Raad voor de leefomgeving en infrastructuur

Bezuidenhoutseweg 30 Postbus 20906 info@rli.nl t. (+31)6 2180 0302
2594 AV Den Haag 2500 EX Den Haag www.rli.nl

Aan de minister voor Klimaat en Energie
De heer drs. R.A.A. Jetten
Postbus 20401
2500 EK DEN HAAG

Datum:	7 september 2022	**Contactpersoon:**	dr. Ron Hillebrand
Kenmerk:	Rli-2022/	**Telefoon:**	06 15359234
Bijlage:	1	**E-mail:**	ron.hillebrand@rli.nl

Betreft: Rli-advies 'Splijtstof? Besluiten over kernenergie vanuit waarden'

Geachte heer Jetten,

Met genoegen biedt de Raad voor de leefomgeving en infrastructuur (Rli) u hierbij, na de overhandiging eerder vandaag, ook digitaal zijn advies 'Splijtstof? Besluiten over kernenergie vanuit waarden' aan. Dit advies wordt ook aangeboden aan de voorzitters van de Eerste en Tweede Kamer.

Wij verwachten dat de komende jaren politiek en maatschappelijk debat zal plaatsvinden over de inrichting van het energiesysteem en de mogelijke rol van kernenergie daarin. Besluiten hierover moeten zorgvuldig worden genomen en toekomstbestendig zijn, anders komt het halen van de klimaatdoelen voor 2050 in gevaar.

De Rli constateert dat vijf waarden belangrijk worden gevonden: energiezekerheid, betaalbaarheid, veiligheid, duurzaamheid en rechtvaardigheid. Op dit moment krijgen deze waarden onvoldoende aandacht in het debat en besluitvorming over ons energiesysteem en de mogelijke inzet van kernenergie daarin.

Om het debat goed te kunnen voeren adviseert de Rli:

- Beleidskeuzes over de rol van kernenergie niet geïsoleerd te nemen, maar te laten passen in de keuzes voor het energiesysteem als geheel. Dit is van bijzonder belang voor het Nationaal Plan Energiesysteem 2050 dat u ontwikkelt.
- Alvorens tot zulke keuzes te komen de feitenkennis op een viertal punten te versterken en vervolgens een zevental beleidsvragen te beantwoorden. Dit geeft focus aan het debat.
- Inzichtelijk te maken welke technische en ethische afwegingen worden gemaakt over de invulling van de hierboven genoemde waarden. Dit geldt zowel voor reeds gemaakte als toekomstige (kabinets)besluiten en stellingnames in het debat.
- Burgers bij het debat hierover nadrukkelijk te betrekken, verdergaand dan in de wettelijk verplichte inspraakprocedures. De Rli vindt een burgerforum in beginsel een geschikte vorm om burgerparticipatie vorm te geven. Daarom steunen wij uw voorstel om te onderzoeken welke rol een burgerforum kan spelen bij het maken van keuzes over het energiesysteem.

Hoogachtend,
Raad voor de leefomgeving en infrastructuur,

ir. J.J. de Graeff
voorzitter

dr. R. Hillebrand
algemeen secretaris

SPLIJTSTOF?

BESLUITEN OVER KERNENERGIE VANUIT WAARDEN

SEPTEMBER 2022

Raad
voor de leefomgeving
en infrastructuur

Raad voor de leefomgeving en infrastructuur

De Raad voor de leefomgeving en infrastructuur (Rli) is het strategische adviescollege voor regering en parlement op het brede domein van duurzame ontwikkeling van de leefomgeving en infrastructuur. De raad is onafhankelijk en adviseert gevraagd en ongevraagd over langetermijnvraagstukken. Met een integrale benadering en advisering op strategisch niveau wil de raad bijdragen aan de verdieping en verbreding van het politiek en maatschappelijk debat en aan de kwaliteit van de besluitvorming.

Raad voor de leefomgeving en infrastructuur
Bezuidenhoutseweg 30
Postbus 20906
2500 EX Den Haag
info@rli.nl
www.rli.nl

Samenstelling Rli

Ir. J.J. (Jan Jaap) de Graeff (voorzitter)
Drs. P. (Pallas) Agterberg
Drs. J.A. (Jeanet) van Antwerpen
Prof. mr. N.S.J. (Niels) Koeman
J. (Jantine) Kriens
Drs. E.M.J. (Emmy) Meijers
Drs. K.J. (Krijn) Poppe
Ir. C.M. (Karin) Sluis
Prof. dr. E.T. (Erik) Verhoef
Em. prof. dr. A.N. (André) van der Zande

Junior-raadsleden

J. (Joris) van den Boom MSc
Y. (Yourai) Mol BPhil

Algemeen secretaris

Dr. R. (Ron) Hillebrand

INHOUD

SAMENVATTING 5

DEEL 1: ADVIES 9

1 INLEIDING 10
1.1 Aanleiding 10
1.2 Centrale vraag 11
1.3 Doelstelling 12
1.4 Afbakening 12
1.5 Aanpak 13
1.6 Leeswijzer 13

2 DEBAT OVER KERNENERGIE TOEN EN NU: WAT LEERT HET ONS? 15
2.1 Eerste stappen op het gebied van kernenergie 16
2.2 Brede Maatschappelijke Discussie 16
2.3 Impact ramp Tsjernobyl op kernenergiebeleid 17
2.4 Plannen voor kernenergie bij aanvang nieuw millennium 17
2.5 Aandacht voor kernenergie in vierde kabinet-Rutte 18
2.6 Terugkerende gezichtspunten in het debat over kernenergie 21
2.7 Les: zorgvuldige en transparante besluitvorming noodzakelijk 23

3 ROL VAN ETHISCHE WAARDEN IN HET DENKEN OVER KERNENERGIE 25
3.1 Ethische reflectie in het energiedebat 25
3.2 Vijf kernwaarden voor besluitvorming over kernenergie 26

4 MENINGEN VAN BURGERS OVER KERNENERGIE 29
4.1 Mening van burgers over kernenergie vóór en na aanvang oorlog in Oekraïne 30
4.2 Mening van burgers over de vijf waarden 31
4.3 Invulling geven aan de vijf waarden in de besluitvorming 35

5 PERSPECTIEF OP DE VIJF WAARDEN VANUIT BESTAANDE KENNIS 37
5.1 Energiezekerheid 38
5.2 Betaalbaarheid 40
5.3 Veiligheid 44
5.4 Duurzaamheid 46
5.5 Rechtvaardige verdeling van lusten en lasten 50

6 BENODIGDE ANTWOORDEN VOOR EEN TOEKOMSTBESTENDIG BESLUIT 53
6.1 Nog te vergaren kennis 55

6.2 Nog te maken afwegingen 56

7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 60
7.1 Conclusies 60
7.2 Aanbevelingen 62

DEEL 2: TOELICHTING EN VERDIEPING 65

1 ONDERBOUWING ANALYSE 65

2 HET WAARDENPERSPECTIEF IN DE BESLUITVORMING OVER KERNENERGIE 70

3 KOSTEN VAN EEN ENERGIESYSTEEM MET EN ZONDER KERNENERGIE 73

4 INVESTERINGSKOSTEN, BOUWDUUR EN ONTMANTELINGSKOSTEN KERNCENTRALES 89

5 EINDBERGING KERNAFVAL 95

LITERATUUR 100

BIJLAGEN 111

TOTSTANDKOMING ADVIES 111

OVERZICHT PUBLICATIES 116

SAMENVATTING

In 2050 zal ons land moeten beschikken over een CO_2-neutraal energiesysteem. Kernenergie krijgt de laatste jaren steeds meer aandacht als mogelijkheid om dit klimaatdoel te bereiken. Wat is er nodig om over het wel of niet inzetten van kernenergie een gedragen, goed onderbouwd besluit te kunnen nemen? Over die vraag gaat dit advies van de Raad voor de leefomgeving en infrastructuur (Rli).

Besluit nemen over kernenergie moet snel én zorgvuldig

Gezien de korte tijd die nog beschikbaar is tot 2050 zal de overheid snel een knoop moeten doorhakken over de inrichting van het energiesysteem en of kernenergie daarin wel of niet wordt ingezet. Tegelijkertijd mag het tempo van de besluitvorming niet ten koste gaan van de zorgvuldigheid.

In het verleden is zorgvuldige en toekomstbestendige besluitvorming over kernenergie lastig gebleken. Kernenergie was regelmatig onderwerp van felle maatschappelijke en politieke discussie. Het Nederlandse kernenergiebeleid was hierdoor verre van stabiel. Plannen voor nieuwe kerncentrales stonden meermaals op de politieke agenda, maar werden steeds weer ingetrokken. Het is belangrijk dat de besluitvorming over kernenergie vanaf nu minder grillig verloopt. Om de klimaatdoelen voor 2050 binnen bereik te houden, is stabiel energiebeleid immers onontbeerlijk.

Belangrijk om serieus te kijken naar wat burgers vinden van kernenergie
Volgens ons zal het helpen als het besluitvormingstraject over nieuwe kerncentrales zo wordt ingericht, dat naast wetenschappelijke-technische kennis het perspectief van burgers er een inherent onderdeel van vormt. Aspecten die burgers van belang vinden, moeten serieus worden meegewogen.

Maar de onderliggende opvattingen over kernenergie lopen vaak zeer uiteen, zo blijkt uit onze analyse. Kernenergie roept meer verdeeldheid op dan andere energievormen. In het maatschappelijke en politieke debat zien we deze verdeeldheid terug. Kernenergie blijkt een onderwerp waarover lastig een goed gesprek is te voeren.
Tegelijkertijd is het opmerkelijk, zo blijkt óók uit onze analyse, dat ongeveer vier van de tien mensen geen uitgesproken opvatting heeft over kernenergie. De polarisatie die het debat over kernenergie kenmerkt, blijkt dus samen te kunnen gaan met een neutrale houding over dit onderwerp bij een relatief groot deel van de bevolking.

Besluit over kernenergie vergt afweging over gehele energiesysteem
Wij hebben ons in dit advies toegespitst op de rol van kernenergie. Beleidskeuzes over kernenergie zijn echter niet in isolatie te maken. Immers, keuzes voor of tegen de ene optie hebben consequenties voor de andere opties. Zo betekent een beslissing om geen kernenergie op te nemen in het energiesysteem, dat de beleidsopgave voor ándere vormen van energieopwekking groeit. Een besluit nemen over kernenergie vergt dus een integrale afweging over het energiesysteem als geheel.

Opvattingen over vijf waarden zijn bepalend in debat over kernenergie
Over tal van aspecten van ons energiesysteem en de rol van kernenergie daarbinnen leven zorgen bij Nederlanders. Vijf waarden blijken daarin een centrale rol te spelen: energiezekerheid, betaalbaarheid, veiligheid, duurzaamheid en rechtvaardigheid. Uit onze analyse komt naar voren dat er grote verschillen zijn in hoe mensen tegenover deze waarden staan:

- Over *energiezekerheid* maken veel mensen zich zorgen. Redden we het wel met een energiesysteem waarin bijvoorbeeld straks vrijwel alleen nog energie uit wind en zon beschikbaar is?
- Ook de *betaalbaarheid* van energie is een aspect dat mensen bezighoudt. Er is bezorgdheid over de hoge energieprijzen. Sommige mensen denken dat de energierekening lager wordt als we kernenergie inzetten, anderen denken dat de rekening juist hoger wordt.
- Afwegingen over *veiligheid* hebben de grootste invloed op hoe mensen denken over kernenergie. Er heersen echter tegenstrijdige opvattingen over de veiligheid van kernenergie. Sommigen benadrukken de geringe kans op kernongevallen, anderen kijken vooral naar de grote impact die een kernongeval kan hebben.
- Ook over de *duurzaamheid* van kernenergie zijn mensen verdeeld. Iedereen ziet dat de geringe CO_2-uitstoot belangrijk is met het oog op het klimaat, maar een deel van de mensen vindt kernenergie onacceptabel zolang het kernafvalprobleem niet is opgelost.
- Tot slot vormt *rechtvaardigheid* een heikel punt bij kernenergie. Daarbij gaat het in de eerste plaats om het besluitvormingsproces: mensen vinden het belangrijk dat er naar iedereen wordt geluisterd en dat dus ook hún perspectief herkenbaar wordt meegewogen. In de tweede plaats

gaat het om de lusten en lasten van kernenergie: mensen vinden het belangrijk dat deze rechtvaardig worden verdeeld. Het gaat dan bijvoorbeeld om de locatiekeuze voor nieuwe kerncentrales, of om de vraag hoeveel nadeel toekomstige generaties mogen ondervinden van ons kernafval.

Kabinet: zorg voor goed voorbereide en onderbouwde besluitvorming
Wij doen in dit advies een aantal aanbevelingen aan het kabinet om te waarborgen dat de besluitvorming over het energiesysteem – en de rol van kernenergie daarbinnen – goed wordt voorbereid en onderbouwd.

Versterk kennisbasis onder energietransitie en belast op te richten klimaatraad hiermee
Het kabinet werkt op dit moment aan het Nationaal Plan Energiesysteem 2050. Wij denken dat er voor het opstellen van dit plan aanvullende kennis nodig is om de toegevoegde waarde van kernenergie binnen het energiesysteem goed te kunnen wegen. Er zijn antwoorden nodig op in ieder geval de volgende vragen:

- Wat is het kostenverschil tussen een energiesysteem met en zonder kernenergie?
- Welk energiesysteem draagt het meeste bij aan versnelling van de energietransitie (en daarmee aan een versnelde afbuiging van de wereldwijde CO_2-uitstootcurve)?
- Wat zijn de directe en indirecte gevolgen van een eventueel kernongeval in Nederland, en is Nederland hierop voldoende voorbereid?
- Wat zijn de technologische en financiële onzekerheden rond de eindberging van hoogradioactief afval?

Het is van belang om kwantitatieve studies en rapporten naar bovenstaande vragen te kunnen beoordelen op hun onderliggende aannames en omgang met onzekerheden. Hier zien wij een waardevolle rol voor de klimaatraad die volgens de afspraken in het coalitieakkoord zal worden opgericht. Deze dient de rol van wetenschappelijk intermediair te vervullen. Wij adviseren om in de klimaatraad ook experts op te nemen op het gebied van ethiek, psychologie en sociologie, ruimtelijke wetenschappen, en economie.

Relevante technische aspecten en ethische vragen expliciet afwegen
Bij de keuzes die het kabinet gaat maken in het Nationaal Plan Energiesysteem 2050 is een expliciete afweging nodig over de volgende zeven beleidsinhoudelijke vragen:

- Hoe willen we pieken en dalen in het aanbod van wind- en zonne-energie opvangen?
- Hoe robuust en tegen welke kosten willen we de energietransitie inrichten?
- Welke risico's van een energiesysteem met of zonder kernenergie vinden we acceptabel en hoe gaan we die risico's bepalen?
- Hoe wegen we de landschappelijke impact die een keuze voor een bepaalde vorm van energieopwekking heeft?
- Hoe wegen we de impact van het gebruik van eindige grondstoffen bij de keuze voor (of tegen) het opnemen van bepaalde vormen van energieopwekking in het energiesysteem?

- Wat vinden we een eerlijke verdeling van de lusten en de lasten die het energiesysteem met zich meebrengt?
- Met welke gevolgen van het energiesysteem mogen we toekomstige generaties belasten?

Kabinet: weeg in de besluitvorming het perspectief van burgers mee
Wij formuleren in dit advies ook aanbevelingen die schetsen hoe het kabinet het perspectief van burgers kan betrekken in de besluitvorming over kernenergie.

Geef in debat over inrichting energiesysteem aandacht aan de vijf waarden
Er zal de komende jaren op diverse momenten maatschappelijk debat ontstaan over de inrichting van de energietransitie – zeker wanneer de mogelijke bouw van kerncentrales aan de orde komt. Wij vinden het belangrijk dat het kabinet en de Tweede Kamer daarbij ruimschoots aandacht geven aan de vijf waarden die daarbij een rol spelen: energiezekerheid, betaalbaarheid, veiligheid, duurzaamheid en rechtvaardigheid in de verdeling van lusten en lasten.

Organiseer burgerbetrokkenheid
Kabinet en Tweede Kamer zullen burgers expliciet moeten betrekken bij besluitvorming en duidelijk moeten informeren over de afwegingen die ze tussen deze waarden maken en de conclusies die ze daaruit trekken. Burgers zullen de uitkomsten van een besluitvormingsproces dan gemakkelijker accepteren.

Wij ondersteunen in dit verband het voorstel dat de minister voor Klimaat en Energie, mede namens de minister van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, heeft gedaan om als kabinet samen met de Tweede Kamer onderzoek te doen naar de mogelijkheid om een burgerforum in te stellen bij het maken van keuzes over de inrichting van het toekomstige energiesysteem van ons land. Wij achten een burgerforum in beginsel een geschikte vorm van burgerparticipatie om advies aan regering en parlement uit te brengen over het toekomstige energiesysteem en de mogelijke rol van kernenergie daarin. Hiervoor dienen dan vooraf wel de nog openstaande kennisvragen te worden beantwoord.

DEEL 1 | ADVIES

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

De klimaatdoelstellingen waaraan Nederland moet voldoen maken een snelle energietransitie noodzakelijk. In 2030 moet minimaal 55% reductie van CO_2-uitstoot zijn gerealiseerd en in 2050 zal Nederland moeten beschikken over een CO_2-neutraal energiesysteem, dat in belangrijke mate draait op schoon opgewekte elektriciteit. Dit betekent dat er nog minder dan dertig jaar beschikbaar is. Nederland heeft de afgelopen jaren de eerste stappen gezet in de energietransitie. Duidelijk is echter dat wereldwijd, en ook in Nederland, de realisatie van de energietransitie achterloopt bij de afspraken die in 2015 in het klimaatakkoord van Parijs zijn gemaakt (IPCC, 2022; PBL, 2021). De beleidsinzet en -uitvoering zal dus fors moeten worden geïntensiveerd.

De mogelijkheid om de klimaatdoelen dichterbij te brengen door nieuwe kerncentrales te bouwen, krijgt in ons land de laatste jaren steeds meer aandacht, zowel in de publieke discussie als in de Tweede Kamer. In het coalitieakkoord van het vierde kabinet-Rutte hebben de regeringspartijen afgesproken om voorbereidende stappen te zetten voor de mogelijke bouw van twee nieuwe kerncentrales. Het kabinet wil marktpartijen interesseren voor de mogelijkheid om een kerncentrale te gaan bouwen en kernafval veilig permanent op te slaan. Hiervoor is € 5 miljard gereserveerd. Om de in het coalitieakkoord gemaakte afspraak te realiseren zullen op verschillende

momenten besluiten moeten worden genomen waarover op dat moment debat zal ontstaan.

Op dit moment vormen wind- en zonne-energie het fundament onder de transitie naar een CO_2-neutraal energiesysteem. Naast wind- en zonne-energie zijn echter ook andere vormen van stroomcapaciteit nodig, om te voorzien in de vraag naar energie als het niet waait of de zon niet schijnt. De vraag is of en hoe kernenergie in dit verband een aanvullende rol zou kunnen vervullen. Duidelijk moet worden of we als samenleving de opwekking van nucleaire energie wenselijk (of op zijn minst acceptabel) vinden, of dat we liever kiezen voor andere opties om over voldoende energie te beschikken. Het kan dan gaan om een combinatie van energieopwekking door middel van bijvoorbeeld biomassa, aardgas in combinatie met afvang en opslag van CO_2, biogas of waterstof, van het opslaan van energie in bijvoorbeeld accu's en waterstof, maar ook om zaken als import en vraagsturing. Het gaat hier om keuzes die naar verwachting volop maatschappelijk debat zullen uitlokken – niet alleen binnen formele inspraakprocedures, maar ook daarbuiten.

Het gesprek voeren over het energiesysteem van de toekomst en de mogelijkheid van kernenergie daarbinnen is niet gemakkelijk, maar wel nodig (Boot, 2020). Het onderwerp is ingewikkeld en er zijn onzekerheden. Om in het publieke debat greep te krijgen op het onderwerp is technische en financiële informatie nodig: welke risico's kleven er aan kernenergie en welke kosten komen erbij kijken? Het breed beschikbaar maken van feitelijke informatie hierover is echter niet voldoende. Er spelen in de samenleving ook onderliggende overtuigingen die van invloed zijn op de positie die mensen kiezen in het debat over kernenergie. Het is belangrijk om deze impliciete overtuigingen in gesprekken expliciet te maken en te erkennen, zodat ze op een transparante manier kunnen meewegen in de besluitvorming. Dit meewegen van de verschillende posities die mensen hebben is essentieel. De mogelijkheid om kernenergie in te passen in het Nederlandse energiesysteem hangt immers af van beleidskeuzes die zullen moeten worden gemaakt op basis van de opvattingen die in de samenleving leven. Dit is van belang om te komen tot 'houdbaar', stabiel beleid.

De afgelopen decennia is het Nederlandse kernenergiebeleid verre van stabiel geweest. Plannen voor nieuwe kerncentrales stonden meermaals op de politieke agenda, maar werden steeds weer ingetrokken. Het is belangrijk dat de besluitvorming over kernenergie vanaf nu minder grillig verloopt. Om de klimaatdoelen voor 2050 binnen bereik te houden, is stabiel energiebeleid immers onontbeerlijk.

1.2 Centrale vraag

Zoals gezegd is het aantal jaren dat nog resteert voor het realiseren van de energietransitie overeenkomstig de afspraken van Parijs beperkt: de tijd dringt. In dat licht is het een complicatie dat het proces van besluitvorming over de mogelijke bouw van nieuwe kerncentrales in Nederland relatief veel tijd vraagt – en dan moet de uitvoering nog beginnen. Het is daarom van belang dat de besluitvorming over het energiesysteem en de mogelijke rol van kernenergie daarin op korte termijn plaatsvindt. Tegelijkertijd is het

essentieel dat de besluitvorming (zowel over de gehele energietransitie als over de eventuele rol van kerncentrales daarbinnen) zorgvuldig verloopt. Alleen zo kan worden voorkomen dat er naderhand vertragende 'kinken in de kabel' komen doordat inhoudelijke aspecten onvoldoende zijn belicht, of maatschappelijke geluiden onvoldoende zijn meegewogen. Met andere woorden: het is belangrijk om te komen tot 'toekomstbestendige' besluitvorming, waarin álle relevante afwegingen zijn gemaakt. Daarom staat in dit advies de volgende vraag centraal:

Welke afwegingen moeten worden gemaakt bij de besluitvorming over de mogelijke rol van nieuwe kerncentrales binnen het CO_2-neutrale energiesysteem dat Nederland op korte termijn moet vormgeven? En welke aanbevelingen volgen daaruit voor het proces van gedachtevorming en uitwisseling dat regering en parlement voorafgaand aan de besluitvorming zouden moeten doorlopen?

1.3 Doelstelling

Dit advies is er niet op gericht om te komen tot een uitspraak vóór of tegen kernenergie. Ook geven we geen oordeel over de wenselijkheid of onwenselijkheid van het bouwen van nieuwe kerncentrales. Wel willen we de onderwerpen identificeren die volgens ons in ieder geval aan de orde moeten komen in het debat en de besluitvorming over de rol van kernenergie in de toekomstige energievoorziening.[1] Deze onderwerpen kunnen inhoudelijke vragen betreffen waarover nog geen gefundeerde kennis beschikbaar is, maar bijvoorbeeld ook beleidsinhoudelijke dilemma's die vragen om het afwegen van waarden zoals veiligheid, duurzaamheid, betaalbaarheid, energiezekerheid en rechtvaardigheid.

Ons doel is om met dit advies het politiek-maatschappelijke debat over kernenergie te vergemakkelijken door inzichtelijk te maken welke perspectieven en onderwerpen relevant zijn en hoe deze kunnen worden meegenomen in het maken van beleidsafwegingen. De achterliggende gedachte is dat degelijk onderbouwde beleidskeuzes, waaraan afwegingen ten grondslag liggen over álle relevante inhoudelijke en maatschappelijke aspecten, bijdragen aan stabiel beleid. We hopen dat ons advies bijdraagt aan het bespreekbaar maken van het onderwerp kernenergie, dat vooralsnog vooral als *splijtstof* heeft gewerkt en aanleiding heeft gegeven tot een gepolariseerd debat. Wij denken dat een goed gesprek over kernenergie mogelijk is en vinden dit van belang, gelet op de urgentie van de klimaatdoelen.

1.4 Afbakening

Ons advies beperkt zich tot de besluitvorming over de mogelijke rol van nieuwe kerncentrales binnen de toekomstige energievoorziening van Nederland. Verlenging van de levensduur van de bestaande kerncentrale in Borssele valt zodoende buiten het kader van dit advies. Ook over de rol die eventuele nieuwe kernreactoren zouden kunnen vervullen voor onderzoeks- en medische toepassingen spreken we ons in dit advies niet uit.

1 Wij sluiten daarbij niet uit dat er daarnaast nog andere onderwerpen zijn die ook relevant zijn voor het debat.

Verder richten wij ons in dit advies uitsluitend op 'reguliere' kerncentrales van de zogenaamde generatie 3(+), vergelijkbaar met de kerncentrales die in aanbouw zijn in Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk, en de centrale die recent in gebruik is genomen in Finland. Dit type technologie is op dit moment beschikbaar en daarover kan nu worden besloten. Wij verwachten overigens dat een nieuwe kerncentrale in Nederland op zijn vroegst vanaf 2035 elektriciteit zal kunnen leveren aan het net, en dus vanaf dat moment kan bijdragen aan broeikasgasreductie. Nieuwe technieken voor de opwekking van nucleaire energie die mogelijk in de toekomst op de markt zullen komen, zoals 'small-and-modular' reactoren of kerncentrales van de generatie 4 (Jordan en Turkenburg, 2020), blijven in dit advies buiten beschouwing, al kunnen ze wel invloed hebben op het besluit om wel of geen kerncentrales van de generatie 3(+) te bouwen.

Een laatste afbakening die wij hier vermelden betreft de doelgroep van dit advies. Wij willen op een toegankelijke manier in beeld brengen welke onderwerpen in het maatschappelijke debat en de politieke besluitvorming over de mogelijke rol van kernenergie in Nederland in elk geval moeten worden besproken en afgewogen. Dit advies behelst dan ook geen wetenschappelijke beoordeling van de beschikbare onderzoeken naar kernenergie. We richten ons tot een breder publiek van betrokken burgers, politici en beleidsmakers.

1.5 Aanpak

Dit advies is grotendeels op dezelfde manier stand gekomen als onze andere adviezen. Dit betekent dat de adviestekst het resultaat is van (a) eigen analyse door een intern projectteam en een interne commissie, (b) de inbreng van specifieke deskundigen die vanuit de Rli zijn geraadpleegd, (c) de resultaten van in opdracht van de Rli uitgevoerd onderzoek, (d) grotere en kleinere bijeenkomsten met deskundigen en belanghebbenden en (e) de reflectie van de raad op het eindresultaat. Een bijzonderheid bij dit advies is dat wij drie externe adviseurs hebben betrokken in het traject. In hoofdstuk 1 van deel 2 is een meer gedetailleerde beschrijving van de gevolgde aanpak opgenomen.

1.6 Leeswijzer

Het vervolg van dit advies is als volgt opgebouwd.

In hoofdstuk 2 schetsen we de historie en de actuele situatie rond kernenergie in Nederland en geven we een doorkijk naar het debat dat wij verwachten over de eventuele bouw van nieuwe kerncentrales in ons land. Ook wijzen we op een les die de overheid uit de geschiedenis kan leren bij het maken van nieuwe plannen voor kernenergie.

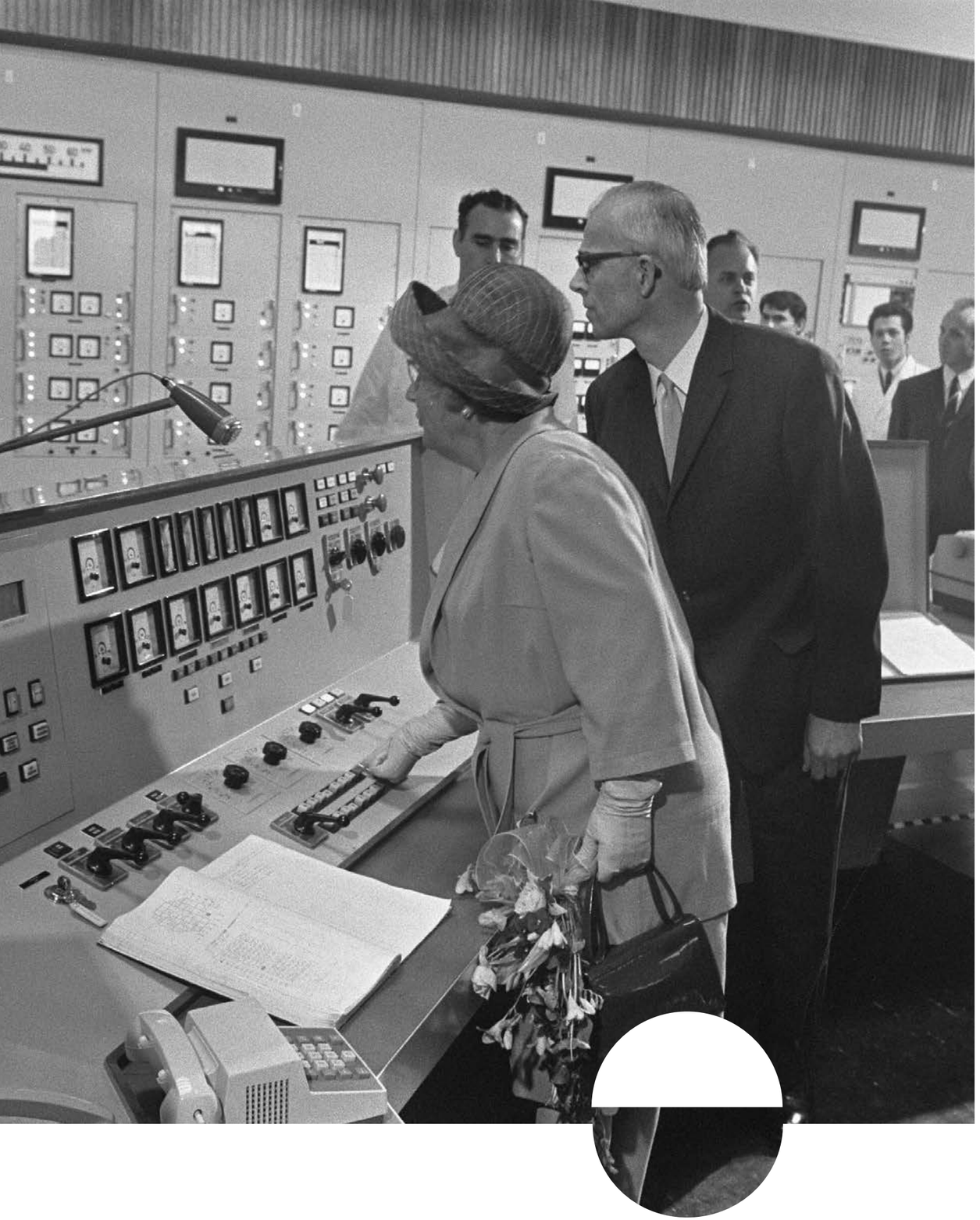
In hoofdstuk 3 introduceren we de waarden die Nederlanders belangrijk vinden als het gaat om kernenergie en de inrichting van ons toekomstige energiesysteem. Dit is de lens waardoor we in het advies kijken naar kernenergie.

In hoofdstuk 4 bespreken we hoe Nederlanders denken over kernenergie aan de hand van de in hoofdstuk 3 geïntroduceerde waarden. Wat vinden ze per waarde belangrijk en welke opvattingen en emoties spelen een rol bij hun meningsvorming?

In hoofdstuk 5 toetsen we de belangrijkste argumenten uit het publieke debat over kernenergie aan bestaande kennis. Is er overeenstemming over bepaalde feiten en waarden? Zijn sommige argumenten aantoonbaar onjuist of problematisch?

In hoofdstuk 6 richten we het vizier op vragen die nog openstaan als het gaat om de mogelijke rol van kernenergie binnen ons toekomstige energiesysteem. We inventariseren welke kennis nog ontbreekt en welke dilemma's nog een politieke afweging vergen voordat een toekomstbestendig besluit over de toekomstige rol van kernenergie kan worden genomen.

In hoofdstuk 7 ten slotte, formuleren we de conclusies uit onze analyse en onze vijf aanbevelingen aan het kabinet.



2 DEBAT OVER KERNENERGIE TOEN EN NU: WAT LEERT HET ONS?

De publieke opinie over kernenergie is in ons land door de jaren heen niet constant geweest. Het proces van uraniumsplijting, dat kort voor de Tweede Wereldoorlog was ontdekt, werd vanaf de jaren vijftig door velen beschouwd als dé energiebron van de toekomst. In de jaren zeventig ontstonden er voor het eerst bij een grotere groep twijfels over de risico's van kernenergie. Sindsdien is kernenergie met enige regelmaat onderwerp geweest van felle maatschappelijke en politieke discussies. Kernongevallen zoals die in Harrisburg, Tsjernobyl en Fukushima droegen hieraan bij.

Dit hoofdstuk geeft eerst een beknopte schets van de historie. Daarna gaan we in op de actuele stand van de beleidsplannen voor de toepassing van kernenergie. Ook geven we een doorkijk naar de beslissingen die binnen afzienbare termijn nodig zijn om de eventuele bouw van nieuwe kerncentrales in Nederland mogelijk te maken, en waarover naar onze verwachting politiek-maatschappelijk debat zal ontstaan. We schetsen de verschillende gezichtspunten die in dat debat bij herhaling terugkeren. Tot slot bespreken we welke les de overheid uit de geschiedenis kan trekken bij het maken van nieuwe kernenergieplannen.

2.1 Eerste stappen op het gebied van kernenergie

In 1957 kondigde de toenmalige minister van Economische Zaken in de *Nota inzake de kernenergie* de Atoomwet aan, later omgedoopt tot Kernenergiewet. Het eerste deel van deze wet trad in 1963 in werking en vormde het startschot voor de bouw van een kerncentrale in Dodewaard. De centrale was in 1969 klaar voor gebruik. Het vermogen van de centrale bedroeg 58 megawatt – wat in de jaren zestig voldoende was om een stad als Arnhem van stroom te voorzien.

De Provinciale Zeeuwsche Electriciteits-Maatschappij (PZEM) besloot vervolgens om in het Zeeuwse Borssele een tweede kerncentrale te bouwen met een netto elektrisch vermogen van 485 megawatt. De bouw van deze centrale begon in 1969; in 1973 werd hij in gebruik genomen. De meeste mensen zagen kernsplijting in die tijd als een veilige en oneindige bron van energie, die bovendien niet de vervuiling met zich meebracht die het gebruik van kolen en olie veroorzaakte (Koppejan, 2008). Kernenergie vormde, kortom, geen controversieel onderwerp.

2.2 Brede Maatschappelijke Discussie

In 1970 trad de Kernenergiewet volledig in werking. De wet had als doel om de verdere ontwikkeling van kernenergie te stimuleren en tegelijkertijd mens en milieu te beschermen tegen de eventuele gevaren (Uylenburg et al., 2006). De verwachting was op dat moment dat in het jaar 2000 de helft van de Nederlandse elektriciteit van kerncentrales zou komen (EZ, 1972).

Afbeelding 1: Fragment uit een Stop Kalkar-krant uit 1975

Bron: Landelijk Kernenergie Archief (Laka)

In de jaren daarna nam het maatschappelijk draagvlak voor kernenergie echter af. Zo waren er in de periode 1974-1983 diverse protestacties tegen de bouw van een kweekreactor in Kalkar (net over de Duitse grens). Het ongeval dat zich in 1979 voordeed in de kerncentrale van Harrisburg (Verenigde Staten), wakkerde het verzet in de samenleving verder aan.

Naar aanleiding van de kantelende publieke opinie nam het tweede kabinet-Van Agt (1981-1982) het initiatief tot wat officieel de Maatschappelijke Discussie Energiebeleid heette, maar waarnaar werd verwezen als de Brede Maatschappelijke Discussie over de rol van kernenergie in de Nederlandse energievoorziening.
Tijdens de in totaal circa 2.000 publieksbijeenkomsten bleken de standpunten van de voor- en tegenstanders van kernenergie ver uiteen te liggen.[2]

Een ruime meerderheid van de deelnemers sprak zich uit tegen kernenergie. In "Het Eindrapport" adviseerde de stuurgroep Maatschappelijke Discussie Energiebeleid de regering in 1984 om geen nieuwe kerncentrales te bouwen, maar wel in te zetten op kennisontwikkeling en onderzoek. In 1985 besloot de regering echter, mede op basis van adviezen van onder andere de Algemene Energieraad en het Internationaal Energieagentschap, om tóch in te zetten op de bouw van ten minste twee nieuwe kerncentrales (EZK, VROM, SZW, WVC & BZ, 1985).

2 Jaren later, in 2005, vertelde verantwoordelijk minister Terlouw dat hij behoorlijk teleurgesteld was over hoe de Brede Maatschappelijke Discussie was uitgepakt: "Het werd een welles-nietesdebat met op de discussieavonden telkens dezelfde mensen".

2.3 Impact ramp Tsjernobyl op kernenergiebeleid

Terwijl de Nederlandse overheid bezig was met het proces van besluitvorming over de nieuwe kerncentrales, vond in 1986 een kernramp plaats, in de Oekraïense stad Tsjernobyl (toen nog onderdeel van de Sovjet-Unie). Als gevolg van een mislukte veiligheidstest deden zich twee explosies voor in een reactor van de kerncentrale. De eerste explosie blies het deksel van 2.000 ton van het reactorvat en de tweede sloeg een gat in het reactorgebouw. Vrijwel meteen kwamen er radioactieve stoffen uit de reactor vrij. De reactor stond tien dagen lang in brand. Grote hoeveelheden radioactief stof verspreidden zich over Europa en delen van Azië.

Na het ongeluk in Tsjernobyl slonk het maatschappelijk draagvlak voor kernenergie in Nederland (Dekker et al., 2011). De regering besloot tot drie keer toe om haar plannen voor nieuwe kerncentrales uit te stellen: in 1986, 1988 en 1989. In de Energienota van 1995 concludeerde de regering vervolgens dat er geen nieuwe kerncentrales zouden komen. Wel moest het onderzoek naar kernenergie worden voortgezet.

2.4 Plannen voor kernenergie bij aanvang nieuw millennium

Kernenergie had in de jaren negentig geen prominente plek op de Haagse politieke agenda. Begin deze eeuw ontstond echter bij beleidsmakers in hernieuwde aandacht voor het onderwerp. Nieuwe adviezen van de

Algemene Energieraad en de Sociaal-Economische Raad (AER, 2008; SER, 2008) vormden hiervoor mede de aanleiding.[3]
Beide adviesorganen signaleerden in het licht van de urgente klimaatdoelen de noodzaak van een herijking van het energiebeleid, waarbij ook serieus zou moeten worden gekeken naar de optie om kerncentrales in te zetten voor de energievoorziening.
De beide adviezen brachten een beleidswijziging teweeg. In het *Energierapport 2008* gaf het kabinet aan een aanvullende rol voor kernenergie binnen de toekomstige energievoorziening niet langer uit te sluiten (EZK & VROM, 2010). Kernenergie werd in het beleidsdocument getypeerd als een mogelijke overbruggingstechnologie tijdens de transitie naar een energiesysteem op basis van hernieuwbare energie.
Kort daarna ging de planvoorbereiding voor de uitbreiding van kernenergie in Nederland van start. Twee marktpartijen, de energiebedrijven RWE en Delta, dienden voorstellen in voor de bouw van een nieuwe kerncentrale in Borssele.
Een nieuwe kernramp gooide echter voortijdig roet in het eten. In maart 2011 werd de kerncentrale van Fukushima (Japan) getroffen door een tsunami. De dieselgeneratoren voor de noodkoeling kwamen door de vloedgolf onder water te staan en vielen uit, waardoor de kernbrandstof onvoldoende kon worden gekoeld. Daarop volgde een kernsmelting (*meltdown*) bij drie reactoren. Er deden zich ontploffingen voor, waarbij grote hoeveelheden radioactieve deeltjes vrijkwamen.

3 In opdracht van de SER-commissie Toekomstige Energievoorziening is destijds een inzichtelijk fact finding paper opgesteld (Scheepers et al., 2007).

De kernramp in Japan tastte opnieuw het draagvlak voor kernenergie in Nederland aan, zowel in de samenleving als in de politiek (PZC, 2012). Het aantal voorstanders voor de bouw van nieuwe kerncentrales daalde sterk.[4] Tegelijkertijd constateerden RWE en Delta dat hun respectievelijke businesscases voor de bouw van een nieuwe kerncentrale in Borssele onder de toenmalige marktcondities niet haalbaar waren. De plannen werden stilgelegd (EZ, 2012).

