De groei van hernieuwbare energiebronnen vertoont een opgaande lijn. China verwacht in 2030 vier keer zoveel stroom uit wind en zon te halen dan uit kernenergie. Het opschalen van hernieuwbare energiebronnen blijkt ieder jaar weer de voorspellingen te overtreffen. Verschillende landen betrekken nu al meer dan de helft van hun stroom uit hernieuwbare bronnen en passen hun systeem aan aan een 100% hernieuwbaar systeem in de komende twee decennia. Hernieuwbare bronnen schalen ook sneller op dan kernenergie en leveren al binnen 3 jaar na de start van een project energie. Kerncentrales pas na 5 tot 17 jaar.

B. Economische criteria

j) Transparante financierbaarheid

- bestaande kernenergie – Kernenergie heeft geen goede reputatie wat betreft de transparantie omtrent financiering. De eerste generaties kerncentrales werden gebouwd in tijden waarin elektriciteitsvoorziening een staatsopgave was, met staatsenergiebedrijven, staatsonderzoekbudgetten uitgegeven door staatsonderzoeksinstituten. Een deel van het kernenergieonderzoek maakte bovendien ook deel uit van militair nucleair onderzoek.⁸ Bestaande kerncentrales worden voor hun potentiële bijdrage in de toekomst voornamelijk bekeken op grond van hun lopende organisatie en managementkosten (O&M) en noodzakelijke upgrades voor levensduurverlenging. Omdat in de meeste landen, incl. Nederland, kerncentrales zijn geprivatiseerd is het niet mogelijk om een volledig beeld van de situatie te krijgen. Borssele (EPZ), als voorbeeld, draait een kleine winst ten bate van zijn twee aandeelhouders PZEM en RWE. Die, echter, draaien al een aantal jaren een behoorlijk verlies op het doorverkopen van de tegen een vastgesteld winstgevend tarief ingekochte stroom van EPZ. WISE heeft becijferd dat dit verlies jaarlijks rond de 50 miljoen Euro bedraagt.⁹ Ook wat betreft noodzakelijke investeringen voor een langere levensduur is het moeilijk exacte gegevens op tafel te krijgen. Het resultaat is dat uiteindelijk de staat wordt aangekeken om verliezen te dekken. Dit gebeurt op vrij grote schaal in de VS, waar staten subsidies geven om kerncentrales open te kunnen houden. In Nederland hebben EPZ, PZEM en RWE verschillende middelen gebruikt om via de publieke sector de verliezen te dekken. Naast deze operationele problemen met transparantie over financierbaarheid zijn er nog die rondom aansprakelijkheid en afbraak- en radioactief-afval-behandelings-kosten. Nederland kent voor EPZ een maximum van 1,2 miljard Euro aansprakelijkheid, met een top-up van de staat van 2,3 miljard Euro.¹⁰ Ter illustratie: het eerste jaar na Fukushima was zo'n 85 miljard Euro aan cashflow nodig voor compensaties en maatregelen. Voor afbraak en radioactief afval wordt geld afgedragen aan de COVRA tegen een contractueel vastgelegd tarief. Dit moet transport, verwerking, tijdelijke opslag en uiteindelijke opslag van het radioactief afval financieren, als ook kosten voor onderzoek sinds 2015. COVRA – een 100% staatsbedrijf – wordt de nieuwe eigenaar van het afval, zodat alle financiële risico's bij de staat liggen.
- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – Financiering van nieuwe kerncentrales is een enorm probleem. Bij Olkiluoto 3 in Finland werd het grootste deel van de risico's voor constructiekosten via een *turn-key* contract bij het Franse Areva gelegd, terwijl de Finse eigenaar TVO een groot deel van de verliezen door te late oplevering moet dekken. Areva was destijds een staatsbedrijf dat onder meer door de verliezen bij dit project bankroet ging. Het bedrijf werd opgedeeld in een winstgevend brandstof en afvalbedrijf (Orano) en het verliesgevende ontwerp- en constructiebedrijf

8 Zie ondermeer de uitgebreide analyse van het Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung DIW: Wealer, Ben, Simon Bauer, Leonard Göke, Christian von Hirschhausen, Claudia Kemfert, *High-priced and dangerous: nuclear power is not an option for the climate-friendly energy mix*, Berlin (2019) DIW; https://www.diw.de/de/diw_01.c.670590.de/publikationen/weekly_reports/high_priced_and_dangerous_nuclear_power_is_not_an_option_for_the_climate_friendly_energy_mix.html

9 Brinkman, Gerard, *Hoe groot is het verlies van Borssele?*, Amsterdam (2020) WISE; <https://wisenederland.nl/hoe-groot-is-het-verlies-van-borssele/>

10 OECD-NEA, Nuclear Operators' Third Party Liability Amounts and Financial Security Limits (updated: October 2020), Paris (2020); https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_31866/table-on-operator-liability-amounts-and-financial-security-limits-non-official-updated-october-2020

Framatom werd ondergebracht bij het staatsbedrijf EdF. Een uitgekleed Areva (bestaande uit Framatom en Siemens) bleef verantwoordelijk voor Olkiluoto 3. Het is daardoor bijna onmogelijk te bepalen hoeveel Franse en Finse consumenten uiteindelijk betalen voor de stroom uit deze kerncentrale. In het geval van Flamanville 3 in Frankrijk was EdF de hoofdconstructeur en eigenaar, en moet dus ook de verliezen bij de bouw van deze centrale (kostenstijging van 3,1 miljard Euro naar, volgens de Franse nationale Rekenkamer, over de 19 miljard Euro) zelf dragen. Dat wil zeggen dat die gedragen worden door de Franse (en Engelse, Poolse en andere) elektriciteitsconsumenten van EdF en de Franse belastingbetaler. Ook hier is volstrekt onduidelijk wie welke verliezen draagt. De bouw van de kerncentrales Mochovce 3 en 4 in Slowakije is ook zeer veel duurder uitgevallen dan gepland, en die kosten moeten voornamelijk worden gedekt door de Italiaanse aandeelhouder ENEL, en voor een kleiner deel door het Tsjechische EPH en de Slowaakse staat. ENEL trekt zich zes maanden na het opleveren van de kerncentrale terug uit eigenaar Slovenske Elektrarne (SE), zodat verdere risico's bij EPH en de Slowaakse staat blijven. In het VK werden de financiële risico's van de bouw van Hinkley Point C afgedekt door een vaste bouwprijs (*turn-key*, risico bij EdF), een gegarandeerde leveringsprijs van elektriciteit (CfD of *cost for difference*) van 123 EUR/MWh¹¹ voor een looptijd van 35 jaar, en een leengarantie van de Britse staat voor een aanzienlijk deel van de bouwkosten. Ook nam de Britse staat het volledige risico van verlies op zich, mocht er op politieke gronden een vroegtijdig einde aan dit project komen. De risico's van dit nu op 24 miljard pond ingeschatte project zijn echter zo groot voor alle deelnemers, dat dit systeem is losgelaten voor toekomstige projecten in Sizewell, Bradwell, Angelsey / Wylfa, Moorside en anderen. Daar kijkt men nu naar een mogelijkheid om de kosten gedeeltelijk te verhalen op de elektriciteitsconsument voordat aan de bouw wordt begonnen (het RAB-systeem).

