Eerst kiezen, dan denken?

Kernenergie onder onzekerheid:

eerst de systeembehoefte vaststellen, daarna de techniek kiezen

VVBV

ir. H.J. Compter

Juli 2026

Management samenvatting

Nederland staat voor ingrijpende keuzes over de toekomstige elektriciteitsvoorziening. Het gebruik van fossiele brandstoffen moet sterk worden verminderd, terwijl huishoudens, vervoer, gebouwen en industrie in toenemende mate afhankelijk worden van elektriciteit. Tegelijkertijd groeit de productie uit wind en zon. Daardoor verandert niet alleen de hoeveelheid elektriciteit die jaarlijks nodig is, maar vooral het tijdstip waarop andere productiemiddelen moeten worden ingezet.

Tegen deze achtergrond bereidt de Rijksoverheid nieuwe kerncentrales voor en wordt ook de mogelijke toepassing van kleine modulaire reactoren, de zogenoemde SMR's, onderzocht. Daarvoor bestaan sterke argumenten. Kernenergie levert elektriciteit met een zeer lage uitstoot van broeikasgassen, is niet afhankelijk van het weer, vraagt relatief weinig direct ruimtebeslag en kan gedurende tientallen jaren grote hoeveelheden elektriciteit produceren. Daarmee kan zij bijdragen aan klimaatbeleid, leveringszekerheid en spreiding van de afhankelijkheid van energiebronnen.

Deze studie bestrijdt die argumenten niet. De centrale vraag is of voldoende zeker is dat de voordelen van kernenergie binnen het toekomstige Nederlandse elektriciteitssysteem werkelijk tot hun recht komen. Een techniek kan op zichzelf uitstekend functioneren en toch niet de beste keuze zijn voor de functie die op een bepaald moment nodig is.

De vergelijking met een wasmachine maakt dit zichtbaar. Vrijwel iedere moderne wasmachine kan wasgoed schoon krijgen. Toch heeft een alleenstaande met weinig was een andere machine nodig dan een groot gezin dat dagelijks uiteenlopende soorten was verwerkt. De beste keuze wordt niet alleen bepaald door de kwaliteit van de machine, maar door het gebruik, de gewenste capaciteit, de bedrijfsduur en de gevolgen van uitval.

Voor de elektriciteitsvoorziening geldt hetzelfde. Een kerncentrale, STEG, opslaginstallatie en combinatie van wind en zon kunnen ieder technisch waardevol zijn. De juiste keuze hangt af van de vraag of behoefte bestaat aan vrijwel continue productie, wisselende middenlast, snel regelbaar vermogen, kortdurende opslag of reserve voor langdurige perioden met weinig wind en zon.

De overheid moet daarom eerst vaststellen wat het elektriciteitssysteem moet kunnen en pas daarna kiezen welke techniek daarbij past. Wanneer eerst een voorkeur voor kernenergie wordt uitgesproken en vervolgens wordt gezocht naar voldoende vraag, een locatie, een netaansluiting en een financieringsmodel, wordt die volgorde omgekeerd.

Dat is bij kernenergie extra belangrijk. Een grote kerncentrale vraagt een zeer hoge investering, een lange voorbereiding en bouwtijd en een exploitatieperiode van mogelijk zestig jaar of langer. Wanneer later blijkt dat de elektriciteitsvraag minder sterk groeit, wind en zon verder worden uitgebreid, opslag goedkoper wordt of industrie uit Nederland verdwijnt, kan de centrale niet eenvoudig worden verkleind of elders worden ingezet. De keuze is moeilijk corrigeerbaar.

Daarom is niet alleen het jaarlijkse elektriciteitsverbruik van belang, maar vooral de vraag die per uur overblijft nadat wind, zon, opslag, import, vraagsturing en andere productie zijn verwerkt. Deze resterende vraag wordt in de studie aangeduid als de restvraag.

Voor een grote kerncentrale is vooral de minimale restvraag bepalend. De centrale heeft hoge vaste kosten en is economisch gebaat bij veel bedrijfsuren. Wanneer de restvraag gedurende duizenden uren laag of negatief wordt, ontstaat druk om de kerncentrale terug te regelen, elektriciteit tegen zeer lage prijzen te verkopen of wind- en zonneproductie af te schakelen.

Een sterke groei van de jaarlijkse elektriciteitsvraag kan ruimte voor kernenergie creëren, maar bewijst die ruimte nog niet. Wanneer wind en zon tegelijkertijd sterk groeien, kunnen nog steeds veel uren ontstaan waarin weinig aanvullende productie nodig is. Omgekeerd kan een beperkte groei of afbouw van duurzame productie leiden tot een hoge restvraag en daarmee tot een duidelijkere behoefte aan basislast.

De toekomstige behoefte hangt daarom af van de combinatie van vraaggroei, duurzame productie, opslag, vraagsturing, import en industriële ontwikkeling. Zij kan niet uit één prognose of één jaartotaal worden afgeleid.

Ook warmtelevering biedt geen dragende rechtvaardiging voor een grote kerncentrale. Een reactor van ongeveer 1.000 MWe produceert voortdurend enkele duizenden megawatt thermisch vermogen. In Nederland bestaat geen industriële warmteafnemer die een dergelijke hoeveelheid tientallen jaren kan opnemen. Industriële warmtevragen zijn doorgaans veel kleiner en vragen bovendien vaak een hoger temperatuurniveau.

Stadsverwarming biedt evenmin voldoende afzet. De warmtevraag is sterk seizoensgebonden en bereikt slechts gedurende een deel van het jaar een hoge waarde. Daarnaast kan warmtelevering de centrale dwingen in bedrijf te blijven wanneer de elektriciteitsprijs laag of negatief is. Warmte kan daardoor een vorm van *must-run*-bedrijf veroorzaken die juist conflicteert met een door wind en zon gedomineerd elektriciteitssysteem. Warmtebenutting kan lokaal een nuttige nevenfunctie zijn, maar is niet bepalend voor de keuze voor een grote kerncentrale.

De afgelopen jaren hebben bovendien geleerd dat aantrekkelijke technische verwachtingen niet automatisch economisch worden gerealiseerd. Goedkope overschotstroom zou grootschalige elektrolyse, waterstof- en ammoniakproductie mogelijk maken. Inmiddels is duidelijker dat niet alleen de stroomprijs tijdens enkele uren bepalend is, maar ook het aantal bedrijfsuren, de investering, de netkosten, de infrastructuur en de zekerheid van afzet.

Dezelfde bestuurlijke les geldt voor kernenergie. Een aannemelijke toekomst is nog geen voldoende basis voor een moeilijk omkeerbaar besluit. Kosten, bouwtijd, vraag en bedrijfsvoering moeten niet alleen technisch mogelijk, maar voldoende aantoonbaar zijn.

Recente grote kernenergieprojecten laten zien dat de werkelijk gerealiseerde kosten en bouwtijden sterk kunnen afwijken van de oorspronkelijke verwachtingen. Olkiluoto 3, Flamanville 3 en Hinkley Point C zijn zeer grote installaties van ongeveer 1.600 tot 1.670 MWe per reactor. Zij laten zowel de grote toekomstige productieprestatie als het aanzienlijke financiële en projectmatige risico van de bouwfase zien.

Dat bewijst niet dat Nederland geen kerncentrale kan bouwen. Het betekent wel dat een besluit niet alleen op één kostenraming en gewenste opleverdatum mag worden gebaseerd. Ook vertraging, hogere rente, minder bedrijfsuren en de vraag wie financiële tegenvallers draagt, moeten vooraf worden onderzocht.

SMR’s kunnen nucleair vermogen mogelijk in kleinere stappen toevoegen. Dat kan beter passen bij een geleidelijk groeiende vraag en vermindert de omvang van één afzonderlijk productieblok. De economische verwachting berust echter op standaardisering, fabrieksmatige productie en seriebouw. Deze voordelen zijn in Europa nog niet op grote commerciële schaal aangetoond. Een eerste Nederlandse SMR mag daarom niet worden beoordeeld op een kostprijs die pas na een toekomstige internationale serie wordt verwacht.

Onder deze omstandigheden heeft tijd niet alleen een prijs, maar ook waarde. Naarmate de energietransitie vordert, wordt duidelijker hoe de elektriciteitsvraag zich werkelijk ontwikkelt, hoeveel industrie in Nederland blijft, hoeveel elektrolysers worden gebouwd en welke rol opslag, vraagsturing en internationale verbindingen kunnen vervullen. Ook ontstaat meer ervaring met grote kerncentrales en SMR’s.

Tijd kopen betekent echter niet passief afwachten. De leveringszekerheid moet in de tussenperiode worden geborgd. Levensduurverlenging van bestaande STEG’s, behoud of ombouw van moderne koleneenheden, gefaseerde nieuwbouw van flexibele STEG’s en ontwikkeling van opslag kunnen daarbij een rol spelen.

De waarde van bestaande centrales ligt niet alleen in hun elektriciteitsproductie. Ook locatie, netaansluiting, koeling, personeel en technische kennis zijn van betekenis. Een bestaande centrale kan met een relatief beperkte investering beschikbaar blijven voor perioden met weinig wind en zon. Een moderne STEG kan sneller en in kleinere stappen worden gebouwd dan een kerncentrale en kan haar productie beter aanpassen aan een wisselende restvraag.

Deze opties zijn niet zonder nadelen. Bij gebruik van aardgas ontstaat CO_2-uitstoot. Waterstof en ammoniak zijn nog duur en onzeker. CO_2-afvang vraagt aanvullende installaties en infrastructuur. Opslag kent verliezen en kan langdurige tekorten alleen overbruggen wanneer voldoende energie-inhoud aanwezig is. Zij zijn daarom niet automatisch de definitieve oplossing, maar kunnen wel betrouwbare tijd en keuzevrijheid kopen.

De meest robuuste koers is een gefaseerde strategie. Bruikbare bestaande centrales en productielocaties worden niet voortijdig opgegeven. Nieuwe flexibele capaciteit en opslag worden alleen toegevoegd wanneer uit de feitelijke ontwikkeling van de restvraag blijkt dat zij nodig zijn. Tegelijkertijd kan de voorbereiding van kernenergie doorgaan door locaties, ontwerpen, toezicht, netinpassing, financiering en afvalbeheer nader uit te werken.

Het definitieve investeringsbesluit moet echter afhankelijk blijven van vooraf vastgelegde voorwaarden. Er moet een structurele behoefte aan veel bedrijfsuren zijn. De locatie en netaansluiting moeten werkelijk beschikbaar zijn. Kosten en bouwtijd moeten onafhankelijk zijn getoetst aan vergelijkbare projecten. De verdeling van de risico’s moet transparant zijn en voor vertraging moet een geloofwaardige terugvalroute bestaan.

Onder welke omstandigheden vormt een grote kerncentrale of SMR een robuuste keuze voor Nederland, en welke combinatie van bestaande centrales, nieuwe regelbare capaciteit, duurzame productie en opslag houdt de elektriciteitsvoorziening betrouwbaar zolang die omstandigheden nog niet overtuigend zijn aangetoond?

Eerst vaststellen wat het elektriciteitssysteem moet kunnen. Daarna kiezen welke techniek daarbij past.

Kernenergie verdient een serieuze plaats in de Nederlandse besluitvorming, maar niet op krediet van een voorspelde toekomst. Zolang de structurele behoefte en de uitvoerbaarheid nog onvoldoende vaststaan, ligt de meest beheerste koers in het behouden van regelbaar vermogen, het openhouden van alternatieven en het actief benutten van de tijd om met betere informatie te kunnen beslissen.

Dat is geen besluiteloosheid. Het is behoorlijk bestuur onder onzekerheid.

Management samenvatting 2
2. De argumenten vóór kernenergie 9
3. Zijn de argumenten voldoende zeker? 15
4. Internationale inzichten over beslissen onder onzekerheid 24
5. Wat Nederland van eerdere verwachtingen kan leren 34
6. Eerst vaststellen wat het elektriciteitssysteem nodig heeft 43
7. De ontwikkeling van de restvraag 51
8. Alternatieven die tijd en keuzevrijheid kopen 61
9. Grote kerncentrales en SMR's onder onzekerheid 69
10. Vergelijking van de opties en strategieën 81
11. De gevolgen van later beslissen 93
12. Een gefaseerde Nederlandse strategie 102
13. Voorwaarden voor een verantwoord besluit en conclusie 112

1. Aanleiding en hoofdvraag

Nederland staat voor belangrijke beslissingen over de toekomstige elektriciteitsvoorziening. Het gebruik van fossiele brandstoffen moet sterk worden verminderd, terwijl huishoudens, vervoer, gebouwen en industrie in toenemende mate afhankelijk worden van elektriciteit. Tegelijkertijd groeit de productie uit wind en zon. Daardoor verandert niet alleen de hoeveelheid elektriciteit die moet worden geproduceerd, maar ook het moment waarop andere productiemiddelen nodig zijn.

De Rijksoverheid bereidt de bouw van nieuwe grote kerncentrales voor en onderzoekt daarnaast de mogelijke toepassing van kleine modulaire reactoren, de zogenoemde SMR's. Daarvoor worden begrijpelijke en deels sterke argumenten aangevoerd. Kernenergie levert grote hoeveelheden elektriciteit met een lage uitstoot van broeikasgassen, is niet afhankelijk van het weer en vraagt voor de centrale zelf relatief weinig ruimte. Daarmee kan zij bijdragen aan klimaatbeleid, leveringszekerheid en een minder eenzijdige afhankelijkheid van andere energiebronnen.

Deze studie bestrijdt die argumenten niet. Zij onderzoekt of al voldoende zeker is dat de omstandigheden waaronder deze voordelen ontstaan, zich in Nederland daadwerkelijk zullen voordoen. Een algemene kwaliteit van een techniek is immers nog geen bewijs dat die techniek ook de juiste keuze is voor een concrete behoefte, op een concrete plaats en op een bepaald moment.

Dat kan worden vergeleken met de keuze van een wasmachine. Vrijwel iedere moderne wasmachine kan wasgoed schoon krijgen. Toch kiest een alleenstaande die weinig wast vaak een andere machine dan een groot gezin waarin dagelijks vuile sportkleding, beddengoed en verschillende soorten textiel worden gewassen. Niet de machine op zichzelf bepaalt of de keuze goed is. De aard en intensiteit van het gebruik bepalen welke capaciteit, kwaliteit en betrouwbaarheid nodig zijn.

Voor de elektriciteitsvoorziening geldt hetzelfde. Een kerncentrale, een STEG, een opslaginstallatie en een combinatie van wind en zon kunnen ieder technisch waardevol zijn. De juiste keuze hangt af van de functie die het elektriciteitssysteem nodig heeft. Het kan gaan om langdurige productie op vrijwel constant vermogen, om middenlast, om snel regelbaar vermogen, om reservevermogen of om productie tijdens langere perioden met weinig wind en zon.

Daarom moet eerst worden vastgesteld hoe de elektriciteitsvraag en de productie uit wind en zon zich waarschijnlijk ontwikkelen, welke restvraag daardoor overblijft en welke functies andere productiemiddelen moeten vervullen. Pas daarna kan worden beoordeeld welke techniek of combinatie van technieken daarbij het beste past.

Deze volgorde is bij kernenergie extra belangrijk. Een grote kerncentrale vraagt een zeer hoge investering, een lange voorbereiding en bouwtijd en een bedrijfsperiode die zich over meerdere generaties kan uitstrekken. Wanneer de omstandigheden na het investeringsbesluit anders blijken dan verwacht, kan de keuze slechts tegen hoge kosten worden aangepast. Ook bij SMR's blijven investeringen, vergunningverlening, nucleaire veiligheid, brandstofvoorziening, afvalbeheer en ontmanteling langjarige verplichtingen.

De centrale vraag van deze studie luidt daarom:

Onder welke omstandigheden vormt een grote kerncentrale of SMR een robuuste keuze voor Nederland, en welke strategie houdt de elektriciteitsvoorziening betrouwbaar en de toekomstige keuzemogelijkheden open zolang die omstandigheden nog niet overtuigend zijn aangetoond?

Om deze vraag te beantwoorden, worden eerst de argumenten van de PZC en de Rijksoverheid voor kernenergie onderzocht. Vervolgens wordt nagegaan welke aannamen onder deze argumenten liggen en hoe zeker die aannamen zijn. Daarna worden internationale inzichten over besluitvorming onder onzekerheid behandeld. Tegen die achtergrond worden de toekomstige systeembehoefte, de ontwikkeling van de restvraag en de beschikbare alternatieven beoordeeld.

De studie vergelijkt kernenergie niet alleen met afzonderlijke productiemiddelen, maar ook met combinaties van duurzame productie, opslag, vraagsturing en regelbare centrales. Daarbij gaat het niet uitsluitend om de berekende productiekosten. Ook bouwtijd, flexibiliteit, leveringszekerheid, ruimte, netaansluiting, lokale aanvaardbaarheid, financiële risico’s en de mogelijkheid om later bij te sturen worden meegewogen.

De studie kiest daarmee niet vooraf voor of tegen kernenergie. Zij kiest voor een zorgvuldige volgorde van besluitvorming. Eerst wordt het probleem vastgesteld. Daarna worden de onzekerheden en alternatieven geanalyseerd. Pas vervolgens kan worden bepaald welke keuze in verschillende plausibele toekomsten voldoende goed blijft functioneren.

De eenvoudige beslisregel die aan deze studie ten grondslag ligt, luidt:

Eerst vaststellen wat het elektriciteitssysteem moet kunnen. Daarna kiezen welke techniek daarbij past.

2. De argumenten vóór kernenergie

2.1 Een serieus vertrekpunt

De discussie over kernenergie wordt gemakkelijk een strijd tussen voor- en tegenstanders. De ene partij benadrukt de lage uitstoot van broeikasgassen en de betrouwbare productie, terwijl de andere partij wijst op de hoge kosten, de lange bouwtijd, het radioactieve afval en de gevolgen van een ernstig ongeval. Wanneer het debat op die manier wordt gevoerd, ontstaat het risico dat ieder argument vooral wordt gebruikt om een reeds ingenomen standpunt te verdedigen.

Deze studie kiest een andere benadering. Zij begint met een zo sterk mogelijke weergave van de redenen waarom de Rijksoverheid en veel politieke partijen kernenergie als een belangrijk onderdeel van de toekomstige energievoorziening beschouwen. Dat is nodig omdat een beoordeling pas waarde heeft wanneer eerst recht wordt gedaan aan de argumenten voor de onderzochte keuze.

In juni 2026 stelde de PZC de vraag waarom Den Haag blijft vasthouden aan nieuwe kerncentrales, ondanks lokaal verzet, hoge kosten en problemen bij de overgebleven locaties. Daarmee beschrijft de krant geen eenvoudig enthousiasme voor een nieuwe techniek. Zij legt een politieke keuze bloot die kennelijk op argumenten berust die door de voorstanders zwaarder worden gewogen dan de bekende bezwaren.

Die argumenten komen voor een belangrijk deel overeen met de motivering van de Rijksoverheid. Kernenergie kan elektriciteit produceren met een zeer lage uitstoot van broeikasgassen, is niet afhankelijk van zon en wind, kan gedurende lange tijd grote hoeveelheden elektriciteit leveren en vraagt voor de centrale zelf relatief weinig ruimte. Een breder samengestelde energiemix kan bovendien de afhankelijkheid van afzonderlijke technieken, brandstoffen en buitenlandse leveranciers verminderen. Volgens het kabinet kan kernenergie daarnaast kosten elders in het energiesysteem beperken en een stabiliserend effect hebben op de elektriciteitsprijzen.

Dit zijn inhoudelijk relevante argumenten. Zij rechtvaardigen dat kernenergie niet op voorhand wordt uitgesloten, maar als een serieuze mogelijkheid wordt onderzocht.

2.2 Elektriciteit met een zeer lage uitstoot van broeikasgassen

Het klimaatargument behoort tot de sterkste argumenten vóór kernenergie. Tijdens het produceren van elektriciteit vindt geen verbranding van kolen, olie of aardgas plaats. Daardoor komt bij de normale bedrijfsvoering van een kerncentrale vrijwel geen CO_2 vrij.

Ook kernenergie is over de gehele levenscyclus niet volledig vrij van uitstoot. Voor de winning en verwerking van uranium, de vervaardiging van brandstof, de bouw van de centrale, het onderhoud, het afvalbeheer en de latere ontmanteling zijn materialen en energie nodig. Wanneer de gehele levenscyclus wordt beschouwd, blijft de uitstoot van broeikasgassen echter veel lager dan bij elektriciteitsproductie uit fossiele brandstoffen en ligt zij in dezelfde orde van grootte als die van andere CO_2-arme technieken.

