



Kernenergie  
**Stand der techniek,  
ruimtelijke inpassing  
en de organisatie van  
besluitvorming**

[smartport.nl](http://smartport.nl)

*Een verkenning*



---

SmartPort is een samenwerkingsverband van het Havenbedrijf Rotterdam, Deltalinqs, de gemeente Rotterdam, TNO, Marin, Deltares, de Erasmus Universiteit Rotterdam en de Technische Universiteit Delft. Door inspireren, initiëren en allianties aangaan, stimuleert en financiert SmartPort wetenschappelijk onderzoek voor en door de bedrijven in de haven van Rotterdam, in samenwerking met kennisinstellingen. Het gaat om kennis ontwikkelen, delen en

gebruiken vanuit één collectieve ambitie. De transitie naar de beste en slimste haven kan alleen slagen wanneer alle betrokken partijen gezamenlijk oplossingen aandragen voor veranderingen in de toekomst. Wij zijn ervan overtuigd dat de grootste impact bij ontwikkeling van kennis is gebaseerd op specifieke vragen uit de markt en dat de beste resultaten worden bereikt door alles te halen uit de samenwerking van handel en industrie, overheden en wetenschap.

---

[www.smartport.nl](http://www.smartport.nl) | [LinkedIn: smartportrdam](#) | [Twitter: SmartPortRdam](#) | [Instagram: smartportrdam](#)

---

#### SMARTPORT PARTNERS



#### WITH CONTRIBUTION





KERNENERGIE  
STAND DER TECHNIEK, RUIMTELIJKE INPASSING  
EN DE ORGANISATIE VAN BESLUITVORMING

*Een verkenning*

Auteurs:

Prof. dr. H. Geerlings | Erasmus School of Social and Behavioral Sciences  
Dr. B. Kuipers | Erasmus Center for Urban, Port and Transport Economics





# Voorwoord

Nederland staat aan de vooravond van een grote transitie die CO<sub>2</sub>-emissies moet terugdringen. Er liggen inmiddels indringende adviezen van het IPCC over de noodzaak tot het tegengaan van klimaatverandering. Daarop voortbouwend onderschrijven beeldbepalende nationale en internationale organisaties deze noodzaak (w.o. de Nederlandse Bank, CPB, CBS, Wereldbank en IMF). Het Internationaal Energieagentschap (IEA), jarenlang de spreekbuis van de energiesector, komt zelfs met het advies om het zoeken en exploreren van olie en gas direct te stoppen. Ook de Europese Commissie onderstreept in haar Green Deal uit 2019 dat klimaatverandering een existentiële bedreiging vormt voor alle burgers in Europa en de wereld. Recentelijk verhoogde de EU de doelstelling naar 55% voor 2030 in het 'Fit voor 55' pakket. Eveneens in 2019 heeft de Nederlandse regering haar Klimaatakkoord gepresenteerd. Doel van het Klimaatakkoord is een broeikasgasemissiereductie op nationale schaal te realiseren van 49% in 2030 ten opzichte van 1990 – wat gelijk staat aan 116 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten – en 95% in 2050 (PBL, 2018). In het Klimaatakkoord zijn maatregelen aangekondigd voor onder meer de sectoren energie (elektriciteit), industrie, landbouw, gebouwde omgeving en mobiliteit. Hoe willen we deze doelen bereiken? Vanuit een mondiale scope geven zowel het IPCC als de IEA aan dat kernenergie een onderdeel kan zijn van de oplossing.

De potenties van kernenergie lijken nog niet geheel te zijn uitgekristalliseerd. Dit onderzoek is een verkenning van de huidige stand van zaken rond kernenergie en de beleidsontwikkeling. De methode van onderzoek bestond uit literatuurstudie, documentenanalyse, expertinterviews met onafhankelijke deskundigen en een expert-workshop. Wij willen langs deze weg alle gesprekspartners, te weten Marco de Baar (Differ), Marco Brugmans (ANVS) en Rick Bulk (ANVS), Jan Leen Kloosterman (TU-Delft), Ruud Melieste (Havenbedrijf Rotterdam), Maarten Nypels (Gemeente Rotterdam), Ruut Schalij (eRisk Group), Martin Scheepers (TNO) en Hedwig Sleiderink (Ministerie van EZK) danken voor hun bereidheid ons te woord te staan, ons van extra informatie te voorzien en voor hun deelname aan een klankbordgroep-bijeenkomst op 17 mei jl. Ook Alice Krekt (Deltalinqs), Wilco van der Lans (Havenbedrijf Rotterdam) en Wouter Lensselink (Gemeente Rotterdam) willen wij danken voor het kritisch meelezen.

De studie is uitgevoerd door Harry Geerlings en Bart Kuipers van de Erasmus Universiteit Rotterdam. Wij danken de opdrachtgever SmartPort, en dan in het bijzonder Elisabeth van Opstall, Dirk Koppenol en Mel Valies, voor hun commentaren. Deze rapportage representeert op geen enkele wijze de visie en/of opvattingen van de organisaties waar de gesprekspartners werkzaam zijn.

In dit onderzoek is gepoogd een zo objectief mogelijke weergave te geven van de *facts and figures* rond kernenergie. Met het boven tafel brengen van deze informatie kan de discussie worden gevoerd over de rol en betekenis van kernenergie vanuit een technologisch en bestuurlijk perspectief. Dit onderzoek gaat niet in op de mogelijke rol van kernenergie in de toekomstige energiemix voor de Rotterdamse haven en stad.

Harry Geerlings  
Bart Kuipers

Rotterdam, 8 november 2021

# INHOUD

---

<b>Voorwoord</b>	<b>5</b>
<b>01 Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>02 Stand van zaken technologische ontwikkeling kernenergie</b>	<b>9</b>
2.1 Typologie kerncentrales	9
2.2 De verwachte ontwikkeling rond nieuwe technologieën in de tijd	14
2.3 De potentiële rol van verschillende technieken/generaties in de energietransitie tot 2050	17
2.4 Het verschil in impact tussen één centrale en meerdere decentrale units	18
<b>03 Ruimte en bestuur: de impact van plaatsing van een kerncentrale</b>	<b>21</b>
3.1 Een algemeen perspectief op de ruimtelijke impact	21
3.2 De impact van veiligheid	23
3.3 Wie 'staat er aan de lat' bij de plaatsing van een centrale/ SMR?	27
<b>04 Conclusies en overwegingen</b>	<b>32</b>
4.1 Conclusies op basis van de literatuurstudie en interviews	32
4.2 Tot besluit	34
<b>Bronvermelding</b>	<b>36</b>
<b>Bijlage 1 Overzicht geïnterviewde experts</b>	<b>40</b>
<b>Bijlage 2 Voorbereidingszones kernongeval</b>	<b>41</b>
<b>Bijlage 3 Veiligheidscontouren Havenindustriëel complex</b>	<b>42</b>

---

# Inleiding

De Rotterdamse haven speelt een belangrijke rol in de energiemix van Noordwest-Europa. Naast de grootschalige import en op- en overslag van steenkool, aardolie en aardgas faciliteert de haven ook een aantal kolen- en gasgestookte centrales. Deze centrales leveren hoofdzakelijk aan het landelijk hoogspanningsnet. In België bestaat het plan om in 2025 de verouderde kerncentrales stil te leggen. In 2030 zullen de kolencentrales zijn gesloten in Nederland en het beleidsvoornemen is om de kerncentrale in Borssele in 2033 te sluiten. Daarmee zal een belangrijke basislast aan energievoorziening mogelijk verdwijnen. Ook in Duitsland is men voornemens om de inzet van kern- en kolencentrales op termijn te beëindigen.

Uitgaande van (a) een vergelijkbare omvang van industriële activiteiten, (b) het halen van CO<sub>2</sub>-reductiedoelen en (c) de toenemende vraag van de industrie naar CO<sub>2</sub>-neutrale en betaalbare energie, is het de vraag of er een behoefte zal ontstaan aan één of meerdere alternatieve energiebronnen die in de basislast kunnen voorzien.<sup>1</sup>

Daarmee ontstaat mogelijk een behoefte aan een alternatieve energiebron die betrouwbaar, verantwoord, veilig, goedkoop en ruimtelijk inpasbaar voor Rotterdam en de regio Noordwest-Europa is. De verwachting is dat het percentage hernieuwbare elektriciteit zeker zal blijven groeien. Tegelijkertijd zullen ook de duurzame energievraag en -productie toenemen.

Samen met het Havenbedrijf Rotterdam en Gemeente Rotterdam heeft SmartPort als coördinerend opdrachtgever daarom de opdracht gegeven tot een verkenning waarin de laatste feiten rond kernenergie, met onderbouwing, bijeen worden gebracht als basis voor een discussie en over de rol van kernenergie in Rotterdam.

## Hoofdvraag in de verkenning is:

Wat is de laatste stand van zaken rond kernenergie en welke ruimtelijke kansen en impacts zijn er voor de Rotterdamse regio?

Dit onderzoek richt zich in het bijzonder op de stand van de techniek rond kernenergie en het ruimtebeslag. Inzicht in de behoefte aan een schone, betrouwbare en goedkope energiebron voor de regio Rotterdam (haven en stad) wordt niet behandeld. Het rapport bevat ook geen vergelijking tussen kernenergie en hernieuwbare energiebronnen als wind en zon. Er is dankbaar gebruik gemaakt van recent onderzoek van KPMG (2021) en Scheepers et al. (2021) dat zich op een deels vergelijkbare inventarisatie rond de inzet van kernenergie heeft gericht.

De opbouw van dit rapport is als volgt: na deze introductie wordt in paragraaf 2 stilgestaan bij de techniek, waarbij de focus ligt op de stand van zaken rond bewezen technologie (*proven technology*) en recente ontwikkelingen. In paragraaf 3 worden de aspecten van ruimtegebruik en bestuur behandeld bij plaatsing van een kerncentrale en paragraaf 4 bevat de conclusies op basis van de literatuurstudie en interviews.

---

<sup>1</sup> Koppenol, D.M. & E. van Opstall (2021) Plaatsingskansen kerncentrale in Rotterdam. Status: onderzoeks idee, Rotterdam: SmartPort (concept: 9 februari 2021).





# Stand van zaken technologische ontwikkeling kernenergie

## 2.1 Typologie kerncentrales

### **Het begrip 'bewezen technologie'**

Bij het vaststellen van de stand van zaken rond de technologische ontwikkeling van kernenergie is het belangrijk om aan te geven wanneer een nieuwe technologie als 'bewezen' kan worden aangemerkt. Dit is belangrijk omdat de bouw van een kerncentrale gebaseerd op bewezen technologie minder risico's kent – niet alleen op het gebied van veiligheid maar ook op het overschrijden van kosten en doorlooptijd bij de bouw. Bij de bouw van een centrale of basis van nog niet-bewezen technologie wordt gesproken van een 'First-Of-A-Kind' (FOAK) model. KPMG (2021:9) heeft een marktconsultatie uitgevoerd naar de voorwaarden waaronder (inter)nationale marktpartijen bereid zijn te investeren in kerncentrales in Nederland. In deze consultatie wordt geconcludeerd dat een overgroot deel van de marktpartijen het belang benadrukt van het kiezen voor bewezen technologie die voldoet aan geldende veiligheidseisen. Maar wat moet onder bewezen technologie worden verstaan?

Het Internationaal Atoom Energy Agentschap (IAEA, 2009) geeft een uitgebreide formele definitie van het begrip 'bewezen technologie' waarvan wij de belangrijkste elementen weergeven. Deze definitie is van toepassing op kerncentralesystemen en -elementen in zijn algemeen, inclusief componenten, installatiestructuren, ontwerp- en analysetechnieken, onderhoudbaarheids- en bedieningskenmerken en constructietechnieken. Bewezen technologie van kerncentralesystemen moet worden aangetoond door een aantal jaren van commerciële exploitatie van soortgelijke kerncentrales met een goede staat van dienst. Het bewijs van de hierboven genoemde elementen dient te worden aangetoond aan de hand van één of meer van de volgende zaken: meerdere jaren in bedrijf zijn van bestaande kerncentrales; testfaciliteiten op volledige of gedeeltelijke schaal of meerdere jaren actief in andere toepasselijke industrieën zoals fossiele energie- en procesindustrieën. De leverancier dient bestaande databases met operationele ervaring te herzien om zowel positieve ervaringen als oorzaken van significante gebeurtenissen en ongeplande uitval te identificeren en passende kenmerken in het ontwerp van de kerncentrale op te nemen.

Bovenstaande definitie van bewezen technologie is nog weinig concreet en Anuar et al. (2015) geven een meer precieze omschrijving van 'een aantal jaren': de betrouwbaarheid van kerncentralesystemen moet worden aangetoond aan de hand van ten minste een kwart van de operationele levensduur van soortgelijke commerciële kerncentrales met een gemiddelde beschikbaarheidsfactor van 70%. Ook voor de andere tijds- en hoeveelheidsaanduidingen komen zij met suggesties voor de precisering van het begrip bewezen technologie. Voor de Nederlandse situatie hebben wij een dergelijke operationalisering en precisering van bewezen technologie niet gevonden maar wordt volgens een door ons ondervraagde expert uitgegaan van 5-6 jaar commerciële exploitatie van een kerncentrale.

## Generaties kerncentrales op basis van bewezen technologie

Bij de beschrijving van de ontwikkeling van kernenergie maakt men (zie: Scheepers et al., 2021) doorgaans gebruik van generaties om de stand van zaken rond de technologische ontwikkeling van kernenergie aan te geven. Reactoren van de eerste generatie zijn prototypes uit de jaren vijftig en zestig van de vorige eeuw. Generatie 2-reactoren zijn commerciële, watergekoelde reactoren uit de jaren zeventig en tachtig en Generatie 3-reactoren zijn doorontwikkelde reactoren van de tweede generatie die momenteel in Europa en elders worden gebouwd.

Generatie 3+-reactoren hebben (veiligheids-)aanpassingen ondergaan naar aanleiding van de ramp bij Fukushima (KPMG, 2021). Voor de toekomst zijn aanvullend Generatie 4- en 5-reactoren voorzien.

Generatie 1 tot en met 3+-reactoren zijn te beschouwen als bewezen technologie. Een moderne en gestandaardiseerde Generatie 2-reactor is een economisch aantrekkelijke optie wegens de bewezen technologie en de relatief lage bouwkosten. Een dergelijke reactor wordt wegens het ontbreken van maatschappelijk draagvlak echter niet haalbaar geacht omdat dergelijke reactoren niet voldoen aan de extra veiligheidseisen die na Fukushima gelden (KPMG, 2021:39).

Op dit moment worden er in enkele OECD-landen in Europa en in de VS Generatie 3+-ontwerpen gerealiseerd. In Frankrijk en Finland wordt door Électricité de France (EDF) gebouwd aan centrales van het EPR-model (European Pressurized Reactor). In 2018 is in het Verenigd Koninkrijk begonnen met de bouw van de EPR-centrale Hinkley Point C door EDF en de China General Nuclear Power Group (CGN).<sup>2</sup> Op dit moment wordt verwacht dat de Hinkley Point C-centrale in de zomer van 2026 gereed zal zijn – recent was sprake van een toename van de bouwtijd met een half jaar en een toename van de kosten met £500 miljoen tot £23 miljard, toegeschreven aan corona (Thomas, 2021). EDF is voorts in onderhandeling om ook in Sizewell, aan de Engelse oostkust, een nieuwe centrale te ontwikkelen met als deadline 2032.<sup>3</sup> Men is reeds sinds 2005 (Olkiluoto 3 in Finland) bezig met de bouw van deze Generatie 3+-ontwerpen, maar geen van deze ontwerpen is op dit moment al in bedrijf in OECD-landen. Buiten de OECD-landen is in Wit-Rusland sinds 2020 een Generatie 3+-reactor in bedrijf (KPMG, 2021:35) en sinds 2018 functioneren twee EPR-reactoren in China.

