

# Weeg maatschappelijke kosten en baten kernenergie integraal af

Het huidige kabinet wil twee kerncentrales bouwen. Maar waarom niet meer, of waarom niet minder? Een goed onderbouwde afweging ontbreekt, maar die is onontbeerlijk wil het kabinet besluiten tot grote investeringen

## IN HET KORT

- Kerncentrales lijken duurder dan zonnepanelen en windmolens, maar het beeld is incompleet.
- Kerncentrales zijn mogelijk duurzamer en betrouwbaarder dan windmolens en zonnepanelen.
- Het lijkt onverstandig om grote investeringen te doen zonder een compleet beeld van de maatschappelijke kosten en baten.

## JASPER J. VAN DIJK

Econoom bij het Instituut voor Publieke Economie (IPE) en De Onderbouwing

**M**et het huidige coalitieakkoord (2021) lijkt er onder aanvoering van de VVD een einde te zijn gekomen aan het decennialange taboe op kernenergie. Dit is een belangrijke stap om tot een goede afweging te komen voor ons energiesysteem.

De partijen in het kabinet hebben in het coalitieakkoord afgesproken om de nodige stappen te zetten voor de bouw van twee nieuwe kerncentrales. Het kabinet beziet de (financiële) bijdrage van de overheid en zorgt voor een veilige, permanente opslag van het kernafval. Daarnaast moet het kabinet onder andere marktpartijen faciliteren bij hun verkenningen, innovaties ondersteunen, tenders uitzetten, en waar nodig de wet- en regelgeving in orde maken. Hiervoor is er vijf miljard euro beschikbaar (Coalitieakkoord, 2021).

Het gevaar is dat we nu in één keer doorschieten naar het bouwen van twee kerncentrales, terwijl de onderbouwing op dit moment nog grotendeels onduidelijk is. In de Kamerbrieven over de plannen ontbreekt er een volledig overzicht en een afweging van de voor- en nadelen van kernenergie. Waarom kunnen we niet zonder, of waarom bouwen we niet zes kerncentrales?

Het is voor het huidige kabinet ook van politiek belang dat het voornemen om twee kerncentrales te bouwen beter onderbouwd wordt. Het is onwaarschijnlijk dat er al in deze kabinetsperiode met de bouw van de kerncentrales begonnen zal worden. Wanneer een betere onderbouwing kan aantonen wat de meerwaarde is van twee

kerncentrales, dan is de kans dat een volgend kabinet het plan zal voortzetten veel groter.

In dit artikel zet ik de mogelijke maatschappelijke kosten en baten van kernenergie in ons energiesysteem op een rij, als startpunt voor een integrale afweging. Hoe verhoudt kernafval zich bijvoorbeeld tot de afvalstromen van zonnepanelen en windmolens?

## Afwegingskader

Om tot een goede afweging te komen van de maatschappelijke kosten en baten is het van belang dat de doelen voor de energiemarkt helder zijn (Rijksoverheid, 2022). De maatschappelijke doelstellingen van de overheid voor de Nederlandse energiemarkt zijn duurzaamheid, betrouwbaarheid, betaalbaarheid, veiligheid en leefbaarheid (ruimtelijke inpassing) (Tweede Kamer, 2020). Op basis van de gekozen doelen kan de gewenste energiemix in 2050 worden geschetst.

Om onderbouwd te kiezen tussen het wel of niet bouwen van extra kerncentrales, is het noodzakelijk om een energiesysteem met kerncentrales te vergelijken met eentje zonder kerncentrales (Ter Haar, 2022). Tabel 1 presenteert werkhypothesen voor de verschillende overwegingen op basis van de gestelde doelstellingen en vormen daarmee een startpunt voor de discussie.