Dat is van grote betekenis. Nederland wil het gebruik van fossiele brandstoffen sterk verminderen, terwijl de samenleving voor vervoer, verwarming, digitale voorzieningen en industriële processen juist meer afhankelijk kan worden van elektriciteit. Wanneer een kerncentrale gedurende vele jaren grote hoeveelheden elektriciteit produceert, kan zij voorkomen dat daarvoor gas- of kolencentrales worden ingezet.

Het argument is daarom niet alleen dat kernenergie weinig CO_2 uitstoot. Het bredere argument is dat zij een omvangrijke en langdurige bijdrage kan leveren aan een elektriciteitsvoorziening waarin fossiele productie steeds verder wordt teruggedrongen. Voorstanders beschouwen kernenergie daarmee niet als concurrent van het klimaatbeleid, maar juist als een instrument om de klimaatdoelen haalbaar te maken.

2.3 Productie die niet afhankelijk is van het weer

Wind- en zonne-energie hebben het voordeel dat tijdens de productie geen brandstof hoeft te worden ingekocht en vrijwel geen CO_2 wordt uitgestoten. Hun productie volgt echter het weer en niet vanzelf de elektriciteitsvraag. Op zonnige en winderige momenten kunnen zij zeer veel elektriciteit leveren. Tijdens donkere en windstille perioden kan de productie sterk afnemen.

Een kerncentrale heeft dat probleem niet. Zij kan dag en nacht en in alle seizoenen elektriciteit produceren. De Rijksoverheid duidt kernenergie daarom aan als een stabiele energiebron en als een basislastvoorziening. Daarmee wordt bedoeld dat de centrale gedurende een groot deel van de tijd een betrekkelijk constante hoeveelheid elektriciteit kan leveren.

Voorstanders zien hierin een noodzakelijke aanvulling op wind en zon. Naarmate Nederland meer afhankelijk wordt van elektriciteit, nemen ook de gevolgen van een tekort toe. Niet alleen huishoudens, maar ook vervoer, verwarming, telecommunicatie, waterbeheer en industriële processen worden dan direct getroffen. Een energievoorziening moet daarom niet alleen tijdens gemiddelde weersomstandigheden voldoende elektriciteit leveren, maar ook tijdens ongunstige perioden.

Kernenergie biedt vanuit die gedachte een vaste productiebasis onder een steeds meer weersafhankelijk elektriciteitssysteem. Zij hoeft wind en zon niet te vervangen. De technieken kunnen naast elkaar bestaan en verschillende functies vervullen. Wind en zon leveren elektriciteit wanneer de natuurlijke omstandigheden gunstig zijn, terwijl kernenergie onafhankelijk van die omstandigheden kan blijven produceren.

De combinatie van een lage CO_2-uitstoot en weersonafhankelijke productie maakt dit argument bijzonder krachtig. Veel andere technieken bieden óf CO_2-arme productie óf regelbaarheid. Kernenergie verenigt een lage uitstoot met langdurige beschikbaarheid.

2.4 Een breder en weerbaarder energiesysteem

De Rijksoverheid voert daarnaast aan dat een energiesysteem met verschillende soorten productie minder kwetsbaar is dan een systeem dat sterk afhankelijk is van enkele technieken. Wanneer een land vrijwel uitsluitend kiest voor wind, zon en de daarbij behorende

flexibiliteitsvoorzieningen, wordt het gevoeliger voor tegenvallende weersomstandigheden, problemen in bepaalde toeleveringsketens en vertraging bij de aanleg van netten en opslag.

Kernenergie voegt een productietechniek toe die door andere factoren wordt bepaald. De hoeveelheid opgewekte elektriciteit is niet afhankelijk van windsnelheid, zoninstraling of de dagelijkse beschikbaarheid van grote hoeveelheden gas. De brandstof heeft een hoge energiedichtheid en kan voor langere tijd worden opgeslagen. Daardoor kan een centrale minder gevoelig zijn voor kortdurende verstoringen in de brandstoftoevoer.

Nederland wordt met kernenergie niet volledig onafhankelijk van het buitenland. Uranium, verrijkingsdiensten, onderdelen en gespecialiseerde kennis worden voor een belangrijk deel internationaal betrokken. Het argument van de overheid is dan ook vooral dat kernenergie de afhankelijkheid **spreidt**. Nederland wordt minder eenzijdig afhankelijk van geïmporteerde fossiele brandstoffen, buitenlandse elektriciteit, weersomstandigheden of één industriële keten.

Deze diversificatie kan de weerbaarheid van het energiesysteem vergroten. Wanneer één energiebron duurder, schaarser of tijdelijk minder beschikbaar wordt, blijven andere bronnen aanwezig. Voorstanders beschouwen kernenergie daarom als een vorm van strategische risicospreiding.

2.5 Beperkt direct ruimtebeslag

Nederland heeft weinig vrije ruimte. Woningbouw, landbouw, natuur, industrie, infrastructuur, waterbeheer en energievoorziening doen een beroep op hetzelfde grondgebied. Ook op de Noordzee bestaat concurrentie tussen energie, scheepvaart, visserij, natuur en defensie.

Een kerncentrale kan op een betrekkelijk beperkt terrein een grote hoeveelheid elektriciteit produceren. De directe ruimte die nodig is per geproduceerde eenheid elektriciteit is daardoor kleiner dan bij veel wind- en zonneprojecten. Vooral wanneer de centrale gedurende een groot deel van het jaar op hoog vermogen produceert, is de energieopbrengst per hectare hoog.

Dit argument wordt belangrijker naarmate het toekomstige elektriciteitsverbruik stijgt. Wanneer een zeer grote vraag volledig met wind en zon zou moeten worden gedekt, zijn niet alleen meer windparken en zonnevelden nodig, maar ook extra verbindingen, transformatorstations, opslagvoorzieningen en andere infrastructuur. Kernenergie kan volgens de voorstanders een deel van die ruimtelijke druk beperken.

Het ruimteargument betreft in de publieke discussie meestal het directe terrein van de centrale. De locatie vraagt uiteraard ook om koelvoorzieningen, een zware netaansluiting, veiligheidsmaatregelen, bouwruimte en infrastructuur. Niettemin blijft de hoge productieconcentratie een wezenlijk voordeel van de techniek.

2.6 Mogelijk lagere kosten elders in het energiesysteem

De bouw van een kerncentrale vraagt een zeer grote investering. Het economische argument vóór kernenergie luidt daarom doorgaans niet dat de centrale eenvoudig of goedkoop kan

worden gebouwd. De redenering is dat de kosten niet uitsluitend op het niveau van de centrale mogen worden beoordeeld.

Een elektriciteitssysteem met veel wind- en zonne-energie heeft ook behoefte aan netverzwaring, opslag, vraagsturing, regelbaar reservevermogen en mogelijk import van elektriciteit of waterstof. Wanneer kernenergie een deel van de weersafhankelijke productie vervangt of aanvult, kunnen sommige van die kosten lager uitvallen.

De door het kabinet aangehaalde systeemstudie van TNO vergelijkt daarom niet alleen de productiekosten van een kerncentrale met die van een windpark. Zij onderzoekt de gevolgen voor het gehele energiesysteem. In de doorgerekende toekomstbeelden leiden kerncentrales tot hogere investeringen in productiecapaciteit, maar kunnen daar lagere kosten voor netverzwaring, flexibiliteit, energie-import en andere onderdelen van het systeem tegenover staan.

Volgens het kabinet kan de toevoeging van kernenergie bovendien een stabiliserend effect hebben op de elektriciteitsprijzen. Wind- en zonneproductie kunnen sterk variëren en daardoor afwisselend zeer lage en zeer hoge marktprijzen veroorzaken. Een grote hoeveelheid weersonafhankelijke productie kan die schommelingen gedeeltelijk beperken.

Het economische argument is daarmee breder dan de kostprijs per kilowattuur uit de centrale. Voorstanders stellen dat een duurdere productie-installatie toch een rationele keuze kan zijn wanneer daardoor elders in het systeem voldoende kosten en kwetsbaarheden worden vermeden.

2.7 Een lange levensduur

Een kerncentrale kan, na een lange voorbereiding en bouwperiode, gedurende vele tientallen jaren elektriciteit produceren. De bestaande centrale in Borssele laat zien dat nucleaire installaties bij goed onderhoud en periodieke verbetering een lange technische levensduur kunnen hebben.

Die lange levensduur wordt door voorstanders als een voordeel gezien. Een centrale die eenmaal is gebouwd, kan meerdere generaties van elektriciteit voorzien. De grote investering wordt dan over een lange productieperiode verdeeld. Ook kunnen locatie, netaansluiting, personeel en organisatorische kennis langdurig worden benut.

De levensduur maakt kernenergie bovendien tot een strategische infrastructuurvoorziening. Zij biedt niet alleen productie voor de markt van het volgende jaar, maar kan een basis vormen voor de elektriciteitsvoorziening van meerdere decennia. In een tijd waarin toekomstige energieprijzen, geopolitieke verhoudingen en de beschikbaarheid van brandstoffen onzeker zijn, kan zo’n langdurig aanwezige productiebron zekerheid bieden.

2.8 Kennis, werkgelegenheid en industriële ontwikkeling

De bouw en exploitatie van kerncentrales vragen gespecialiseerde kennis op het gebied van techniek, veiligheid, materialen, stralingsbescherming, vergunningverlening, projectbeheersing en afvalbeheer. Een Nederlands nucleair programma kan daarom

opleidingen, onderzoeksinstellingen, toezichthouders en bedrijven stimuleren om deze kennis op te bouwen of uit te breiden.

Het kabinet ziet hierin ook economische kansen. Nederlandse ondernemingen kunnen mogelijk deelnemen aan de voorbereiding, bouw, het onderhoud en de toelevering. Rond locaties kunnen langdurige werkgelegenheid en gespecialiseerde economische activiteiten ontstaan. De aanwezigheid van een eigen nucleaire sector kan Nederland bovendien een positie geven in een internationale markt waarin meerdere landen opnieuw naar kernenergie kijken.

Voorstanders wijzen er ook op dat kennis niet snel kan worden opgebouwd wanneer zij eenmaal is verdwenen. Het voortzetten van de centrale in Borssele, het voorbereiden van nieuwbouw en het onderzoeken van SMR's kunnen bijdragen aan het behoud van deskundigheid bij bedrijven, kennisinstellingen en overheid.

2.9 Warmte, waterstof en andere toepassingen

Een kerncentrale produceert in de eerste plaats elektriciteit, maar bij het proces komt ook veel warmte vrij. Die warmte kan in beginsel worden gebruikt voor industriële processen, warmtenetten of de productie van waterstof. Daarmee kan een centrale mogelijk een bredere functie krijgen dan alleen levering aan het elektriciteitsnet.

Vooral in een toekomst waarin industrie grote hoeveelheden CO_2-arme warmte en waterstof nodig heeft, kan dit een aanvullend argument zijn. Wanneer elektriciteit en warmte gezamenlijk worden benut, kan een groter deel van de geproduceerde energie een nuttige bestemming krijgen.

De Rijksoverheid noemt deze koppeling met andere energieketens als een mogelijke meerwaarde. Kernenergie kan dan niet alleen de elektriciteitsvoorziening ondersteunen, maar ook bijdragen aan de verduurzaming van industriële grondstoffen en warmtegebruik.

Gelet op de schaalgrootte van 2000 MWth kan echter slechts een deel van de geproduceerde warmte onder gunstige lokale omstandigheden nuttig worden benut. Door het verschil tussen de omvang, het temperatuurniveau en het jaarprofiel van de beschikbare warmte en de Nederlandse warmtevraag blijft dit voor een grote kerncentrale echter een nevenfunctie.

2.10 De verwachting rond SMR's

Naast grote kerncentrales bestaat belangstelling voor kleine modulaire reactoren. Een SMR heeft per module een kleiner vermogen en zou daardoor in kleinere stappen kunnen worden toegevoegd. Voorstanders verwachten dat standaardisering, fabrieksmatige productie en herhaling van hetzelfde ontwerp uiteindelijk tot kortere bouwtijden en beter beheersbare kosten kunnen leiden.

Het kleinere vermogen kan ook de inpassing vergemakkelijken. Een afzonderlijke module vraagt een minder zware aansluiting dan een grote centrale en kan beter aansluiten bij een regionale industriële vraag of warmtevraag. Meerdere modules kunnen vervolgens worden toegevoegd wanneer de behoefte groeit.

SMR's worden daarom gepresenteerd als een mogelijke verbinding tussen de voordelen van kernenergie en een meer gefaseerde ontwikkeling van het energiesysteem. Zij zouden CO_2-arme en weersonafhankelijke productie kunnen leveren zonder dat direct één zeer groot productieblok hoeft te worden gebouwd.

2.11 De gezamenlijke redenering

Wanneer de argumenten van de voorstanders in samenhang worden bezien, ontstaat een duidelijke redenering. De vraag naar elektriciteit zal naar verwachting toenemen doordat vervoer, verwarming en industrie verduurzamen. Wind en zon kunnen een groot deel van die elektriciteit leveren, maar hun productie is afhankelijk van het weer. Een betrouwbaar energiesysteem heeft daarom ook behoefte aan productie die op andere omstandigheden berust.

Kernenergie kan gedurende lange tijd grote hoeveelheden elektriciteit leveren met een zeer lage uitstoot van broeikasgassen. De centrale vraagt relatief weinig direct ruimtebeslag, vermindert de eenzijdige afhankelijkheid van weersafhankelijke productie en kan mogelijk kosten voor netten, flexibiliteit en energie-import beperken. De lange levensduur biedt continuïteit en een nucleair programma kan kennis, werkgelegenheid en industriële ontwikkeling stimuleren.

Vanuit deze redenering is het begrijpelijk dat de Rijksoverheid kernenergie niet alleen wil onderzoeken, maar een plaats wil geven in de toekomstige energiemix. Het klimaatargument, de weersonafhankelijke productie en de diversificatie van het energiesysteem vormen daarvoor een serieuze inhoudelijke basis.

Daarmee is echter nog niet vastgesteld dat iedere kerncentrale op ieder moment en op iedere locatie een goede investering is. De argumenten laten zien welke voordelen kernenergie **kan** hebben. De volgende vraag is onder welke omstandigheden die voordelen werkelijk ontstaan en of voldoende zeker is dat Nederland aan die omstandigheden zal voldoen.

Die onzekerheidstoets staat centraal in het volgende hoofdstuk.

Bronnen

De weergave van de overheidsargumenten is gebaseerd op de actuele publieksinformatie van de Rijksoverheid en de voortgangsbrief van 17 oktober 2025. Daarin noemt het kabinet leveringszekerheid, weersonafhankelijke CO_2-arme productie, strategische diversificatie, beperkt ruimtebeslag, lange levensduur en economische kansen als dragende argumenten. De brief stelt daarnaast dat hogere investeringen in productiecapaciteit volgens de gebruikte modellen geheel of gedeeltelijk kunnen worden gecompenseerd door lagere kosten voor netten, flexibiliteit en import.

De formulering over de PZC is bewust terughoudend. De volledige tekst van het artikel van 23 juni 2026 is online afgeschermd, maar de openbare inleiding bevestigt dat het artikel onderzoekt waarom politieke voorstanders ondanks lokaal verzet, hoge kosten en locatieproblemen aan kerncentrales blijven vasthouden.

3. Zijn de argumenten voldoende zeker?

3.1 Van een algemeen voordeel naar een concrete keuze

Het vorige hoofdstuk heeft laten zien dat kernenergie belangrijke voordelen kan hebben. De combinatie van een lage uitstoot van broeikasgassen en productie die niet afhankelijk is van het weer, vormt een sterk argument. Ook het beperkte directe ruimtebeslag, de lange mogelijke levensduur en de bijdrage aan diversificatie van de energievoorziening verdienen serieuze aandacht.

Daarmee is echter nog niet vastgesteld dat Nederland nu een grote kerncentrale of SMR moet bouwen. Een algemeen voordeel van een techniek is niet hetzelfde als een bewezen voordeel van een concreet project. Daarvoor moet niet alleen worden vastgesteld wat een centrale technisch kan, maar ook of Nederland die prestatie op de voorgenomen plaats, gedurende de veronderstelde levensduur en tegen aanvaardbare kosten werkelijk nodig heeft.

De juiste vraag is daarom niet of de argumenten vóór kernenergie juist of onjuist zijn. De juiste vraag is onder welke omstandigheden zij gelden, hoe zeker die omstandigheden zijn en wat er gebeurt wanneer zij zich niet of later voordoen.

Een weersonafhankelijke centrale is waardevol wanneer voldoende behoefte bestaat aan haar productie. Een lange levensduur is aantrekkelijk wanneer de centrale gedurende die periode nuttig en economisch inzetbaar blijft. Warmtelevering is een voordeel wanneer een geschikte afnemer langdurig op de juiste plaats en op het juiste temperatuurniveau warmte nodig heeft. Lagere systeemkosten zijn mogelijk wanneer de aannamen over vraag, netten, opslag, brandstoffen, bouwkosten en bedrijfsuren in voldoende mate uitkomen.

De argumenten uit het vorige hoofdstuk moeten daarom worden vertaald in voorwaarden die aantoonbaar aanwezig moeten zijn voordat zij een investeringsbesluit kunnen dragen.

3.2 Lage CO_2-uitstoot is een sterk, maar niet exclusief argument

De lage uitstoot van broeikasgassen is een van de sterkste argumenten vóór kernenergie. Een kerncentrale kan gedurende lange tijd grote hoeveelheden elektriciteit produceren zonder dat tijdens de normale productie fossiele brandstoffen worden verbrand. Daarmee kan zij gas- en kolengestookte productie verdringen en bijdragen aan een vrijwel klimaat neutrale elektriciteitsvoorziening.

Over dit vermogen van kernenergie bestaat minder onzekerheid dan over veel andere argumenten. De centrale zal, wanneer zij eenmaal in bedrijf is en voldoende uren produceert, elektriciteit met een lage uitstoot leveren. De onzekerheid betreft vooral het moment waarop die productie beschikbaar komt, de hoeveelheid fossiele productie die daadwerkelijk wordt vervangen en de vraag of dezelfde klimaatprestatie langs een andere route eerder of met minder risico kan worden bereikt.

Het beleidsdoel is immers niet het bouwen van kerncentrales. Het beleidsdoel is een betrouwbare energievoorziening met een zeer lage uitstoot. Kernenergie is een mogelijk middel om dat doel te bereiken, maar niet het enige.

Een alternatief kan bestaan uit een verdere uitbreiding van wind en zon, gecombineerd met netverzwaring, vraagsturing en opslag. Voor perioden waarin deze bronnen onvoldoende produceren, kan regelbaar vermogen beschikbaar blijven. Dat regelbare vermogen kan op termijn gebruikmaken van duurzaam geproduceerde waterstof of ammoniak. Ook kan worden gedacht aan gasgestookte centrales waarbij de CO_2 voor een groot deel wordt afgevangen en permanent opgeslagen.

Geen van deze routes is eenvoudig. Wind en zon vragen aanvullende voorzieningen wanneer de productie niet overeenkomt met de vraag. Opslag veroorzaakt omzettingsverliezen en is afhankelijk van de hoeveelheid energie die daadwerkelijk kan worden opgeslagen. Waterstof en ammoniak moeten eerst met een lage uitstoot worden geproduceerd, getransporteerd en opgeslagen. Bij CO_2-afvang blijven doorgaans restemissies bestaan en zijn transport en permanente opslag nodig.

Het bestaan van deze nadelen maakt kernenergie niet automatisch tot de beste keuze. Het betekent dat verschillende combinaties op gelijke grondslag moeten worden vergeleken. Daarbij moet niet alleen worden gekeken naar de uitstoot van de afzonderlijke centrale, maar naar de uitstoot, kosten en betrouwbaarheid van het volledige systeem.

Ook de bouwtijd is onderdeel van het klimaatargument. Wanneer een kerncentrale vele jaren later gereedkomt dan voorzien, moet de elektriciteit in de tussenliggende periode uit andere bronnen komen. Een centrale die na oplevering zeer weinig CO_2 uitstoot, kan daardoor toch samengaan met aanzienlijke uitstoot tijdens de jaren waarin op haar productie wordt gewacht.

De klimaatprestatie van kernenergie is dus sterk, maar zij wordt pas een doorslaggevend investeringsargument wanneer aannemelijk is dat de centrale tijdig beschikbaar komt, voldoende fossiele productie verdringt en gunstiger presteert dan volwaardige alternatieven.

3.3 Weersonafhankelijke productie heeft alleen waarde wanneer zij nodig is

Dat een kerncentrale onafhankelijk van zon en wind kan produceren, is technisch een voordeel. Een elektriciteitssysteem heeft behoefte aan productie tijdens perioden waarin weersafhankelijke bronnen onvoldoende leveren. Vooral tijdens langdurige koude en windstille perioden kan de aanwezigheid van een betrouwbare bron van grote betekenis zijn.