2.5 Aandacht voor kernenergie in vierde kabinet-Rutte

In 2018, relatief kort na de kernramp in Fukushima, werd in Nederland het debat over kernenergie toch weer aangeslingerd. Verschillende media besteedden aandacht aan het onderwerp.[5]
Kernenergie was terug in het nieuws en stond weer op de Nederlandse politieke agenda (Tweede Kamer, 2018). Sindsdien wordt er in de Tweede Kamer geregeld over gedebatteerd (Tweede Kamer, 2019a, 2020a, 2021a, 2021b). De hernieuwde aandacht voor kernenergie lijkt een verschuiving te hebben teweeggebracht in de mening van Nederlandse burgers over het onderwerp. Het aandeel (gematigde) voorstanders van nieuwbouw van kerncentrales is de laatste jaren gegroeid.[6]

4 In 2010 gaf 34% van de respondenten in het Nationaal Kiezersonderzoek aan gematigd tot zeer positief te staan tegen nieuwbouw van kerncentrales. In 2012 was dat nog maar 19%. Zie: Nationaal Kiezersonderzoek 2012 https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2013/05/resultaten-nationaal-kiezersonderzoek-2012
5 In het programma Zondag met Lubach hield Arjen Lubach op 4 november 2018 een pleidooi vóór de inzet van kernenergie. Andere media pikten dit op, waaronder het programma Nieuwsuur. Zie https://nos.nl/nieuwsuur/artikel/2258074-dijkhoff-klimaatdoelen-onhaalbaar-zonder-nieuwe-kerncentrales
6 Zie https://www.dpes.nl/statistical-analysis/

In 2020 heeft het kabinet op verzoek van het parlement (Tweede Kamer, 2020b) een marktconsultatie naar kernenergie laten uitvoeren (KPMG, 2021). Daarnaast heeft het kabinet opdracht gegeven voor een – op dit moment nog lopende – scenariostudie naar de rol die kernenergie kan spelen in de energievoorziening, aanvullend op andere energiebronnen, zoals wind- en zonne-energie. Tevens heeft het kabinet zich op verzoek van de Tweede Kamer in Brussel sterk gemaakt voor het besluit om kernenergie in de zogenoemde EU-taxonomie het label 'duurzaam' te geven (Tweede Kamer, 2021c).[7]

Het vierde kabinet-Rutte heeft zich vervolgens bij zijn aantreden uitgesproken voor het faciliteren van voorbereidende stappen voor de bouw van twee nieuwe kerncentrales in Nederland:

> *"Kernenergie kan in de energiemix een aanvulling zijn op zon, wind en geothermie en kan worden ingezet voor de productie van waterstof. Ook maakt het ons minder afhankelijk van de import van gas. Daarom blijft de kerncentrale in Borssele langer open, met uiteraard oog voor de veiligheid. Daarnaast zet dit kabinet de benodigde stappen voor de bouw van 2 nieuwe kerncentrales. Dat betekent onder andere dat wij marktpartijen faciliteren bij hun verkenningen, innovaties ondersteunen, tenders uitzetten, de (financiële) bijdrage van de overheid bezien, wet- en regelgeving waar nodig in orde maken. Ook zorgen we voor veilige, permanente opslag van kernafval." (Coalitieakkoord, december 2021)*

Afbeelding 2: Scholieren klimaatmars in Den Haag, 2019

Bron: Peter Hilz / ANP / Hollandse Hoogte

Het proces dat zal worden gevolgd voor de uitvoering van dit kabinetsvoornemen is geschetst in drie kabinetsbrieven (EZK 2022a; 2022b; 2022c). In de eerste brief schetst het kabinet de contouren van een toekomstig

7 In de EU-taxonomie voor duurzame activiteiten wordt geclassificeerd in welke mate investeringen bijdragen aan verduurzaming van de Europese economie; de lijst is bedoeld als hulp voor beleggers die op zoek zijn naar duurzame investeringen. Het voorstel van de Europese Commissie om kernenergie tijdelijk (tot 2045) en onder specifieke voorwaarden en transparantievereisten op te nemen in de taxonomie (Europese Commissie, 2022) is op 6 juli 2022 aangenomen door het Europees Parlement.

energiesysteem en de complexe opgaven die voorliggen op de weg daarnaartoe (EZK, 2022a). In de tweede brief (EZK, 2022b) zet het kabinet uiteen wat de processtappen zullen zijn in de besluitvorming over kernenergie. In deze brief wordt het belang benadrukt van het opbouwen van de benodigde kennisinfrastructuur, die eerder al als kwetsbaar is beoordeeld (Commissie Van der Zande, 2020). In de derde brief (EZK, 2022c) stelt het kabinet voor om samen met de Tweede Kamer te onderzoeken of er in 2023 een burgerforum kan worden ingesteld rond keuzes in de energietransitie. In navolging van de commissie-Brenninkmeijer (Adviescommissie Burgerbetrokkenheid bij klimaatbeleid, 2021) noemt het kabinet als essentiële randvoorwaarden: (a) een heldere en gerichte vraagstelling die voor een brede groep urgent en relevant is, (b) helderheid vooraf over wat met de uitkomsten van het burgerforum gebeurt en (c) een breed (door bijvoorbeeld gewogen loting) samengestelde groep deelnemers van een omvang die nog wel werkbaar is. Gedacht wordt aan 100 tot 150 deelnemers.

Wij voorzien in de huidige kabinetsperiode verschillende momenten waarop nader politiek-maatschappelijk debat valt te verwachten over de mogelijke rol van kernenergie binnen het toekomstige energiesysteem van Nederland. Deze momenten van debat zullen veelal gekoppeld zijn aan de besluitvorming over belangrijke voorwaarden voor de eventuele bouw van nieuwe kerncentrales. Voorbeelden zijn:

- *Vaststelling van het Nationaal Plan Energiesysteem 2050*. Dit plan, waaraan mede wordt gewerkt door een expertteam dat is benoemd door de minister voor Klimaat en Energie,[8] moet meer inzicht gaan geven in de gewenste ontwikkelingsrichting van het Nederlandse energiesysteem. Het plan zal het karakter hebben van een tussentijds aanpasbare routekaart (EZK, 2022a). In de loop der jaren zal de uiteindelijke invulling van een volledig CO_2-neutraal energiesysteem steeds scherper moeten worden. Over de vaststelling van het plan en de bijbehorende plan-milieueffectrapportage, inclusief de eventuele rol van nieuwe kerncentrales daarbinnen, is debat te verwachten.
- *Besluitvorming over financiële ondersteuning van marktpartijen met bouwplannen voor een nieuwe kerncentrale.* Het kabinet heeft aangekondigd marktpartijen te willen faciliteren bij hun verkenningen, innovaties te willen ondersteunen, tenders uit te willen zetten en – anders dan bij de planvorming voor nieuwe kerncentrales bij de start van het millennium – na te willen denken over financiële bijdragen vanuit de overheid. Hiervoor is in het coalitieakkoord € 5 miljard gereserveerd. Over de hoogte van een eventuele financiële (en andersoortige) bijdrage en over de voorwaarden waaronder deze zal worden verstrekt, is debat te verwachten.
- *Locatiekeuze en vergunningverlening voor een nieuw te bouwen kerncentrale.* Elke marktpartij die voldoet aan de hiervoor geldende wettelijke eisen kan in Nederland een vergunning aanvragen voor het bouwen en in gebruik nemen van een kerncentrale. Deze vergunningaanvraag moet worden ingediend bij de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS). De vergunningaanvraag voor de bouw

8 Het Expertteam Energiesysteem 2050 is op 22 april 2022 formeel door de minister voor Klimaat en Energie ingesteld. Zie https://wetten.overheid.nl/BWBR0046613/2022-04-30

moet voorzien zijn van een veiligheidsanalyse en milieueffectrapport (ANVS, 2021). Bij de vergunningaanvraag voor de ingebruikname moet aanvullend een ontmantelingsplan worden ingediend. Verder is een bouwvergunning vereist (hetgeen aanpassing van het lokale bestemmingsplan met zich meebrengt).[9] Op het moment dat er concrete locaties in beeld komen én de vergunningsprocedure wordt gestart, verwachten wij opnieuw politiek-maatschappelijk debat.

Bovenstaande aanleidingen tot debat hoeven elkaar niet chronologisch op te volgen. Ook kunnen in de praktijk aanleidingen tot debat wegvallen of kunnen zich nieuwe aanleidingen tot debat aandienen. Ervaringen uit het verleden laten bovendien zien dat de politieke besluitvorming over kernenergie grillig kan verlopen – vaak als gevolg van onvoorziene maatschappelijke ontwikkelingen die de publieke opinie beïnvloeden. Hierin ligt meteen ook een belangrijke les besloten voor de inrichting van besluitvormingstrajecten rond kernenergie (zie § 2.7).

2.6 Terugkerende gezichtspunten in het debat over kernenergie

Het debat over kernenergie wordt gevoerd vanuit verschillende perspectieven. Er is sprake van voorstanders van kernenergie, van tegenstanders en ook van een groep die een neutrale positie inneemt ten opzichte van kernenergie, of nog twijfelt. Omdat het debat wordt gedomineerd door voor- en tegenstanders, lijkt sprake van sterke polarisatie rond dit onderwerp. De neutrale groep mensen zonder uitgesproken mening voor of tegen, is echter verrassend groot. Vier op de tien Nederlanders nemen geen duidelijke positie in rond kernenergie (Ipsos, 2022a). Deze grote groep is niet erg zichtbaar in het debat, terwijl ze wel bepalend is voor het draagvlak voor een energiesysteem met of zonder kernenergie (Vossen, 2019).

Om een indruk te geven van de argumenten en opvattingen die blijkens onze analyse in het maatschappelijk debat een rol spelen, laten we hieronder in tekstkaders drie denkbeeldige personen aan het woord. Wat zij met elkaar gemeen hebben is dat zij zich zorgen maken over het klimaat. Zij beoordelen kernenergie echter heel verschillend en hebben ook uiteenlopende visies op de inzet van technologie voor het oplossen van het klimaatprobleem.

Een voorstander

Kernenergie is de beste en misschien wel de enige oplossing om te komen tot een verantwoorde energietransitie. Met een aantal kerncentrales bespaar je een hoop ellende; geen weilanden bedekt door zonnepanelen en natuurgebieden vol met windturbines. Kerncentrales zijn goed voor ons én voor toekomstige generaties. Kernenergie is schoon, veilig en heeft niet veel grondstoffen nodig.
De nieuwste generatie kerncentrales is bovendien gewoon veilig. Dat zeggen de experts al heel lang. Ook wat kernafval betreft is er geen

9 Voor drie zogeheten waarborglocaties is afgesproken dat hier geen activiteiten mogen plaatsvinden die de bouw van kerncentrales onmogelijk maken. Het gaat om de locaties: Borssele, Maasvlakte I en Eemshaven. In maart 2021 heeft de Tweede Kamer moties aangenomen waarin het kabinet wordt opgeroepen om de Eemshaven uit deze lijst te schrappen (Tweede Kamer, 2021a; 2021b).

probleem: het is allang duidelijk dat we dat diep onder de grond kunnen opslaan.
Een kerncentrale is misschien niet goedkoop, maar anders ben je ook veel geld kwijt voor duurzame energie. Uiteindelijk is het de investering meer dan waard. Kernenergie is namelijk betrouwbaar. En dat hebben we nodig omdat het niet altijd waait en de zon niet altijd schijnt. Zonder kernenergie gaat het licht op sommige momenten misschien wel gewoon uit. Als je zo snel mogelijk een paar kerncentrales neerzet, heb je al een flink deel van de energietransitie opgelost en komt onze welvaart en die van onze kinderen niet in gevaar. Met elke dag dat we wachten wordt het alleen maar moeilijker en duurder. We zouden trots moeten zijn op nieuwe kerncentrales. Kernenergie biedt hoop op een goede duurzame toekomst.

Ervaren emoties[10]: hoop, trots, vreugde en verantwoordelijkheidsgevoel

Een tegenstander

We moeten met zijn allen snel in actie komen tegen de klimaatverandering. Dat vraagt om een volledige ombouw van het energiesysteem en het verkleinen van de vraag naar energie. We moeten vol inzetten op windturbines, zonnepanelen, batterijen en waterstof. Als we daarop inzetten, hebben we helemaal geen dure kerncentrales nodig. Dan zijn we goedkoper én duurzamer uit. Een systeem met diverse soorten hernieuwbare energiebronnen op veel verschillende locaties is ook veel betrouwbaarder dan een systeem dat bestaat uit grote centrales. Kerncentrales passen niet in een modern energiesysteem; daarvoor zijn ze veel te inflexibel.
Kernenergie kan bovendien veel schade aan mens en milieu veroorzaken als het fout gaat. Het gaat misschien niet vaak fout, maar als het fout gaat, dan gaat het ook goed fout. We kunnen er daarom niet blindelings op vertrouwen dat het allemaal wel goed zit met de veiligheid. De gevolgen van een kernramp zijn niet te overzien. Kernenergie wordt vaak schone energie genoemd, maar dat is niet terecht. Het afval is bepaald niet schoon. Daarvoor bestaat geen oplossing, dus je zadelt volgende generaties op met gevaar en vervuiling. En dan hebben we het nog niet eens over het risico dat kerncentrales worden gebruikt voor het maken van kernwapens.
De bouw van een paar kerncentrales zorgt niet voor de transitie van het hele energiesysteem, dat vraagt veel meer. Kernenergie is een excuus om niet te hoeven veranderen en alles bij het oude te laten.

Ervaren emoties: woede, angst, zorgen en verantwoordelijkheidsgevoel

Een twijfelaar

Ik heb eigenlijk niet zo'n sterke mening over kernenergie. Ik weet niet of ik vóór of tegen ben. Het belangrijkste is dat we de klimaatverandering aanpakken en dat er betaalbare stroom uit het stopcontact komt. Hoe we dat precies doen, maakt mij minder uit.

10 Emoties genoemd in dit tekstkader en de tekstkaders hierna, zijn gebaseerd op Ipsos (2022a).

Een kerncentrale levert heel veel stroom en stoot zowat niets uit, maar een kerncentrale is niet goedkoop. Maar ja, als het zekerheid biedt voor als de zon niet schijnt en de wind niet waait, heb ik dat er misschien wel voor over, of zijn er ook andere mogelijkheden om onder dergelijke omstandigheden betaalbare stroom te krijgen? Kernafval vind ik geen prettige gedachte en daar zullen we een goede oplossing voor moeten vinden. Ik vertrouw er heus wel op dat het veilig is, al zou ik wel meer willen weten over wat de gevaren nou precies zijn. We moeten dit land wel goed voor onze kinderen achterlaten.

Ervaren emoties: hoop, zorgen, verantwoordelijkheidsgevoel

Zoals de voorbeelden illustreren, redeneren mensen die een rol zien weggelegd voor kernenergie vanuit het standpunt dat kerncentrales *schoon*, *veilig* en *betrouwbaar* zijn. Dit zijn terugkerende argumenten in het debat. Mensen die kernenergie afwijzen, redeneren vanuit het standpunt dat kerncentrales *duur*, *vervuilend* en *onveilig* zijn. Ook deze argumenten worden al decennialang ingebracht.

Opvallend is dat ook de emoties van voor- en tegenstanders van elkaar verschillen. Terwijl bij voorstanders van kernenergie hoop, trots en vreugde de overhand hebben, domineren bij tegenstanders van kernenergie *woede*, *angst* en zorgen. In beide groepen is sprake van een gevoel van *verantwoordelijkheid* voor het voorkomen van klimaatverandering.

2.7 Les: zorgvuldige en transparante besluitvorming noodzakelijk

Als de historie rond kernenergie in ons land íets laat zien, is het wel dat het hier gaat om een onderwerp dat burgers niet koud laat. En ook: dat de publieke opinie erover sterk aan verandering onderhevig is. Telkens als zich ergens ter wereld een kernongeval voordoet, groot of klein, laaien de gemoederen op en valt het maatschappelijk draagvlak voor kerncentrales grotendeels weg. Wat ook opvalt: dat het Nederlandse beleid voor de toepassing van kernenergie als gevolg van deze situatie de afgelopen decennia verre van stabiel is geweest. Dit is een belangrijke constatering in het licht van de huidige situatie, waarin stabiel energiebeleid essentieel is om de klimaatdoelen voor 2050 binnen bereik te kunnen houden. Het wegvallen van draagvlak zien we overigens ook bij andere onderdelen van de energietransitie, zoals de plaatsing van windturbines op land, het gebruik van biomassa voor elektriciteitsproductie en de ondergrondse opslag van CO_2. Dit ontbreken van steun voor tal van mogelijke aanpassingen in het energiesysteem maakt het risico op het niet tijdig halen van de klimaatdoelen alleen maar groter.

De vraag is op welke manier kan worden voorkomen dat de politieke besluitvorming over kernenergie onder invloed van de publieke opinie net zo grillig blijft verlopen als de afgelopen decennia. Hiervoor is ten minste noodzakelijk dat de besluitvorming zorgvuldig en transparant verloopt. Uit onderzoek blijkt dat de manier waarop de procedures voor de besluitvorming over dit soort onderwerpen zijn vormgegeven, effect heeft op de acceptatie door burgers van een overheidsbeslissing die niet overeenkomt

met de eigen voorkeuren. Besluiten worden eerder geaccepteerd wanneer burgers de in het besluitvormingsproces gevolgde procedure als rechtvaardig ervaren (Krütli et al., 2015).

Wanneer ervaren mensen besluitvormingsprocedures als rechtvaardig?

Er zijn enkele voorwaarden die eraan bijdragen dat mensen een besluitvormingsprocedure als rechtvaardig ervaren:

- Er moet sprake zijn van een laagdrempelige mogelijkheid om deel te nemen aan de besluitvorming.
- Er moeten duidelijke criteria zijn aan de hand waarvan wordt bepaald wie als legitiem betrokkene en belanghebbende een stem heeft in het proces en daarbij aanwezig mag zijn.
- Er moet vertrouwen zijn in de beslisser.
- Er moet sprake zijn van open en eerlijke communicatie, van goede informatievoorziening en uitleg over het verloop en de uitkomst van procedures.
- Er dient sprake te zijn van een heldere toelichting op besluiten.

Bronnen: Milchram et al., 2018; Velthoven, 2011; Bies & Moag, 1986.

De kwaliteit van de besluitvorming kan verbeteren als het traject zo wordt ingericht, dat het perspectief van burgers er een inherent onderdeel van vormt. Aspecten die burgers van belang vinden, moeten serieus, zichtbaar en navolgbaar worden meegewogen. Indien dit op overtuigende wijze gebeurt, verwachten wij dat dit de rechtvaardigheid van de besluitvorming en de beleving daarvan in de samenleving ten goede komt (Thibaut & Walker, 1975; Velthoven, 2011). Omgekeerd geldt overigens dat een onzorgvuldige vorm van meewegen juist averechts kan werken.

Dit betrekken van het perspectief van burgers zou zich niet moeten beperken tot klassieke inspraak bij formele trajecten. Zulke trajecten hebben veelal betrekking op deelonderwerpen waarin de waarden die burgers raken, nauwelijks op een herkenbare manier aan bod komen. Wanneer mensen ervaren dat hun zorgen onvoldoende in de beleidskeuzes van de overheid worden afgedekt, of als bepaalde groepen in de samenleving niet kunnen meepraten, kan dat leiden tot controverses, tot het terugdraaien van beleidsbesluiten en uiteindelijk tot het mislukken van grote energieprojecten (Adviescommissie Burgerbetrokkenheid bij klimaatbeleid, 2021; Pesch et al., 2017).

Wat zijn precies die waarden rond kernenergie die burgers raken en die dus in de besluitvorming moeten worden betrokken? Welke opvattingen en emoties spelen daarbij zoal een rol? Op die vragen gaan wij in hoofdstuk 3 nader in.

3 ROL VAN ETHISCHE WAARDEN IN HET DENKEN OVER KERNENERGIE

Kernenergie is een onderwerp waarover veel mensen een mening hebben en dat emoties oproept, vanuit uiteenlopende overwegingen: de zorg over klimaatverandering, de risico's bij kernongevallen, de gevolgen voor de eigen portemonnee, enzovoort. Deze overwegingen en emoties kunnen duiden op belangrijke ethische waarden (Roeser, 2018). Politieke besluiten zouden moeten worden genomen aan de hand van waarden die in de samenleving essentieel worden gevonden (WRR, 1994; RIi, 2014; Roeser, 2018). Daarom is 'ethische reflectie' voorafgaand aan de besluitvorming over controversiële onderwerpen van belang. Dat geldt ook voor een thema als kernenergie. In dit hoofdstuk bespreken we de vijf ethische waarden die de meeste mensen belangrijk vinden als het gaat over kernenergie. Het betreft waarden die evenzeer van belang zijn voor het totale energiesysteem in Nederland.

3.1 Ethische reflectie in het energiedebat

In het publieke debat over kernenergie kunnen de gemoederen flink verhit raken. Het beeld is vaak dat niet-deskundige deelnemers aan het debat emotioneel reageren, terwijl experts zich op 'feiten' beroepen: kwantitatieve

gegevens over de risico's (ongevalskans, milieu-impact) van kernreactoren. Beleidsmakers hebben soms de neiging om emotionele reacties van het publiek te negeren en vooral naar deskundigen te luisteren.
Echter, ook deskundigen maken keuzen. Zo zijn bijvoorbeeld ook kwantitatieve benaderingen niet per definitie waardenneutraal. Achter elke beslissing over wat de moeite waard is om in een kwantitatieve risico-inschatting mee te nemen, gaat immers een waardeoordeel schuil. Moeten wij bijvoorbeeld bij het beoordelen van de veiligheid alleen kijken naar menselijke slachtoffers, of ook naar de impact op dieren en het milieu? In een kwantitatieve benadering van kernenergie blijven bovendien tal van ethische aspecten buiten beeld, bijvoorbeeld de vraag of iedereen in de samenleving in dezelfde mate baat heeft bij kernenergie. Of de vraag aan welke risico's mensen onvrijwillig blootgesteld mogen worden.
Vanwege dit soort beperkingen van kwantitatieve benaderingen hebben diverse ethici de afgelopen jaren betoogd dat voor een goede besluitvorming over kernenergie ook *ethische reflectie* nodig is op de waarden die voor mensen van belang zijn als het gaat over de toepassing van deze risicodragende technologie.[11]

Wat verstaan we onder 'waarden' en 'ethische reflectie'?
Waarden geven aan wat iemand nastreeft of belangrijk vindt, bijvoorbeeld gelijkheid, oprechtheid, rechtvaardigheid. Waarden geven richting aan ons handelen. In het geval van 'publieke waarden' gaat het om een collectieve opvatting over wat belangrijk is voor de maatschappij.

11 Zie hoofdstuk 2 van deel 2 voor een nadere toelichting op de rol van waarden en ethische reflectie in het nadenken over kernenergie.

Waarden zijn op zichzelf genomen tamelijk abstract. Om er concreet invulling aan te geven, moeten we ze operationaliseren met behulp van *normen*: de regels die aangeven wat men in een concrete situatie moet of mag doen. Als er sprake is van debat, dan heeft dat doorgaans betrekking op het niveau van normen.

'Ethische reflectie' houdt in: systematisch nadenken over waarden en normen. In relatie tot kernenergie behelst ethische reflectie bijvoorbeeld het bestuderen en analyseren van de vraag of de inzet van deze vorm van energieopwekking in ons energiesysteem wenselijk is, welke waarden bij de beantwoording van die vraag aan de orde zijn en hoe deze ten opzichte van elkaar worden gewogen bij de formulering van concrete normen. Dat kan vervolgens leiden tot een oordeel over wat juist is om te doen. Wanneer sprake is van een situatie waarin waarden met elkaar in conflict zijn en het kiezen voor de ene waarde ten koste gaat van de andere waarde, spreken we van een moreel dilemma. Ethiek vraagt ons dan om afwegingen te maken: welke waarden vinden we het zwaarst wegen?

3.2 Vijf kernwaarden voor besluitvorming over kernenergie

Er zijn vijf waarden die cruciaal zijn voor ethische reflectie over de rol van kernenergie in het Nederlandse energiesysteem (Taebi & Kloosterman, 2008; Roeser, 2011; Taebi et al., 2012; Taebi & Roeser, 2015). Het betreft: energiezekerheid, betaalbaarheid, veiligheid, duurzaamheid en rechtvaardigheid.

We lichten de betekenis van deze vijf waarden hieronder kort toe (zie ook hoofdstuk 2 van deel 2):

- *Energiezekerheid* gaat over de vraag in hoeverre burgers en bedrijven erop kunnen vertrouwen dat er voldoende energie voor hen beschikbaar is.
- *Betaalbaarheid* gaat over de vraag in hoeverre de kosten van het energiesysteem en de doorberekening daarvan (aan individuele energieafnemers én aan de maatschappij als geheel) acceptabel zijn.
- *Veiligheid* gaat over de vraag in hoeverre is gewaarborgd dat eventuele schade aan de volksgezondheid, de economie en/of de ecologie die kan ontstaan als gevolg van ongevallen of moedwillig handelen, binnen hanteerbare proporties blijft.
- *Duurzaamheid* gaat over de vraag in hoeverre de impact van verschillende energiebronnen op de leefomgeving, de natuur en het klimaat aanvaardbaar is.
- *Rechtvaardigheid* heeft een andere status en gaat over twéé vragen: (1) in hoeverre de *besluitvorming* over het energiesysteem eerlijk en transparant, oftewel rechtvaardig, verloopt (zie ook § 2.7), en (2) of de *verdeling van lusten en lasten* op een billijke, oftewel rechtvaardige, manier zijn verdeeld tussen groepen in de samenleving, tussen landen en tussen huidige en toekomstige generaties. *Rechtvaardige besluitvorming* is te beschouwen als een overkoepelende waarde, omdat het hier gaat om de inzichtelijkheid en billijkheid van de procedures die worden gevolgd om invulling te geven aan de ándere waarden. De *rechtvaardige verdeling van lusten en lasten* gaat over de verdeling van de uitkomsten op de andere waarden (energiezekerheid, betaalbaarheid, veiligheid en duurzaamheid) over groepen mensen.

Deze vijf waarden spelen een belangrijke rol in het publieke debat. Het gaat stuk voor stuk om waarden die raken aan wat mensen echt belangrijk vinden. Dit verklaart de vaak emotionele reacties die kernenergie bij mensen oproept (Steg et al., 2021; Perlaviciute, 2019; Perlaviciute et al., 2021).[12] Over de relevantie van deze vijf waarden in relatie tot kernenergie bestaat onder deskundigen een grote mate van consensus, zo bleek in een door ons georganiseerde bijeenkomst voor dit adviestraject.[13] De vijf waarden vonden ook weerklank in thematische expertmeetings en gesprekken die wij hebben gehouden met diverse belanghebbenden.[14]

Dit alles betekent niet dat men de waarden dan ook gelijk beoordeelt. Bijvoorbeeld, of kernenergie juist wél of níet duurzaam is, is bepaald niet onomstreden. Ook over de vraag wat wél of níet een eerlijke verdeling is, bestaat geen consensus of objectieve waarheid. Daarnaast weegt men waarden ook verschillend ten opzichte van elkaar. Waar voor de een duurzaamheid cruciaal is, hecht een ander meer belang aan energiezekerheid.

Deze vijf waarden vormen de basis voor de rest van dit advies (zie afbeelding 3). In hoofdstuk 4 staan we stil bij de opvattingen van burgers over

12 Bij voor- en tegenstanders roept kernenergie heel verschillende emoties op, zoals beschreven in § 2.6 van hoofdstuk 2 en zoals ook blijkt uit onderzoek dat wij hebben laten verrichten naar de factoren die een rol spelen in de opinievorming van Nederlanders over kernenergie (Ipsos, 2022a); zie hoofdstuk 4.

13 Wij hebben op 28 september 2021 een bijeenkomst georganiseerd met een brede selectie van circa zestig deskundigen en belanghebbenden van maatschappelijke organisaties, de nucleaire sector, de wetenschap en anderszins betrokkenen. Zie https://www.rli.nl/consultatie-kernenergie/startbijeenkomst-28-september-2021-informatie

14 Wel bleek in de expertmeetings dat de deelnemers het belang van de waarden verschillend wogen en sommige waarden verschillend invulden. Zie over deze expertmeetings de bijlage 'Totstandkoming advies'.

kernenergie aan de hand van deze vijf waarden. In hoofdstuk 5 gaan we aan de hand van technisch-wetenschappelijk onderzoek na wat aan feitelijke informatie beschikbaar is over de kenmerken, mogelijkheden en risico's van kernenergie, voor elk van de vijf waarden.

Afbeelding 3: Vijf waarden voor ethische reflectie over kernenergie

4 MENINGEN VAN BURGERS OVER KERNENERGIE

De kwaliteit van de besluitvorming over kernenergie is erbij gebaat wanneer de aspecten die burgers van belang vinden, serieus worden meegewogen. Dit betekent dat een open debat over kernenergie nodig is, met aandacht en ruimte voor de opvattingen en de emoties die rond kernenergie spelen, en die stuk voor stuk raken aan van de vijf eerder besproken waarden: energiezekerheid, betaalbaarheid, veiligheid, duurzaamheid en rechtvaardigheid. Maar wat zijn de opvattingen en emoties van mensen over kernenergie precies? Hoe sterk lopen die uiteen binnen de samenleving? En in hoeverre is de oorlog in Oekraïne van invloed op hoe mensen denken over kernenergie? Op die vragen gaan we in dit hoofdstuk in. Wij putten daarbij uit mediaberichtgeving, wetenschappelijke publicaties, de uitkomsten van bijeenkomsten en deskundigenoordeel. Daarnaast hebben we marktonderzoeksbureau Ipsos gevraagd om voor ons een publieksonderzoek uit te voeren naar de factoren die een rol spelen in de opinievorming van Nederlanders over kernenergie (Ipsos, 2022a).[15]

15 Het Ipsos-onderzoek wordt gelijktijdig met dit advies gepubliceerd. Het onderzoek geeft een beeld van de diversiteit aan associaties, emoties en argumenten die burgers hanteren wanneer zij zich uitspreken over kernenergie. Zie ook de onderzoeksverantwoording in hoofdstuk 1 van deel 2.

4.1 Mening van burgers over kernenergie vóór en na aanvang oorlog in Oekraïne

In december 2021 heeft Ipsos voor ons gemeten hoe Nederlanders denken over kernenergie in het algemeen en specifiek over de vraag of de overheid de bouw van twee nieuwe kerncentrales in ons land zou moeten stimuleren.

De meting werd uitgevoerd vóórdat Rusland in februari 2022 Oekraïne binnenviel. Sindsdien heeft Nederland net als de rest van de EU te maken gekregen met een stagnerende import van Russisch aardgas. Dit heeft ertoe geleid dat burgers zich in toenemende mate zorgen maken over de energievoorziening in Nederland. Zij stellen zich vragen als: komen we straks niet in de kou te zitten? En: moet Nederland niet dringend iets doen om zelfvoorzienend te worden? In deze context zou men kunnen verwachten dat het aandeel voorstanders van kernenergie en nieuwe kerncentrales verder zou toenemen. Is dat inderdaad gebeurd?

Om na te gaan of de oorlog tussen Rusland en Oekraïne de opinie in Nederland over de energievoorziening heeft beïnvloed, hebben we Ipsos gevraagd om de mening van Nederlanders over kernenergie en over de bouw van nieuwe kerncentrales in mei 2022 nogmaals te meten (Ipsos, 2022b). De resultaten van beide metingen zijn hieronder weergegeven.

Tabel 1: Mening over kernenergie vóór en na aanvang van de oorlog in Oekraïne (p=0,06)[16]

	Voor	Neutraal	Tegen	Totaal	
Eerste Ipsos-meting (december 2021)	40%	38%	22%	100%	1523
Tweede Ipsos-meting (mei 2022)	44%	36%	19%	100%	1033

Onze samenleving kent, zo laat tabel 1 zien, een relatief grote groep mensen die neutraal staat ten opzichte van kernenergie. Dit is na het uitbreken van de oorlog in Oekraïne nauwelijks veranderd; eerst ging het om 38%, later om 36% van de respondenten. Het aandeel tegenstanders van kernenergie blijkt in de meting van mei 2022 (dus na het uitbreken van de oorlog in Oekraïne) iets te zijn teruggelopen: van 22% naar 19%. Het percentage voorstanders kernenergie is licht gegroeid: van 40% naar 44%.

De oorlog in Oekraïne lijkt vooral de opvatting over het stimuleren van nieuwe kerncentrales significant te hebben veranderd; zie tabel 2. Het percentage ondervraagden dat zich tegen stimulering van kernenergie uitspreekt is in de tweede meting (dus na het uitbreken van de oorlog) gedaald van 27% naar 18%. Een veel groter deel van de ondervraagden stelt zich nu neutraal op; dit percentage toegenomen van 33% naar 41%. Onze conclusie in hoofdstuk 2 dat gebeurtenissen elders grote invloed kunnen

16 De p-waarde is een getal tussen 0 en 1, waarbij een p gelijk of kleiner aan 0,05 doorgaans als statistisch significant wordt beschouwd.

hebben op hoe in Nederland wordt gedacht over nieuwe kerncentrales, lijkt door deze uitkomsten te worden bevestigd.

Tabel 2: Mening over het actief stimuleren door de Nederlandse overheid van nieuwe kerncentrales, vóór en na aanvang van de oorlog tussen Rusland en Oekraïne (p=0,00)

	Voor	Neutraal	Tegen	Totaal	
Eerste Ipsos-meting (december 2021)	40%	33%	27%	100%	1523
Tweede Ipsos-meting (mei 2022)	41%	41%	18%	100%	1033

4.2 Mening van burgers over de vijf waarden

We hebben nu een algemeen beeld van de mening van Nederlanders over kernenergie. Aan de hand van de vijf waarden die het debat over kernenergie bepalen (energiezekerheid, betaalbaarheid, veiligheid, duurzaamheid en rechtvaardigheid) hebben we onderzocht welke argumenten, opvattingen en emoties achter deze meningen schuilen. Hieronder vatten we de uitkomsten samen.

Opvattingen en emoties over *energiezekerheid* in relatie tot kernenergie

Het publieke debat over kernenergie, zoals zich dit afspeelt in de kranten, op de televisie, in wetenschappelijke publicaties, op lokale inspraakavonden, in de Tweede Kamer enzovoort, gaat vaak over de bijdrage die kernenergie in de toekomst zou kunnen leveren aan de energiezekerheid in ons land. Dit aspect van de energietransitie houdt veel mensen bezig. Zij hebben zorgen over de betrouwbaarheid van de toekomstige energievoorziening. Redt Nederland het wel als we straks alleen nog energie opwekken uit wind, zon en andere hernieuwbare bronnen?

Meer dan de helft van de mensen acht kernenergie onontkoombaar gezien de energievraag

In het Ipsos-publieksonderzoek zijn vragen gesteld over energiezekerheid en hoe mensen in dat licht de rol van kernenergie zien. De opvattingen hierover lopen uiteen. Een deel van de respondenten ziet kernenergie als dé oplossing voor het klimaatprobleem, juist omdat de beschikbaarheid van stroom daarmee is gegarandeerd. Anderen achten de inzet van kernenergie om de energiezekerheid te vergroten niet nodig en verkiezen een energiesysteem op basis van hernieuwbare energiebronnen.
Een grote groep van 53% schat in dat kernenergie noodzakelijk is voor Nederland om voldoende energie te hebben. We komen hierop terug in hoofdstuk 5.

Opvattingen en emoties over *betaalbaarheid* van kernenergie

In het politieke en wetenschappelijke debat over kernenergie komt het aspect ‘betaalbaarheid’ regelmatig terug. Daarbij gaat de aandacht niet alleen uit naar de kosten van (de bouw en exploitatie van) individuele kerncentrales, maar ook naar de impact van kernenergie op de kosten van

het energiesysteem als geheel. Immers, om de betaalbaarheid van kernenergie in perspectief te kunnen plaatsen, zijn ook inschattingen nodig van de aanleg- en exploitatiekosten van ándere onderdelen in ons toekomstige energiesysteem, zoals de installaties, netwerken en opslagcapaciteit voor windenergie, zonne-energie en waterstof. De prijsvorming van energie is daardoor bijzonder complex en voor het brede publiek moeilijk te begrijpen.

Toch houdt de betaalbaarheid van energie burgers juist in hoge mate bezig, omdat hoge energieprijzen een directe impact hebben op ieders leven. Nederlanders zijn de afgelopen jaren gewend geraakt aan relatief lage energieprijzen. Deze situatie is vanaf najaar 2021 drastisch omgeslagen als gevolg van een samenspel van oorzaken. Veel energieafnemers zijn sinds het najaar van 2021 geconfronteerd met een verdubbeling of zelfs verdrievoudiging van hun energierekening. 'Energiearmoede' is daardoor een groeiend probleem in de samenleving. Veel mensen maken zich er grote zorgen over en vrezen voor verslechtering van hun financiële situatie.

Meeste mensen weten niet of kernenergie duur of goedkoop is
Wij hebben in ons onderzoek vragen gesteld over de kosten en de betaalbaarheid van het Nederlandse energiesysteem met of zonder kernenergie. Van de Nederlandse bevolking denkt 27% dat kernenergie duur is. Maar 22% denkt juist van niet. De meerderheid (51%) weet het niet. Tegelijkertijd verwacht 54% dat de energierekening hoger zal worden zonder kernenergie (Ipsos, 2022a).

Opvattingen en emoties over *veiligheid* van kernenergie
Voor het publieke debat over de veiligheid van kernenergie geldt dat er een aanzienlijk verschil bestaat tussen enerzijds het perspectief dat de overheid en de nucleaire sector hierop heeft, en anderzijds de meningsvorming in de samenleving, en dan met name het perspectief van de mensen die zich zorgen maken over kernenergie.

In het overheidsperspectief staan de veiligheidsgaranties centraal. De kernenergiesector staat onder streng (nationaal én internationaal) toezicht. Dit geldt voor zowel de centrales zelf als voor de brandstof- en afvalverwerkingsketens. Regelgeving, toezicht en de veiligheidscultuur rond kernenergie zijn in hoge mate ontwikkeld. De focus van het beleid van de overheid ligt dus op het zo klein mogelijk maken van de kans op schade. In een deel van de samenleving heerst juist zorg over de risico's van kernenergie. De meeste burgers weten dat er strenge veiligheidsmaatregelen van toepassing zijn rond kerncentrales en dat de kans op ongevallen zeer klein is. Toch maken veel mensen zich zorgen. Zij kijken met name naar de gevolgen als er onverhoopt toch iets misgaat. Zij wijzen op de verwachte effecten bij een incident of ongeval met een kerncentrale of met de opslag van kernafval.

Ook als het gaat om de impact van een kernongeval maken overheid en samenleving verschillende inschattingen. In het beleid van de overheid wordt de impact van een kernongeval ingeschat op basis van de radiologische gevolgen, terwijl voor veel burgers ook paniek en maatschappelijke ontwrichting een onderdeel van de impact zijn. Bij de inschatting van de

impact van een kernongeval speelt de angst voor sterfgevallen en misvormingen, ook op grote afstand, een veel belangrijkere rol dan in het vastgestelde risicobeleid. Daarnaast vrezen veel mensen dat een gebied rond het ongeval voor een langere periode ontoegankelijk zal zijn na een ongeval met een kerncentrale (RIVM, 2016; RIVM, 2018; Dekker et al., 2011).

Het verschil in focus op de kleine kans of juist de grote impact van nucleaire ongevallen bemoeilijkt het gesprek over de veiligheid van kernenergie. Een belangrijk aspect in dit verband is het vertrouwen dat mensen hebben in de beheersbaarheid van risico's (Hintum, 2019).

Uit ons publieksonderzoek blijkt dat het aspect veiligheid zwaar weegt in de oordeelsvorming van mensen over kernenergie; zie kader. Wij zien hier een belangrijk aandachtspunt voor de overheid bij toekomstige besluitvorming over kernenergie.

Veiligheid wordt belangrijk gevonden, maar over de risico's lopen meningen uiteen

Uit het publieksonderzoek van Ipsos (2022a) blijkt dat afwegingen over veiligheid de grootste invloed hebben op de mening die mensen hebben over kernenergie. Er heersen echter tegenstrijdige opvattingen over de algehele veiligheid van kernenergie. Zo is 40% van de Nederlanders het eens met de stelling 'Kernenergie is veilig, want de kans op ongelukken is klein', terwijl 26% het daarmee oneens is. Tegelijkertijd onderschrijft 36% de stelling 'Kernenergie is onveilig, want een kerncentrale kan doelwit zijn van een terroristische aanslag', terwijl 26% dit juist níet vindt. Verder is 46% van de Nederlanders het eens met de stelling 'Kernafval vormt een te groot risico'. Dit is opvallend te noemen, aangezien nog geen 23% van de Nederlanders zich expliciet uitspreekt tegen kernenergie.

Opvattingen en emoties over *duurzaamheid* van kernenergie

In hoeverre is een keuze voor kernenergie te beschouwen als een 'duurzame' keuze? In het publieke debat over de eventuele toekomstige rol van kernenergie in ons land speelt ook deze vraag. Voorstanders van kernenergie zijn van mening dat kernenergie 'schoon' en 'duurzaam' is vanwege de geringe hoeveelheid CO_2 die vrijkomt bij deze vorm van energieopwekking. Het standpunt dat kernenergie tot weinig CO_2-uitstoot leidt is, ook onder tegenstanders, onomstreden.

Duurzaamheid omvat echter meer dan alleen het achterwege blijven van CO_2-uitstoot. Ook de mate waarin er sprake is van impact op de leefomgeving en/of de natuur bepaalt de duurzaamheid van energieopwekkingstechnieken. Als het gaat over kernenergie vormt het kernafval in dat verband een thema waarover de meningen sterker uiteenlopen. Lang niet alle Nederlanders zijn er gerust op dat kernafval zonder negatieve gevolgen voor leefomgeving en natuur is op te slaan.

En dan is er nog het *grondstoffenverbruik* dat net als bij veel andere energiebronnen ook bij de opwekking van kernenergie aan de orde is. Kan er wel van duurzame energieopwekking worden gesproken wanneer

daarvoor een eindige grondstof als uranium wordt ingezet? Over die vraag lopen de meningen uiteen. Sommigen wijzen op de schadelijke effecten van mijnbouw. Voor sommigen is het winnen van uranium vooral bezwaarlijk omdat we daarmee grondstofvoorraden opmaken die de generaties na ons ook nog nodig kunnen hebben.