## Duurzaamheid

Op gebied van duurzaamheid vormt niet de uitstoot het belangrijkste verschil tussen kern- en hernieuwbare energie, maar het grondstofgebruik en de afvalstromen. Volgens de Verenigde Naties heeft kernenergie de laagste CO<sub>2</sub>-uitstoot (circa 5 gram per kilowattuur) van alle duurzame energiebronnen, maar het verschil met wind (circa 15 g per kWh) en zon (circa 50 g per kWh) is verwaarloosbaar ten opzichte van gas (circa 500 g per kWh) of kolen (circa 900 g per kWh) (UNECE, 2021).

Kerncentrales vereisen, over de totale levenscyclus, minder zeldzame en een kleinere hoeveelheid aan grondstoffen dan windturbines en zonnepanelen. Uranium is niet hernieuwbaar, maar er is voor de productie van energie relatief weinig nodig ten opzichte van de beschikbare hoeveelheid (OESO, 2020). Voor windturbines zijn er bij de bouw zogenoemde zeldzame aardmetalen nodig (neodymium, praseodymium, dysprosium en terbium; Pavel et al., 2017), en voor zonnecellen zijn er metalloïden nodig (silicium, indium, gallium, selenium, cadmium en telluri-



um; Pavel et al., 2017), waarvan de voorraden wereldwijd beperkt zijn. Daarnaast zal er, in een energiesysteem met alleen hernieuwbare energiebronnen, waarschijnlijk een significante behoefte zijn aan opslag in batterijen. Deze batterijen gebruiken vaak veel van het metalloïde lithium.

Qua afvalstromen hebben kernenergie en hernieuwbare energie zo elk hun eigen problemen. Een kerncentrale van 1.600 MWe produceert ongeveer 10 à 11,5 m<sup>3</sup> zeer radioactief afval per jaar. Dit afval wordt voor honderd jaar opgeslagen bij COVRA, maar het blijft honderdduizenden jaren radioactief – en er is nog geen permanente oplossing voor de berging hiervan (KPMG, 2021). Het aanleggen en vervangen van duurzame energiebronnen, zoals zonnepanelen en windmolens, zorgt anderzijds voor een grote afvalstroom die met de huidige technologieën moeilijk te recyclen is. De *Harvard Business Review* schat het afval van bijvoorbeeld zonnepanelen op 90 ton per MWe (Atasu et al., 2021).

Een goed functionerende kerncentrale heeft een verwaarloosbaar direct effect op het omliggende ecosysteem, en het plaatsen van windmolens heeft effect op de ecosystemen van vogels en vissen (Deltares, 2021).

### Betrouwbaarheid

Wanneer de nadruk op betrouwbaarheid ligt, is kernenergie erg aantrekkelijk. Kerncentrales kunnen een zeer stabiele basislast (oftewel *base-load*) aan elektrische energie leveren (KPMG, 2021). De energieopbrengst van hernieuwbare energiebronnen zoals windmolens of zonnecellen is afhankelijk van de weersomstandigheden, en fluctueert daarom meer dan die van kerncentrales.

Om ervoor te zorgen dat vraag en aanbod van energie met elkaar in balans zijn, moet er voldoende capaciteit zijn om de energie te kunnen opslaan. Met behulp van bijvoorbeeld batterijen of het maken van waterstof, kan overcapaciteit worden opgevangen en bij tekorten worden ingezet. De behoefte aan opslagcapaciteit is groter bij een groter aandeel van windmolens en zonnepanelen in het energieaanbod.

Kerncentrales kunnen de fluctuaties van duurzame energiebronnen, zoals zon en wind, deels compenseren, waardoor de opslagbehoefte van het totale energiesysteem afneemt. Moderne kerncentrales kunnen afhankelijk van de