Overschrijdingen van de bouw tijden (en daarmee kosten) van in aanbouw zijnde Generatie 3+-reactoren zijn met name gerealiseerd door falend projectmanagement en onvolledige reactorontwerpen bij de start van het bouwproces (Schalij & van der Kloot Meijburg, 2020). Het ontbreken van expertise nodig voor de bouw van dit nieuwe type centrales is een andere belangrijke factor, zowel bij de bouwer als in de toeleveringsketen, alsmede veranderende eisen in regelgeving tijdens de bouw. En uiteindelijk was sprake van een te optimistische inschatting bij de start van de bouwprojecten (Scheepers et al., 2021, KPMG, 2021).

Doordat de EPR-centrales die nu in Europa worden gebouwd nog steeds niet functioneren is – strikt gesproken en uitgaande van de definitie van het IAEA zoals aan het begin van dit hoofdstuk beschreven – Generatie 3+ daarmee nog niet als bewezen technologie te karakteriseren omdat de reactoren nog niet meerdere jaren hebben gefunctioneerd. Toch wordt een Generatie 3+-reactor op dit moment als

---

2 EDF is voor 84,49% in handen van de Franse staat en ook CGN is een staatsbedrijf.

3 Het VK onderzoekt op dit moment of het CGN kan uitsluiten van deelname aan nucleaire projecten, zoals Sizewell en een ander gepland project in Essex (Bradwell B) vanwege de problemen in onder meer Hong Kong en in Xinjiang, alsmede vanwege de gevoeligheid rond de betrokkenheid van China bij voor het VK kritische technologie en infrastructuur en het voorkomen van een te grote afhankelijkheid van Chinese technologie (Pickard & Thomas, 2021).

bewezen technologie gezien (KPMG, 2021:37) wegens de toegepaste technieken, systemen en structuren. Alle systemen in de EPR-centrale bestaan uit vrij conventionele drukwater reactortechnologie en worden al decennia gebruikt. Een door ons geconsulteerde expert stelt dat een EPR in de praktijk een vrij directe doorontwikkeling is van de door Siemens en Framatome in de jaren tachtig in Duitsland en Frankrijk gebouwde Konvoi- en N4-reactoren (Areva, 2005). Met de verwijzing naar 'bewezen technologie' in de brief 'Randvoorwaarden voor de bouw van nieuwe kerncentrales' van het kabinet uit 2011 (Brief Regering, 2011) wordt ook direct bedoeld op een EPR. Slechts de digitale aansturing van de huidige in aanbouw zijnde EPR-centrales is relatief nieuw, maar zowel bij Hinkley Point C als in Olkiluoto wordt in de detail-engineering ook nog gewerkt met analoge systemen.

## **Generaties kerncentrales op basis van niet-bewezen technologie**

Generatie 4-reactoren zijn momenteel nog in ontwikkeling en komen naar verwachting pas op de markt na 2040. Rond 2045 wordt (grootschalige) commerciële implementatie verwacht (KPMG, 2021:43). Generatie 4-reactoren zijn nieuwe ontwerpen die vaak op een andere koeltechniek zijn gebaseerd dan eerdere generaties, zoals de lood-gekoelde snelle reactor (LFR) of de gesmolten zoutreactor (MSR). Deze reactoren gebruiken doorgaans een andere energiebron waardoor minder, of te hergebruiken, afval geproduceerd wordt (KPMG, 2021:40). Generatie 4-reactoren kennen voordelen in energie- en grondstoffefficiency omdat ze uit de gebruikte radioactieve splijtstof (uranium, thorium) beduidend meer energie kunnen halen (ordegrootte: factor 20). Daarnaast leveren dergelijke reactoren minder afval op door de mogelijkheid van veelvuldig hergebruik van de gebruikte splijtstof (Scheepers et al., 2021:19). KPMG (2021:40) wijst echter ook op een aantal uitdagingen wat betreft afval voor de meest kansrijke types, zoals het grotere afvalvolume of een hogere intensiteit van de straling van het afval. Ook hebben Generatie 4-reactoren mogelijke voordelen op het gebied van passieve en inherente veiligheid die echter nog wel in de praktijk bewezen moeten worden (KPMG, 2010:42).

De TU Delft werkt samen met het onderzoeksinstituut NRG aan de ontwikkeling van een Generatie 4-reactor op basis van gesmolten zout (MSR). De bestaande kennisbasis in ons land voor Generatie 4-reactoren maken ze volgens KPMG (2021:40) kansrijk. Ook de toepassingen van deze centrales voor proceswarmte worden aantrekkelijk geacht.

Generatie 5-reactoren hebben tenslotte betrekking op kernfusie en op de zeer lange termijn.

## **Small Modular Reactor (SMR)**

Naast de indeling van reactoren in generaties kan ook gekeken worden naar de schaal van een reactor. Naast 'klassieke' grootschalige reactoren is er momenteel veel belangstelling voor kleine modulaire reactoren (Small Modular Reactor: SMR<sup>4</sup>). Deze reactoren hebben een klein tot middelgroot vermogen (10-300 MW) en worden seriematig geproduceerd. Door het seriematige karakter kan het vermogen van een serie van SMR's oplopen, mogelijk naar een vergelijkbaar niveau van een grote Generatie 3+-reactor. Beneden de 10-15 MW is sprake van een MMR (Micro Modular Reactor) of vSMR (very Small Modular Reactor). Deze MMR's worden gepland voor gebruik in afgelegen gebieden op losse grids voor defensie-toepassingen of toepassingen in mijnbouw of in ontwikkelingsprojecten. Hieronder bespreken wij met de U-Battery een MMR.<sup>5</sup>

---

4 Niet te verwarren met de Steam Methane Reforming voor de productie van waterstof uit aardgas.

5 [https://www.ifnec.org/ifnec/upload/docs/application/pdf/2019-09/3-4.\\_usnc\\_mmr.pdf](https://www.ifnec.org/ifnec/upload/docs/application/pdf/2019-09/3-4._usnc_mmr.pdf)

Het seriematige aspect is een doorslaggevend kenmerk van de SMR, omdat door de bouw van meerdere SMR's in serie schaalvoordelen ontstaan (NEA-OECD, 2021). Dit betekent dat verschillende initiatieven die spelen rond een SMR al beginnen met de bouw van een serie SMR-FOAK-reactoren om schaalvoordelen te kunnen realiseren. Daarnaast is modularisatie een ander belangrijk kenmerk van de SMR-reactor (IAEA, 2021). In veel SMR-ontwerpen worden bestaande technieken toegepast, niet alleen uit de nucleaire industrie maar ook uit andere volwassen industrieën (bijvoorbeeld de auto-industrie, scheepsbouw of ruimtevaart.) Door deze technieken toe te passen is het mogelijk op efficiënte wijze te profiteren van de ervaringen van serieproductie. De modulariseringstechnologie is vanaf het midden van de jaren negentig ook uitgebreid toegepast bij de bouw van grote commerciële kerncentrales. Het IAEA (2021:35) stelt dan ook: "Om een SMR gebaseerd te laten zijn op bewezen technologie, bijvoorbeeld in sommige lidstaten met een capaciteit voor de nucleaire industrie, is het niet nodig dat er al een referentie-installatie beschikbaar is. Evenmin mag de term bewezen technologie worden opgevat als watergekoelde technologie. Gasgekoelde, natriumgekoelde, loodgekoelde en gesmolten zoutgekoelde reactortechnologieën bestaan sinds de jaren zestig." Kortom: sommige ontwerpen van een SMR kunnen in belangrijke mate voldoen aan het criterium 'bewezen technologie'. Dit is een voordeel van de SMR.

Een SMR heeft daarnaast een aantal voordelen boven traditionele reactoren op het gebied van:

- Investeringslasten. Er is sprake van lagere bouwkosten door een kortere bouwtijd, een beperkte investeringsomvang en minder complex projectmanagement. KPMG (2021:56) verwacht een bouwtijd van 4-5 jaar voor een FOAK-SMR en 3-4 jaar voor de volgende SMR's in een serie.
- Flexibiliteit; door mogelijk gebruik te maken van specifieke toepassingen zoals warmte- of waterstofproductie is een SMR voor specifiek gebruik toepasbaar. Voorts is het incrementele investeringsmodel, waarbij SMR's opeenvolgend gebouwd kunnen worden afhankelijk van vraagontwikkelingen, beter in te passen in het energiesysteem en kunnen ze mogelijk dichterbij afnemers worden gevestigd (KPMG, 2021).
- Veiligheid; er is sprake van voordelen door standaardisatie, harmonisatie en simplificatie van het ontwerp (Schalij & van der Kloot Meijburg, 2020); voordelen mede gerelateerd aan de sterke modularisatie van de SMR. Een SMR werkt met een lager vermogen en bezit meer gunstige eigenschappen die samenhangen met de kleinere kern in de reactor. Voorts is sprake van een minder gecompliceerd ontwerp van de reactor met voordelen op het gebied van besturing en onderhoud (NEA-OECD, 2021). KPMG (2021:53) stelt voorts dat een SMR door de kleine omvang beter in staat is om de efficiëntie van passieve veiligheidssystemen te verhogen en dat het mogelijk is om een SMR op een locatie te bouwen waar een grote Generatie 3+-reactor niet gebouwd kan worden.
- Doorlooptijd; door bovengenoemde voordelen kan het vergunningenproces sneller verlopen en wordt aangenomen dat sprake is van een bredere maatschappelijke acceptatie (Enco, 2020:58).

SMR's kennen naast voordelen enkele essentiële onzekerheden;

- De hierboven genoemde voordelen zijn nog niet in de praktijk bewezen, omdat er nog geen SMR in commercieel gebruik is. Dit is een essentiële vaststelling.
- KPMG (2021:58) voorziet onvoldoende maatschappelijk draagvlak om meerdere SMR's verspreid in Nederland te bouwen; zowel naar fysieke ruimte als naar milieuruimte bezien.
- Bij een nieuw SMR-reactortype is er geen duidelijkheid over de omvang van cruciale kosten voor het functioneren van een reactor, zoals de Front End-kosten—de kosten voor de splijtstof—en de Back End-kosten, de kosten voor het afvoeren en veilig opbergen van de gebruikte splijtstof (Scheepers et al., 2020:21). Het is goed mogelijk dat bij deze kosten veel moeilijker schaalvoordelen voor een SMR zijn te behalen.

Vooraf door de genoemde voordelen is inmiddels een omvangrijke hoeveelheid investeringskapitaal beschikbaar voor onderzoek en ontwikkeling van SMR's (Enco, 2020:58). Zowel Generatie 3+- als Generatie 4-reactoren kunnen als SMR gebouwd worden (Scheepers et al., 2021:11). Alhoewel er nog

geen SMR's commercieel beschikbaar zijn (Enco, 2020:58) is een mobiele SMR in gebruik in Rusland en zijn er drie in aanbouw; een in Argentinië en twee China—waaronder een SMR Generatie 4-reactor. KPMG (2021: 53) verwacht dat in de periode 2027–2033 de eerste SMR's volledig operationeel kunnen zijn als FOAK-centrale.

Op dit moment zijn er 72 SMR-ontwerpen bekend (NEA-OECD, 2021) maar het wachten is op een 'dominant design'<sup>6</sup> van een SMR. Bij een dominant design van een SMR gaat het om een ontwerp dat een omvangrijke vraag in de markt zal genereren waardoor verdergaande schaalvoordelen in de productie en bij de toeleveringsketen mogelijk zijn — door modularisatie, design-simplificatie, standaardisatie en harmonisatie — waardoor productiekosten verder verlaagd worden. Als sprake is van een groot aantal verschillende ontwerpen van de SMR kunnen deze schaalvoordelen maar beperkt gerealiseerd worden (NEA-OECD, 2021). Het gaat daarbij om een ontwerp inclusief een productie-infrastructuur en productie-capaciteit — populair gezegd; het is wachten op een met de productie van de T-Ford te vergelijken doorbraak in de productietechnologie van de SMR. Het proces van technologie-selectie is daarmee heel belangrijk voor de implementatie van de SMR.

Op dit moment zijn de meeste initiatieven nog in de ontwerpfase. Veel van deze 72 SMR-ontwerpen zijn in belangrijke mate gebaseerd op bewezen technologie — vergelijkbaar met een Generatie 3+-reactor.

Naast de Chinese reactoren en de Argentijnse SMR-reactor (sinds de eerste ontwerpplannen is reeds 36 jaar verstreken) is sprake van een aantal SMR-initiatieven:

- Een 'single unit'-ontwerp van GE Hitachi (BWRX-300), waarvan het proces tot vergunningverlening gaande is in de VS en Canada (NEA-OECD, 2021). Dit is een ontwerp dat in belangrijke mate stoelt op bewezen technologie. De producenten verwachten dat deze reactor voor 2030 commercieel beschikbaar is.
- Een reactor van Rolls-Royce, waarvan eveneens geclaimd wordt dat deze vooral werkt op basis van bewezen technologie met een vermogen van 440 MW (en daarmee formeel te groot voor het predicaat SMR), waarvan een eerste exemplaar beschikbaar zou kunnen zijn in 2030.
- Een modulair ontwerp van NuScale Power van 50 MW, eveneens met veel bewezen technologie, op te schalen met modules tot 600 MW (Provincie Zuid-Holland, 2020).
- Het U-Battery concept (dat eerder een MMR dan een SMR is) met een vermogen van 5-10 MW. Deze kan worden ingezet om elektriciteit en hoge temperatuurwarmte te produceren voor de industrie. De U-Battery wordt momenteel ontwikkeld in het VK (Schalij & van der Kloot Meijburg, 2020).
- Tenslotte is sprake van een initiatief van het door Bill Gates opgerichte bedrijf TerraPower dat samen met GE Hitachi werkt aan een vierde generatie SMR-natrium-reactor en recent aankondigde een demonstratie-eenheid te bouwen met een productie van 345 MW aan elektriciteit (ook boven de 300 MW grens van een SMR). Deze reactor heeft aanvullend een systeem voor energieopslag in gesmolten zout en moet daarmee in staat zijn om in te spelen op piekvorming in het aanbod van zon- en wind. De demonstratie-eenheid is naar verwachting in 2028 gereed (The Economist, 2021).

Toch is de realisatie van de SMR nog niet op korte termijn in zicht. KPMG (2021:96) voorziet een Generatie 3+-SMR naar verwachting in ongeveer tien jaar vanaf de start van het vergunningstraject en deze start zal naar de verwachting van KPMG niet voor 2027–2033 plaats kunnen vinden. Ondanks de belangrijke bijdrage van modules gebaseerd op bestaande technologie is bij de ontwikkeling ook sprake van niet-geteste innovaties en technologische risico's (NEA-OECD, 2021). Daarnaast is een aangepast regelgevend en juridisch raamwerk nodig omdat veel nieuwe concepten die met een SMR samenhangen nog onvoldoende in de praktijk zijn getest, waardoor de veiligheid nog moet worden aangetoond — al stelt NEA-OECD (2021) dat dit geen onneembare obstakels zijn. Dit betekent dat ook in ons land een kader

---

6 Een belangrijk begrip uit de innovatieliteratuur afkomstig uit het klassieke werk van Utterback (1994).

moet worden ontwikkeld om het vergunningsproces mogelijk te maken. Naast het ontwikkelen van dergelijke kaders is het ook belangrijk is om FOAK demonstratie-units te ontwikkelen voor technologische leerprocessen bij SMR's, zoals TerraPower nu heeft aangekondigd.

## 2.2 De verwachte ontwikkeling rond nieuwe technologieën in de tijd

Hiervoor werd al kort ingegaan op de beschikbaarheid van een SMR. Maar wanneer zijn de hiervoor beschreven nieuwe technologieën beschikbaar voor ons land? Bij het verwachte ontwikkelingspad onderscheiden wij drie typen reactoren: (1) een reactor op basis van bewezen technologie (Generatie 3+), (2) een SMR en (3) een Generatie 4-reactor. Een fusiereactor (Generatie 5) laten wij buiten beschouwing. Het uitgangspunt is een functionerende reactor op een van de twee locaties in ons land die het kenmerk 'waarborging van vestigingsplaatsen voor kernenergiecentrales voor elektriciteitsopwekking' bezitten: Borssele en Maasvlakte 1. (De locatie Eemshaven is onlangs afgefallen – zie paragraaf 3.2). Voordat op een van deze twee locaties een nieuwe centrale wordt gevestigd moeten uiteraard alle noodzakelijke procedures worden doorlopen voorafgaande aan de bouw en is sprake van een periode nodig voor maatschappelijk-politieke besluitvorming.