Veel mensen maken zich zorgen over langetermijneffecten van kernafvalopslag

Veel mensen vinden kernenergie onacceptabel zolang het afvalprobleem niet afdoende is opgelost en daarmee wordt doorgeschoven naar volgende generaties, zo komt uit ons publieksonderzoek naar voren. Van de Nederlanders is 36% het enigszins of helemaal eens met de stelling dat wij toekomstige generaties met kernenergie opzadelen met een te groot risico, terwijl 28% het daarmee oneens is. Ook mensen die aangeven voor kernenergie te zijn erkennen dat het kernafval een probleem vormt, maar zij hebben vaak meer vertrouwen in technologische vooruitgang en gaan ervan uit dat er geschikte oplossingen zullen worden ontwikkeld (Ipsos, 2022a).

Opvattingen en emoties over een *rechtvaardige verdeling van lusten en lasten* bij kernenergie

Vragen rond een rechtvaardige verdeling van lusten en lasten komen op verschillende manieren terug in het publieke debat over de mogelijke rol van kernenergie in de energietransitie.

Een eerste thema waarover mensen zich in dat verband zorgen maken betreft de keuze van *locaties* voor de bouw van kerncentrales en de opslag van kernafval. Hier is in de samenleving een reactie waarneembaar die vaker optreedt wanneer er ruimte nodig is voor omstreden activiteiten: het belang van de activiteiten wordt breed onderkend, maar als deze activiteiten in de eigen omgeving zouden worden gerealiseerd, valt het oordeel kritischer uit. Mensen wegen dan ook de gevolgen die de activiteit voor henzelf heeft nadrukkelijk mee. Wanneer mensen een onevenredige stapeling van lasten ervaren, kan dit de afwijzende reactie versterken. Dit is bijvoorbeeld aan de orde in de provincie Groningen, die te lijden heeft onder aardbevingen als gevolg van aardgaswinning. In de Tweede Kamer zijn om deze reden twee moties ingediend voor het schrappen van de Eemshaven als mogelijke locatie voor nieuwe kerncentrales (Tweede Kamer, 2021a, 2021b).

Een rechtvaardige verdeling van lusten en lasten houdt mensen ook bezig als het gaat om de manier waarop de *kosten* van de eventuele bouw van een of meer nieuwe kerncentrales zullen worden verdeeld. Welk deel wordt betaald door energiebedrijven (en via de energiefactuur in rekening gebracht) en welk deel wordt betaald door de overheid (en via belastingen in rekening gebracht)? Deze verdeling maakt uit, want wanneer de energiekosten worden doorberekend via de energierekening, raakt dat mensen met een laag inkomen zwaarder dan wanneer dit via de belasting gebeurt.

Tot slot blijkt uit het Ipsos-onderzoek dat veel mensen van belang vinden dat de lusten van kernenergie voor onze generatie (schone energie tegen aanvaardbare prijzen) goed worden afgewogen tegen de lasten die

toekomstige generaties daarvan kunnen ondervinden (klimaatverandering, kernafval, uitputting van uraniumvoorraden).

4.3 Invulling geven aan de vijf waarden in de besluitvorming

Nederlanders denken zeer verschillend over kernenergie waarbij uit bovenstaande blijkt dat tal van aspecten invloed uitoefenen op hun mening. Verschillen in waardering zien we ook bij andere energiebronnen. Tegelijkertijd blijkt de verdeeldheid onder Nederlanders het grootst bij kernenergie. In de eerste Ipsos-meting zijn de deelnemers gevraagd om zeven verschillende energiebronnen te rangschikken van 'meest gewild' tot 'minst gewild'. Van de respondenten merkte 24% kernenergie aan als favoriet, terwijl en 21% aangaf kernenergie juist als de minst gewilde energiebron te beschouwen. Bij geen van de andere energiebronnen liepen de voorkeuren zo sterk uiteen (Ipsos, 2022a).

Er leven bij Nederlanders zorgen over tal van aspecten van kernenergie. Uiteenlopende overwegingen spelen daarbij een rol; deze kunnen wijzen op belangrijke ethische waarden die expliciet zouden moeten worden gemaakt en onderwerp van maatschappelijke besluitvorming zouden moeten zijn. Door deze overwegingen expliciet te maken en burgers te betrekken bij de besluitvorming over kernenergie, kan de overheid beter recht doen aan de zorgen die in de maatschappij leven. Dat is cruciaal om te komen tot stabiel, 'houdbaar' kernenergiebeleid, met voldoende draagvlak in de samenleving.

Veel burgers hebben rond het thema kernenergie weinig vertrouwen in de overheid, maar zij verwachten desgevraagd wél veel van diezelfde overheid, blijkt uit het Ipsos-publieksonderzoek. Slechts 31% van de bevolking geeft aan vertrouwen te hebben in de overheid als het gaat over kernenergie. Tegelijkertijd geeft 78% aan dat de overheid het voortouw moet nemen in het bestrijden van klimaatverandering. Dit vraagt om een zorgvuldige rolinvulling van de overheid.

Daarbij is het zaak om concreet *invulling te geven* aan de vijf waarden die voor burgers van belang zijn als het gaat om kernenergie: energiezekerheid, veiligheid, betaalbaarheid, duurzaamheid en rechtvaardigheid. Deze waarden zullen expliciet moeten worden meegewogen in de besluitvorming over kernenergie. Dat kan bijvoorbeeld door de vraag op te werpen: "Wanneer vinden we de energievoorziening veilig?"

In de keuzes die moeten worden gemaakt voor het toekomstig energiesysteem is ook de expliciete *afweging tussen waarden* van groot belang. Daartoe moeten vragen aan de orde komen als: "Willen we dat de energievoorziening zekerder wordt of juist goedkoper?" of "Zijn we bereid meer windmolens in onze leefomgeving in combinatie met de opslag van waterstof in zoutcavernes te aanvaarden, als we daarmee het risico op een kernongeval kunnen uitsluiten en toekomstige generaties niet belasten met de berging van kernafval?"

Vaak wordt gedacht dat het niet zinvol zou zijn om dit soort vragen en afwegingen deel uit te laten maken van het debat, omdat over waarden (en

de bijbehorende emoties) geen consensus te bereiken zou zijn. Maar veel waarden (waaronder de vijf die in dit advies centraal staan) en ook veel emoties worden juist stilzwijgend gedeeld. Emoties, ook wanneer ze alleen bij bepaalde groepen in de samenleving leven, kunnen duiden op onderliggende ethische aspecten die juist expliciet moeten worden besproken om tot weloverwogen afwegingen te komen (Nihlén Fahlquist & Roeser, 2015; Roeser & Pesch, 2016; Roeser, 2018).[17] Daarom vinden wij, zoals we hebben uiteengezet in hoofdstuk 3, dat er zowel in de besluitvorming over kernenergie als in het daaraan voorafgaande debat meer ruimte zou moeten komen voor ethische reflectie.

17 Niet alle emoties zijn overigens even behulpzaam; ze kunnen ook duiden op misverstanden en vooroordelen (Steinert & Roeser, 2020).

5 PERSPECTIEF OP DE VIJF WAARDEN VANUIT BESTAANDE KENNIS

In het voorgaande hoofdstuk hebben we aan de hand van vijf waarden die het publieke debat over kernenergie bepalen (energiezekerheid, betaalbaarheid, veiligheid, duurzaamheid en rechtvaardigheid) belicht hoe Nederlanders denken over de toekomstige rol van kernenergie en welke argumenten ze daarbij gebruiken. In dit hoofdstuk leggen we de argumenten uit het publieke debat langs een objectieve meetlat, door ze te toetsen aan (a) technisch-wetenschappelijke kennis over de rol van kernenergie in het energiesysteem en (b) inzichten uit de ethiek. We gaan na wat er in de literatuur aan feitelijke informatie beschikbaar is over de kenmerken, mogelijkheden en risico's van kernenergie, met de vijf waarden als meetlat. Stroken de opvattingen van Nederlanders met de feiten? Zijn sommige argumenten aantoonbaar onjuist? Zijn er misschien onderwerpen die in het debat over kernenergie niet aan bod komen, maar die wel relevant zijn? Welke ethische vragen roept dat op?

5.1 Energiezekerheid

In hoeverre is kernenergie in de toekomst noodzakelijk om de Nederlandse energiezekerheid te waarborgen? Om deze vraag te beantwoorden hebben we gekeken wat er in de literatuur bekend is over de betrouwbaarheid van de huidige energievoorziening en over de veranderingen die daarin naar verwachting zullen optreden als gevolg van de energietransitie.

Betrouwbaarheid energievoorziening

Nederland beschikt over een bijzonder betrouwbaar elektriciteitssysteem. Voor zowel huishoudens als bedrijven is elektriciteit gedurende het jaar vrijwel 100% beschikbaar (TenneT, 2020). Dit is in overeenstemming met de strenge normen die we als maatschappij hebben gesteld aan onze energievoorziening. Maar blijft dat in de toekomst ook zo? Het is denkbaar dat de energietransitie ertoe leidt dat we deze normen moeten herovergewegen. Het waarborgen van een vergelijkbaar hoge mate van betrouwbaarheid zal tijdens en na de transitie een forse opgave zijn. We gaan in de nabije toekomst immers veel meer stroom verbruiken: voor elektrische auto's, voor de verwarming van huizen en gebouwen met warmtepompen, voor de productieprocessen in fabrieken, voor het produceren van waterstof die kan worden gebruikt voor vervaardigen van synthetische brandstoffen, enzovoort.

Door deze ontwikkeling zal het aandeel elektriciteit in het energiesysteem veel groter worden. Uit onderzoek van TNO (Scheepers et al., 2020) komt naar voren aan dat de elektriciteitsvraag naar 2050 in ieder geval zal verdubbelen en mogelijk verdrievoudigen.[18] Duidelijk is dat dit grote invloed zal hebben op de eisen waaraan het toekomstige energiesysteem moet voldoen. De elektriciteitsinfrastructuur zal moeten worden verzwaard. Verder moeten er oplossingen worden bedacht voor de schommelingen in het energieaanbod die zullen gaan optreden, afhankelijk van de weerssituatie. Al in 2030 zal in ons land namelijk minimaal 70% van de opgewekte elektriciteit afkomstig zijn van windturbines en zonnepanelen, zo is vastgelegd in het overheidsbeleid. Qua energieaanbod zullen er daardoor verschillen ontstaan tussen dagen met veel wind en/of zon en ook tussen dag en nacht en zomer en winter. Een belangrijk vraagstuk is dus: hoe bereiken we dat ook in het energiesysteem van de (nabije) toekomst op elk moment in het jaar vraag en aanbod op elkaar aansluiten? De balancering van vraag en aanbod moet doorlopend gebeuren op het niveau van: (a) seconden en minuten, (b) uren en dagen en (c) seizoenen.

Bij het zoeken naar oplossingen wordt in de energiesector nagedacht over het organiseren van *flexibiliteit in het elektriciteitssysteem* (Topsector energie, 2018). Concreet is zulke flexibiliteit te bereiken door een combinatie van:

18 De bijdrage die een kerncentrale kan leveren aan de invulling van deze verdubbelde of verdrievoudigde energievraag hangt af van een aantal factoren. In absolute getallen betekent een verdubbeling of verdriedubbeling dat er 240 TWh tot 360 TWh (ten opzichte van de huidige 120TWh) aan elektriciteit benodigd is. Een kerncentrale van de generatie 3(+) met een vermogen van 1.000 tot 1.600 MW kan bij maximale inzet (ongeveer 8.000 uur per jaar) 8 tot 12,8 TWh elektriciteit per jaar produceren. Eén kerncentrale die op volledige capaciteit draait kan dus enkele procenten van de gehele toekomstige vraag naar elektriciteit voor zijn rekening nemen. Bij twee of meer kerncentrales neemt dit aandeel snel toe: tien kerncentrales zouden kunnen voorzien in een derde van de totale toekomstige elektriciteitsvraag.

- regelbaar vermogen, bijvoorbeeld snel inzetbare gascentrales op basis van waterstof;
- opslagmogelijkheden van energie zoals batterijen, ondergrondse waterstofopslag, warmte-opslag;
- het omzetten van elektriciteit naar warmte (met behulp van e-boilers of warmtepompen), waterstof en andere verbindingen (zoals ammoniak of methaan);
- het aanleggen van grensoverschrijdende stroomverbindingen voor import uit en export naar andere landen; en
- het sturen van de vraag naar energie (bijvoorbeeld door te sturen op het laden van en laten terug leveren van stroom uit accu's van elektrische auto's of door het lager zetten van de thermostaat).

De vraag is nu: in hoeverre zouden kerncentrales kunnen bijdragen aan bovenstaande manieren om flexibiliteit in het energiesysteem te brengen, dan wel de behoefte aan dergelijke maatregelen te verminderen? Technisch gezien zijn er verschillende mogelijkheden. Om te beginnen is de energieproductie uit kerncentrales regelbaar op het niveau van uren en dagen én op het niveau van seizoenen. En zelfs op het niveau van minuten kunnen kerncentrales, afhankelijk van hun ontwerp, flexibiliteit in het aanbod bieden.[19] Verder kunnen kerncentrales gedurende de uren dat ze geen elektriciteit hoeven te leveren, bijdragen aan de flexibiliteit in het energieaanbod door de productie van hoge temperatuurwarmte of waterstof. Aan het inzetten van kernenergie voor deze doeleinden zijn wel kosten verbonden (zie § 5.2 hierna over betaalbaarheid). Daarom moet de vraag worden gesteld: in hoeverre is de inzet van kernenergie ten behoeve van de flexibiliteit van het energieaanbod noodzakelijk en dus onontkoombaar?

Noodzaak van inzet kernenergie voor flexibiliteit in het energieaanbod

Er zijn de afgelopen jaren wetenschappelijke studies uitgevoerd naar het toekomstige CO_2-neutrale energiesysteem in Nederland. In een aantal daarvan wordt kernenergie niet meegenomen (bijvoorbeeld CE Delft, 2017; Berenschot, 2021; TNO, 2020), terwijl andere studies dat wel doen (Zappa, 2019; Berenschot & Kalavasta, 2020; Fattahi et al., 2022; Scheepers, 2022). Hoewel uit de studies blijkt dat kernenergie niet noodzakelijk is voor flexibiliteit in het energieaanbod, maken zij tevens duidelijk dat als de overheid afziet van kernenergie, dit consequenties heeft voor de keuzevrijheid waarmee de flexibiliteit van het energieaanbod kan worden ingevuld. Er zal in dat geval meer nadruk komen te liggen op het gebruik van biomassa en aardgas (met afvang en opslag van CO_2), sturing van de energievraag,

19 Kerncentrales moeten volgens huidige vereisten tweemaal daags binnen een kwartier tussen de 50 en 100% van hun vermogen kunnen regelen (European Utility Requirements, 2012). Frankrijk beschikt al enkele decennia over reactoren die binnen een half uur kunnen schakelen van 20% naar 100% van hun vermogen en terug. Dat is meer dan genoeg om het dag- en nachtritme van de elektriciteitsvraag te volgen in het huidige systeem (Kloosterman, 2019). Toch zijn er alternatieven met nog gunstiger ramping rates. De regelbaarheid van kerncentrales is vergelijkbaar met die van kolencentrales, maar lager dan van bepaalde gascentrales (OECD, 2012). Zie OECD NEA (2011) voor meer informatie over technische en economische aspecten van de inzet van kerncentrales voor flexibel stroomaanbod.

opslag van elektriciteit in batterijen, omzetting van elektriciteit naar waterstof, import van energie en aanleg van stroomverbindingen met andere landen.

Omgekeerd heeft ook het benutten van kernenergie voor het flexibel maken van het energieaanbod consequenties, zowel financieel-economisch als voor de benodigde infrastructuur. De bouw van nieuwe kernrectoren vergt aanzienlijke financiële overheidsgaranties voor geïnteresseerde marktpartijen, die anders de investering te risicovol zouden vinden (KPMG, 2021). Het inzetten op kernenergie om te zorgen voor meer flexibiliteit in het energiesysteem vraagt daardoor om een andere (meer sturende of interveniërende) rol van de overheid (zie ook § 5.2 hierna). Bovendien zijn forse infrastructurele aanpassingen nodig om op momenten dat er voldoende aanbod van energie is, met de door de kerncentrale opgewekte energie waterstof of warmte te produceren en deze vervolgens te transporteren.

Een van de voordelen van inzetten op kernenergie is de verbreding van het palet aan opties. Het realiseren van de energietransitie gaat immers gepaard met de nodige onzekerheden. De benodigde innovatie en opschaling zal wellicht niet altijd volgens plan verlopen als gevolg van technologische tegenslagen, vertragende procedures of koerswijzigingen in het beleid. Door in te zetten op een breed palet van energieopwekkingstechnologieën ontstaat mogelijk een robuuster transitiepad, met meer zekerheid dat een constante energievoorziening gewaarborgd blijft.[20] Kernenergie heeft zo beschouwd een *optiewaarde*: als andere technologieën onverwacht achterblijven, kan kernenergie worden ingezet. Een beperkende factor in dit verband is wel dat kerncentrales een lange voorbereidings- en bouwtijd hebben. Een belangrijke voorwaarde voor het behoud van de optiewaarde is dus dat de overheid voorbereid is om de eventuele komst van kerncentrales te faciliteren en dat de bouw tijdig begint. In ieder geval is duidelijk dat er verschillende maatschappelijke voor- en nadelen verbonden zijn aan de verschillende opties, waarover ook een ethische afweging nodig is.

5.2 Betaalbaarheid

Is kernenergie duurder of juist goedkoper dan andere technieken om energie op te wekken? Zit er een meerprijs aan het inzetten op verscheidene energiebronnen? Wij zijn nagegaan welke antwoorden de wetenschappelijke literatuur biedt op deze vragen.

Impact kernenergie op nationale kosten energietransitie

Om de kosten van energieopwekkingstechnologieën met elkaar te vergelijken wordt in de literatuur gewoonlijk gekeken naar de totale kosten voor de bouw en exploitatie van installaties, verdeeld over de gehele levensduur en uitgedrukt in euro's per megawattuur (€/MWh). De kosten van kernenergie uit nieuwe centrales in Nederland liggen naar schatting

20 Evenzo wordt de robuustheid van het energiesysteem ook bepaald door de balans tussen centrale en decentrale energieopwekking. Kernenergie wordt gezien als een technologie die bij een meer centraal ingericht systeem hoort, terwijl volgens sommigen een hoge mate van decentralisering leidt tot meer robuustheid.

tussen de € 65 en € 120 per MWh.[21] Dat de bandbreedte zo groot is, komt door verschillen in de verwachte inzet (uren per jaar) en door verschillen in de bouwkosten (die kunnen variëren al naar gelang de hoogte van de rente op de lening die een elektriciteitsproducent afsluit voor de financiering). Ter illustratie: de afgeschreven kerncentrale Borssele produceert elektriciteit tegen circa € 45/MWh, terwijl de kostprijs van elektriciteit die zal worden opgewekt door de nieuwe Britse kerncentrale Hinkley Point C naar verwachting rond € 110/MWh zal liggen.

Hoewel de brandbreedtes een zuivere vergelijking bemoeilijken, lijkt duurzaam opgewekte elektriciteit met – in Nederland – kostprijzen van circa € 50/MWh (voor wind-op-zee), € 40 tot € 70/MWh (voor wind-op-land) en € 50 tot € 80/MWh (voor zonneparken)[22] goedkoper te zijn dan elektriciteit uit nieuw te bouwen kerncentrales. Dit komt echter mede doordat in deze standaardbenadering niet alle kosten worden meegenomen. De extra kosten voor netverzwaring en flexibiliteit blijven bijvoorbeeld buiten beschouwing. Deze kosten moeten meewegen om tot een eerlijke vergelijking te komen. Het is zaak om het gehele energiesysteem in ogenschouw te nemen en dán te beoordelen of een systeem met dan wel zonder kernenergie duurder uitvalt of niet.

Om de kosten van energiesystemen met en zonder kernenergie in te kunnen schatten, hebben wij een aantal studies naast elkaar gelegd. Hieruit blijkt dat er veel informatie voorhanden is die kan dienen ter onderbouwing van beleidskeuzes, maar ook dat het niet eenvoudig is om alle informatie goed te wegen (zie hoofdstuk 3, deel 2 voor een overzicht van de studies en onze analyse daarvan).

De studies laten een aantal overeenkomsten zien. In alle studies wordt vastgesteld dat in een systeem met veel variabele elektriciteitsproductie uit wind en zon méér moet worden geïnvesteerd in zowel het netwerk (verzwaring van de energie-infrastructuur) als in flexibiliteit (opvangen van schommelingen in het energieaanbod). Dit geldt zowel voor energiesystemen met als zonder kernenergie. De verschillen in nationale kosten[23] tussen energiesystemen ‘met kernenergie’ en ‘zonder kernenergie’ kleiner dan de eerdergenoemde prijzen in €/MWh doen vermoeden (zie hoofdstuk 4 van deel 2 voor een toelichting op kosten en bouwduur van kerncentrales).

Door verschillen in onderliggende aannames komen de studies echter tot uiteenlopende conclusies over de nationale kosten van elektriciteitsvoorziening. Volgens de meeste studies zijn de kosten in een energiesysteem met kernenergie lager, in andere gelijk, en in een enkele hoger dan in systemen zonder kernenergie.
Een grondiger vergelijking van de studies leert dat onzekerheden in de aannames van de onderzoekers ervoor zorgen dat de berekende kosten

21 Zwaan (2019) op basis van Gamboa Palacios & Jansen (2018) en IEA & NEA (2015).
22 Bron: https://windopzee.nl/onderwerpen/wind-zee/kosten/kosten-windparken/. De kosten zijn in de afgelopen tien jaar spectaculair gedaald en zullen tot 2030 verder dalen (Algemene Rekenkamer, 2018).

23 ‘Nationale kosten’ zijn de kosten van het totale energiesysteem. Het omvat de kosten van energiebronnen op centrale-niveau én de kosten om die bronnen in het systeem als geheel te integreren: de systeemkosten. Onder systeemkosten vallen (a) de kosten voor het opvangen van schommelingen en onzekerheden in de elektriciteitsproductie en (b) de kosten van aansluiting op het elektriciteitsnetwerk en de benodigde aanpassingen daaraan.

grote onzekerheidsmarges kennen. Daardoor zijn de berekende verschillen in kosten tussen energiesystemen met en zonder kernenergie niet meer significant. Aannames die in de studies worden gemaakt (bijvoorbeeld ten aanzien van de bouwtijd of de bouwkosten van een kerncentrale) lijken bovendien, vanwege de grote onderlinge verschillen tussen de studies, niet geheel waardenvrij te zijn (zie hoofdstuk 2 van deel 2 voor een toelichting op de rol van waarden in technisch-wetenschappelijk onderzoek).
Verder is onvoldoende duidelijk of de uitkomsten van de uitgevoerde studies ook op de Nederlandse situatie van toepassing zijn. Nader onderzoek is daarom nodig. Op dit moment vinden wij het verstandig dat de overheid in de beleidsvoorbereiding het uitgangspunt hanteert dat de nationale kosten van de energietransitie met en zonder kernenergie min of meer vergelijkbaar zijn.

Is kernenergie rendabel onder de huidige marktcondities?
Of kernenergie zorgt voor lagere nationale kosten is maatschappelijk gezien van belang, maar voor investeerders niet. Voor energieproducenten die overwegen geld te steken in de bouw en exploitatie van een kerncentrale is vooral de vraag van belang of kernenergie een rendabele 'business case' kan opleveren. Uit een marktconsultatie studie van KPMG (2021) blijkt dat dit niet het geval is. Commercieel is de bouw en exploitatie van een kerncentrale voor private investeerders alleen aantrekkelijk bij ruime (financiële) steun en garanties van de overheid.[24] Dit heeft te maken met de manier waarop in Nederland de elektriciteitsmarkt is ingericht. Het Nederlandse marktmodel in zijn huidige vorm brengt met zich mee dat nieuw te bouwen kerncentrales maar een beperkt aantal uren per jaar kunnen worden ingezet voor elektriciteitsproductie (TenneT, 2021).

Huidige inrichting Nederlandse elektriciteitsmarkt beperkt inzetbaarheid kerncentrales
In Nederland is de productie en levering van elektriciteit strikt gescheiden van het transport en de distributie van elektriciteit. Het eerste gebeurt door energiebedrijven (concurrerende ondernemingen op de vrije markt), het tweede gebeurt door netbeheerders (bedrijven in overheidsbezit met een nationaal of regionaal monopolie).
De netbeheerders hanteren op het Nederlandse elektriciteitsnet het 'merit order'-principe, wat inhoudt dat energiebedrijven hun productiecapaciteit (windturbines, zonnepanelen, gascentrales, kolencentrales enzovoort) in een bepaalde volgorde moeten inzetten, die vooral wordt bepaald door de kosten van de energieproductie. Dit principe geeft dus voorrang aan producenten met de laagste stroomprijs. Dat betekent dat kerncentrales onder de huidige Nederlandse marktcondities niet op elk moment van het jaar kunnen draaien.

Om het voor commerciële partijen aantrekkelijk te maken om te investeren in nieuw te bouwen Nederlandse kerncentrales, zullen marktinterventies nodig zijn. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan prijsgaranties per geproduceerde kWh, aan regelingen waarbij kernenergie voorrang krijgt op het net ('must-run'-regelingen), of aan de inzet van kernenergie voor ándere

24 Dit geldt ook voor de kerncentrales die nu in aanbouw of recent gerealiseerd zijn in onder meer Frankrijk, Engeland en Finland.

doeleinden dan elektriciteitsproductie, zoals de productie van warmte en/of waterstof. Voor verdergaand interveniëren in de marktwerking zou Nederland naar het Verenigd Koninkrijk kunnen kijken.

Investeringen in Britse kerncentrales aantrekkelijk gemaakt met marktinterventie

Het marktmodel in het Verenigd Koninkrijk komt op hoofdlijnen overeen met het Nederlandse model. Voor de omgang met kernenergie is echter een omslag gemaakt. De in aanbouw zijnde kerncentrale Hinkley Point C wordt ondersteund door middel van prijsgaranties. Voor de nieuw geplande kerncentrale Sizewell C wordt een rendement op kapitaal gegarandeerd.
De Britse overheid laat eindgebruikers van elektriciteit dus kosten dragen voor een – in haar ogen – robuuster energiesysteem. Kerncentrales worden daarbij niet als reguliere energiebron gezien, maar als 'essentiële infrastructuur' – net als bijvoorbeeld drinkwaterzuiveringsinstallaties. Marktpartijen die in Nederland actief zijn, geven aan dat zij dit model een zeer aantrekkelijke financieringsvorm vinden voor kernenergieprojecten (KPMG, 2021).

Een mogelijk nadeel van marktinterventies ten faveure van kernenergie is wel, dat ze consequenties hebben voor de inzetbaarheid van andere instrumenten die kunnen zorgen voor meer flexibiliteit van het energieaanbod. Als kernenergie steun of garanties krijgt, kunnen bijvoorbeeld investeringen in waterstofproductie, waaraan deze steun niet is gekoppeld, minder aantrekkelijk worden voor marktpartijen.

Een andere mogelijkheid om kernenergie rendabeler te laten worden is verdere aanpassing van het huidige marktmodel ten behoeve van de duurzaamheidsdoelstellingen. Verschillende studies wijzen erop dat het huidige marktmodel een betaalbare energietransitie niet ondersteunt (eRisk, 2020; Tieben et al., 2013). Het model geeft immers voorrang aan de laagste stroomprijs en voorziet niet in bijvoorbeeld vergoedingen aan energiebedrijven voor gerealiseerde besparingen op de uitbreiding van het elektriciteitsnet, de aanleg van reservevermogen of de ontwikkeling van andersoortige stabiliserende systeemfuncties. Daarnaast worden maatschappelijke kosten van CO_2-emissies niet volledig in energieprijzen doorberekend. Los van de vraag of kernenergie onderdeel moet zijn van de energiemix is dus de vraag hoe het huidige marktmodel kan worden aangepast om het realiseren van een duurzaam, betaalbaar (en betrouwbaar) energiesysteem beter te ondersteunen.

Meerprijs van inzetten op diverse energiebronnen

Zoals we hiervoor al aangaven vergroot het inzetten op alle mogelijke bronnen van CO_2-arme elektriciteit de robuustheid van het transitiepad. Als er een energieopwekkingstechniek uitvalt tijdens de transitie, zijn er alternatieven beschikbaar. Uit onderzoek blijkt dat het uitsluiten van opties doorgaans leidt tot hogere nationale kosten. Wel zijn meerkosten verbonden aan overdimensionering van het energiesysteem. Welke prijs is een robuust transitiepad ons als samenleving waard?

5.3 Veiligheid

Veiligheid vormt een essentiële voorwaarde voor de toepassing van kernenergie. Hoewel er in de literatuur over kernenergie allerlei definities van veiligheid worden gegeven, blijkt het in de praktijk een complex onderwerp, dat emoties kan oproepen. Tal van ethische vragen spelen hierbij een rol.

Kloof tussen beleid en samenleving

We signaleerden in hoofdstuk 4 al dat dat er sprake is van een gebrek aan aansluiting tussen enerzijds de beleidsmatige benadering van veiligheid van kernenergie en anderzijds de zorgen hierover in grote delen van de samenleving. In het beleid ligt de nadruk op de (geringe) kans op kernongevallen, maar mensen die zich zorgen maken over kernenergie vrezen de (mogelijk grote) impact van een kernongeval. Dit raakt aan fundamentele ethische vraagstukken zoals: hoe kunnen we verschillende oorzaken en gevolgen van een kernongeval meten en onderling wegen? Sommige gevolgen zijn zo ingrijpend dat ook een kleine kans erop problematisch kan zijn. Een belangrijke opgave die wij zien voor de overheid is om in het gesprek over risico's behalve cijfermatige indicatoren ook andere argumenten en ethische reflectie een plek te geven.

Twee andere onderwerpen die veelvuldig terugkeren in het debat over de veiligheid van kernenergie zijn: (1) de risico's rond de opslag van kernafval en (2) het risico van illegale verspreiding van nucleaire materialen en nucleaire kennis. We staan hieronder kort stil bij de wetenschappelijke kennis over deze beide onderwerpen.

Risico's rond opslag kernafval

De risico's van de tijdelijke opslag van kernafval bij de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) nabij Vlissingen zijn volgens deskundigen beperkt, zo kwam naar voren tijdens de expertmeeting die wij op 5 november 2021 organiseerden over de veiligheid van kernenergie.
De verwachte gevolgen bij een ongeval zullen vooral lokaal zijn. Ditzelfde geldt voor de gevolgen van een eventueel ongeval bij het transport van kernafval.

Over de veiligheidsrisico's van de eindberging van nucleair afval bestaat minder consensus onder deskundigen. Een deel van de experts wijst erop dat het onderzoek naar een veilige eindberging van kernafval inmiddels niet meer zozeer gaat over de vraag *of* veilige eindberging mogelijk is, maar vooral over de vraag *hoe* de eindberging technisch het beste kan worden ontworpen (OPERA, 2019). Een ander deel van de experts toont zich kritisch en wijst daarbij op de zeer lange halveringstijd die bij hoogradioactief afval komt kijken. Het bevat bestanddelen die tienduizenden jaren radiotoxisch zullen blijven.[25] Dit zijn termijnen waarmee de mensheid logischerwijs geen ervaring heeft. Ook roept dit de praktische vraag op hoe toekomstige generaties over deze risico's zouden moeten worden geïnformeerd. Dit leidt tot twee prangende ethische vragen: (1) mogen we de verantwoordelijkheid voor de opslag tot in de volgende eeuw doorschuiven naar de dan levende generaties; (2) is het legitiem om de inwoners van Nederland tot in de verre

25 Opgewerkt (verglaasd) hoogradioactief afval moet ongeveer tienduizend jaar veilig opgeslagen worden en niet opgewerkte verbruikte splijtstof ongeveer een kwart miljoen jaar (ANVS, 2016). Na die perioden heeft het afval dezelfde radiotoxiciteit als het oorspronkelijke uraniumerts.

toekomst op te zadelen met de radiotoxische gevolgen, mocht er iets fout gaan met de opslag?[26]

Risico van verspreiding van nucleair materiaal

Bij het risico van illegale verspreiding van nucleaire materialen speelt onder meer het gevaar dat stoffen en/of kennis worden gestolen en terechtkomen bij partijen die kernwapens willen maken. Om dit te voorkomen is Nederland sinds 1970 aangesloten bij het zogenoemde Non-proliferatieverdrag (NVP), officieel het Verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens.[27]

Er is onder deskundigen een hoge mate van consensus dat de kans op verspreiding van nucleaire materialen en kennis als direct gevolg van een eventuele plaatsing van nieuwe kerncentrales in Nederland zeer klein is, maar nooit volledig valt uit te sluiten. Om de risico's te minimaliseren heeft Nederland besloten om in civiele nucleaire installaties (bedoeld voor onderzoek, onderwijs en de productie van isotopen voor medische toepassingen) alleen nog maar te werken met laagverrijkte splijtstof, dat niet direct bruikbaar is voor het maken van kernwapens.[28] Ook zijn in de nucleaire keten veel voorzorgsmaatregelen getroffen. Wel kiest Nederland er in tegenstelling tot veel andere landen voor om een deel van het radioactieve afval 'op te werken' (i.e. opnieuw geschikt te maken voor gebruik in kerncentrales), wat een in theorie een hoger risico met zich meebrengt (Taebi & Kadak, 2010).

Daarnaast speelt het risico van sabotage van nucleaire installaties met als gevolg kernongevallen of radiologische lekkage en daaruit voortvloeiende gezondheidsrisico's. Ethische reflectie is naar ons oordeel nodig op de vraag hoe een zeer klein risico op illegale verspreiding van nucleaire materialen en kennis en de risico's van sabotage van nucleaire installaties afgewogen moeten worden.

Meer wetenschappelijke kennis nodig over impact van kernongevallen

Wat de veiligheid van kernenergie betreft is er over twee onderwerpen op dit moment nog onvoldoende wetenschappelijke kennis beschikbaar, zo hebben wij vastgesteld:

1. De huidige wetenschappelijke kennis biedt weinig inzicht in wat in Nederland de gevolgen kunnen zijn van een ongeval met een kerncentrale van de nieuwe generatie 3(+). De wettelijke grenswaarden waaraan deze nieuwe kerncentrales moeten voldoen zijn geformuleerd als een kans van 1 op de miljoen per jaar respectievelijk een kans van 1 op de 100.000 per jaar dat een persoon of een groep van tien of meer personen dodelijk slachtoffer wordt van een kernongeval (ANVS, 2020). De beschikbare studies, zoals over de recent geopende kerncentrale in Finland (STUK, 2019), zijn echter niet één-op-één toepasbaar op de Nederlandse situatie.

26 In hoofdstuk 5 van deel 2 gaan wij nader in op de eindberging van kernafval.

27 In het NPV wordt het gebruik van kernenergie voor vreedzame toepassingen expliciet toegestaan, inclusief het verrijken van uranium. Wel moeten landen daarbij de hoogste veiligheids- en beveiligingsnormen en waarborgen hanteren en volledige transparantie bieden over alle activiteiten. Daarvan is in Nederland sprake. Kernenergie is wereldwijd ook anderszins onderworpen aan een stelsel van nationale vergunningen gericht op veiligheid en nationaal en internationaal toezicht.

28 Laagverrijkte splijtstof kan wel worden gebruikt voor het maken van zogenaamde vuile bommen. Een vuile bom is een wapen dat zijn vermogen om te doden en te verwonden ontleent aan ioniserende straling, maar zonder dat daarbij explosieve kernreacties optreden, zoals bij een 'echt' kernwapen.

2. De meeste wetenschappelijke onderzoeken[29] spitsen zich toe op de directe radiologische gevolgen van een kernongeval (de samenstelling, hoeveelheid en wijze van vrijkomen van radioactieve stoffen in de biosfeer), zonder te kijken naar de maatschappelijke ontwrichting en de ecologische, economische, psychische en sociale problemen die in de nasleep van zo'n ongeval aan de orde kunnen zijn (zie ook: Hoge Gezondheidsraad, 2016). Ook al zijn er bij het kernongeval in Fukushima geen doden gevallen, het incident heeft wel ingrijpende gevolgen gehad op de levens van mensen die voorgoed weg moesten uit hun oorspronkelijke woonplaats; dit zijn ook ethisch belangrijke gevolgen (Roeser, 2011).

Meer inzicht in de twee zojuist genoemde aspecten van de impact van kernongevallen is volgens ons van belang voor een goed debat over kernenergie. Wat de kans op dodelijke slachtoffers betreft is kennis nodig die is toegesneden op kerncentrales van de generatie 3(+) in de Nederlandse context. Ook is specifiek op ons land toegespitste kennis nodig over de ongevallen- en rampenbestrijding in onvoorspelbare situaties en chaos die vrijwel altijd ontstaan bij grote ongevallen, in weerwil van bestaande regels en protocollen. Ook zou daarbij, zeggen wij in navolging van de Onderzoeksraad voor Veiligheid (OVV, 2018), inzichtelijk moeten worden gemaakt wat de gevolgen van een eventueel kernongeval zijn in onze buurlanden en hoe de samenwerking bij de rampenbestrijding er dan uit zou kunnen zien. Daarbij hoort tevens ethische reflectie op welke maatregelen passend zijn en tegen welke kosten (RIVM, 2020). Hierbij moeten ook expliciet ethische afwegingen worden meegenomen.

29 Het RIVM bespreekt een aantal onderzoeken op zijn website. Zie: https://www.rivm.nl/straling-en-radioactiviteit/stralingsincidenten-en-kernongevallen/middelen-en-expertise/rekenen-en-modelleren

5.4 Duurzaamheid

Om te bepalen of een keuze voor kernenergie is te beschouwen als een 'duurzame' keuze, moet naar diverse criteria worden gekeken: de impact van kernenergie op vermindering van CO_2-uitstoot, op het landschap, op het grondstoffenverbruik en op de leefomgeving (denk met name aan kernafval). Wij hebben de wetenschappelijke inzichten hierover op een rij gezet.

Impact van kernenergie op (snelle) vermindering van CO_2-uitstoot

Bij de beoordeling van de duurzaamheid van energieopwekking vormt 'impact op klimaatverandering' een prominent criterium. Over de klimaatimpact van kernenergie bestaat in de wetenschap brede overeenstemming: er is sprake van slechts beperkte CO_2-uitstoot, ook wanneer we kijken naar de gehele levenscyclus van een kernreactor. Qua CO_2-uitstoot is kernenergie vergelijkbaar met windenergie. Vergeleken met zonne-energie presteert kernenergie beter (IPCC, 2014; UNECE, 2021).

Een specifiek aspect van duurzaamheid betreft de snelheid waarmee vermindering van CO_2-uitstoot kan worden bereikt. Op dat punt is geen wetenschappelijke kennis beschikbaar over kernenergie. Het is onbekend of een transitiepad mét kernenergie sneller (of langzamer) leidt tot CO_2-reductie dan een transitiepad zónder kernenergie. Dit is een gemis in het debat, omdat het voor de impact op het klimaat veel uitmaakt in

welk tempo de wereldwijde CO_2-uitstootcurve wordt afgebogen. Eenmaal uitgestoten CO_2 blijft immers honderden jaren in de atmosfeer – tenzij hier speciale 'negatieve emissietechnieken' voor zouden worden ingezet. Grootschalige en betaalbare technische oplossingen daarvoor zijn in ontwikkeling, maar nog niet beschikbaar.

Impact van kernenergie op het landschap

Een ander duurzaamheidsaspect van energieopwekkingstechnieken betreft de hoeveelheid ruimte die installaties in beslag nemen; dit heeft immers impact op het landschap.

Bij energieproductie is sprake van *direct* en *indirect* ruimtebeslag. Het directe fysieke ruimtebeslag betreft de 'voetafdruk' van de installaties in de leefomgeving: hun oppervlakte.