Toch volgt uit weersonafhankelijkheid niet automatisch dat een centrale het gehele jaar op hoog vermogen nodig is. De centrale kan ook produceren tijdens uren waarin wind, zon, import en andere bronnen gezamenlijk al voldoende elektriciteit leveren. Op die momenten kan de weersonafhankelijke productie concurreren met andere CO_2-arme productie om dezelfde afzetruimte.

Voor een kerncentrale met hoge vaste kosten is dit belangrijk. De economische aantrekkelijkheid berust in sterke mate op langdurige productie en veel bedrijfsuren. Wanneer de centrale regelmatig moet terugregelen of stoppen, vallen inkomsten weg terwijl rente, personeel, onderhoud, beveiliging en andere vaste kosten grotendeels blijven doorlopen.

Daarom is niet alleen de maximale vraag van belang. Voor de geschiktheid van kernenergie is vooral de minimale restvraag bepalend. Dat is de elektriciteitsvraag die per uur overblijft nadat wind, zon, import, opslag, vraagsturing en andere productie zijn verwerkt.

Wanneer de minimale restvraag gedurende veel uren hoog blijft, kan ruimte bestaan voor langdurige basislast. Wanneer zij gedurende een aanzienlijk deel van het jaar laag of negatief wordt, ontstaat een ander gebruiksprofiel. Dan is vooral behoefte aan vermogen dat kan stoppen wanneer voldoende duurzame elektriciteit beschikbaar is en snel kan terugkeren wanneer een tekort ontstaat.

Een voorspelde groei van de totale jaarvraag is daarom onvoldoende als onderbouwing. Eerst moet worden vastgesteld hoe die vraag over de uren van het jaar is verdeeld en hoe gelijktijdig wind, zon, opslag en andere bronnen zich ontwikkelen.

3.4 De toekomstige vraag is geen vaststaand gegeven

Veel argumenten vóór kernenergie gaan uit van een aanzienlijke groei van het elektriciteitsverbruik. Elektrisch vervoer, warmtepompen, datacenters, industriële elektrificatie en de productie van waterstof kunnen inderdaad tot een veel grotere vraag leiden.

De omvang en het tempo van die groei zijn echter onzeker. De Nederlandse elektriciteitsvraag beweegt al lange tijd rond hetzelfde niveau. De verwachte sterke stijging is tot nu toe niet zichtbaar geworden. Dat sluit een toekomstige versnelling niet uit, maar het betekent wel dat deze versnelling nog niet als zekerheid mag worden behandeld.

Vooral de ontwikkeling van de energie-intensieve industrie is bepalend. Een groot deel van de toekomstige vraag naar elektriciteit, waterstof en warmte wordt toegeschreven aan de verduurzaming van raffinaderijen, chemische bedrijven, staalproductie en andere grote industriële gebruikers. Tegelijkertijd staan juist deze bedrijven onder druk door energieprijzen, internationale concurrentie, netcongestie en onzekerheid over klimaatbeleid en infrastructuur.

Daarmee ontstaat een wederzijdse afhankelijkheid. Kernenergie wordt mede gerechtvaardigd met de verwachting dat de industrie veel meer elektriciteit zal vragen. De industrie zal echter alleen grootschalig elektrificeren en langdurig in Nederland blijven wanneer tijdig betaalbare energie, infrastructuur en voldoende investeringszekerheid beschikbaar zijn.

Het is daarom onvoldoende om industriële groei als vaststaande toekomstige afzet voor een kerncentrale op te nemen. Er moet worden onderzocht welke bedrijven werkelijk investeren, welke productiecapaciteit zij verwachten, hoe hun vraagprofiel eruitziet en welke langjarige verplichtingen zij bereid zijn aan te gaan.

3.5 Een lange levensduur is alleen een voordeel bij langdurige benutting

De mogelijke technische levensduur van een kerncentrale wordt vaak als een belangrijk voordeel genoemd. Een centrale die zestig jaar of langer elektriciteit kan produceren, kan de

grote aanvangsinvestering over een lange periode verdelen. Ook kan gedurende tientallen jaren gebruik worden gemaakt van dezelfde locatie, netaansluiting, organisatie en kennis.

Toch is een lange nominale levensduur niet zonder meer gelijk aan een lange nuttige of economische levensduur. Er moet onderscheid worden gemaakt tussen de technische levensduur, de economische levensduur en de levensduur van de behoefte waaraan de centrale moet voldoen.

De technische levensduur hangt af van het ontwerp, de kwaliteit van de bouw, de bedrijfsvoering, het onderhoud en de bereidheid om onderdelen tijdig te vervangen of te moderniseren. Reactorvat, leidingen, pompen, warmtewisselaars, turbines, generatoren en besturingssystemen verouderen niet allemaal op dezelfde manier. Bestraling, corrosie, temperatuur, druk en mechanische belasting veroorzaken verschillende vormen van veroudering.

Ook de wijze van bedrijfsvoering is van belang. Een centrale die langdurig onder betrekkelijk constante omstandigheden werkt, kent een ander verouderingspatroon dan een centrale die regelmatig diep terugregelt, stopt en opnieuw start. Temperatuur- en drukwisselingen kunnen thermische en mechanische spanningen veroorzaken. Zij kunnen leiden tot extra inspecties, onderhoud en vervanging van onderdelen. Dat betekent niet dat flexibel nucleair bedrijf technisch onmogelijk is, maar wel dat de veronderstelde lange levensduur niet los kan worden gezien van het bedrijfsregime waarvoor de centrale wordt ontworpen en gebruikt.

De economische levensduur hangt vervolgens af van de benutting. Een installatie kan technisch nog vele jaren kunnen functioneren, maar economisch onder druk komen wanneer zij te weinig bedrijfsuren maakt of wanneer haar productie structureel tegen zeer lage prijzen moet worden verkocht. De hoge vaste kosten blijven immers bestaan, ook wanneer de centrale wordt afgeregeld.

Ten slotte bestaat de levensduur van de behoefte. Een centrale kan voor zestig jaar worden ontworpen, maar dat betekent nog niet dat gedurende zestig jaar dezelfde behoefte aan basislast aanwezig blijft. Wind, zon, opslag, vraagsturing, industrie en internationale verbindingen kunnen zich gedurende die periode ingrijpend ontwikkelen.

De lange levensduur is daarom een voordeel wanneer gedurende dezelfde periode een voldoende stabiele behoefte en afzet bestaan. Wanneer die zekerheid ontbreekt, kan dezelfde lange levensduur veranderen in een risico. De centrale legt dan niet alleen productiecapaciteit vast, maar ook financiële verplichtingen, ruimte, netcapaciteit en een bepaalde inrichting van het elektriciteitssysteem.

3.6 Warmtebenutting is door het verschil in schaal niet bepalend

Als aanvullend voordeel van kernenergie wordt soms genoemd dat de warmte van de centrale kan worden gebruikt voor industrie, stadsverwarming of de productie van waterstof. Technisch is warmtelevering mogelijk. Voor een grote kerncentrale zijn echter het verschil in schaal, het vereiste temperatuurniveau, het afnameprofiel en de gevolgen voor de bedrijfsvoering bepalend.

Een kerncentrale met een elektrisch vermogen van ongeveer 1.000 MW produceert in de reactor ruim 3.000 MW thermisch vermogen. Na omzetting van een deel daarvan in elektriciteit moet voortdurend een warmtestroom in de orde van 2.000 tot 2.400 MWth worden afgevoerd. Deze hoeveelheid is vele malen groter dan de warmtevraag van een afzonderlijke Nederlandse industriële installatie of een stedelijk warmtenet.

Daar komt bij dat de beschikbare warmte niet vanzelf de kwaliteit heeft die de industrie nodig heeft. Het grootste deel van de warmte die na de elektriciteitsproductie wordt afgevoerd, heeft een betrekkelijk laag temperatuurniveau. Veel energie-intensieve industriële processen vragen daarentegen stoom of proceswarmte op een aanzienlijk hoger temperatuurniveau. Om dergelijke warmte uit een kerncentrale te leveren, moet stoom eerder uit het proces worden afgetapt. Daardoor neemt de elektriciteitsproductie af en wordt slechts een deel van de totale warmtestroom bruikbaar.

Ook de omvang van de Nederlandse industriële vraag vormt een beperking. Een zeer grote industriële warmtegebruiker kan een vraag van enkele honderden MWth hebben, maar niet van enkele duizenden MWth. Om een substantieel deel van de warmtestroom van één grote kerncentrale te benutten, zouden meerdere zeer grote industriële afnemers gelijktijdig, dicht bij de centrale en gedurende vele tientallen jaren warmte moeten afnemen.

Dat is geen realistische zekerheid. Industriële bedrijven werken met aanzienlijk kortere investerings- en marktcycli dan de zestig jaar of langer waarvoor een kerncentrale wordt ontworpen. Productieprocessen veranderen, installaties sluiten, ondernemingen worden overgenomen en productie kan naar een andere regio of een ander land worden verplaatst. Het is daarom moeilijk voorstelbaar dat voldoende industriële bedrijven zich voor dertig tot zestig jaar onvoorwaardelijk verbinden aan een vaste warmteafname op één locatie.

Stadsverwarming past evenmin vanzelf bij het productieprofiel van een grote kerncentrale. Een omvangrijk warmtenet kan tijdens koude perioden een vraag van enkele honderden MWth bereiken, maar deze afname varieert sterk met het seizoen. De maximale capaciteit wordt slechts gedurende een deel van het jaar benut. De kerncentrale produceert haar warmte daarentegen dag en nacht en in alle seizoenen. Tijdens de zomer bestaat daardoor onvoldoende nuttige afzet voor het overgrote deel van de beschikbare warmtestroom.

Daarbij ontstaat in een elektriciteitssysteem met veel wind- en zonne-energie een operationeel conflict. Tijdens uren met veel duurzame productie kan de elektriciteitsprijs zeer laag of zelfs negatief worden. Vanuit het elektriciteitssysteem en de markt bestaat dan druk om de kerncentrale terug te regelen of tijdelijk uit bedrijf te nemen. Wanneer industrie of woningen tegelijkertijd afhankelijk zijn van haar warmtelevering, kan dat niet zonder meer.

De centrale wordt dan door de warmtevraag gedwongen in bedrijf gehouden. De warmtelevering creëert daarmee een vorm van *must-run*-bedrijf of operationele lock-in. De centrale blijft elektriciteit produceren, ook wanneer daarvoor nauwelijks vraag bestaat, de marktprijs negatief is of wind- en zonneproductie moet worden afgeregeld. Warmtelevering vergroot in dat geval niet de flexibiliteit van het energiesysteem, maar kan haar juist verminderen.

Dit probleem kan gedeeltelijk worden beperkt met warmtebuffers, reserveketels, warmtepompen of een tweede warmtebron. Daarmee kunnen de elektriciteitsproductie en de warmtevraag voor enige tijd van elkaar worden ontkoppeld. Deze voorzieningen vragen

echter aanvullende investeringen, ruimte, brandstof of elektriciteit en organisatie. Zij moeten bovendien groot genoeg zijn om onderhoud, storingen en perioden met een zeer lage elektriciteitsprijs te overbruggen.

De warmteafnemer kan op zijn beurt niet volledig afhankelijk worden gemaakt van één kerncentrale. Tijdens gepland onderhoud of een onverwachte storing moet de warmtevoorziening doorgaan. Daardoor blijft naast de kerncentrale een omvangrijke reservevoorziening nodig. De kosten daarvan behoren tot de totale beoordeling van de warmteroute.

Warmtebenutting kan op een geschikte locatie nuttig zijn. Een warmtenet, glastuinbouwgebied of industriële installatie kan een beperkt deel van de beschikbare warmte gebruiken en daarmee lokaal ander energiegebruik voorkomen. De omvang, kwaliteit, continuïteit en flexibiliteit van die afzet zijn echter onvoldoende om de schaal, locatie of economische rechtvaardiging van een grote kerncentrale te bepalen.

Voor de beoordeling van kernenergie moet daarom worden uitgegaan van elektriciteitsproductie als hoofdfunctie. Eventuele warmtebenutting kan slechts als aanvullende bate worden opgenomen wanneer een concrete afnemer, het vereiste temperatuurniveau, de reservevoorziening en de langjarige contractuele verantwoordelijkheid overtuigend zijn geregeld. Zij mag niet worden gebruikt als kunstmatige afzetmogelijkheid voor een centrale die in het elektriciteitssysteem onvoldoende bedrijfsuren kan maken.

Hiermee worden vier afzonderlijke beperkingen zichtbaar: de warmtehoeveelheid is te groot, het temperatuurniveau past vaak niet, de afname is onvoldoende constant en warmtelevering kan conflicteren met de behoefte om de elektriciteitsproductie te stoppen.

De conclusie luidt:

De beschikbaarheid van duizenden megawatt thermisch vermogen betekent niet dat in Nederland een vergelijkbare, langdurige en bruikbare warmtevraag bestaat. Warmtelevering kan een beperkte nevenfunctie vervullen, maar kan tevens leiden tot gedwongen productie tijdens uren waarin elektriciteit weinig of geen waarde heeft. Zij is daarom geen dragende rechtvaardiging voor een grote kerncentrale.

3.7 Beperkt ruimtebeslag betekent niet dat de gehele ruimtelijke invloed beperkt is

Een kerncentrale produceert op het eigen terrein veel elektriciteit per hectare. In die directe betekenis is het ruimteargument sterk. Een vergelijkbare jaarproductie uit wind en zon vraagt een veel groter productiegebied.

Voor een concrete locatiekeuze moet echter meer worden beschouwd dan de omheining van de centrale. De bouw vraagt tijdelijk een groot werkterrein, zware transportverbindingen en huisvesting voor veel medewerkers. Voor de exploitatie zijn koelwater, hoogspanningsverbindingen, beveiliging, noodvoorzieningen en mogelijkheden voor onderhoud en opslag nodig.

Ook de omgeving kan beperkingen ondervinden. Andere ontwikkelingen moeten verenigbaar zijn met de veiligheids- en beveiligingseisen van de centrale. De benodigde netaansluiting kan ruimte innemen die ook voor wind op zee, industrie of andere productie nodig is.

Het juiste argument is daarom dat kernenergie een hoge productieconcentratie kent. Dat is een belangrijk voordeel, maar het mag niet worden gelijkgesteld aan de afwezigheid van ruimtelijke gevolgen.

3.8 Lagere systeemkosten hangen af van de gekozen toekomst

Het kabinet verwijst naar studies waarin kernenergie hogere investeringen in productiecapaciteit kan compenseren door lagere kosten voor netten, opslag, flexibiliteit en energie-import. Dat is een relevant systeemargument. Het voorkomt dat alleen de afzonderlijke productiekosten van wind, zon of kernenergie worden vergeleken.

De uitkomst van een systeemmodel wordt echter bepaald door de aannamen die erin worden ingevoerd. De groei van de vraag, de kosten van kernenergie, de uitbreiding van wind en zon, de prijs van opslag, de beschikbaarheid van waterstof, de mogelijkheden voor import en de ontwikkeling van het elektriciteitsnet beïnvloeden elkaar.

Wanneer een kerncentrale tijdig, binnen budget en met veel bedrijfsuren wordt gerealiseerd, kan zij systeemkosten vermijden. Wanneer de bouw vertraagt, de kosten stijgen of de restvraag lager uitvalt, verandert de uitkomst. Hetzelfde geldt voor de alternatieven. Goedkopere langdurige opslag, een sterke uitbreiding van internationale verbindingen of betaalbare CO_2-arme brandstoffen kunnen de behoefte aan basislast verminderen.

De conclusie uit een model moet daarom niet zijn dat kernenergie onder alle omstandigheden de laagste systeemkosten oplevert. De relevante vraag is in welke scenario’s dat gebeurt, bij welke omslagwaarden het voordeel verdwijnt en wie het verlies draagt wanneer de werkelijkheid ongunstiger uitvalt.

3.9 Diversificatie vermindert sommige afhankelijkheden en creëert andere

Kernenergie kan de afhankelijkheid van geïmporteerd aardgas en weersafhankelijke productie verminderen. De brandstof heeft een hoge energiedichtheid en kan voor langere tijd worden opgeslagen. Daarmee kan kernenergie bijdragen aan strategische weerbaarheid.

Nederland wordt met kernenergie echter niet onafhankelijk. Uranium, conversie, verrijking, brandstoffabricage, reactoronderdelen en gespecialiseerde diensten maken deel uit van internationale ketens. Ook kan langdurige afhankelijkheid ontstaan van één reactorontwerp, leverancier of onderhoudsorganisatie.

Dit is geen argument om kernenergie af te wijzen. Vrijwel iedere energietechniek kent internationale afhankelijkheden. Windturbines, zonnepanelen, batterijen, elektrolysers en gasturbines zijn eveneens verbonden met buitenlandse materialen, fabrikanten en kennis.

Het voordeel van kernenergie ligt daarom vooral in spreiding. Diversificatie is waardevol wanneer zij werkelijk voorkomt dat het systeem te sterk afhankelijk wordt van één land, één leverancier, één brandstof of één techniek. Daarvoor moet de gehele keten worden beoordeeld en niet alleen de voorraad uranium op de centrale.

3.10 De lange levensduur van het project vraagt een even lange bestuurlijke horizon

Een kerncentrale is niet alleen een technische installatie. Zij creëert verplichtingen voor financiering, toezicht, beveiliging, brandstof, afvalbeheer en ontmanteling. Die verplichtingen blijven bestaan, ook wanneer de elektriciteitsmarkt, de eigenaar of het overheidsbeleid verandert.

De baten worden vaak gepresenteerd over een bedrijfsperiode van zestig jaar of langer. Dan moeten ook de risico's en verantwoordelijkheden over diezelfde periode worden beschouwd. Er moet duidelijk zijn wie bijbetaalt wanneer de centrale minder uren produceert, wie verantwoordelijk blijft wanneer een industriële warmteafnemer vertrekt, wie de kosten van aanvullende veiligheidsmaatregelen draagt en hoe afval en ontmanteling worden gefinancierd.

Een lange technische levensduur rechtvaardigt dus een lange bestuurlijke en financiële blik. Het is niet consistent om de voordelen over zestig jaar op te tellen, maar de zekerheid over afzet, industriële vraag en financiële verantwoordelijkheid slechts voor de eerste tien of vijftien jaar te regelen.

3.11 SMR's veranderen de schaal, maar niet alle fundamentele vragen

SMR's kunnen mogelijk in kleinere vermogensstappen worden gebouwd. Daardoor kan de capaciteit beter worden afgestemd op een groeiende vraag en kan een park module voor module worden uitgebreid. Dat kan een voordeel zijn ten opzichte van één zeer groot productieblok.

De fundamentele vragen verdwijnen daarmee echter niet. Ook een SMR moet een locatie, vergunning, netaansluiting, exploitant, beveiliging, brandstofvoorziening en oplossing voor afval en ontmanteling hebben. Ook bij een SMR moet voldoende afzet bestaan voor elektriciteit en eventuele warmte.

De economische voordelen van fabrieksmatige productie en seriebouw ontstaan bovendien pas wanneer werkelijk een serie van grotendeels identieke eenheden wordt gebouwd. De eerste projecten dragen juist het risico dat ontwerp, fabriek, vergunningverlening en toeleveringsketen nog niet zijn uitgekristalliseerd.

Ook voor warmte geldt dat het kleinere vermogen beter bij een regionale afnemer kan passen, maar dat de langdurige aanwezigheid van die afnemer nog steeds moet worden aangetoond. Een kleinere installatie vermindert de omvang van een verkeerde keuze, maar maakt een verkeerde keuze niet onmogelijk.

3.12 Tussenbalans

De argumenten vóór kernenergie blijven na deze toetsing inhoudelijk relevant. Kernenergie kan elektriciteit met een zeer lage CO_2-uitstoot leveren, onafhankelijk van het weer produceren, veel energie op een beperkt terrein opwekken en bijdragen aan een meer gevarieerde energievoorziening. Ook warmtelevering kan de totale benutting verhogen.

De toets laat echter zien dat deze voordelen voorwaardelijk zijn. Zij hangen af van voldoende langdurige vraag, een hoge minimale restvraag, veel bedrijfsuren, tijdige oplevering, beheersbare kosten en een geschikte locatie en netaansluiting. Voor warmtebenutting komen daar de aanwezigheid van een langdurige afnemer, het juiste temperatuurniveau, een beperkte transportafstand en een geloofwaardige verdeling van het afzet- en uitvalrisico bij.

Daarmee ontstaat geen conclusie tegen kernenergie. Wel ontstaat de conclusie dat algemene technische voordelen nog geen voldoende grondslag vormen voor een concreet investeringsbesluit.