Er is sprake van zeven fasen in de ontwikkeling in de tijd voor de realisatie van een bepaalde technologie:

1. Fundamenteel onderzoek en ontwikkeling.
2. De bouw van een experimentele versie van een nieuw type reactor (Generatie 4 bijvoorbeeld).
3. De bouw van een 'First-Of-A-Kind' (FOAK) reactor op commerciële schaal. Het FOAK-principe betekent dat er extra tijd nodig is gerelateerd aan onvoorziene vertragingen bij een dergelijk nieuw ontwerp, zoals gebeurt bij de op dit moment in aanbouw zijnde Generatie 3+-centrales in het VK, Frankrijk en Finland.
4. De bouwtijd van een reactor op basis van bewezen technologie (Generatie 3+ bijvoorbeeld).
5. Het ontwikkelen van een passend vergunningskader dat kan worden toegepast bij het geven van een vergunning voor een nieuw type reactor.
6. Het benodigde vergunningentraject voor de daadwerkelijke bouw van een reactor.
7. De maatschappelijk-politieke discussie gerelateerd aan de inzet van kernenergie.

### Tijd benodigd voor de maatschappelijk-politieke discussie

De tijd benodigd voor de maatschappelijk-politieke discussie rond de inzet van kernenergie in ons land is onzeker. Het is mogelijk dat op korte termijn een uitspraak over de toepassing van kernenergie in het regeerakkoord van een nieuw kabinet komt, maar dat is alleszins zeker. De maatschappelijk-politieke discussie wordt ook sterk beïnvloed door de huidige ontwikkelingen rond versnelling van de inzet voor de energietransitie, uitgaande van de EU Green Deal. De lengte van deze periode is moeilijk vast te stellen: wij hanteren daarom als aanname dat er 2-4 jaar nodig is voor de politieke besluitvorming.<sup>7</sup> Wel wordt vastgesteld (KPMG, 2021:140) dat nu alleen de provincie Zeeland onomwonden en zonder voorwaarden stelt positieve ervaringen te hebben met de huidige kerncentrale en een voorstander te zijn van het hebben van kernenergie in de energiemix. Er is breed politiek en maatschappelijk draagvlak aanwezig in Zeeland.

---

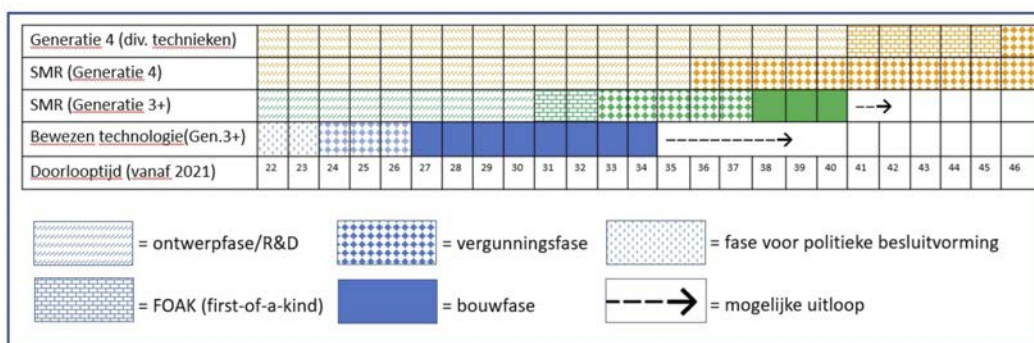
7 Wij achten een nieuwe 'Brede Maatschappelijke Discussie over Kernenergie' zoals die in de beginjaren tachtig werd gehouden en die drie jaar duurde, niet realistisch.

## Tijdpad beschikbaarheid centrale op basis van bewezen technologie

Op basis van de huidige regelgeving kan een bedrijf dat een reactor wil bouwen op dit moment een vergunning aanvragen bij de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS).<sup>8</sup> Voor een reactor functionerend volgens bewezen technologie (Generatie 3+) waarbij documentatie en kennis internationaal beschikbaar is, bedraagt de doorlooptijd voor een vergunning naar verwachting 4 jaar (Scheepers et al., 2021:13), ook KPMG (2021:92) noemt met een periode van tussen de 3-5 jaar een dergelijke doorlooptijd. Dit is geen FOAK-reactor, met de daarbij behorende risico's op doorlooptijd. Voor dergelijke Generatie 3+-centrales is het benodigde kader voor de vergunningsverlening reeds beschikbaar. Tijdens de aanvraagprocedure volgens de Kernenergiewet kunnen ook de andere benodigde procedures doorlopen worden, zoals MER-procedure, bestemmingsplan, natuurvergunning, bouwvergunning et cetera (KPMG, 2021:92). In figuur 1 wordt – uitgaande van KPMG (2021:92) – 3 jaar aangehouden als snelst mogelijke doorlooptijd voor de vergunningsverlening.<sup>9</sup> Uiteraard is het zeer goed mogelijk dat dit traject minder snel zal verlopen.

De bouw van een nieuwe kerncentrale in Nederland op basis van bewezen technologie (Generatie 3+) zal naar verwachting minimaal 11 en maximaal 15 jaar vergen vanaf de start van het vergunningstraject (KPMG, 2021:95). Kortom: als – na 2-4 jaar benodigd voor de politieke besluitvorming, resulterend in een positief resultaat voor de ontwikkeling van kernenergie in ons land – in 2024 een aanvraag wordt gedaan door een bedrijf, kan een dergelijke reactor op zijn vroegst in de periode 2035-40 beschikbaar zijn. In figuur 1 gaan wij uit van 11 jaar als de snelst mogelijke termijn, bovenop minstens 2 jaar nodig voor de politieke discussie. Dit betekent dat in een optimistische inschatting een Generatie 3+-centrale in 2035 beschikbaar kan zijn. Bij meer tijd benodigd voor politieke besluitvorming en tegenvallers bij de vergunningsverlening en bouw betekent dit dat de reactor in 2041 beschikbaar komt (figuur 1).

Figuur 1. Snelst mogelijke termijn waarop een nieuwe kerncentrale beschikbaar kan zijn in de komende 25 jaar, waarbij twee jaar ingeschat als termijn nodig voor politieke besluitvorming.



Bron: gebaseerd op Scheepers et al. (2021) en KPMG (2021) met eigen toevoegingen. FOAK: als extra fase op de bouwtijd aangegeven.

8 Zo maakte de eigenaar van de centrale in Borssele in 2010 het voornemen bekend tot het bouwen van een nieuwe centrale in Borssele met een maximaal vermogen van 2.500 MW (OpdenKamp, 2010).

9 KPMG (2021:92) stelt dat bij 3 jaar wordt uitgegaan van een proces waarin veel aangesloten kan worden bij eerder bewijs en er geen beroep wordt aangetekend tegen de vergunning. Voorwaarde voor een korte doorlooptijd is de kwaliteit, volledigheid en volwassenheid van de veiligheidsdocumentatie, analyses en het reactorontwerp van de initiatiefnemers. KPMG stelt voorts dat deze doorlooptijd volgens marktpartijen vergelijkbaar is met buitenlandse trajecten, zoals in het VK.

De bouw van de hiervoor genoemde centrales in het VK en in Finland ligt met 16 á 17 jaar sterk boven de hierboven genoemde 8 jaar, maar dit zijn voorbeelden van FOAK-projecten. De geplande bouw van de nieuwe reactor in Sizewell ligt met 11 jaar onder de doorlooptijd van Hinkley Point C, wat mogelijk is door de reeds opgedane kennis en ervaring. Deze bouwtijd komt overeen met de verwachting van KPMG van een doorlooptijd van 11-15 jaar na de start van het vergunningstraject. In China zijn in 2019 twee EPR-centrales met een bouwtijd van 9 jaar gerealiseerd, maar er is een duidelijk onderscheid in bouwtijd tussen Europa en China.<sup>10</sup>

### **Tijdpad beschikbaarheid SMR-reactor**

Bij een SMR geldt dat ook sprake moet zijn van een Generatie 3+-ontwerp (en dus geen traditionele Generatie 3) wegens maatschappelijke aspecten rondom veiligheid. Aanbieders van SMR-ontwerpen als NuScale Power en GE Hitachi verwachten dat hun ontwerpen in 2030 als FOAK-installatie functioneren. Een kenmerk van een FOAK-traject is dat sprake is van optimisme en vertraging: het is daarmee te verwachten dat het goed mogelijk is dat een functionerend FOAK-model eerder in 2033-2035 beschikbaar is. KPMG (2021: 95) verwacht dat een bewezen ontwerp van een SMR op zijn vroegst in 2027-2033 beschikbaar zal zijn.

De ontwerpen van NuScale en GE Hitachi kennen voortgang in de vergunningsverlening. Sinds mei 2019 beoordeelt de Canadese vergunningverlener het ontwerp van de BWRX-300 van GE Hitachi en het ontwerp van NuScale Power in een zogenaamde 'Pre-Licensing Vendor Design Review'. Het doel is om na te gaan of er uit veiligheidsoogpunt belemmeringen zijn voor toepassing in Canada (Stichting Kernvisie, 2021). Inmiddels is de tweede fase van deze beoordeling gaande bij de ontwerpen van zowel NuScale als GE Hitachi (IAEA, 2021).

Omdat bovengenoemde ontwerpen in belangrijke mate uitgaan van bewezen technologie, van de huidige inzichten van de bouw van Generatie 3+-reactoren en van voordelen op het gebied van modularisatie (zoals hiervoor genoemd), is het de verwachting dat het vergunningstraject voor een SMR beperkt zal zijn tot ongeveer 5 jaar. Dat is langer dan het traject van een Generatie 3+-reactor. Dat hangt vooral samen met mogelijk afwijking in het ontwerp van een SMR waardoor het nodig is dat de vergunningverlener, zoals de ANVS in ons land, nieuwe kaders ontwikkelt voor de vergunningsverlening. De ontwikkeling van een kader voor de vergunningsverlening vraagt een doorlooptijd van 4-10 jaar voor een Generatie 3+-SMR, maar met de ontwikkeling van dit kader kan op korte termijn worden begonnen. KPMG (2021:93) verwacht dat hierbij aangesloten kan worden op de ervaringen in de VS, Canada en het VK. Als dan voor een bewezen ontwerp – bijvoorbeeld van NuScale of GE Hitachi – wordt gekozen en geen sprake is van een FOAK-ontwerp betekent dit een bouwtijd van 3-5 jaar na de 5 jaar voor de vergunningsverlening.

In figuur 1 gaan we van een beschikbaar en functionerend FOAK-ontwerp uit in 2033, we rekenen daarbij 3 jaar extra in vergelijking met de verwachtingen van NuScale en GE Hitachi wegens tegenvallers, doorgaans gerelateerd aan de FOAK-problematiek. In 2033 verwachten wij dat de beoordelingskaders van de ANVR in ons land gereed zijn en de politieke discussie is gevoerd. Dat betekent dat – bij een politiek-maatschappelijke discussie waarbij sprake is van instemming voor de rol van SMR's in de energiemix – er vanaf 2033 5 jaar nodig is voor vergunningsverlening en 3-5 jaar voor de bouw van een serie SMR-reactoren in ons land. De eerste SMR is dan op zijn vroegst beschikbaar in 2041 (figuur 1). Een SMR

---

<sup>10</sup> Recentelijk stond een van deze twee Chinese EPR-centrales – ook een joint venture van CGN en EDF – in de aandacht wegens de toename van de concentratie van bepaalde 'inerte gassen' (Mitchell et al. 2021).



kan ook worden uitgevoerd volgens een Generatie 4-ontwerp. Dat bespreken wij in de volgende sectie.

### **Tijdpad beschikbaarheid Generatie 4-reactor**

De komst van Generatie 4-reactoren gaat met een aanmerkelijk langere doorlooptijd gepaard dan SMR's. Om dergelijke reactoren te ontwikkelen is internationale samenwerking cruciaal en moet een beroep worden gedaan op de specifieke expertise en kennis die binnen verschillende landen ontwikkeld wordt. "Het ontbreekt echter nog aan een samenhangende aanpak en budgetten voor onderzoek en bijbehorende experimentele infrastructuur waarmee de ontwikkeling daadwerkelijk een impuls gegeven wordt." concluderen Scheepers et al. (2021:16). Zij schatten dat voor de ontwikkeltijd tot beschikbaarheid van een vergunbaar model zo'n 10-20 jaar moet worden genomen. Dan kan worden begonnen met het aanvragen van een vergunning en met de bouw van een FOAK Generatie 4-reactor – en moet rekening worden gehouden met de voor een FOAK kenmerkende overschrijding van budgetten en bouw tijden. Waarschijnlijk moet voor de bouw van een FOAK Generatie 4-reactor op zo'n 15 jaar worden gerekend, bovenop een ontwikkelings- en vergunningstraject van 20 jaar. Dit verschilt echter per type Generatie 4-reactor. Voor een thorium MSR-reactor van de vierde generatie, uitgevoerd als SMR, ligt deze doorlooptijd nog eens vijf jaar hoger. KPMG (2021:43) stelt dat rond 2045 de eerste grootschalige commerciële implementatie – te interpreteren als 'bewezen technologie' – van Generatie 4-technologieën wordt verwacht. De meerderheid van de door ons ondervraagde experts verwacht niet dat een werkende Generatie 4-reactor voor 2050 werkelijkheid zal zijn in ons land, een vergelijkbare conclusie met Schalij en Van der Kloot Meijburg (2020). Daarnaast moeten nieuwe vergunningskaders voor dergelijke centrales worden opgesteld waar ook zo'n 10-20 jaar mee is gemoeid (KPMG, 2021:43). Aanvullend moeten veiligheidsanalyses op systeem- en componentniveau uitgevoerd worden en zijn grootschalige experimenten en testopstellingen nodig. Deze grootschalige experimenten vragen een doorlooptijd van 5 à 10 jaar (Scheepers et al., 2021).

Een aantal van de door ons geconsulteerde experts wijst op de mogelijkheid dat er sprake is van technologische doorbraken waardoor Generatie 4-reactoren eerder beschikbaar komen. Ook bij kernfusie worden technologische doorbraken verwacht die mogelijk kunnen leiden tot versnelling (zie ook: Vermeer, 2021, The Economist, 2021a). De belangrijkste argumenten voor het mogelijk optreden van technologische doorbraken zijn het grote aantal initiatieven dat op dit moment beschikbaar is, de vooruitgang die daarbij wordt geboekt, de belangen die hiermee zijn gemoeid en de grote hoeveelheid (privaat) kapitaal dat er inmiddels in wordt gestoken. Een voorbeeld zijn de toepassingen van Generatie 4-SMR-ontwerpen en het feit dat de eerste SMR van de vierde generatie inmiddels in aanbouw is in China (NEA-OECD, 2021:18). KPMG (2021:96) stelt echter voor ons land dat een Generatie 4-SMR naar verwachting omstreeks 15 jaar vanaf de start van het vergunningstraject gerealiseerd kan worden, maar dat deze start naar verwachting niet voor 2035-40 zal kunnen plaats vinden, onder meer wegens de hiervoor al besproken noodzaak voor de ontwikkeling van passende vergunningskaders. Een periode van 15 jaar na 2035 betekent dat ook Generatie 4-SMR's niet beschikbaar zijn voor 2050.