In Hongarije is het project Paks II volledig in handen van de staat die ook het volledige risico draagt.

Tsjechië, Polen, Roemenië en Bulgarije zijn op zoek naar andere financieringsmechanismen, maar het blijkt vrijwel onmogelijk om de risico's zo te verdelen dat niet een groot deel daarvan op de staat blijft leunen.

De trend van toename van kosten is, als men kijkt naar de bouwkosten per geïnstalleerde megawatt vermogen, stijgend van Olkiluoto 3, naar Flamanville 3, Voigtle (VS) en Hinkley Point C, en er zijn geen aanwijzingen dat deze trend met Sizewell C (VK) of Paks II (HU) wordt doorbroken.

Onduidelijkheid over kosten van aansprakelijkheid, afbraak en afvalverwerking zullen bij deze ontwerpen blijven bestaan.

- nieuwe ontwerpen – Vooral nog worden deze ontwerpen aanbevolen als uiterst goedkoop, passend in de markt, terwijl serieuze analyses laten zien dat de kosten vergelijkbaar zullen zijn met die van de huidige in aanbouw zijnde generatie III reactoren.¹² Met als uitzondering de met 9000 EUR/MWe uitermate dure drijvende 2x35 MWe Russische kerncentrale Akademik Lomonosov, zijn er nog geen kleine reactoren op de markt.

11 Berekend van €92,50 in 2012 prijzen met officiële inflatiecorrectie (15,22%) in februari 2021 Euro.

12 OECD NEA, Projected Costs of Generating Electricity 2015 Edition, Paris (2015); https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_14756/projected-costs-of-generating-electricity-2015-edition; page 159: "In terms of generation costs, generation IV technologies aim to be at least as competitive as generation III technologies [...] though the additional complexity of these designs, the need to develop a specific supply chain for these reactors and the development of the associated fuel cycles will make this a challenging task."

- het alternatief – De kosten van hernieuwbare energiebronnen blijven dalen, en leveren LCOE uitkomsten op die ruim onder die van kernenergie liggen.¹³ Deze kosten zijn inclusief afvalfase en er zijn weinig onzekerheden over de input-data. Inpassing van kernenergie in een systeem dat gebaseerd is op hernieuwbare energiebronnen leidt in alle gevallen tot hogere kosten.¹⁴

k) Geen andere, meer effectieve, maatregelen economisch wegdrücken

- bestaande kernenergie – Landen met een duidelijke keuze voor de huidige vloot kerncentrales als Frankrijk, België, Finland, Tsjechië en Slowakije laten een achterstand zien in de introductie van hernieuwbare energiebronnen en energie-efficiëntie. Zelfs bij afgeschreven kerncentrales blijkt momenteel dat de kosten steeds vaker te hoog zijn om nog met de markt mee te kunnen draaien. De reden daarvoor zijn lage elektriciteitsinkoop-prijzen, die worden bepaald door de marginale kosten van de goedkoopste aanbieder. In de VS heeft goedkoop fracking-gas kerncentrales uit de markt gedrukt, maar in toenemende mate is het de dalende prijs van hernieuwbare energiebronnen die de business case van bestaande kerncentrales ondermijnt. In verschillende staten krijgen kerncentrales daarom verschillende vormen van staats-steun: directe subsidies, capaciteitsmarkt aanpassingen, gereguleerde (hoge) prijzen met gegarandeerde afzet. Een deel van deze hogere bedrijfskosten is te wijten aan lagere beschikbaarheid van verouderende kerncentrales, deels ook aan het uitvoeren van verbeteringen om risico's te verkleinen en te blijven voldoen aan de bestaande veiligheidscriteria. In een aantal gevallen, bijvoorbeeld in Frankrijk, worden veiligheidscriteria ook aangepast aan nieuwe inzichten in risico's en worden verouderende kerncentrales geacht vergelijkbaar veilig te worden gemaakt als nieuwe kerncentrales, voordat ze toestemming krijgen langer dan 40 jaar in bedrijf te mogen blijven.

In Nederland wordt op het moment het argument van levensduurverlenging van de Borssele kerncentrale opgevoerd in discussies over de introductie van wind- en zonne-energie. Zonder dat hierbij wordt meegenomen dat de Borssele kerncentrale zijn aandeelhouders al verliezen bezorgt, en dat het risico van een verouderende kerncentrale toeneemt met de tijd. Dit laatste kan gedeeltelijk worden tegengegaan met verdergaande technische maatregelen, die echter de kosten weer opdrijven. Het verlies van Borssele wordt ondermeer veroorzaakt door de rond 100 miljoen Euro investeringen die zijn gedaan voor LTO (*Long Term Operation*) en in antwoord op de Fukushima-ramp. Borssele draait op het moment verlies voor zijn aandeelhouders PZEM en RWE, die elektriciteit inkopen voor een vaste prijs (de tolprijs) van rond de 45 Euro/MWh, waarmee de eigenaar EPZ de verliezen van de kerncentrale (het maakt ook nog winst uit wind- en zonne-energie) in de hand weet te houden. Het verlies van PZEM en RWE, die deze elektriciteit op een markt moeten verkopen met een gemiddelde prijs van rond de 40 Euro/MWh, belooft tientallen miljoenen per jaar.

Al deze verliesfinanciering leidt af van investeringen in goedkopere en betere alternatieven.

- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – In Finland, Frankrijk en Slowakije zien we duidelijk dat de vertraagde bouw van Olkiluoto 3, Flamanville 3 en Mochovce 3,4 de ontwikkeling van een energiestrategie gebaseerd op uiteindelijk 100% hernieuwbare bronnen in de weg zit. In deze drie landen bleven investeerders lang

13 LCOE = Localised Cost of Electricity. Zie: Lazard, Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis, Version 14.0, New York (2020); <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-and-levelized-cost-of-storage-2020/>

14 Kerkhoven, John, Rob Terwel, Tuuli Tiihonen, Systemeffecten van nucleaire centrales, in Klimaatneutrale Energiescenario's 2050; Rotterdam (2020) Kalavasta / Berenschot; <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2020/03/09/systemeffecten-van-nucleaire-centrales-in-klimaatneutrale-energiescenario's-2050/Systemeffecten+van+nucleaire+centrales.pdf>

huiverig voor de hernieuwbare markt met het oog op het op de markt komen van deze nieuwe kerncentrales. Het is ook duidelijk dat in landen met min of meer serieuze discussies over nieuwe kerncentrales, zoals Nederland, Polen, Tsjechië, dit tegenover de ontwikkeling van hernieuwbare bronnen wordt gezet, waarbij een mythe over kernenergie wordt opgebouwd. In Nederland wordt de bouw van nieuwe kerncentrales actief ingezet, vaak via gemeentes en provincies, in discussies over Regionale Energie Strategieën (RES) om investeringen in wind- en zonne-energie af te remmen – vaak op basis van NIMBY-argumentatie (*Not In My Back Yard*).