Bij een investering die tientallen jaren voorbereiding, bouw en exploitatie omvat, moet worden voorkomen dat een aannemelijke toekomst wordt behandeld als een zekere toekomst. De volgende vraag is daarom hoe internationaal wordt geadviseerd om te beslissen wanneer de mogelijke baten groot zijn, maar vraag, kosten, planning en toekomstige omstandigheden nog fundamenteel onzeker zijn.

4. Internationale inzichten over beslissen onder onzekerheid

4.1 Onzekerheid vraagt een andere manier van besluiten

Grote investeringsbeslissingen worden vaak voorbereid door één verwachte toekomst zo goed mogelijk te beschrijven. Voor die toekomst worden vervolgens de kosten en baten van verschillende oplossingen berekend. De oplossing met de gunstigste uitkomst wordt daarna als voorkeursalternatief aangewezen.

Deze werkwijze is bruikbaar wanneer de belangrijkste omstandigheden redelijk voorspelbaar zijn en wanneer een verkeerde keuze later zonder buitensporige kosten kan worden hersteld. Zij wordt minder geschikt wanneer de onzekerheid groot is, de verschillende ontwikkelingen elkaar beïnvloeden en het besluit nauwelijks kan worden teruggedraaid.

Bij de toekomstige elektriciteitsvoorziening is van zo'n eenvoudige situatie geen sprake. Het is onzeker hoe sterk en hoe snel de vraag groeit, hoeveel energie-intensieve industrie in Nederland blijft, hoeveel wind- en zonnevermogen wordt gebouwd, welke rol waterstof krijgt, hoe snel opslag zich ontwikkelt en hoeveel netcapaciteit tijdig beschikbaar komt. Ook de kosten en bouwtijd van nieuwe kerncentrales en SMR's zijn niet met grote zekerheid vast te stellen.

Deze onzekerheden kunnen niet onafhankelijk van elkaar worden beschouwd. Wanneer meer wind en zon worden gebouwd, verandert de restvraag en daarmee het mogelijke aantal bedrijfsuren van andere centrales. Wanneer de industrie minder groeit of productie verplaatst, neemt niet alleen de elektriciteitsvraag af, maar ook de mogelijke vraag naar waterstof en warmte. Wanneer een kerncentrale later gereedkomt, moet langer vervangend vermogen beschikbaar blijven en kan het elektriciteitssysteem bij oplevering inmiddels anders zijn ingericht.

Internationale methoden voor besluitvorming onder diepe onzekerheid adviseren daarom niet om steeds meer nauwkeurigheid toe te voegen aan één voorspelling. Zij adviseren om meerdere plausibele toekomstbeelden te onderzoeken, plannen aan uiteenlopende omstandigheden bloot te stellen en vooral vast te stellen onder welke omstandigheden een keuze niet meer voldoet.[1]

Het doel is niet de toekomst foutloos voorspellen. Het doel is voorkomen dat een besluit alleen goed uitpakt wanneer vrijwel alle gekozen aannamen tegelijk juist blijken te zijn.

4.2 Eerst het doel en daarna de oplossing

Een zorgvuldige beoordeling begint met het doel dat moet worden bereikt. Dat doel kan voor de Nederlandse elektriciteitsvoorziening worden omschreven als het tijdig beschikbaar hebben van voldoende betrouwbare elektriciteit met een zeer lage uitstoot, tegen maatschappelijk aanvaardbare kosten en binnen de grenzen van ruimte, veiligheid en leefomgeving.

De bouw van een kerncentrale is geen doel op zichzelf. Het is één van de mogelijke middelen om dat bredere doel te bereiken. Hetzelfde geldt voor windparken, opslag, STEG's, waterstof, ammoniak, CO_2-afvang en uitbreiding van internationale verbindingen.

Dat onderscheid lijkt vanzelfsprekend, maar is in de praktijk van grote projecten van groot belang. Zodra een bepaalde techniek politiek als voorkeursoplossing is aangewezen, kunnen onderzoeken ongemerkt van functie veranderen. Zij onderzoeken dan niet langer welke oplossing het beste bij het probleem past, maar hoe de reeds gekozen oplossing mogelijk kan worden gemaakt.

Daarom moet vóór de selectie van een techniek worden vastgesteld welke prestaties werkelijk nodig zijn. Het gaat dan niet alleen om de totale hoeveelheid elektriciteit per jaar, maar ook om het tijdstip van de vraag, de minimale restvraag, de duur van tekorten, de benodigde flexibiliteit en de gevolgen van uitval.

Ook internationale richtlijnen voor publieke investeringen beginnen met de doelstelling en een brede verzameling mogelijkheden. Een voorkeursalternatief krijgt pas betekenis nadat het met andere uitvoerbare oplossingen en met de bestaande situatie is vergeleken. Een te vroege vernauwing van de mogelijkheden vergroot het risico dat een beter passend alternatief buiten beeld blijft.[2]

Voor kernenergie betekent dit dat de vraag niet moet luiden hoe Nederland twee of vier centrales kan bouwen. Eerst moet worden vastgesteld welke structurele systeembehoefte daarmee wordt opgelost en of andere combinaties diezelfde behoefte eerder, flexibeler of met minder risico kunnen vervullen.

4.3 Meerdere plausibele toekomsten in plaats van één voorspelling

Bij grote onzekerheid is één hoog, midden of laag scenario onvoldoende. De toekomstige werkelijkheid wordt gevormd door combinaties van ontwikkelingen. Een sterke groei van de elektriciteitsvraag kan samengaan met een sterke uitbreiding van wind en zon, maar ook met een stagnerende duurzame productie. Industriële elektrificatie kan snel verlopen, maar kan eveneens achterblijven doordat bedrijven sluiten of investeringen uitstellen. Opslag kan goedkoper worden, terwijl netuitbreiding juist vertraagt.

De relevante vraag is daarom niet welk afzonderlijk scenario het waarschijnlijkst lijkt. De vraag is hoe een mogelijke keuze functioneert in verschillende samenhangende toekomstbeelden.

Een kerncentrale kan bijvoorbeeld goed passen in een toekomst waarin de elektriciteitsvraag sterk stijgt, wind en zon beperkt groeien en gedurende vrijwel het gehele jaar een hoge restvraag bestaat. Dezelfde centrale kan veel moeilijker passen wanneer duurzame productie sterk groeit, opslag goedkoper wordt en de industriële vraag achterblijft. Een STEG kan in het eerste toekomstbeeld veel brandstof gebruiken, maar in het tweede juist waardevol zijn doordat zij slechts tijdens tekorten hoeft te produceren.

De scenario's dienen daarmee niet om één winnaar aan te wijzen. Zij dienen om zichtbaar te maken waar de sterke en zwakke kanten van iedere strategie liggen. Vooral de omstandigheden waaronder een oplossing niet meer voldoet, zijn bestuurlijk belangrijk.

Daarbij moet niet alleen met gunstige en gemiddelde aannamen worden gerekend. Juist samenlopende tegenvallers verdienen aandacht. Bij kernenergie kan een combinatie van hogere bouwkosten, een langere bouwtijd, hogere rente, minder bedrijfsuren en lagere elektriciteitsprijzen veel ingrijpender zijn dan een afzonderlijke afwijking van één van deze factoren.

De recente IAEA-leidraad voor haalbaarheidsstudies verlangt daarom niet alleen een centrale kostenberekening. Zij noemt uitdrukkelijk gevoeligheden voor investeringskosten, bouwtijd, vraag en marktprijzen, rente, benuttingsgraad, productie en operationele kosten. De IAEA adviseert daarnaast omslagwaarden, probabilistische risicoanalyse en scenarioanalyse te gebruiken om te onderzoeken wanneer de positieve uitkomst van een project verdwijnt.[3]

Voor de Nederlandse beoordeling betekent dit dat niet alleen moet worden onderzocht of kernenergie in een gekozen toekomst rendabel kan zijn. Er moet ook worden vastgesteld hoeveel kostenoverschrijding, vertraging of verlies aan bedrijfsuren kan worden verdragen voordat het project niet langer maatschappelijk aantrekkelijk is.

4.4 Robuustheid is iets anders dan optimalisatie

Een oplossing die in één gekozen scenario de laagste berekende kosten heeft, is niet noodzakelijk de verstandigste keuze. Zij kan zeer gevoelig zijn voor kleine afwijkingen van de aannamen. Een iets duurdere oplossing kan bestuurlijk aantrekkelijker zijn wanneer zij in veel verschillende omstandigheden voldoende blijft functioneren.

Dat verschil wordt aangeduid als het onderscheid tussen optimalisatie en robuustheid. Optimalisatie zoekt de beste uitkomst binnen één veronderstelde toekomst. Robuuste besluitvorming zoekt een oplossing of strategie die in meerdere plausibele toekomsten aanvaardbaar blijft.

Een robuuste oplossing hoeft dus niet in ieder scenario de goedkoopste te zijn. Zij moet vooral voorkomen dat de samenleving bij een afwijkende ontwikkeling met een onbruikbare investering, een groot tekort of onbeheersbare financiële gevolgen wordt geconfronteerd.

Dit is voor kernenergie bijzonder relevant. De combinatie van een zeer hoge investering, een lange bouwtijd en een lange bedrijfsduur kan bij gunstige omstandigheden veel CO_2-arme elektriciteit opleveren. Tegelijkertijd zijn de gevolgen groot wanneer de kosten sterk stijgen, de centrale veel later beschikbaar komt of bij oplevering minder afzetruimte bestaat dan verwacht.

Levensduurverlenging van een bestaande STEG kan in een centrale berekening duurder lijken door het lagere rendement en de brandstofkosten. Zij kan niettemin robuust zijn wanneer zij met een beperkte investering snel beschikbaar blijft, weinig uren hoeft te produceren en later zonder grote kapitaalvernietiging kan worden gesloten.

De beoordeling moet daarom naast verwachte kosten ook de kwetsbaarheid voor tegenvallers meewegen. De vraag is niet alleen hoeveel een oplossing naar verwachting kost, maar ook hoe groot de schade is wanneer de verwachting niet uitkomt.

4.5 Tijd heeft informatie- en optiewaarde

Bij onzekerheid wordt uitstel vaak gelijkgesteld aan besluiteloosheid. Internationale adaptieve methoden maken echter onderscheid tussen passief afwachten en actief tijd kopen.

Passief afwachten betekent dat noodzakelijke voorbereidingen worden nagelaten en dat pas wordt gehandeld wanneer een probleem zich volledig heeft gemanifesteerd. Actief tijd kopen betekent dat op korte termijn maatregelen worden genomen die de doelen voorlopig veiligstellen, terwijl mogelijkheden voor latere aanpassing bewust openblijven.

Deltares beschrijft dit als een adaptieve route. Daarbij worden nu maatregelen genomen die voor de nabije toekomst nodig zijn. Tegelijkertijd worden andere mogelijkheden voorbereid die later kunnen worden ingezet wanneer de omstandigheden daarom vragen. Een monitoringssysteem moet vroegtijdig aangeven wanneer een bestaande aanpak haar grens nadert en een volgende stap noodzakelijk wordt.[4]

Voor de elektriciteitsvoorziening kan dit betekenen dat bruikbare bestaande centrales niet voortijdig verdwijnen, dat noodzakelijke netaansluitingen en locaties behouden blijven en dat de technische en organisatorische voorbereiding van nieuwe opties doorgaat. Daarmee wordt voorkomen dat Nederland later onder tijdsdruk moet kiezen.

De waarde van tijd bestaat uit de informatie die in de tussenliggende jaren beschikbaar komt. De feitelijke ontwikkeling van de elektriciteitsvraag wordt zichtbaar. Er komt meer duidelijkheid over industriële investeringen, elektrolyse, opslag en wind op zee. Buitenlandse kerncentrales en SMR-projecten leveren meer informatie op over kosten, bouwtijd, vergunningverlening en seriebouw.

Deze informatie kan de keuze veranderen. Wanneer een structureel hoge restvraag ontstaat en internationale projecten aantoonbaar binnen beheersbare grenzen worden gerealiseerd, wordt kernenergie aantrekkelijker. Wanneer de vraag achterblijft, duurzame productie sterk groeit of alternatieven goedkoper worden, kan een andere route rationeler blijken.

Het behouden van deze mogelijkheid om later met betere informatie te beslissen heeft economische waarde. Die waarde ontbreekt wanneer Nederland zich vroegtijdig onomkeerbaar aan één techniek en één projectschaal verbindt.

Tijd kopen betekent dus niet dat geen richting wordt gekozen. Het betekent dat eerst maatregelen worden genomen die betrouwbaar zijn, relatief snel beschikbaar komen en de latere keuze niet onnodig blokkeren.

4.6 Vooraf bepalen wanneer een aanpak niet meer voldoet

Een adaptieve strategie blijft alleen geloofwaardig wanneer vooraf wordt aangegeven waarop wordt gelet. Zonder meetbare signalen kan iedere vertraging achteraf worden verdedigd en kan een tijdelijk alternatief ongemerkt permanent worden.

Deltares gebruikt hiervoor het begrip kantelpunt. Een kantelpunt wordt bereikt wanneer een bestaande maatregel of strategie niet langer aan de doelstelling kan voldoen. Het exacte jaar

waarin dit gebeurt, kan per toekomstscenario verschillen. De omstandigheden waaronder het gebeurt, kunnen echter vooraf worden omschreven.[4]

Voor het Nederlandse elektriciteitssysteem kan een kantelpunt bijvoorbeeld ontstaan wanneer de bestaande regelbare capaciteit onvoldoende wordt om een meerdaagse periode met weinig wind en zon te overbruggen. Een ander kantelpunt kan worden bereikt wanneer de minimale restvraag gedurende voldoende jaren structureel zo hoog is geworden dat langdurige basislast aantoonbaar kan worden benut.

Ook bij de voorbereiding van kernenergie zijn dergelijke signalen nodig. Niet alleen moet duidelijk zijn wanneer een project voor een investeringsbesluit in aanmerking komt. Even belangrijk is wanneer de voorbereiding moet worden herzien, vertraagd of beëindigd.

Wanneer de verwachte bouwkosten boven een vooraf bepaalde bandbreedte uitkomen, de netaansluiting niet tijdig beschikbaar blijkt, de minimale restvraag onvoldoende is of de lokale aanvaardbaarheid ontbreekt, mag niet automatisch worden doorgegaan omdat al veel geld en politieke energie zijn besteed.

Door de criteria vooraf vast te leggen wordt voorkomen dat zij gedurende het proces worden aangepast om de gewenste uitkomst alsnog mogelijk te maken. Daarmee wordt het risico van voortzettingsdwang beperkt.

Een beslismoment heeft alleen betekenis wanneer ook een negatief besluit mogelijk is.

4.7 Gefaseerde voorbereiding voorkomt een voortijdige eindbeslissing

De IAEA behandelt de ontwikkeling van een nucleair programma nadrukkelijk als een gefaseerd proces. De eerste mijlpaal is niet de opdracht tot bouw, maar het moment waarop een land voldoende kennis heeft om zich bewust aan een nucleair programma te kunnen verbinden. Pas in een volgende fase ontstaat de gereedheid om aanbiedingen te vragen en over een contract te onderhandelen. Daarna volgt de voorbereiding op ingebruikname en exploitatie.[5]

Deze fasering maakt duidelijk dat een politieke keuze om kernenergie als mogelijkheid te onderzoeken iets anders is dan een definitief investeringsbesluit. Ook een locatieonderzoek, een milieueffectrapportage, de ontwikkeling van kennis en het voeren van gesprekken met leveranciers zijn nog geen opdracht tot bouw.

Dat onderscheid is voor Nederland essentieel. Voorbereidende werkzaamheden kunnen nuttig zijn omdat zij informatie opleveren, deskundigheid ontwikkelen en voorkomen dat een latere keuze onnodig wordt vertraagd. Zij mogen echter niet zo worden ingericht dat iedere volgende stap feitelijk onvermijdelijk wordt.

Iedere fase hoort daarom te eindigen met een zelfstandige beoordeling. Nieuwe informatie over vraag, restvraag, kosten, planning, locatie, netaansluiting en alternatieven moet op dat moment opnieuw kunnen worden meegewogen.

De IAEA geeft voor een land dat een eerste grote kerncentrale ontwikkelt een periode van ten minste tien tot vijftien jaar tussen het begin van de nationale voorbereiding en de gereedheid

om de eerste centrale te exploiteren. Deze periode omvat veel meer dan de fysieke bouw. Zij omvat ook de ontwikkeling van wetgeving, toezicht, opdrachtgeverschap, personeel, afvalbeheer, veiligheid, beveiliging en andere noodzakelijke infrastructuur.[5]

De lange voorbereiding maakt het des te belangrijker dat een terugvalroute beschikbaar blijft. Wanneer na vele jaren voorbereiding blijkt dat het project niet tijdig of niet tegen aanvaardbare kosten kan worden gerealiseerd, moet de elektriciteitsvoorziening niet afhankelijk zijn geworden van de veronderstelde opleverdatum.

4.8 De blik van buiten corrigeert optimisme

Projectorganisaties beschikken over veel technische kennis, maar hebben ook een natuurlijk belang bij de voortgang van hun project. Naarmate meer tijd en geld zijn geïnvesteerd, wordt het moeilijker de oorspronkelijke aannamen opnieuw ter discussie te stellen.

Daarom adviseren internationale richtlijnen om naast de blik van binnen ook een blik van buiten te gebruiken. De blik van binnen beoordeelt hoe dit specifieke project volgens het ontwerp, de planning en de organisatie zal verlopen. De blik van buiten onderzoekt hoe vergelijkbare projecten feitelijk zijn verlopen.

De Britse Green Book-richtlijn noemt optimisme in projectbeoordelingen een aantoonbare neiging. Zij schrijft voor dat ramingen hiervoor expliciet worden gecorrigeerd door kosten en projectduur naar boven en verwachte baten naar beneden bij te stellen. Waar mogelijk moeten deze correcties worden gebaseerd op ervaringen met eerdere of vergelijkbare projecten.[2]

Voor kernenergie betekent dit dat een leverancierssplanning of project specifieke kostenraming niet voldoende is. Daarnaast moet worden gekeken naar de werkelijke bouwtijd en kosten van relevante referentieprojecten. Daarbij moet zorgvuldig worden vastgesteld welke projecten werkelijk vergelijkbaar zijn wat betreft ontwerp, locatie, regelgeving, bestaande nucleaire ervaring, toeleveringsketen en seriebouw.

Het doel van deze vergelijking is niet te veronderstellen dat ieder volgend project noodzakelijk hetzelfde verloop kent als een tegenvallend project. Het doel is te voorkomen dat bekende risico’s worden weg gerekend met de redenering dat het Nederlandse project vanaf het begin beter zal worden bestuurd.

Een raming wordt niet betrouwbaar doordat zij nauwkeurig is weergegeven. Zij wordt betrouwbaarder wanneer zichtbaar is welke onzekerheidsmarge uit feitelijke projectervaring volgt.

4.9 Onafhankelijke beoordeling moet gedurende het hele proces blijven bestaan

Onafhankelijkheid is niet alleen nodig bij de eerste kostenraming. Ook gedurende ontwerp, contractering en bouw moet de overheid beschikken over deskundigheid die geen direct belang heeft bij voortzetting van het project.

De OECD Nuclear Energy Agency wijst bij nieuwe kerncentrales op het belang van onafhankelijk projectadvies en onafhankelijk toezicht op de projectstructuur, de verdeling van

verantwoordelijkheden, de prikkels in contracten en de omgang met geschillen. Een onafhankelijke adviseur moet volgens deze benadering geen financieel belang hebben bij de uitkomst van het project.[6]

Dat is iets anders dan het nucleaire veiligheidstoezicht. De onafhankelijke toezichthouder beoordeelt of aan de wettelijke veiligheidsvereisten wordt voldaan. Een onafhankelijke projectbeoordelaar onderzoekt daarnaast of planning, organisatie, kostenbeheersing, contractering en risicoverdeling voldoende robuust zijn.

Bij een project waarin de overheid een groot deel van het bouw- of afzetrisico draagt, vertegenwoordigt die onafhankelijke beoordeling uiteindelijk het belang van belastingbetalers en elektriciteitsgebruikers. De partij die het risico draagt, moet ook toegang hebben tot volledige informatie en invloed kunnen uitoefenen wanneer het risico toeneemt.

4.10 Risico’s moeten worden toegewezen aan de partij die ze kan beheersen

Financiering kan risico’s verdelen, maar kan ze niet laten verdwijnen. Een staatsgarantie kan de rente verlagen doordat financiers minder risico lopen. Het onderliggende risico van vertraging, kostenoverschrijding of onvoldoende afzet blijft echter bestaan. Het wordt dan geheel of gedeeltelijk gedragen door de overheid, de belastingbetaler of de elektriciteitsgebruiker.