Het indirecte ruimtebeslag betreft (a) de ruimtelijke (veiligheids)beperkingen rond een installatie, (b) de ruimte die nodig is voor verbonden onderdelen in het energiesysteem (zoals transportleidingen en toeleverings- en verwerkingsketens), (c) de ruimte die elders in het land of in de wereld nodig is voor de winning van benodigde grondstoffen en (d) de impact op de (esthetische) beleving van het landschap.[30]

Voor kerncentrales geldt dat het directe fysieke ruimtebeslag vergelijkbaar is met dat van een gascentrale van gelijk vermogen. De oppervlakte die kerncentrales innemen is evenwel aanzienlijk kleiner dan die van wind- en zonne-energie-installaties met een vergelijkbare productiecapaciteit.[31] Dat komt doordat er honderden van zulke installaties nodig zijn om tot een productiecapaciteit te komen die zich kan meten met die van een generatie 3(+) kerncentrale van 1000 tot 1600MW. Ter vergelijking, de huidige kerncentrale Borssele heeft een vermogen van 485MW. Windpark Zeewolde, het voorlopig grootste windpark op land in Nederland, bestaat uit 91 windmolens met een gezamenlijke capaciteit van 322MW en heeft een oppervlakte van 300 vierkante kilometer.[32]

Het indirecte ruimtebeslag van kernenergie is evenwel flink groter dan het directe, als gevolg van veiligheidscirkels, van tijdelijke opslag van kernafval en van productie- en opwekkingsfaciliteiten voor brandstofstaven. Ruimtebeslag treedt bovendien op bij een ernstig ongeval, als gebieden rond een kernreactor langdurig moeten worden ontruimd. Het indirecte ruimtebeslag van windturbines bestaat uit de aansluiting van een windpark op het elektriciteitsnetwerk en de opslag van (een deel van) de opgewekte

30 Het onderscheid direct en indirect ruimtebeslag komt op verschillende manieren terug in de literatuur. De rapporten van Berenschot en Kalavasta (2020), in opdracht van Netbeheer Nederland, en Kuijers et al. (2020), in opdracht van het ministerie van EZK, geven vooral inzicht in het directe en soms het indirecte ruimtebeslag. Het rapport van Generation. Energy, Bright en Groen Licht (2021) in opdracht van het ministerie van BZK, kijkt expliciet naar het indirecte ruimtebeslag en heeft aandacht voor benodigde infrastructuur zoals bijvoorbeeld benodigde buisleidingen. Het rapport Ruimte in het klimaatakkoord (Hocks et al., 2018) werkt voor elke sector het ruimtebeslag uit. Een omvattend inventariserend overzicht biedt het rapport Klimaat Energie Ruimte (Kuijers et al., 2018). Sijmons et al. (2017), CRa (2019) en CoP Windenergie en landschapskwaliteit (2021) bieden ook een ruimtelijke visie op de keuzen die gemaakt moeten worden bij de energietransitie of onderdelen daarvan.

31 Het directe ruimtebeslag van een individuele windturbine is heel klein. Maar omdat ze niet dichtbij elkaar kunnen staan, neemt een windpark veel ruimte in beslag. De ruimte tussen windturbines is overigens wel multifunctioneel te gebruiken, bijvoorbeeld voor landbouw, bos of natuur (CoP Windenergie en landschapskwaliteit, 2021).

32 Het windmolenpark bestaat uit 91 nieuwe windmolens die de oorspronkelijke, twintig jaar geleden her en der geplaatste, 220 windmolens vervangen en een gezamenlijke capaciteit hebben die 2,5 keer hoger ligt. Het park is een privaat initiatief waarbij ongeveer 90% van de in het gebied wonende boeren, burgers en ondernemers zich als aandeelhouder hebben verenigd in een energiecoöperatie. Zie verder: https://www.change.inc/energie/het-grootste-windmolenpark-op-land-van-nederland-opent-deze-zomer-38627

energie in accu's dan wel (na conversie tot waterstof) in boven- of ondergrondse reservoirs, maar dit geldt eveneens voor kernenergie indien het wordt ingezet voor de flexibiliteit van het energiesysteem. De inpassing van wind- en zonneparken in het landschap wordt verschillend beleefd, maar vormt voor een sommige mensen een belangrijk argument tegen grootschalige plaatsing van windmolens en zonneparken.

De ruimtelijke voordelen van kernenergie zullen moeten worden afgewogen tegen de ruimtelijke nadelen (inclusief de verdeling daarvan in de samenleving). Vervolgens zullen de ruimtelijke voor- en nadelen moeten worden vergeleken met die van andere energiebronnen. Dit vereist niet alleen kwantitatief vergelijkend onderzoek, maar ook ethische reflectie (zie ook § 5.5). Op het niveau van het energiesysteem als geheel zal inzichtelijk moeten worden gemaakt wat de ruimtelijke effecten zijn van keuze voor een systeem zonder en met kerncentrales.

Impact van kernenergie op grondstoffenverbruik

De opwekking van energie gaat gepaard met de winning van grondstoffen. Vanuit duurzaamheidsperspectief zijn in dit verband drie aspecten van belang: (1) de impact die de winning heeft op het milieu, (2) de mate waarin sprake is van eindige grondstoffen en dus van voorraaduitputting en (3) de mogelijkheid tot hergebruik (recycling) van de gebruikte grondstoffen.

Voor de productie van kernenergie zijn relatief weinig zeldzame mineralen en metalen nodig; alleen uranium is essentieel (JRC, 2021). In dat opzicht steekt kernenergie gunstig af bij wind- en zonne-energie. Want voor het vervaardigen van zonnepanelen, windturbines en de bijbehorende batterijen, brandstofcellen en electrolyzers zijn zeldzame grondstoffen nodig als lithium, kobalt, platina en paladium. Bovendien maken deze technieken ook gebruik van beperkt beschikbare materialen zoals koper.
Daar staat tegenover dat uranium (net als andere splijtstoffen) niet volledig en telkens opnieuw kan worden hergebruikt voor dezelfde toepassing, zoals wél mogelijk is met bijvoorbeeld lithium en kobalt – ook al gebeurt dat in de praktijk nog niet vaak. Het recycle-potentieel van kernenergie is daardoor (én door de radioactiviteit van bepaalde onderdelen van een ontmantelde kerncentrale) geringer dan dat van (moderne) windturbines en zonnepanelen (UNECE, 2022; Stamford & Azapagic, 2012).

Ten aanzien van de beschikbaarheid van uranium is de inschatting dat deze voldoende is voor de energietransitieperiode (GEA, 2012; OECD NEA & IAEA, 2020), maar dat op de langere termijn uraniumschaarste problematisch kan worden (zie ook § 5.5 hierna). Datzelfde bezwaar kleeft evenwel aan andere vormen van energieopwekking: ook de beschikbaarheid van de zeldzame metalen (iridium) die nodig zijn voor de productie van waterstof door middel van elektrolyse kan op termijn een complicatie gaan vormen (Wieclawska & Gavrilova, 2021; Metabolic et al., 2021).

Duidelijk is dat elk energiesysteem een fors beroep zal doen op specifieke mineralen en metalen. Op het niveau van het energiesysteem als geheel zou inzichtelijk moeten worden gemaakt hoe de vormgeving van de energiemix de vraag naar grondstoffen beïnvloedt. Afgewogen zal moeten worden welke mate van grondstoffenverbruik acceptabel is.

Hieraan zijn ook ethische aspecten verbonden. Zo speelt rechtvaardigheid ten opzichte van de niet-geïndustrialiseerde landen waar grondstoffen worden gedolven een rol. Bij het winnen van grondstoffen zijn immers zowel vervuiling van het milieu, arbeidsomstandigheden als ongelijke welvaartsverdeling aan de orde.
In het algemeen geldt dat het verminderen van de vraag naar energie belangrijk is om de vraag naar grondstoffen te verminderen. Dit vraagt echter wel een gedragsaanpassing van mensen en kan gevolgen hebben voor hun welvaart en comfort. Ook hier speelt dus een ethische afweging.

Impact van kernenergie op de leefomgeving: berging van hoogradioactief kernafval

Vanuit duurzaamheidsperspectief vormt de onzekerheid die tot op heden bestaat over de mogelijkheden voor een veilige permanente eindberging van hoogradioactief kernafval een nadeel van kernenergie ten opzichte van andere vormen van energieopwekking. Nederland heeft in beleid vastgelegd dat in 2100 een definitief besluit moet worden genomen over de wijze van eindberging en dat in het jaar 2130 een eindberging beschikbaar moet zijn.[33] De Europese richtlijn 2011/70/Euratom verplicht Nederland echter om nu al stappen te zetten richting veilige en verantwoorde eindberging. De Nederlandse regering heeft de COVRA daarom opdracht gegeven om op dit punt onderzoek te verrichten. Dit Onderzoeksprogramma Eindberging Radioactief Afval (OPERA), dat liep van 2011 tot 2018, richtte zich op 'diepe geologische eindberging' in klei- of steenzoutlagen. De veronderstelling is dat deze bodemlagen over fysieke eigenschapen beschikken, waardoor radioactiviteit zich niet verder kan verspreiden. Maar daarover bestaat geen zekerheid. Het risico dat hier speelt betreft met name de mogelijke radioactieve besmetting van (grond)water en het leefgebied van organismen, zowel in de ondergrond als aan de oppervlakte.

In de eerste OPERA-studie spreken de onderzoekers, een aantal gesignaleerde onzekerheden ten spijt, hun vertrouwen uit in de technische haalbaarheid van eindberging van hoogradioactief kernafval in klei, maar ze geven aan dat er ook ethische overwegingen zijn die expliciet zouden moeten worden meegenomen, waarbij ook burgers zouden moeten worden betrokken (Verhoef et al., 2017).[34]
Er is evenwel kritiek geuit op de gebruikte methoden en wiskundige modellen in het OPERA-onderzoek (Löhnberg, 2020). De kritiek betreft onder meer de omgang met door OPERA zelf beschreven onzekerheden, waardoor de veiligheid niet onomstotelijk zou zijn aangetoond. De Adviesgroep OPERA (2018) heeft aangegeven dat behalve het vergaren van wetenschappelijke kennis ook maatschappelijke participatie nodig is voor de besluitvorming over eindberging van hoogradioactief afval. Op verzoek van de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) zal het Rathenau Instituut in 2024 advies uitbrengen over de inrichting van het besluitvormingsproces over langdurig beheer van radioactief afval.[35]

33 Deze beleidskeuze is volgens de overheid legitiem, gezien de beschikbaarheid van een goede tijdelijke opslag voor hoogradioactief afval, die voldoende ruimte biedt voor de berging van het afval van de kerncentrale Borssele.

34 Op termijn volgt nog een tweede OPERA-studie, naar de berging van kernafval in zoutlagen.
35 De voortgang van dit onderzoeksprogramma is te volgen via de website van het Rathenau Insituut: https://www.rathenau.nl/nl/dossier-advies-besluitvormingsproces-toekomst-radioactief-afval

Wij stellen voor dit moment vast dat er op het vlak van doorlaatbaarheid van bodemlagen nog tal van onzekerheden zijn. Indien men de optie van kernenergie verder wil verkennen, zou hiernaar meer onderzoek moeten worden gedaan (zie ook hoofdstuk 5 van deel 2).

5.5 Rechtvaardige verdeling van lusten en lasten

Als Nederland zou kiezen voor één of meer nieuwe kerncentrales, moet worden nagegaan hoe de lusten en de lasten daarvan worden verdeeld tussen gebieden in Nederland, tussen Nederland en andere landen en tussen onze generatie en de generaties na ons en of dat rechtvaardig en acceptabel is. Onderwerpen die hierboven al zijn beschreven komen in deze paragraaf dus nogmaals terug, maar nu vanuit het perspectief van rechtvaardigheid. Het gaat dan om onderwerpen als: in welke regio's worden kerncentrales geplaatst, waar wordt het nucleaire afval opgeslagen, hoeveel van de eindige grondstof uranium laten wij na voor de generaties na ons, onder welke voorwaarden is de productie van kernafval rechtvaardig en hoe kan het afval worden opgeslagen, gegeven de lasten die dit mogelijk kan veroorzaken in de toekomst?[36]

36 Er zijn uiteraard ook financiële lasten te verdelen. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om de vraag: welk deel van de kosten van energiesysteem met kernenergie gaan de energiebedrijven betalen en welk deel de overheid? Dit aspect laten wij hier buiten beschouwing.

Keuze van locaties voor kerncentrales

Er zijn in Nederland drie locaties aangewezen waar de eventuele bouw van een kerncentrale niet mag worden belemmerd: Borssele, Maasvlakte I en Eemshaven.

Dit zijn de zogenoemde waarborglocaties.[37] De keuze van een locatie voor een kerncentrale hoeft zich niet te beperken tot de waarborglocaties. Er kan ook een vergunningaanvraag worden ingediend voor een andere locatie, mits deze voldoet aan de voorwaarden en eisen uit het Derde Structuurschema Elektriciteitsvoorziening[38] en uit het omgevingsbeleid.

Keuze van locaties voor eindberging van hoogradioactief kernafval

De locatie van een permanente eindberging voor hoogradioactief kernafval is gebonden aan specifieke eigenschappen van de ondergrond. Op dit moment wordt gedacht aan steenzoutlagen of kleilagen (zie § 5.4). In Noordoost-Nederland, waar zoutlagen in de diepe ondergrond zitten, heeft de mogelijkheid van eindberging in de afgelopen decennia op verschillende momenten gezorgd voor onrust onder de plaatselijke bevolking, wat ertoe heeft geleid dat verder onderzoek voorlopig is gestaakt. De vraag is onder welke voorwaarden de vestiging van een eindberging op acceptatie door lokale bewoners kan rekenen. Een alternatieve optie die wordt genoemd in het debat is om de eindberging in samenwerking

37 De Tweede Kamer heeft het kabinet in twee moties gevraagd de waarborglocatie Eemshaven op te heffen, mede met het oog op de lasten die de provincie Groningen al ten deel zijn gevallen als gevolg van aardgaswinning in Groningen (Tweede Kamer, 2021a; 2021b). Tot op heden heeft het kabinet deze moties nog niet uitgevoerd.

38 In het Derde Structuurschema Elektriciteitsvoorziening (SEV III) is vastgelegd waar in Nederland nieuwe elektriciteitscentrales van 500 MW en meer kunnen worden gevestigd. Op termijn zal het SEV III worden vervangen door het Programma Energiehoofdstructuur.

met andere landen op te pakken. Hiervoor is in januari 2021 de European Repository Development Organisation opgericht, waarin Europese landen met relatief kleine hoeveelheden radioactief afval de mogelijkheid verkennen van een gezamenlijke eindberging (ERDO, 2021). Een andere mogelijkheid is om ruimte in te kopen bij de Finse eindberging. Dat is vooralsnog alleen theoretische mogelijkheid, aangezien in de huidige Finse wetgeving is opgenomen dat deze eindberging alleen ter beschikking mag worden gesteld aan kernafval uit Finland (MEE, 2016).

Winning van eindige grondstof uranium

De in de natuur beschikbare uraniumreserves zijn naar verwachting ruim voldoende voor de transitieperiode naar een klimaatneutraal energiesysteem. Bovendien zijn er mogelijkheden om te besparen op uraniumverbruik[39] en is uranium in de toekomst mogelijk uit zeewater te winnen.[40] Echter, net als voor veel andere grondstoffen geldt ook voor uranium dat de bekende voorraden in de grond bij het huidige gebruik en tegen huidige prijzen over honderd tot enkele honderden jaren op kunnen zijn als de recycling niet verbetert (OECD-NEA & IAEA, 2020). In dat geval zou uraniumschaarste op de lange termijn problematisch kunnen worden.

Het is voorstelbaar dat generaties (ver) na ons de specifieke eigenschappen van uranium als grondstof met zeer hoge energiedichtheid nodig zullen hebben. Als wij accepteren dat de huidige generaties morele verantwoordelijkheden dragen jegens toekomstige generaties, ongeacht hoe ver verwijderd, dan roept dit de vraag op onder welke voorwaarden het verbruik van uranium rechtvaardig is (Gardiner, 2003;Taebi, 2021). Dit sluit ethisch verantwoord gebruik van kernenergie niet uit (Taebi, 2021), maar het vraagt ons wel om na te denken over compensatie voor toekomstige generaties, over het precieze gebruik van uranium en over het beheren van mogelijk herbruikbaar afval (Barry, 1989).

Kernafval nu en in de toekomst

In het wetenschappelijke debat wordt erop gewezen dat ook de kernafvalproblematiek ethische verplichtingen met zich meebrengt ten opzichte van toekomstige generaties (Kermisch, 2016). Een breed geaccepteerd moreel principe is dat kernafval geen ‘onredelijke last’ mag opleggen aan specifieke groepen, landen noch aan toekomstige generaties (Fattah, 1995). Het is echter moeilijk om te bepalen onder welke voorwaarden kernafval geen ‘onredelijke last’ vormt. De eindberging van kernafval kent namelijk fundamentele technische en ethische onzekerheden die nooit helemaal zijn weg te nemen. Onder lidstaten van de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OECD) bestaat consensus dat het diep onder de grond opslaan van kernafval in de daarvoor gebouwde opslagplaatsen – oftewel geologische berging – de beste manier is om invulling te geven aan het principe van het voorkomen van onredelijke lasten voor de toekomst (NEA-OECD 1995; IAEA 1997).

39 Daarnaast is thoriumerts een mogelijk toekomstige uraniumbron voor gebruik in bepaalde typen reactoren.

40 Zeewater bevat veel uranium dat, gelet op de zeer lage dichtheden en de impact op het milieu, met de huidige technieken en kostprijs, niet te delven is maar op termijn mogelijk wel. De hoeveelheid uranium die te winnen is uit zeewater wordt geschat op zeer groot.

De ethische vraag die hier speelt is of en onder welke voorwaarden de productie van kernafval als rechtvaardig kan worden beschouwd. Ook deze lastige vraag zal moeten worden meegewogen in de politieke besluitvorming over kernafval. Cruciaal beslispunt zal daarbij zijn: als wij het recht van toekomstige generaties om (andere) keuzes te maken willen respecteren, welke vorm van afvalberging is dan verantwoord?
In dit verband kan worden overwogen of en hoe geologische berging van kernafval terugneembaar zou moeten zijn. Definitief afsluiten van de berging is wellicht veiliger en ook goedkoper, maar maakt het moeilijk om (a) als er problemen optreden, nog aanpassingen te doen, of (b) de stralingsrisico's te verminderen wanneer er nieuwe bergingstechnologie beschikbaar komt. Een tweede argument voor een terugneembare berging kan zijn dat nuttig restmateriaal toegankelijk blijft, bijvoorbeeld voor toepassing in toekomstige reactortypes. Een ander beslispunt zal zijn of en hoe locaties van eindbergingen herkenbaar moeten blijven voor toekomstige generaties. Zo ja, dan komt de vraag op in wat voor (beeld)taal dat dan het beste zou kunnen en of er instituties ingericht moeten worden die moeten zorgdragen voor deze communicatie (OECD & NEA, 2015).

6 BENODIGDE ANTWOORDEN VOOR EEN TOEKOMSTBESTENDIG BESLUIT

In het voorgaande hoofdstuk hebben we de mogelijke rol van kernenergie binnen een CO_2-neutraal energiesysteem vanuit verschillende invalshoeken belicht. Uit onze analyse komt naar voren dat er nog verschillende vragen openstaan. Die vragen moeten worden beantwoord om te kunnen komen tot een weloverwogen besluit over de mogelijke toekomstige rol van kernenergie in Nederland. Het gaat in de eerste plaats om vragen over nog ontbrekende informatie die van belang is voor de besluitvorming; hierover zal kennis moeten worden vergaard. Het gaat in de tweede plaats om beleidsinhoudelijke vragen; deze vergen een politiek-maatschappelijke afweging, zie ook afbeelding 4.

Afbeelding 4: Beleids- en kennisvragen rond kernenergie op basis van reflectie vanuit waarden

6.1 Nog te vergaren kennis

Er is over kernenergie veel kennis beschikbaar, maar er is ook sprake van een aantal onzekerheden. Het is belangrijk om deze onzekerheden te identificeren, zodat daarover gericht de benodigde kennis kan worden vergaard. We willen hiermee overigens niet suggereren dat het vergaren van kennis alle onzekerheden kan wegnemen. Onzekerheden die blijven bestaan dienen als zodanig te worden erkend zodat daar in besluitvorming rekening mee kan worden gehouden. Meer kennis is in elk geval nodig over vier kwesties die wij hieronder bespreken.

1. *Wat is het kostenverschil tussen een energiesysteem mét en een energiesysteem zónder kernenergie?*

Verschillende recente studies wijzen erop dat de kosten van een energiesysteem mét kernenergie lager kunnen zijn dan een systeem zónder kernenergie. Enkele studies geven echter een ander beeld. De onzekerheid in de berekeningen en de verschillen in de gehanteerde aannames zijn dusdanig groot, dat definitieve uitspraken nog niet mogelijk zijn. Al bij kleine aanpassingen in de aannames lopen de prijsverschillen snel op. Er is dus een nadere wetenschappelijke beoordeling nodig van de aannames. Voortdurende monitoring is daarbij van belang, zodat nieuwe ontwikkelingen kunnen worden meegenomen in de aannames.
Het kennisgebrek op het punt van de kosten van een energiesysteem met dan wel zonder kernenergie vormt een belemmering in het debat. Vooralsnog vinden wij het, gelet op de uitkomsten van de studies die hiernaar zijn gedaan, verstandig dat de overheid in de beleidsvoorbereiding het uitgangspunt hanteert dat de nationale kosten van de energietransitie met en zonder kernenergie min of meer vergelijkbaar zijn.

2. *Welk energiesysteem draagt het meeste bij aan versnelling van de energietransitie?*

Duidelijk is dat kernenergie een bijdrage kan leveren aan de transitie naar een CO_2-neutraal energiesysteem. Maar hoe groot is die bijdrage, vergeleken met die van schone hernieuwbare vormen van energieopwekking zoals wind- en zonne-energie?
Er bestaat op dit moment geen overeenstemming over de vraag of toevoeging van kernenergie aan een schone energiemix zou leiden tot versnelling of juist tot vertraging van het transitiepad. Volgens sommigen kan de toepassing van kernenergie het behalen van de energietransitiedoelen versnellen omdat het de druk op andere opties vermindert, gemakkelijker is in te passen in het hoogspanningsnet en ándere bouwtechnieken vergt dan de technieken waarvoor op dit moment al een enorme capaciteitsgroei nodig is. Anderen wijzen erop dat kernenergie voor vertraging kan zorgen doordat (a) zowel beleidsmakers als het bedrijfsleven hun aandacht moeten verdelen over verscheidene opties, (b) kernenergie maatschappelijke discussie en weerstand oproept, (c) het veel tijd kost om de benodigde productie- en innovatiecapaciteit in Nederland weer op te bouwen en (d) kerncentrales een lange realisatieduur kennen.
Juist omdat op korte termijn (begin 2030) de wereldwijde CO_2-uitstootnorm voor maximaal 1,5 graden Celsius temperatuurstijging dreigt te worden overschreden, is meer inzicht nodig in wat de beste manier is om het transitiepad te versnellen. Verder moet duidelijk worden met welke andere

ingrepen de overheid zou kunnen bijdragen aan het versnellen van de energietransitie.

3. Wat zijn de directe en indirecte gevolgen van een eventueel kernongeval in Nederland, en is Nederland hierop voldoende voorbereid?

Er bestaat op dit moment geen volledig beeld van de directe en indirecte effecten die een ongeluk met een kerncentrale van de generatie 3(+) in Nederland teweeg zou brengen. Directe stralingseffecten zijn nog niet doorgerekend. Indirecte effecten, zoals maatschappelijke ontwrichting en de sociale en psychische gevolgen van rampbestrijding (die soms meer impact hebben dan de directe gevolgen), zijn nog niet goed in beeld. Het is belangrijk dat hiernaar gericht onderzoek wordt verricht. Daarin is ook aandacht nodig voor de internationale aspecten van een kernongeval en voor de (in) directe effecten op de langere termijn. Op basis van deze kennis kan in kaart worden gebracht welke maatregelen nodig zouden zijn om ons land zo goed mogelijk voorbereid te laten zijn op de gevolgen van een kernongeval, hoe deze zo laag mogelijk kunnen worden gehouden, en of we de resterende risico's en onzekerheden ethisch aanvaardbaar vinden.

4. Wat zijn de technologische en financiële onzekerheden rond de eindberging van hoogradioactief afval?

Eindberging van hoogradioactief kernafval in diep gelegen aardlagen wordt beleidsmatig op verschillende manieren onderzocht: binnen Nederland (door opslag in al dan niet definitief afgesloten bergingen in klei- of steenzoutlagen) en in internationaal verband (door opslagruimte in te kopen in de eindberging van een ander land). Op dit moment bestaat nog geen zekerheid over wat financieel en technologisch de beste oplossing is. Doordat hoogradioactief kernafval gedurende tienduizenden jaren straling afgeeft, zal er sprake blijven van inherente onzekerheden. Het kennistekort wordt mede veroorzaakt door de geringe urgentie die Nederland tot dusver aan eindberging geeft; besluitvorming erover is pas voorzien in 2100.

6.2 Nog te maken afwegingen

Uit onze analyse komen zeven beleidsinhoudelijke vragen naar voren waarop in ieder geval een antwoord nodig is om een weloverwogen besluit te kunnen nemen over de mogelijke rol van nieuwe kerncentrales binnen het toekomstige energiesysteem van Nederland.

1. Hoe willen we pieken en dalen in het aanbod van zonne- en windenergie opvangen?

Een betrouwbaar CO_2-neutraal energiesysteem is zowel met als zonder kernenergie realiseerbaar. In een elektriciteitsvoorziening met zon en wind als voornaamste bronnen voor stroomopwekking is het cruciaal dat er ook stroomcapaciteit beschikbaar is voor momenten dat de zon niet schijnt en de wind niet waait. Dit kan worden bereikt door een combinatie van, in willekeurige volgorde: (a) energieopwekking die op elk moment kan worden op- en afgeschaald, zoals kernenergie-, aardgas- of biogasproductie, (b) opslag van elektriciteit in energiedragers als batterijen, waterstof en warmte, (c) omzetten van elektriciteit naar warmte, waterstof en andere verbindingen (zoals ammoniak of methaan) (d) aanleg van

grensoverschrijdende stroomverbindingen voor import uit en export naar andere landen en (e) sturing van de vraag naar energie. Hierbinnen spelen drie deelvragen:

- In hoeverre is het uitsluiten van bepaalde opties ethisch en maatschappelijk aanvaardbaar? Het niet inzetten van kernenergie vergroot de afhankelijkheid van de gecombineerde inzet van andere opties.
- In hoeverre zijn de consequenties van het opnemen van uiteenlopende energieopwekkingstechnologieën in de flexibele energiemix ethisch en maatschappelijk aanvaardbaar? Elke technologie heeft immers ook nadelen, bijvoorbeeld op het punt van ruimtebeslag, landschappelijke impact, veiligheid, kosten, grondstofverbruik en geopolitieke afhankelijkheid.[41] Hoe verschillen systemen zonder kernenergie en met kernenergie van elkaar op deze nadelen?
- In hoeverre is het verminderen van de vraag naar energie vanuit ethisch oogpunt noodzakelijk? Een geringer energieverbruik kent vele voordelen als het gaat om de inrichting van het energiesysteem en het verminderen van CO_2-uitstoot, maar vraagt aanpassing van gedrag en kan gevolgen hebben voor welvaart en comfort. Vermindering van vraag kan deels worden bereikt door energiezuiniger technologieën te ontwikkelen. Maar ook door inzet op meer ingrijpende maatschappelijke keuzes door te investeren in duurzame oplossingen, bijvoorbeeld in vervoer en productie.

41 Dit laatste aspect, de afhankelijkheid van andere landen die verbonden is met het gebruik van specifieke energiedragers, zoals aardgas of uranium uit Rusland, hebben wij in onze analyse niet afzonderlijk belicht. Maar het vormt wel een relevante en belangrijke factor om mee te wegen bij de samenstelling van de gewenste energiemix.

2. Hoe robuust en tegen welke kosten willen we de energietransitie inrichten?

Inzetten op een brede mix van energieopwekkingstechnologieën en op een goede balans tussen een centraal en een decentraal ingericht energiesysteem leidt tot meer robuustheid in het energietransitiepad. Kernenergie heeft daarmee een optiewaarde, die op drie manieren kan worden benut: (1) de mogelijkheid van kernenergie als optie in de lucht houden, zodat er een uitwijkmogelijkheid is als blijkt dat een aanpak zonder kernenergie niet werkt; (2) meteen inzetten op kernenergie, zodat de kansen worden gespreid en er minder afhankelijkheid is van (het slagen van) bepaalde technieken; (3) kernenergie aanvullend toevoegen aan een al stevig transitiepad, zodat er ruimte ontstaat voor het opvangen van tegenvallers (bijvoorbeeld met de ingebruikname van windparken op zee of met de uitrol van waterstofproductie) en zodat er op de langere termijn een ruimere keuzesituatie ontstaat. Aan alle opties zijn kosten en opbrengsten verbonden, waarvan de vraag is hoe deze worden verdeeld over de afnemers van elektriciteit en de belastingbetaler.

De vraag is welke kosten we bereid zijn te accepteren voor een robuust transitiepad, waarbij investeren in het opbouwen van voldoende kennis een noodzakelijke voorwaarde is om extra opties in de lucht te houden. Aan overdimensionering van energieopwekkingstechnologieën zijn dus extra kosten verbonden. Omgekeerd blijkt uit modelmatige berekeningen dat het uitsluiten van specifieke opties voor energieopwekking ook leidt tot hogere nationale kosten (Scheepers et al., 2020).

3. Welke veiligheidsrisico's van een energiesysteem met of zonder kernenergie vinden we acceptabel en hoe gaan we die risico's bepalen?

Voorafgaand aan besluitvorming over kernenergie zullen de risico's van een kernongeval, de risico's rond de berging van kernafval en de risico's van illegale verspreiding van radioactieve materialen goed moeten worden gewogen en moeten worden afgezet tegen de risico's van een energiesysteem zónder kernenergie (bijvoorbeeld een systeem met grootschalige ondergrondse opslag van waterstof of van CO_2). Specifiek voor kernenergie zijn relevante deelvragen hierbij:

- Richten we ons bij het beheersen van de risico's voornamelijk op het minimaliseren van de kans op een ongeval of ook op het minimaliseren van de mogelijke *effecten* van een ongeval?
- Hoe zorgt de overheid ervoor dat ze op een waarachtige manier haar verantwoordelijkheid invult voor (a) het beoordelen, controleren en garanderen van de veiligheid van nieuwe kerncentrales, en (b) het optreden in het geval van een ernstig ongeval?
- Hoe is de samenleving, inclusief die in Duitsland en België, voorbereid op een mogelijke kernramp c.q. op gevaarlijke situaties rond de berging van kernafval en illegale verspreiding van radioactief materiaal? En vinden we de daarvoor benodigde investeringen aanvaardbaar en de moeite waard?

4. Hoe zwaar wegen we de invloed die een keuze voor kernenergie heeft op de landschappelijke impact van het energiesysteem?

In het toekomstige energiesysteem van Nederland zullen wind- en zonneparken een groot aandeel van de elektriciteitsopwekking verzorgen. Echter, wanneer ook kernenergie een rol vervult in het energiesysteem, zal de behoefte aan wind- en zonneparken op land mogelijk kleiner zijn, waardoor – mits er sprake is van passend ruimtelijk beleid – de landschappelijke impact van windturbines en zonneparken geringer zal zijn. Inzichtelijk zal moeten worden wat de ruimtelijke effecten zullen zijn van het inpassen van één of meer kerncentrales in het energiesysteem, en welke opties inclusief de verdeling van de resulterende effecten ethisch en maatschappelijk het meest wenselijk zijn.

5. Hoe zwaar wegen we de impact van het gebruik van eindige grondstoffen bij de keuze voor of tegen het opnemen van kernenergie in het energiesysteem?

Zowel kernenergie als windturbines en zonnepanelen (en de bijbehorende batterijen en elektrolysers) zijn afhankelijk van eindige grondstoffen die in het buitenland moeten worden gewonnen. Zon- en windinstallaties vergen meer van zulke kritische grondstoffen dan kernenergie. Daar staat tegenover dat moderne windturbines, zonnepanelen en batterijen grotendeels zijn te recyclen. Voor kernenergie zijn andere grondstoffen noodzakelijk, zoals beton en staal en ook de splijtstof uranium. Uranium is (ofschoon er in principe veel van beschikbaar is in de natuur) een eindige grondstof. De impact die de voor bepaalde technologieën benodigde winning van eindige grondstoffen heeft op de leefbaarheid van de aarde, ook voor toekomstige generaties, zal moeten worden meegewogen in de besluitvorming.

6. *Wat vinden we een eerlijke verdeling van de lusten en lasten die de mogelijke keuze voor kernenergie in het energiesysteem met zich meebrengt?*

Besluiten die op het niveau van het energiesysteem voordelig uitpakken, kunnen soms onevenredig zware nadelen opleveren voor specifieke groepen of op specifieke locaties. Het gaat er dan over hoe kosten worden verdeeld, waar energieopwekking en verwerking en opslag van afval plaatsvindt en wie landschappelijke effecten en risico's ervaart. Dit geldt ook voor de effecten van mijnbouw in het buitenland. De te beantwoorden vraag is hier: welke verdeling van lasten over groepen en gebieden vinden we aanvaardbaar en onder welke condities en voorwaarden? Wat zijn de verdelingsvraagstukken voor kernenergie vergeleken met andere energiebronnen die afhankelijk zijn van kritische, zeldzame of eindige materialen?

7. *Met welke gevolgen van keuzes over het een CO_2-neutraal energiesysteem en de mogelijke rol van kernenergie daarbinnen mogen we toekomstige generaties belasten?*

Bij een eventuele keuze voor nieuwe kerncentrales om daarmee tot een CO_2-neutraal energiesysteem te komen zadelen wij de generaties na ons op met een drietal problemen. In de eerste plaats maken we generaties in de nabije toekomst verantwoordelijk voor het permanent bergen van kernafval. In het huidige beleid zal de generatie die leeft rond 2100 (als de nu in overweging zijnde kerncentrales het einde van hun levensduur hebben bereikt) moeten beslissen over een definitieve oplossing voor het kernafval. In de tweede plaats maken we enkele generaties daarna verantwoordelijk voor de exploitatie van de eindberging. In de derde plaats zullen toekomstige generaties mogelijk over minder uranium kunnen beschikken.

In hoeverre het ethisch aanvaardbaar is om deze problemen door te geven aan de generaties na ons, zal bij de besluitvorming over de mogelijke bouw van extra kerncentrales een afweging moeten worden gemaakt. Belangrijke vragen die daarbij aan de orde moeten komen zijn: hoe zwaar weegt de last van kernafval voor toekomstige generaties en hoe kan deze last worden verlicht? Welke risico's mogen we doorgeven en welke niet? Hier tegenover kan de vraag worden gezet of het ethisch verantwoord is om niet alles op alles te zetten om opwarming van de aarde te voorkomen. Afwegingen over deze vragen kunnen niet alleen van invloed zin op de keuze voor of tegen de bouw van nieuwe kerncentrales, maar zouden bijvoorbeeld ook aanleiding kunnen zijn voor het aanpassen van het huidige beleid om besluitvorming over de eindberging van kernafval pas in 2100 te laten plaatsvinden.

7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Conclusies

Onze analyse van het debat dat wordt gevoerd in de samenleving, de politiek en de wetenschap over de mogelijke rol van kernenergie in Nederland, leidt ons tot een viertal conclusies. Ze hebben betrekking op de essentiële randvoorwaarden voor een zorgvuldige besluitvorming over dit vraagstuk.

1. Besluitvorming over kernenergie vergt behalve technische kennis ook ethische weging en reflectie.

Besluitvorming over kernenergie is niet alleen een technologische kwestie, maar raakt ook aan belangrijke ethische waarden. Kernenergie is dan ook een onderwerp dat, net als de energietransitie als geheel, discussie en emoties blijft oproepen. Dit komt doordat de ermee verbonden waarden burgers raken. Technische kennis en geoptimaliseerde rekenmodellen kunnen enorm helpen om te komen tot zorgvuldige en goed onderbouwde besluitvorming over dit onderwerp, maar dergelijke kwantitatieve informatie is niet voldoende. Er is ook ethische weging en reflectie nodig.

2. Betrekken van burgers vormt een essentiële randvoorwaarde voor zorgvuldige besluitvorming over kernenergie.

Voor de toekomstbestendigheid van besluitvorming over de eventuele bouw van nieuwe kerncentrales is het essentieel om procedures gedurende het traject transparant te maken voor burgers en hun perspectieven expliciet in besluitvorming te betrekken. Dit is eens te meer van belang gezien de lange doorlooptijd van dit soort processen.

Het valt te verwachten dat de besluitvorming en – in het geval van een positief besluit – de daadwerkelijke bouw van nieuwe kerncentrales verscheidene kabinetsperiodes zullen beslaan. Bij elke fase zullen burgers serieus moeten worden betrokken. Voor de huidige regeerperiode betekent dit dat het kabinet transparant zal moeten zijn over de voorbereidende stappen die het wil gaan zetten door marktpartijen te faciliteren bij hun investeringsverkenningen.

Het serieus betrekken van burgers wil zeggen dat het organiseren van burgerbetrokkenheid niet alleen tot doel moet hebben om draagvlak te creëren voor een door de overheid gewenste uitkomst. Het besluitvormingsproces dient echt 'open' te zijn. Dit betekent dat de uitkomsten niet van tevoren vaststaan, dat er ruimte is voor het inbrengen van nieuwe inzichten en dat de mogelijkheid bestaat dat een oorspronkelijk voorstel wordt herzien naar aanleiding van maatschappelijke en ethische reflectie (zie aanbeveling 5 voor een concrete uitwerking van dit punt).

3. Besluitvorming over kernenergie dient expliciet te wordt gekoppeld aan waarden.

Het is belangrijk dat in de besluitvorming over de toekomstige rol van kernenergie in Nederland expliciet wordt aangegeven hoe er wordt omgegaan met de vijf door ons onderscheiden waarden die breed worden herkend als relevante referentiepunten voor het debat over ons toekomstige energiesysteem; energiezekerheid, betaalbaarheid, veiligheid, duurzaamheid en rechtvaardigheid (zowel van de besluitvorming en als van de verdeling van lusten en lasten).

Het verbinden van de besluitvorming aan deze vijf waarden leidt niet per se tot overeenstemming, maar het bevordert wel een kwalitatief goed debat, waarin het gemakkelijker is om de overwegingen van anderen te begrijpen. Onderdeel hiervan is de erkenning dat waarden niet altijd objectief beoordeeld kunnen worden: wat bijvoorbeeld voor de één rechtvaardig (of duurzaam) is, hoeft dat voor de ander niet te zijn. Dit is een noodzakelijk ingrediënt voor zorgvuldige, breed gedragen besluitvorming.

4. De invloed van kernenergie op het tempo van de energietransitie is een factor om mee te wegen in de besluitvorming.

Het is belangrijk om in de afweging over eventuele toevoeging van kernenergie aan het Nederlandse energiesysteem goed te bekijken hoe dit de snelheid van het 'transitiepad' zou beïnvloeden. Voor dat transitiepad geldt: sneller is beter. Want voor de impact op het klimaat maakt het veel uit in welk tempo de wereldwijde CO_2-uitstootcurve wordt afgebogen.

7.2 Aanbevelingen

Alles overziende komen wij tot vijf aanbevelingen met betrekking tot de mogelijke inzet van kernenergie in het Nederlandse energiesysteem.

1. **Maak beleidskeuzes over het energiesysteem als geheel en niet over individuele onderdelen ervan.**

Wij hebben ons in dit advies toegespitst op de rol van kernenergie. In het adviestraject hebben wij echter geconstateerd dat beleidskeuzes over kernenergie niet in isolatie kunnen worden gemaakt. Beleidskeuzes over kernenergie vergen dus een integrale afweging over het energiesysteem als geheel.

2. **Versterk de feitenkennis over de energietransitie en de mogelijke rol van kernenergie daarin en belast de op te richten klimaatraad hiermee.**

De informatievoorziening over de energietransitie en de mogelijke rol van kernenergie daarin moet worden verstevigd, aangezien er nog veel onzekerheden en onduidelijkheden zijn. Wij signaleren vier kwesties waarover aanvullende kennis nodig is om de rol van kernenergie binnen het energiesysteem goed te kunnen wegen ten opzichte van andere energiebronnen:

- Wat is het kostenverschil tussen een energiesysteem mét en een energiesysteem zónder kernenergie? Zolang hier geen overeenstemming over bestaat vinden wij het verstandig dat de overheid in de beleidsvoorbereiding het uitgangspunt hanteert dat de nationale kosten van de energietransitie met en zonder kernenergie min of meer vergelijkbaar zijn.
- Welk energiesysteem draagt het meeste bij aan versnelling van de energietransitie?
- Wat zijn de directe en indirecte gevolgen van een eventueel kernongeval in Nederland, en is Nederland hierop voldoende voorbereid?
- Wat zijn de technologische en financiële onzekerheden rond de eindberging van hoogradioactief afval?

Het is van belang om kwantitatieve studies en rapporten over bovenstaande onderwerpen (de optimale energiemix, de veiligheidsrisico's en de onzekerheden rond permanente berging van kernafval) te kunnen beoordelen op hun onderliggende aannames en omgang met onzekerheden. Hier zien wij een waardevolle rol voor de klimaatraad die volgens de afspraken in het coalitieakkoord zal worden opgericht. Deze klimaatraad zou naar ons oordeel de rol van wetenschappelijk intermediair moeten vervullen voor kennis rond de energietransitie en klimaat. Het is naar ons oordeel van belang om in deze klimaatraad ook experts op te nemen op het gebied van ethiek, psychologie en sociologie, ruimtelijke wetenschappen, en economie.

3. **Maak bij de besluitvorming over de inrichting van het toekomstige energiesysteem en de mogelijkheid van kernenergie daarbinnen een expliciete afweging over ten minste zeven belangrijke vragen die in dit advies zijn geïdentificeerd.**

Het kabinet werkt aan het Nationaal Plan Energiesysteem 2050. Daarin zullen besluiten worden opgenomen over de inrichting van het toekomstige energiesysteem en de mogelijkheid van kernenergie daarbinnen. Uit onze analyse komen zeven vragen naar voren die, voorafgaand aan de definitieve beleidskeuzes over het energiesysteem in de toekomst, goed zullen moeten afwegen:

- Hoe willen we pieken en dalen in het aanbod van wind- en zonne-energie opvangen?
- Hoe robuust en tegen welke kosten willen we de energietransitie inrichten?
- Welke risico's van een energiesysteem met of zonder kernenergie vinden we acceptabel en hoe gaan we die risico's bepalen?
- Hoe zwaar wegen we de invloed die een keuze tussen verschillende varianten van energieopwekking heeft op de landschappelijke impact van het energiesysteem?
- Hoe zwaar wegen we de impact van het gebruik van eindige grondstoffen bij de keuze voor of tegen het opnemen van bepaalde vormen van energieopwekking in het energiesysteem?
- Wat vinden we een eerlijke verdeling van de lasten die het energiesysteem met zich meebrengt?
- Met welke gevolgen van het energiesysteem mogen we toekomstige generaties belasten?