- nieuwe ontwerpen – Thorium en SMRs worden als argument ingezet om een rem op de ontwikkelingen van wind- en zonne-energie te zetten in de RES in provincies als Overijssel, Noord Brabant, Noord Holland en Utrecht.
- het alternatief – Tijdens de vroege ontwikkeling van hernieuwbare energiebronnen in de 90er jaren van de vorige eeuw en het eerste decennium van deze eeuw werd de snelheid hiervan nogal onderschat – zeker door gerenommeerde instituties als de OECD (en haar energie-advies-arm IEA) en de EU. De aanvankelijk hoge investeringen en subsidies in landen als Duitsland, Spanje en Tsjechië werden aangehaald als verdringing van goedkopere oplossingen. Nu is duidelijk dat door de snelle kostendaling van deze energiebronnen, verdringing van fossiele brandstoffen niet door, bijvoorbeeld, kernenergie plaatsvindt, maar juist door hernieuwbare bronnen. Dit geldt in een vooralsnog iets mindere mate voor energie-efficiëntie, maar toenemende elektrificatie van de economie laat een vergelijkbare trend zien. Zo ook verschillende vormen van energieopslag, zoals (mega-)batterijen. Een interessante maar vooralsnog onduidelijke rol kan zijn weggelegd voor waterstof als flexibele energiedrager naast duurzame biomassa op basis van afval uit de economie en land- en bosbouw.

1) **Bijdragend aan een systeem dat langdurig financieel stabiel kan functioneren**

- bestaande kernenergie – Veel van de perioden van grote instabiliteit in de energiesector in de afgelopen eeuw laten zien dat concentraties van financiële macht een grote rol spelen. Recent geldt dat bijvoorbeeld voor de rem die de vijf grote Duitse energiebedrijven in 2010 probeerden te zetten op de *Energiewende*, om daarbij de deur te openen naar verdere ontwikkeling van (toen al dure) kernenergie. De Fukushima-katastrofe liet dat mislukken. Ook de Tsjernobyl en Fukushima laten zien dat dit niet alleen kerntechnische rampen veroorzaakte, maar ook financiële. Een ramp voor één kerncentrale blijkt een ramp voor alle economieën over de hele wereld met kerncentrales door de noodzaak van controles, tijdelijke stilleggingen en upgrades.
- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – Hoewel een hoger veiligheidsniveau van deze centrales de kans op disruptie door ongevallen kleiner maakt, is deze kans nog steeds niet helemaal uitgesloten. Het onderschatten van mogelijke ongevallen en de noodzakelijke voorbereidingen daarop vergroten een mogelijke impact. De hogere kosten voor kernenergie maken ook grotere kapitaalsconcentratie nodig in de energiesector, met alle mogelijke disruptie die dat kan veroorzaken.
- nieuwe ontwerpen – Het is moeilijk op dit moment te voorspellen hoe nieuwe ontwerpen zouden moeten worden gefinancierd en of dit tot mogelijke problemen zou kunnen voeren, maar het is waarschijnlijk dat dit vergelijkbaar zal zijn als bij kerncentrales van nu bekende ontwerpen.
- het alternatief – Hoewel er ook hernieuwbare energiebronnen zijn die grote kapitaalconcentraties nodig hebben, denk aan off-shore wind, is het hele palet aan hernieuwbare energiebronnen relatief gedecentraliseerd en heeft daardoor ook een relatief gedecentraliseerd financierings-systeem nodig. Hierdoor worden risico's beter gespreid en leidt een incident in één energiebron niet direct tot grote financiële instabiliteit.

m) Niet tot financiële machtsconcentraties leiden

- bestaande kernenergie – Na de grote privatiseringsgolf van de industriesector in het vierde kwartaal van de vorige eeuw zijn kerncentrales of in handen gebleven van overheidsspelers (bijvoorbeeld Frankrijk, Hongarije, Tsjechië, Roemenië, Bulgarije, aanvankelijk Slowakije) of in handen van grote marktspelers (België, Duitsland, Finland, Spanje, Zweden, Zwitserland en later ook Slowakije). Alleen in Nederland bleef de enig overgebleven kerncentrale in meerderheid in handen van een relatief kleine speler, PZEM. Maar PZEM, met als aandeelhouders de provincie Zeeland en gemeentes, wordt gestut door één van de grootste spelers, vroeger Delta, tegenwoordig RWE. En PZEM heeft momenteel grote problemen met de verliezen door Borssele en zoekt naar mogelijkheden de risico's van haar aandeel in kernenergie te socialiseren (door de Staat die over te laten nemen).
- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – In het VK was het niet mogelijk om nieuwe kerncentrales door eigen energiefirma's te laten bouwen. Daarvoor kwamen alleen nog grotere internationale spelers in aanmerking: het Franse staatsbedrijf EdF (ook de grootste marktspeler in het VK), de Chinese staatsbedrijven CNG en CNNC. Aanvankelijk ook de Duitse E.On en RWE, het Spaanse Iberdrola, en het Japanse Hitachi, maar deze bedrijven zijn allemaal vanwege de te grote financiële risico's uitgestapt. In Hongarije lukt het alleen om een nieuwe kerncentrale te bouwen met een nieuw staatsbedrijf. In Polen en Tsjechië zijn nog geen dragers voor nieuwe kernenergie gevonden, maar wanneer die er komen, zullen ze of bestaan uit grote buitenlandse concerns, of zullen het nieuwe staatsondernemen worden.
- nieuwe ontwerpen – Hier is de ontwikkeling nog moeilijk de voorspellen. Het verdienmodel is gebouwd op fabrieksmatige productie van centrales, en daarvoor zal er een financieel zeer sterke drager moeten zijn. Men verwacht in deze tak van de industrie grootschalige consolidatie totdat er maar een klein aantal aanbieders overblijven.
- het alternatief – de ontwikkelingen in hernieuwbare energiebronnen laten ook hier en daar consolidatie zien, voornamelijk in de off-shore wind-sector, die kapitaalintensief is. Bij zonne-energie, on-shore windenergie, de ontwikkeling van opslag, duurzame biomassa en andere duurzame energievormen zien we dat grote industriële conglomeraten toch vaak een achterstand hebben. Ze zijn te log om zich aan te passen aan de lokale eisen van deze meer gedecentraliseerde energievormen. Hoewel de in Duitsland aanvankelijk snel groeiende PV-markt instortte toen China goedkopere productie opzette, is deze disruptie gedeeltelijk opgevangen door het ontstaan van een installatie- en onderhoudsmarkt. De windsector heeft minder zulke problemen gekend.