### **2.3 De potentiële rol van verschillende technieken/generaties in de energietransitie tot 2050**

Op basis van de hierboven geschetste tijdslijn is duidelijk dat voor het behalen van emissiedoelen in 2030 kernenergie buiten beeld ligt en dat het gaat om een mogelijke rol in het energiesysteem tot 2050. Er is inmiddels overeenstemming dat sprake zal zijn van een sterke groei van de Nederlandse elektriciteitsproductie, tot een verdrievoudiging in 2050 (Scheepers et al., 2021). De reden is een sterke toename van elektriciteit als energiedrager en minder optimisme over mogelijke besparing in het energieverbruik (Den Ouden et al., 2020). Deze verwachte groei van elektrificatie wordt ook verwacht in de Rotterdamse

haven. Kernenergie speelt geen rol in opties rond de energietransitie in de Rotterdamse haven in onderzoek van het Planbureau voor de Leefomgeving (Van Dril et al., 2021), de Systeemstudie energie-infrastructuur Zuid-Holland (Leguijt et al., 2021) en eerder het Wuppertal Institute (Samadi et al., 2016).

Een Generatie 3+-centrale kan in principe een rol spelen in de energietransitie in de periode 2030-2050. In de meest optimistische schatting is een dergelijke centrale beschikbaar in 2035, in een meer pessimistische schatting in 2041. Dit is allereerst afhankelijk van de uitkomsten van de maatschappelijk-politieke discussie, daarnaast van de mogelijkheid tot ruimtelijke inpassing en van de kosten en van de wijze van inzet van de centrale in de bredere energiemix. Deze laatste twee factoren zijn in dit onderzoek niet meegenomen.

De rol van kernenergie in de energietransitie is in onderzoek van Berenschot en Kalavasta (2020) onderzocht voor de toepassing van derde generatie kerncentrales. Uit de resultaten van het onderzoek blijkt dat de inzet van kernenergie alleen onder bijzonder specifieke omstandigheden – lage hoogte van kapitaalkosten voor investeringen door subsidies en langetermijncontracten – een bijdrage levert aan de toekomstige energiemix in de energietransitie naar 2050, uitgaande van maatschappelijke kosten. Kernenergie is in vrijwel alle gevallen duurder dan in het referentiescenario zonder de inzet van kernenergie (maar wel met de inzet van andere (duurzame) energiebronnen) in de berekeningen van Berenschot en Kalavasta (2020:5).

Op basis van het onderzoek van KPMG (2021) moeten we concluderen dat SMR's mogelijk een rol kunnen spelen na 2040. Echter, het tijdpad blijft onzeker en de bijdrage zal gegeven de geringe omvang van naar verwachting mogelijk slechts enkele SMR's beperkt blijven (zie sectie 2.2). In 2050 is het uitgaande van de verwachting van Scheepers et al. (2021) mogelijk om Generatie 4-centrales en SMR's in te zetten met aanmerkelijk gunstigere eigenschappen wat betreft duurzaamheid, beschikbaarheid van splijtstof en afvalproductie. Echter, dit is een optimistische verwachting die zij ook nuanceren wegens de noodzakelijke ontwikkelingsfasen (Scheepers et al., 2021:43) voor de realisatie van een FOAK-Generatie 4-centrale. Wij concluderen daarmee, mede op de resultaten van de gevoerde gesprekken met de experts en conform Schalij en Van der Kloot Meijburg (2020), dat generatie 4-reactoren ook in 2050 nog geen rol spelen in de energietransitie – onvoorziene doorbraken daargelaten.

## 2.4 Het verschil in impact tussen één centrale en meerdere decentrale units

Hierboven zijn wij ingegaan op de voor- en nadelen van SMR's. Deze voor- en nadelen zijn ook te beschouwen als het verschil in impact tussen één centrale en meerdere decentrale units. Hierboven (sectie 2.1) noemden wij als voordelen van SMR's ten opzichte van een grote, enkelvoudige kerncentrale (na geslaagde FOAK): kostenvoordelen door lagere investeringslasten; flexibiliteitsvoordelen; veiligheidsvoordelen en voordelen in de doorlooptijd van het vergunningsproces.

Een aantal van deze voordelen kan op bepaalde locaties, zoals Rotterdam, anders uitpakken en zijn nog zeer onzeker. Ook stelden wij dat deze voordelen nog niet in de praktijk zijn bewezen, omdat er nog geen SMR in commercieel gebruik is—eveneens een essentiële onzekerheid. Voorts is er—in tegenstelling tot de verwachting van Enco (2020)—risico op maatschappelijk draagvlak geconstateerd om meerdere SMR's verspreid in Nederland te bouwen; zowel naar fysieke ruimte als naar milieuruimte bezien. Tenslotte ontbreekt duidelijkheid over de impact van cruciale kosten voor het functioneren van een reactor, zoals Front End-kosten—de kosten voor de splijtstof—en Back End-kosten, de kosten voor het afvoeren en veilig opbergen van de gebruikte splijtstof. Het is goed mogelijk dat bij deze kosten veel moeilijker schaalvoordelen zijn te behalen bij een SMR.

De door ons ondervraagde experts gaven in meerderheid aan, decentrale units als minder riskant te zien in vergelijking met één grote unit. Daarbij moet de belangrijke constatering worden gedeeld dat er geen verschil is in impact met betrekking tot de risicocontouren van beide typen centrales (zie hoofdstuk 3). In de praktijk, stelt een van de ondervraagde experts, dat wordt ingeschat dat SMR's, zoals de ontwerpen van NuScale Power en GE Hitachi, een fors lagere risico-impact zullen hebben dan de grote drukwaterreactoren met daarmee mogelijk een substantiële afname van de risicocontour.

Bij meerdere decentrale units is sprake van een range tussen SMR's van enkele honderden megawatt tot zeer kleine units van 5-10 MW, zoals het U-Battery ontwerp, in feite een MMR (zie hiervoor). Het is voorstelbaar dat dergelijke ontwerpen worden toegepast bij raffinaderijen of chemische clusters om elektriciteit of warmte te leveren. Bij deze toepassingen zal nog een groot aantal vragen moeten worden beantwoord over de ruimtelijke impact. Deze vraagstukken behandelen wij in het volgende hoofdstuk dat ingaat op ruimtelijke en bestuurlijke aspecten rond de plaatsing van een kerncentrale.

### **Belangrijkste observaties technologische ontwikkelingen kernenergie**

- In de door KPMG in 2021 uitgevoerde marktconsultatie omtrent het investeren in kernenergie in ons land benadrukt een overgroot deel van de marktpartijen het belang van de keuze voor bewezen technologie. Generatie 3+-centrales zijn dat wel omdat zij voldoen aan extra veiligheidseisen die na de ramp in Fukushima gelden.
- Generatie-4 reactoren zijn momenteel nog in ontwikkeling en komen naar verwachting pas na 2040-45 op de markt als First-Of-A-Kind-reactor. Naast traditionele grootschalige reactoren worden op dit moment SMR's ontwikkeld: kleine modulaire reactoren die op een seriematige wijze worden ingevoerd.
- Ten opzichte van grote kerncentrales hebben SMR's kostenvoordelen door lagere investeringslasten; flexibiliteitsvoordelen; veiligheidsvoordelen en voordelen in de doorlooptijd van het vergunningsproces. SMR's kennen naast voordelen essentiële onzekerheden; de genoemde voordelen zijn nog niet in de praktijk bewezen.
- De bouw van een nieuwe kerncentrale in Nederland op basis van bewezen technologie (Generatie 3+) zal naar verwachting minimaal 11 en maximaal 15 jaar vergen vanaf de start van het vergunningstraject. Daarvoor zit nog een periode nodig voor de maatschappelijke discussie rond kernenergie. De eerste SMR is op zijn vroegst beschikbaar in 2041. Generatie 4-reactoren als bewezen technologie zijn niet voor 2050 te verwachten.
- Voor het behalen van emissiedoelen in 2030 ligt kernenergie buiten beeld. Het gaat om een mogelijke rol in het energiesysteem tot 2050. Een Generatie 3+-centrale kan in principe een rol spelen in de energietransitie in deze periode, mits aan voorwaarden rond veiligheid, financiering en langetermijncontracten wordt voldaan.
- SMR's kunnen mogelijk een rol spelen in de energietransitie na 2040. Echter, het tijdpad blijft onzeker en de bijdrage zal gegeven de geringe omvang van naar verwachting mogelijk tot slechts enkele SMR's beperkt blijven.



# Ruimte en bestuur: de impact van plaatsing van een kerncentrale

## 3.1 Een algemeen perspectief op de ruimtelijke impact

Het Nederlandse Energie- en Klimaatplan (NECP, 2019) voorziet in een pakket aan maatregelen gericht op een CO<sub>2</sub>-reductiedoelstelling van 49% in 2030 ten opzichte van 1990. In het NECP wordt ervan uitgegaan dat door energiebesparingsmaatregelen en de inzet van hernieuwbare energie, een besparing kan worden bewerkstelligd van het energiegebruik van “ten minste 27% en een maximum van 1.950 petajoule.” (NECP, 2019)<sup>11</sup>. De hernieuwbare energie wordt geleverd door zon PV en wind. Er is echter sprake van een groeiende weerstand tegen het ruimtebeslag van zon- en windparken op land en in toenemende mate ook op zee (verzet vanuit de visserij- en natuursector).

Het gevolg is dat ruimtelijke inpassing van klimaat- en energiemaatregelen lastig is (NECP, 2019:11). Om problemen met omwonenden zoveel mogelijk te voorkomen, heeft de Nederlandse regering een sterke voorkeur voor offshore-windenergie. Waar mogelijk zal de aanlanding van elektriciteit opgewekt door windenergie plaatsvinden op de locaties waar reeds energie-intensieve industrie is geconcentreerd, zoals op Maasvlakte II (NECP, 2019:13).

Het NECP stelt verder dat een mix van verschillende bronnen noodzakelijk is vanwege de flexibiliteit die nodig is voor een koolstofarme regelbare capaciteit. De opties omvatten CO<sub>2</sub>-vrije waterstof, hernieuwbare bronnen zoals biomassa en groen gas, het gebruik van fossiele bronnen met koolstofafvang en -opslag (CCS) en kernenergie. Een rol voor kernenergie wordt dus niet geheel uitgesloten in de toekomst. Dit overigens in tegenstelling tot de ons omringende landen Duitsland en België, die hebben besloten om respectievelijk eind 2022 (de *Atomausstieg*) en (conditioneel) eind 2025 de laatste kerncentrales te sluiten<sup>12</sup>.

Op dit moment heeft Nederland slechts één kerncentrale in gebruik, te weten in Borssele. Deze centrale heeft een vermogen van 485 MWe en dekt circa 3% van de nationale elektriciteitsvraag. De centrale werd in 1973 in gebruik genomen. Wettelijk bepaald wordt de kerncentrale uiterlijk 2033 gesloten (NECP, 2019:109)<sup>13</sup>. Hoewel kernenergie één van de opties voor de toekomstige energiemix kan zijn, zijn er

---

11 Nu al wordt voor 2030 ongeveer 50TWh op zee voorzien, hetgeen dan waarschijnlijk ongeveer 1/3de van de vraag is. In 2050 is 70GW technisch mogelijk. Dat zou ruim 300TWh beteken oftewel 1/3de deel van de energievraag en zeer waarschijnlijk meer dan de elektriciteitsvraag (Bron: Schali, 2021)

12 De visie op het toepassen van kernenergie in de energievoorziening verschilt binnen de EU sterk. Terwijl Duitsland en België het gebruik van kerncentrales in hun land willen afbouwen en Zwitserland en Zweden dit overwegen, wordt in onder meer Frankrijk en Finland, net als in de UK, gewerkt aan de bouw van nieuwe kerncentrales.

13 Wereldwijd waren op 1 januari 2019 in totaal 450 kernreactoren operationeel met een gezamenlijke capaciteit van

momenteel geen bouwplannen voor een nieuwe centrale. Het NECP stelt: “[een] aantal studies toont aan dat kernenergie in 2050 een kosteneffectieve optie zou kunnen zijn.” (NECP, 2019:45). Echter, gezien de vertragingen die momenteel optreden, acht het NECP extra kerncentrales vóór 2030 onwaarschijnlijk. Onderzoek naar thoriumreactoren bevindt zich volgens het NECP nog in een dusdanig vroege fase, dat marktintroductie nog tientallen jaren op zich kan laten wachten (zie ook paragraaf 2.1 en 2.2).

In het kader van het Klimaatakkoord (2019) is door Berenschot/Kalavasta (2020a) een onderzoek uitgevoerd naar ‘Klimaat neutrale energiescenario’s 2050’. In een aanvullende studie is specifiek onderzocht wat de ruimtelijke effecten zijn van de klimaatneutrale scenario’s. In deze studie is kernenergie geheel buiten beschouwing gelaten. Op verzoek van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) is een aparte studie gedaan naar de ‘Systeemeffecten van kerncentrales in klimaatneutrale scenario’s 2050’ (2020), zie ook paragraaf 2.3. Recent heeft het Ministerie van EZK ook een studie laten doen naar de mogelijke rol van kernenergie in de Nederlandse energiemix in de toekomst (Enco, 2020) en heeft zij opdracht geven aan KPMG (2021) om een marktverkenning uit te voeren (zie ook hoofdstuk 2 en hierover later meer). Dit laat zien dat de rol en betekenis van kernenergie er vanuit verschillende perspectieven aandacht is voor het thema.

Dit jaar publiceerden Brouwer en Bergkamp (2021) een studie voor het Europees Parlement over het ruimtebeslag voor wind-, zonne- en kernenergie. Zij komen tot de conclusie dat, afhankelijk van variabelen zoals de vraag naar elektriciteit en capaciteitsfactoren, in realistische scenario’s niet genoeg ruimte aanwezig is om aan de volledige vraag naar elektriciteit te voldoen met overwegend wind- en zonne-energie. Naarmate de penetratie van wind- en zonne-energie toeneemt, en dus gaat meeconcurreren in landgebruik, komen ook landschapsbescherming en natuurbescherming in toenemende mate onder druk te staan, resulterend in stijgende grondprijzen en verslechtering van de leefomgeving.

Uit gesprekken die zijn gevoerd met deskundigen komt geen eenduidig beeld naar voren wat het ruimtebeslag van een nieuw te bouwen kerncentrales. Iedere installatie heeft andere eigenschappen (zie hoofdstuk 2). Pas wanneer een concreet plan is ingediend, kan een uitspraak over de exacte ruimtelijke impact worden gedaan. Over het algemeen kan wel gesteld worden dat een grote kerncentrale aanzienlijk meer oppervlakte vraagt dan een kolen- en gascentrale. De centrale die momenteel in aanbouw is in Hinckley Point in het overwegend landelijk gebied aan de kust van Somerset, beslaat een oppervlakte van 67,5 ha (EDF, 2011).<sup>14</sup> De technische installaties vragen daarmee aanzienlijk meer oppervlakte dan de sites van de kolen- en gascentrales die momenteel in gebruik zijn. Let wel, we spreken hier over het directe ruimtebeslag van een inrichting sec. Bij een kolen- of biomassa-centrale speelt ook het indirecte ruimtebeslag een rol van de aanvoer en opslag van van kolen een belangrijke rol. De benodigde kolen worden per schip aangevoerd en vervolgens per gesloten transportband vervoerd naar mengtorens. Hetzelfde principe geldt ook voor biomassa hetgeen redelijk ruimte-intensief is<sup>15</sup>. Bij de productie van elektriciteit en warmte door de verbranding van kolen en biomassa komen ook vaste stoffen vrij: vlieg-as, bodem-as, rookgasontzwavelingsgips en ABIslib. Dit kent eveneens een ruimtebeslag (Arcadis/Electrabel, 2006). Het ruimtebeslag van een SMR daarentegen zal naar verwachting substantieel geringer zijn,

---

399 Gigawatt elektrisch vermogen (GWe). Daarmee werd in 2019 circa 10% van het mondiale elektriciteitsgebruik gedekt en circa 4% van het mondiale energiegebruik. Binnen de EU wordt in veertien landen kernenergie geproduceerd, in 2019 goed voor ruim 25% van de totale elektriciteitsproductie.

14 Het ontwikkelingssterrein voor Hinckley Point beslaat een gebied van ongeveer 110 hectare. Dit is de ruimte die nodig is met betrekking tot de bouwwerkzaamheden, zoals werkgebieden voor aannemers, opslagterreinen voor materiaal, tijdelijke huisvesting voor medewerkers en ruimte voor milieuonderzoek.