4. Maak bij de keuzes over de mogelijke inpassing van kernenergie in het energiesysteem van de toekomst inzichtelijk hoe de vijf waarden zijn ingevuld en welke afwegingen daarbij zijn gemaakt.

De vijf waarden uit onze analyse bieden een goed handvat om afwegingen over de inrichting van het toekomstige energiesysteem en de mogelijke rol van kernenergie daarbinnen inzichtelijk te maken. Uit onze analyse komt naar voren dat deze waarden (energiezekerheid, betaalbaarheid, veiligheid, duurzaamheid en rechtvaardigheid) verschillend kunnen worden ingevuld en ook dat de waarden ten opzichte van elkaar verschillend kunnen worden gewogen. Wij roepen het kabinet op om in de keuzes die het maakt over kernenergie inzichtelijk te maken hoe het de vijf waarden inhoudelijk invult en welke technische en ethische afwegingen het daarbij maakt. De onzekerheden in het keuzeproces zullen eveneens expliciet aan de orde moeten komen. Maximale transparantie ondersteunt het open gesprek over de te maken keuzes en zal de kwaliteit en rechtvaardigheid van de besluitvorming ten goede komen – wat mogelijk ook acceptatie van genomen besluiten zal helpen vergroten.

5. Betrek burgers expliciet bij het afwegen van waarden tijdens het debat over de inrichting van het energiesysteem en de mogelijke rol van kernenergie daarin.

Wij verwachten dat er de komende jaren op diverse momenten maatschappelijk debat zal ontstaan over de inrichting van de energietransitie – zeker wanneer de eventuele bouw van nieuwe kerncentrales aan de orde komt. Een deel van dat debat zal plaatshebben op de gebruikelijke manier: (a) rond de inbreng van belanghebbenden voorafgaand aan een besluit over de locatie van een eventuele nieuwe kerncentrale en (b) rond de inbreng van de Tweede Kamer voorafgaand aan de parlementaire goedkeuring van de financiering van eventuele nieuwe kerncentrales.

Wij vinden dat kabinet en Kamer aanvullend hierop burgers expliciet moet betrekken bij het maken van afwegingen tussen de relevante waarden (energiezekerheid, betaalbaarheid, veiligheid, duurzaamheid en rechtvaardigheid). Op dit moment wegen deze waarden onvoldoende mee in het gesprek over het nationale energiesysteem van de toekomst. Het is van

belang dat er in het debat ruimschoots aandacht is voor de verschillende invalshoeken van waaruit naar het vraagstuk kan worden gekeken. Deze burgerbetrokkenheid draagt bij aan de kwaliteit, zorgvuldigheid en rechtvaardigheid van besluitvorming. Beslissingen raken op die manier beter verankerd in de samenleving.

In dit verband steunt de raad het voorstel dat de minister voor Klimaat en Energie, mede namens de minister van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, heeft gedaan (EZK, 2022c) om als kabinet samen met de Tweede Kamer te onderzoeken welke rol een burgerforum kan spelen bij het maken van keuzes over de inrichting het toekomstige energiesysteem van ons land. Wij achten een *burgerforum* in beginsel een geschikte vorm van burgerparticipatie om advies aan regering en parlement uit te brengen over het toekomstige energiesysteem en de mogelijke rol van kernenergie daarin. Hiervoor dienen dan vooraf wel de bij aanbeveling 2 genoemde kennislacunes te worden ingevuld.

DEEL 2 | TOELICHTING EN VERDIEPING

1 ONDERBOUWING ANALYSE

De totstandkoming van dit advies is het resultaat van (a) eigen analyse door een intern projectteam en een raadscommissie, (b) de inbreng van specifieke deskundigen die vanuit de Rli zijn geraadpleegd, (c) de resultaten van in opdracht van de Rli uitgevoerd onderzoek, (d) grotere en kleinere bijeenkomsten met deskundigen en belanghebbenden en de reflectie van de raad op het eindresultaat. Een bijzonderheid bij dit advies is dat wij drie externe adviseurs hebben betrokken in het traject.
Het adviestraject is in maart 2021 opgestart en de raad heeft de tekst van het advies vastgesteld op 30 juni 2022. Hieronder schetsen wij op hoofdlijnen onze aanpak en bespreken we wat de belangrijkste bouwstenen van het advies zijn geweest.

Startfase
In de startfase van het adviestraject hebben we verkennend literatuuronderzoek verricht en oriënterende interviews gehouden met diverse experts. Gedurende deze fase, die van maart tot juni 2021 duurde, is de raadscommissie samengesteld en heeft de raad de vraagstelling, het doel en de globale aanpak van het advies vastgesteld in een startnotitie. In afwijking van onze standaardprocedure hebben wij de startnotitie openbaar gemaakt via onze website. Hiertoe hebben wij besloten met het oog op het doel van dit advies: het vergemakkelijken van het gesprek over kernenergie.

Inzet externe adviseurs

Drie deskundigen op het gebied van kernenergie hebben wij gevraagd of zij extern adviseur voor dit adviestraject wilden zijn. Het betreft in alfabetische volgorde Jan Haverkamp (Greenpeace Nederland en WISE Nederland), Ad Louter (URENCO Nederland) en Wim Turkenburg (Energy and Environmental Consultancy / Universiteit Utrecht). De adviseurs bekleden elk een specifieke positie in de Nederlandse nucleaire wereld en hebben ons, elk vanuit hun eigen perspectief, geadviseerd.

De adviseurs maakten geen deel uit van de commissie die het advies heeft begeleid. Ze hebben vanuit hun expertise, ervaring en uiteenlopende perspectieven op kernenergie op verschillende momenten kritisch commentaar gegeven op conceptstukken. Ook hebben de adviseurs relevante literatuur aangedragen, ons deelgenoot gemaakt van nieuwe ontwikkelingen en discussies in het veld en waren zij aanwezig bij bijeenkomsten. Op enkele momenten waren zij sparringpartner voor de commissie.

De externe adviseurs zijn op geen enkele manier verantwoordelijk voor de kwaliteit en inhoud van het advies. De raad draagt daarvoor de volledige verantwoordelijkheid. Ad Louter heeft gedurende de totstandkoming van het advies de raad bij de diverse conceptversies in kennis gesteld van zijn bezwaren tegen de inhoud van het advies. Uiteindelijk heeft hij besloten zijn adviseursfunctie neer te leggen. Voor de verklaring die hij hierover heeft afgelegd zie het nieuwsbericht.[42] Dit impliceert niet dat de andere twee adviseurs (op alle onderdelen) wel achter het advies staan.

42 https://www.rli.nl/nieuws/2022/ad-louter-trekt-zich-terug-als-externe-adviseur

Literatuuronderzoek en media-analyse

De commissie en het projectteam hebben gedurende het hele adviestraject literatuur en informatie uit de (sociale) media tot zich genomen.

Om een beter beeld te krijgen van de diversiteit aan onderwerpen die spelen in het publieke debat over kernenergie hebben wij Jakob Rauch (Vrije Universiteit Amsterdam, afdeling Ruimtelijke Economie) een verkennende media-analyse laten uitvoeren (Rauch, 2021). Hiermee wilden wij een impressie krijgen van de belangrijkste relevante onderwerpen, personen en organisaties in de Nederlandse geschreven nieuwsmedia en van relevante ontwikkelingen uit de afgelopen tien jaar. De uitkomsten van de media-analyse hebben we gebruikt ter verbreding van ons literatuuronderzoek en om een beter beeld te krijgen van belangrijke vraagstukken die spelen rond kernenergie.

De media-analyse omvatte circa 3.000 nieuwsartikelen over kernenergie, gepubliceerd tussen 2011 en 2021. De analyse maakte duidelijk dat de aandacht voor kernenergie in de nieuwsmedia na 2016 sterk is gegroeid. Met behulp van *anchored topic modelling* heeft Rauch negen veelvoorkomende onderwerpen geïdentificeerd in de discussie over kernenergie: klimaatimpact, afval en opslag, geopolitiek, veiligheid, kosten, technologie, ethiek, politiek en locatiekeuze.

Uit de analyse kwam naar voren dat klimaatimpact relatief steeds meer aandacht krijgt, terwijl het thema veiligheid sinds Fukushima relatief steeds minder prominent wordt. Uit een sentimentanalyse bleek voorts dat kernenergie in de nieuwsmedia de afgelopen jaren in steeds positievere

bewoordingen wordt besproken. De analyse bevatte ook een visuele netwerkweergave van prominente personen en organisaties in de nieuwsmedia, gemaakt met behulp van *named-entity recognition*. Voor meer toelichting verwijzen wij naar het rapport van Rauch (2021), dat gelijktijdig met dit advies is gepubliceerd op onze website.

Startbijeenkomst en expertbijeenkomsten

Op 28 september 2021 hebben wij een startbijeenkomst voor het adviestraject georganiseerd, bedoeld om met een brede selectie van circa zestig deskundigen en belanghebbenden van gedachten te wisselen. Deelnemers werd gevraagd te reageren op de opzet van het adviestraject en om het gesprek aan te gaan over de vraag welke waarden een rol spelen bij de meningsvorming over kernenergie. Voor ons was dit een belangrijk moment, omdat deze bijeenkomst meer helderheid zou geven op de vraag of en hoe een goed inhoudelijk gesprek over kernenergie tot stand kan worden gebracht. De opbrengst van de startbijeenkomst hebben we gebruikt om vervolgstappen in het adviestraject te zetten.

Een belangrijke uitkomst van de startbijeenkomst was een lijst van de belangrijkste waarden die in het debat over kernenergie een bepalende rol spelen. De geïnventariseerde waarden kwamen vrijwel volledig overeen met de waarden die de commissie vooraf had geïdentificeerd op basis van literatuur (zie hoofdstuk 2 van deel 2 Het waardenperspectief). Zowel de media-analyse als de startbijeenkomst bevestigden bovendien onze inschatting dat een waardenperspectief een goed en herkenbaar startpunt vormt voor de dialoog over kernenergie.

Na de startbijeenkomst hebben wij vier expertbijeenkomsten georganiseerd. Tijdens elk van deze bijeenkomsten stonden één of meer waarden centraal. We spraken met specifiek geselecteerde deelnemers over: (a) de betekenis van de betreffende waarde(n) in de context van kernenergie, (b) de belangrijkste punten in verband met deze waarde(n) waarover in het publieke en wetenschappelijke debat consensus respectievelijk verschil van mening bestaat en (c) de rol die kennis en overtuigingen daarbij spelen. Alle personen die tijdens de expertbijeenkomsten zijn geraadpleegd, staan vermeld in de bijlage ‘Totstandkoming advies’.

Analyse van studies naar rol van kernenergie in energiesystemen

Een substantieel onderdeel van het adviestraject betrof de analyse van wetenschappelijke studies waarin verschillende CO_2-arme energiesystemen (met en zonder kernenergie) met elkaar worden vergeleken. In deze studies zijn geavanceerde modellen toegepast die de productie en het verbruik van elektriciteit voor een bepaalde regio simuleren. Wij hebben met hulp van Ecorys, dat beschikt over de benodigde specifieke expertise, de studies geanalyseerd. Wij hebben ons daarbij toegespitst op het inventariseren en expliciteren van de aannames en keuzes die ten grondslag lagen aan de studies. Op die manier kregen we zicht op de achterliggende oorzaken van de grote verschillen tussen de uitkomsten van de studies. Deze analyse sterk van wetenschappelijke studies is bepalend geweest voor de inhoud van ons advies, met name op het punt van energiezekerheid en betaalbaarheid in relatie tot kernenergie.

Inbreng van geraadpleegde deskundigen en geïnteresseerden
Gedurende het gehele adviestraject hebben we gesproken met diverse deskundigen. Zowel leden van het projectteam als leden van de commissie. In alle gevallen zijn gespreksverslagen opgesteld. De namen van de gesprekspartners zijn opgenomen in de bijlage 'Totstandkoming advies'. De commissie en het projectteam hebben tevens een bezoek gebracht aan de kerncentrale Borssele en aan de Centrale Opslag voor Radioactief Afval (COVRA) bij Vlissingen. Op beide locaties zijn ze rondgeleid en ruimschoots in de gelegenheid gesteld om van gedachten te wisselen met de verantwoordelijken. Gedurende het adviestraject hebben daarnaast diverse geïnteresseerden hun visie op kernenergie aan het projectteam en de commissie kenbaar gemaakt, per email, telefoon of petitie. Ook deze inbreng is meegenomen bij het opstellen van het advies.

Publieksonderzoek van Ipsos
Omdat kernenergie een onderwerp is waarover de laatste jaren weer volop maatschappelijk debat wordt gevoerd, hebben wij een publieksonderzoek laten uitvoeren door Ipsos. Dit marktonderzoeksbureau heeft voor ons aan de hand van de door ons geïdentificeerde waarden gekeken naar de opinievorming van Nederlanders over kernenergie. De uitkomsten van het Ipsos-onderzoek geven weer hoe Nederlanders over kernenergie denken en welke reacties en emoties dit onderwerp bij mensen oproept.

De uitkomsten bleken voor een belangrijk deel de inzichten te ondersteunen die wij in eerdere stadia van het adviestraject hadden ontleend aan de literatuur, de bijeenkomsten, de adviseurs en de gesprekken met deskundigen. Algemene trends en ontwikkelingen konden we aan de hand van het Ipsos-onderzoek nader specificeren. Toegevoegde waarde had het Ipsos-onderzoek vooral bij het achterhalen van de overwegingen en argumenten die schuilgaan achter de opvattingen van burgers over kernenergie. Hieruit kwam onder andere naar voren dat waarden en emoties een grote rol spelen.

Aangezien vrijwel geen individu het kernenergievraagstuk in zijn geheel kan overzien of toegang heeft tot alle relevante kennis, geven de in het Ipsos-onderzoek gemeten opinies niet zozeer de feitelijke stand van zaken rond kernenergie weer, als wel de beelden die daarover leven onder de bevolking van Nederland.

Ipsos heeft op drie manieren data verzameld: (1) door middel van een 'open uitvraag' in de periode september-oktober 2021, (2) door middel van een uitgebreide vragenlijst die is uitgezet onder een representatief panel in december 2021 en (3) door middel van een herhaalmeting onder een representatief panel in mei 2022. De open uitvraag bestond uit drie open vragen, die erop gericht waren om de associaties in beeld te krijgen die mensen hebben bij kernenergie. Voor de formulering van de uitgebreide vragenlijst heeft Ipsos gebruikgemaakt van de resultaten van de open uitvraag. De herhaalmeting in mei 2022 had als doel om te onderzoeken of de Russische inval in Oekraïne invloed heeft gehad op de opinie van Nederlanders over kernenergie.

Het Ipsos-onderzoek is gepubliceerd is in twee rapporten (Ipsos, 2022a; Ipsos, 2022b).[43] Het eerste rapport (Ipsos, 2022a) bevat een uitgebreide toelichting op de opzet van het onderzoek.

Ambtelijke afstemming

Wij houden gedurende een adviestraject standaard contact met de betrokken departementen. Zowel bij aanvang van het adviestraject als voorafgaand aan de vaststelling van de adviestekst vinden gesprekken plaats met directeuren-generaal op basis van de startnotitie en het conceptadvies. De voornaamste functie van deze ambtelijke afstemming is verwachtingenmanagement en het stimuleren van de doorwerking van onze adviezen. Aanvullend op de standaardprocedure is voor dit advies tevens een ambtelijke contactgroep ingesteld. Deze contactgroep is tijdens het traject twee keer bijeengekomen. De functie van de contactgroep was om elkaar wederzijds te informeren over voortgang en richting van het advies en het beleid.

Externe referenten

Wij hebben een conceptversie van dit advies is voorgelegd aan drie reviewers: Ed Nijpels (Voortgangsoverleg Klimaatakkoord en SER), Pieter Boot (CIEP en PBL) en Aniek Moonen (Jonge Klimaatbeweging). Hun commentaar hebben wij, net als de reviews van de drie externe adviseurs, gewogen en meegenomen in het uiteindelijke advies.

Taak en verantwoordelijkheid Rli

Het is de taak van de Rli om advies uit te brengen op basis van verkregen kennis en inzichten. Daarnaast kan de Rli ook op basis van eigen inzichten en inzichten van externe commissieleden richtinggevende uitspraken doen en tot advies komen. De uiteindelijke adviestekst geeft de opvattingen weer van de Rli. De Rli draagt dan ook de volledige verantwoordelijkheid voor de kwaliteit en inhoud van het advies.

43 De beide door Ipsos opgestelde rapporten zijn gelijktijdig met dit advies gepubliceerd op de website van de Rli: www.rli.nl

2 HET WAARDENPERSPECTIEF IN DE BESLUITVORMING OVER KERNENERGIE

Politieke besluitvorming over de toepassing van controversiële en risicodragende technologieën is vaak deels gebaseerd op kwantitatieve en statistische risico-inschatting. Bij kernenergie heeft deze risico-inschatting bijvoorbeeld betrekking op de vraag hoe groot de kans is op een ernstig reactorongeval en hoe ernstig gevolgen van zo'n ongeval zullen zijn. De ongevalskans kan worden ingeschat met een probabilistische veiligheidsanalyse.[44] De gevolgen kunnen in kaart worden gebracht met een (maatschappelijke) kosten-batenanalyse.

Zulke kwantitatieve benaderingen lijken een 'objectief' karakter te hebben. Ze zijn echter niet waardenneutraal. Immers, achter elke beslissing over wat wel en niet de moeite waard is om in getallen uit te drukken en in de risico-inschatting mee te nemen, gaat een waardeoordeel schuil. Moeten wij bijvoorbeeld bij het beoordelen van de veiligheid alleen kijken naar menselijke slachtoffers, of ook naar de impact op dieren en het milieu? Hoe wegen wij dit tegen elkaar af? En hoe nemen wij niet-kwantificeerbare zaken mee in de risico-inschatting? Dit zijn vragen waarop alleen waardengedreven antwoorden mogelijk zijn.

In zuiver kwantitatieve c.q. statistische benaderingen blijven tal van belangrijke waarden en afwegingen bovendien grotendeels buiten beeld. Denk aan een waarde als 'rechtvaardigheid' (zijn de kosten en baten van de risicodragende technologie eerlijk in de samenleving verdeeld?), aan morele afwegingen (ondergaan mensen de risico's vrijwillig of hebben zij geen keuze?) en aan afwegingen over beleidsalternatieven (zijn er ook andere opties dan de risicodragende technologie?).

Vanwege deze inherente beperkingen van kwantitatieve en statistische benaderingen hebben diverse ethici de afgelopen jaren betoogd dat voor een goede besluitvorming over risicodragende technologieën ook *ethische reflectie* nodig is. Deze reflectie zou bijvoorbeeld vorm kunnen krijgen in een publiek debat (Hansson, 1989; 2012; 2007/18; Shrader-Frechette, 1991; Roeser, 2007; 2018; Asveld & Roeser, 2009; Roeser et al., 2012).

In het publieke debat over complexe technologieën zoals kernenergie raken de gemoederen regelmatig flink verhit. Terwijl sommigen bezorgd zijn over de ongewenste gevolgen van een technologie, benadrukken anderen dat de risico's te verwaarlozen zijn. De emoties die in zulke confrontaties naar boven komen zijn belangrijk, omdat ze een signalerende functie kunnen vervullen.

44 Ook bekend als Probabilistic Safety Assessment (PSA).

Het beeld is vaak dat vooral niet-deskundige deelnemers aan het debat emotioneel reageren, terwijl experts zich op objectieve feiten beroepen. Beleidsmakers reageren hierop wisselend: óf ze negeren de emotionele reacties van het publiek en luisteren naar de experts, óf ze accepteren de emoties van het publiek als een gegeven en besluiten vervolgens maar om af te zien van een controversiële technologie. Beide reacties zijn een uitvloeisel van één en hetzelfde het idee, namelijk: dat emoties irrationeel zijn en een vruchtbaar debat onmogelijk maken. Maar dit idee getuigt van een te beperkte visie op emoties. Emoties zijn juist cruciaal, omdat zij kunnen wijzen op belangrijke waarden en ethische aspecten die anders aan onze aandacht zouden ontsnappen.[45]

Emoties zoals verontwaardiging, empathie en verantwoordelijkheidsgevoel kunnen zichtbaar maken dat bepaalde waarden, zoals rechtvaardigheid, van belang zijn om mee te wegen (Roeser, 2018). En altruïstische emoties zoals inlevingsvermogen en compassie kunnen demonstreren wat het oplevert als we egoïstische emoties weten te overstijgen. In de context van het debat over de aanpak van klimaatverandering kan dit bijvoorbeeld bijdragen aan het bewustzijn dat de effecten van onze energieconsumptie met name mensen treffen die in kwetsbare en armere gebieden leven (Roeser, 2012).

45 Zie bijvoorbeeld Roeser (2018). Veel hedendaagse emotiewetenschappers betwisten de gangbare tweedeling tussen rede en emotie. Vooraanstaande emotie-onderzoekers benadrukken dat emoties cognitieve aspecten hebben (onder meer Frijda, 1986; Lazarus, 1991; Scherer, 1993) en een vorm of bron van praktische rationaliteit zijn (Damasio, 1994). Dit geldt ook voor morele emoties (Nussbaum, 2001; Roberts, 2003; Roeser, 2011; Furtak, 2018) en politieke emoties (Hall, 2005; Kingston, 2011; Staiger, Cvetkovich & Reynolds, 2010; Nussbaum, 2013). Deze alternatieve visie op emoties is relevant bij besluitvorming over complexe technologieën, zoals kernenergie (Roeser, 2006; 2018).

Een en ander betekent uiteraard niet dat mensen die in het publieke debat uiting geven aan hun emoties, altijd het gelijk aan hun kant hebben. Emoties kunnen immers gebaseerd zijn op misverstanden en vooroordelen. En emoties kunnen onze blik vernauwen, waardoor we ons te veel op een specifiek aspect van een complex vraagstuk focussen.

Emoties moeten dan ook te allen tijde kritisch worden beoordeeld. Maar ze zijn tegelijkertijd nuttig, doordat ze ons kunnen wijzen op waarden die we anders over het hoofd zouden zien. Wetenschappelijke informatie, emoties én ethische reflectie op waarden zijn dan ook stuk voor stuk onmisbare onderdelen van weloverwogen besluitvorming over een risicodragende technologie als kernenergie. Het debat over kernenergie als onderdeel van het Nederlandse energiesysteem zal daarom niet alleen recht moeten doen aan de kwantitatieve informatie over risico's, maar ook aan de emoties van het publiek en de waarden die daaronder schuilgaan (Roeser, 2011; Taebi et al., 2012).

Als mensen het gevoel hebben dat er in de besluitvorming over een risicodragende technologie rekening wordt gehouden met de zorgen die zij hebben en de waarden waaraan zij hechten, kan dit ook het draagvlak voor toepassing van de technologie ten goede komen. Het is echter belangrijk om als overheid dit draagvlak niet als doel op zichzelf na te streven. Dit leidt er namelijk al snel toe dat het besluitvormingsproces zich richt op de beste manier om de door de overheid gewenste beslissing er 'doorheen te drukken'. Er is dan geen sprake van oprechte aandacht voor de zorgen van

burgers en/of voor de waarden die zij belangrijk vinden. Dit is niet alleen in ethisch opzicht twijfelachtig, maar het werkt vaak ook averechts.

Een ethisch verantwoord besluitvormingsproces zou echt 'open' moeten zijn. Dit betekent dat de uitkomsten niet van tevoren vaststaan, dat er oprecht wordt geluisterd naar ieders inbreng en dat de mogelijkheid bestaat dat een oorspronkelijk voorstel wordt herzien op basis van ideeën, waarden en zorgen van burgers (Nihlén Fahlquist & Roeser, 2015; Roeser & Pesch, 2016).

Het hier geschetste waardenperspectief richt de aandacht op wat er uiteindelijk in de besluitvorming toe doet: de weging van waarden. Dit maakt het mogelijk om het debat toe te spitsen op wat de werkelijk belangrijke maatschappelijke vraagstukken zijn.

We hebben voorafgaand aan het opstellen van dit advies een startbijeenkomst gehouden met rond de zestig deskundigen en belanghebbenden, om te achterhalen wat de relevante publieke waarden zijn rond het thema kernenergie.[46] We hielden plenair een inventarisatie onder de deelnemers en vergeleken de resultaten daarvan met een op voorhand opgestelde lijst van enkele waarden. Deze lijst was gebaseerd op inzichten uit wetenschappelijke literatuur en op een in opdracht van de Rli uitgevoerde analyse van ruim 3.000 journalistieke artikelen over kernenergie die tussen 2011 en 2021 verschenen in de geschreven media (Rauch, 2021).[47] Na vergelijking, samenvoeging en versimpeling bleven de vijf publieke waarden over die in dit advies centraal staan: energiezekerheid, betaalbaarheid, veiligheid, duurzaamheid en rechtvaardigheid (zowel van de besluitvorming over kernenergie als van de wijze waarop de lusten en lasten van kernenergie worden verdeeld).[48]

46 De startbijeenkomst vond plaats op 28 september 2021 in Den Haag. De deelnemers zijn door ons persoonlijk benaderd met zoveel mogelijk oog voor diversiteit aan expertise en perspectieven. De lijst van betrokkenen is opgenomen in de bijlage 'Totstandkoming advies'.

47 Deze media-analyse is gelijktijdig met het advies gepubliceerd en te raadplegen via de website van de Rli.

48 De waarden uit de literatuur waren veiligheid, duurzaamheid, energiezekerheid, intergenerationele-, ruimtelijke- en procedurele rechtvaardigheid. Toevoegingen van deelnemers waren vrede (bij veiligheid), welvaart en welzijn, betaalbaarheid, transparantie en adaptiviteit. Hoewel er op grote lijnen overeenstemming was over de belangrijkste waarden, bleken de deelnemers deze verschillend te structureren, in te vullen en te wegen. Vanwege de ongelijksoortigheid van de resultaten besloten we de waarden te herstructureren en sommigen als aspecten onder andere (overkoepelende) waarden onder te brengen.

3 KOSTEN VAN EEN ENERGIESYSTEEM MET EN ZONDER KERNENERGIE

Wanneer we de betaalbaarheid van kernenergie willen bepalen, moeten we onderscheid maken tussen enerzijds de kosten op het niveau van een individuele kerncentrale en anderzijds de invloed die toevoeging van kernenergie aan de energiemix heeft op de kosten van het gehele energiesysteem. Deze twee aspecten van de betaalbaarheid zijn aan elkaar gerelateerd, maar niet op een eenduidige manier. Een kerncentrale die relatief duur is om te bouwen en te exploiteren kan in sommige vallen een drukkend effect hebben op de totale systeemkosten – en andersom.

Voor het bepalen van de kosten van kernenergie op het niveau van een individuele centrale is de *levelised cost of electricity* (LCOE) een breed geaccepteerde indicator. Deze geeft de totale kosten van een technologie weer over de gehele levensduur per eenheid geproduceerde elektriciteit, uitgedrukt in €/MWh (de productiekosten). Aan de hand van de LCOE-indicator zijn de kosten van kernenergiecentrales binnen het energiesysteem te vergelijken met de kosten van andere energiecentrales, zoals kolen-, gas- en biomassacentrales, windturbines en zonneparken.

De kosten op het niveau van een kerncentrale geven echter geen volledig beeld van de kosten en baten van kernenergietechnologie. Voor een volledig beeld moeten we ook kijken naar de kosten op systeemniveau. Dit zijn kosten die gepaard gaan met het integreren van kernenergietechnologie binnen het bestaande systeem van energietechnologieën. Hieronder vallen (a) de kosten voor het opvangen van schommelingen en onzekerheden in de elektriciteitsproductie die gepaard gaan met een energietechnologie (integratiekosten) en (b) de kosten voor het realiseren van aansluiting op het elektriciteitsnetwerk en het doen van de benodigde aanpassingen daaraan (*connectie- en netwerkkosten*) (Cometto et al., 2019). Wij noemen de kosten op systeemniveau nationale kosten, een term die ook het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) hanteert.[49]

Aangezien de productie van elektriciteit vanuit hernieuwbare energiebronnen zoals wind en zon weersafhankelijk is, brengen wind- en zonneparken relatief hoge integratiekosten met zich mee in vergelijking met kolen-, gas-, biomassa- en kerncentrales. Ook kunnen connectiekosten en netwerkkosten relatief hoog zijn.[50]

49 Een belangrijke nuance hierbij is dat de nationale kosten bij het PBL worden uitgedrukt als kosten van specifieke beleidsmaatregelen (reeds genomen en voorgenomen) ten opzichte van een 'basispad' (zie Koelemeijer & Strengers, 2020). De term heeft dan dus betrekking op de nationale meerkosten van maatregelen ten opzichte van een 'business-as-usual' scenario.

50 Connectiekosten zijn over het algemeen hoog wanneer een energiebron met (zeer) hoge productiecapaciteit moet worden gekoppeld aan een deel van het net dat qua transmissiecapaciteit tekortschiet. Het aansluiten van een groot zonne- of windpark zal dus hoge kosten met zich meebrengen. Netwerkkosten stijgen naarmate de afstand tussen productie en consumptie van de elektriciteit toeneemt – in het geval van offshore windparken kunnen deze kosten daardoor aanzienlijk zijn.

Een energietechnologie die wordt ingepast in een bestaand energiesysteem met een groot aandeel fluctuerende energiebronnen kan dus vooral waarde creëren op systeemniveau als zij 'op afroep' energie kan produceren. Daarmee ontstaat immers een hogere mate van flexibiliteit in de elektriciteitsproductie. En hoe flexibeler de productie, des te minder kosten er hoeven te worden om gemaakt de productie van en de vraag naar elektriciteit op elkaar af te stemmen binnen een energiesysteem.[51]

Analyse van vergelijkende studies

Er is een beperkt aantal studies[52] waarin de nationale kosten van verschillende soorten CO_2-arme energiesystemen (met verschillende technologieportfolio's) in kaart zijn gebracht. In deze studies zijn geavanceerde modellen toegepast die de productie en het verbruik van elektriciteit in de tijd voor een bepaalde regio op realistische wijze simuleren.

Het effect van kernenergie op de nationale kosten blijkt af te hangen van een groot aantal factoren, zo maakt bestudering van de literatuur duidelijk.[53] De door ons bekeken studies verschillen nogal van elkaar in hoe zij dergelijke factoren meewegen. Gecombineerd leveren de bevindingen uit de studies daardoor geen eenduidig beeld op van wat de impact van kernenergie op nationale kosten nu precies is. Wel geven de meeste onderzoeken aan dat de nationale kosten lager zijn of gelijk blijven wanneer kernenergie wordt meegenomen in het energiesysteem.

De bevindingen uit de door ons bekeken modelstudies spreken elkaar tegen als het gaat om de vraag of de nationale kosten van elektriciteitsopwekking in een energiesysteem mét kernenergie hoger of lager zijn dan in een systeem zonder kernenergie. De tegenstrijdige uitkomsten zijn het gevolg van verschillen in de gehanteerde aannames.[54] Welke aannames de Nederlandse situatie het beste weerspiegelen, is tot op heden niet wetenschappelijk beoordeeld. Het feit dat er meer studies zijn die erop wijzen dat de kosten op systeemniveau lager zijn wanneer kernenergie deel uitmaakt van het systeem, hoeft dan ook niet te betekenen dat dit voor Nederland de juiste conclusie is. Het vormt wel een belangrijke indicatie, die nader onderzoek verdient in een wetenschappelijke beoordeling van de onderliggende aannames.

51 Tegelijkertijd leidt een zeer flexibele inzet van een centrale tot minder draaiuren en dus tot minder terugverdienen van de investeringskosten. Dit kan weer leiden tot hogere kosten op centraleniveau.

52 De door ons geselecteerde studies hebben we opgespoord met behulp van academische zoekmachines en/of zijn ons ter beschikking gesteld door experts. Studies van meer dan tien jaar oud hebben we van de analyse uitgesloten, omdat het risico op achterhaalde kostencijfers toeneemt naarmate de publicatiedatum van studies verder in het verleden ligt. Verder hebben we alleen studies bekeken die een modellering-simulatieaanpak volgen. De reden hiervoor is dat de systeemkosten van een energietechnologie sterk afhankelijk zijn van de precieze configuratie van het energiesysteem waarbinnen de technologie functioneert. De enige manier om systeemkosten te analyseren is dus door energiesystemen in hun totaliteit te modelleren en simuleren. Studies zoals die van ENCO (2020), die zich alleen richten op de kosten op centraleniveau, hebben we dus uitgesloten van onze literatuurstudie.

53 Deze factoren zijn: het al dan niet aanwezig zijn van met fossiele brandstoffen of biomassa gestookte elektriciteitscentrales in combinatie met afvang en opslag van CO_2, het minimumniveau van de geïnstalleerde capaciteit voor de opwekking van hernieuwbare energie als aandeel van de totale geïnstalleerde opwekkingscapaciteit, de veronderstelde mate van importafhankelijkheid of verbondenheid met energiesystemen van andere regio's, en de geschatte investeringskosten (bouwkosten) en operationele kosten per techniek.

54 Een conclusie die wél breed wordt gedeeld in de behandelde studies is dat energiesystemen die volledig bestaan uit fluctuerende hernieuwbare energiebronnen (lees: zon en wind) relatief hogere nationale kosten kennen dan systemen die zulke bronnen combineren met regelbare CO_2-arme energiebronnen, zoals kernenergie en aardgas- of bio-energiecentrales met afvang en opslag van CO_2.

De uitkomsten van dertien relevante studies staan hieronder beknopt weergegeven (zie ook tabel 3 verderop).

1. **Pfenninger & Keirstead (2015): nationale kosten van energiesystemen met kernenergie zijn waarschijnlijk *gelijk aan* nationale kosten van energiesystemen zonder kernenergie.**
   Pfenninger & Keirstead (2015) hebben gekeken naar een groot aantal combinaties van hernieuwbare energiebronnen, kernenergie en fossiele brandstoffen. Zij concluderen dat de kosten van het totale energiesysteem bij al deze combinaties praktisch hetzelfde zijn als de kosten van het huidige energiesysteem van het Verenigd Koninkrijk.
2. **Brouwer et al. (2016): nationale kosten van energiesystemen met kernenergie zijn mogelijk *lager dan of gelijk aan* nationale kosten van energiesystemen zonder kernenergie.**
   Uit de studie van Brouwer et al. (2016) blijkt dat een sterke CO_2-emissiereductie (96% vermindering ten opzichte van 1990) in 2050 te bereiken is door in te zetten op een hoog aandeel fluctuerende hernieuwbare energie (80%) of op een lager aandeel hernieuwbare energie (40%) in combinatie met meer kernenergie en aardgascentrales (met afvang en opslag van CO_2). De onderzoekers laten zien dat de nationale kosten van het West-Europese energiesysteem bij 80% hernieuwbare energie rond de € 257 miljard liggen, terwijl de totale kosten bij 40% hernieuwbare energie (aangevuld met combinaties van aardgascentrales met CO_2-afvang en -opslag en kernenergie) optellen tot circa € 230 miljard. Brouwer et al. stellen dat daarom vanuit kostenperspectief de voorkeur uitgaat naar een energiesysteem bestaande uit regelbare CO_2-arme energiebronnen (zoals aardgascentrales met afvang en opslag van CO_2 en kernenergie) in combinatie met hernieuwbare energiebronnen. Zo'n systeem komt uit op lagere kosten dan een energiesysteem dat vrijwel geheel bestaat uit hernieuwbare energiebronnen. Hieruit valt af te leiden dat kernenergie een belangrijke bijdrage kan leveren aan het minimaliseren van de totale kosten in energiesystemen met een hoog aandeel hernieuwbare energiebronnen.
3. **Pattupara & Kannan (2016): nationale kosten van energiesystemen met kernenergie zijn mogelijk *lager dan* nationale kosten van energiesystemen zonder kernenergie.**
   Uit de modelstudie van Pattupara & Kannan (2016) blijkt dat de totale kosten van de elektriciteitsvoorziening in alternatieve CO_2-arme elektriciteitstrajecten in Zwitserland en zijn buurlanden hoger liggen in een scenario waarin kernenergie geleidelijk wordt uitgefaseerd, dan in een scenario waarbij kernenergie wél deel uitmaakt van het energiesysteem.
4. **Buongiorno et al. (2018): nationale kosten van energiesystemen met kernenergie zijn mogelijk *lager dan* nationale kosten van energiesysteem zonder kernenergie.**
   Buongiorno et al. (2018) hebben een simulatiestudie verricht naar verschillende regio's in de wereld. De uitkomst is dat de invoering van kernenergie overal aanzienlijke kostenvoordelen zou opleveren in energiesystemen die zijn onderworpen aan CO_2-uitstootbeperkingen (van 10g en 1g CO_2/kWh aan geproduceerde elektriciteit). De onderzoekers gaan voor sommige landen (bijvoorbeeld China) uit van zeer optimistische nucleaire realisatiekosten maar hanteren voor andere

landen (bijvoorbeeld het Verenigd Koninkrijk) meer conservatieve kostenaannames.

5. **Sepulveda et al. (2018): nationale kosten van energiesystemen met kernenergie zijn mogelijk *lager dan* nationale kosten van energiesysteem zonder kernenergie.**
   Uit de modelstudie van Sepulveda et al. (2018) komt naar voren dat de beschikbaarheid van regelbare CO_2-arme energiebronnen zoals kernenergie[55] een belangrijke factor vormt om op een kosteneffectieve wijze te komen tot een CO_2-arm energiesysteem. De kostenbeperkende rol van kernenergie is vooral belangrijk wanneer de kosten van het opwekken en opslaan van zonne- en windenergie minder snel gaan dalen als ze tot nu toe hebben gedaan. Het kostendrukkende effect van regelbare CO_2-arme energiebronnen zoals kernenergie komt vooral tot uiting bij de verdere verduurzaming van energiesystemen die reeds een (zeer) lage koolstofintensiteit hebben.
6. **Cometto et al. (2019): nationale kosten van energiesystemen met kernenergie zijn *lager dan* nationale kosten van energiesysteem zonder kernenergie.**
   Cometto et al. (2019) hebben voor het Nuclear Energy Agency van de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OECD) enkele CO_2-arme energiesystemen gemodelleerd.[56] De energiesystemen hebben een verschillend aandeel hernieuwbare energiebronnen in de productiemix. Naarmate het vooraf gespecificeerde aandeel hernieuwbare energie toeneemt, daalt het aandeel van kernenergie in de productiemix. Bij (zeer) hoge aandelen hernieuwbare energie (>75%) wordt kernenergie niet meer meegenomen als onderdeel van de systeemconfiguratie. Uit de modelsimulaties blijkt dat de totale systeemkosten onevenredig stijgen met het op voorhand gestelde aandeel hernieuwbare energie in de productiemix. Dit komt doordat bij grotere aandelen hernieuwbare energie het voor piekbelasting benodigde niveau aan opgesteld productievermogen toeneemt. Daarbij komt dat een grote hoeveelheid hernieuwbare energieproductie moet worden ondersteund door voldoende opslagcapaciteit om de sterke productiefluctuaties op te vangen. Opslagcapaciteit bestaat in de scenario's van Cometto et al. (2019) vooral uit reservoirs van waterkrachtcentrales. Een kanttekening die we hierbij maken is dat deze technologie niet geschikt is voor de Nederlandse situatie, omdat ons landschap weinig hoogteverschillen kent.
7. **Van Zuijlen et al. (2019): nationale kosten van energiesystemen met kernenergie zijn mogelijk *lager dan of gelijk aan* nationale kosten van energiesystemen zonder kernenergie.**
   In de studie van Zuijlen et al. (2019) worden verschillende scenario's van een toekomstig CO_2-arm West-Europees energiesysteem in 2050 gemodelleerd. De studie laat zien dat behalve de implementatie van hernieuwbare energie ook het installeren van regelbare CO_2-arme opwekkingscapaciteit een vitaal onderdeel vormt van de kostenoptimale elektriciteitsproductieportefeuilles. Dergelijke regelbare CO_2-arme capaciteit kan worden geleverd door een reeks technologieën, waaronder aardgas- of biomassacentrales met afvang en opslag van CO_2,

55 In deze categorie energiebronnen vallen ook met bio- of aardgas, biomassa of kolengestookte thermische elektriciteitscentrales met CO_2-afvang en opslag, geothermie, en waterkrachtcentrales.
56 De Nederlandse langetermijndoelstelling voor de CO_2-uitstootbeperking bij de productie van elektriciteit is overigens strikter dan het maximum van 50g CO_2/kWh dat Cometto et al. (2019) hanteren.

kerncentrales en waterkrachtcentrales. Hieruit kunnen wij concluderen dat kernenergie een belangrijke bijdrage kan leveren aan het minimaliseren van de nationale kosten in energiesystemen met een groot aandeel hernieuwbare energiebronnen.