n) Geen financiële lasten doorschuiven naar volgende generaties

- bestaande kernenergie – Er zijn drie belangrijke categorieën financiële lasten die door kernenergie doorgeschoven worden naar volgende generaties:
 - **Afbraakkosten** – Op het moment worden bij de meeste kerncentrales afbraakkosten ingezameld via de stroomrekening in een speciaal fonds (soms samen met de kosten voor afvalverwerking). Voor Borssele zat er eind 2020 € 315 mln. in het fonds bij de Stichting Beheer Ontmantelingsgeld Kerncentrale Borssele. Er wordt door de Staat verwacht dat er in 2033 bij sluiting € 636 mln. nodig is.¹⁵ Een inschatting op basis van ervaringen in Duitsland wijst eerder in de richting van € 1000 mln. Een groot deel van dit fonds moet worden gegenereerd met renteopbrengsten op het ingelegde

15 Mulder, Agnes, Verslag van een schriftelijk overleg over nucleaire veiligheid, 10 februari 2021; <https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/detail?id=2021Z02762&did=2021D06064>

geld – het rendement is echter de laatste jaren vrijwel nihil.

Voor Borssele en Dodewaard samen mag er daarom van worden uitgegaan dat er honderden miljoenen Euro's tekortkomen. Bij Dodewaard staat de staat nu voor de rechter over wie deze tekorten moet gaan betalen. Wie bij Borssele voor de tekorten op moet draaien merken we dat pas na sluiting. Deze kosten drukken zeker nog op één generatie na de gebruikers van de kerncentrale.

- **Afvalkosten** – Ook deze worden bij de meeste kerncentrales in speciale fondsen verzameld uit de stroomprijs. De Europese Commissie schat op basis van nationale rapporten dat er in het totaal 566 miljard Euro nodig zal zijn voor afvalverwerking, maar geeft toe dat er niet genoeg data zijn om een harde inschatting te maken. In Nederland wordt dit geld verzameld door de COVRA, die daarvan zijn eigen bedrijfsvoering kan dekken en een fonds onderhoudt voor een eindberging. COVRA stelt dat er voldoende fondsen aanwezig zijn, maar ook hier kunnen uiteindelijk gaten van honderden miljoenen tot miljarden Euro's ontstaan. Opslagkosten voor laag- en middel-radioactief afval zullen nog zo'n 10 generaties op de economie drukken. Voor hoog-radioactief afval mogelijk nog vele honderden generaties.
- **Kosten door ongevallen** – Three Miles Island (Harrisburg), Tsjernobyl en Fukushima hebben laten zien dat er nog decennia lang kosten gemaakt moeten worden voor maatregelen na ongevallen. In Tsjernobyl is in 2019 de nieuwe veilige omhulling tegen een prijs van 2,3 miljard Euro geïnstalleerd. Daarmee kan de verwijdering van de oude sarcofaag beginnen, en daarna van de zwaar radioactieve gesmolten brandstof. Dit gaat nog miljarden kosten, die nog niet zijn afgedekt. Ook bij Fukushima zullen er nog decennia lang miljarden kosten gemaakt moeten worden. Dit betekent in beide gevallen een last voor zeker twee generaties. Daarbij moet worden bedacht, dat de maximale wettelijke financiële dekking van aansprakelijkheid maar een kleine fractie van deze kosten betreft en de toekomstige kosten door die generatie moeten worden gedragen.
- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – zie bij bestaande kerncentrales, met dien verstande dat de hoeveelheden afval groter zijn.
- nieuwe ontwerpen – Hier is de situatie nog zeer onduidelijk, hoewel die niet veel zal afwijken van die bij bestaande kerncentrales. Verschillen zijn te zien in soorten en hoeveelheden radioactief afval. In alle gevallen worden er echter grote kosten doorgeschoven naar komende generaties.
- het alternatief – De kosten voor afbraak, de afvalfase (inclusief recycling) van hernieuwbare energiebronnen worden voor het allergrootste deel door de gebruikersgeneratie gemaakt, en voor een klein deel door de eerstvolgende generatie.

o) Geen financiële lasten opleggen aan groepen die geen voordeel van de toepassing hebben

- bestaande kernenergie – Onder de groepen die lasten dragen van bestaande kerncentrales zonder voordeel van de toepassing te hebben vallen de inwoners rond de meeste uraniummijnbouwgebieden, en volgende generaties die om moeten gaan met ontmanteling van kerncentrales en afval, en de slachtoffers van kernrampen als Tsjernobyl en Fukushima. Ook slachtoffers van de rampen in de opwerkingsfabrieken Windscale (nu Sellafield) en Mayak tellen daartoe.
- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – Deze kerncentrales worden ontworpen voor een bedrijfstijd van 60 jaar en er zijn claims dat ze zelfs tot 100 jaar in bedrijf zullen zijn. Dat betekent dat, naast degenen al genoemd bij bestaande kerncentrales, ook de tweede generatie na degene die verantwoordelijk is voor de bouw,

ondanks het feit dat die nog maar weinig opbrengst zal hebben van de kerncentrale, wel verantwoordelijk is voor de gehele ontmanteling.

- nieuwe ontwerpen – Dit zal waarschijnlijk vergelijkbaar worden met nieuwe kerncentrales op basis van bestaande ontwerpen.
- het alternatief – Energie-efficiëntie-technologieën en hernieuwbare energiebronnen groeien momenteel snel, en om binnen de klimaatdoelstellingen te blijven zullen die in 2050 het veruit grootste deel van de energieproductie voor hun rekening nemen. De groep mensen die nadelen ondervindt van grondstoffenwinning voor hernieuwbare energiebronnen, opslagtechnologieën en energieëfficiëntietechnologieën is groter dan die, die nadelen van uranium- en grondstoffen-mijnbouw voor kerncentrales ondervindt. Maar, die eerste groep zal wel de opbrengst van zo'n duurzaam energiesysteem genieten, anders dan in het geval van kernenergie.

p) Bijdragen aan een gezonde ontwikkeling van de arbeidsmarkt op lokaal, nationaal en internationaal niveau