15 Dat geldt in het bijzonder de productie van energiegewassen waarvan duidelijk is dat dit binnen Nederland niet op grote schaal kan geschieden vanwege de schaarse ruimte en de hoge grondprijzen (RPB, 2003)

maar daar kunnen nog geen uitspraken over worden gedaan. Het is duidelijk dat het energiedebat ook over de ruimtelijke aspecten moet gaan. Andersom kunnen ruimtelijke beperkingen een rem vormen op de toekomstige energiemix.

Ruimtelijke inpassing met de bestaande activiteiten en de effecten van die activiteiten is daarmee een belangrijk maar ook complex vraagstuk. Tegelijkertijd zal de aansluiting op het netwerk een substantiële besparing opleveren in het ruimtebeslag omdat hoogspanningsleidingen en gerelateerde infrastructuur in de basis reeds zijn aangelegd.

Tevens moet worden bedacht dat er op dit moment ook ontwikkelingen zijn om groene energie in de vorm van waterstof als energie en grondstoffenstroom te importeren en te produceren. Hiervoor is in het havengebied ruimte nodig. De beschikbare ruimte in de haven is beperkt. Toekomstige ontwikkeling van kernenergie kan leiden tot conflicten in de beschikbare ruimte door de huidige en geplande ontwikkelingen rond waterstof.

Naast het directe ruimtebeslag is ook sprake van indirecte ruimtelijke impact van zon, wind en kernenergie. Deze vergelijking is veel lastiger te maken en valt formeel buiten de scope van deze studie. Brouwer en Bergkamp (2021) stellen in hun advies aan het Europese Parlement dat het ruimtebeslag een belangrijk afwegingscriterium moet zijn. De aanlanding van windenergie, de afstanden tussen kabels en conversie- en hoogspanningstations kan oplopen tot een extra 66% aan ruimtegebruik op het land, naast die van het windpark zelf. In het geval van zon- en wind op land wordt het ondergrondse ruimtebeslag dat nodig is voor bekabeling eveneens meestal buiten beschouwing gelaten. De indirecte hinder door slagschaduw en geluidsoverlast voor omwonenden speelt op zee geen rol, maar is wel een sterk beperkende factor bij het plaatsen van windmolens op land (vooral in dichtbevolkte regio's). Recent onderzoek van Wageningen University & Research (Schippers, et al., 2020) toont aan dat sprake is van een structurele onderschatting van de gevolgen door windmolenparken op de leefomgeving van mens en dier.<sup>16</sup>

### 3.2 De impact van veiligheid

Kernenergie heeft per vierkante meter een hoge energieproductie, maar daar is niet alles mee gezegd. Bij kerncentrales is sprake van ingrijpende indirecte effecten die kunnen optreden bijvoorbeeld door ongevallen. Het risico en de impact van ongevallen wordt weergegeven in zogenaamde risicocontouren. Een risicocontour is dus gekoppeld aan een specifieke activiteit. Uitgangspunt voor het vaststellen van risicocontouren is dat in principe nergens in Nederland iemand een groter plaatsgebonden risico mag lopen hoger dan 1 op de 1 miljoen per jaar ( $10^{-6}$ /jaar). Dit wordt onderbouwd in het 'Besluit externe veiligheid inrichtingen' (Bevi) dat op 27 oktober 2004 in werking is getreden en waarmee de grens- en richtwaarden zijn opgenomen voor het z.g. plaatsgebonden risico. Het begrip plaatsgebonden risico (PR) geeft uitdrukking aan de mate van externe veiligheid van een locatie en wordt weergegeven in risicocontouren. Letterlijk geeft een risicocontour (ofwel plaatsgebonden risico) aan hoe groot in de omgeving de overlijdenskans is door een ongeval met een risicobron: binnen de contour is het risico groter, buiten de contour is het risico kleiner. Het plaatsgebonden risico wordt vervolgens gebruikt bij de

---

<sup>16</sup> Op basis van deze twee methoden hebben de onderzoekers gekeken hoe de volgens de normen 'aanvaardbare sterfte' van invloed is op de populaties van de spreeuw, grutto, bruine kiekendief, lepelaar, ooievaar, visdief en zeearend. De resultaten laten zien dat de populatiegrootte zeer gevoelig kan zijn voor een kleine toename van de sterfte). In plaats van een verwaarloosbaar effect vonden de onderzoekers dat 1% extra sterfte resulteerde in een afname van 2 tot 24% van het populatieniveau van de verschillende vogelsoorten na 10 jaar.

toetsing of een risicovolle activiteit op een bepaalde plek mag plaatsvinden en wat in de directe omgeving ervan gebouwd mag worden.

In het plaatsgebonden risico zijn in het kort twee verschillende kansen verwerkt:

- De kans dat er daadwerkelijk een zwaar ongeval of ramp, zoals het ontsnappen van een gevaarlijke stof, plaatsvindt en:
- De kans dat een persoon daadwerkelijk overlijdt als gevolg van dit zware ongeval of ramp.

Deze plaatsgebonden risicocontour ( $10^{-6}$ /jr) vormt voor het Bevi een richtwaarde bij de vestiging van kwetsbare en minder kwetsbare objecten. Een voorbeeld van een kwetsbaar object is de aanwezigheid van een grote groep mensen.<sup>17, 18</sup> De provincies maken en beheren de risicocontouren waarbij de gegevens afkomstig zijn van gemeenten, Rijk en provincies zelf. Elke 5 jaar wordt er een grote actualisatieslag van de informatie op een kaart gemaakt. Wijzigingen in de omstandigheden leiden gewoonlijk tot aanpassingen van het bestand en dat dient in principe binnen twee weken te gebeuren.

In het Bevi is ook het begrip veiligheidscontour gedefinieerd (artikel 14). Een veiligheidscontour hoort bij het bestemmingsplan en geeft het gebied aan waarbinnen activiteiten met risicocontouren kunnen worden uitgevoerd en dat er in principe geen kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten worden gerealiseerd. Binnen de veiligheidscontour mag een overlap bestaan met een risicocontour.<sup>19</sup> Een veiligheidscontour biedt daarmee ook de mogelijkheid om actief ruimte te reserveren voor risicovolle activiteiten. Deze reservering moet wel zijn gebaseerd op een achterliggende visie van de (globale) invulling in een gebied voor de middellange termijn. De reservering voor risicovolle activiteiten wordt vervolgens 'op de kaart gezet' als een contour voor het plaatsgebonden risico. Daarbij moet ook rekening worden gehouden met de historisch gegroeide situatie. De veiligheidscontour is dan weliswaar vastgelegd in onderliggende bestemmingsplannen, het kent geen directe doorwerking voor bouwaanvragen. Deze methodiek is ook gehanteerd bij de vaststelling van de waarborglocaties (hierover later meer). Het Bevi is een Algemene Maatregel van Bestuur waar men zich aan dient te houden als het gaat om een risico- en veiligheidscontour.

In de figuur op de volgende bladzijde zijn de veiligheidscontouren aangegeven van Maasvlakte 1 en 2.

De risiconormering voor kerncentrales, waaronder  $10^{-6}$  individueel risico en het groepsrisico voor kerncentrales, is geregeld in het 'Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen' (Bkse-art.18).<sup>20</sup> Met deterministische en probabilistische methoden zal een vergunningaanvrager voor de bouw van een kerncentrale moeten aantonen dat aan de eisen wordt voldaan, en verder moeten voortdurend verbeteringen worden aangebracht, waar die mogelijk en in redelijkheid geëist kunnen worden (continuous improvement) (Bron: ontleend aan communicatie met ANVS). De Bkse- en Bevi-methodieken betreffen verschillende regelgeving. De twee stelsels zijn niet aan elkaar verbonden, maar zij zijn voor wat betreft de uitvoering wel geharmoniseerd.

---

17 Uit persoonlijke communicatie met gesprekspartner van dit onderzoek.

18 Een Plaatsgebonden Risicocontour wordt gedefinieerd als "de kans per jaar dat een persoon, die zich continu en onbeschermd op een bepaalde plaats bevindt, overlijdt als direct gevolg van een ongeval met gevaarlijke stoffen bij een risicovolle activiteit". Dat betekent dat in een jaar tijd één op de miljoen mensen een kans mag lopen te overlijden door een ongeval.

19 Er kan wel een uitzondering worden gemaakt wanneer sprake is van een functionele binding van activiteiten binnen een veiligheidscontour.

20 Verdere veiligheidseisen staan beschreven in de Handreiking voor een veilig ontwerp en het veilig bedrijven van kernreactoren (VOBK) van ANVS en in IAE-standaarden.



Figuur 2: Ligging veiligheidscontouren Maasvlakte 1 en 2



Bron: Bestemmingsplan Maasvlakte 1 en 2

Een aspect dat zich niet in contouren laat vatten is de betekenis van de veiligheidsbeleving van de bevolking, dit ook gezien in het licht van groeps-risicoanalyses en de zogenaamde 'aandachtsgebieden'. Dit aspect is niet onderzocht en houdt zich niet aan contouren. Maar Nederland is een dichtbevolkt land met een intensief ruimtegebruik waardoor een ernstig incident snel kan leiden tot burgerslachtoffers.<sup>21</sup> In de discussie over kernenergie zal dit zeker worden ingebracht in samenhang met de omvang van de voorbereidingszones.

Een andere zwaarwegende factor in dit vraagstuk vormen de (eventueel) conflicterende risicocontouren met andere (reeds bestaande) activiteiten bij een bepaalde locatiekeuze, zoals de aanwezige industrie met een hoog risicoprofiel.<sup>22</sup> Dit principe speelt zowel een rol bij een vergunningsaanvraag voor een Generatie 3+- en 4-kerncentrale, maar zal uiteindelijk ook een rol gaan spelen in een locatievoorkeur en vergunningsaanvraag voor een SMR-centrale.

Het voorgaande concentreert zich op de rol en betekenis van contouren. Het is ook van belang wat onder het begrip veiligheid met worden verstaan. Publicaties over 'bewezen technologie' (lees Generatie 3+, zie ook sectie 2.1) geven aan dat volgens de ontwerp-specificaties deze installaties 'inherent veilig' zijn en beschikken over een back-up capaciteit<sup>23</sup>. Navraag leert dat de ANVS het begrip inherente veiligheid niet

---

21 Dit is overigens de perceptie, maar niet de realiteit. Fukushima heeft niet geleid tot burgerslachtoffers (tenminste niet door de straling, wel door de evacuatie). Een ernstig incident zal niet snel leiden tot burgerslachtoffers, wel kan het leiden tot het nemen van beschermingsmaatregelen voor burgers in de buurt van de kerncentrale die daardoor worden geraakt.

22 Het individueel risico wordt in de nucleaire sector berekend vanaf het hek van de installatie met als uitgangspunt een kind van 1 jaar 'naakt aan het hek' in combinatie met een stochastische doorberekening van de hogere kans op kanker door straling. Uit de MER van Borssele (EPZ, 2010) komt naar voren dat de risico's meerdere ordes van grootte onder de limieten blijft.

23 Inherente veiligheid, ook wel natuurlijke of intrinsieke veiligheid genoemd, kan worden beschouwd als een ver doorgevoerde vorm van passieve veiligheid. Inherent veilig houdt in dat de veiligheid is gewaarborgd door de reactor zo te ontwerpen (wat betreft constructiematerialen, gebruikte principes, opstelling van componenten en dergelijke) dat de respons op (vrijwel) elke initiërende gebeurtenis resulteert in een veilige toestand van de reactor

actief hanteert. Zij stellen dat inherent aan het proces (splijting, kettingreactie, straling) een kerncentrale op zich altijd risicovol is. Deze opvatting wordt gedeeld door experts die in dit onderzoek zijn geïnterviewd.

Wel kan het ontwerp van de kerncentrale zodanig zijn dat de risico's voor de omgeving verder uitgesloten kunnen worden, bijvoorbeeld door de dimensionering of beheersing van de splijtingsreactie op basis van fysische eigenschappen en passieve systemen. Bij de ontwikkeling de Generatie 4-reactoren moet het veiligheidsniveau minstens op hetzelfde niveau van Generatie 3+-reactoren worden gehouden. Vergaande eisen met betrekking tot de potentiële gevolgen in de omgeving maken tegenwoordig integraal onderdeel uit van de ontwerpisen voor nieuwe kerncentrales (Europese richtlijn nucleaire veiligheid, geïmplementeerd in de Regeling nucleaire veiligheid kerninstallaties). Voor dit onderzoek ondervraagde deskundigen geven aan dat de technologische ontwikkelingen aantoonbaar bijdragen aan een lager risico op ongevallen. De kans dat stralingsongevallen plaatsvinden in Nederland wordt van alle voorgedegde crises en rampen het minst waarschijnlijk geacht en iets meer dan gemiddeld ernstig genomen (NCTV, 2021).

randvoorwaarden en criteria	beoordeeld aan de hand van informatie over	Bonusele	Femis	Maatlatke
Randvoorwaarden				
Ligging	De locatie ligt niet binnen 5 km van een dichtbevolkt gebied	2	2	2
Veiligheid	Preventieve en rampbestrijdingsmaatregelen moeten mogelijk en uitvoerbaar blijven	2	2	2
Criteria	In relatie tot een veilige bedrijfsvoering			
Weersomstandigheden	risico's voor stormen en tornado's, overstromingen en brand risico's voor aardverschuivingen, waterafvoer, aardbevingen en instortingen	1	2	2
Bodemstabiliteit	risico's op explosies, o.b.v. aanwezigheid gevaarlijke bedrijven	2	1	2
Koelwater	beschikbaarheid koelwater	2	2	1 à 2
Explosiegevaar vanaf land	en routes gevaarlijke stoffen	1	1	1
Neerstortingsgevaar	neerstortingsgevaar van vliegtuigen	2	2	2
Transport	Transportmogelijkheden via weg, spoor, water	2	2	2
Nautische veiligheid en gevaar door olierampen	risico's door olierampen, o.b.v. ligging scheepvaartroutes, intensiteiten en het risico voor verspreiding in de richting van de locatie	1	1	1
In relatie tot de beïnvloeding van de omgeving				
Straling	Dosisbelasting bevolking	2	2	2
Voedselketen	gebruik van bodem en water in omgeving	1	1	1
Algemene hinder	afstanden tot nabijgelegen woongebieden	2	2	2
Vernietiging of aantasting natuurlijke waarden en natuurgebieden	– Natura 2000-gebieden, – ecologische hoofdstructuur – weidevogel en ganzenfourageergebieden	1	1	1
Vernietiging van grote hoeveelheden (water) organismen	(water)-organismen nabij koelwaterinlaat	1	1	2
Bodem- en grondwaterverontreinigingen	– milieubeschermingsgebieden (inclusief grondwater- en bodembeschermingsgebieden) – kwel of inzigsituatie; – richting en snelheid grondwaterstromingen	2	2	2
Verspreiding verontreinigingen		2	2	2
Lozing koelwater op zoetwatervoorraad	oppervlaktewater, dat wordt gebruikt als zoetwatervoorraad	2	2	2
Mogelijkheden om koeltoren achterwege te kunnen laten	– aard en hoeveelheid koelwater in omgeving	2	2	1
Aantasting archeologie en cultuurhistorie	– aanwezigheid van archeologisch en cultuurhistorisch waardevolle gebieden en structuren	2	2	2
Aantasting landschappelijke waarden	– het landschap in de omgeving	1	1	2

N.B. De waarborgingslocaties zijn beoordeeld aan de hand van een driepuntsschaal: (a) de locatie voldoet goed aan/scoort goed op het criterium (waardering 2); (b) de locatie voldoet minder goed aan scoort minder goed op het criterium (waardering 1); (c) de locatie voldoet slecht aan/scoort slecht op het criterium (waardering 0). Bron: Tweede Kamer der Staten-Generaal - SEV III (2009:44).