8. **Zappa et al. (2019): nationale kosten van energiesystemen met kernenergie zijn mogelijk l*ager dan of gelijk aan* nationale kosten van energiesystemen zonder kernenergie.**
   Ook Zappa et al. (2019) experimenteren in hun modelstudie met verschillende randvoorwaarden voor het aandeel hernieuwbare energie in de productiemix. De bevinding dat het benodigde niveau van opgesteld vermogen onevenredig groeit naarmate het aandeel hernieuwbare energie toeneemt, komt overeen met de uitkomsten van de studie van Cometto et al. (2019). Volgens Zappa et al. (2019) zouden de totale systeemkosten op jaarbasis van een 100% hernieuwbaar Europees elektriciteitssysteem ten minste € 530 miljard per jaar bedragen; dat is ongeveer 25% meer dan de kosten van een energiesysteem waarin regelbare CO_2-arme technologieën zoals aardgas- of biomassacentrales met afvang en opslag van CO_2 en kerncentrales deel uitmaken. De aannames van de onderzoekers over de bouwkosten zijn aan de optimistische kant.
9. **Kerkhoven et al. (2020): nationale kosten van energiesystemen met kernenergie zijn waarschijnlijk *gelijk aan of hoger dan* nationale kosten van energiesystemen zonder kernenergie.**
   Kerkhoven et al. (2020) constateren dat kernenergie zorgt voor hogere nationale kosten van een CO_2-arm energiesysteem, behalve wanneer kernenergie door middel van een 'must-run'-regeling voorrang krijgt op het elektriciteitsnet en de overheid een groot deel van de daarmee verbonden financiële risico's op zich neemt. In dat geval zijn de nationale kosten grofweg hetzelfde als die van een systeem zonder kernenergie. Kerkhoven et al. (2020) passen overigens geen optimalisatie toe in de manier waarop zij kernenergie in het Nederlandse energiesysteem plaatsen. De kans is daardoor groot dat dit gebeurt op een (vanuit techno-economisch perspectief) suboptimale wijze, waardoor de kosten van een energiesysteem met kernenergie worden overschat.
10. **Kan et al. (2020): nationale kosten van energiesystemen met kernenergie zijn mogelijk *gelijk aan of lager dan* nationale kosten van energiesystemen zonder kernenergie.**
    Kan et al. (2020) modelleren het toekomstige elektriciteitsnet van Zweden onder een strenge CO_2-uitstootbeperking (tot 10g CO_2/kWh). De studie laat zien dat de gemiddelde netto nationale kosten voor Zweden in de midden- of basisscenario's (waarin de veronderstelde realisatiekosten niet extreem hoog of laag zijn) circa 3 tot 4% lager uitvallen wanneer kernenergie deel uitmaakt in het elektriciteitssysteem. Met optimistische ramingen van de realisatiekosten voor kernenergie en pessimistische ramingen van de kosten voor opslagtechnologieën kunnen de kostenbesparingen van kernenergie tussen 10% en 20% bedragen.
11. **Fattahi et al. (2022): nationale kosten van energiesystemen met kernenergie zijn mogelijk *gelijk aan of lager dan* nationale kosten van energiesystemen zonder kernenergie.**
    Fattahi et al. (2022) komen in hun studie tot de bevinding dat – wanneer de huidige Nederlandse kernenergiecapaciteit (0,48 GW)

in de periode tot 2050 stapsgewijs wordt aangevuld tot 12 GW – de nationale kosten van het Nederlandse energiesysteem in 2050 met circa 6% verminderen ten opzichte van een referentiescenario waarbij níet wordt geïnvesteerd in de Nederlandse kernenergiecapaciteit. Gevoeligheidsanalyses tonen echter aan dat dit resultaat sterk afhangt van onzekere parameters zoals de hoogte van financieringskosten, de duur van de bouwtijd en de mate van uitbreiding van de transmissie-capaciteit. Bovendien zijn de resultaten afhankelijk van andere exogene modelelementen, zoals de beschikbaarheid en de prijs van aardgas, biomassa, waterstof en andere ingevoerde brandstoffen. Fattahi et al. (2022) concluderen dat kernenergie een aanvullende rol kan spelen (parallel aan hernieuwbare energie) bij het bereiken van de Nederlandse CO_2-reductiedoelstellingen, maar zij stellen dat de onzekerheid te groot is om te concluderen dat kernenergie hoe dan ook tot lagere totale kosten zal leiden.

12. **Scheepers (2022): nationale kosten van energiesystemen met kernenergie zijn mogelijk *lager dan* nationale kosten van energiesystemen zonder kernenergie.**
    Scheepers (2022) heeft de kosten van het Nederlandse energiesysteem onderzocht in twee toekomstbeelden voor de periode 2030-2050: het ADAPT- en het TRANSFORM-scenario. In beide toekomstbeelden wordt in 2030 gestreefd naar 55% CO_2-uitstootreductie en in 2050 naar CO_2-neutraliteit. De Nederlandse economie blijft in beide scenario's in dezelfde mate groeien, maar de manier waarop de CO_2-reductiedoelstellingen worden behaald, verschilt. In het TRANSFORM-scenario worden in 2040 (omdat de elektriciteitsproductiecapaciteit voor wind- en zonne-energie hun maximale potentieel hebben bereikt) 250 nieuwe kerncentrales ingezet; in het ADAPT-scenario gebeurt dit niet. De uitkomst van de berekening van Scheepers (2022) is dat de nationale kosten van het energiesysteem hoger uitvallen in het TRANSFORM-scenariovariant zonder kernenergie (+8% in 2050). Deze kostenstijging komt voort uit een verhoogde inzet van hernieuwbare energie en warmtepompen, hogere investeringen in energiebesparing in de gebouwde omgeving, duurdere *direct air capture*-technologie (waarmee CO_2 uit de omgevingslucht wordt afgevangen) en hogere investeringen in energieopslagcapaciteit.

13. **Veenstra et al. (2022): bij een groot aandeel hernieuwbare energie kan de rentabiliteit van kerncentrales *hoger* zijn *dan* die van hernieuwbare energie-installaties. Uitbreiding van de productiecapaciteit in een CO_2-arm systeem met veel hernieuwbare energie is mogelijk kosten-effectiever met kernenergie dan met meer zonnepanelen of windturbines.**
    Veenstra et al. (2022) analyseren hoe de inzet van een nieuwe kerncentrale en de rentabiliteit ervan zijn gerelateerd aan de opgestelde hoeveelheid hernieuwbare energieproductie en de toename van de vraag naar elektriciteit als gevolg van elektrificatie in bijvoorbeeld industrie en vervoer. De onderzoekers gaan vervolgens na hoe de rentabiliteit van een investering in een kerncentrale zich verhoudt tot de rentabiliteit van investeringen in technologieën voor de productie van hernieuwbare energie met een vergelijkbaar productievermogen. Ze komen tot de slotsom dat de rentabiliteit van een energietechnologie sterk afhangt van de capaciteitsbenutting en de gerealiseerde stroomprijs gedurende de operationele levensduur.

De capaciteitsbenutting van kerncentrales en van installaties voor hernieuwbare energie blijkt te verminderen naarmate het aandeel hernieuwbare energie toeneemt in de productiemix. Dit ondermijnt de rentabiliteit van deze hernieuwbare energietechnologieën meer dan die van kerncentrales. Interessant is dat de rentabiliteit van kerncentrales dus relatief beter bestand is tegen hogere aandelen fluctuerende hernieuwbare energieproductie dan de technologieën voor de opwekking van hernieuwbare energie zelf; een fenomeen dat in de wetenschappelijke literatuur wordt aangeduid als *the price cannibalisation of renewables*.[57] Let wel dat Veenstra et al. (2022) een optimistische raming hanteren voor de bouwkosten van kerncentrales. Ook maken zij alléén een vergelijking tussen kern-, zonne- en windenergie. Andere CO_2-arme regelbare bronnen zoals aardgas- of biomassacentralesmet afvang en opslag van CO_2 worden niet in de analyse meegenomen. Dergelijke bronnen zijn wellicht kosteneffectiever dan kernenergie in systemen met hoge aandelen hernieuwbare energie, omdat zij door hun (veel) lagere realisatiekosten minder gevoelig zijn voor dalingen in de capaciteitsbenutting.

57 In een scenario met een hoge geïnstalleerde capaciteit aan wind- en zonne-energie, daalt de gerealiseerde prijs van een nieuwe kerncentrale in deze studie van 40 naar ongeveer 35 euro per MWh. De gerealiseerde prijzen voor wind- en zonne-energie dalen in dit geval echter van ongeveer 50 naar 10 euro per MWh.

Tabel 3: Overzicht conclusies van de behandelde studies

Studie		Totale kosten met kernenergie zijn mogelijk hoger dan / gelijk aan / lager dan totale kosten zonder kernenergie		
		Hoger dan	Gelijk aan	Lager dan
1	Pfenninger & Keirstead (2015)		X	
2	Brouwer et al. (2016)		X	X
3	Pattupara & Kannan (2016)			X
4	Buongiorno et al. (2018)			X
5	Sepulveda et al. (2018)			X
6	Cometto et al. (2019)			X
7	Van Zuijlen et al. (2019)		X	X
8	Zappa et al. (2019)		X	X
9	Kerkhoven et al. (2020)	X	X	
10	Kan et al. (2020)		X	X
11	Fattahi et al. (2022)		X	X
12	Scheepers (2022)			X
13	Veenstra et al. (2022)			X

De uitkomsten van de dertien hierboven besproken studies geven zoals gezegd nog geen uitsluitsel over het te verwachten kostenverschil tussen een energiesysteem met en zonder kernenergie. Om hierover een conclusie te kunnen trekken zal eerst een wetenschappelijke beoordeling moeten plaatsvinden van de aannames die aan de verschillende studies ten

grondslag liggen (zie hierna). Toch vertonen de modeluitkomsten enkele gemeenschappelijke kenmerken. Zo blijkt uit de meeste studies dat:

- de nationale kosten van elektriciteitsopwekking in een CO_2-arm energiesysteem[58] met een (zeer) groot aandeel fluctuerende hernieuwbare energiebronnen hoger zijn dan in systemen die hernieuwbare energieproductie combineren met regelbare energieproductie uit bijvoorbeeld gas-, biomassa- en/of kerncentrales (inclusief afvang en opslag van CO_2);
- de nationale kosten van een CO_2-arm energiesysteem over het algemeen onevenredig (exponentieel) stijgen naarmate het aandeel van hernieuwbare energiebronnen in de productiemix toeneemt.

De totale elektriciteitskosten nemen bij een groot aandeel fluctuerende hernieuwbare energiebronnen toe doordat er, om de sterke (weers- en seizoensafhankelijke) fluctuaties in de productie van elektriciteit te kunnen opvangen, grote hoeveelheden opslagcapaciteit en opgesteld productievermogen nodig zijn. De kosten van elektriciteitsopslag zijn, met andere woorden, in hoge mate bepalend voor de betaalbaarheid van energiesystemen gebaseerd op veel energie uit wind en zon.[59]

Daar staat tegenover, zo blijkt uit de studies, dat het kostenverhogende effect van energieproductie uit wind en zon wordt getemperd door de mate waarin een energiesysteem (a) is verbonden met andere regio's,[60] (b) vraagsturing kan inzetten en (c) beschikt over regelbare CO_2-arme technologieën zoals aardgas- of biomassacentrales (met CO_2-afvang en opslag), kerncentrales, geothermie- en waterkrachtcentrales.
Ad a: Energiesystemen die veel stroomverbindingen hebben met andere regio's kunnen fluctuaties in productie opvangen door elektriciteit te importeren (c.q. exporteren) in het geval van geringe (hoge) aanwezigheid van zonne- en windenergie. Interconnectie vermindert zo de noodzaak om op grote schaal opslagcapaciteit aan te leggen.
Ad b: In energiesystemen waarin de vraag reageert op beschikbaar aanbod, is minder opslagcapaciteit nodig om het stroomnet te balanceren, waardoor er kosten kunnen worden bespaard.
Ad c: Regio's met een grote beschikbaarheid van regelbare energiebronnen kunnen hiervan gebruikmaken om kosteneffectief fluctuaties in zonne- en windenergie op te vangen.[61] Nederland beschikt zelf niet over significante hoeveelheden waterkrachtcapaciteit, maar heeft via bijvoorbeeld de zogenoemde Nor-Ned-kabel wel degelijk toegang tot waterkracht uit Noorwegen (zij het in beperkte mate).

58 Dat wil zeggen: een energiesysteem dat gekenmerkt is door een betrekkelijk hoog aandeel fluctuerende hernieuwbare energiebronnen: meer dan 60% tot 70% van de productiemix.
59 Er is veel onzekerheid over de implementatiekosten van verschillende opslagtechnologieën. Dit komt vooral doordat de bestaande energiesystemen nog hoofdzakelijk gebruikmaken van regelbaar productievermogen voor het in evenwicht houden van vraag en aanbod. Er zijn eenvoudigweg weinig tot geen bestaande gegevens over de kostenprestaties van opslagtechnologieën op grote schaal. Niettemin is er consensus over de verwachting dat deze opslagkosten tegen 2050 zullen dalen ten gevolge van technologische innovaties en leereffecten.
60 Voordeel treedt vooral op wanneer verbonden regio's een ongelijksoortig productie- en vraagprofiel hebben. Er zal dan vaker sprake zijn van een situatie waarin de ene regio met overproductie te kampen heeft en de andere juist met onderproductie, waardoor beide regio's maximaal kunnen profiteren van transmissie.
61 Waterkracht is een regelbare energiebron die kan worden benut wanneer mogelijkheden voor zonne- en windenergieproductie afwezig of zwak zijn. Waterkracht kan ook worden gebruikt als opslagtechnologie; overvloedige zonne- en/of windenergie kan dan worden ingezet om waterreservoirs mee te vullen die later weer voor elektriciteit kunnen zorgen door ze leeg te laten lopen.

Invloed van onderliggende aannames op uitkomsten van de studies
Aan elk van de hiervoor besproken studies liggen bepaalde aannames en uitgangspunten ten grondslag. Deze zijn van invloed op de bevindingen ten aanzien van het effect van kernenergie op de nationale kosten van een energiesysteem. Ze maken bovendien een directe één-op-één-vergelijking van de verschillende studieresultaten onmogelijk.

We zetten hieronder uiteen hoe de uitkomsten van de dertien besproken studies kunnen zijn beïnvloed door:

- aannames over beschikbare energietechnologieën;
- aannames over realisatiekosten;
- keuzes in reken- en modelleringsmethodiek;
- aannames over marktmodel en inzet kerncentrales;
- geografische en economische kenmerken van gemodelleerde regio's.

Aannames over beschikbare energietechnologieën
De besproken studies verschillen van elkaar als het gaat om de energietechnologieën die zij als opties meenemen in het samenstellen van een CO_2-arm toekomstig energiesysteem. Kerkhoven et al. (2020) nemen bijvoorbeeld biomassa niet mee als optie, ofschoon de Nederlandse regering in het nationale Klimaatakkoord heeft aangegeven dat zij een belangrijke rol ziet voor biomassa in de aanloop naar 2030 en 2050. Biomassa wordt daarentegen wél meegenomen in het energiesysteem van Brouwer et al. (2019), Pattupara & Kannan (2016), Sepulveda et al. (2018), Van Zuijlen et al. (2019), Zappa et al. (2019), Kan et al. (2020), Fattahi et al. (2022) en Scheepers (2022).

Verder valt op dat Buongiorno et al. (2018), Cometto et al. (2019) en Kan et al. (2020) energiesystemen modelleren waarin een aanzienlijk vermogen aan waterkracht is opgesteld. Aangezien Nederland geen noemenswaardige waterkrachtcapaciteit heeft, doet dit afbreuk aan de relevantie van de resultaten van deze studies voor de Nederlandse situatie.

Van belang is ook de vraag of studies rekening houden met de interregionale transmissie van elektriciteit. Het Nederlandse energiesysteem is immers nauw verweven met dat van andere Europese landen. De elektriciteitsnetten van de Europese landen zullen naar verwachting tegen 2050 nog meer met elkaar zijn verbonden. Studies die interregionale transmissie als endogeen modelcomponent omvatten, zijn dus relevant voor de Nederlandse situatie. Dit zijn: Brouwer et al. (2016), Pattupara & Kannan (2016), Sepulveda et al. (2018), Cometto et al. (2019), Van Zuijlen et al. (2019), Zappa et al. (2019), Kan et al. (2020), Fattahi et al. (2022) en Scheepers (2022). De studies van Kerkhoven et al. (2020) en Veenstra et al. (2022) modelleren transmissie niet expliciet, maar nemen de in- en uitvoer van elektriciteit mee als exogeen modelelement (zoals wordt aangegeven door de geel-gemarkeerde cellen). Pfenninger & Keirstead (2015) kijken wel naar transmissie binnen het Verenigd Koninkrijk, maar laten de uitwisseling van elektriciteit met het Europese vasteland buiten beschouwing.

Tabel 4: Vergelijking van de energietechnologieportfolio's in de dertien modelstudies

Energietechnologie	NL Situatie[1]	Pfenninger & Keirstead (2015)	Brouwer et al. (2016)	Pattupara & Kannan (2016)	Buongiorno et al. (2018)	Sepulveda et al. (2018)	Cometto et al. (2019)	Van Zuijlen et al. (2019)	Zappa et al. (2019)	Kerkhoven et al. (2020)	Kan et al. (2020)	Fattahi et al. (2022)	Scheepers (2022)	Veenstra et al. (2022)
Zon	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Waterkracht (RoR, reservoir, HPS)	X	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	X[2]	✓	X	X	X
Offshore wind	✓	✓	✓	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Onshore wind	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kernenergie	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Interconnectie, Transmissie	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓[3]
Aardgas (OCGT, CCGT) + CCS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Biogas (OCGT, CCGT) + CCS	✓	X	✓	✓	X	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
Biomassa CHP + CCS	✓	X	✓	✓	X	✓	X	✓	✓	X	✓	✓	✓	X
Opslag (Batterijen, CAES, Waterstof)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓[3]

RoR: run of-the-river. HPS: Hydro Pumped Storage. OCGT: open cycle gas turbine. CCGT: combined cycle gas turbine. CCS: carbon capture & storage. CAES: compressed air energy storage.

1 Op basis van de huidige Nederlandse energiemix en de vooruitzichten die in het nationale Klimaatakkoord (2019) staan beschreven.

2 Het aandeel waterkracht dat Kerkhoven et al. (2020) meenemen in de energiemix bedraagt 0,02%. Dit wordt beschouwd als praktisch hetzelfde als uitsluiting.

3 Transmissie- en opslagcapaciteit binnen wordt binnen deze studie indirect gemodelleerd als een hogere prijselasticiteit van de vraag naar elektriciteit. Een hogere transmissie- en/of opslagcapaciteit binnen een energiesysteem zorgt voor een grotere prijselasticiteit van de vraag. Deze grotere elasticiteit maakt de vraag responsiever ten opzichte van het aanbod, waardoor momenten van (extreme) onbalans tussen vraag en aanbod minder vaak voorkomen, hetgeen leidt tot een stabielere elektriciteitsprijs gedurende het jaar.

Tabel 4 geeft een vergelijkend overzicht van de energietechnologieën per studie. De rood gemarkeerde cellen geven aan dat de productiemix die is meegenomen in een bepaalde modelstudie, niet inpasbaar is in de Nederlandse situatie. Modelleringsstudies die energiesystemen simuleren met waterkracht en zonder interregionale transmissie en/of offshore wind, zijn bijvoorbeeld niet representatief voor de Nederlandse situatie. De uitspraken die in deze studies worden gedaan over de meest geschikte productiemix, zijn zodoende minder relevant voor het trekken van conclusies over het toekomstige energiesysteem in Nederland.

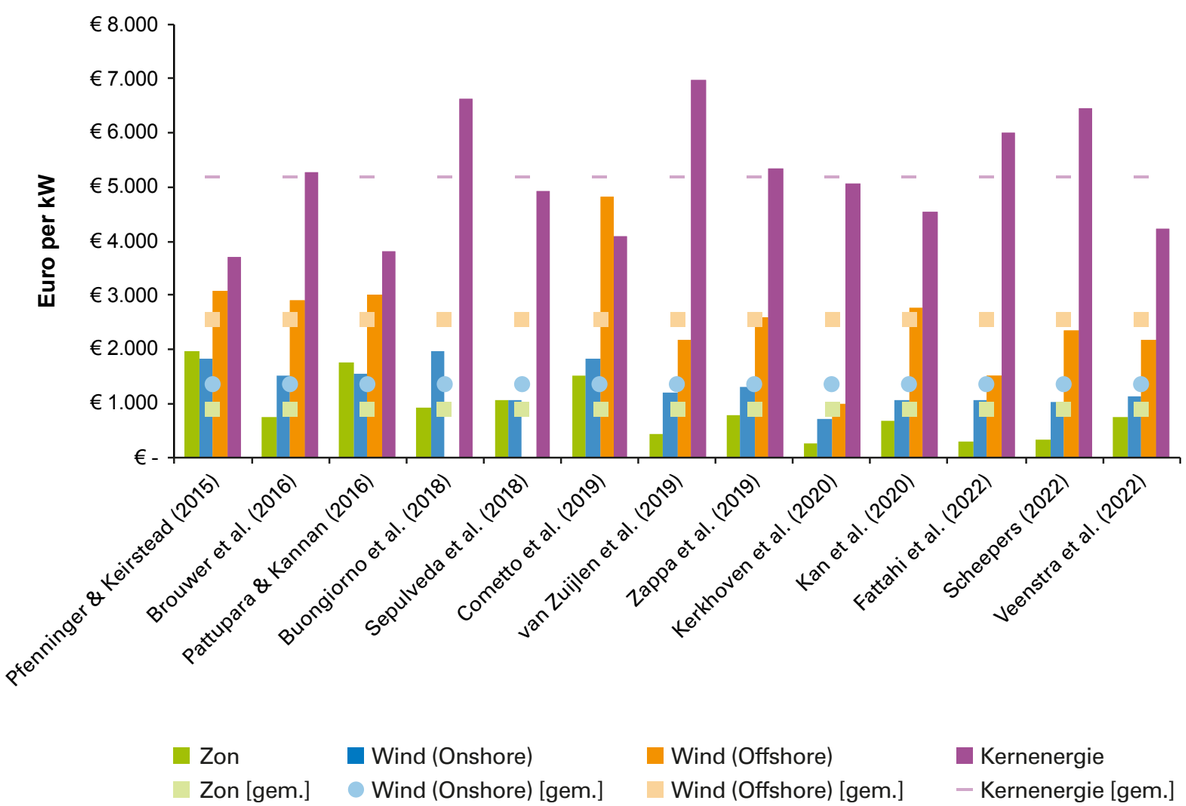
Het is voorts belangrijk om op te merken dat de aanpak die Veenstra et al. (2022) hanteren, afwijkt van de aanpak van de overige studies. Terwijl in de overige de studies wordt gezocht naar het meest kosteneffectieve energiesysteem van de toekomst, bestuderen Veenstra et al. (2022) zuiver de dynamiek van een op de het *merit order*-principe gebaseerde elektriciteitsmarkt,[62] om te zien hoe verschillende productiemixen de rentabiliteit van de samenstellende energietechnologieën veranderen.

Aannames over realisatiekosten

De studies die wij hebben onderzocht hanteren verschillende aannames voor de bouwkosten van de verschillende technologieën (zie afbeelding 5). De aannames die Kerkhoven et al. (2020) hanteren over onder meer de investeringskosten, de gewogen gemiddelde kosten en de vaste operationele kosten van energieproductie uit hernieuwbare bronnen zoals wind en zon, zijn een stuk optimistischer dan de aannames hierover uit de andere twaalf studies. Als gevolg daarvan zullen bij Kerkhoven et al. (2020) de totale productiekosten van een energiesysteem met een groot aandeel hernieuwbare energie lager uitvallen dan in de andere studies (indien deze studies exact hetzelfde systeem zouden modelleren). De lagere realisatiekosten voor energieproductie uit hernieuwbare bronnen zorgen ervoor dat in de studie van Kerkhoven et al. (2020) de concurrentiepositie van kernenergie verslechtert. Immers, als het aandeel hernieuwbare energie toeneemt, verslechtert de rentabiliteit van eventueel bestaande kerncentrales, omdat de hernieuwbare energieproductie hun capaciteitsbenutting ondermijnt.

62 Het *merit order*-principe houdt in dat energiebedrijven hun productiecapaciteit (windturbines, zonnepanelen, gascentrales, kolencentrales enzovoort) in een bepaalde volgorde moeten inzetten, die vooral wordt bepaald door de kosten van de energieproductie.

Afbeelding 5: Gemiddelde bouwkosten per energiebron in de behandelde studies in Euro per kW. Per studie is te zien of de gehanteerde bouwkosten hoger of lager zijn dan het gemiddelde van alle studies



De kapitaalkosten van kerncentrales (een belangrijk onderdeel van de realisatiekosten) worden bepaald door de projectrisico's (hogere risico's leiden tot een hogere risicopremie en derhalve tot hogere kapitaalkosten) en door de gemaakte afspraken over hoe de risico's worden verdeeld over de verschillende belanghebbenden.

Nucleaire projecten kennen uitzonderlijk hoge risicopremies. Dit hangt samen met de lange looptijd, de substantiële investeringsomvang en de kans op tussentijdse beleidswijzigingen. De gegevens in de tabellen in hoofdstuk 4 van deel 2 verduidelijken dit. Te zien is dat de bouwtijd- en kostenoverschrijdingen bij een aantal bestaande kerncentrales van het type EPR[63] aanzienlijk zijn.[64] De overheid kan een belangrijke rol spelen door de risico's van dergelijke projectvertragingen en kostenoverschrijdingen te dragen, hetgeen de financierbaarheid van kernenergieprojecten ten goede zou komen.

Keuzes in reken- en modelleringsmethodiek

Bepalend voor de reikwijdte van de studies is ook het gebruikte rekenmodel. Daarom is het nuttig om de studies te beoordelen op de volgende aspecten:

- *Ruimtelijk detail*: Hoe hoog is de ruimtelijke resolutie binnen het model? Wordt er expliciet rekening gehouden met de beschikbaarheid van land voor de implementatie van hernieuwbare energieproductie? Zijn de

63 EPR staat voor 'European Pressurized Reactor' of 'Evolutionary Power Reactor'. Met de laatste benaming wordt dit type reactor buiten Europa aangeduid. EPR-centrales behoren tot de derde generatie kernreactoren.

64 De vertragingsfactor in de bouwtijd van bestaande EPR-centrales bedraagt op dit moment gemiddeld 2,5. De kostenoverschrijdingsfactor (geraamde versus gerealiseerde kosten) is op basis van de gegevens in de tabel gemiddeld 2,6.

opwekkingsprofielen van hernieuwbare energie consistent met de ruimtelijke inzet ervan?

- *Temporeel detail*: Hoe granulair zijn de berekeningen als het gaat om het balanceren van het elektriciteitsnet? Worden de berekeningen uitgevoerd op (ten minste) uurlijkse tijdschaal?
- *Optimalisatie*: Worden er optimalisatieprocedures toegepast om de configuratie van de productiemix zo te bepalen dat de technisch-economische prestaties ervan worden gemaximaliseerd?
- *Empirische data*: Worden de modelparameters, voor zover dat kan, gekalibreerd op historische (empirische) data?
- *Greenfield versus brownfield*: Is er sprake van een 'greenfield'-aanpak (ontwikkeling vanaf een schone lei)? Of bouwt de studie voort op een op voorhand bepaalde energiesysteemconfiguratie? Een greenfield-aanpak houdt geen rekening met oude energieopwekkingscapaciteit en de buitenbedrijfstelling of modernisering daarvan.
- *Dynamisch versus statisch*: Bepaalt het model wanneer er investeringen en veranderingen plaatsvinden (bijvoorbeeld de bouw van nieuwe opwekkings- en transmissie-infrastructuur) aan het energiesysteem? Of presenteert het model enkel een 'snapshot' van een toekomstig CO_2-arm energiesysteem?

Andere aspecten die relevant zijn voor het vergelijken van studies zijn de wijze waarop de toekomstige energievraag wordt gemodelleerd en de wijze waarop de werking van het elektriciteitsnet binnen een land of regio wordt gemodelleerd. Alle studies baseren hun jaarlijkse energievraagprofielen op historische en regio-specifieke gegevens. De studies verschillen in de manier waarop zij deze gegevens omzetten naar een beeld van de toekomstige vraag. De meeste studies baseren deze omzettingen op gepubliceerde prognoses van de groei van de energievraag (veelal als gevolg van populatiegroei, economische groei, structurele veranderingen in de economie en verwachte ontwikkelingen in de energie-efficiëntie van de consumptie).

Voor de modellering van het transmissienet wordt vaak gewerkt met een netwerkrepresentatie waarbij de knooppunten (*nodes*) punten van verbruik of productie voorstellen en de relaties (*edges*) de transmissielijnen. Doorgaans worden netten op een tamelijk hoog aggregatieniveau gemodelleerd, zodat de regio's die besloten liggen in de knooppunten worden behandeld als 'koperen platen', wat wil zeggen dat er binnen deze regio's geen doorvoerbeperkingen (geen transmissieknelpunten of -verliezen) bestaan. Hoe hoger het aggregatieniveau waarop transmissienetwerken worden gemodelleerd, hoe minder duidelijk het is welke netwerkaanpassingen op lagere niveaus nodig zijn om het energiesysteem in kwestie op betrouwbare wijze te laten functioneren.

Tabel 5 laat zien welke rekenmodellen worden gebruikt in de beschikbare studies. Wat opvalt is dat bijna alle studies een momentopnamebenadering volgen, waarbij niet wordt aangegeven hoe het transitiepad van een huidig naar een toekomstig energiesysteem er precies uit moet komen te zien. Uitzonderingen hierop zijn de studies van Pattupara & Kannan (2016) en van Fattahi et al. (2022). In de eerste studie wordt voor Zwitserland uitgestippeld wat techno-economisch gezien het optimale transitiepad is naar een CO_2-arm energiesysteem in 2050 onder de conditie van een *nuclear*

phase-out. In de tweede studie laten de onderzoekers zien hoe het optimale overgangstraject er voor Nederland uitziet.

Opvallend is dat Kerkhoven et al. (2020) een heuristische aanpak volgen bij het construeren van een toekomstig CO_2-arm energiesysteem (Kerkhoven et al., 2020).[65] Dat wil zeggen dat zij volgens op voorhand vastgestelde richtlijnen en regels tot een bepaalde productiemix komen in plaats van door het implementeren van een optimalisatiealgoritme. De keuze van de opgestelde energietechnologieën wordt – net als in de andere studies – vervolgens gemaakt op basis van economische efficiency (het *merit order*-principe; zie ook hierna).

Aannames over marktmodel en inzet van kerncentrales

In de meeste studies is de keuze van energietechnologieën gebaseerd op het 'merit order'-beginsel, waarbij wordt gekeken naar de vraag per uur en hoe de opgestelde productietechnologieën daaraan op de meest kosteneffectieve wijze kunnen voldoen. Fattahi et al. (2022) wijken hier af van de norm en zetten kernenergie in als 'must-run' basislasteenheid. Daarnaast experimenteren Kerkhoven et al. (2020) met drie alternatieve manieren om kernenergie in te passen in het energiesysteem, te weten: door ze in te zetten op basis van een 'must run'-bepaling (waarbij kerncentrales voorrang krijgen op het net), door ze in te zetten voor waterstofproductie en door ze in te zetten op een hybride manier.[66] Hieruit blijkt dat het marktmodel van sterke invloed is op de rentabiliteit van kerncentrales (Veenstra et al., 2022)[67] en op de uiteindelijke nationale kosten.

Behalve het marktmodel bepalen ook de aannames over het tempo waarmee de stroomproductie van een centrale omhoog en omlaag kan worden gebracht (de *ramping rate*) en over minimale productieniveaus van kerncentrales wat de kosteneffectiviteit is van de geproduceerde elektriciteit. Immers, hoe hoger de op- en afschaalsnelheid en hoe lager de minimumproductieniveaus, hoe flexibeler kerncentrales kunnen worden ingezet en dus hoe doeltreffender ze kunnen reageren op veranderende marktomstandigheden. Het minimale productieniveau van kerncentrales wordt in de studies veelal op 50% gezet. Wat de *ramping rate* betreft gaan de meeste studies ervan uit dat deze binnen een marge van 20-25% ligt.[68] Kan et al. (2019) wijken af hiervan af door een *ramping rate* van 100% te hanteren; het ontbreken van beperkingen aan de op- en afschaalcapaciteit van kerncentrales leidt in dit geval waarschijnlijk tot een onderschatting van de kosten voor een elektriciteitssysteem met kernenergie.

65 In het energietransitiemodel van Kerkhoven et al. (2020) is géén kostenoptimalisatie toegepast. Een gebruiker van het model ontwerpt dus zelf het energiesysteem van 2050.

66 Een hybride inzet van kerncentrales betekent dat zij elektriciteit produceren bij piekbelasting en overschakelen op productie van waterstof op momenten dat er een overschot is aan elektriciteit.

67 Hoe hoger de capaciteitsbenutting van een kerncentrale, hoe beter de rentabiliteit ervan en hoe lager de *levelized cost of electricity* (LCOE). Veenstra et al. (2022) constateren dat de capaciteitsfactor van een kerncentrale in Nederland sterk daalt, van ongeveer 90% tot ongeveer 60%, wanneer de elektriciteitsmarkt fungeert op basis van het 'merit order'-principe en het aandeel hernieuwbare energie in het systeem hoog is.

68 Dit betekent dat een centrale binnen een uur 20 tot 25% van zijn maximale vermogen kan op- en afschakelen. Het veronderstelde op- en afschaalvermogen van OCGT-gascentrales ('open cycle gas turbines') is in alle studies 100%. Bij CCGT-gascentrales ('combined cycle gas turbines') is dit 70%. Centrales die draaien op kolen of biomassa (met afvang en opslag van CO2) hebben een op- en afschaalvermogen van 10 tot 30%.

Tabel 5: Vergelijking van methodologische aspecten van beschikbare modelstudies[69]

Component	1 Pfenninger & Keirstead (2015)	2 Brouwer et al. (2016)	3 Pattupara & Kannan (2016)	4 Buongiorno et al. (2018)	5 Sepulveda et al. (2018)	6 Cometto et al. (2019)	7 Van Zuijlen et al. (2019)	8 Zappa et al. (2019)	9 Kerkhoven et al. (2020)	10 Kan et al. (2020)	11 Fattahi et al. (2022)	12 Scheepers (2022)	13 Veenstra et al. (2022)
Model	Calliope	PLEXOS	TIMES	GenX	GenX	GenX	PLEXOS	PLEXOS	ETM	REX	IESA-Opt-N	OPERA	PMM[9]
Ruimtelijk detail	✓	X	X	X	X[3]	X	✓[4]	✓[4]	X	✓	X	X[6]	X
Temporeel detail	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓[7]	✓
Optimalisatie op systeemniveau	X[1]	✓[2]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓
Empirische data	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Greenfield [G] vs Brownfield [B]	G	G	B	G	G	G	G	G[5]	B	G	B	B[8]	B
Statisch [S] vs Dynamisch [D]	S	S	D	S	S	S	S	S	S	S	D	S	S

1 Pfenninger & Keirstead (2015) bestuderen een groot aantal combinaties van kernenergie, fossiele brandstoffen en hernieuwbare energie, en brengen de totale kosten van deze combinaties in kaart. Voor iedere systeemconfiguratie optimaliseren ze de keuze van energietechnologieën op basis van het 'merit order'-principe.

2 Brouwer et al. (2016) definiëren drie plausibele scenario's met betrekking tot niet-fossiele opwekkingscapaciteit die als exogene modelinput worden gebruikt: 40%, 60% en 80% opwekking uit hernieuwbare energiebronnen, die overeenkomen met overeenkomen met 22%, 41% en 59% fluctuerende hernieuwbare energie op energiebasis respectievelijk. Binnen de beperkingen die deze kaders stellen wordt de configuratie van het energiesysteem vervolgens geoptimaliseerd teneinde de totale kosten van de energieopwekking te minimaliseren.

3 Sepulveda et al. (2018) modelleren twee regio's met karakteristieke hulpbronnen en profielen. Vanwege ontbreken van een expliciete weergave van de ruimtelijke context (zoals bij Zappa et al., 2019) is in deze studie sprake van een relatief lage ruimtelijke detaillering.

4 Zowel van Zuijlen et al. (2019) als Zappa et al. (2019) passen in hun modelstudies een hoge resolutie toe op de weergave van de ruimtelijke aspecten van hun energiesystemen. Zappa et al. (2019) gebruiken een ruimtelijk raster met hoge resolutie om zowel de hoeveelheid geschikt landoppervlak voor de implementatie van fluctuerende hernieuwbare energiebronnen als de weersomstandigheden op locaties te bepalen. Zappa et al. (2019) gebruiken hun ruimtelijk raster ook om de ruimtelijke verdeling van fluctuerende hernieuwbare energiebronnen te optimaliseren. Van Zuijlen gebruikt het hoge ruimtelijke resolutie raster alleen bij het modelleren van toekomstige weer- en klimaatomstandigheden.

5 Afgezien van een referentieniveau van transmissie (60 GW) en waterkrachtcapaciteit (200 GW), wordt door Zappa et al. (2019) verder geen bestaande opwekkingscapaciteit in Europa meegenomen.

6 Hoewel Scheepers (2022) geen ruimtelijk raster gebruikt om de verschillende energietechnologieën in de optimalisatieprocedure op te nemen, wordt voor windenergie een onderscheid gemaakt tussen zeven onshore en zeven offshore regio's, met elk een eigen windpotentieel en windprofiel. Voor zonne-energie is daarentegen voor alle regio's hetzelfde uurprofiel aangenomen.

7 Scheepers (2022) maakt gebruik van 'time-slices'. Dat houdt in dat uren die op elkaar lijken zijn gegroepeerd; dit is om de berekeningssnelheid van het model te verhogen. In totaal zijn er 85 time-slices gebruikt. Per time-slice moeten vraag en aanbod van alle energiedragers in balans zijn, inclusief elektriciteit.

8 Scheepers (2022) hanteert een aanpak die dichter bij greenfield dan brownfield ligt. De Klimaat- en Energieverkenning 2020 (PBL, 2020) is als achtergrond scenario gebruikt., met enkele aanpassingen zoals vroegere uitfasering van bepaalde technieken. De kerncentrale in Borssele draait bijvoorbeeld in 2030, maar is in 2035 niet meer aanwezig.

9 PMM staat hier voor Power Market Model. Dit is een door Veenstra et al. (2022) ontwikkeld ('partial equilibrium') model van een elektriciteitsmarkt om zicht te krijgen op de economische waarde van onder meer kernenergie.

69 Wij hebben contact opgenomen met de auteurs van alle studies om de beoordeling te valideren die in de tabel is opgenomen. De auteurs die reageerden (Sepulveda et al., 2018; Kan et al., 2020; Fattahi et al., 2022; Scheepers, 2022), bevestigden dat de beoordeling, zoals die in de tabel te zien is, correct is.

Tabel 6: Gemodelleerde regio's in de dertien modelstudies

Studie		Primaire regio	Secundaire regio
1	Pfenninger & Keirstead (2015)	Verenigd Koninkrijk	n.v.t.
2	Brouwer et al. (2016)	Europa (Noord-West)	n.v.t.
3	Pattupara & Kannan (2016)	Zwitserland	Oostenrijk, Frankrijk, Duitsland
4	Buongiorno et al. (2018)	Tianjin, Beijing, en Tangshan (T-B-T, China), Zhejiang (China), Frankrijk, Verenigd Koninkrijk, Texas (Verenigde Staten), New England (Verenigde Staten)	n.v.t.
5	Sepulveda et al. (2018)	Verenigde Staten	n.v.t.
6	Cometto et al. (2019)	Frankrijk	n.v.t.
7	van Zuijlen et al. (2019)	Europa (Noord-West)	n.v.t.
8	Zappa et al. (2019)	Europa	n.v.t.
9	Kerkhoven et al. (2020)	Nederland	n.v.t.
10	Kan et al. (2020)	Zweden	Europa
11	Fattahi et al. (2022)	Nederland	Europa incl. Noorwegen en Zwitserland
12	Scheepers (2022)	Nederland	n.v.t.
13	Veenstra et al. (2022)	Nederland	n.v.t.

Geografische en economische kenmerken van gemodelleerde regio's

Tabel 6 geeft een overzicht van de landen of regio's die in de dertien studies worden gemodelleerd. We maken in de tabel onderscheid tussen primaire en secundaire regio's. De nadruk ligt op het modelleren van de primaire regio, waarbij secundaire regio's meestal fungeren als exogene bronnen van elektriciteitsinvoer en -uitvoer.

Brouwer et al. (2016), Van Zuijlen et al. (2019) en Zappa et al. (2019) onderscheiden zich door het energiesysteem van een deel van een heel continent te modelleren (Noord-West Europa). De overige studies richten zich veelal op één land of een aantal met elkaar verbonden regio's. Kerkhoven et al. (2020), Fattahi et al. (2022), Scheepers (2022) en Veenstra et al. (2022) zijn de studies die zich specifiek richten op het modelleren van het Nederlandse energiesysteem. Van Zuijlen et al. (2019) kijken ook naar Nederland, maar de primaire focus ligt op het modelleren van het Noord-West Europese energiesysteem als geheel.

Studies die gericht zijn op het modelleren van geaggregeerde regio's – bijvoorbeeld Brouwer et al. (2016), Van Zuijlen et al. (2019) en Zappa et al. (2019) – hebben als voordeel dat zij inzicht kunnen verschaffen in de werking van het energiesysteem op bovennationaal niveau. Door een hoog aggregatieniveau toe te passen gaan echter details verloren over de werking van energiesystemen op nationaal niveau. In het algemeen is het zo dat de onderzoekers vanwege computationele beperkingen een afweging moet maken tussen hoe gedetailleerd men het energiesysteem binnen landen wil modelleren versus de infrastructuur die energietransmissie tussen landen mogelijk maakt.