- bestaande kernenergie – Een bestaande kerncentrale zorgt voor zo'n 500 tot 750 hooggekwalificeerde banen. Deze banen zijn meestal gelokaliseerd in economisch relatief marginale gebieden, zodat een kerncentrale een uitstraling heeft op die lokale arbeidsmarkt. Op nationaal niveau gaat het om een vrij klein aantal banen. Voor onderhoud is een voldoende instroom nodig van tijdelijke vakmensen. Op het moment gebeurt dat bijvoorbeeld in Frankrijk vaak in de vorm van onderaannemers, en deze vakkrachten leven onder relatief moeilijke omstandigheden ("nucleaire nomaden"¹⁶). Veel oudere kerncentrales, vooral die die binnenkort gesloten gaan worden, kampen met een tekort aan instroom van jonge vakkrachten. Kernenergie is een aantal decennia geen sexy studierichting meer geweest, en veel van het werk dat nu gedaan moet worden (afvalmanagement, ontmanteling, etc.) is dat ook niet.
- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – De bouw van een nieuwe kerncentrale levert 2000 tot 5000 tijdelijke banen op. Deze moeten over het algemeen redelijk hoog gekwalificeerd zijn, zodat deze markt zeer internationaal is. Zo werkten bij Olkiluoto 3, Poolse lassers via een onderaannemer onder een Portugese opzichter. Een groot probleem is hierbij voldoende kwalificatie. Na de ingebruikname van een nieuwe kerncentrale is het personeel over het algemeen hoogopgeleid en jong (jonge families) die met de centrale ouder worden. Er wordt al jaren geklaagd over een tekort aan nucleaire vakkrachten voor nieuwbouwprojecten, maar bij Hinkley Point C in het VK lijkt dat geen onoverkomelijke problemen op te leveren.
- nieuwe ontwerpen – Het is nog onduidelijk wat de invloed van kleine en nieuwe ontwerpen zal zijn op de economie. Dit zal waarschijnlijk vergelijkbaar zijn met bestaande ontwerpen.
- het alternatief – Hernieuwbare energiebronnen hebben op de lange duur waarschijnlijk een groter aantal werknemers nodig dan kernenergie, maar met een profiel dat beter bij het gemiddelde nationale werkprofiel past: midden- tot hoger opgeleid, met meer algemene kwalificaties. Door de gedecentraliseerde inzet van hernieuwbare bronnen, opslag en efficiëntie-technieken zijn deze ook geografisch beter gespreid.

16 Zie bijvoorbeeld de documentaire "Rien à signaler" van de Belgische filmer Alain de Halleux – <https://dafilms.com/film/9734-nuclear-nothing-to-report>

C. Sociale en politieke criteria

q) Vanwege de urgentie van de klimaatnoodtoestand, de ontwikkeling van meer effectieve technologieën niet hinderen

- bestaande kernenergie – Bestaande kerncentrales hinderen de ontwikkeling van (zoals boven beschreven) meer effectieve technologieën op verschillende manieren:
 - **Politieke aandacht:** In landen met een hoge penetratie kernenergie wordt over het algemeen minder aandacht gegeven aan de ontwikkeling en implementatie van energie-efficiëntie en hernieuwbare energiebronnen. In Finland bleef de ontwikkeling van windenergie bijna 10 jaar achter op de rest van Europa, in Tsjechië, Slowakije, Hongarije en Polen zijn actieve campagnes tegen hernieuwbare energiebronnen gevoerd, in Frankrijk gaat de penetratie van hernieuwbare energiebronnen langzamer dan het EU gemiddelde. Een grote uitzondering is het VK, waar ondanks de politieke aandacht voor kernenergie, de markt van hernieuwbare energie, vooral off-shore wind, zich enorm snel ontwikkelt – maar ook daar zou het sneller kunnen wanneer niet zoveel aandacht zou gaan naar kernenergie en er een duidelijk op efficiëntie en hernieuwbare bronnen gericht beleid zou zijn. In Nederland en België leidt de aandacht voor eventuele levensduurverlenging van kerncentrales af van beleid dat de implementatie van energie-efficiëntie- en hernieuwbare energiemaatregelen moet versnellen.
 - **Kosten en financiering:** De verliesfinanciering al genoemd bij economische criteria leidt af van investeringen in goedkopere en betere alternatieven.
 - **Afval** – Het radioactief afval probleem leidt zowel de aandacht, als kapitaal af van betere alternatieven.
 - **Ongevallen** – Fukushima heeft laten zien dat wanneer er een ongeval plaatsvindt ergens ter wereld, een groot aantal kerncentrales tijdelijk of voorgoed moet worden stilgelegd voor een inventarisatie van risico's. Omdat daarvoor een snel alternatief moet worden gevonden, zagen we in veel landen aanvankelijk een toename van het gebruik van fossiele brandstoffen. In Japan was dat eerst gas, later ook kolen. De urgentie van het leveren verzorgingszekerheid drukte de langzame ontwikkeling van hernieuwbare bronnen naar de achtergrond, ondanks de enorme publieke druk daarvoor. Iets vergelijkbaars zagen we in Midden-Europa. In Duitsland en Frankrijk leidde de Fukushima-catastrofe tot meer aandacht voor een schoon energiesysteem.
- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – De discussie over nieuwe kernenergie wordt op tafel gebracht door partijen en groeperingen die in het verleden niet erg warm liepen voor de klimaatnoodtoestand. We zien de discussie dan ook vaak gevoerd worden hand in hand met NIMBY-argumentatie tegen wind- en zonne-energie. Binnen de nucleaire sector zijn er pogingen dat tegen te gaan (“we hebben alles nodig”), maar daar wordt vervolgens de kostendiscussie met desinformatie ondermijnt, zodat de tegenstelling kernenergie versus hernieuwbaar toch weer op tafel komt. De laatste pogingen draaien rond zogenaamde systeemkosten. Waar de argumentatie voor een beleid richting een 100% hernieuwbaar, efficiënt energiesysteem zich baseert op uitgebreide scenariostudies, die alle systeemkosten meenemen, wordt dit in het politieke debat uit elkaar getrokken en worden alle sowieso al noodzakelijke systeemveranderingen volledig naar de kostprijs van hernieuwbare bronnen vertaald, terwijl de noodzakelijke systeemkosten gerelateerd aan het bouwen van relatieve inflexibele capaciteit in het nieuwe systeem niet aan kernenergie worden toegerekend. Scenariostudies, zoals die van Kalavasta / Berenschot, maar ook een aantal uit het IPCC SR1.5, laten duidelijk zien dat toevoeging van kernenergie aan een verder hernieuwbaar

duurzaam systeem kostenverhogend werkt, en bovendien noodzakelijke vroege daling van broeikasgasemissies vertraagt.