Random kerncentrales dienen ook z.g. preparatiezones vastgesteld te worden waarin maatregelen bij een onverhoopt ongeval met (dreigende) effecten buiten de terreingrens moeten zijn voorbereid. Deze

zonder beschadiging van de splijtstof. Dit houdt in dat dan ook geen radioactiviteit vrijkomt.

zones staan in het Landelijk Crisisplan Straling (LCP-S – paragraaf 4.4.1). Op de website van de ANVS is een afbeelding gepubliceerd waarop van deze zones in kaart zijn gebracht (zie bijlage 2). In bijlage 3 worden de omhullende veiligheidscontouren van het havenindustriële complex (HIC) van Rotterdam weergegeven, zoals aangegeven in de vigerende bestemmingsplannen.

Kort samengevat blijkt uit SEV III dat de waarborgingslocaties Borssele, Eemshaven en Maasvlakte allen voldoen aan de gestelde randvoorwaarden (figuur 3). De bevolkingsaantallen en de aantallen kwetsbare objecten binnen een straal van 5 km zijn gering. Tevens zijn er voldoende vluchtwegen waarover de bevolking bij calamiteiten het gebied snel kan verlaten.<sup>24</sup> Van de criteria in relatie tot de bedrijfsvoering zijn de criteria neerstortingsgevaar en nautische veiligheid/gevaar voor olierampen, transport en explosiegevaar vanaf land niet onderscheidend. De criteria bodemstabiliteit en aanwezigheid koelwater zijn echter wel onderscheidend. De waarborgingslocatie Borssele ligt in een gebied, dat op de provinciale risicokaart is aangeduid als overstromingsgebied. Dat brengt een zeker risico met zich mee. De waarborgingslocatie Eemshaven ligt in een gebied dat is aangeduid als Mercalli zone VI: gekenmerkt door lichte schade, schrikreacties, omvallende voorwerpen, lichte schade aan minder solide huizen. Gelet op de naar verwachting zeer stabiele constructies van kerncentrales lijkt dit kenmerk volgens het onderzoek echter niet erg relevant voor het waarborgingsbeleid. Het onderzoek laat zien dat de beschikbaarheid van voldoende koelwater bij de waarborgingslocatie Maasvlakte nog niet geheel duidelijk is. De locatie ligt weliswaar aan groot water, maar vanuit de regio worden vraagtekens gezet bij de beschikbaarheid van voldoende koelwater (zie ook KPMG, 2021).

De aanvoer van grondstoffen en de afvoer van het splijtstof van een nieuw te bouwen kerncentrale is sterk gereduceerd in vergelijking met oudere typen centrales. Bij Generatie 4-reactoren is sprake van een nog efficiënter gebruik van grondstoffen en derhalve een verminderde productie van langlevend afval. Dit betekent een navenant effect op aan- en afvoer via transport. SMR-reactoren van Generatie 4 hebben een nog lagere impact omdat het is gebaseerd op een ander productiesysteem (zie paragraaf 2.1). Hoewel er geen risico's zijn verbonden aan het transport zal de regering een besluit moeten nemen over de opslag van het afval.

### 3.3 Wie 'staat er aan de lat' bij de plaatsing van een centrale/ SMR?

Het is een breed gedeelde opvatting dat het thema kernenergie zeer gevoelig ligt. De discussie is sterk gepolitiseerd waarbij door verschillende partijen stevige standpunten worden ingenomen. Voor de besluitvorming is dit een lastig gegeven, mede omdat het verschil in standpunten niet per se langs partijlijnen loopt, want ook binnen politieke partijen is sprake van uiteenlopende opvattingen. Ook maatschappelijk gezien lopen de opvattingen sterk uiteen. Sinds de jaren 70 is er een sterke maatschappelijk beweging die zich keert tegen kernenergie. De discussie kreeg extra emotie vanwege een aantal incidenten die vergaande gevolgen hadden (Fukushima 2011, Tsjernobyl 1986). In tal van raden op lokaal en provinciaal niveau is de vraag gesteld welke rol kernenergie in de toekomst kan spelen in de toekomstige energievoorziening. Naast de bestaande politisering moet ook het risico op een zeker polarisering in het maatschappelijk debat over kernenergie niet worden uitgesloten. Deze verkenning beperkt zich tot de bestuurlijke verantwoordelijkheidsverdeling in Nederland.

De Europese Commissie heeft het kernenergiebeleid gedelegeerd naar de lidstaten (in het kader van het subsidiariteitsbeginsel) en neemt verder een afwachtende houding aan. Dit betekent dat het dossier

---

24 In de optiek van de onderzoekers van deze verkenning is de ontsluiting van de Maasvlakte mogelijk problematisch omdat dit plaatsvindt in de vorm van één snelweg (de A15).

kernenergie een nationaal beleidsvraagstuk betreft. In het nationale klimaatakkoord, dat als kaderstellend kan worden gezien voor het Nederlandse beleid, wordt kernenergie niet genoemd als optie om toekomstige klimaatdoelen te realiseren. Tegelijkertijd worden in verschillende gemeenteraden (Rotterdam, Bergen op Zoom) en bij provinciale besturen (Noord-Brabant, Zuid-Holland) vragen gesteld over mogelijkheden, c.q. wenselijkheid van kernenergie in de toekomstige energiemix. Dit lijkt nogal tegenstrijdig en werkt verwarrend. Toch is het dossier kernenergie helder belegd, hetgeen hieronder wordt toegelicht.

Er zijn vele actoren bij dit beleidsdossier betrokken. Het regelgevend kader voor de veiligheid van kerncentrales in Nederland wordt gevormd door de Kernenergielwet uit 1963 en de daarmee samenhangende Algemene Maatregelen van Bestuur, Ministeriële Regelingen en ANVS-verordeningen.<sup>25</sup> Op basis van deze wet kunnen vergunningen worden verleend aan organisaties die zich beroepshalve bezighouden met kernenergie of daaraan gerelateerde materialen. Vanwege de snelheid waarmee wetenschappelijke kennis en inzichten met betrekking tot kernenergie wijzigen, is besloten de wet tot een raamwet<sup>26</sup> te maken.

De taken en verantwoordelijkheden rond planning en beheer van kernenergie in Nederland zijn duidelijk vastgelegd. Op nationaal niveau ligt de coördinatie rond beleidsontwikkeling en besluitvorming bij het ministerie van EZK. De minister van EZK is dan het eerste aanspreekpunt, maar dit ministerie werkt nauw samen met andere ministeries zoals Binnenlandse Zaken (BZK) voor wat betreft de ruimtelijke ordening en Infrastructuur en Waterstaat (I&W) voor de vergunningverlening. Meer op de achtergrond is ook het ministerie van Financiën betrokken. Het kernenergiebeleid heeft dus nadrukkelijk een nationale insteek. Het is vanuit dit beleid dat de waarborglocaties zijn benoemd, waarmee wordt voorzien in een ruimtelijke reservering voor de bouw van een grote centrale.

Tot 2015 waren de diverse overheidstaken en de kennis over de nucleaire sector verspreid over verschillende instanties. Al deze kennis en kunde is nu gebundeld bij de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS), het bevoegd gezag op het gebied van kernenergie. De ANVS is het Nederlands zelfstandig bestuursorgaan (ZBO) dat toezicht houdt op: (a) de veiligheid van nucleaire installaties en de bescherming tegen ioniserende straling van werknemers in nucleaire installaties, de bevolking en het milieu, (b) het vervoer van radioactieve stoffen en radioactief afval, (c) stralingsincidenten en (d) beveiliging. De ANVS stelt als bevoegd gezag regels op, verleent vergunningen, ziet toe op de naleving daarvan en kan handhavend optreden.

De ANVS doet echter meer dan haar primaire activiteiten als vergunningverlening en toezicht, zoals onder andere beleidsadvisering, onderzoek, internationale samenwerking en publiekscommunicatie over nucleaire veiligheid, beveiliging en stralingsbescherming. In haar Koersplan (2017) geeft zij aan dat zich voortdurend nieuwe en strategische vragen voordoen die ook het dossier kernenergie raken: hoe zal de energievraag zich de komende jaren ontwikkelen? Welke vorm van energie moet daarin voorzien en tegen welke prijs? Welke (nieuwe) risico's dienen zich aan en hoe kan dat risico worden beheerst (denk aan cyberterrorisme). Het zijn dit soort strategische vraagstukken die de ANVS volgt om de veiligheid in de toekomst te kunnen blijven bewaken en bevorderen (ANVS, 2017). De ANVS valt onder de verantwoor-

---

25 Dit stelsel is beknopt toegelicht in de door ANVS in 2020 uitgegeven Staat van de Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (hoofdstuk 2).

26 Een raamwet (of kaderwet) regelt algemene principes, verantwoordelijkheden en procedures, maar bevat geen gedetailleerde regels. Een raamwet is in ons land doorgaans een wet die verder uitgewerkt wordt door [algemene maatregelen van bestuur](#) en [ministeriële regelingen](#) met nadere bepalingen.

delijkheid van de minister van I&W maar de ANVS is daaraan hiërarchisch niet ondergeschikt.<sup>27</sup> eze kennis en kunde maakt dat de ANVS ook het nationale kenniscentrum is op het gebied van veiligheids- en risicocontouren voor kerncentrales.

In de bestaande ruimtelijk-juridische context hebben de provincies en gemeenten geen rol, hoewel zij wel vanuit het ruimtelijke en externe veiligheidsoogpunt betrokken zullen zijn indien er een initiatief start op één van de aangewezen locaties. De provincie Zuid-Holland heeft momenteel geen specifiek beleid of regelgeving met betrekking tot kerncentrales. Gezien de aard en schaal van de ontwikkeling van een kerncentrale is het lastig om beleid te ontwikkelen dat dit bevordert of verbiedt (provincie Zuid-Holland, 2019). Ook de gemeente Rotterdam heeft geen specifiek beleid of opvatting over de rol die kernenergie kan spelen in de toekomstige energiemix. De provinciale en regionale diensten verantwoordelijk voor externe veiligheid lijken, blijkend uit het antwoord op de aan hen gestelde vragen, eveneens niet te zijn voorbereid op een rol in het dossier.

De Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur (RLi) constateert eveneens dat sprake is van een gepolariseerd debat en een moeizame dialoog rond kernenergie. Zij is daarom een advies aan het voorbereiden over de vraag welke elementen een rol spelen in de meningsvorming over de rol van kernenergie in een klimaatneutraal energiesysteem, hoe deze elementen kunnen worden gewogen en wat dit betekent voor de besluitvorming door de overheid over kernenergie. Dit advies wordt op zijn vroegst verwacht in het voorjaar van 2022.<sup>28</sup>

Het nationaal beleid rond kernenergie heeft verder een neutrale insteek. Het ministerie van EZK vervult daarbij een loketfunctie. Dit houdt in dat als er initiatiefnemers zijn die activiteiten willen ontwikkelen rond kernenergie, deze een plan kunnen opstellen en indienen. Een belangrijk uitgangspunt hierbij is dat de vraag en het initiatief uit de markt moet komen en dus niet wordt geïnitieerd vanuit de nationale overheid of een regio. Volgens de Rijksoverheid waren er tot en met 2019 in ieder geval geen plannen, ook niet bij bedrijven, voor de bouw van een nieuwe centrale (EZK, 2019). Zeer recentelijk heeft onder leiding van EZK een marktconsultatie plaatsgevonden naar de interesse om kerncentrale te realiseren in Nederland (KPMG, 2021). De marktverkenning heeft een internationale oriëntatie maar ook de regio's in ons land zijn hiervoor benaderd.

In het kader van de beantwoording van de vraag in welke regio's er belangstelling is voor de realisatie van een kerncentrale komt op basis van interviews en (relevante) randvoorwaarden alleen de gemeente Borssele naar voren als locatie waar zowel één of meerdere grote kerncentrales of SMR's mogelijk zijn. Deze locatie kent lokale steun, lijkt vanuit koelwater-perspectief het meest kansrijk en heeft wellicht geen problemen met netaansluitingen. Het overgrote deel van de marktpartijen benadrukt dat de bouw van een kerncentrale moet worden gekozen voor bewezen technologie die voldoet aan de geldende veiligheidseisen, waarbij brede consensus bestaat voor een Generatie 3+ reactor (zie hoofdstuk 2). De marktpartijen stellen dat in Nederland de kostenoverschrijding en vertragingen geen probleem hoeven te zijn zoals in het buitenland wel het geval is, maar tegelijkertijd geven zij aan dat de noodzakelijke kennis en expertise nog opgebouwd moet worden in Europa. Eenzelfde soort opstelling geldt voor de financiering van een kerncentrale. Ten aanzien van de financiering geldt dat private financiers bereid zijn

---

27 Dankzij deze status is het belang van veiligheid en stralingsbescherming zo veel mogelijk losgekoppeld van andere belangen die hiermee kunnen conflicteren zoals economische belangen. Aanpalend is de minister van Financiën samen met de minister (heden: staatssecretaris) van IenW verantwoordelijk voor de goedkeuring van de financiële zekerheid voor de kosten van sluiting en ontmanteling van een kernreactor en de minister van Economische Zaken en Klimaat voor het kernenergiebeleid.

28 Zie: <https://www.rli.nl/in-voorbereiding/kernenergie>

een kerncentrale te financieren, maar tegelijkertijd stellen zij dat omzetgaranties en betrokkenheid van de overheid onvermijdelijk zijn gegeven de investeringsomvang, de substantiële risico's en onzekerheden en de lange doorlooptijd (KPMG, 2021).

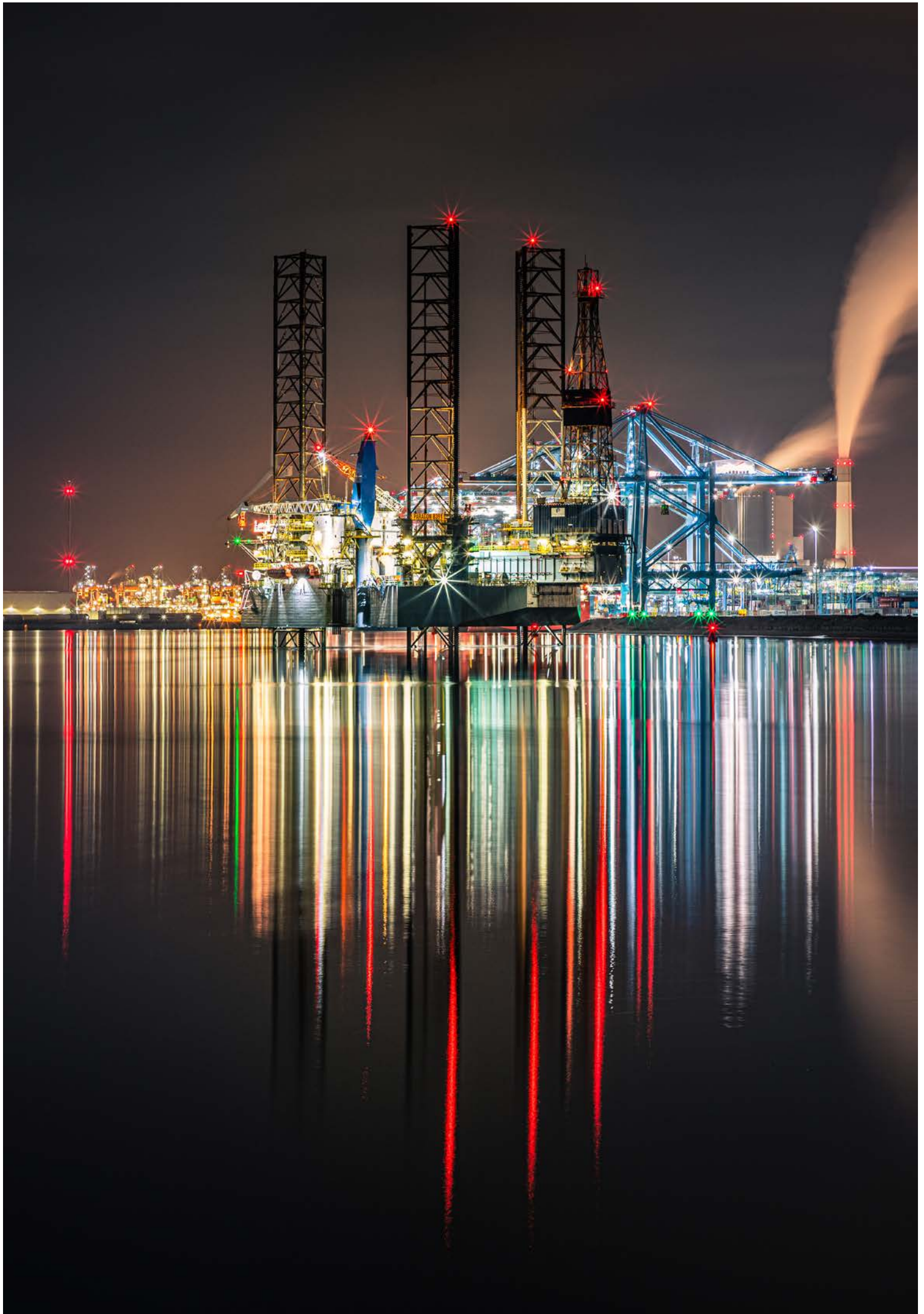
Als de behoefte vanuit de markt leidend is voor de vraag of er al dan niet een grote centrale of SMR gebouwd zal worden, is de interessante vraag wie de vraag articuleert. Vervolgens is van belang inzicht te hebben in wat precies de vraag is. Is dat op basis van een behoefte aan een markt vraag naar CO<sub>2</sub>-neutrale elektriciteit? Of is er juist behoefte aan stoom en warmte? Of gaat het wellicht om een combinatie van beide? Vanzelfsprekend zal ook worden getoetst *of* en *hoe* een sluitende businesscase rond een propositie kan worden gemaakt. Hierbij valt te verwachten dat private investeerders van de overheid een actieve rol verwachten, bijvoorbeeld in de vorm van financiële garantstelling. Voor de betrouwbaarheid van de overheid is dat een uitdaging omdat we spreken van een investeringsperiode die meerdere kabinetsperiodes beslaat. Omgekeerd zal de overheid harde garanties vragen van de investeerder op het gebied van bouwtijd, kostenoverschrijding en technische specificaties en prestaties.