**Vergelijking kerncentrales met zon en wind** TABEL 1

		Kerncentrales		Zon en Wind
Duurzaamheid	Uitstoot	●		●
	Afvalstromen	●		●
	Grondstoffen	●		●
	Ecosysteem	●		●
Betrouwbaarheid	Stabiliteit	●		●
	Flexibiliteit	Basislast ●	Middenlast ●	●
Betaalbaarheid	Opwekking	Basislast ●	Middenlast ●	●
	Systeem	Basislast ●	Middenlast ●	●
	Kennis- infrastructuur	2 Centrales ●	Structureel ●	●
	Financiering	●		●
	Marktverstoring	●		●
Veiligheid	Ongelukken	●		●
	Grondstoffen	●		●
	Kennis	2 Centrales ●	Structureel ●	●
Leefbaarheid	Ruimte	●		●
	Acceptatie	●		●

Noot: Hoe verder de bal gevuld is, hoe beter de score op dit onderdeel

ESB

vraag meer of minder energie opwekken (middenlast oftewel *load-following*). Deze flexibiliteit is ondertussen vergelijkbaar met die van een kolencentrale (KPMG, 2021). Wanneer kerncentrales constant hun optimale vermogen produceren (basislast), is het aanbod het hoogst en zeer stabiel, maar kan de centrale niet worden gebruikt om fluctuaties op te vangen. In het afwegingskader worden deze twee alternatieven naast elkaar gepresenteerd om *cherry picking* van de voordelen van beide opties te voorkomen.

### Betaalbaarheid

Er verschijnen steeds meer studies over de betaalbaarheid van kernenergie ten opzichte van hernieuwbare energie, met vaak tegengestelde conclusies (ENCO, 2020; Kalavasta, 2020; Kalavasta en Berenschot, 2020a; TNO, 2022a; Veenstra et al., 2022; Witteveen+Bos et al., 2022). Toch komen de meeste onderzoeken tot de conclusie dat de kosten van kernenergie hoger zijn dan die van hernieuwbare energie.

De energiekosten worden vaak vergeleken op basis van de *levelized costs of energy*. Dit is een soort gemiddelde van de kosten over de volledige periode vanaf de financiering en het bouwen tot aan het gebruik en het afbreken. Schattingen variëren van 75 tot 200 euro per megawattuur voor kernenergie, en van 22 tot 125 euro per megawattuur voor zon en wind. Hierbij gaat het om de kosten van de energiebron zelf, daar moeten dan de kosten voor de benodigde infrastructuur, opslag en eventuele import of export nog bij worden opgeteld.

## Zonnepanelen en windmolens zorgen voor een grote afvalstroom die moeilijk te recyclen is

Als we vervolgens naar de systeemkosten kijken, dan komt juist kernenergie er gunstig uit, omdat er bij zon en wind veel meer maatregelen nodig zijn om de variatie in beschikbaarheid op te vangen. Hierbij speelt de manier waarop kernenergie wordt ingezet een belangrijke rol. Als de kerncentrales voor de basislast worden ingezet kunnen ze meer produceren, wat de stroom goedkoper maakt, maar moet er ook meer in opslag geïnvesteerd worden. Als een kerncentrale middenlast wordt ingezet, dan nemen de kosten voor opslagcapaciteit af, maar nemen de *levelized costs of energy* toe (KPMG, 2021). Sommigen gaan uit van de lagere prijzen en beweren tegelijkertijd dat kernenergie ook nog flexibel kan worden ingezet – maar dan reken je je rijk.

Mocht het maatschappelijk toch efficiënt zijn om kerncentrales continu te laten produceren, dan is er overheidsingrijpen nodig in de energiemarkt (KPMG, 2021). De marginale kosten van zonnepanelen en windturbines zijn immers lager dan die van kernenergie. Dit betekent in de huidige energiemarkt dat kerncentrales regelmatig zullen stilvallen als er veel wind en zon is. Het overheidsingrijpen om kerncentrales toch continu te laten draaien kan de energiemarkt minder efficiënt maken, en daardoor de kosten van het energiesysteem verhogen.