De OECD Nuclear Energy Agency benadrukt dat de risico’s van nieuwbouw sterk veranderen gedurende de levenscyclus. Tijdens de bouw zijn de risico’s hoog, vooral door kostenoverschrijding, vertraging en het risico dat het project niet wordt voltooid. Na succesvolle ingebruikname wordt een werkende centrale voor investeerders een veel minder risicovol bezit.[6]

Die ongelijke verdeling in de tijd heeft gevolgen voor het financieringsmodel. Het is niet voldoende alleen te melden dat de overheid, de leverancier en private investeerders risico’s delen. Voor iedere belangrijke tegenvaller moet duidelijk zijn wie uiteindelijk betaalt en wie de tegenvaller daadwerkelijk kan voorkomen of beperken.

Een leverancier kan invloed hebben op ontwerp, kwaliteit en bouwplanning, maar zal niet onbeperkt aansprakelijkheid willen aanvaarden voor een miljardenproject. Een exploitant kan het operationele risico dragen, maar niet zonder ondersteuning het volledige risico van politieke besluiten, marktontwikkeling of langdurige bouwvertraging. De overheid kan sommige risico’s beter dragen vanwege haar financiële capaciteit, maar daarmee komen zij bij de samenleving terecht.

De juiste vraag is daarom niet of de overheid risico mag dragen. Bij strategische infrastructuur kan publieke risicodragende gerechtvaardigd zijn. De juiste vraag is of die risico-overname transparant is, of daar voldoende publieke zeggenschap tegenover staat en of het project na opname van die risico’s nog steeds aantrekkelijker is dan de alternatieven.

4.11 Een terugvalalternatief hoort vóór het besluit gereed te zijn

Bij een project met een lange bouwtijd is vertraging geen bijkomend probleem. Zij kan de gehele energievoorziening beïnvloeden. Wanneer een centrale op een bepaald jaar nodig wordt geacht voor leveringszekerheid of klimaatdoelen, ontstaat onmiddellijk de vraag wat er gebeurt wanneer zij enkele jaren later beschikbaar komt.

Een terugvalalternatief kan niet pas worden ontwikkeld nadat de vertraging zich heeft voorgedaan. Nieuwe centrales, brandstofinfrastructuur, opslag en netverbindingen hebben zelf voorbereidingstijd nodig. Ook het langer openhouden van bestaande eenheden vereist onderhoud, personeel, vergunningen en tijdige investeringsbesluiten.

Daarom moet vóór het definitieve investeringsbesluit vaststaan hoe een vertraging van enkele jaren wordt opgevangen. Ook het scenario waarin het project uiteindelijk niet wordt voltooid, moet worden beschouwd.

Dit kan betekenen dat bestaande STEG's en productielocaties langer beschikbaar blijven, dat nieuw flexibel vermogen gefaseerd kan worden gebouwd of dat een strategische reserve wordt georganiseerd. De kosten van deze verzekering behoren tot de beoordeling van het kernenergieproject. Wanneer een project alleen verantwoord lijkt doordat ervan wordt uitgegaan dat het zeker op tijd gereedkomt, is de beoordeling niet robuust.

Het bestaan van een geloofwaardige terugvalroute versterkt bovendien de onderhandelingspositie van de overheid. Wanneer het elektriciteitssysteem volledig afhankelijk wordt van het slagen van één project, ontstaat grote druk om bij kostenstijgingen en vertraging steeds opnieuw extra middelen beschikbaar te stellen.

4.12 Onzekerheid rechtvaardigt voorbereiding, maar nog geen onomkeerbaarheid

De internationale inzichten leiden niet tot de conclusie dat Nederland met alle besluiten moet wachten totdat volledige zekerheid bestaat. Die zekerheid zal niet komen. Ook niets doen is een keuze en kan ertoe leiden dat kennis, locaties, netaansluitingen en bestaande capaciteit verloren gaan.

De passende reactie is een onderscheid tussen maatregelen die nu nodig en relatief corrigeerbaar zijn en maatregelen die Nederland langdurig vastleggen. Het behouden van bruikbare bestaande centrales, het onderzoeken van locaties, het versterken van kennis, het voorbereiden van wetgeving en het volgen van internationale reactorprojecten kunnen rationele voorbereidende stappen zijn.

Een definitief investeringsbesluit voor een grote kerncentrale behoort tot een andere categorie. Daarmee worden zeer grote financiële verplichtingen aangegaan en ontstaat een project dat door zijn omvang en duur steeds moeilijker kan worden beëindigd.

De bewijslast moet daarom toenemen naarmate het besluit minder corrigeerbaar wordt. Voor een verkennend onderzoek is het voldoende dat kernenergie een serieuze mogelijkheid is. Voor locatievoorbereiding moet aannemelijk zijn dat een locatie werkelijk kansrijk is. Voor

een definitief investeringsbesluit moet overtuigend zijn aangetoond dat behoefte, restvraag, netaansluiting, kosten, planning, organisatie en terugvalroute voldoende op orde zijn.

4.13 Betekenis voor de Nederlandse keuze

Toegepast op de Nederlandse situatie ontstaat een gefaseerde en adaptieve koers. Kernenergie blijft als mogelijkheid in beeld en de daarvoor noodzakelijke kennis en informatie worden verder ontwikkeld. Tegelijkertijd wordt voorkomen dat bestaande flexibele capaciteit en waardevolle productielocaties verdwijnen voordat duidelijk is welke structurele behoefte ontstaat.

De ontwikkeling van vraag, restvraag, industrie, duurzame productie, opslag en netcapaciteit wordt systematisch gevolgd. Ook de werkelijke prestaties van internationale kerncentrales en SMR-projecten worden betrokken bij nieuwe ramingen. Op vooraf bepaalde momenten wordt beoordeeld of de voorwaarden voor een volgende stap zijn vervuld.

Deze aanpak is niet tegen kernenergie gericht. Zij biedt kernenergie juist de mogelijkheid om op basis van aantoonbare prestaties en een werkelijke systeembehoefte als robuuste keuze naar voren te komen.

Wanneer de minimale restvraag structureel hoog blijkt, locaties en netaansluitingen beschikbaar zijn en internationale projecten aantonen dat kosten en bouwtijd beter beheersbaar worden, kan een definitief investeringsbesluit sterker worden onderbouwd dan nu mogelijk is.

Wanneer die omstandigheden niet ontstaan, heeft Nederland intussen geen jaren verloren. Bestaande centrales, flexibele nieuwbouw, opslag en duurzame productie hebben de leveringszekerheid ondersteund en de keuzemogelijkheden opengehouden.

De internationale hoofdregel kan daarmee eenvoudig worden samengevat:

Bij grote onzekerheid moet niet worden gezocht naar de oplossing die alleen in de verwachte toekomst optimaal is, maar naar een strategie die in meerdere mogelijke toekomsten voldoende blijft functioneren en tijdig kan worden aangepast.

Voor Nederland betekent dit dat de mogelijkheid van kernenergie kan worden voorbereid, maar dat het definitieve investeringsbesluit pas volgt wanneer de voorwaarden overtuigend zijn aangetoond. Tot dat moment heeft het behouden van manoeuvreerruimte een zelfstandige economische en bestuurlijke waarde.

Bronverantwoording

[1] De Wereldbank beschrijft besluitvorming onder diepe onzekerheid als een benadering waarbij plannen niet uitsluitend op één voorspelling worden gebaseerd, maar in uiteenlopende mogelijke toekomsten worden getest om kwetsbaarheden en robuuste handelwijzen te vinden. (Open Knowledge Repository)

[2] De Britse *Green Book 2026* verlangt een brede ontwikkeling en vergelijking van opties, met de bestaande situatie als referentie. De richtlijn schrijft daarnaast expliciete correcties

voor optimisme voor: kosten en projectduur moeten naar boven en baten naar beneden worden bijgesteld. De aanvullende richtlijn adviseert hiervoor gegevens van eerdere of vergelijkbare projecten te gebruiken.

[3] De IAEA noemt in haar recente leidraad voor nucleaire haalbaarheidsstudies onder meer investeringskosten, bouwtijd, vraag, marktprijs, rente en benuttingsgraad als noodzakelijke gevoeligheden. Zij beschrijft ook omslagwaarden, probabilistische risicoanalyse en scenarioanalyse. (www-pub.iaea.org)

[4] De door Deltares en de TU Delft ontwikkelde DAPP-benadering werkt met plausibele toekomsten, adaptieve routes, monitoring en kantelpunten waarop een bestaande maatregel niet langer aan de doelstelling voldoet. Zij combineert maatregelen voor de nabije toekomst met het openhouden van latere opties. (Deltares)

[5] De IAEA Milestones-benadering onderscheidt drie afzonderlijke mijlpalen: een bewuste nationale verbintenis, gereedheid om offertes en contracten te beoordelen en gereedheid om de centrale te exploiteren. Voor een eerste grote kerncentrale noemt zij voor de ontwikkeling van het programma en de noodzakelijke infrastructuur een ervaringsperiode van ten minste tien tot vijftien jaar. (www-pub.iaea.org)

[6] De OECD Nuclear Energy Agency behandelt de bouwfase als een aanzienlijk risicovollere fase dan de exploitatie, benadrukt dat risicoverdeling vóór de bouw helder moet zijn en adviseert onafhankelijk projecttoezicht zonder eigen financieel belang bij de uitkomst. (Nuclear Energy Agency (NEA))

5. Wat Nederland van eerdere verwachtingen kan leren

5.1 Verwachtingen zijn nodig, maar zijn nog geen werkelijkheid

De energietransitie kan niet worden vormgegeven zonder verwachtingen over de toekomst. Windparken, elektriciteitsnetten, opslaginstallaties, elektrolysers en centrales hebben allemaal een lange voorbereidingstijd. Overheid en bedrijven moeten daarom besluiten nemen voordat precies bekend is hoe groot de toekomstige vraag zal zijn en welke techniek uiteindelijk het beste zal presteren.

Dat maakt verwachtingen onvermijdelijk. Het maakt ze echter nog niet tot feiten.

De afgelopen jaren laten zien dat technisch overtuigende ontwikkelingen economisch en organisatorisch anders kunnen verlopen dan aanvankelijk werd voorzien. Dat geldt voor de verwachte sterke groei van de elektriciteitsvraag, voor goedkope overschotstroom, voor elektrolyse, voor de ontwikkeling van een waterstofmarkt en voor de snelheid waarmee de energie-intensieve industrie zou verduurzamen.

De les is niet dat toekomstverwachtingen waardeloos zijn. De les is dat een investeringsbesluit niet uitsluitend mag rusten op een reeks ontwikkelingen die elk afzonderlijk plausibel zijn, maar die allemaal gelijktijdig en op tijd moeten plaatsvinden om het project te laten slagen.

Juist bij een zeer grote en moeilijk corrigeerbare investering moet onderscheid worden gemaakt tussen wat technisch mogelijk is, wat beleidsmatig wordt nagestreefd, wat economisch verantwoord is en wat inmiddels feitelijk wordt gerealiseerd.

5.2 Het aantrekkelijke verhaal van goedkope overschotstroom

Bij de sterke uitbreiding van wind- en zonne-energie ontstond een aantrekkelijk toekomstbeeld. Tijdens zonnige en winderige uren zou zoveel elektriciteit worden geproduceerd dat de marktprijs zeer laag of zelfs negatief werd. Elektrolysers konden juist tijdens die goedkope uren worden ingeschakeld en daarmee voordelig waterstof produceren.

Die waterstof zou vervolgens aardgas en fossiele waterstof vervangen in raffinaderijen, chemische bedrijven en staalproductie. Daarnaast kon zij worden gebruikt als brandstof voor vervoer, scheepvaart en regelbare elektriciteitscentrales. Groene ammoniak kon als grondstof, energiedrager en scheepsbrandstof dienen. Overschotten aan duurzame elektriciteit zouden daarmee niet langer een probleem zijn, maar de grondstof vormen voor een nieuwe industrie.

De technische redenering achter dit beeld is begrijpelijk. Een elektrolyser kan elektriciteit omzetten in waterstof en kan in beginsel flexibel worden bedreven. Daarmee kan hij elektriciteit afnemen op momenten waarop wind en zon meer produceren dan andere gebruikers nodig hebben.

De economische werkelijkheid is echter ingewikkelder. Een elektrolyser heeft een grote investering nodig. Wanneer hij slechts gedurende een beperkt aantal zeer goedkope uren per jaar produceert, moet die investering over weinig geproduceerde kilogrammen waterstof

worden terugverdiend. De elektriciteit kan tijdens die uren goedkoop zijn, maar de kapitaalkosten per kilogram worden juist hoog.

Omgekeerd kan de installatie meer bedrijfsuren maken door ook tijdens minder goedkope uren elektriciteit af te nemen. Dan worden de investeringskosten over meer productie verdeeld, maar stijgen de elektriciteitskosten. Tussen beide uitersten bestaat geen automatische uitkomst waarbij zowel de stroom zeer goedkoop als de benutting van de elektrolyser hoog is.

TNO en PBL stellen daarom vast dat flexibel gebruik van goedkope elektriciteitsuren niet wegneemt dat indirecte elektrificatie via waterstof vaak duurder is dan directe elektrificatie of andere vormen van waterstofproductie en import.[1] Ook de internationale ontwikkeling laat zien dat niet alleen de prijs van de elektrolyser bepalend is. De kosten van installatie, aansluiting, infrastructuur, financiering en bedrijfsvoering vormen gezamenlijk de businesscase.[2]

Goedkope stroom gedurende een aantal uren is dus niet hetzelfde als goedkope waterstof gedurende het gehele jaar.

5.3 Een volledige keten moet gelijktijdig tot stand komen

De productie van waterstof is slechts één schakel in een veel langere keten. De elektrolyser vraagt een tijdige en voldoende zware netaansluiting. Er zijn leidingen, compressoren en opslag nodig. Vervolgens moet een industriële gebruiker bereid zijn de waterstof langdurig af te nemen tegen een prijs die zowel voor producent als gebruiker aanvaardbaar is.

Voor ammoniak komen daar een productiefabriek, opslag, overslag, vervoer en aanvullende veiligheidseisen bij. Wanneer ammoniak wordt geïmporteerd, verschuift een deel van de elektriciteitsvraag en industriële productie naar het buitenland. Wanneer zij in Nederland wordt gemaakt, moet voldoende betaalbare elektriciteit beschikbaar zijn en moet de Nederlandse industrie bereid zijn de hogere kosten van een CO_2-arme grondstof te dragen.

De verschillende investeringen zijn wederzijds van elkaar afhankelijk. Een producent bouwt geen grote elektrolyser zonder voldoende zekerheid over afzet en infrastructuur. Een industriële gebruiker past zijn productieproces niet aan zonder voldoende zekerheid over prijs en beschikbaarheid van waterstof. Een netbeheerder en leidingbeheerder kunnen grote infrastructuurinvesteringen moeilijk rechtvaardigen wanneer onduidelijk is hoeveel producenten en afnemers zich werkelijk verbinden.

Daardoor kan een keten ontstaan waarin iedere partij op een andere partij wacht. Subsidies, garanties en verplichtingen kunnen deze impasse gedeeltelijk doorbreken, maar zij nemen de onderliggende kosten en risico’s niet weg. Zij bepalen vooral wie die kosten en risico’s draagt.

De Internationale Energieorganisatie constateerde in 2025 dat de verwachte productie uit aangekondigde projecten voor waterstof met lage uitstoot opnieuw naar beneden was bijgesteld. Ongeveer de helft van de aangekondigde projecten kende inmiddels een latere beoogde startdatum dan aanvankelijk door de ontwikkelaars was gemeld.[3]

Dat betekent niet dat een waterstofeconomie niet tot ontwikkeling kan komen. Het betekent wel dat beleidsvoornemens, aangekondigde vermogens en vroege projectplannen niet als zekere toekomstige elektriciteitsvraag mogen worden opgenomen.

5.4 De elektriciteitsvraag is minder snel gegroeid dan verwacht

De verwachte sterke groei van het Nederlandse elektriciteitsverbruik is tot nu toe niet zichtbaar geworden. Tussen 1990 en 2008 nam het verbruik vrijwel voortdurend toe en bereikte het ongeveer 123 TWh. Sinds 2008 schommelt het totale elektriciteitsverbruik rond 120 TWh per jaar. In 2023 bedroeg het ongeveer 116 TWh.[4]

Dat is opmerkelijk, omdat bevolking en economie in dezelfde periode zijn gegroeid en nieuwe elektriciteitstoepassingen zijn ontstaan. Efficiëntere apparaten, energiebesparing, veranderingen in de economische structuur en een lagere industriële productie hebben een deel van de nieuwe vraag gecompenseerd.

De toekomstige vraag kan alsnog sterk toenemen. Elektrisch vervoer, warmtepompen, datacenters, industriële elektrificatie en elektrolyse kunnen gezamenlijk een grote aanvullende vraag veroorzaken. De historische ontwikkeling laat echter zien dat een verwachte groei niet automatisch en niet noodzakelijk op het verwachte tijdstip wordt gerealiseerd.

Daarom kan een scenario met een verdubbeling of verdrievoudiging van de elektriciteitsvraag nuttig zijn als onderzoek scenario, maar niet zonder meer als rechtvaardiging voor een concreet investeringsbesluit.

Voor een centrale is bovendien niet alleen de jaarvraag relevant. Een stijging van het totale verbruik zegt nog niet hoe de vraag over het jaar wordt verdeeld. Evenmin zegt zij hoeveel elektriciteit wind en zon op dezelfde uren produceren. De ruimte voor andere centrales wordt bepaald door de restvraag per uur en niet door het jaartotaal alleen.

5.5 De groei van duurzame productie verandert het gebruiksprofiel

Terwijl het totale elektriciteitsverbruik betrekkelijk stabiel bleef, nam de productie uit wind en zon sterk toe. In 2024 werd ongeveer 60 TWh elektriciteit geproduceerd uit hernieuwbare bronnen. Dat kwam overeen met ongeveer de helft van het totale Nederlandse elektriciteitsverbruik.[5]

Dit betekent niet dat Nederland gedurende de helft van ieder uur volledig door duurzame elektriciteit werd voorzien. De productie varieert sterk. Tijdens sommige uren is de bijdrage veel hoger en tijdens andere uren veel lager.

Voor andere centrales is juist deze variatie bepalend. Naarmate wind en zon groeien, ontstaan vaker uren met weinig ruimte voor aanvullende productie en blijven tegelijk perioden bestaan waarin veel regelbaar vermogen nodig is. Daardoor kan de gemiddelde restvraag afnemen of veranderen, terwijl de maximale behoefte tijdens een windstille periode hoog blijft.

Het systeem heeft dan niet noodzakelijk minder centrales nodig, maar kan wel andere centrales nodig hebben. De waarde verschuift van langdurige continue productie naar

beschikbaarheid, flexibiliteit, snel starten, stoppen en het overbruggen van langdurige tekorten.

Deze ontwikkeling maakt het extra belangrijk om toekomstige capaciteit niet uitsluitend op basis van jaarenergie te beoordelen. Een centrale die jaarlijks veel elektriciteit kan produceren, kan toch slecht aansluiten wanneer die productie juist beschikbaar komt op uren waarop al voldoende andere CO_2-arme elektriciteit wordt aangeboden.

5.6 De veronderstelde industriële afzet is onzeker

Een belangrijk deel van de toekomstige groei van de elektriciteitsvraag wordt toegeschreven aan de energie-intensieve industrie. Raffinaderijen, chemische bedrijven, staalproducenten en andere grote gebruikers zouden hun processen elektrificeren en grote hoeveelheden waterstof gaan afnemen.

Juist de positie van deze industrie is echter onzeker. De Nederlandse chemische productie lag in november 2024 bijna 21 procent lager dan in januari 2022. Het bruto exploitatieoverschot van de chemische industrie lag in 2023 bijna twee derde lager dan in 2021.[6] In 2025 gaf bovendien een groter deel van de industriële bedrijven aan niet in verduurzaming te investeren dan een jaar eerder.[7]

Daaruit volgt niet dat de gehele energie-intensieve industrie uit Nederland verdwijnt. Nederland beschikt over havens, leidingen, kennis, afnemers en industriële clusters die een belangrijke vestigingswaarde hebben. Wel is duidelijk dat productie, verduurzaming en nieuwe investeringen niet als vanzelfsprekend mogen worden beschouwd.

Hier ontstaat een moeilijke wisselwerking. Nieuwe energie-infrastructuur wordt mede gerechtvaardigd met de veronderstelde toekomstige vraag van de industrie. De industrie zal zich echter alleen voor lange tijd aan Nederland verbinden wanneer energie, netcapaciteit, grondstoffen en infrastructuur tijdig en tegen concurrerende voorwaarden beschikbaar zijn.

Wanneer de overheid de industriële vraag volledig als gegeven aanneemt, kan zij te veel infrastructuur en productiecapaciteit bouwen. Wanneer zij wacht tot alle industriële contracten definitief zijn, kan de benodigde infrastructuur te laat komen. Dit probleem vraagt om gefaseerde investeringen en echte verbintenissen van marktpartijen, niet om het vooraf optellen van alle aangekondigde plannen.