4 INVESTERINGSKOSTEN, BOUWDUUR EN ONTMANTELINGSKOSTEN KERNCENTRALES

Zoals wij in hoofdstuk 3, deel 2 hebben uitgelegd, kan de betaalbaarheid van kernenergie alleen goed in kaart worden gebracht door te kijken naar de nationale kosten van een toekomstig energiesysteem met of zonder kernenergie. Wanneer we ons toespitsen op de kosten op het niveau van individuele kerncentrales ontstaat namelijk geen volledig beeld. Niettemin vinden wij het de moeite waard om een beperkte toelichting te geven op de kosten van kernenergie op het niveau van individuele centrales; deze kosten komen immers regelmatig aan de orde in het politiek-maatschappelijke debat.

Kerncentrales hebben geen eenvoudig te bepalen prijskaartje. Daarom moeten we hier eerst enkele begrippen toelichten. Het debat richt zich vaak op de vraag hoeveel het kost om een nieuwe kerncentrale te realiseren. Er wordt dan gesproken over 'bouwkosten', maar het is eigenlijk juister om de term 'investeringskosten' (bouw- én financieringskosten) te gebruiken, zoals we hieronder zullen verduidelijken. Ook staan we in dit hoofdstuk stil bij de bouwduur van kerncentrales en bij de ontmantelingskosten die aan de orde komen aan het eind van de levensduur van een kerncentrale.

Investeringskosten (bouw- en financieringskosten)

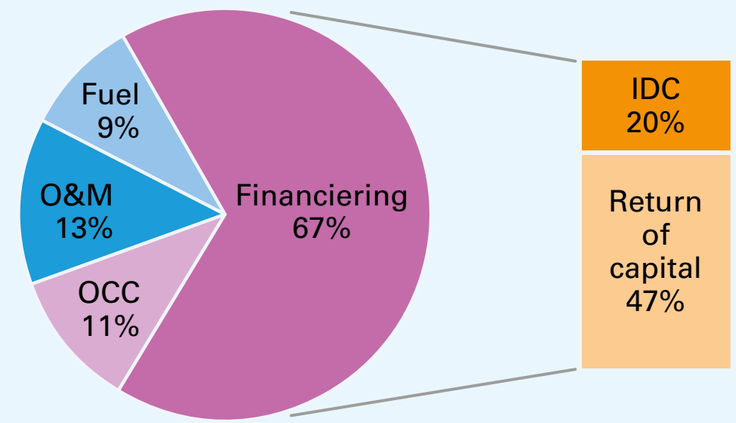
Om goed te begrijpen wat 'investeringskosten' zijn, moeten deze kosten worden bekeken in de context van andere kosten op het niveau van een individuele centrale. Investeringskosten vormen een onderdeel van de *levelised cost of electricity* (LCOE), die in hoofdstuk 3, deel 2 al even aan de orde is gekomen. De LCOE is een breed geaccepteerde indicator van de nationale kosten van een energieopwekkingstechnologie, gerekend over de gehele levensduur per eenheid geproduceerde elektriciteit. Afbeelding 6 laat in detail zien hoe de LCOE van kernenergie is opgebouwd.

Investeringskosten heten in afbeelding 6 *levelised capital costs*. Bouwkosten zijn uitgedrukt als *overnight construction costs* (OCC) en financierings-kosten als *financing*.

Te zien is dat de kosten van kernenergie op het niveau van een individuele centrale, gespreid over de levensduur van de centrale, maar voor een beperkt deel afhangen van terugkerende kosten voor bedrijfsvoering, onderhoud en brandstof en ontmantelingskosten. De kosten hangen voor het grootste deel (circa 87%) af van de investeringskosten (zijnde bouw- en financieringskosten). Daarbinnen vormen de financieringskosten een veel grotere post dan bouwkosten.

Afbeelding 6: Opbouw van *levelised cost of electricity* van kernenergie

Levelised cost of electricity (LCOE) of nuclear power	**Levelised capital costs**	**Capitalised investment costs**	**Overnight construction costs (OCC):** includes the materials, components, manpower and cost of capital required to design, construct and commission the plant.
			Capitalised financial costs (CFC): includes interest during construction (IDC) and related fees.
		Return of capital: the cost of capital, which is a combination of the cost of debt (i.e. loan) and required return on equity (from the shareholders). IDC can also be added to this cost category to isolate the overall **financing costs.**	
	Operation and maintenance costs		**Operations and maintenance (O&M) costs:** all costs related to staffing, consumables and recurring maintenance activities necessary for safe operations once the plant has been built and commissioned.
			Fuel cycle cost: cost of the fuel used to produce electricity. In the case of nuclear power, includes costs related to mining, enrichment and the manufacture of fuel assemblies to be loaded in the core (i.e. front-end activities), as well as to managing the used nuclear fuel and waste (i.e. back-end activities).
	Decommissioning costs: Costs associated with dismantling the plant once it has reached the end of its lifetime and returning the site to greenfield state.		



Note: Calculations based on OCC of USD 4 500 per kilowatt of electrical capacity (/kWe), a load factor of 85%, 60-year lifetime and 7-year construction time at a real discount rate of 9%.

Bron: NEA, 2020

Wat de exacte investeringskosten van een nieuwe kerncentrale zullen zijn, valt vooraf niet met zekerheid te zeggen. Dat komt doordat de financieringskosten, die dus een grote post vormen, zeer onvoorspelbaar zijn (zie kader). Financieringskosten zijn van veel factoren afhankelijk en kunnen sterk oplopen door vertragingen in de bouw.

Financieringskosten van een kerncentrale

Het prijskaartje van een kerncentrale hangt voor een groot deel af van de financieringskosten. Hoe hoog deze financieringskosten uitvallen, wordt bepaald door de risicopremie die de (private) kapitaalverschaffers in rekening brengen. In vergelijking met andere energieprojecten zijn deze risicopremies bij de bouw van kerncentrales doorgaans hoog. Dit heeft onder meer te maken met de kosten- en tijdsoverschrijdingen die zich voordoen bij de bouw van centrales van de generatie 3(+).

Hoge risicopremies doen de LCOE van kernenergie stijgen (NEA, 2020). Dit betekent dat het aangrijpingspunt om te komen tot een lagere kernenergieprijs hem grotendeels zit in de door investeerders gepercipieerde projectrisico's.

Recente nieuwbouwprojecten in andere landen geven een indicatie van de investeringskosten waarmee wij in Nederland rekening zullen moeten houden. Voorbeelden van recent gebouwde of in aanbouw zijnde EPR-centrales[70] zijn te vinden in Finland (Olkiluoto 3), Frankrijk (Flamanville 3), China (Taishan 1 & 2) en het Verenigd Koninkrijk (Hinkley Point C). Tabel 7 toont de geraamde en (voorlopig) gerealiseerde bouwkosten van deze EPR-centrales met vergelijkbare vermogens. De centrales in Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk zijn nog in aanbouw, dus daarvan staan de hier weergegeven cijfers niet definitief vast.

70 EPR staat voor *European Pressurized Reactor* of *Evolutionary Power Reactor*. Met de laatste benaming wordt dit type reactor buiten Europa aangeduid. EPR-centrales behoren tot de derde generatie kernreactoren.

Tabel 7: Investeringskosten recente EPR-centrales[71]

Land	Naam	Status	Vermogen (MWe)	Investeringskosten (bouw- & financieringskosten)	
				Geraamd	Gerealiseerd
Finland	Olkiluoto 3	In bedrijf	1630	€ 3 miljard	€ 11 miljard
Frankrijk	Flamanville 3	In aanbouw	1600	€ 3,3 miljard	€ 19,1 miljard*
China	Taishan 1, 2	In bedrijf	3320 (2x1660)	€ 6,2 miljard ($ 6,6 miljard) (schatting)	€ 10,3 miljard ($11 miljard) (schatting)
Verenigd Koninkrijk	Hinkley Point C	In aanbouw	3200 (2x1600)	€ 21 miljard (£18 miljard)	€ 29,2-30,4 miljard (£ 25-26 miljard)*

* = Omdat deze centrales op dit moment in aanbouw zijn, kunnen de hier vermelde bedragen nog veranderen.

71 Bronnen: Olkiluoto 3 (Schneider et al., 2019), Flamanville 3 (Cours des Comptes, 2020; WNN, 2007), Taishan 1 & 2 (Schneider et al., 2018), Hinkley Point C (Schneider et al., 2021; BBC, 2022).

Te zien is dat de (voorlopig) gerealiseerde investeringskosten van de Europese kerncentrales tussen de anderhalf (Hinkley Point C) en zesmaal (Flamanville 3) zo hoog uitvallen als geraamd. Onder een ander financieringsmodel zouden toekomstige kostenoverschrijdingen lager kunnen uitvallen. Het Verenigd Koninkrijk financiert de nieuwste kerncentrale (Sizewell C) bijvoorbeeld met het zogenoemde RAB-model (zie kader), waardoor zij lagere investeringskosten verwacht (DBEIS, 2021).[72]

Investeringen in Britse kerncentrales aantrekkelijk gemaakt met 'RAB-model'

Voor de nieuw geplande kerncentrale Sizewell C garandeert de Britse overheid een gemaximeerd rendement op kapitaal. Deze zogenoemde *Regulated Asset Base* (RAB)-financiering is te beschouwen als een vorm van marktinterventie waarmee de Britse overheid eindgebruikers van elektriciteit de kosten laat dragen voor een robuuster energiesysteem. Kerncentrales worden daarbij niet als reguliere energiebron gezien, maar als 'essentiële infrastructuur' – net als bijvoorbeeld drinkwaterzuiveringsinstallaties. Marktpartijen die in Nederland actief zijn, geven aan dat zij dit model een aantrekkelijke financieringsvorm vinden voor kernenergieprojecten (KPMG, 2021).

72 De bouw van Sizewell C is nog niet begonnen. De Britse overheid neemt aan dat de bouwkosten rond de 7.700-13.000 £/kw zullen liggen. Voor de centrale van 3.200 MWe is dat in totaal omgerekend € 29-49 miljard. Kostenoverschrijdingen bij eerdere projecten wereldwijd, waaronder Hinkley Point C, zijn hierin meegenomen. Dit is wel nog exclusief financieringskosten. Onder het nieuwe RAB-model verwacht dat die grofweg de helft lager zullen uitvallen: circa 5% rente in plaats van 9% onder het oude CfD-model bij Hinkley Point C (DBEIS, 2021).

Bouwduur

Wanneer kan een nieuwe kerncentrale in Nederland op zijn vroegst in bedrijf zijn? Deze vraag is niet exact te beantwoorden, omdat elke kerncentrale en elk land anders is. Het antwoord hangt af van zowel de vergunningsprocedure als de daadwerkelijke bouwduur. De doorlooptijd van de vergunningsprocedure – gerekend vanaf het moment dat een partij zich aandient om een kerncentrale te bouwen – bedraagt minstens enkele jaren (ANVS, 2021). Hoe lang de bouw van een nieuwe kerncentrale in Nederland zal duren nadat alle voorbereidende procedures eenmaal zijn doorlopen, is onzeker. Recente nieuwbouwprojecten in andere landen geven een indicatie. Zoals is te zien in tabel 8, is de gerealiseerde bouwduur van nieuwe kerncentrales in ieder geval steeds langer dan geraamd.

Tabel 8: Bouwduur recente EPR-centrales[73]

Land	Naam	Status	Start	In bedrijf	Bouwduur	
					Geraamd	Gerealiseerd
Finland	Olkiluoto 3	In bedrijf	2005	2022	5	17
Frankrijk	Flamanville 3	In aanbouw	2007	2023*	5	16*
China	Taishan 1, 2	In bedrijf	2009	2018	4,5	9
Verenigd Koninkrijk	Hinkley Point C	In aanbouw	2016	2027*	6	11*

* = Omdat deze centrales op dit moment in aanbouw zijn, kunnen deze gegevens nog veranderen.

73 Bronnen: Olkiluoto 3 (Schneider et al., 2019), Flamanville 3 (Cours des Comptes, 2020; WNN, 2007), Taishan 1 & 2 (Schneider et al., 2018), Hinkley Point C (Schneider et al., 2021; BBC, 2022).

Tabel 8 heeft betrekking op de zuivere bouwtijd, vanaf de spreekwoordelijke 'eerste paal'. Inclusief besluitvorming en vergunningprocedures die aan de bouw voorafgaan, verwachten wij dat een nieuwe kerncentrale in Nederland van het type EPR op zijn vroegst tussen 2035-2040 energie aan het elektriciteitsnet zal kunnen leveren.

Ontmantelingskosten

De ontmanteling van kerncentrales is een complex en langdurig proces. In Nederland is wettelijk bepaald dat ontmanteling direct moet beginnen na het einde van de bedrijfsduur. Directe ontmanteling (inclusief sloop van de centrale en herstel van het terrein) kan tot ongeveer twintig jaar in beslag nemen (KPMG, 2021). Net als aan de bouw van kerncentrales hangt ook aan de ontmanteling van kerncentrales geen overzichtelijk prijskaartje. De ontmantelingskosten zijn van veel factoren afhankelijk, die per type kernreactor en per centrale verschillen.

Tabel 9 geeft een overzicht van geraamde ontmantelingskosten voor kerncentrales (uit de periode 1970-1985) in België en voor de in aanbouw zijnde centrale van het type EPR in het Verenigd Koninkrijk (Hinkley Point C). Hoewel het om zeer verschillende type reactoren gaat, zijn de geraamde totale ontmantelingskosten vergelijkbaar, zo is in de tabel te zien.

Tabel 9: Recente ramingen van totale ontmantelingskosten voor kerncentrales in Europa

Bron	Regio	Totale ontmantelingskosten	Toelichting
NIRAS (2018)	België	2.500 €/kWe	De totale kostprijs voor de ontmanteling van *alle* zeven kernreactoren en nucleaire faciliteiten in België werd in 2015 geraamd op circa € 15,1 miljard. Dit bedrag heeft betrekking op een opgesteld vermogen van ongeveer 6.000 MW; kosten per kWe zijn circa € 2.500.
National Audit Office (2021)	Verenigd Koninkrijk	2.300 £/kWe (2.723 €/kWe)*	Er is £ 7,3 miljard geraamd voor de ontmanteling van Hinkley Point C (2x EPR met vermogen van 1,6 GW), wat uitkomt op circa £ 2300 per kWe. Dit betreft circa 30% van de thans geraamde investeringskosten (£ 25-26 miljard).

* Conversie op basis van wisselkoers van 5-5-2022 (£ 1 = € 1,18).

De ontmantelingskosten van kerncentrales komen in Nederland voor rekening van de vergunninghouder/exploitant. De financiering van de ontmanteling moet zijn geregeld vóórdat de kerncentrale in bedrijf gaat. Dit is zo vastgelegd om ervoor te zorgen dat er ook bij voortijdige sluiting van een kerncentrale voldoende budget beschikbaar is voor de ontmanteling.

Er zijn verschillende methoden voor de financiering van de ontmanteling van een kerncentrale.
De drie meest gebruikelijke financieringsmethoden zijn:

1. *Vooruitbetaling*. Hierbij wordt geld op een aparte rekening gestort om de ontmantelingskosten te dekken nog voordat de centrale in bedrijf wordt genomen. Daarbij geldt de voorwaarde dat het geld op deze rekening niet kan worden opgenomen voor andere doeleinden dan ontmanteling.
2. *Extern investeringsfonds*. Hierbij wordt in de loop der jaren kapitaal opgebouwd uit een percentage van de elektriciteitstarieven die bij de eindgebruikers in rekening worden gebracht. Het verworven kapitaal wordt in een trustfonds geplaatst buiten de controle van de exploitant van de kencentrale. Dit is het belangrijkste systeem in de Verenigde Staten, waar tijdens de operationele levensduur van kerncentrales voldoende middelen opzij worden gezet om de uiteindelijke kosten van ontmanteling te dekken.
3. *Zekerheidsfonds, kredietbrief of verzekering*. Hierbij koopt de exploitant van de kerncentrale een verzekering te garanderen dat de ontmantelingskosten worden gedekt wanneer de exploitant in gebreke blijft.

In Nederland is tot nu toe de voorkeur gegeven aan fondsvorming (methode 2). Externe fondsvorming, waarbij in de loop der jaren kapitaal wordt opgebouwd uit opbrengsten, wordt bijvoorbeeld toegepast bij Borssele via de Stichting Beheer Ontmantelingsgelden Kerncentrale Borssele (KPMG, 2021).

Marktpartijen hebben recent aangegeven onder voorwaarden bereid te zijn tot verplichte fondsvorming voor ontmanteling van een nieuw te bouwen kerncentrale. Wel geeft men aan dat het risico op kostenstijging bij ontmanteling substantieel is en dat men niet bereid is extra kosten te dragen voorbij de oorspronkelijke inschatting. Ook willen marktpartijen niet verantwoordelijk worden gehouden voor risico's die zij niet kunnen inschatten of beheersen, zoals faillissement of onvoorspelbare incidenten. Zij zullen daarom op dat vlak overheidsgaranties verwachten (KPMG, 2021).

5 EINDBERGING KERNAFVAL

Kernafval in Nederland

Nederland produceert dagelijks radioactief afval. Dit gebeurt onder andere in de kerncentrale van Borssele, in ziekenhuizen en in onderzoeksinstituten. Radioactief afval zendt ioniserende straling uit. Blootstelling daaraan kan schadelijk zijn voor mens en milieu. Hoe lang dit afval radioactief blijft, verschilt. Bij een deel van dit afval duurt dat enkele dagen of jaren, bij een ander deel een kwart miljoen jaar (OPERA, 2019).

In Nederland wordt al het niet-natuurlijk radioactieve afval[74] opgeslagen bij de Centrale Organisatie voor Radioactief Afval in Zeeland (COVRA) in Borssele. Het merendeel van het bij COVRA opgeslagen kernafval is midden- en laagradioactief, afkomstig uit onder andere de medische sector, de elektriciteitssector, de industrie en de onderzoekswereld.[75] Daarnaast bevindt zich bij COVRA op dit moment ongeveer 110 m^3 langlevend hoog-radioactief afval uit de opwerking van verbruikte splijtstoffen. Jaarlijks komt daar ongeveer 4,5 m^3 hoogradioactief afval bij. Het hoogradioactief afval wordt in verglaasde vorm[76] opgeslagen op de tijdelijke locatie van COVRA, in het hoogradioactief afvalbehandelings- en opslaggebouw (HABOG), dat speciaal voor dit doel is ontworpen.

Beleid ten aanzien van eindberging

Het beleid dat Nederland heeft geformuleerd voor de eindberging van hoogradioactief kernafval is erop gericht om het afval voor circa honderd jaar op te slaan in het HABOG. Uiterlijk in het jaar 2100 zal de overheid een definitief besluit moeten nemen over de beoogde permanente opslag. Dit is vastgelegd in het 'nationale programma voor het beheer van radioactief afval en verbruikte splijtstoffen' (ANVS, 2016).[77] De twee voornaamste onderliggende argumenten voor dit beleid zijn:

- Het HABOG biedt veiligheid en voldoende ruimte voor het kernafval van de huidige kerncentrale Borssele.
- De tijdsperiode van honderd jaar biedt ruimte voor het doen van onder-zoek naar mogelijkheden voor permanente berging en tijd om budget op te bouwen.

Voor de permanente opslag van het kernafval wordt op dit moment gedacht aan geologische eindberging (in de diepe ondergrond). Een in het beleid vastgelegde voorwaarde daarbij is dat er een periode moet zijn waarin het

74 Veruit het grootste volume (vele duizenden kubieke meters) radioactief afval in ons land betreft natuurlijke radioactiviteit die door technische processen (zoals het maken van staal) zo geconcentreerd is geraakt dat het onder de Kernenergiewet valt. Maar dit afval is zeer laagactief. Het wordt niet opgeslagen bij COVRA, maar op zogenoemde deponieën (onder meer op de Maasvlakte en bij Nauerna in de gemeente Zaanstad). Alleen kernafval met hogere stralingsniveaus en hogere concentraties radioactieve stoffen, alsmede kernafval met kunstmatige radioactiviteit, belandt bij COVRA.

75 Zie https://www.covra.nl/nl/radioactief-afval/soorten-radioactief-afval/

76 Bij verglazing of vitrificatie wordt radioactief afval ingesloten in massief glas, ter voorkoming van lekkage en uitspoeling in de bodem.

77 Dit nationale programma heeft vier uitgangspunten: (1) ontstaan van radioactief afval wordt geminimaliseerd, (2) radioactief afval wordt veilig beheerd, (3) latere generaties worden niet opgezadeld met onredelijke lasten en (4) veroorzakers van radioactief afval dragen de kosten van het beheer ervan (ANVS, 2016).

afval nog kan worden teruggenomen. De berging mag tot die tijd dus nog niet definitief worden afgesloten (OPERA, 2019).

Locatie binnen Nederland en kosten

Een geschikte locatie voor de eindopslag zal in principe binnen Nederland moeten worden gevonden. Dit is in overeenstemming met het internationale beginsel dat elk land verantwoordelijk is voor het radioactief afval dat het zelf produceert. Toch wordt in het Nederlandse beleid samenwerking met andere Europese lidstaten op het gebied van eindberging van radioactief afval als optie opengehouden.

De kosten van geologische eindberging in diepgelegen Nederlandse kleilagen, waarbij het kernafval gedurende een bepaalde periode terugneembaar is, worden geschat op circa € 2 miljard (prijspeil 2017). Van deze kosten heeft 70% betrekking op het ontwerpen en bouwen van de eindberging, 24% op het plaatsen van het kernafval in de berging, 5% op de observatie en definitieve sluiting van de berging en 1% op het vergunningsproces. Een deel van de kosten zijn variabel en hangen af van bijvoorbeeld de duur van de terughaalbaarheid, die in de berekening is gesteld op (slechts) tien jaar (Verhoef et al., 2017).

Relatie met bouw van kerncentrales

In het Nederlandse beleid staan besluitvorming over de bouw van kerncentrales en over de eindberging van kernafval los van elkaar. Wel dient de exploitant van een kerncentrale vóór de ingebruikname van de centrale een ontmantelingsplan op te stellen, inclusief en een regeling voor de financiering van de ontmanteling. Ook moet zijn vastgelegd welke financiële bijdrage de exploitant van de kerncentrale levert aan de eindberging van het kernafval.

De Europese Commissie heeft onlangs voorgesteld om de financiering van kerncentrales in de EU-lidstaten alleen nog in aanmerking te laten komen voor het EU-label 'duurzame investering', wanneer de betreffende lidstaat in 2050 een eindberging operationeel heeft (Europese Commissie, 2022).[78] Op basis van het huidige beleid voldoet Nederland niet aan deze eisen. Wel is in het coalitieakkoord aangekondigd dat het kabinet wil zorgen voor 'veilige, permanente opslag van kernafval' (Coalitieakkoord, 2021). Op dit moment is nog niet bekend hoe het kabinet daaraan invulling zal geven.

Rathenau Instituut onderzoekt besluitvorming eindberging hoogradioactief afval

In het nationale besluitvormingsproces over het langdurig beheer van kernafval zullen onder meer de volgende vragen aan de orde moeten komen: waar komt het afval te liggen, welke beheermethode zal worden gebruikt en wie zal op welk moment bij beslissingen over de eindberging worden betrokken?

78 Dit duurzaamheidslabel maakt deel uit van de zogenoemde EU-taxonomie voor duurzame financiering. Hierin wordt geclassificeerd in welke mate investeringen bijdragen aan verduurzaming van de Europese economie. De lijst is bedoeld als hulp voor beleggers die op zoek zijn naar duurzame investeringen. Een van de criteria die de Europese Commissie wil gaan stellen aan financiering van kernenergie onder de taxonomie is het hebben van een plan met gedetailleerde stappen om tegen 2050 een opslagfaciliteit voor hoogradioactief afval in bedrijf te hebben (Europese Commissie, 2022).

De Raad van de Europese Unie heeft bepaald dat het publiek voorlichting moet krijgen over het langdurig beheer van radioactief afval en desgewenst ook een stem moet kunnen hebben in de besluitvorming hierover (richtlijn 2011/70/Euratom). De staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft daarom in 2019 het Rathenau Instituut gevraagd om in 2024 een advies uit te brengen over hoe het besluitvormingsproces eruit zou kunnen zien en op welke manier het publiek daarbij kan worden betrokken. Het Rathenau Instituut onderzoekt hiertoe de geschiedenis van de omgang met radioactief afval in Nederland. Ook gaat het instituut na of de bestaande Nederlandse wet- en regelgeving voorziet in een passende vorm van burgerparticipatie. Voorts wordt gekeken wat Nederland kan leren van het besluitvormingsproces in andere Europese landen (Rathenau Instituut, 2021).

Geologische eindberging

Bij geologische eindberging wordt kernafval opgeslagen in een al vele miljoenen jaren stabiele ondergrondse aardlaag (bijvoorbeeld graniet, steenzout of klei), in een speciaal ontworpen bergingsinstallatie. Het idee is dat zo'n berging op termijn wordt afgesloten, waardoor het kernafval in principe niet meer terugneembaar is. Naar verwachting blijft het afval op deze manier buiten de onder- en bovengrondse biosfeer.

Tot het moment van afsluiting wordt gewerkt met actieve veiligheid (waarbij de toegang tot de locatie wordt beveiligd). Na de afsluiting is er sprake van passieve veiligheid, waarbij het kernafval via natuurlijke processen is ingekapseld binnen een stabiele aardlaag en niet meer bereikbaar is. Er bestaat echter onder deskundigen verschil van mening over de vraag of er toch nog actief beheer nodig is na de afsluiting – bijvoorbeeld door middel van afzetting/markering/registratie van het terrein, zodat toekomstige generaties kennis houden van de locatie van afvalberging.

Wereldwijd bestaat nog relatief weinig ervaring met geologische eindberging. Er is op dit moment alleen een permanente berging in bedrijf in de Verenigde Staten; deze opslag voor laag-, midden- en hoogradioactief militair afval bevindt zich in een steenzoutlaag. Verder heeft Finland een berging in voorbereiding voor hoogradioactief afval, die vanaf 2023 operationeel zal zijn; hier is gekozen voor opslag in graniet.[79]

Bruikbare zout- en kleilagen in Nederland

Binnen Nederland wordt op basis van de huidige inzichten gekeken naar eindberging van kernafval in zout- of kleilagen.

- *Opslag in zoutlagen*. Versteende zoutlagen zijn al sinds 1970 in beeld als optie voor eindberging. In de ondergrond van Noordoost-Nederland bevinden zich bijvoorbeeld miljoenen jaren oude zoutlagen. De mogelijke benutting van deze aardlagen voor eindberging van kernafval heeft op verschillende momenten gezorgd voor onrust onder de plaatselijke bevolking. Deze onrust betrof niet alleen het Nederlandse, maar ook

79 Een inspiratiebron voor het onderzoeken van geologische eindberging zijn de natuurlijke kernsplijtingsreacties in de West-Afrikaanse republiek Gabon, die daar twee miljard jaar geleden enkele honderdduizenden jaren lang hebben plaatsgevonden. De situatie die wetenschappers in 2004 ter plaatse aantroffen in ondergrondse zoutlagen, bood inzicht in het langetermijngedrag van splijtingsproducten in een diepe aardlaag. Gedurende twee miljard jaar bleken de meeste splijtingsproducten helemaal niet te hebben bewogen (Brookins, 1982).

het Duitse kernafvalbeleid. Duitsland wil namelijk in 2033 een geschikte locatie voor de eindberging van zijn kernafval hebben aangewezen en kijkt daarbij (nadat eerdere opties zijn afgevallen) onder meer naar locaties dicht bij de Nederlandse grens (Duitsland Instituut, 2019).[80]

- *Opslag in kleilagen*. Bij de mogelijkheid van eindberging in kleilagen gaat het specifiek om aardlagen van Boomse klei, die zich 33,9 tot 28,4 miljoen jaar geleden hebben gevormd. Deze lagen bevinden zich op tal van plekken in ons land in de ondergrond. Onderzoek heeft uitgewezen dat vier gebieden aan de randvoorwaarden voor eindberging voldoen: een gebied in Noordoost-Brabant, een gebied in Gelderland een gebied onder de Noordoostpolder en een gebied onder de Waddenzee tussen Groningen en Schiermonnikoog (T&A Survey, 2010; Verhoef et al., 2017). Met het oog op de haalbaarheid van opslag in kleilagen is relevant onderzoek verricht in België, dat eveneens eindberging van kernafval in Boomse klei overweegt rond de plaats Dessel. Het Belgische nucleair onderzoekscentrum SCK CEN heeft in 1980 een ondergronds laboratorium gebouwd, HADES, in een kleilaag op 225 meter diepte. Dit laboratorium is nog steeds operationeel en speelt een centrale rol in het onderzoek naar de veiligheid en uitvoerbaarheid van geologische berging van radioactief afval. De Belgische overheid is overigens recent afgestapt van de keuze voor berging in klei en heeft de zoektocht naar een geschikte bergingslocatie verbreed naar granietlagen. De reden hiervoor is dat de Boomse klei onder Dessel relatief dun lijkt te zijn. Op alternatieve plekken is de kleilaag dikker, maar aan deze locaties kleven andere nadelen. Na evaluatie door het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle is besloten om breder te kijken dan alleen klei en ook graniet in overweging te nemen.

80 In Duitsland zijn de afgelopen jaren drie opslaglocaties voor radioactief afval operationeel geweest: Gorleben, Asse II en Morsleben. De laatste twee locaties betroffen operationele eindbergingen voor laag- en middenradioactief afval. Beide bergingen zijn aangelegd in (niet onverstoorde) zoutlagen: voormalige mijnen die instabiel zijn geworden. Beide bergingen worden op dit moment leeggehaald vanwege ongeschiktheid en het gevaar dat radioactiviteit in het grondwater terechtkomt. Tevens heeft de Duitse overheid op 28 september 2020 na ruim veertig jaar onderzoek de zoutkoepel Gorleben (Nedersaksen) om verschillende redenen alsnog ongeschikt verklaard (Duitsland Instituut, 2019).

Onderzoekers van het Onderzoeksprogramma Eindberging Radioactief Afval (OPERA) publiceerden in 2017 een onderzoek ('safety case') waarvan de conclusie luidt dat een geologische eindberging in klei technisch haalbaar is en ook op de zeer lange termijn veilig (Verhoef et al., 2017). De voorspelde stralingsblootstelling voor mensen zou (ook op de zeer lange termijn) extreem klein zijn; ver beneden de natuurlijke achtergrondstraling. Ook zou de drinkwaterkwaliteit nu en in de toekomst niet worden beïnvloed. De onderzoekers noemen enkele punten die nog nadere aandacht verdienen om het bergingsconcept te verbeteren en optimaliseren, met als voornaamste prioriteit verdere dataverzameling over Boomse klei. Daarnaast wijzen de onderzoekers op het belang van ethische afwegingen in de besluitvorming en de locatiekeuze.

Onzekerheden op de lange termijn

Bij de beoordeling van oplossingen voor de eindberging van radioactief afval gaat veel aandacht uit naar de kans dat zich op de lange termijn situaties kunnen voordoen die de veiligheid en gezondheid van mensen in gevaar brengen. De inschatting van die kans is lastig. De mensheid heeft logischerwijs nog geen praktische ervaring met technische oplossingen die

duizenden jaren moeten meegaan (ANVS, 2016). Het volledig wegnemen van risico's en onzekerheden blijft op zeer lange tijdschalen natuurlijk onmogelijk (OPERA, 2019). De meest genoemde risicovolle impact als gevolg van kernafvalopslag betreft de mogelijke radioactieve besmetting van (grond) water en de biosfeer boven en onder de grond.

In het OPERA-onderzoek wordt in dit verband het belang benadrukt van kennisontwikkeling en behoud. Hiervoor is een forse onderzoeksinzet nodig op het vlak van onder meer geologie, hydrologie, radioactiviteit, verspreidingsmodellen, communicatie en publieksparticipatie. Daarnaast is onderzoek nodig naar aspecten van andere aard, zoals:

- *Tijdgeest*. Mensen van nu denken anders dan de mensen die zestig, dertig en zelfs tien jaar geleden leefden. De komende decennia zal dat niet anders zijn. Hoe krijgen deze aspecten een plek in de afweging?
- *Draagvlak*. Een technisch veilige oplossing leidt niet als vanzelf tot maatschappelijk draagvlak voor geologische eindberging van kernafval. Andere factoren zijn daarbij medebepalend. De OPERA-onderzoekers adviseren in dit verband om methoden en goede voorbeelden van draagvlakverwerving gestructureerd in kaart te brengen. Ook zal een handelingsperspectief moeten worden geschetst voor een worst-case-scenario, waarin er onverwacht tóch radioactieve besmetting optreedt vanuit een eindberging. Dit kan volgens de onderzoekers het publiek helpen een en ander in perspectief te zetten.
- *Veiligheidsbeleving*. Eindberging van kernafval in geologische formaties kan bij burgers gevoelens van onzekerheid teweegbrengen over bijvoorbeeld voedselveiligheid, drinkwaterkwaliteit en gezondheid. Dergelijke belevingsaspecten kunnen stress of gezondheidsklachten veroorzaken of impact hebben op gedragspatronen (kinderen niet meer buiten laten spelen, flessenwater drinken in plaats van kraanwater, geen voedsel uit eigen tuin/regio durven eten). Volgens de OPERA-onderzoekers is onderzoek nodig naar dergelijke potentiële effecten en mogelijke strategieën om deze te hanteren.

Een andere belangrijke zorg die op de lange termijn rond geologische eindberging van kernafval speelt, is de mogelijkheid van menselijke verstoring. Hierbij zijn scenario's denkbaar van toevallige verstoring (bijvoorbeeld bij een zoektocht naar mineralen en het vaststellen van hoeveelheden staal en koper) of moedwillige verstoring (bijvoorbeeld bij opgravingen gericht op het terughalen van plutonium). Een aandachtspunt in dit kader is of (en zo ja: hoe) kan worden gecommuniceerd over de aanwezigheid van een permanente eindberging, op zo'n manier dat dit ook begrijpelijk is voor generaties ver na ons (OECD-NEA, 2015).

LITERATUUR

Adviescommissie Burgerbetrokkenheid bij klimaatbeleid (2021). *Betrokken bij klimaat. Burgerfora aanbevolen*. Eindrapport aangeboden aan de minister van Economische Zaken en Klimaat door commissievoorzitter A. Brenninkmeijer bij brief van 15 maart 2021.

AER (2008) Advies Brandstofmix in beweging: Op zoek naar een goede balans, Den Haag, Algemene Energieraad, januari 2008.

AFRY (2020). *The business case and supporting interventions for Dutch offshore wind. A report to the Ministry of Economic Affairs and Climate Policy.* AFRY Management Consulting.

Algemene Rekenkamer (2018). *Focus op kosten windenergie op zee*. Den Haag.

ANVS (2016). *Het nationale programma voor het beheer van radioactief afval en verbruikte splijtstoffen.* Den Haag: Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming.

ANVS (2020). *Handreiking Niveau 3 PSA.* Den Haag: Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming.

ANVS (2021). *Een nieuwe kerncentrale, hoe gaat dat in zijn werk?* Factsheet. Den Haag: Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming.

Asveld, L., Roeser, S. (eds.) (2009). *The Ethics of Technological Risk*. London: Earthscan.

Barry, B. (1989). Justice as reciprocity. *In: Democracy, power and justice: Essays in political theory* (p. 463–94). Oxford: Clarendon Press.

BBC (2022). *Hinkley Point C delayed by a year as cost goes up by £3bn*. Geraadpleegd op 8 juni 2022 via https://www.bbc.com/news/uk-england-somerset-61519609

Berenschot & Kalavasta (2020). *Klimaatneutrale energiescenario's 2050. Scenariostudie ten behoeve van de integrale infrastructuurverkenning 2030-2050*. Utrecht: Berenschot.

Bies, R.J. & Moag, J.S. (1986). Interactional justice: communication criteria of fairness, in: Lewicki R.J., et al. (red.), *Research on negotiations in organizations*, Greenwich CT: JAI Press, vol. 1, p. 43-55.

Boot, P. (2020). Serieuze discussie over kernenergie is nodig. *Energiepodium.nl*. Geraadpleegd op 12 juli 2022 via https://energiepodium.nl/artikel/serieuze-discussie-over-kernenergie-is-nodig

Brookins, D.G. (1982). Migration and retention of elements at the Oklo natural reactor. *Environmental Geology, 4*(3), 201-208.

Brouwer, A.S., Van den Broek, M., Zappa, W., Turkenburg, W.C. & Faaij, A. (2016). Least-cost options for integrating intermittent renewables in low-carbon power systems. Applied Energy, 161, 48-74.

Buongiorno, J., Parsons, J. & Dawson, K. (2018). *The Future of Nuclear Energy in a Carbon Constrained World*. MIT Energy Initiative.

CE Delft (2017). *Net voor de toekomst. Achtergrondstudie.* Delft: CE Delft.

Coalitieakkoord (2021). *Omzien naar elkaar, vooruitkijken naar de toekomst: coalitieakkoord 2021-2025 VVD, D66, CDA en ChristenUnie*.

Cometto, M. & Keppler, J. H. (2019). *The Costs of Decarbonisation – System Costs with High Shares of Nuclear and Renewables*. Nuclear Energy Agency (NEA).

Commissie-Van der Zande (2020). *Naar een Agenda en Platform Nucleaire Technologie en Straling*. Den Haag: Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming.

CoP Windenergie en landschapskwaliteit (2021). *Windturbines in levend landschap*. Wageningen: Wing.

COVRA. *Soorten radioactief afval*. Geraadpleegd op 16 mei 2022 via https://www.covra.nl/nl/radioactief-afval/soorten-radioactief-afval/

Cours des Comptes (2020). *La filière EPR*. Geraadpleegd op 8 juni 2022 via https://www.vie-publique.fr/rapport/275117-la-filiere-epr-cour-des-comptes

CRa – College van Rijksadviseurs (2019). *Via Parijs. Een ontwerpverkenning naar een klimaatneutraal Nederland*. Den Haag: CRa.

Cuppen, E., Brunsting, S., Pesch, U., Feenstra, Y. (2015). How stakeholder interactions can reduce space for moral considerations in decision making: a contested CCS project in the Netherlands. *Environment and Planning A*. Vol. 47, pp.1963-1978.

Cuppen, E., Pesch, U., Taanman, M., Remmerswaal, S. (2016). Normative diversity, conflict and transitions: shale gas in the Netherlands. *Technological Forecasting and Social Change*. Vol. 145, p.165-175.

Damasio, A. R. (2006). *Descartes' error*. Random House.

DBEIS - Department for Business, Energy and Industrial Strategy (2021). *Regulated Asset Base model for new nuclear*. Impact Assessment no. BEIS039(F)-21-ESNM.

Dekker, P., Goede, I. & Pligt, J. van der (2011). *De publieke opinie over kernenergie.* SCP-special; nr. 51). Sociaal Cultureel Planbureau. Geraadpleegd op 22 december 2021 via https://pure.uva.nl/ws/files/1492591/90576_335602.pdf

Dignum, M., Correljé, A., Cuppen, E., Pesch, U., Taebi, B. (2016). Contested Technologies and Design for Values: the Case of Shale Gas. *Science and Engineering Ethics*. Vol. 22, pp.1171-1191.

Duitsland Instituut (2019). *Opslag kernafval Duitse Asse kost miljarden extra.* Geraadpleegd op 10 mei 2022 via https://duitslandinstituut.nl/artikel/32871/opslag-kernafval-duitse-asse-kost-miljarden-extra

ECN (2007). Fact Finding Kernenergie. T.b.v. de SER-Commissie Toekomstige Energievoorziening. ECN-B–07-015. Geraadpleegd op 24 februari 2022 via https://www.laka.org/bijlagen/2008/03/factfinding.pdf

EL&I (2012). *Kernenergie.* Brief van de minister van Economische Zaken en van Landbouw en Innovatie aan de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal van 1 juni 2012. Tweede Kamer, vergaderjaar 2011-2012, 32 645, nr. 38.

ENCO (2020). *Possible role of nuclear in the Dutch energy mix in the future*. Rijksoverheid. Final report. ENCO-FR-(20)-13.

ERDO (2021). Association for Multinational Radioactive Waste Solutions. Brochure. Nieuwdorp: COVRA. Geraadpleegd op 22 juni 2022 via https://www.covra.nl/app/uploads/2021/01/ERDO_brochure.pdf

European Utility Requirements (2012). *European utility requirements for LWR nuclear power plants.* Révision D, volume 2. Lyon: EUR.

Europese Commissie (2021). *Commission delegated regulation (EU) amending Delegated Regulation (EU) 2021/2139 as regards economic activities in certain energy sectors and Delegated Regulation (EU) 2021/2178 as regards specific public disclosures for those economic activities.* Brussels: Official Journal of the European Union L 442/1.

EZ (1972). *Nota inzake het kernenergiebeleid.* Nota van de minister van Economische Zaken, aangeboden aan de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal op 30 maart 1972. Tweede Kamer, vergaderjaar 1971-1972, 11 761, nr. 2.

EZK (2022a). *Contouren Nationaal plan energiesysteem.* Brief van de minister voor Klimaat en Energie aan de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal van 10 juni 2022. Tweede Kamer, vergaderjaar 2021-2022, 32 813, nr. 1053.