De relatieve kosten voor de benodigde kennisinfrastructuur hangen af van de hoeveelheid kernenergie die Nederland wil produceren. Op dit moment heeft Nederland, met maar één kerncentrale, een relatief beperkte kennisinfrastructuur op het gebied van kernenergie. Bij de

bouw van nieuwe kerncentrales moet er worden geïnvesteerd in de kennis op het gebied van bijvoorbeeld exploitatie en toezicht. De omvang van deze infrastructuur bepaalt hoe onafhankelijk van het buitenland Nederland wil zijn bij het opwekken van kernenergie. Hoe meer Nederland structureel inzet op kernenergie, hoe lager de kosten relatief zullen zijn. Het zal dan eerder lonen om te investeren in een kennisinfrastructuur, wat ook de deur open houdt voor meer innovatie. Voor het uitbreiden in Nederland van zonne- en windenergie is er waarschijnlijk geen nieuwe kennisinfrastructuur nodig.

De financieringskosten voor het aanleggen van wind- en zonneparken sluiten beter aan bij een private financiering, dan het geval is bij de bouw van kerncentrales. Kerncentrales hebben zeer hoge financieringskosten en een lange looptijd voor ontwerp en constructie (ongeveer vijftien jaar), met aanzienlijke risico's (KPMG, 2021). Deze risico's zijn vaak te groot voor private financiers.

### Veiligheid

Veiligheid speelt op twee manieren een rol. Ten eerste is er het risico op een kernramp. Dit is een uniek risico voor kerncentrales, dat windturbines en zonnepanelen niet kennen. De kans op een kernramp is weliswaar klein, maar de gevolgen kunnen enorm zijn. Indirect komen deze risico's al terug in de betaalbaarheid, voornamelijk bij de financiering.

Ten tweede is het (zeker sinds de Russische invasie in Oekraïne) evident dat energie een belangrijke rol speelt bij de autonomie van landen, en daarmee bij de internationale veiligheid. Vanuit dit perspectief kent de vraag over het investeren in kernenergie twee aspecten: afhankelijkheid op gebied van grondstoffen en afhankelijkheid op gebied van kennis.

De afhankelijkheid op gebied van grondstoffen wordt bepaald door de landen waar deze materialen vandaan komen, door hoe groot deze voorraden zijn, en of hier strategische voorraden van kunnen worden aangelegd (Linszen et al., 2021).

Voor de zeldzame aardmetalen en de metalloïden die nodig zijn voor het bouwen van windmolens en zonnepanelen, zijn we afhankelijk van buitenlandse voorraden zoals die in China.

Nederland is ook van het buitenland afhankelijk wat betreft uranium. Australië, Kazachstan en Canada hebben wereldwijd de grootste uraniumvoorraden. Deze voorraden zijn wel relatief groot en verspreid (OESO, 2020), waardoor de afhankelijkheid ervan waarschijnlijk meevalt. Daarnaast neemt een strategische voorraad fysiek slechts een beperkte ruimte in, want uranium is vrij compact. Al kunnen deze voorraden mogelijk ook weer bijdragen aan internationale spanningen, omdat ze ook gebruikt kunnen worden om kernwapens te produceren.

Om op korte termijn kerncentrales te kunnen bouwen, moet er gebruik worden gemaakt van kennis waarover Nederland niet beschikt. De landen met bedrijven die dit wel zouden kunnen, zijn Frankrijk, de Verenigde Staten, Zuid-Korea, Rusland en China (KPMG, 2021). Wanneer Nederland structureel inzet op kernenergie kan het de moeite lonen om op termijn zelf de benodigde kennis en technologie te ontwikkelen om zelfstandig (of in samen-

werking met nabije landen) kerncentrales te kunnen bouwen en exploiteren. Als het blijft bij twee kerncentrales is het waarschijnlijk dat Nederland voor de kennis over kernenergie van het buitenland afhankelijk zal blijven.

De afhankelijkheid van het buitenland voor kennis of technologie, is vermoedelijk kleiner bij windmolens of zonnepanelen dan bij kerncentrales. De technologische afhankelijkheid op het gebied van zonnepanelen en windmolens wordt bepaald door de landen waar de zonnecellen en windmolens (zullen) worden geproduceerd voor Nederland.