Voor een kerncentrale met een mogelijke levensduur van zestig jaar is deze vraag bijzonder scherp. De centrale kan niet worden onderbouwd met alleen de verwachting dat industrie zal elektrificeren. Er moet worden onderzocht welke vraag werkelijk langdurig, locatie gebonden en voldoende zeker is.

5.7 Aangekondigde projecten zijn geen gegarandeerde bedrijfsuren

Bij de planning van een toekomstig energiesysteem worden afzonderlijke ambities gemakkelijk bij elkaar opgeteld. De verwachte groei van industrie, datacenters, warmtepompen, elektrisch vervoer en elektrolysers vormt dan gezamenlijk een zeer grote toekomstige elektriciteitsvraag.

Niet alle aangekondigde projecten bereiken echter een definitief investeringsbesluit. Andere projecten worden kleiner, later uitgevoerd of geheel beëindigd. Ook kunnen verschillende plannen dezelfde schaarse netcapaciteit, subsidiemiddelen, arbeidskrachten, ruimte of duurzame elektriciteit veronderstellen.

Het is daarom riskant om aangekondigde projecten rechtstreeks te vertalen in gegarandeerde afzet voor nieuwe productiecapaciteit. Er moet onderscheid worden gemaakt tussen een beleidsambitie, een project in onderzoek, een subsidieaanvraag, een voorlopig contract, een definitief investeringsbesluit en een werkelijk in bedrijf genomen installatie.

Voor een investeringsbesluit in kernenergie zijn vooral de laatste categorieën van belang. Een centrale kan niet voor zestig jaar worden gefinancierd op basis van elektriciteitsvraag die nog afhankelijk is van andere projecten die zelf geen definitief investeringsbesluit hebben genomen.

5.8 Ook bij kernenergie verschillen verwachting en realisatie

Dezelfde les geldt voor de bouw van nieuwe kerncentrales. De technische prestaties van een eenmaal voltooide kerncentrale kunnen goed zijn, terwijl de realisatie van het project veel duurder en langduriger verloopt dan aanvankelijk werd verwacht.

Olkiluoto 3 in Finland produceert sinds 2023 grote hoeveelheden CO_2-arme elektriciteit en vormt inmiddels een belangrijk onderdeel van de Finse elektriciteitsvoorziening. Daarmee is de centrale technisch en operationeel van grote waarde. De bouw begon echter in 2005 en de commerciële productie startte pas op 1 mei 2023. De OECD Nuclear Energy Agency beschrijft het project als veertien jaar later dan gepland en aanzienlijk duurder dan de oorspronkelijke raming.[8]

Flamanville 3 in Frankrijk laat een vergelijkbaar verschil tussen oorspronkelijke verwachting en realisatie zien. De Franse Rekenkamer schatte de totale bouwkosten, inclusief rente tijdens de bouw, op ongeveer €23,7 miljard in prijzen van 2023.[9]

Ook Hinkley Point C in het Verenigd Koninkrijk is tijdens de bouw herhaaldelijk duurder geworden en vertraagd. EDF meldde in februari 2026 dat de geplande start van productie door de eerste eenheid was verschoven naar 2030 en dat de geraamde voltooiingskosten waren opgelopen tot £35 miljard in prijzen van 2015.[10]

Deze voorbeelden bewijzen niet dat iedere volgende kerncentrale noodzakelijk hetzelfde verloop zal kennen. Er kan worden geleerd van eerdere ontwerpen, contracten en bouwprojecten. Standaardisatie, herhaling, een stabiele toeleveringsketen en een ervaren opdrachtgever kunnen de uitvoering verbeteren.

De voorbeelden bewijzen wel dat kosten- en planningsrisico’s materieel zijn. Zij mogen niet als een theoretische opslag aan het einde van de berekening worden behandeld. Zij behoren tot de kern van de besluitvorming.

5.9 Een succesvolle oplevering wist de tussenliggende risico's niet uit

Nadat een vertraagde centrale eenmaal in bedrijf is, verschuift begrijpelijkerwijs de aandacht naar de grote hoeveelheid elektriciteit die zij produceert. De bouwproblemen liggen dan in het verleden en de installatie kan nog tientallen jaren waarde leveren.

Voor de oorspronkelijke investeringsbeslissing blijven de vertraging en kostenoverschrijding echter relevant. Gedurende de extra bouwjaren moest andere productie beschikbaar blijven. De financieringskosten liepen door, terwijl nog geen inkomsten werden ontvangen. Het elektriciteitssysteem en de markt veranderden intussen verder.

Een project kan daarom na oplevering technisch succesvol en maatschappelijk waardevol zijn, terwijl het oorspronkelijke besluit financieel of projectmatig veel risicovoller bleek dan voorzien. Deze twee beoordelingen mogen niet met elkaar worden verward.

Voor Nederland betekent dit dat niet alleen moet worden gevraagd of een voltooide kerncentrale nuttig kan zijn. Ook moet worden onderzocht wat de gevolgen zijn wanneer de centrale vijf of tien jaar later beschikbaar komt en veel meer publiek kapitaal vraagt dan bij het investeringsbesluit werd aangenomen.

Een geloofwaardig alternatief voor die tussenliggende periode is daarom geen los noodplan. Het is een noodzakelijk onderdeel van de oorspronkelijke keuze.

5.10 De overeenkomst tussen de verschillende ervaringen

De ervaringen met elektrolyse, waterstof, industriële elektrificatie en nucleaire nieuwbouw verschillen technisch sterk van elkaar. Toch bevatten zij dezelfde bestuurlijke les.

In alle gevallen begon de redenering met een begrijpelijk technisch voordeel. Goedkope overschotstroom kon worden omgezet in waterstof. Industrie kon met die waterstof verduurzamen. Een grote kerncentrale kon langdurig CO_2-arme en weersonafhankelijke elektriciteit leveren.

Vervolgens bleek dat de economische uitkomst afhing van veel meer voorwaarden. De installatie moest voldoende bedrijfsuren maken. Infrastructuur moest tijdig beschikbaar zijn. Afnemers moesten zich daadwerkelijk verbinden. Kosten en rente moesten binnen grenzen blijven. Vergunningen, netaansluiting en personeel moesten op tijd beschikbaar zijn. Verschillende investeringen moesten gelijktijdig tot stand komen.

Wanneer één van deze voorwaarden later of anders wordt gerealiseerd, verandert de gehele businesscase. Wanneer meerdere voorwaarden tegelijk tegenvallen, kan een aantrekkelijk toekomstbeeld omslaan in een langdurig en kostbaar probleem.

De fout ligt daarom niet in het ontwikkelen van een visie. De fout ontstaat wanneer een visie zonder voldoende tussentijdse toetsing wordt omgezet in een onomkeerbare verplichting.

5.11 De waarde van tijd

Deze ervaringen maken duidelijk waarom tijd in de huidige situatie waarde heeft. Met het verstrijken van de jaren wordt beter zichtbaar hoe de elektriciteitsvraag zich werkelijk ontwikkelt, hoeveel industrie in Nederland blijft investeren, hoeveel elektrolysers daadwerkelijk worden gebouwd en welke rol opslag en vraagsturing kunnen spelen.

Ook ontstaat meer ervaring met nieuwe kerncentrales, SMR's, waterstofketens en grootschalige opslag. Kostenramingen kunnen daardoor sterker worden gebaseerd op gerealiseerde projecten in plaats van op verwachtingen van ontwikkelaars en leveranciers.

Tijd heeft echter alleen waarde wanneer zij actief wordt benut. Bestaande centrales moeten tijdig worden geïnspecteerd wanneer hun levensduur mogelijk wordt verlengd. Waardevolle locaties en netaansluitingen mogen niet onnodig verloren gaan. Nieuwe technieken moeten worden gevolgd en waar zinvol op kleinere schaal worden beproefd. Vraag, restvraag, bedrijfsuren en industriële investeringen moeten systematisch worden gemonitord.

Daarmee wordt voorkomen dat uitstel leidt tot onvoldoende voorbereidheid zijn. Tegelijkertijd wordt vermeden dat voorbereiding ongemerkt verandert in een definitieve verplichting voordat de noodzakelijke omstandigheden zijn aangetoond.

5.12 De les voor kernenergie

De ervaringen van de afgelopen jaren vormen geen bewijs tegen kernenergie. Zij rechtvaardigen evenmin de conclusie dat nieuwe technieken of grote projecten altijd tegenvallen.

Zij laten wel zien dat Nederland een kerncentrale niet moet bestellen op basis van dezelfde soort opeenstapeling van optimistische verwachtingen die eerder bij andere onderdelen van de energietransitie zichtbaar was.

Een verantwoord besluit moet bestand zijn tegen een lagere vraaggroei, tragere industriële elektrificatie, een sterke groei van wind en zon, minder bedrijfsuren, hogere bouwkosten en een latere oplevering. Het moet ook duidelijk maken welke alternatieven beschikbaar zijn wanneer één of meer van deze ontwikkelingen zich voordoen.

De les is:

Een aannemelijke toekomstige behoefte is nog geen bewezen afzet. Een technisch aantrekkelijke oplossing is nog geen financieel verantwoord project. En een gewenste opleverdatum is nog geen betrouwbare planning.

Deze les vraagt niet om stilstand, maar om een beheerste volgorde. Eerst wordt vastgesteld welk probleem zich werkelijk ontwikkelt. Daarna worden de alternatieven en hun voorwaarden onderzocht. Vervolgens worden maatregelen genomen die de leveringszekerheid behouden en toekomstige keuzes openhouden. Pas wanneer de behoefte en de uitvoerbaarheid voldoende zijn aangetoond, volgt een moeilijk omkeerbaar lange termijn besluit.

Bronverantwoording

[1] TNO en PBL stellen dat elektrolyse weliswaar flexibel van goedkope uren gebruik kan maken, maar dat indirecte elektrificatie hierdoor niet vanzelf goedkoper wordt dan directe elektrificatie of alternatieve waterstofroutes. (Planbureau voor de Leefomgeving)

[2] De IEA rapporteerde voor 2024 grote verschillen in de kosten van elektrolysers, maar benadrukte dat de apparatuur slechts een deel vormt van de totale investering die nodig is om een elektrolyseproject te realiseren. (IEA)

[3] Volgens de *Global Hydrogen Review 2025* is de potentiële productie uit aangekondigde projecten naar beneden bijgesteld en loopt ongeveer de helft van de projecten achter op de eerder aangekondigde startdatum. (IEA)

[4] Het Compendium voor de Leefomgeving, op basis van CBS-cijfers, vermeldt dat het elektriciteitsverbruik steeg tot 123 TWh in 2008 en sindsdien rond 120 TWh schommelt; in 2023 bedroeg het 116 TWh. (Compendium voor de Leefomgeving)

[5] Volgens het CBS werd in 2024 ongeveer 60 TWh hernieuwbare elektriciteit geproduceerd, overeenkomend met circa 50 procent van het Nederlandse elektriciteitsverbruik. (Centraal Bureau voor de Statistiek)

[6] Het CBS rapporteerde dat de chemische productie in november 2024 bijna 21 procent lager lag dan in januari 2022 en dat het bruto exploitatieoverschot van de chemie in 2023 bijna twee derde lager was dan in 2021. (Centraal Bureau voor de Statistiek)

[7] In februari 2025 gaf 30 procent van de industriële bedrijven aan dat jaar niet in verduurzaming te investeren, tegen 25 procent een jaar eerder. (Centraal Bureau voor de Statistiek)

[8] Olkiluoto 3 — Finland
TVO bevestigt dat Olkiluoto 3 op 1 mei 2023 commercieel in bedrijf kwam. De OECD Nuclear Energy Agency beschrijft het project als veertien jaar vertraagd en circa €8 miljard duurder dan oorspronkelijk geraamd. Olkiluoto 3 is één EPR-eenheid met een netto elektrisch vermogen van ongeveer 1.600 MWe en een thermisch reactorvermogen van 4.300 MWth. De bouw begon in 2005. De reguliere elektriciteitsproductie begon in april 2023. Het project kwam daarmee ongeveer veertien jaar later gereed dan oorspronkelijk voorzien en werd aanzienlijk duurder dan de oorspronkelijke raming. (tvo.fi)

[9] Flamanville 3 — Frankrijk
De Franse Rekenkamer raamde de totale bouwkosten van Flamanville 3, inclusief rente tijdens de bouw, op circa €23,7 miljard in prijzen van 2023. Flamanville 3 is één EPR-eenheid met een nominaal elektrisch vermogen van ongeveer 1.650 MWe. Bij het bereiken van het volledige thermische reactorvermogen in december 2025 produceerde de centrale 1.669 MW bruto elektrisch vermogen. De Franse Rekenkamer raamde de totale bouwkosten, inclusief rente tijdens de bouw, op ongeveer €23,7 miljard in prijzen van 2023. (ccomptes.fr)

[10] Hinkley Point C — Verenigd Koninkrijk
EDF meldde op 20 februari 2026 dat de start van Hinkley Point C-eenheid 1 was aangepast

naar 2030 en dat de geraamde voltooiingskosten £35 miljard bedragen in prijzen van 2015. Hinkley Point C bestaat uit twee EPR-eenheden met gezamenlijk een gepland elektrisch vermogen van 3.260 MWe, ofwel ongeveer 1.630 MWe per eenheid. EDF meldde in februari 2026 dat de verwachte ingebruikname van de eerste eenheid was verschoven naar 2030 en dat de geraamde voltooiingskosten waren gestegen tot £35 miljard in prijzen van 2015. (edf.fr)

6. Eerst vaststellen wat het elektriciteitssysteem nodig heeft

6.1 Het probleem is niet een tekort aan een bepaalde techniek

Na de bespreking van de argumenten vóór kernenergie, de onzekerheden daarachter en de ervaringen met eerdere verwachtingen, moet worden teruggekeerd naar de basis. Welk probleem moet de toekomstige elektriciteitsvoorziening eigenlijk oplossen?

Het antwoord kan niet eenvoudig luiden dat Nederland meer kerncentrales, meer windturbines, meer opslag of meer gascentrales nodig heeft. Dat zijn mogelijke oplossingen. De behoefte van het systeem moet eerst in technische en maatschappelijke functies worden uitgedrukt.

Nederland moet op ieder moment voldoende elektriciteit kunnen leveren. De productie moet de vraag volgen, ook wanneer de vraag onverwacht stijgt, een centrale uitvalt, een verbinding niet beschikbaar is of wind en zon gedurende langere tijd weinig produceren. Tegelijkertijd moet de productie kunnen afnemen wanneer duurzame bronnen veel elektriciteit leveren. Het systeem moet stabiel blijven, het net mag niet overbelast raken en de kosten en uitstoot moeten binnen aanvaardbare grenzen blijven.

Daarmee bestaat de opgave niet alleen uit het produceren van een bepaalde hoeveelheid elektriciteit per jaar. De opgave is vooral om op ieder afzonderlijk moment over de juiste hoeveelheid en het juiste soort vermogen te beschikken.

Een elektriciteitssysteem kan op jaarbasis voldoende energie produceren en toch tijdens enkele uren of dagen ernstig tekortschieten. Omgekeerd kan er voldoende productievermogen staan, terwijl een deel daarvan gedurende veel uren niet nodig is. De keuze van nieuwe installaties moet daarom niet uitsluitend worden gebaseerd op jaarlijkse hoeveelheden in TWh of op opgesteld vermogen in MW. Ook het tijdstip, de duur, de voorspelbaarheid en de snelheid waarmee de behoefte verandert, zijn bepalend.

6.2 Energie en vermogen zijn verschillende vraagstukken

In het publieke debat worden energie en vermogen vaak door elkaar gebruikt. Een windpark, kerncentrale of opslaginstallatie wordt dan beoordeeld aan de hand van het jaarlijkse aantal geproduceerde TWhe. Voor de leveringszekerheid is echter ook het vermogen van belang dat op een bepaald moment beschikbaar is.

Een installatie kan over een jaar veel elektriciteit leveren, maar op het kritieke moment niet beschikbaar zijn. Wind- en zonne-energie kunnen jaarlijks een groot aandeel van het verbruik dekken, maar hun productie is afhankelijk van het weer. Een batterij kan zeer snel een groot vermogen leveren, maar is na een beperkt aantal uren leeg. Een kerncentrale kan langdurig veel energie produceren, maar is minder geschikt wanneer vooral kortdurend, snel veranderend of slechts incidenteel vermogen nodig is.

De eerste vraag is daarom hoeveel elektriciteit jaarlijks nodig is. De tweede en minstens zo belangrijke vraag is welk vermogen op ieder uur beschikbaar moet zijn. De derde vraag betreft de duur: moet dat vermogen enkele seconden, enkele uren, meerdere dagen of een aantal weken kunnen worden geleverd?

Deze verschillende behoeften kunnen niet noodzakelijk door één techniek worden vervuld. Een batterij kan zeer geschikt zijn voor snelle correcties en het verschuiven van energie over enkele uren. Een STEG kan gedurende langere perioden produceren en tegelijk snel op- en afregelen. Een kerncentrale kan langdurig veel elektriciteit leveren wanneer daar voldoende constante afzet voor bestaat.

De keuze moet dus aansluiten bij de duur en het patroon van de behoefte. Anders dreigt een technisch hoogwaardige installatie te worden ingezet voor een functie waarvoor zij economisch of operationeel niet goed geschikt is.

6.3 De vraag die na wind en zon overblijft

Naarmate wind- en zonne-energie een groter aandeel van de productie leveren, wordt de totale elektriciteitsvraag een steeds minder geschikte maatstaf voor de behoefte aan andere centrales. Beslissend wordt de vraag die overblijft nadat de productie uit weersafhankelijke bronnen en andere niet-regelbare bronnen is verwerkt. Deze resterende vraag wordt in deze studie aangeduid als de restvraag.

De restvraag verandert van uur tot uur. Tijdens donkere en windstille perioden kan zij zeer hoog zijn. Tijdens zonnige en winderige uren kan zij sterk dalen of zelfs negatief worden. In dat laatste geval is meer elektriciteit beschikbaar dan op dat moment kan worden gebruikt, geëxporteerd of opgeslagen.

Een centrale die naast wind en zon wordt gebouwd, moet op dit patroon passen. Wanneer gedurende vrijwel het gehele jaar een hoge restvraag bestaat, is langdurige productie op hoog vermogen waardevol. Wanneer de restvraag vaak sterk daalt, neemt juist de behoefte toe aan installaties die kunnen terugregelen of stoppen.

Daarom kan uit een stijging van het totale jaarlijkse elektriciteitsverbruik niet zonder meer worden afgeleid dat meer basislast nodig is. Wanneer tegelijk ook wind en zon sterk groeien, kan de gemiddelde restvraag stijgen terwijl de minimale restvraag laag blijft. Er kan dan veel elektriciteit nodig zijn tijdens tekortperioden, maar weinig ruimte bestaan voor voortdurende productie.

Voor een grote kerncentrale is vooral deze minimale restvraag belangrijk. De centrale heeft hoge vaste kosten en verdient haar investering in beginsel terug door veel uren te produceren. Wanneer de restvraag gedurende duizenden uren te laag is, ontstaat druk om de productie te verminderen, elektriciteit tegen zeer lage prijzen te verkopen of andere CO_2-arme productie af te regelen.

De omvang en duur van de restvraag vormen daarom de verbinding tussen de toekomstige vraagontwikkeling en de technische keuze.

6.4 Basislast is geen zelfstandig beleidsdoel

Basislast wordt vaak voorgesteld als een vaste behoefte die in ieder elektriciteitssysteem aanwezig is. Oorspronkelijk werd daarmee het deel van de vraag bedoeld dat gedurende vrijwel het gehele jaar aanwezig bleef. Grote centrales met lage variabele kosten en hoge vaste kosten konden dat deel economisch leveren door langdurig op een betrekkelijk constant vermogen te produceren.

In een systeem met veel wind en zon verandert de betekenis van basislast. De elektriciteitsvraag kan nog steeds een stabiele ondergrens hebben, maar de productie uit duurzame bronnen vult een deel daarvan op wisselende momenten in. Daardoor kan de restvraag veel sterker variëren dan de oorspronkelijke vraag.

Basislast is daarom geen hoeveelheid die vooraf aan een bepaalde techniek kan worden toegewezen. Zij moet uit de chronologische ontwikkeling van de restvraag blijken. Pas wanneer gedurende vele jaren en in verschillende weersomstandigheden een voldoende hoge ondergrens resteert, kan worden gesproken van een structurele behoefte aan nieuwe basislastcapaciteit.

Een centrale bouwen omdat basislast in algemene zin belangrijk wordt gevonden, keert de volgorde om. Eerst moet worden aangetoond dat de behoefte bestaat. Daarna kan worden onderzocht welke techniek deze behoefte het beste kan vervullen.