Een ander belangrijk aspect in deze context is de bestaande marktstructuur. Eén van de door ons ondervraagde experts stelt dat in het energiedebat te gemakkelijk twee richtingen wordt opgegaan: of de markt moet het doen of er moet subsidie komen. Deze gesprekspartner is daarom voorstander van het heroverwegen van ons huidige marktmodel. Hij stelt: "Binnen de huidige marktstructuur komen geen investeringen tot stand in energieproductie of energie-infrastructuur. Deze *energy only* markt leent zich daar eenvoudigweg niet voor." Hij wijst er daarbij op dat dit in het verleden nog wel mogelijk was (hoewel dat gepaard ging met grote schokken), maar met de enorme impact van de overheid op belangrijke delen van de markt is het zijns inziens niet mogelijk om te verwachten dat op het kleine beetje markt dat overblijft de klassieke vrije markt haar werk voldoende kan doen. (Zie ook SEO, 2014).

Bovenstaande analyse leidt ertoe dat een keuze voor, en investering in, kernenergie een complex bestuurlijk vraagstuk is waarbij vele partijen zijn betrokkenen, zoals de energiesector (w.o. niet-Nederlandse bouwconsortia), de overheid, infrabeheerders en de kennisinfrastructuur (inclusief adviesorganen als PBL). Het is daarmee van groot belang dat voorafgaand aan een besluitvormingsproces commitment wordt verkregen en geborgd, niet alleen van de politiek maar ook van private actoren, belangenorganisaties en burgers.

De belangrijkste observaties in dit hoofdstuk zijn:

- De ruimtelijke reservering die gemoeid is met de status van 'voorkeurlocaties' is nog steeds geldig voor Maasvlakte-1, maar vraagt wel om een nadere uitwerking en aanpassing als gevolg van veranderde inzichten in ruimtebeslag, veiligheid en risico's;
- Een besluit tot de bouw van een kerncentrale is een investeringsbeslissing die is omgeven met grote onzekerheden: technologische ontwikkelingen, concurrerende maar nog in ontwikkeling zijnde energiesystemen, energiewetgeving op diverse schaalniveaus (EU, nationaal en regionaal), marktontwikkelingen, etc. De rijksoverheid zal in dit proces een regierol moeten spelen;
- Het ontwikkelpad van beloftevolle nieuwe technologische concepten, de besluitvorming en vergunningverlening is een langdurig proces. Dit biedt ruimte om een visie te ontwikkelen op de rol en betekenis van kernenergie op de lange termijn.



# Conclusies en overwegingen

## 4.1 Conclusies op basis van de literatuurstudie en interviews

- **Bewezen technologie**

In de door KPMG in 2021 uitgevoerde marktconsultatie omtrent het investeren in kernenergie in ons land benadrukt een overgroot deel van de marktpartijen het belang van de keuze voor bewezen technologie.

Kerncentrales van de Generatie 1 tot en met 3+ worden gezien als bewezen technologie. Centrales van Generatie 1 tot en met 3 worden wegens het ontbreken van maatschappelijk draagvlak niet haalbaar geacht. Generatie 3+-centrales zijn dat wel omdat zij voldoen aan extra veiligheidseisen die na de ramp in Fukushima gelden.

- **Generatie 4 en SMR (small modulair reactoren)**

Generatie 4-reactoren zijn momenteel nog in ontwikkeling en komen naar verwachting pas na 2040-45 op de markt als First-Of-A-Kind-reactor. Deze reactoren zullen voordelen in energie- en grondstoffefficiency, afval en veiligheid kennen.

Naast traditionele grootschalige reactoren worden op dit moment SMR's ontwikkeld: kleine modulaire reactoren die op een seriematige wijze worden ingevoerd.

Ten opzichte van grote kerncentrales hebben SMR's kostenvoordelen door lagere investeringslasten; flexibiliteitsvoordelen; veiligheidsvoordelen; eenvoudiger ruimtelijke inpassing en voordelen in de doorlooptijd van het vergunningsproces.

SMR's kennen naast voordelen essentiële onzekerheden; de genoemde voordelen zijn nog niet in de praktijk bewezen. Maatschappelijk draagvlak om meerdere SMR's verspreid in Nederland te bouwen is een belangrijk aandachtspunt. Er is er geen duidelijkheid over de omvang van cruciale kosten voor het functioneren van een reactor, zoals de Front End-kosten—de kosten voor de splijtstof—en de Back End-kosten, de kosten voor het afvoeren en veilig opbergen van de gebruikte splijtstof.

- **Tijdshorizon**

De bouw van een nieuwe kerncentrale in Nederland op basis van bewezen technologie (Generatie 3+) zal naar verwachting minimaal 11 en maximaal 15 jaar vergen vanaf de start van het vergunningstraject. Daarvoor zit nog een periode nodig voor de maatschappelijke discussie rond kernenergie. De eerste SMR is op zijn vroegst beschikbaar in 2041. Generatie 4-reactoren als bewezen technologie zijn niet voor 2050 te verwachten.

- **Bijdrage energietransitie**

Voor het behalen van emissiedoelen in 2030 ligt kernenergie buiten beeld. Het gaat om een mogelijke rol in het energiesysteem tot 2050. Een Generatie 3+-centrale kan in principe een rol spelen in de energietransitie in deze periode, mits aan voorwaarden rond financiering, langetermijncontracten én locatiegebonden voorwaarden en mogelijkheden wordt voldaan.



SMR's kunnen mogelijk een rol spelen in de energietransitie na 2040. Echter, het tijdpad blijft onzeker en de bijdrage zal gegeven de geringe omvang van naar verwachting mogelijk slechts tot enkele SMR's beperkt blijven.

- **Veiligheid en beheersbaarheid**

De door ons voor dit onderzoek ondervraagde deskundigen stellen dat de risico's, met Generatie 3+- en 4-reactoren en de SMR-reactoren in de toekomst goed beheersbaar zullen zijn.

- **Locatiekeuze en veiligheid**

De Nederlandse overheid hield tot voor kort drie locaties vrij voor de mogelijke komst van een kerncentrale voor elektriciteitsopwekking. Dit betreft de Eemshaven, de Maasvlakte I en Borssele. De Tweede Kamer heeft in 2021 besloten dat een vestiging in het Eemsgebied niet meer aan de orde is. Op basis van de interviews en relevante randvoorwaarden komt KPMG in haar marktverkenning tot de conclusie dat er één locatie, te weten de gemeente Borssele binnen de provincie Zeeland, naar voren komt als een preferente locatie voor zowel de vestiging van één of meerdere grote kerncentrales als SMR(s).

Voor het havengebied van Rotterdam zijn al eerder veiligheidscontouren vastgesteld. Risicocontouren van één of meerdere grote kerncentrales als SMR(s) zijn niet bekend. Dit is een derhalve een kennisleemte.

De locatiekeuze-onderzoek dient aan de hand van op dat moment geldende laatste inzichten worden bepaald en getoetst. Hierbij spelen zowel nieuwe inzichten een rol als voortschrijdende technologische ontwikkelingen, nieuwe technologische concepten (SMR, generatie-4), beheersing van- en omgaan met radioactieve afvalstromen, onvoorspelbare externe dreigingen (digitale hack), internationale harmonisatie van regelgeving, etc.

- **Wie staat aan de lat?**

Het initiatief voor de bouw van een kerncentrale ligt in principe bij de markt. De overheid kan randvoorwaarden scheppen om de situatie aantrekkelijk te maken voor de markt (aanwijzing locatie, stimulering (subsidie en/of CO<sub>2</sub> beprijzing), garantiestellingen (capex of opex) etc. Dat laatste is een politieke keuze.

Een besluit tot de bouw van een kerncentrale is een investeringsbeslissing die is omgeven met grote onzekerheden: technologisch ontwikkelingen, concurrerende maar nog in ontwikkeling zijnde energiesystemen, energiepolitiek op diverse schaalniveaus (EU, nationaal en regionaal), marktontwikkelingen, etc.

Het onderwerp van de ruimte zal nadrukkelijker aandacht moeten krijgen op de energieagenda. Tegelijkertijd moet energie altijd een belangrijk punt zijn op de ruimteagenda.

De rijksoverheid moet in deze proces een regierol spelen.

- **Naar een actieve rol van de overheid**

Zodra kernenergie een serieuze beleids optie wordt achten meerdere door ons ondervraagde deskundigen een meer actieve rol van de overheid gewenst. Daarbij zijn aandachtspunten

- ∅ Op Europees niveau nastreven van de harmonisatie van de regelgeving en vergunningverlening. Overigens is het wel zo dat momenteel het Internationaal Atoomagentschap toezicht houdt op de eisen.
- ∅ Op nationaal niveau kan de Nederlandse overheid een visie en opstelling verkiezen die verder gaat

dan de beperkte 'loketfunctie' die zij momenteel vervult. Dit wordt ook door de marktpartijen die zijn geconsulteerd door KPMG in de marktconsultatie gezien als voorwaarde voor een investering.

De provincie Zuid-Holland en de gemeente Rotterdam hebben geen specifiek beleid of regelgeving met betrekking tot kerncentrales.

- **Concurrerende energiesystemen**

Er zijn op dit moment vergaande plannen om klimaatneutrale energie in de vorm van aanlanding off-shore wind en waterstof als energie- en grondstoffenstroom te importeren en te produceren. Hiervoor is in het havengebied ruimte nodig. De beschikbare ruimte in de haven is beperkt. De realisatie van een kerncentrale zet deze opties, waarvoor breed draagvlak is, verder onder druk.

Bovenstaande problematiek en de toepassing van kernenergie in de Rotterdamse haven kan niet los worden gezien van toekomstige energiebehoefte van zowel Noordwest Europa voor de haven als stad.

## 4.2 Tot besluit

Kernenergie staat volop in de belangstelling als één van de opties binnen de energietransitie. De belangstelling is niet gebaseerd op technologische doorbraken of nieuwe bestuurlijke inzichten maar door het feit dat geen CO<sub>2</sub> vrijkomt bij het opwekken van kernenergie.

De kansen voor kernenergie worden in belangrijke mate bepaald door de wijze waarop Nederland en de haar omringende landen invulling gaan geven aan de gestelde klimaatdoelen. Het is evident dat voor het behalen van deze doelen geen plaats meer is voor kolen, olie en gas. Naast energiebesparing moet worden omgezien naar alternatieven voor fossiele brandstoffen. Bovendien zal door de noodzakelijke energietransitie de vraag naar elektriciteit sterk groeien. Kernenergie kan in de toekomstige energiemix daarbij een rol spelen.

In deze context is recentelijk een interessant rapport verschenen van het IEA (2021). In een klimaatneutrale wereld in 2050 zal de energiewereld er volgens het IEA met het "Net-zero-by- 2050"- scenario totaal anders uitzien. De wereldwijde energievraag zal door energiebesparing ongeveer 8% kleiner zijn dan vandaag en die staat ten dienste van een mondiale economie die meer dan dubbel zo groot zal zijn als nu met een wereldbevolking van 9 miljard mensen. Bijna 90% van de elektriciteitsproductie zal dan afkomstig zijn van hernieuwbare bronnen, waarbij wind en zon-PV samen goed zijn voor bijna 70%. Het grootste deel van het resterende deel zal afkomstig zijn van kernenergie.<sup>29</sup> Er is dus een gerede kans dat kernenergie ook in een klimaatneutrale wereld een rol zal blijven spelen.

Voor de introductie van kernenergie op korte termijn (denk aan de periode voor 2040) moeten de verwachtingen worden getemperd. Daarvoor zijn de technologisch, financiële en bestuurlijke vraagstukken maar ook de maatschappelijke acceptatie nog omgeven met te veel onzekerheden. Met het oog op de langere termijn ontwikkelingen (denk aan een tijdshorizon van 2050 en verder) moet een rol van kernenergie in Nederland niet worden uitgesloten, mede door de dynamiek die met de energietransitie

---

29 Het gebruik van fossiele brandstoffen zal in 2050 zijn gedaald van bijna vier vijfde van de totale energievoorziening nu tot iets meer dan één vijfde. De fossiele brandstoffen die overblijven worden gebruikt in producten waar koolstof deel van uitmaakt zoals kunststoffen (CCU), in installaties die zijn uitgerust met koolstofafvang en in sectoren waar technologie-opties met lage emissies schaars zijn.

gepaard gaat. Voor klimaatneutraliteit in Nederland is kernenergie niet per se noodzakelijk. Maar Nederland zal hoe dan ook deels afhankelijk blijven van energie-importen.

Hetzelfde geldt voor de Rotterdamse haven. Wij beschreven in de inleiding van dit rapport het grote belang van de Rotterdamse haven in de energiemix van Noordwest-Europa. Wij beschreven ook kansrijke opties die kernenergie biedt voor de lange termijn, zoals de SMR en de Generatie 4-reactoren. Voor ons staat echter vast dat de wijze waarop kernenergie mogelijk een rol gaat spelen in de Rotterdamse haven, en daaraan gerelateerd: de stad Rotterdam, primair afhankelijk moet zijn van het type vraag dat mogelijk in de toekomst ontstaat door de industrie of door andere gebruikers. Het is goed mogelijk dat over enkele decennia een flexibel inzetbare SMR daar een goed antwoord op is – mits passend in de Rotterdamse situatie en bij een positief maatschappelijk klimaat in de regio voor toekomstige generaties kernenergie.