### Leefbaarheid

Vanuit het leefbaarheidsperspectief gaat het om de spanning tussen landelijk en lokaal draagvlak. De maatschappelijke acceptatie van kernenergie daalde, door de ramp in 2011 met de kerncentrale in Japan, van 54 procent naar 45 procent, maar sindsdien is het draagvlak gestaag weer opgeklimmen naar 60 procent (Klapwijk, 2021). Al blijft het draagvlak met 68 procent groter voor windmolens (Stoop, 2017).

Dit betekent niet dat er ook lokaal draagvlak is. Niet iedereen wil naast een windmolen of een kerncentrale wonen. Windmolens maken geluid, en zorgen ze voor een slagschaduw (de 'schaduw van draaiende wieken'). In 2020 lag de waarde van woningen in de nabijheid van windturbines gemiddeld 2,6 procent lager dan vergelijkbare woningen elders (TNO, 2022b). Kerncentrales nemen relatief weinig ruimte in ten opzichte van zonne- en windparken, en ook rond Borssele is er lokaal steun voor het bouwen van kerncentrales (KPMG, 2021).

### Conclusie en vervolg

Beleidskeuzes worden beter wanneer er bestaande wetenschappelijke inzichten worden benut, en als er aandacht is voor de lange termijn, de visie en behoefte van 'de buitenwereld' en de samenhang met ander beleid (NSOB, 2007). Een deel van de benodigde informatie om een afweging te kunnen maken wat betreft het bouwen van kerncentrales ontbreekt echter nog, want deze is niet volledig of zelfs tegenstrijdig.

De grootste 'uitzoekpunten' om de gestelde hypothesen te toetsen zijn: (1) Een schets van het energiesysteem in 2050 en daarna, inclusief het toekomstperspectief voor kerncentrales. Op dit moment is er een expertteam onder leiding van Bernard ter Haar bezig met het schetsen van het Nederlandse energiesysteem in 2050 (Minister voor Klimaat en Energie, 2022). (2) Een vergelijking over de volledige levenscyclus van de duurzaamheid van het uraniumgebruik voor kernenergie en van de zeldzame metalen voor windmolens en zonnepanelen. (3) Een vergelijking van de totale kosten voor het inzetten van kerncentrales als *base-load* en *load-following* – inclusief de additionele kosten om dezelfde flexibiliteit te bereiken. (4) Een vergelijking van de afhankelijkheid van buitenlandse kennis voor kernenergie en buitenlandse zeldzame metalen voor windmolens en zonnepanelen. (5) Een vergelijking van de ruimtelijke inpassing van twee kerncentrales en de ruimtelijke inpassing van het energie-equivalent aan windmolens en zonnepanelen.

In alle gevallen is er, om de klimaatdoelen te bereiken, een uitbreiding nodig van de hoeveelheid windturbines en zonnepanelen (Kalavasta en Berenschot, 2020b). Maar het bouwen van kerncentrales maakt het mogelijk om met minder windturbines en zonnepanelen toch te voorzien in de elektriciteitsvraag van Nederland, zonder CO<sub>2</sub> uit te stoten.

Zonder een integrale vergelijking op basis van bovenstaande afwegingen lijkt het onverstandig om grote investeringen te doen. Het is ten slotte aan de politiek om te bepalen welk gewicht ze aan de verschillende doelstellingen geven om zo tot een keuze te komen.