- nieuwe ontwerpen – Omdat nieuwe kernenergieontwerpen niet vóór grofweg 2040 op de markt zijn, is vooral het vooruitschuivende effect van deze discussies een fundamenteel probleem voor urgente klimaatactie. Deze ontwerpen zijn nog niet bewezen, de kosten lijken vergelijkbaar hoog te worden als bestaande ontwerpen, voordelen kunnen hooguit liggen in de hoeveelheid geproduceerd afval maar niet in het kwalitatieve afvalprobleem (de noodzaak afval honderden tot vele honderdduizenden jaren uit het milieu te moeten houden), en nieuwe nadelen (proliferatie, gecompliceerdere afvalstromen, beveiliging) liggen aan de horizon. Door de discussie over urgente implementatie van klimaatactie af te leiden naar theoretische technische discussies, denken veel mensen dat die urgente klimaatactie niet nodig is en er in een verre toekomst misschien een alternatief is. Laat het duidelijk zijn: wanneer nieuwe kernenergieontwerpen blijken te werken en niet onacceptabel duur zijn (een grote “als”), is het minstens 2040. Dan draait 90% van het Nederlandse en Europese elektriciteitssysteem al op hernieuwbare bronnen. En in principe na 2050 voor 100%. Omdat hernieuwbare bronnen goedkoper zijn, is er weinig reden een niet-duurzaam alternatief daarvoor in te voeren na die datum.
- het alternatief – Verschillende scenario's, waaronder recente scenariostudies van de universiteit van Sydney, Melbourne en de Duitse DLR, van Urgenda en van het KIVI laten zien dat een 100% hernieuwbaar elektriciteitssysteem in 2050 haalbaar is binnen een broeikasgasneutraal energiesysteem. Maar deze scenario's vergen nu actie en implementatie van beleid.

r) **Geen lasten doorschuiven naar volgende generaties**

- bestaande kernenergie – Lasten die doorgeschoven worden naar volgende generaties: afval (uiteindelijk opslag wordt zeker twee tot vijf generaties doorgeschoven; bewaking en controle enkele honderden (vooral door de aanwezigheid van plutonium) tot duizenden generaties), afbraak (neemt 10 tot 60 jaar in beslag), ongevallen (de nasleep van Tsjernobyl duurt, afgezien van de afvalbehandeling, nog minstens 50 jaar, die van Fukushima 60).
- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – De belangrijkste doorgeschoven last naar volgende generaties is die van doorgeschoven urgente klimaatactie. Doordat iedere focus op nieuwe kernenergie zich vertaalt in latere daling van uitstoot (ze moeten immers broeikasgas uitstotende centrales vervangen die tot die tijd door moeten draaien), wordt het voor de jongeren van nu en de generatie daarna steeds moeilijker om globale temperatuurstijgingen in de hand en onder 1,5° te houden. Daarnaast hebben deze reactoren bedrijfstijden van 60 tot 80 jaar nodig om de kosten nog enigszins in de hand te houden. Dat betekent dat de verantwoordelijkheid voor afbraak en ontmanteling in handen komt van twee tot drie generaties na die, die besloten heeft tot de bouw. En er is nog het afvalprobleem.
- nieuwe ontwerpen – Hier spelen dezelfde argumenten als hierboven, plus een bredere verspreiding van nucleaire technologie, stoffen, risico's en afval. En een groter risico van proliferatie van kernwapens, dat door toekomstige generaties in de hand gehouden moet gaan worden.
- het alternatief – Hier geldt ook dat bepaalde lasten worden doorgegeven. Een belangrijke is het tot stand brengen van een kringloopeconomie voor de grondstoffen die gebruikt worden in moderne hernieuwbare energiebronnen en efficiëntie-technologieën. Dit is, anders dan bij kernenergie, mogelijk binnen twee tot drie generaties.

s) **Geen lasten doorschuiven naar groepen, regio's, landen die niet profiteren**

- kernenergie – Voor alle kernenergie geldt dat er lasten worden gelegd op de bevolking van gebieden waar grondstoffenmijnbouw plaatsvindt – VS, Kazachstan, Canada, Australië, Niger, Namibië, India, China, etc. – vaak in gebieden met oorspronkelijke bevolking. Rond het probleem van afval bestaat momenteel veel discussie over het inrichten van internationale deposities voor hoogradioactief afval en een toenemende internationalisering van de behandeling van afvalfracties (export van verarmd uranium naar Rusland, radioactief materiaal voor behandeling in Slowakije en Zweden, opwerking van uitgebrande kernbrandstof in Frankrijk, Engeland en Rusland, etc.). Proliferatie verspreidt de kans op een kernoorlog met verreikende gevolgen.
- het alternatief – Grondstoffenmijnbouw is een aanhoudend probleem dat grote aandacht nodig heeft. Dat geldt ook voor recycling van materialen.

t) **Democratiserend – niet tot machtsconcentratie leiden**

- bestaande kernenergie – Hoe groot de invloed van de nucleaire lobby is kan worden gezien in landen als Duitsland (dat onder druk van die lobby in 2010 de kernuitstap terugdraaide), België (druk om de kernuitstap terug te draaien), Zuid Korea en Taiwan (idem), Tsjechië en Hongarije (financiële en politieke *lock-in* van de overheid). Maar vooral ook in landen die zowel een civiel als militair nucleair programma hebben: Frankrijk, Groot-Brittannië, de VS, Rusland, China, Israël, India en Pakistan. Hier blijkt de verwevenheid van deze programma's duidelijk invloed te hebben op politieke besluitvorming. Het kan ook worden gezien bij discussies rondom radioactief-afvalbeleid: in vrijwel alle landen waar gepoogd is om de bevolking bij besluitvorming te betrekken is dit vastgelopen: Engeland, Frankrijk, Tsjechië, en recent lijkt ook de Duitse poging onder vuur te komen van een stugge industriële lobby. Ook de noodzaak voor een hoge mate van beveiliging moet hier worden genoemd. Door de risico's van kwaadwillende aanvallen op kerncentrales. De Oostenrijkse filosoof Robert Jungk beschreef in 1977 al de noodzaak voor een "Atomstaat". Wie ziet hoe ver de veiligheidsmaatregelen vandaag de dag rondom kernenergie reiken, kan niet anders dan tot de conclusie komen dat Jungk grotendeels gelijk heeft gekregen. Medewerkers in de nucleaire industrie, maar ook critici worden op grote schaal in de gaten gehouden door veiligheidsdiensten – natuurlijk, in sommige landen meer intensief dan in andere.
- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – Het is niet voor niets dat in democratische landen (VS, Frankrijk, Japan, Zuid Korea), bedrijven die nieuwe kerncentrales bouwen in problemen zijn gekomen. Transparantie is een belangrijke drijvende factor in het onder controle willen brengen van de risico's van kernenergie. We zien hier wel, dat deze problemen een enorme druk op de overheden in deze landen leggen: Frankrijk zet alles op alles om een bankroet van EdF te voorkomen en heeft Areva al uitgekocht; de Trump-regering probeerde Westinghouse overeind te houden met een agressief exportbeleid; Hitachi heeft (tevergeefs) alles gedaan om het VK te verleiden ongekende subsidies te geven voor een nieuw kernenergieproject. In Rusland is Rosatom een staat binnen de staat geworden, en ook de positie van CNNC en CNG in China is enorm sterk.
- nieuwe ontwerpen – Op het moment worden veel nieuwe kerncentraleontwerpen ontwikkeld door relatief kleine start-up bedrijven. Dat lijkt op een democratisering van de sector. Echter, de meer gevorderde projecten zijn van bedrijven die meer te verliezen hebben, zoals Rolls Royce en GE, en die de ontwikkeling van nieuwe ontwerpen gebruiken om toegang te krijgen tot nieuwe financieringsstromen van de overheid en daarnaast een voet in de lobby-deur te houden. Kleinere bedrijven als NuScale of Fermi Energia komen nu al in de financiële problemen en proberen grote financiers in de armen te sluiten. In Rusland en China zijn het de grote staatsondernemingen die aan deze ontwerpen werken. In België, Tsjechië, Hongarije en Polen wordt vooral naar

Europa gekeken, met de daarbij behorende agressieve lobby-activiteiten. Ook nieuwe ontwerpen kunnen alleen overleven in een centralisatie van macht – financiële macht en politieke macht.