EZK (2022b). *Brief over acties die zijn ingezet om uitvoering te geven aan het coalitieakkoord op het gebied van kernenergie*. Brief van de minister voor Klimaat en Energie aan de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal van 1 juli 2022. Kenmerk: DGKE-E / 22203735. Tweede Kamer, vergaderjaar 2021-2022, 32 645, nr. 98.

EZK (2022c). *Kabinetsinzet burgerfora bij klimaat- en energiebeleid*. Brief van de minister voor Klimaat en Energie aan de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal van 4 juli 2022. Kenmerk: DGKE-WO / 22231704. Tweede Kamer, vergaderjaar 2021-2022.

EZK & VROM (2010). *Energierapport 2008.* Brief van de ministers van Economische Zaken en van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal van 29 april 2010. Tweede Kamer, vergaderjaar 2009-2010, 31 510, nr. 40.

EZK, VROM, SZW, WVC & BZ (1985). *Regeringsstandpunt met betrekking tot Eindrapport van de Maatschappelijke Discussie Energiebeleid. Vestigingsplaatsen voor kerncentrales.* Brief van de ministers van Economische Zaken, van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, van Welzijn, Volksgezondheid en Cultuur en van Buitenlandse Zaken aan de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal van 11 januari 1985. Tweede Kamer, vergaderjaar 1984-1985, 18 830, nr. 1.

Fattah, A. (1995). Safeguards policy and strategies: An IAEA perspective for spent fuel in geological repositories. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency.

Fattahi, A., Sijm, J., Broek, M. van den, Martinez Gordon, R., Sanchez Dieguez, M. & Faaij, A. (2022). Analyzing the techno-economic role of nuclear power in the Dutch net-zero energy system transition. *Advances in Applied Energy*, volume 7, 100103, ISSN 2666-7924, https://doi.org/10.1016/j.adapen.2022.100103

Frijda, N. H. (1986). *The emotions*. Cambridge University Press.

Furtak, R. A. (2018). Emotional knowing: The role of embodied feelings in affective cognition. *Philosophia*, 46(3), 575-587.

Gardiner, S.M. (2003). The pure intergenerational problem. *The Monist, 86(3)*, p. 481-500.

Gamboa Palacios, S., Jansen, J. (2018). *Nuclear energy economics: An update to Fact Finding Nuclear Energy (ECN, 2007)*. Amsterdam: TNO.

GEA (2012). *Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future*. Cambridge (UK)/New York and Laxenburg, Austria: Cambridge University Press and the International Institute for Applied Systems Analysis.

GEA (2012). *Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future*. Cambridge (UK)/New York and Laxenburg, Austria: Cambridge University Press and the International Institute for Applied Systems Analysis.

Generation.Energy, Bright, Groen Licht (2021). *Ruimtelijke Strategie voor het Energiesysteem. Ruimtelijke en beleidsmatige gevolgen van keuzemogelijkheden rondom het energiesysteem*. Den Haag: Generation. Energy.

Hall, C. (2013). *The trouble with passion: Political theory beyond the reign of reason*. Routledge.

Hansson, S. O. (1989). Dimensions of risk. *Risk Analysis*, 9(1), 107-112.

Hansson, S. O. (2007). Risk and ethics: Three approaches. In Risk: *philosophical perspectives* (pp. 31-45). Routledge.

Hansson, S. O. (2012). An agenda for the ethics of risk. In *The ethics of technological risk* (pp. 25-38). Routledge.

Hansson, S. O. (2018). How to perform an ethical risk analysis (eRA). *Risk Analysis, 38*(9), 1820-1829.

Hintum, T. van (2019). *Determinants of trust in nuclear energy in the Netherlands*. Thesis. Executive Master of Science in Corporate Communication. Rotterdam School of Management, Erasmus University.

Hocks, B., Tolk, L., Wijnakker, R., Sijmons, D., Kupers, P., Spaandonk, T. van, Streng, G., Dobbelsteen, A. van den, Vermeulen, M., Willemse, B., Kuijers, T., Stremke, S., Oudes, D., (2018). *Ruimte in het klimaatakkoord*. Den Haag: Generation.Energy.

Hoge Gezondheidsraad (2016). *Nucleaire ongevallen, leefmilieu en gezondheid in het post-Fukushimatijdperk: Rampenplanning*. Advies nr. 9235. Brussel: eigen beheer.

Hoge Gezondheidsraad (2021). *Nucleair risico, duurzame ontwikkeling en energietransitie. HGR NR. 9576.* Brussel: Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu.

IAEA (1997). Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management (Information Circular). Vienna: International Atomic Energy Agency.

IEA (2020). *Projected Costs of Generating Electricity*. International Energy Agency.

IEA & NEA (2015). *Projected Costs of Generating Electricity*. Parijs: International Energy Agency (IEA) en Nuclear Energy Agency (NEA), OECD.

IPCC (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge (UK) and New York: Cambridge University Press.

IPCC (2022). *Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change. Summary for policy makers*. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report (AR6) of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC AR6 WG III. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/

Ipsos (2022a). *Inzicht in de opinievorming van Nederlanders over Kernenergie*. Rapport voor de Rli. Amsterdam: eigen beheer.

Ipsos (2022b). *Korte Publieksconsultatie Kernenergie*. Rapport voor de Rli. Amsterdam: eigen beheer.

IRENA (2020). *Power Generation Cost*. International Renewable Energy Agency.

Jenkins, J., Zhou, Z., Ponciroli, R., Vilim, R., Ganda, F., De Sisternes, F. & Botterud, A. (2018). The benefits of nuclear flexibility in power system operations with renewable energy. *Applied Energy*, *222*, 872–884. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.002

Jenkins, J., Zhou, Z., Ponciroli, R., Vilim, R., Ganda, F., De Sisternes, F. & Botterud, A. (2018). The benefits of nuclear flexibility in power system operations with renewable energy. *Applied Energy*, *222*, 872–884. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.002.

Jordan, A. & Turkenburg, W. (2020). *Literatuurstudie stand van zaken kernenergie.* Motie 903. Den Haag: Provincie Zuid-Holland.

JRC (2021). *Technical assessment of nuclear energy with respect to the 'do no significant harm' criteria of Regulation (EU) 2020/852 ('Taxonomy Regulation').* JRC Science for policy report. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Kan, X., Hedenus, F. & Reichenberg, L. (2020). The cost of a future low-carbon electricity system without nuclear power – the case of Sweden. *Energy*, *195*, 117015. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117015

Kerkhoven, J., Terwel, R. & Tiihonen, T. (2020). *Systeemeffecten van nucleaire centrales*. Berenschot & Kalavasta-rapportage in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

Kermisch, C. (2016). Specifying the concept of future generations for addressing issues related to high-level radioactive waste. *Science and engineering ethics, 22(6)*, p. 1797-1811.

Kingston, R. (2011). *Public passion: Rethinking the grounds for political justice* (Vol. 54). McGill-Queen's Press-MQUP.

Kloosterman, J.L. (2019). *Kernenergie in een CO2-vrije energiemix.* Delft: TU Delft.

Koppejan, D. (2008). *Children of the Sixties, Adults of the New Millennium? Een historische analyse van de houding van de milieubeweging in het kernenergiedebat*. Nijmegen: Radboud Universiteit.

Koelemeijer, R. & Strengers, B. (2020). *Nationale kosten van maatregelen gericht op het realiseren van doelstellingen uit het Energieakkoord 2013.* Planbureau voor de Leefomgeving.

KPMG (2021). *Marktconsultatie kernenergie.* Rapportage in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Amsterdam: KPMG Advisory N.V.

Krütli, P., Törnblom, K., Wallimann-Helmer, I. & Stauffacher, M. (2015). Distributive versus Procedural Justice in Nuclear Waste Repository Siting. In *The Ethics of Nuclear Energy: Risk, Justice and Democracy in the Post-Fukushima Era*, edited by B. Taebi and S. Roeser, 119–40. Cambridge: Cambridge University Press.

Kuijers, T., Hocks, B., Witte, J., Becchi, F., Wijnakker, R., Frijters, E., Zeif, S., Hugtenburg, J., Veul, J., Meeuwsen, A., Sijmons, D., Vermeulen, M., Willemse, B., Stremke, S., Oudes, D., Boxmeer, B. van, Knuivers, R., Vries, S. de. (2018). *Klimaat Energie Ruimte. Ruimtelijke verkenning energie en klimaat*. Den Haag: Posad Spatial Strategies.

Kuijers, T., Voorde, J. ten, Arens, E., Bechhi, F., Verberne, E. (2020). *Ruimtelijke uitwerking Energiescenario's*. Den Haag: Generation.Energy en PosadMaxwan.

Lazard.Com (2020). *Levelized Cost of Energy and of Storage 2020*. Geraadpleegd op 4 mei 2022, van https://www.lazard.com/perspective/lcoe2020

Lazarus, R.S. (1991). *Emotion and adaptation*. Oxford: Oxford University Press.

Lovering, J.R., Yip, A. & Nordhaus, T. (2016). Historical construction costs of global nuclear power reactors. *Energy Policy*, *91*, 371–382. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.01.011.

Metabolic, Copper8, Quintel Intelligence & Polaris Sustainability. (2021). *Een circulaire energietransitie: Verkenning naar de metaalvraag van het Nederlandse energiesysteem en kansen voor de industrie*. Geraadpleegd op 12 juli 2022 via https://www.metabolic.nl/publications/een-circulaire-energietransitie/

Milchram, C., Hillerbrand, R., Van de Kaa, G., Doorn, N. & Künneke, R. (2018). Energy justice and smart grid systems: Evidence from the Netherlands and the United Kingdom. *Applied Energy* 229: 1244-1259.

NAO (2017). *Hinkley Point C*. London: National Audit Office.

Nationaal Kiezersonderzoek (2012). *Tabel – 2013-nko-mw*. Geraadpleegd op 6 mei 2022. Zie: https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2013/05/resultaten-nationaal-kiezersonderzoek-2012

NEA (2016). *Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants*. Paris: Nuclear Energy Agency.

NEA (2020). *Unlocking Reductions in the Construction Costs of Nuclear*. Paris: Nuclear Energy Agency.

NEA-OECD (1995). *The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal of Long-Lived Radioactive Wastes: A Collective Opinion of the Radioactive Waste Management Committee of the Nuclear Energy Agency*. Paris: Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development.

Netbeheer Nederland (2017). *Net voor de toekomst. Een vooruitblik op de energievoorziening in 2050*. Den Haag: Netbeheer Nederland.

Nieuwsuur (2018). *Dijkhoff: klimaatdoelen onhaalbaar zonder nieuwe kerncentrales.* Geraadpleegd op 24 februari 2022 via https://nos.nl/nieuwsuur/artikel/2258074-dijkhoff-klimaatdoelen-onhaalbaar-zonder-nieuwe-kerncentrales

Nihlén Fahlquist, J. & Roeser, S. (2015). Nuclear energy, responsible risk communication and moral emotions: a three level framework. *Journal of Risk Research*, 18(3), 333-346.

NIRAS (2018). *Vierde rapport over de inventaris van de nucleaire passiva van NIRAS aan haar voogdij (periode 2013–2017). Evaluatie van het bestaan, de toereikendheid en de beschikbaarheid van de provisies bestemd om de geraamde nucleaire kosten te dekken met betrekking tot de nucleaire installaties en de sites die radioactieve stoffen bevatten, behalve de kosten van het beheer van het toekomstige exploitatieafval.* NIROND 2017-01 N. Brussel: eigen beheer.

Nussbaum, M.C. (2001). *Upheavals of Thought: The Intelligence of Emotions*. Cambridge (UK): Cambridge University Press.

Nussbaum, M.C. (2013). *Political Emotions. Why love matters for justice*. Cambridge (MA): Harvard University Press.

OECD NEA (2011). *Technical and Economic Aspects of Load Following with Nuclear Power Plants.* Paris: OECD Nuclear Energy Agency.

OECD NEA (2012). *Nuclear Energy and Renewables: System Effects in Low-carbon Electricity Systems.* NEA No. 7056. Paris: OECD Nuclear Energy Agency.

OECD NEA (2015). *Fostering a Durable Relationship Between a Waste Management Facility and its Host Community.* Paris: OECD Nuclear Energy Agency.

OECD NEA & IAEA (2020). *Uranium 2020: Resources, Production and Demand*. NEA No. 7551. Paris: OECD Nuclear Energy Agency.

OPERA (2019). *Van afval naar berging. Tijd voor een verantwoordelijkheid eindberging en radioactief afval in Nederland: uitdagingen en perspectieven.* OnderzoeksProgramma Eindberging Radioactief Afval. Geraadpleegd op 22 december 2021 via https://www.covra.nl/app/uploads/2019/08/Adviesgroep-Opera-notitie.pdf

OVV (2018). *Samenwerken aan nucleaire veiligheid. Een onderzoek naar de samenwerking tussen Nederland, België en Duitsland inzake de kerncentrales in de grensgebieden.* Den Haag: Onderzoeksraad voor Veiligheid. Geraadpleegd op 24 februari 2022 via https://www.onderzoeksraad.nl/nl/page/4341/samenwerken-aan-nucleaire-veiligheid

OVV (2022). *Aanpak coronacrisis. Deel 1: tot september 2020.* Den Haag: Onderzoeksraad voor Veiligheid.

Pattupara, R. & Kannan, R. (2016). Alternative low-carbon electricity pathways in Switzerland and it's neighbouring countries under a nuclear phase-out scenario. *Applied Energy*, *172*, 152-168. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.084.

PBL (2021). *Klimaat- en energieverkenning 2021*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Perlaviciute, G. (2019). Public participation in decision making on energy projects: When does it lead to better and more acceptable energy projects? In: Squintani, L., Darpö, J., Lavrysen, L. & Stoll, P-T. (eds.). *Managing facts and feelings in environmental governance*. Edward Elgar Publishing, p. 10-21 12 p. (New Horizons in Environmental and Energy Law series).

Perlaviciute, G., Görsch, R., Timmerman, M., Steg, L. & Vrieling, L. (2021). Values in the backyard: The relationship between people's values and their evaluations of a real, nearby energy project. In: *Environmental Research Communications* 3(10), [105004]. https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac25d0

Pesch, U., Correljé, A., Cuppen, E. & Taebi, B. (2017). Energy justice and controversies: Formal and informal assessment in energy projects. *Energy Policy, 109*, p. 825-834.

Pfenninger, S. & Keirstead, J. (2015). Renewables, nuclear, or fossil fuels? Scenarios for Great Britain's power system considering costs, emissions and energy security. *Applied Energy*, *152*, 83-93. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.102.

PZC (2012). *Delta ziet voorlopig af van bouw tweede kerncentrale.* Geraadpleegd op 24 februari 2022 via https://www.pzc.nl/overig/delta-ziet-voorlopig-af-van-bouw-tweede-kerncentrale~a1291f34/

Rauch, J. (2021). *Media analysis nuclear energy.* Uitgevoerd in opdracht van de Rli. Amsterdam: Vrije Universiteit Amsterdam. Department of Spatial Economics.

Rathenau Instituut (2021). *Dossier Advies Besluitvormingsproces toekomst radioactief afval.* Geraadpleegd op 10 mei 2022 via https://www.rathenau.nl/nl/dossier-advies-besluitvormingsproces-toekomst-radioactief-afval

RIVM (2016). *Risicocommunicatie over stralingsongevallen en de verspreiding van jodiumtabletten.* Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

RIVM (2018). *Publieksperceptie van Stralingsrisico's: Betekenis voor Risicocommunicatie.* Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

RIVM (2020). *Afweging van voor- en nadelen van beschermende maatregelen bij kernongevallen. Een verkenning van mogelijkheden voor optimalisatie.* Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

RIVM (2022). *De zorg voor morgen begint vandaag. Rekenen en modelleren.* Geraadpleegd op 24 februari 2022 via https://www.rivm.nl/straling-en-radioactiviteit/stralingsincidenten-en-kernongevallen/middelen-en-expertise/rekenen-en-modelleren

Rli (2014). *Risico's gewaardeerd, naar een transparant en adaptief risicobeleid*. Den Haag: Raad voor de leefomgeving en infrastructuur.

Rli (2021). *Waterstof: de ontbrekende schakel.* Digitale uitgave. Den Haag: Raad voor de leefomgeving en infrastructuur.

Roberts, R. C. (2003). *Emotions: An essay in aid of moral psychology*. Cambridge University Press.

Roeser, S. (2006). The role of emotions in judging the moral acceptability of risks. *Safety Science*. Vol. 44. Pp. 689-700.

Roeser, S. (2007). Ethical intuitions about risks. *Safety Science Monitor*. Vol. 11. Pp. 1-13.

Roeser, S. (2011). Nuclear energy, risk, and emotions. *Philosophy & Technology*, 24(2), p.197-201.

Roeser, S. (2012), 'Risk Communication, Moral Emotions and Climate Change', *Risk Analysis* 32, 1034-1040

Roeser, S. (2016). *How art can contribute to ethical reflection on risky technologies*. Amsterdam: Amsterdam University Press.

Roeser, S. (2018). *Risk, Technology, and Moral Emotions*. New York: Routledge.

Roeser, S., Hillerbrand, R., Sandin, P., Peterson, M. (2012). *Handbook of risk theory: Epistemology, decision theory, ethics, and social implications of risk*. Springer.

Roeser, S., Pesch, U. (2016). An emotional deliberation approach to risk. *Science, Technology & Human Values, 41*(2), 274-297.

Schalij, R. & Van der Kloot Meijburg, M. (2020). *De rol van kernenergie in het Nederlandse CO2-neutrale energiesysteem. De ontwikkeling naar een CO2 neutrale energie- en grondstoffenvoorziening in 2050.* Utrecht: eRisk Group.

Scheepers, M. (2022). *Een klimaatneutraal energiesysteem voor Nederland – Nieuwe verkenning toont grenzen mogelijkheden*. Whitepaper. Amsterdam: TNO.

Scheepers, M., Faaij, A. & Brink, R. van den (2020). *Scenario's voor Klimaatneutraal Energiesysteem*. Whitepaper, 2020. Amsterdam: TNO.

Scheepers, M.J.J., Seebregts, A.J. & Lako, P. (2007). *Fact Finding Kernenergie t.b.v. de SER-Commissie Toekomstige Energievoorziening.* ECN-B–07-015. Petten: Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN).

Scherer, K. R. (1993). Studying the emotion-antecedent appraisal process: An expert system approach. *Cognition & Emotion, 7*(3-4), 325-355.

Schneider, M. & Froggatt, A. (2018). *The World Nuclear Industry Status Report 2018.* Paris/London: Mycle Schneider.

Schneider, M. & Froggatt, A. (2019). *The World Nuclear Industry Status Report 2019*. Paris/Budapest: Mycle Schneider.

Schneider, M. & Froggatt, A. (2021). *The World Nuclear Industry Status Report 2021*. Paris: Mycle Schneider.

Sepulveda, N.A., Jenkins, J. D., De Sisternes, F. J. & Lester, R.K. (2018). The Role of Firm Low-Carbon Electricity Resources in Deep Decarbonization of Power Generation. *Joule*, *2*(11), 2403–2420. https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.08.006.

SER (2008). *Kernenergie en een duurzame energievoorziening.* Den Haag: Sociaal-Economische Raad.

Shrader-Frechette, K. (1991). *Risk and rationality*. Berkeley: University of California Press.

Sijmons, D., FABRICations, H+N+S Landschapsarchitecten, NRGlab/Wageningen Universiteit, POSAD spatial strategies, Studio Marco Vermeulen, Vereniging Deltametropool (2017). *Energie en Ruimte: Een nationaal perspectief*. Rotterdam: Vereniging Deltametropool.

Staiger, J., Cvetkovich, A., Reynolds, A. (eds.) (2010). *Political Emotions. New Agendas in Communication*. New York/London: Routledge.

Stamford, L. & Azapagic, A. (2012). Life cycle sustainability assessment of electricity options for the UK. *International Journal of Energy Research, 36(14)*, p. 1263-1290.

Steg, L., Perlaviciute, G., Sovacool, B. K., Bonaiuto, M., Diekmann, A., Filippini, M., Hindriks, F., Bergstad, C. J., Matthies, E., Matti, S., Mulder, M., Nilsson, A., Pahl, S., Roggenkamp, M., Schuitema, G., Stern, P. C., Tavoni, M., Thøgersen, J. & Woerdman, E. (2021). A Research Agenda to Better Understand the Human Dimensions of Energy Transitions. *Frontiers in Psychology*. 12, p. 1-11 11 p., 672776.

Steinert, S., Roeser, S. (2020). Emotions, values and technology: illuminating the blind spots. *Journal of Responsible Innovation*. 7(3), p. 298-319.

STUK (2019). *Olkiluoto 3 – FSAR Review Report. 43/G42242/2016.* Laskut, Finland: Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK). Geraadpleegd op 24 februari 2022 via https://www.stuk.fi/documents/88234/148256/Tarkastusraportti+43-G42242-2016+OL3+FSAR+Review+Report.pdf/d139dc56-3e34-2da8-3f92-7124da2e0094?t=15675

T&A Survey (2010). *Rapportage van onderzoek aan eigenschappen van de Klei van Boom die relevant zijn bij de beschouwing van dit laagpakket voor opslag van kernafval. Rapportnummer: 1010-OEM2274.* Amsterdam: T&A Survey BV. In opdracht van Stichting Greenpeace Nederland.

Taebi, B. (2021). Should We Deploy Nuclear Energy? How Intergenerational Ethics Could Help to Escape the Dichotomy. In: Gardiner, S. (ed.). *The Oxford Handbook of Intergenerational Ethics*. Oxford: Oxford University Press.

Taebi, B. & Kadak, A.C. (2010). Intergenerational considerations affecting the future of nuclear power: Equity as a framework for assessing fuel cycles. Risk Analysis: An International Journal, 30(9), 1341-1362.

Taebi, B., Kloosterman, J.L. (2008). To Recycle or Not to Recycle? An Intergenerational Approach to Nuclear Fuel Cycles. *Science and Engineering Ethics,* 14 (2): 177–200.

Taebi, B., Roeser, S. (eds.) (2015). *The Ethics of Nuclear Energy*. Cambridge: Cambridge University Press.

Taebi, B., Roeser, S., & Van de Poel, I. (2012). The ethics of nuclear power: Social experiments, intergenerational justice, and emotions. *Energy Policy* 51, 202-206.

TenneT (2020). *Monitoring leveringszekerheid, 2020.* Rapport ESP-MA 2021-018. Arnhem: TenneT TSO B.V.

TenneT (2021). *Monitoring leveringszekerheid, 2021.* Rapport ESP-MA 2021-018. Arnhem: TenneT TSO B.V.

Thibaut, J.W. & Walker, L. (1975). *Procedural justice: A psychological analysis.* Hillsdale: L. Erlbaum Associates.

Topsector energie (2018). *Naar een flexibel en robuust energiesysteem.* Utrecht: eigen beheer.

Tweede Kamer (2018). *Vragen van de leden Dijkhoff en Yesilgöz-Zegerius aan de Minister van Economische Zaken en Klimaat over et bericht 'Hoe minder kernenergie, hoe groter de opwarming.'* Tweede Kamer der Staten-Generaal, vergaderjaar 2018-2019, 2018Z20133.

Tweede Kamer (2019). *Regels voor het produceren van elektriciteit met behulp van kolen (Wet verbod op kolen bij elektriciteitsproductie).* Motie van de leden Yesilgöz-Zegerius/Mulder. Voorgesteld 26 juni 2019. Tweede Kamer der Staten-Generaal, vergaderjaar 2018-2019, 35 167, nr. 15.

Tweede Kamer (2020a). *Verslag van een notaoverleg. Kabinetsaanpak Klimaatbeleid. Vastgesteld 4 november 2020.* Tweede Kamer, vergaderjaar 2020-2021, 32 813, nr. 611.

Tweede Kamer (2020b). *Nota over de toestand van 's Rijks Financiën.* Motie van het lid Dijkhoff c.s. inzake marktconsultatie kernenergie. Voorgesteld 17 september 2020. Tweede Kamer der Staten-Generaal, vergaderjaar 2020-2021, 35 570, nr. 11.

Tweede Kamer (2021a). *Wijziging van de Tijdelijke wet Groningen in verband met de versterking van gebouwen in de provincie Groningen. Motie Beckerman, Nijboer, Kröger, 4 maart 2021 gericht op opheffen voorkeurslocatie kernenergie Eemshaven*. Tweede Kamer, vergaderjaar 2020–2021, 4 maart 2021, 35 603, nr. 51.

Tweede Kamer (2021b). *Wijziging van de Tijdelijke wet Groningen in verband met de versterking van gebouwen in de provincie Groningen. Motie Sienot en Mulder gericht op het niet realiseren van een kerncentrale in de provincie Groningen*. Tweede Kamer, vergaderjaar 2020–2021, 4 maart 2021, 35 603, nr. 59.

Tweede Kamer (2021c). *Kamerbrief Voortgang uitvoering over kernenergie als onderdeel van de taxonomie laten zijn (1 oktober 2021)*. DGKE-E / 21238983.

UNECE (2021). *Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options*. Geneve/New York: United Nations Economic Commission for Europe.

Uylenburg, R., Vogelezang-Stoute, E.M., Neerhof, R. & Grijp, N.M. van der (2006). *Evaluatie kernenergiewet.* Structurele Evaluatie Milieuwetgeving (STEM).

Veenstra, A., Li, X. & Mulder, M. (2022). Economic value of nuclear power in future energy systems: Required subsidy in various scenarios regarding future renewable generation and electricity demand. *(CEER – Policy Papers; Vol. 12). Centre for Energy Economics Research (CEER)*.

Velthoven, B. C. J. van (2011). Over het relatieve belang van een eerlijke procedure; procedurele en distributieve rechtvaardigheid in Nederland. *Rechtsgeleerd Magazijn Themis, 172*(1), 7-16.

Verhoef, E., Neeft, E., Chapman, N., McComble, C. (2017). *OPERA Safety Case*. Nieuwdorp: COVRA N.V.

Vossen, M. (2019). Het broze draagvlak bij 'links' voor kernenergie. Elsevier Weekblad, 24 april, https://www.elsevierweekblad.nl/nederland/achtergrond/2019/04/kernenergie-het-broze-draagvlak-bij-links-170204w/, zie ook: https://mirjamvossen.nl/kernenergie-het-broze-draagvlak-bij-links/

Wieclawska. S. & Gavrilova, G. (2021). *Op weg naar een groene toekomst. Deel1: Hoe grondstoffen schaarste onze ambities voor groene waterstof en de energietransitie als geheel kan belemmeren*. Den Haag: TNO.

World Nuclear News (2007). *Construction of Flamanville EPR begins*. Geraadpleegd op 8 juni 2022 via https://web.archive.org/web/20141014020153/http://www.world-nuclear-news.org/newsarticle.aspx?id=14496

WRR (1994). *Duurzame risico's: een blijvend gegeven*. Rapport 44. Den Haag: Sdu Uitgeverij.

Zappa, W., Junginger, M. & Van den Broek, M. (2019). Is a 100% renewable European power system feasible by 2050? *Applied Energy*, *233-234*, 1027-1050. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.109.

Zuijlen, B. van, Zappa, W., Turkenburg, W., Schrier, G. van der, & Broek, M. van den (2019). Cost-optimal reliable power generation in a deep decarbonisation future. *Applied Energy,* 253, 113587.

Zwaan, B. van der (2019). *Kernenergie in de praktijk.* Factsheet. Amsterdam: TNO.

BIJLAGEN

TOTSTANDKOMING ADVIES

Samenstelling raadscommissie

Drs. E.M.J. (Emmy) Meijers, raadslid Rli en commissievoorzitter

Prof. dr. A.P.C. (André) Faaij, wetenschappelijk directeur TNO-energietransitie bij de Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO) alsmede hoogleraar Energiesysteemanalyse Universiteit Utrecht & Rijksuniversiteit Groningen

Prof. dr. S. (Sabine) Roeser, hoogleraar Ethiek, TU Delft

Prof. dr. ir. B. (Behnam) Taebi, hoogleraar Energie- en Klimaatethiek alsmede Wetenschappelijk Directeur van het Safety & Security Institute, TU Delft

Prof. dr. E.T. (Erik) Verhoef, raadslid Rli

Adviseurs Rli-raadscommissie Kernenergie

Ir. J. (Jan) Haverkamp, Greenpeace Nederland alsmede WISE Nederland

Ir. A.S. (Ad) Louter, URENCO Nederland (tot juni 2022)

Prof. dr. W.C. (Wim) Turkenburg, Energy and Environmental Consultancy / Universiteit Utrecht

Samenstelling projectteam

Dr. B. (Bas) Waterhout, projectleider

Dr. M. (Menno) van Benthem, senior consultant natural resources Ecorys, extern projectmedewerker vanaf 31 januari 2022

G. (Gillian) Graven MSc, projectmedewerker, rijkstrainee, vanaf 1 maart 2021

Drs. K. (Kurt) Kreulen, consultant natural resources Ecorys, extern projectmedewerker, vanaf 31 januari 2022

Drs. ing. J. (Joris) Stok, BMC, extern projectmedewerker vanaf 1 oktober 2021

M. (Mathijs) Veenkant MSc, projectmedewerker

S.J. (Stefan) Vaupel Kleijn, project-assistent

Geraadpleegde personen en instanties

Sanne Akerboom, Universiteit Utrecht

Maaike van Asten, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, DG Klimaat en Energie

Mathijs Beckers, Stichting e-Lise

Kornelis Blok, TU Delft

Jan Boelen, COVRA

Pieter Boot, Planbureau voor de Leefomgeving / Clingendael International Energy Programme

Mark van Bourgondiën, Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming

Hubert Boxman, Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming

Gerard Brinkman, WISE Nederland

Heleen de Coninck, TU Eindhoven

Maaike Daanen, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, DG Klimaat en Energie

Floriske Deutman, Stichting Energietransitie en Kernenergie

Rinie van Est, Rathenau Instituut

Sandor Gaastra, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, DG Klimaat en Energie

Lennert Goemans, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, DG Klimaat en Energie

John Grin, Universiteit van Amsterdam

Geert-Jan de Haas, NRG Research & Innovation

Jan van den Heuvel, Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming

Bram-Paul Jobse, EPZ

Jan-Leen Kloosterman, Reactorinstituut Delft

Maarten van der Kloot Meijburg, eRisk Group

Erik Laes, TU Eindhoven

Henk Lindner, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, DG Milieu en Internationaal

Wouter van Lonkhuyzen, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, DG Milieu en Internationaal

Daniël Meijers, Stichting LAKA, Documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie

Bert den Ouden, Berenschot

Lars Roobol, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

Frans Rooijers, CE Delft

Peer de Rijk, Milieudefensie

Martijn van der Schaaf, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

Louise van Schaik, Clingendael Instituut

Ruut Schalij, eRisk Group

Ronald Schram, NRG Research & Innovation

Herman Schreurs, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Miranda Sebelon, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Aad Sedee, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, DG Klimaat en Energie
Joachim Schellekens, Berenschot
Erik Sieders, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, DG Klimaat en Energie
Luuk van der Steegen, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, DG Klimaat en Energie
Jasper Tomas, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Chris Twenhofel, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Marije Veer, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, DG Klimaat en Energie
George Verberg, Stichting Energietransitie en Kernenergie
Ewoud Verhoef, COVRA
Joris van der Voet, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, DG Milieu en Internationaal
Bert Wolterbeek, Reactorinstituut Delft
Carlo Wolters, EPZ
Gijs Zwartsenberg, Stichting e-Lise

Rli-expertbijeenkomst Energiesysteembeelden op 28 mei 2021
Machteld van den Broek, Rijksuniversiteit Groningen
André Faaij, Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO) / Rijksuniversiteit Groningen / Universiteit Utrecht
Richard van de Sanden, Technische Universiteit Eindhoven

Werkbezoek COVRA en kerncentrale Borssele op 9 september 2021
Jan Boelen, COVRA
Bram-Paul Jobse, EPZ
Ewoud Verhoef, COVRA
Carlo Wolters, EPZ

Rli-startbijeenkomst Kernenergie op 28 september 2021
Sannah van Balen, The Empowered Atom
Patrick Bauduin, De Atoomalliantie
Jan Peter Bergen, TU Delft
Anne Bergmans, Universiteit Antwerpen
Jan Boelen, COVRA
Mario van der Borst, KIVI
Alex Brenninkmeijer, Adviescommissie Burgerbetrokkenheid bij Klimaatbeleid
Gerard Brinkman, WISE
Marco Brugmans, Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming
Liesbeth Claassen, RIVM
Lucas Capellen, CE Delft
Dennis Clement, NVDE
Eefje Cuppen, Universiteit Leiden
Marc Davidson, Radboud Universiteit
Gilbert Eggermont, Vrije Universiteit Brussel (em.)
Simon Friederich, Rijksuniversiteit Groningen
Hans Grünfeld, VEMW
Jan Haverkamp, Greenpeace Nederland, WISE Nederland

Sjoerd van Heck, Ipsos
Rob Huibers, Auteur en fotograaf
Antje Jordan, Provincie Zuid-Holland
John Kerkhoven, Kalavasta
Theo Klomberg, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, DG Milieu en Internationaal
Jan-Leen Kloosterman, Reactorinstituut Delft
Rudy Konings, Joint Research Centre Petten alsmede TU Delft
Gert-Jan Kramer, Universiteit Utrecht
Simone Krouwer, Ipsos
Erik Laes, TU Eindhoven
Vincent Lagendijk, Rathenau Instituut
Gert van der Lee, TenneT
Pieter Leroy, Radboud Universiteit
Marc Londo, Voortgangsoverleg Klimaatakkoord
Ad Louter, Urenco
Rob Martens, Netbeheer Nederland
Jasper Meijering, Clingendael Instituut
Daniël Meijers, Stichting LAKA
Peter Melis, gespreksleider
Aniek Moonen, Jonge Klimaatbeweging
Olguita Oudendijk, Stichting Ecomodernisme
Marc Roels, KPMG
Richard van de Sanden, TU Eindhoven
Martijn van der Schaaf, RIVM
Ruut Schalij, eRisk
Martin Scheepers, TNO
Joachim Schellekens, Berenschot
Hans Schoenmakers, Uniper
Werner Schouten, Jonge Klimaatbeweging
Ronald Schram, NRG Research & Innovation
Erik Sieders, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, DG Klimaat en Energie
Kees Jan Steenhoek, Urenco
Luc van der Stegen, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, kerndepartement
Wim Turkenburg, Energy and Environmental Consultancy / Universiteit Utrecht
George Verberg, Stichting Energietransitie en Kernenergie
Frank Verhagen, PZEM N.V.
André Versteegh, Kernvisie
Liesbeth Voest, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, DG Klimaat en Energie
Arjan van Voorden, Stedin
Annick de Vries, WRR
Carlo Wolters, EPZ
William Zappa, TenneT

Rli-expertbijeenkomst Duurzaamheid op 27 oktober 2021
Jan Boelen, COVRA
Gerard Brinkman, WISE
Marc Davidson, Radboud Universiteit

Romy Dekker, Rathenau Instituut
Esin Erdoğan, Jonge Klimaatbeweging
Simon Friederich, Rijksuniversiteit Groningen
Jan Haverkamp, Greenpeace Nederland, WISE Nederland
Michiel Hoogmoed, MareVisie
Erik Laes, TU Eindhoven
Koo van der Wal, Erasmus Universiteit

Rli-expertbijeenkomst Veiligheid op 5 november 2021
Rick Bulk, ANVS
Peter Buijs, NVMP Artsen voor vrede
Jan van Cappelle, EPZ
Jan Haverkamp, Greenpeace Nederland, WISE Nederland
Tom Jansen, RIVM
Ad Louter, Urenco
Lars Roobol, RIVM
Peer de Rijk, Milieudefensie
Pier Stapersma, Clingendael Instituut
Wim Turkenburg, Energy and Environmental Consultancy / Universiteit Utrecht

Rli-expertbijeenkomst Rechtvaardigheid op 10 november 2021
Romy Dekker, Rathenau Instituut
Esin Erdoğan, Jonge Klimaatbeweging
Jan Haverkamp, Greenpeace Nederland, WISE Nederland
Kristel Lammers, Nationaal Programma Regionale Energie Strategieën
Pieter Leroy, Radboud Universiteit
Goda Perlaviciute, Rijksuniversiteit Groningen
Wim Turkenburg, Energy and Environmental Consultancy / Universiteit Utrecht

Rli-expertbijeenkomst Energiezekerheid, welvaart en betaalbaarheid op 17 november 2021
Machteld van den Broek, RUG
Jan Haverkamp, Greenpeace Nederland, WISE Nederland
Bram-Paul Jobse, EPZ
Maarten van der Kloot Meijburg, eRisk Group
Ad Louter, Urenco
Marc Roels, KPMG
Frans Rooijers, CE Delft
Martin Scheepers, TNO
Hans Schoenmakers, Uniper
Pier Stapersma, Clingendael International Energy Programme
Wim Turkenburg, Energy and Environmental Consultancy / Universiteit Utrecht
George Verberg, Stichting Energietransitie en Kernenergie

Ambtelijke contactgroep
Eva van Ginneken, Ministerie van Buitenlandse Zaken, DG Politieke Zaken, Security Policy Department
Theo Klomberg, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, DG Milieu en Internationaal

Wouter van Lonkhuyzen, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, DG Milieu en Internationaal
Hedwig Sleiderink, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, DG Klimaat en Energie
Frank Stevens Abbe, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, DG Bestuur, Ruimte en Wonen
Marije Veer, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, DG Klimaat en Energie
Liesbeth Voest, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, DG Klimaat en Energie

Externe referenten
Pieter Boot, Planbureau voor de Leefomgeving / Clingendael International Energy Programme
Aniek Moonen, Jonge Klimaatbeweging
Ed Nijpels, Voortgangsoverleg Klimaatakkoord / Sociaal Economische Raad

OVERZICHT PUBLICATIES

2022

Onderdak bieden: sturen op prestaties van woningcorporaties. Mei 2022 (Rli 2022/03)

Jongeren en het zorgen voor hun morgen: dromen over Holland. Mei 2022 (Inspiratiebundel veertien adviesraden)

Adviezen in beeld. April 2022 (Rli 2022/02)

Natuurinclusief Nederland: natuur overal en voor iedereen. Maart 2022 (Rli 2022/01)

2021

Boeren met toekomst. December 2021 (Rli 2021/06)

Geef richting, maak ruimte! November 2021 (Rli 2021/05)

Investeren in duurzame groei. Oktober 2021 (Rli 2021/04)

Naar een integraal bereikbaarheidsbeleid. Februari 2021 (Rli 2021/03)

Digitaal duurzaam. Februari 2021 (Rli 2021/02)

Waterstof: de ontbrekende schakel. Januari 2021 (Rli 2021/01)

2020

Toegang tot de Stad: hoe publieke voorzieningen, wonen en vervoer de sleutel voor burgers vormen. September 2020 (Rli 2020/06)

Stop bodemdaling in veenweidegebieden: het Groene Hart als voorbeeld. September 2020 (Rli 2020/05)

Groen uit de crisis. Juli 2020 (Rli 2020/04)

Verzet de wissel: naar beter internationaal reizigersvervoer per trein. Juli 2020 (Rli 2020/03)

De bodem bereikt?! Juni 2020 (Rli 2020/02)

Greep op gevaarlijke stoffen. Februari 2020 (Rli 2020/01)

2019

Naar een duurzame economie: overheidssturing op transities. November 2019 (Rli 2019/05)

Waardevol toerisme: onze leefomgeving verdient het. September 2019 (Rli 2019/04)

Europees landbouwbeleid: inzetten op kringlooplandbouw. Mei 2019 (Rli 2019/03)

Luchtvaartbeleid: een nieuwe aanvliegroute. April 2019 (Rli 2019/02)

De som der delen: verkenning samenvallende opgaven in de regio. Maart 2019 (Rli 2019/01)

2018

Warm aanbevolen: CO_2-arme verwarming van de gebouwde omgeving. December 2018 (Rli 2018/07)

Nationale omgevingsvisie: lakmoesproef voor de Omgevingswet. November 2018 (Rli 2018/06)

Versnellen woningbouwproductie, met behoud van kwaliteit. Juni 2018 (Rli 2018/05)

Van B naar Anders: investeren in mobiliteit voor de toekomst. Mei 2018 (Rli 2018/04)

De stad als gezonde habitat: gezondheidswinst door omgevingsbeleid. April 2018 (Rli 2018/03)

Duurzaam en gezond: samen naar een houdbaar voedselsysteem. Maart 2018 (Rli 2018/02)

Stroomvoorziening onder digitale spanning. Februari 2018 (Rli 2018/01)

Colofon

Tekstredactie
Saskia van As, Tekstkantoor Van As, Amsterdam

Infographics
Frédérik Ruys, Vizualism, Utrecht (pagina 28, 54)

Fotoverantwoording
Cover: Peter Hilz / ANP / Hollandse Hoogte
Page 5: Shutterstock
Page 10: Gary Waters / ANP / Hollandse Hoogte
Page 15: Nationaal Archief
Page 25: MIT Sloan Management Review
Page 29: Shutterstock
Page 37: Sander Koning / ANP / Hollandse Hoogte
Page 53: Lex van Lieshout / ANP / Hollandse Hoogte
Page 60: Berlinda van Dam / ANP / Hollandse Hoogte

Grafisch ontwerp
Jenneke Drupsteen Grafische vormgeving, Den Haag

Publicatie Rli 2022/04
September 2022

Vertaling
Dit advies is vertaald in het Engels en te downloaden via http://en.rli.nl

Bronvermelding
Raad voor de leefomgeving en infrastructuur (2022). Splijtstof? Besluiten over kernenergie vanuit waarden. Den Haag. Digitale uitgave

ISBN 978-90-77323-34-2
NUR740