Dit onderscheid is van bijzonder belang voor kernenergie. Een kerncentrale kan technisch vermogen variëren, maar haar economische logica berust op veel bedrijfsuren. Wanneer de werkelijke behoefte vooral bestaat uit wisselende middenlast, reserve en productie tijdens incidentele tekortperioden, is de aanwezigheid van een baseloadtechniek nog geen passend antwoord.

6.5 Middenlast wordt waarschijnlijk belangrijker

Tussen continue basislast en incidenteel piekvermogen bevindt zich middenlast. Middenlast wordt geleverd door installaties die gedurende een belangrijk deel van het jaar produceren, maar ook regelmatig terugregelen, stoppen en opnieuw starten.

In een elektriciteitssysteem met veel wind en zon kan juist deze functie belangrijk worden. Tijdens perioden met weinig duurzame productie kunnen dergelijke centrales dagen of weken achtereen veel elektriciteit leveren. Wanneer wind en zon terugkeren, moeten zij hun productie verminderen of geheel stoppen.

Dit bedrijfsregime vraagt andere eigenschappen dan klassieke basislast. De centrale moet niet alleen efficiënt zijn bij langdurige productie, maar ook bestand zijn tegen wisselende belasting, regelmatige starts en stilstanden en een onzekerder aantal bedrijfsuren.

Een stijgende elektriciteitsvraag kan de behoefte aan middenlast vergroten. Dat betekent echter niet automatisch dat deze middenlast geleidelijk in basislast verandert. Wanneer de groei van wind en zon eveneens sterk is, blijft de variatie bestaan en kan zij zelfs toenemen.

De moderne STEG is technisch goed geschikt voor dit soort bedrijf. Een moderne koleneenheid op een andere brandstof kan eveneens langere productieperioden en een deel van de middenlast verzorgen, al is zij minder snel en flexibel. Voor een grote kerncentrale en een SMR moet nog worden aangetoond dat het Nederlandse midden last regime met veel terugregelen, stoppen, herstarten en mogelijk beperkte bedrijfsuren technisch én economisch passend is.

6.6 Piekvermogen en reserve hebben waarde, ook wanneer zij weinig produceren

Een deel van het productievermogen wordt slechts gedurende een beperkt aantal uren gebruikt. Dat kan economisch inefficiënt lijken, omdat een installatie weinig elektriciteit verkoopt. Voor de betrouwbaarheid van het systeem kan deze capaciteit echter onmisbaar zijn.

Piekvermogen is nodig wanneer de vraag hoog is en andere productie onvoldoende beschikbaar is. Reservevermogen is nodig voor onverwachte gebeurtenissen, zoals de uitval van een centrale, een storing in het net of een sterk afwijkende weersontwikkeling.

De waarde van deze installaties ligt daarom niet alleen in de geproduceerde elektriciteit. Ook hun beschikbaarheid heeft waarde. Zij functioneren als verzekering tegen gebeurtenissen die weinig voorkomen, maar grote gevolgen kunnen hebben.

Dit betekent dat de marktprijs van elektriciteit alleen niet altijd voldoende is om dergelijke capaciteit in stand te houden. Een centrale die slechts tijdens enkele kritieke perioden produceert, kan maatschappelijk waardevol zijn maar onvoldoende inkomsten uit de gewone elektriciteitsmarkt ontvangen. Dan kan een capaciteitsvergoeding, strategische reserve of andere vorm van beschikbaarheidscontract nodig zijn.

Deze functie past slecht bij een centrale met zeer hoge vaste kosten die voor haar economische rechtvaardiging veel bedrijfsuren nodig heeft. Zij past beter bij capaciteit die relatief goedkoop kan worden behouden, snel kan starten en gedurende langere tekortperioden voldoende brandstof heeft.

Levensduurverlenging van bestaande STEG’s kan daarom meer waarde hebben dan uit hun verwachte jaarlijkse productie blijkt. Zij houden capaciteit, locaties en netaansluitingen beschikbaar voor omstandigheden waarin andere bronnen tekortschieten.

6.7 Langdurige perioden met weinig wind en zon vormen een afzonderlijk probleem

Niet iedere tekortperiode is hetzelfde. Een kortdurende afwijking kan met batterijen, vraagsturing of snelle reserve worden opgevangen. Een tekort dat meerdere dagen of weken duurt, vraagt om een veel grotere energievoorraad.

Tijdens een langdurige periode met weinig wind en zon is niet alleen veel vermogen nodig, maar ook voldoende energie of brandstof om dat vermogen gedurende de hele periode te blijven leveren. Dit onderscheid is essentieel bij de beoordeling van opslag.

Een batterij met een groot vermogen kan gedurende enkele uren zeer waardevol zijn. Wanneer zij daarna leeg is, biedt zij geen oplossing voor een winterse tekortperiode van één of twee weken. Om zo'n periode met opslag te overbruggen, is een zeer grote energie-inhoud nodig en moeten vooraf voldoende overschotten beschikbaar zijn geweest om de opslag te vullen.

Regelbare centrales hebben bij zulke perioden het voordeel dat hun energievoorraad in brandstof kan worden opgeslagen. Aardgas, biogas, waterstof, ammoniak of een andere energiedrager kan gedurende langere tijd beschikbaar worden gehouden. Daar staan brandstofkosten, omzettingsverliezen, emissies en eisen aan infrastructuur en veiligheid tegenover.

Een kerncentrale kan eveneens langdurig produceren, maar haar bijdrage aan een tekortperiode kan niet los worden gezien van haar productie gedurende de rest van het jaar. Wanneer de centrale uitsluitend wordt gerechtvaardigd door enkele langdurige tekortperioden, maakt zij te weinig bedrijfsuren voor een investering van deze omvang. Zij moet dus ook buiten deze perioden voldoende afzet hebben.

De behoefte tijdens langdurige windstille perioden rechtvaardigt daarom regelbaar vermogen, maar nog niet automatisch basislast.

6.8 Flexibiliteit betreft meer dan starten en stoppen

Flexibiliteit wordt vaak beperkt tot de vraag hoe snel een centrale kan starten of het vermogen kan veranderen. In werkelijkheid omvat flexibiliteit meerdere eigenschappen.

Een installatie moet mogelijk zeer snel reageren op een onverwachte onbalans. Zij kan ook gedurende enkele uren geleidelijk moeten opregelen wanneer de zon ondergaat. Soms moet zij meerdere dagen op hoog vermogen produceren en daarna weer volledig stoppen. Ook de minimale belasting, de tijd tussen stoppen en opnieuw starten, de kosten van een start en de slijtage door wisselende belasting zijn van belang.

Daarnaast bestaat economische flexibiliteit. Een technisch flexibele installatie kan toch ongeschikt zijn wanneer de vaste kosten zo hoog zijn dat terugregelen grote financiële verliezen veroorzaakt. Omgekeerd kan een installatie met een lager rendement economisch bruikbaar zijn wanneer zij weinig kapitaal vraagt en slechts tijdens schaarse uren wordt ingezet.

De flexibiliteit van een techniek moet daarom worden beoordeeld in combinatie met haar kostenstructuur en verwachte bedrijfsuren. Alleen melden dat een centrale technisch kan terugregelen is onvoldoende. De vraag is of zij dit regime gedurende tientallen jaren betrouwbaar en economisch kan volhouden.

6.9 Stabiliteit en systeemdiensten

Het elektriciteitsnet moet niet alleen voldoende energie transporteren. Spanning en frequentie moeten binnen nauwe grenzen blijven en storingen moeten worden opgevangen voordat zij zich over het systeem verspreiden.

Traditionele grote generatoren leveren door hun draaiende massa een natuurlijke bijdrage aan de stabiliteit van het net. Windturbines, zonnepanelen, batterijen en moderne vermogenselektronica kunnen eveneens systeemdiensten leveren, maar doen dit op een andere manier en vragen passende regeltechniek en afspraken.

De behoefte aan systeemdiensten mag niet zonder meer worden gelijkgesteld aan de behoefte aan een bepaald type centrale. Sommige diensten kunnen door bestaande synchrone generatoren worden geleverd. Andere kunnen door batterijen, synchrone compensatoren of regelbare omvormers worden verzorgd.

Ook hier moet eerst de benodigde prestatie worden vastgesteld. Pas daarna kan worden bepaald welke technische combinatie deze prestatie het beste en tegen de laagste totale kosten levert.

Het zou onjuist zijn een zeer grote productie-installatie uitsluitend te rechtvaardigen omdat een veel kleinere voorziening voor netstabiliteit nodig is. Productie, reserve, frequentieregeling, spanningsregeling en draaiende massa moeten afzonderlijk worden beoordeeld, ook wanneer één installatie meerdere functies kan combineren.

6.10 Het grootste productieblok bepaalt mede de reservebehoefte

Een grote centrale voegt veel vermogen toe, maar creëert tegelijk een nieuwe systeemopgave. Wanneer een blok van 1.600 of 1.700 MW onverwacht uitvalt, moet het systeem die uitval onmiddellijk kunnen opvangen.

Hoe groter het grootste afzonderlijke productieblok, hoe groter de reserve en netondersteuning die voor een plotselinge storing beschikbaar moeten zijn. Dat betekent niet dat een grote kerncentrale niet kan worden ingepast. Het betekent wel dat de gevolgen van haar uitval onderdeel zijn van de systeemkosten.

Een park met kleinere eenheden kan dit risico over meer modules verdelen. Bij een SMR-park kan de uitval van één module kleiner zijn dan de uitval van één grote reactor. Wanneer alle modules echter afhankelijk zijn van dezelfde locatie, netaansluiting, koeling of gemeenschappelijke systemen, blijven gezamenlijke storingen mogelijk.

Ook bestaande centrales en internationale verbindingen kunnen uitvallen. De vergelijking moet daarom op gelijke wijze onderzoeken welk vermogen plotseling verloren kan gaan en welke reserve daarvoor nodig is.

De waarde van een grote centrale moet worden verminderd met de kosten en voorzieningen die nodig zijn om haar grootste mogelijke uitval te beheersen.

6.11 Onderhoud en storingen horen bij de behoefteberekening

Geen enkele installatie is voortdurend beschikbaar. Kerncentrales hebben geplande onderhouds- en splijtstofwissels. STEG’s, koleneenheden, windparken, kabels, transformatoren en opslaginstallaties hebben eveneens onderhoud nodig en kunnen onverwacht uitvallen.

Een beoordeling op basis van alleen het nominale vermogen geeft daarom een onvolledig beeld. Van belang is welk vermogen werkelijk beschikbaar is tijdens kritieke perioden en hoeveel gelijktijdige uitval redelijkerwijs moet worden opgevangen.

Onderhoud kan gedeeltelijk buiten perioden met een hoge vraag worden gepland. Naarmate het elektriciteitssysteem ingewikkelder en sterker belast wordt, kan het echter moeilijker worden om voldoende onderhoudsruimte te vinden. Ook netverbindingen en andere ondersteunende infrastructuur moeten soms buiten bedrijf.

De systeembehoefte moet daarom niet worden berekend voor een ideale situatie waarin alle installaties beschikbaar zijn. Zij moet ook worden getoetst bij onderhoud, storingen en ongunstige weersomstandigheden.

Een robuust systeem heeft enige ruimte onder de kiel. Het wordt niet zo krap ontworpen dat één extra storing onmiddellijk tot een tekort leidt.

6.12 De behoefte verandert in de tijd

De functie die Nederland vandaag nodig heeft, hoeft niet dezelfde te zijn als de functie die in 2040 of 2060 nodig is. Op korte termijn groeit vooral de variatie door de snelle uitbreiding van wind en zon. Daardoor bestaat veel behoefte aan flexibiliteit, reserve en het behoud van bestaande regelbare capaciteit.

Op middellange termijn kan elektrificatie tot een hogere vraag leiden. Daardoor kan naast piekvermogen ook meer middenlast ontstaan. Of nieuwe basislast nodig wordt, hangt af van de gelijktijdige ontwikkeling van wind, zon, opslag, industrie en import.

Op zeer lange termijn kan een veel grotere elektriciteitsvraag ontstaan. Zelfs dan is een hoge jaarvraag nog geen zelfstandig bewijs voor een grote basislastbehoefte. Wanneer duurzame productie eveneens sterk groeit, kan de restvraag variabel blijven en kunnen veel uren met weinig afzetruimte blijven bestaan.

Een investering moet daarom worden beoordeeld op het moment waarop zij werkelijk beschikbaar komt. Een kerncentrale die in de tweede helft van de jaren veertig in bedrijf komt, moet passen bij het systeem van dat moment en bij de verdere ontwikkeling daarna. De huidige behoefte aan flexibel vermogen is niet automatisch een onderbouwing voor een centrale die veel later wordt opgeleverd.

Andersom mag ook niet worden gewacht totdat een toekomstig tekort volledig zichtbaar is. Productiemiddelen, netten en infrastructuur hebben voorbereidingstijd nodig. Daarom moeten scenario’s, monitoring en vooraf bepaalde beslismomenten de verbinding vormen tussen de huidige situatie en mogelijke toekomstige investeringen.

6.13 Geen enkele techniek vervult vanzelf alle functies

De systeembehoefte bestaat uit verschillende functies die elkaar gedeeltelijk overlappen, maar niet identiek zijn. Langdurige CO_2-arme productie, snel regelbaar vermogen, kortdurende opslag, reserve, meerdaagse overbrugging en netstabiliteit stellen verschillende eisen.

Het is daarom onwaarschijnlijk dat één techniek voor alle functies en alle perioden de beste oplossing vormt. Een combinatie van productiemiddelen en infrastructuur ligt meer voor de hand.

Wind en zon kunnen grote hoeveelheden CO_2-arme elektriciteit leveren. Batterijen en vraagsturing kunnen korte fluctuaties opvangen. Bestaande en nieuwe STEG's kunnen middenlast, piekvermogen en langdurige tekorten overbruggen, afhankelijk van de beschikbare brandstof. Grootschalige opslag kan energie verschuiven wanneer de kosten, verliezen en energie-inhoud aanvaardbaar zijn. Kernenergie kan passend worden wanneer een structurele en langdurige behoefte aan veel bedrijfsuren wordt aangetoond.

De beoordeling moet daarom niet uitlopen op de vraag welke techniek de winnaar is. De relevante vraag is welke combinatie de benodigde functies tegen aanvaardbare kosten en risico's vervult.

6.14 De werkelijke vraag

De kern van de Nederlandse opgave kan nu scherper worden geformuleerd. Het gaat niet primair om de vraag hoeveel nieuwe productiecapaciteit moet worden gebouwd. Het gaat om de vraag welk productie- en flexibiliteitsprofiel nodig is nadat rekening is gehouden met de ontwikkeling van vraag, wind, zon, opslag, import, netcapaciteit, onderhoud en storingen.

Daarbij moet zichtbaar worden hoeveel uren een installatie werkelijk kan produceren, hoe vaak zij moet stoppen en starten, hoe lang tekortperioden duren en welke reserve nodig is. Ook moet worden vastgesteld of de behoefte structureel is of vooral ontstaat tijdens enkele kritieke perioden.

Pas daarna kan kernenergie met alternatieven worden vergeleken.

Wanneer een structureel hoge minimale restvraag ontstaat, kan een kerncentrale een logische rol krijgen. Wanneer de behoefte vooral bestaat uit wisselende middenlast, reserve en productie tijdens perioden met weinig wind en zon, passen flexibele centrales en opslag mogelijk beter. Wanneer verschillende functies tegelijkertijd nodig zijn, is een portfolio waarschijnlijk robuuster dan één zeer groot project.

De eenvoudige beslisregel uit het eerste hoofdstuk krijgt daarmee technische inhoud:

Eerst vaststellen hoeveel elektriciteit op ieder moment nodig is, hoe lang die behoefte duurt en hoe snel zij verandert. Daarna bepalen welke combinatie van technieken daarbij past.

7. De ontwikkeling van de restvraag

7.1 De beslissende grootheid

De toekomstige behoefte aan kernenergie, regelbare centrales en opslag kan niet rechtstreeks worden afgeleid uit het totale Nederlandse elektriciteitsverbruik. Bepalend is de elektriciteitsvraag die op ieder uur overblijft nadat de productie uit wind, zon en andere beschikbare bronnen daarvan is afgetrokken. Deze resterende vraag wordt in deze studie aangeduid als de restvraag.

De restvraag kan sterk verschillen van de oorspronkelijke elektriciteitsvraag. Op een donkere en windstille winteravond kan zij vrijwel gelijk zijn aan de totale vraag. Op een zonnige en winderige dag kan zij zeer laag of zelfs negatief worden. In dat laatste geval wordt meer elektriciteit geproduceerd dan op dat moment rechtstreeks kan worden gebruikt, geëxporteerd of opgeslagen.

Juist deze variatie bepaalt welke aanvullende productiemiddelen nodig zijn. Een structureel hoge minimale restvraag kan ruimte bieden voor een centrale die vrijwel voortdurend op hoog vermogen produceert. Een sterk wisselende restvraag vraagt daarentegen vooral om vermogen dat kan opregelen, terugregelen, stoppen en opnieuw starten. Wanneer hoge restvragen slechts enkele keren per jaar optreden, ligt de nadruk meer op reservevermogen en langdurige opslag dan op continue productie.

De hoofdvraag van dit hoofdstuk is daarom niet hoeveel elektriciteit Nederland in een toekomstig jaar in totaal zal gebruiken. De vraag is hoe vaak, hoe hoog en hoe lang de restvraag positief blijft, hoe diep zij kan dalen en hoe snel zij verandert.

7.2 Een jaartotaal verbergt het gebruiksprofiel

Een elektriciteitsverbruik van 120 TWh kan op zeer verschillende manieren over het jaar zijn verdeeld. Een gelijkmatige industriële afname heeft een ander effect op het systeem dan hetzelfde jaarverbruik door warmtepompen, elektrisch vervoer of elektrolysers die vooral op bepaalde uren worden ingezet.

Ook twee energiesystemen met dezelfde jaarlijkse productie uit wind en zon kunnen sterk van elkaar verschillen. De ene combinatie kan relatief gelijkmatig over het jaar produceren, terwijl de andere grote winteroverschotten en diepe zomerdalen veroorzaakt. De plaats van de windparken, de verhouding tussen wind en zon en de weersomstandigheden in het onderzochte jaar zijn daarbij bepalend.

Daarom is een vergelijking op basis van TWh per jaar onvoldoende. Zij kan laten zien of over een heel jaar voldoende energie wordt geproduceerd, maar niet of die energie beschikbaar is op het moment waarop zij nodig is.

Een centrale verdient haar inkomsten evenmin uit een gemiddeld jaar. Zij produceert op afzonderlijke uren tegen afzonderlijke marktprijzen. Wanneer een kerncentrale op veel uren moet afregelen omdat wind en zon voldoende produceren, kan haar jaarlijkse productie aanzienlijk lager uitvallen dan een berekening op basis van het nominale vermogen

suggereert. Wanneer een STEG slechts tijdens enkele schaarse perioden nodig is, kan haar jaarlijkse productie klein zijn terwijl haar beschikbaarheid maatschappelijk zeer waardevol blijft.

De restvraag moet daarom chronologisch worden onderzocht. De volgorde van de uren is daarbij essentieel. Tien afzonderlijke uren met een tekort vormen een ander probleem dan één aaneengesloten periode van tien uur. Hetzelfde geldt voor tien dagen met weinig wind en zon. De duur van een tekort bepaalt hoeveel opslag, brandstof en reserve nodig zijn.

7.3 Onzekerheid over de groei van de vraag

De toekomstige elektriciteitsvraag vormt de eerste belangrijke onzekerheid. De vraag kan sterk groeien door elektrificatie van vervoer, woningen, gebouwen en industrie. Ook datacenters, warmtepompen, elektrolysers en mogelijk de productie van synthetische brandstoffen kunnen veel elektriciteit gebruiken.

Tegelijkertijd is niet zeker dat al deze ontwikkelingen in de verwachte omvang en binnen dezelfde periode plaatsvinden. De Nederlandse elektriciteitsvraag beweegt al geruime tijd rond 120 TWh per jaar. De groei van elektrische toepassingen is tot nu toe deels gecompenseerd door energiebesparing, efficiëntere apparatuur en veranderingen in de industriële productie.

Daarom moet de studie niet één vraagprognose als uitgangspunt nemen. Er moeten verschillende vraagontwikkelingen worden onderzocht. In een terughoudende ontwikkeling groeit de vraag beperkt doordat elektrificatie langzamer verloopt, industriële productie afneemt en elektrolyse slechts op bescheiden schaal tot stand komt. In een midden scenario groeit de vraag duidelijk doordat elektrisch vervoer, warmtepompen en een deel van de industrie elektrificeren. In een zeer hoge ontwikkeling kan de vraag op lange termijn verdubbelen of zelfs verdrievoudigen.