- het alternatief – Hoewel bepaalde vormen van hernieuwbare energiebronnen, denk aan wind-op-zee en de grootschalige net-verbindingen, ook gecentraliseerde grote kapitaalkrachtige bedrijven en sterke overheidsregulatie nodig hebben, kan het merendeel van een 100% duurzame, hernieuwbare, efficiënte energievoorziening veel verder gedecentraliseerd worden gemanaged dan het huidige systeem, inclusief kernenergie. In Duitsland was in 2019 95% van de nieuwe capaciteit niet in handen van de grote energiebedrijven. Zo'n systeem leent zich verder niet voor militaire machtsconcentratie.

u) Democratiserend – niet tot grotere verschillen tussen arm en rijk leiden

- kernenergie – Er zijn geen arme landen met kerncentrales. Bangladesh bouwt nu een kerncentrale met Russisch geld en technologie en bind zichzelf hand en voet aan Rusland met de 12 miljard Euro lening die het daarvoor van Rusland heeft gekregen. Kernenergie was traditioneel en is nog steeds een speeltje voor de rijken en zij die kernwapens hebben of ambiëren. Kerncentrales leveren grote hoeveelheden stroom en zijn daarom niet geschikt voor landen met een klein elektriciteitsnetwerk. Dat maakt ook inpassing in opkomende economieën moeilijk, en waar er plannen bestaan is het waarschijnlijk dat het de armoede-kloof tussen platteland en stad zal vergroten.
- nieuwe ontwerpen – Ondanks het feit dat nieuwe ontwerpen meestal kleiner zijn, zijn ze nog steeds enorm duur. Ze kunnen in tegenstelling tot de nu gebruikte ontwerpen wel worden ingezet in afgelegen gebieden met een kleiner netwerk. Ze hebben alleen wel een nog beter opgeleide staf nodig.
- het alternatief – Gedecentraliseerde hernieuwbare energiebronnen zijn bij uitstek geschikt om de armoedekloof te overbruggen. Ze zijn goedkoop en kunnen bottom-up uitgebouwd worden in steeds grotere netwerken, die ook steeds betrouwbaarder (leveringszekerheid) worden. Ook hebben ze een gedecentraliseerd beheer nodig met een middelbaar opleidingsniveau van de staf.

v) Democratiserend – grotere publieksdeelname aan besluitvorming niet tegenwerken

- kernenergie – Kernenergie is, zoals de implementatiecommissie van het Verdrag van Aarhus (over transparantie, publieksdeelname en toegang tot de rechter in milieuaangelegenheden) formuleerde, een activiteit met mogelijke ultra-grote gevolgen (*an ultra-hazardous activity*). Dat betekent dat voor optimale transparantie een enorm aantal mensen bij besluitvorming over kerncentrales moet worden betrokken. Dat kost natuurlijk geld en inspanning, en de nucleaire industrie doet dan ook alles om dat in te perken. De industrie weigert milieueffectrapportages uit te voeren voor beslissingen over het verlengen van de levensduur van kerncentrales (voorbeeld: in Europa), informatie wordt heel snel vertrouwelijk verklaard (Slowakije, Roemenië, België), burgers en NGOs geweerd uit advieslichamen (Tsjechië, Slowakije), burgeradvieslichamen aan de kant geschoven (VK, Tsjechië), opposenten bedreigd (Bulgarije, Witrusland, Rusland). Het Verdrag van Aarhus heeft wel allerlei initiatieven geïnspireerd voor grotere transparantie in de nucleaire sector in, met name, Europa, Zuid Afrika, Taiwan en Zuid Korea.
- het alternatief – Er bestaat het gevaar dat de noodzaak tot uitbreiding van hernieuwbare energiebronnen ook tot inperking van publieksdeelname in besluitvorming kan gaan voeren. De ervaring is, echter, dat dit altijd contraproductief werkt. Succesvolle wind- en zonneprojecten zijn altijd gebaseerd op vroege en uitvoerige deelname van het publiek bij de projectontwikkeling.

w) Niet bijdragen aan militaire spanningen

- bestaande kernenergie – Kerncentrales zijn uiterst risicovolle installaties uit militair oogpunt. Dit is duidelijk geworden tijdens de spanningen tussen Azerbeidzjan en Armenië, de oorlog in Irak, maar ook door aanvallen op olie-installaties in Irak, Libië en door Jemenitische Houthi-rebellen in Saudi Arabië. Staatsmoorden (VS, Israël) op Iraanse kernwetenschappers zetten het hele Midden-Oosten onder druk. De kerncentrale-vloot van Zuid Korea vormt een enorm risico in het geval de nooit officieel beëindigde Koreaanse oorlog weer zou opblazen.
- nieuwe centrales op basis van bestaande ontwerpen – Hoewel kernenergie niet direct ook kernwapens levert, is het opvallend dat veel in nieuwe kerncentrales geïnteresseerde landen ook af en toe interesse in kernwapens tonen. Dat geldt zeker voor landen als Egypte, Saudi Arabië en Turkije, maar zelfs in een land als Polen waren er ultra-rechtse stemmen die zeiden dat Polen kernenergie nodig had om in een verre toekomst met kernwapens de verloren delen in het Oosten weer terug te kunnen claimen. De kernenergieambities van Irak en Iran hebben laten zien hoe die militaire spanningen oproepen en zelfs tot militaire acties van Israël tegen Irak hebben geleid.
- nieuwe ontwerpen – Om zinvol bij te kunnen dragen in de strijd tegen klimaatverandering zouden kleine kerncentrales zeer wijd moeten worden verspreid. De meeste van deze ontwerpen zijn afhankelijk van opwerking van hun kernbrandstof, en de (chemische) opwerkingstechnologie zal daarom ook in veel gevallen bijgeleverd moeten worden. Dit betekent in de eerste plaats dat het aantal risico-objecten voor militaire aanvallen toeneemt (met een potentiële kernramp als gevolg), maar ook dat het veel makkelijker wordt voor kwaadwillende regeringen of niet-regerings-groepen om aan materiaal voor kernwapens te komen. Dit kan zijn op basis van plutonium, gebruik of verdere verrijking van HALEU (rond 20% verrijkt uranium), of, bij thorium reactoren, gebruik van uranium-233. Proliferatie is dan ook een enorm probleem van de meeste nieuwe ontwerpen.
- het alternatief – Doordat hernieuwbare bronnen in (in vergelijking met kernenergie) gedecentraliseerde kleine eenheden komen, is het erg moeilijk ze met één klap uit te schakelen. Het meest kwetsbaar is de schakelstructuur in het elektriciteitsnetwerk. Hernieuwbare energiebronnen vormen zelf ook geen gevaar bij een militair conflict. Daarnaast kan de eigendomsstructuur van hernieuwbare energiebronnen zo worden opgezet dat er geen concentratie van macht en daaraan verbonden belangen ontstaat.