# Bronvermelding

1. Anuar, N., W.S.W.A Kahar & J.A.N.A. Manan (2015) Defining the “proven technology” technical criterion in the reactor technology assessment for Malaysia’s nuclear power program, AIP Conference Proceedings 1659, 020006 (2015); <https://doi.org/10.1063/1.4916845>
2. Arcadis/Electrabel (2006) Kolen/biomassacentrale Maasvlakte Milieueffectenrapport. 110623/CE6/251/00501
3. Areva (2005) EPR brochure. Parijs: Framatome ANP
4. Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS), Handreiking voor een veilig ontwerp en het veilig bedienen van kernreactoren (VOBK). Den Haag, 2015 Link: [https://www.autoriteitnvs.nl/documenten/publicatie/2015/10/19/handreiking\\_vobk](https://www.autoriteitnvs.nl/documenten/publicatie/2015/10/19/handreiking_vobk)
5. Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS), Koersdocument ANVS (2017 - 2020). Den Haag Augustus 2017, nr. 103546.
6. Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS), De Staat van Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming Nederlandse nucleaire installaties in 2019/ Den Haag, december 2020.
7. Berenschot/Kalavasta (2020) Systeemeffecten van nucleaire centrales in Klimaatneutrale Energiescenario’s 2050, maart 2020, available at: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/03/09/systeemeffecten-van-nucleaire-centrales-in-klimaatneutrale-energiescenarios-2050>
8. Berenschot/Kalavasta (2020a) Klimaatneutrale energiescenario’s 2050, Scenariostudie ten behoeve van de integrale infrastructuurverkenning 2030-2050, maart 2020, available at [https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven\\_regering/detail?id=2020Z06737&did=2020D14346](https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2020Z06737&did=2020D14346)
9. Brief Regering (2011) Randvoorwaarden voor de bouw van nieuwe kerncentrales, 1 februari 2011, brief Nr.1, KST326451, <https://www.parlementairemonitor.nl/9353000/1/j9vvij5epmj1ey0/vimwksscc0nd>
10. Brouwer, K.M. en L.Bergkamp (red.) Road to EU-Climate Neutrality by 2050. ECR-group and Renew Europe, European Parliament, Brussels, february 2021.
11. Dril, T. van, R. Koelemeijer & D. van Dam (2021) Verkenning energietransitie industriecluster Rotterdam. Achtergrondstudie. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving. ENCO (2020) Possible role of nuclear in the Dutch energy mix in the future. Enen, ENCO
12. Economist, The (2021) Nuclear power. Atoms for greenery. Bill Gates’s latest venture is a new-style nuclear reactor. 12 juni 2021.
13. Economist, The (2021a) The race to build a commercial fusion reactor hots op. 26 juni 2021.
14. ENCO (2020) Possible role of nuclear energy in the Dutch energy mix in the future, Final Report, 1 Sep. 2020, ENCO-FR-(20)-13, available at [https://www.laka.org/docu/catalogue/publication/1.01.0.20/23\\_possible-role-of-nuclear-in-the-dutch-energy-mix](https://www.laka.org/docu/catalogue/publication/1.01.0.20/23_possible-role-of-nuclear-in-the-dutch-energy-mix)
15. Elektriciteits-Produktie maatschappij Zuid-Nederland (EPZ) (2020) Milieueffecten Brandstofdiversificatie (ook wel MER-Borssele genoemd). Borssele, EPZ
16. Électricité de France (EDF) (2011) Hinckley C; aanvraag ontwikkelingsvergunning. Milieuverklaring doc. ref. 4.1
17. European Commission (2019) The European Green Deal. Brussels. COM(2019) 640 final
18. IAEA (2009) Common User Considerations (CUC) b developing countries for nuclear systems. Report of Stage I. Wenen: International Atomic Energy Agency
19. IAEA (2021) Technology Roadmap for Small Modular Reactor technology. Wenen: International Atomic Energy Agency
20. International Energy Agency (2021) Net Zero by 2050. Link: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

21. Klimaataakkoord, 2019, zie: <https://www.klimaataakkoord.nl/>
22. KPMG (2021) Marktconsultatie kernenergie. Amsterdam: KPMG Advisory N.N.
23. Leguijt, C., M. Meijer, S. van der Niet, M. Teng, J. Vendrik, R. van der Veen, D. van der Vlies, R. de Kok, A. Wirtz, S. Hers, J. Donker & O. Usmani (2021) StudeerSysteemstudie energie-infrastructuur Zuid Holland. Integrale systeemstudie gas, elektriciteit, CO2 en warmte 2020-2030-2050, Delft, CE Delft
24. Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2019) Beantwoording vragen rol kernenergie in energiemix, DGKE-E / 19005268
25. Ministerie van infrastructuur en Waterstaat Landelijk Crisisplan Straling (2021) De Haag . link: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2021/04/30/landelijk-crisisplan-straling>
26. Mitchell, T., D. Keobane & S. Yu (2021) EDF seeks data review on report of possible China radiation leak. Financial Times, 14 juni 2021
27. Nationale Coördinator terrorisme bestrijding (NCTV). Mid-term review 2021 Nationale Veiligheid Strategie. Den Haag, 2021
28. NEA-OECD (2021) Small Modular Reactors: challenges and opportunities. Boulogne-Billancourt, NEA/OECD.
29. NECP (2019) Integraal Nationaal Energie- en Klimaatplan. Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
30. Nuclear Energy Agency (NEA) (2019) Report on small Modular Reactor. Link: [https://www.oecd-nea.org/jcms/pl\\_26297/small-modular-reactors](https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_26297/small-modular-reactors)
31. OpdenKamp (2010) Verslagen bijeenkomsten Utrecht en Heinkenszand, november 2010. Voornemen nieuwe kerncentrale Borssele ERH, Den Haag, OpdenKamp Adviesgroep.
32. Ouden, B. den, J. Kerkhoven, J. Warnaars, R. Terwel, M. Coenen, T. Verboon, T. Tiihonen & A. Koot (2020) Klimaatneutrale energiescenario's 2050. Scenariostudie. Utrecht, Berenschot/Kalavasta
33. Pickard, J. & Thomas, N. (2021) UK looks to remove China's CGN from nuclear power projects, Financial Times, 25 juli 2021
34. Planbureau voor de Leefomgeving (PbL) (2018). Nederland duurzaam vernieuwen-Balans van de Leefomgeving. Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving
35. Provincie Zuid-Holland (2021) StudeerSysteemstudie energie-infrastructuur Zuid-Holland Link: StudeerSysteemstudie (arcgis.com)
36. Provincie Zuid-Holland (2021) Brief inzake uitwerking motie 903 kernenergie (7 april 2020). [https://staten.zuid-holland.nl/DMS\\_Import/Statenscommissie\\_Bereikbaarheid\\_en\\_Energie\\_BE/2020/Agenda\\_BE\\_13\\_mei\\_2020/Opening\\_procedurevergadering/Ingekomen\\_Stukken\\_van\\_GS\\_ENERGIE/Stuknr\\_736432968.org](https://staten.zuid-holland.nl/DMS_Import/Statenscommissie_Bereikbaarheid_en_Energie_BE/2020/Agenda_BE_13_mei_2020/Opening_procedurevergadering/Ingekomen_Stukken_van_GS_ENERGIE/Stuknr_736432968.org)
37. Provincie Zuid-Holland (2020) Literatuurstudie over de stand van zaken kernenergie (april 2020) [https://www.kivi.nl/uploads/media/5f4f55aa39a43/GS-Prov.ZH%20-%202020.04.16%20-%20brief%20Uitwerking%20motie%20903%20kernenergie\\_bijlage.pdf](https://www.kivi.nl/uploads/media/5f4f55aa39a43/GS-Prov.ZH%20-%202020.04.16%20-%20brief%20Uitwerking%20motie%20903%20kernenergie_bijlage.pdf)
38. Ruimtelijk planbureau (RPB) (2003) Energie is Ruimte. NAI Uitgevers, Rotterdam Ruimtelijk Planbureau, Den Haag 2003
39. Rijksoverheid (2028) Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen Geldend van 06-02-2018 t/m heden. Den Haag, 2018. link: wetten.nl - Regeling - Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen - BWBR0002667 (overheid.nl)
40. Samadi, S., S. Lechtenböhmer, C. Schneider, K. Arnold, M. Fishedick, D. Schüwer & A. Pastowski (2016) Decarbonization Pathways for the Industrial Cluster of the Port of Rotterdam. Wuppertal, Wuppertal Institut
41. Schalij, R. & M. van der Kloot Meijburg (2020) De rol van kernenergie in het Nederlandse energiesysteem. De ontwikkeling naar een CO2 neutrale energie en grondstoffenvoorziening in 2050, Utrecht, eRisk Group
42. Scheepers, M., G.-J. de Haas, F. Roelofs, H. Jeeninga & J. Gerdes (2021) De rol van kernenergie in de energietransitie van Noord-Brabant. Amsterdam, TNO/NRG.
43. Schippers, P., R. Buij, Alex Schotman, J. Verboom, H. van der Jeugd, E. Jongejans (2020) Mortality

limits used in wind energy impact assessment underestimate impacts of wind farms on bird populations In: Ecology and Evolution First published: 04 June 2020 <https://doi.org/10.1002/ece3.6360>

44. SEO-economisch Onderzoek (Hof, B. V. Kocsis, W. Rougoor, B. Tieben) (2014) Beleidsdoorlichting Energiebeleid 2007 t/m 2012; Evaluatie van artikel 14 van het ministerie van Economische Zaken: een doelmatige en duurzame energievoorziening. Amsterdam, SEO- Economisch onderzoek.
45. Terwel, R & J. Kerkhoven (2020) Vergelijking van twee rapporten over de kosten van nucleaire en zon- & windstroom in het Nederlandse energiesysteem, die minister Wiebes in april en september 2030 naar de Tweede Kamer heeft gestuurd. Lochem/Rotterdam, Kalavasta.
46. Tweede Kamer der Staten-Generaal (2009) Derde Structuurschema Elektriciteitsvoorziening (SEV III), Deel 3: Kabinetsstandpunt. Kamerstuk 31410, 20 februari 2009. [file:///C:/Users/43435bku/Downloads/Deel\\_3\\_\\_Kabinetsstandpunt\\_Derde\\_structuurschema\\_Elektriciteitsvoorziening%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/43435bku/Downloads/Deel_3__Kabinetsstandpunt_Derde_structuurschema_Elektriciteitsvoorziening%20(1).pdf)
47. Thomas, N. (2021) Hinkley Point C nuclear power stations cost rises by £500m, Financial Times, 27 januari 2021
48. Tweede kamer der Staten generaal Motie van het lid Beckerman c.s. over geen kerncentrale in Groningen Den Haag, 4 maart 2021. <https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/detail?id=2021Z04155&did=2021D09078>
49. Utterback, J.M. (1994) Mastering the dynamics of innovation. Boston, Harvard Business School Press.
50. Vermeer, B. (2021) Nieuwe mijlpaal voor kernfusie, FD, 22 mei 2021



# Bijlagen

# Bijlage 1

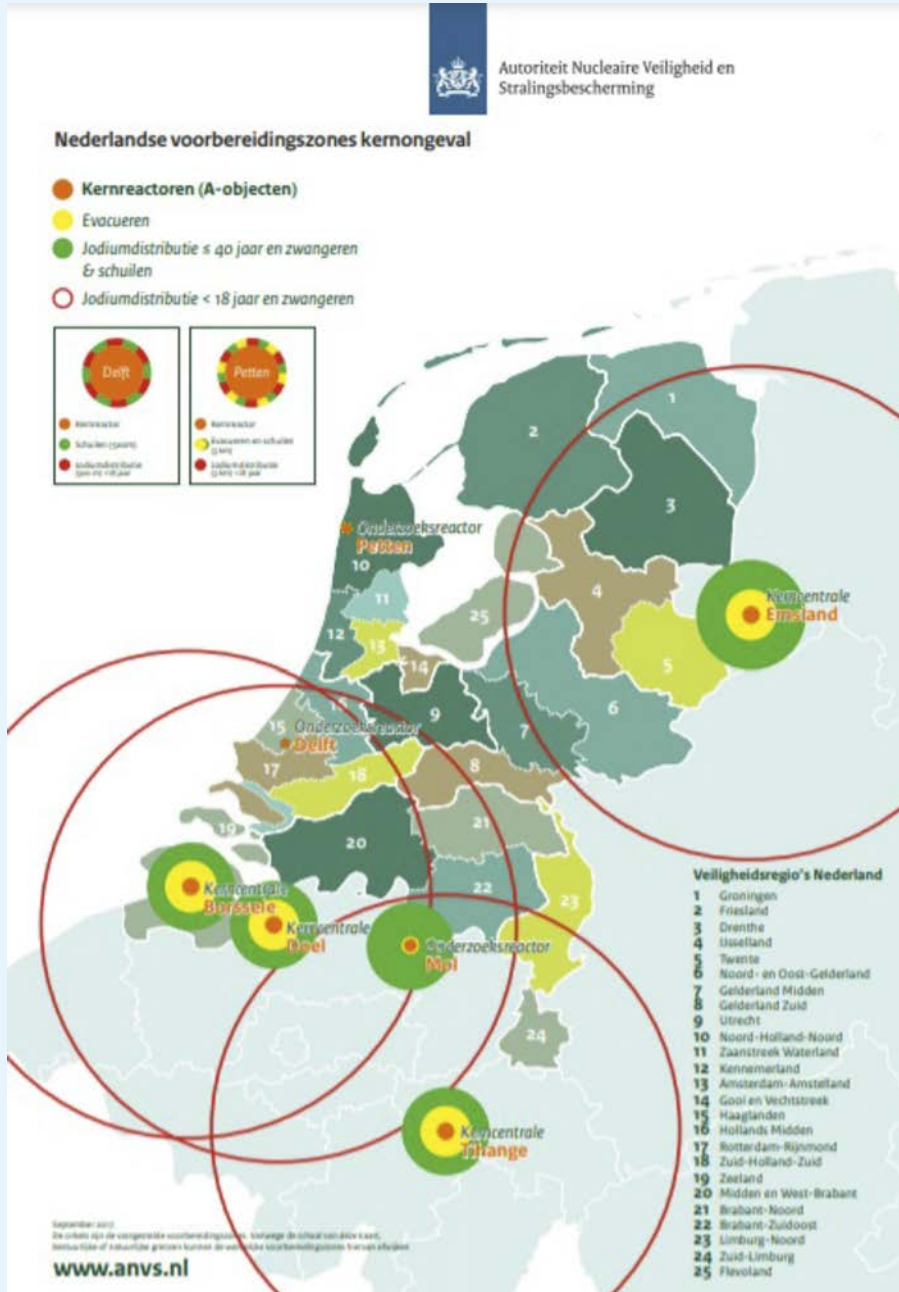
## Overzicht geïnterviewde experts

Prof. dr.ir. Marco de Baar (Differ) – TU Eindhoven	Dutch Institute for Fundamental Energy Research
Dr. Ir. Marco Brugmans	Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS)
Prof. dr. Ir. Jan Leen Kloosterman	Reactorfysica en Nucleaire Materialen (RPNM) – TU-Delft
Drs. Ruud Melieste	Havenbedrijf Rotterdam
Drs. Ir. Maarten Nypels	Gemeente Rotterdam – Gemeentewerken Rotterdam
Drs. Ruut Schalij	eRisk Group
Ir. Martin Scheepers	TNO – Energy Transition Studies
Dr. Ir. Hedwig Sleiderink	Ministerie van Economie Zaken en Klimaat



# Bijlage 2

## Vorbereidingszones kernongeval



<https://www.autoriteitnvs.nl/nucleaire-crisis-of-stralingsongeval/documenten/publicatie/2017/10/24/nucleaire-voorbereidingszones-kernongeval>

# Bijlage 3

## Veiligheidscontouren

### Havenindustrieel complex

OMHULLENDE VEILIGHEIDSCONTOUR HIC BESTEMMINGSPANNEN



1 |



## **Colofon**

©SmartPort

8 november 2021

Ontwerp: IJzersterk.nu

Fotografie: Shutterstock

Alle opgenomen informatie is eigendom van SmartPort. Overnemen van inhoud, geheel of gedeeltelijk is toegestaan mits bronvermelding is toegepast.

## **Vrijwaring**

SmartPort heeft de grootst mogelijke zorg besteed aan de samenstelling van dit document. Desondanks accepteert SmartPort geen aansprakelijkheid voor eventuele onjuistheden in de informatie, noch voor schade, overlast of ongemak dan wel andersoortige gevolgen die voortvloeien uit of samenhangen met het gebruik van deze informatie.



connecting  
knowledge

HEEFT U VRAGEN?

**SmartPort**  
info@smartport.nl  
tel. 010 402 03 43