### Literatuur

- Atasu, A., S. Duran en L.N. Van Wassenhove (2021) The dark side of solar power. *Harvard Business Review*, 18 juni.
- Coalitieakkoord (2021) *Omzien naar elkaar, vooruitkijken naar de toekomst: Coalitieakkoord 2021-2025 – VVD, D66, CDA en ChristenUnie*. Te vinden op [www.kabinetformatie2021.nl](http://www.kabinetformatie2021.nl).
- Deltares (2021) *Ecosystem effects of large upscaling of offshore wind on the North Sea*. Deltares Rapport, 22 april.
- ENCO (2020) *Possible role of nuclear in the Dutch energy mix in the future*. Final report, ENCO-FR-(20)-13.
- Grandell, L. en M. Höök (2015) Assessing rare metal availability challenges for solar energy technologies. *Sustainability*, 7(9), 11818–11837.
- Haar, B. ter (2022) Programmatische aanpak ontbreekt bij welkome investeringen Rutte IV. *ESB*, 107(4807), 114–117.
- Kalavasta (2020) *Vergelijking van twee rapporten over de kosten van nucleaire en zon- & windstroom in het Nederlandse energiesysteem, die Minister Wiebes in april en september 2020 naar de Tweede Kamer heeft gestuurd*. Kalavasta Publicatie, 24 september. Te vinden op [www.nvde.nl](http://www.nvde.nl).
- Kalavasta en Berenschot (2020a) *Systeemeffecten van nucleaire centrales, in Klimaatneutrale Energiescenario's 2050*. Rapportage, 9 maart. Te vinden op [www.rijksoverheid.nl](http://www.rijksoverheid.nl).
- Kalavasta en Berenschot (2020b) *Klimaatneutrale energiescenario's 2050*. Rapportage.
- Klapwijk, P. (2021) *Kernenergie om klimaatdoelen te halen? Steeds meer mensen zijn er klaar voor*. Uitslag opiniepanel op [avrotros.nl](http://avrotros.nl), 2 november. Te vinden op [eenvandaag.avrotros.nl](http://eenvandaag.avrotros.nl).
- KPMG (2021) *Marktconsultatie kernenergie*. Rapportage, 1 juli. Te vinden op [www.rijksoverheid.nl](http://www.rijksoverheid.nl).
- Linssen, M., J. van Dijk, A. Reiding en H. Naoum Némé (2021) Nieuw afwegingskader laat zien wanneer zelfvoorziening nodig is. *ESB*, 106(4801), 416–418.
- Minister voor Klimaat en Energie (2022) *Besluit tot instelling van het Expertteam Energiesysteem 2050*. *Staatscourant*, 11936.
- OESO (2020) *Uranium 2020: Resources, production and demand*. Nuclear Energy Agency Rapport, 7551.
- Pavel, C.C., R. Lacal-Arántegui, A. Marmier et al. (2017) Substitution strategies for reducing the use of rare earths in wind turbines. *Resources Policy*, 52, 349–357.
- Rijksoverheid (2022) *Waar voor ons geld: IBO Publieke investeringen in een politiek-bestuurlijke context*. Interdepartementaal Beleidsonderzoek, juni.
- Stoop, F. (2017) *VVD- en CDA-kiezers staan open voor rekeningrijden*. Uitslag opiniepanel op [avrotros.nl](http://avrotros.nl), 20 juni. Te vinden op [eenvandaag.avrotros.nl](http://eenvandaag.avrotros.nl).
- TNO (2022a) *Een klimaatneutraal energiesysteem voor Nederland*. TNO Whitepaper, april.
- TNO (2022b) *De verwachte impact van windturbines op huizenprijzen in Nederland: Een ruimtelijke analyse voor de periode 2020–2030*. TNO Rapport, P10374.
- Tweede Kamer (2020) *Rijkvisie marktontwikkeling voor de energietransitie*, 32813, nr. 536.
- UNECE (2021) *Life cycle assessment of electricity generation options*. Rapport, 29 oktober.
- Veenstra, A., X. Li en M. Mulder (2022) *Economic value of nuclear power in future energy systems*. Universiteit Groningen, Centre for Energy Economics Research, Policy Paper, 12.
- Witteveen+Bos, eRisk Group, HCSS en Rethink Zero (2022) *Scenariostudie kernenergie*. Rapport, 7 september. Te vinden op [www.rijksoverheid.nl](http://www.rijksoverheid.nl).