x) Verlaging van afhankelijkheid met betrekking tot brandstoffen, expertise en financiering uit het buitenland

- kernenergie – Uranium mag dan in een vrij groot aantal landen worden gewonnen, kernbrandstofproductie vergt uiterst gespecialiseerde industriecapaciteit en vindt dan ook in een beperkt aantal landen plaats: de VS, Canada, Frankrijk, Rusland, Zweden, India, Japan en China. Ook zijn er maar een beperkt aantal landen met voldoende *know-how* om grote kerncentrales te bouwen: de VS, Canada, Frankrijk, Rusland, Japan, China en Zuid Korea. Ook voor nieuwe kerncentrale-ontwerpen is uiterst gespecialiseerde kennis nodig die maar in een beperkt aantal landen ter beschikking staat. Dat betekent dat de meeste landen die met kernenergie beginnen, daarmee politiek en strategisch afhankelijk worden van de oorsprongslanden van de technologie. Omdat nieuwe kernenergie zo moeilijk is te financieren, zien we dat nieuwe plannen ook meestal samengaan met een financieringsovereenkomst, waarbij het oorsprongsland van de technologie ook een deel van het kapitaal voor de kerncentrale inbrengt. Denk aan Hongarije (Paks II – Rusland), Turkije (Akkuyu – Rusland), Witrusland (Astravet –

Rusland), Finland (Hanhikivi – Rusland), het VK (Hinkley Point C – Frankrijk), het VK (Bradwell – China).

- het alternatief – Hernieuwbare energiebronnen, opslagmethoden (o.a. batterijen) en efficiëntie-technologieën zijn afhankelijk van een aantal grondstoffen die maar in een klein aantal landen wordt gevonden. Voor een deel kunnen deze middels innovatie vervangen worden door meer wijd verkrijgbare grondstoffen, maar een deel van deze afhankelijkheid zal blijven en zelfs groeien.

y) **Transparantie tijdens de volledige keten van implementatie**

- kernenergie – Er spelen bij kernenergie een aantal aspecten een rol die druk zetten op transparantie:
 - **Beveiliging** – Omdat een kwaadwillige aanval op een kerncentrale tot enorme gevolgen kan leiden, moet beveiligingsgevoelige informatie vertrouwelijk worden behandeld. Ook is er het risico voor misbruik van splijtstof voor terroristische of militaire doeleinden. Hierdoor is kernenergie altijd door een sluier van geheimhouding omhuld geweest. Dat is in de laatste drie decennia wel wat veranderd, maar sommige landen proberen nog steeds veel informatie achter te houden voor het publiek.
 - **Grote commerciële belangen** – De nucleaire industrie bestaat uit zeer grote bedrijven met een enorm aantal zeer kleine onderaannemers. Veel informatie wordt dan ook als bedrijfsgeheim gezien.
 - **Internationale veiligheid en diplomatie** – Vanwege de grote risico's aan kernenergie, maar ook vanwege bezorgdheid over imago, vinden veel landen het problematisch om informatie over ongevallen en tekortkomingen te delen. Omdat het belang van het delen van zulke informatie zo groot is om verdere problemen te voorkomen, is er een stelsel van vertrouwelijkheid opgebouwd, waarbij de IAEA een centrale rol vervult. De IAEA heeft dan ook geen officieel transparantie-beleid. Informatie mag alleen vrij worden gegeven als het land van oorsprong daarmee instemt. Dit heeft al tot absurde situaties geleid waar de hele wereld wist dat gemeten Ru-106, een zeer zeldzaam mensengemaakt isotoop, uit een incident in de Mayak opwerkingsfabriek in Rusland moest komen, maar Rusland dat tot op de dag glashard ontkent.

Kernenergie en transparantie staan op gespannen voet met elkaar.

- het alternatief – De grootste problemen met transparantie bij hernieuwbare energiebronnen zitten rond bedrijfsgeheimen en bij de publieksparticipatie bij de planning van projecten. Slecht geplande projecten stuiten nogal eens op (vaak terechte) NIMBY-reacties van omwonenden. Grotere transparantie in een vroeg stadium, samen met een grote publieksdeelname in zulke projecten, kunnen veel problemen voorkomen.

z) **Voordelen bieden die niet door andere technologieën kunnen worden geboden**

- kernenergie – De nucleaire industrie wijst graag op de bijdrage die het levert in medisch gebruik van nucleaire kennis en technologie. En, inderdaad, landen met kerncentrales hebben een voorsprong bij de opleiding van nucleaire experts. Voor energieproductie zijn er geen verdere voordelen van kernenergie tegenover iedere andere technologie die elektriciteit en/of warmte kan produceren. Waterstof productie, ontzouting, hoge-temperatuur-voorziening, dat kan allemaal ook met hernieuwbare, duurzame alternatieven worden gedaan. Medische isotopen kunnen ook met deeltjesversnellers worden geproduceerd, met veel minder afval als gevolg. Een heel klein aantal medische en onderzoeks-isotopen kunnen alleen in een nucleaire reactor worden geproduceerd – maar een klein aantal daarvan kan die vraag wereldwijd

afdekken.

Een ander voordeel dat soms wordt genoemd voor kernenergie is de kleine (oppervlakte) voetafdruk in vergelijking met andere energiebronnen (ook wel de grote energiedichtheid genoemd). Daarbij wordt vaak de voetafdruk van uraniummijnbouw, opwerking en afvalverwerking vergeten, maar, inderdaad, samen blijft de benodigde oppervlakte kleiner dan bij alle andere energietechnologieën. Het is alleen de vraag of dat op zich een probleem is. Zelfs wanneer alle energie wereldwijd in 2050, bij een gelijk, hoog welvaartsniveau voor alle mensen, uit hernieuwbare energiebronnen zou komen, is het gebruikte landoppervlak maar in de procenten en niet veel hoger dan nu. Voor een deel komt dat dan wel door een sprong in gebruiks-efficiëntie.

- het alternatief – De grootste voordelen van hernieuwbare energiebronnen, opslag en energie-efficiëntie zijn de kosten, de gedecentraliseerde opwekking, en de mogelijkheid deze bronnen in gesloten grondstoffenkringlopen te gebruiken. Vooral dat laatste is een cruciaal voordeel in vergelijking met fossiele brandstoffen of kernenergie, waarbij altijd afval achterblijft dat druk op biosfeer uitoefent.