Een verdrievoudiging is daarbij geen voorspelling. Zij is een stresstest waarmee kan worden onderzocht of bij een zeer grote toekomstige vraag vanzelf voldoende ruimte voor basislast ontstaat. Ook in dat scenario blijft de uitkomst afhankelijk van de gelijktijdige ontwikkeling van wind, zon, opslag en flexibele afname.

De snelheid van de groei is even belangrijk als de uiteindelijke omvang. Een vraag die pas na 2050 sterk stijgt, kan een andere investeringsroute rechtvaardigen dan een vraag die al in de jaren dertig ontstaat. Een kerncentrale die veel later beschikbaar komt dan een nieuwe STEG of opslagvoorziening kan alleen een behoefte vervullen die ook op het moment van oplevering nog bestaat.

7.4 De ontwikkeling van wind en zon

De tweede grote onzekerheid betreft de productie uit wind en zon. Het is mogelijk dat Nederland deze productie gedurende vele decennia sterk blijft uitbreiden. Het is ook mogelijk dat de groei vertraagt door stijgende kosten, problemen met netaansluiting, ruimtelijke weerstand, een achterblijvende vraag of een minder gunstig investeringsklimaat.

Op zeer lange termijn moet bovendien rekening worden gehouden met het einde van de technische en economische levensduur van bestaande wind- en zonneprojecten. Het is niet vanzelfsprekend dat alle installaties één op één worden vervangen. Sommige locaties kunnen minder aantrekkelijk blijken, subsidies en marktprijzen kunnen veranderen en toekomstige technieken kunnen andere ruimtelijke keuzes mogelijk maken.

Daarom worden drie hoofdrichtingen onderscheiden. In de eerste richting neemt de duurzame productie na verloop van tijd af doordat installaties niet volledig worden vervangen. In de tweede richting blijft het totale niveau ongeveer gelijk. In de derde richting worden wind en zon sterk verder uitgebreid.

Bij afbouw van duurzame productie zal een stijgende elektriciteitsvraag grotendeels door andere bronnen moeten worden opgevangen. De gemiddelde restvraag stijgt dan sterk en waarschijnlijk ook de minimale restvraag. In zo'n toekomst kan duidelijke ruimte ontstaan voor langdurige basislastproductie.

Wanneer duurzame productie ongeveer gelijk blijft terwijl de vraag groeit, neemt eveneens de restvraag toe. Er ontstaat dan waarschijnlijk meer middenlast en, bij voldoende vraaggroei, mogelijk ook nieuwe basislast. Hoe groot die basislastbehoefte wordt, kan alleen uit de uurprofielen blijken.

Bij een sterke verdere groei van wind en zon kan de jaarlijkse productie groot worden, maar blijven de uur verschillen aanzienlijk. Er kunnen dan tegelijk meer overschoturen en zwaardere tekortperioden ontstaan. De gemiddelde restvraag kan stijgen doordat de totale vraag groeit, terwijl de minimale restvraag zeer laag blijft.

Dat laatste scenario is voor de beoordeling van kernenergie bijzonder belangrijk. Een hoge jaarvraag kan samengaan met onvoldoende ruimte voor continue productie. De centrale kan tijdens windstille perioden waardevol zijn en tijdens winderige perioden juist met andere CO_2-arme productie om dezelfde afzet concurreren.

7.5 De combinatie bepaalt de uitkomst

Vraaggroei en duurzame productie mogen niet afzonderlijk worden beoordeeld. Hun combinatie bepaalt het profiel van de restvraag.

Een beperkte vraaggroei met een sterke uitbreiding van wind en zon leidt waarschijnlijk tot veel uren met een lage of negatieve restvraag. In zo'n toekomst wordt de behoefte aan flexibel vermogen groter en de ruimte voor nieuwe basislast kleiner.

Een sterke vraaggroei met een gelijkblijvende duurzame productie kan juist een structureel hoge restvraag veroorzaken. Dan kunnen zowel middenlast als basislast aanzienlijk toenemen.

Een zeer sterke groei van zowel vraag als duurzame productie geeft geen vanzelfsprekende uitkomst. De gemiddelde restvraag kan hoog zijn, terwijl de schommelingen eveneens zeer groot worden. Er kan ruimte bestaan voor een deel basislast, maar tegelijkertijd veel behoefte aan snelle flexibiliteit, opslag en reserve.

Daarom mag uit een politieke keuze voor elektrificatie niet automatisch worden afgeleid dat kernenergie nodig wordt. Evenmin mag uit de sterke groei van wind en zon worden geconcludeerd dat kernenergie per definitie niet past. Beide conclusies zijn te eenvoudig.

De juiste vraag is hoeveel uren per jaar een centrale tegen aanvaardbare voorwaarden kan produceren binnen iedere combinatie van vraag en duurzame productie. Daarbij moet ook worden onderzocht hoeveel opeenvolgende uren of dagen de restvraag boven of onder bepaalde niveaus blijft.

7.6 De industrie als onzekere maar belangrijke vraagbron

De energie-intensieve industrie kan een groot en betrekkelijk constant elektriciteitsverbruik hebben. Wanneer raffinaderijen, chemische bedrijven, staalproductie en andere processen werkelijk op grote schaal elektrificeren, kan dat de minimale vraag verhogen en daarmee ruimte creëren voor langdurige productie.

Deze potentiële vraag mag echter niet als vaststaand worden behandeld. Industriële bedrijven nemen investeringsbesluiten op basis van internationale concurrentie, energieprijzen, infrastructuur, regelgeving en verwachtingen over hun afzetmarkt. Sommige bedrijven kunnen productie verminderen of verplaatsen. Andere kunnen juist nieuwe elektrische processen in Nederland ontwikkelen.

Daarom moet bij de scenarioanalyse onderscheid worden gemaakt tussen bestaande industriële vraag, projecten waarvoor een definitief investeringsbesluit is genomen en plannen die nog afhankelijk zijn van subsidie, infrastructuur of toekomstige marktontwikkeling.

Een aangekondigd elektrolyseproject of industriële elektrificatie is nog geen zekere afnemer voor een centrale met een levensduur van zestig jaar. De investering in de gebruiker kan zelf worden uitgesteld of geannuleerd. Ook kan een bedrijf na twintig of dertig jaar een andere technologie kiezen of de productie beëindigen.

Een structurele basislastbehoefte kan daarom niet uitsluitend worden onderbouwd met de optelsom van aangekondigde industriële projecten. Er moet aannemelijk zijn dat de vraag langdurig, gelijktijdig en voldoende zeker aanwezig blijft.

7.7 Elektrolyse als flexibele afnemer

Elektrolysers worden vaak genoemd als oplossing voor uren met een lage of negatieve elektriciteitsprijs. Zij kunnen tijdens overschotten waterstof produceren en hun afname verminderen wanneer elektriciteit schaars wordt.

Daarmee kunnen elektrolysers de minimale restvraag verhogen en een deel van de productie van wind, zon of kernenergie opnemen. Hun betekenis hangt echter af van de economische bedrijfsvoering.

Een elektrolyser die uitsluitend tijdens de goedkoopste uren draait, maakt weinig bedrijfsuren. Daardoor worden de investeringskosten over een beperkte productie verdeeld. Een elektrolyser die veel meer uren produceert, gebruikt ook elektriciteit tijdens duurdere

perioden. De optimale inzet hangt af van investeringskosten, elektriciteitsprijzen, netkosten, rendement, waterstofprijs en contractuele afzet.

De vraag van elektrolysers is daarom niet onbeperkt en niet vanzelfsprekend beschikbaar om een kerncentrale voortdurend te laten produceren. Wanneer een kerncentrale moet blijven draaien omdat haar vaste kosten hoog zijn, kan de elektrolyser feitelijk worden gebruikt als een kunstmatige afnemer van elektriciteit die anders geen markt vindt. De geproduceerde waterstof moet dan concurreren met geïmporteerde waterstof en met waterstof die rechtstreeks uit goedkope duurzame elektriciteit wordt gemaakt.

De aanwezigheid van elektrolysers kan het systeem flexibeler maken, maar zij mag niet zonder meer worden ingeboekt als gegarandeerde basislastvraag. De analyse moet laten zien tegen welke elektriciteitsprijzen en gedurende hoeveel uren de elektrolyser werkelijk zal afnemen.

7.8 Opslag verschuift de restvraag

Opslag kan elektriciteit uit uren met een overschot verplaatsen naar uren met een tekort. Daarmee wordt de restvraag gelijkmatiger. Pieken kunnen worden verlaagd en dalen kunnen worden opgevuld.

De invloed van opslag hangt af van het vermogen, de energie-inhoud, het rendement en de wijze van aansturing. Een batterij met een hoge vermogenscapaciteit maar een beperkte energie-inhoud kan korte fluctuaties goed opvangen. Zij kan echter geen langdurige windstille periode overbruggen.

Grootschalige opslag met een veel grotere energie-inhoud kan langere perioden overbruggen, maar vraagt een grotere investering en voldoende overschotten om de opslag te vullen. Ook de verliezen nemen toe wanneer elektriciteit meerdere keren wordt omgezet.

Opslag kan op twee manieren invloed hebben op kernenergie. Zij kan overschotten opnemen die anders tot afregeling zouden leiden en daarmee meer bedrijfsuren mogelijk maken. Tegelijkertijd kan opslag energie uit wind en zon naar tekorturen verschuiven en daarmee de behoefte aan andere langdurige productie verminderen.

De netto-uitkomst kan alleen door een chronologische simulatie worden bepaald. Daarbij moet opslag niet worden behandeld als een onbeperkte bron. Na ontlading moet zij opnieuw worden gevuld en tijdens een lange tekortperiode kan zij uitgeput raken.

Ook de economische inzet moet realistisch worden gemodelleerd. Een opslagexploitant laadt niet alleen omdat elektriciteit technisch beschikbaar is. Het verwachte prijsverschil tussen laden en ontladen moet groot genoeg zijn om investeringskosten en verliezen terug te verdienen.

7.9 Vraagsturing en nieuwe gebruikspatronen

Een deel van de toekomstige elektriciteitsvraag kan in de tijd worden verschoven. Elektrische voertuigen hoeven niet allemaal direct na thuiskomst te laden. Warmtepompen kunnen tijdelijk gebruikmaken van warmteopslag in gebouwen of buffers. Industriële processen

kunnen in sommige gevallen hun productie verhogen tijdens goedkope uren en verminderen tijdens schaarse perioden.

Vraagsturing kan de restvraag verminderen tijdens piekuren en verhogen tijdens overschoturen. Daarmee kan zij de behoefte aan zowel piekvermogen als afregeling beperken.

De mogelijkheden zijn echter niet onbeperkt. Huishoudens, vervoer en industrie stellen grenzen aan de duur en frequentie waarmee gebruik kan worden verschoven. Een fabriek kan niet zonder economische gevolgen meerdere weken stilvallen. Een woning moet ook tijdens een langdurige koude periode verwarmd blijven. Een voertuig moet beschikbaar zijn wanneer het nodig is.

Daarom moet onderscheid worden gemaakt tussen theoretische flexibiliteit en contractueel beschikbare flexibiliteit. Alleen vraagsturing die technisch uitvoerbaar, economisch aantrekkelijk en daadwerkelijk georganiseerd is, mag als zekere systeembijdrage worden meegenomen.

7.10 Import en export zijn geen onbeperkte buffer

Nederland is onderdeel van een Noordwest-Europees elektriciteitssysteem. Internationale verbindingen maken het mogelijk overschotten uit te voeren en elektriciteit in te voeren tijdens tekorten. Deze verbindingen kunnen de restvraag aanzienlijk beïnvloeden.

Import en export zijn echter geen vaste productiemiddelen. Tijdens een Nederlandse windstille periode kunnen buurlanden met vergelijkbare weersomstandigheden worden geconfronteerd. Wanneer heel Noordwest-Europa weinig wind- en zonneproductie heeft, stijgt overal tegelijk de vraag naar regelbaar vermogen, gas en opslag.

Omgekeerd kunnen tijdens winderige perioden meerdere landen tegelijk een overschot hebben. Exportmogelijkheden kunnen dan beperkt zijn en marktprijzen kunnen in een groot gebied laag of negatief worden.

De beschikbare interconnectie capaciteit moet daarom niet automatisch worden gelijkgesteld aan gegarandeerde import of export. De analyse moet rekening houden met gelijktijdige weersomstandigheden, buitenlandse vraag, onderhoud, storingen en marktprijzen.

Voor kernenergie betekent dit dat export geen zekere afzetroute vormt voor productie die Nederland zelf niet nodig heeft. Voor leveringszekerheid betekent het dat import niet zonder meer als vervanging van binnenlandse capaciteit kan worden beschouwd.

7.11 Het elektriciteitsnet begrenst de theoretische mogelijkheden

Een landelijke restvraagberekening kan suggereren dat productie en vraag elkaar in totaal goed aanvullen. In de praktijk moeten de elektriciteitsstromen door het net kunnen worden vervoerd.

Wind op zee landt op specifieke plaatsen aan. Grote industrie en nieuwe datacenters bevinden zich in bepaalde regio’s. Kerncentrales, STEG’s en opslaginstallaties hebben eveneens

concrete locaties en aansluitingen. Wanneer de productie en afname zich niet op dezelfde plaats bevinden, kunnen verbindingen overbelast raken.

Daardoor kan op nationaal niveau een overschot bestaan terwijl in een regio een tekort optreedt. Ook kan een centrale worden afgeregeld omdat de lokale verbinding onvoldoende capaciteit heeft, terwijl elders in het land vraag aanwezig is.

De beoordeling van de restvraag moet daarom worden gekoppeld aan de verwachte netontwikkeling. Een technisch aantrekkelijke productieoptie heeft weinig waarde wanneer haar aansluiting niet tijdig gereedkomt of wanneer de productie op veel uren niet kan worden afgevoerd.

Voor een grote kerncentrale is dit extra belangrijk door de omvang van het productieblok. De aansluiting moet niet alleen het volledige vermogen kunnen transporteren, maar het systeem moet ook bestand zijn tegen het plotseling wegvallen ervan.

7.12 Meerdere weerjaren zijn noodzakelijk

De productie van wind en zon verschilt van jaar tot jaar. Een gemiddeld weerjaar kan daardoor een misleidend beeld geven. Juist uitzonderlijke perioden zijn bepalend voor de benodigde reserve, opslag en regelbare productie.

De analyse moet daarom meerdere historische weerjaren omvatten. Daarin moeten koude winters, warme zomers, langdurige windstille perioden, jaren met weinig zon en combinaties van ongunstige omstandigheden worden meegenomen.

Het gaat niet alleen om de laagste productie in één uur. Vooral de duur van een tekort is belangrijk. Een tekort van één uur kan met batterijen en snelle reserve worden opgevangen. Een tekort van twee weken vraagt een veel grotere energievoorraad of langdurig beschikbare brandstof.

Ook de volgorde van weersperioden is van belang. Een opslaginstallatie kan een windstille periode beter opvangen wanneer zij kort daarvoor volledig is geladen. Wanneer meerdere tekortperioden elkaar snel opvolgen, kan de voorraad onvoldoende herstellen.

Een robuust systeem moet daarom niet alleen in een gemiddeld jaar functioneren, maar ook tijdens ongunstige combinaties die weinig voorkomen en grote gevolgen hebben.

7.13 Onderhoud, storingen en reserve

De restvraag kan niet worden vergeleken met het volledige nominale vermogen van alle centrales. Een deel van het vermogen is tijdelijk niet beschikbaar door onderhoud of storing.

Gepland onderhoud kan zo veel mogelijk buiten kritieke perioden worden uitgevoerd. Toch kan onderhoud niet onbeperkt worden uitgesteld. Naarmate meer installaties, netverbindingen en opslagvoorzieningen worden toegevoegd, neemt ook de behoefte aan onderhoudsruimte toe.

Onverwachte storingen kunnen bovendien gelijktijdig optreden met een hoge restvraag. Een elektriciteitssysteem moet daarom enige reserve hebben bovenop de berekende normale behoefte.

Bij een grote kerncentrale moet rekening worden gehouden met de uitval van één zeer groot productieblok. Bij een park met kleinere installaties is de uitval per eenheid kleiner, maar kunnen gemeenschappelijke oorzaken meerdere eenheden tegelijk treffen.

Een chronologische simulatie moet daarom niet alleen normale bedrijfsvoering weergeven, maar ook geplande uitval, onverwachte storingen en het vereiste reservevermogen.

7.14 Welke uitkomsten de analyse moet leveren

De analyse moet meer opleveren dan één getal voor de jaarlijkse productie of één gemiddelde kostprijs. Zij moet zichtbaar maken hoe het systeem zich door het jaar heen gedraagt.

Van iedere combinatie van vraag, duurzame productie, opslag, import en regelbaar vermogen moet bekend zijn hoe hoog de maximale en minimale restvraag zijn. Ook moet duidelijk worden hoeveel uren de restvraag binnen bepaalde vermogensbanden ligt en hoe lang perioden met een hoge of lage restvraag aaneengesloten duren.

Voor iedere productietechniek moet vervolgens worden bepaald hoeveel bedrijfsuren mogelijk zijn, hoe vaak de installatie moet starten en stoppen, hoe diep zij moet terugregelen en hoeveel elektriciteit zij tegen zeer lage of negatieve prijzen zou produceren.

Daarnaast moet de analyse inzicht geven in het benodigde piek- en reservevermogen, de benodigde energie-inhoud van opslag, de hoeveelheid afregeling van wind en zon en de afhankelijkheid van import en brandstoffen.

Deze uitkomsten worden in de hoofdtekst in samenhang beschreven. De volledige uurprofielen, duurkrommen, scenarioaannamen en technische tabellen worden in de bijlagen opgenomen.

7.15 Wanneer ontstaat werkelijk ruimte voor basislast?

Een structurele basislastbehoefte ontstaat pas wanneer de restvraag gedurende zeer veel uren en in verschillende weersjaren boven een voldoende hoog niveau blijft. Daarbij moet niet alleen de gemiddelde uitkomst gunstig zijn. Ook bij tegenvallende vraaggroei en sterke duurzame productie moet de centrale voldoende kunnen worden benut.

Voor een grote kerncentrale betekent dit dat niet alleen ergens in het systeem een jaarlijkse energiebehoefte van vele TWh moet bestaan. Er moet ook op de meeste uren voldoende afzetruimte zijn voor een productieblok van ongeveer 1.000 tot 1.700 MW.

Wanneer die ruimte uitsluitend ontstaat doordat elektrolysers, warmteproductie of export als onbeperkte afnemers worden aangenomen, is de onderbouwing kwetsbaar. Deze afzet moet zelf economisch en fysiek worden aangetoond.

Ook moet rekening worden gehouden met onderhoud en uitval. Wanneer meerdere kerncentrales worden gebouwd, moet duidelijk zijn hoe hun onderhoud wordt gepland en hoe het systeem reageert wanneer één groot blok onverwacht uitvalt.

De behoefte aan basislast mag daarom niet worden afgeleid uit een beleidsdoel, een jaarlijkse vraagprognose of de technische mogelijkheid om veel elektriciteit te produceren. Zij moet uit de chronologische restvraag blijken.

7.16 Wanneer past vooral flexibel vermogen?

Wanneer de restvraag grote verschillen kent, regelmatig laag wordt en vooral tijdens bepaalde perioden sterk stijgt, ontstaat een andere behoefte. Dan is vermogen nodig dat gedurende dagen of weken veel elektriciteit kan leveren, maar op andere momenten terugregelt of stopt.

Deze functie past bij middenlast, reserve en piekvermogen. Het aantal bedrijfsuren kan van jaar tot jaar verschillen. De economische waarde bestaat dan niet alleen uit energieproductie, maar ook uit beschikbaarheid en flexibiliteit.

Levensduurverlengde STEG’s, moderne koleneenheden op een andere brandstof en nieuwe moderne STEG’s kunnen deze functie in beginsel vervullen. Hun geschiktheid hangt af van rendement, startsnelheid, brandstof, emissies en kosten.

Opslag kan een deel van de variatie opvangen, maar de benodigde schaal hangt af van de duur van de tekortperioden. Voor zeer langdurige tekorten blijft waarschijnlijk een energievoorraad in de vorm van brandstof of zeer grote opslag nodig.

7.17 De uitkomst kan een combinatie zijn

De analyse hoeft niet tot één techniek als winnaar te leiden. Het is waarschijnlijker dat verschillende functies door verschillende middelen worden vervuld.

Een deel van de vraag kan structureel genoeg zijn voor langdurige productie. Een ander deel varieert met wind, zon en verbruik en vraagt om middenlast. Voor uitzonderlijke perioden blijft reservevermogen nodig. Batterijen, vraagsturing en andere vormen van opslag kunnen korte schommelingen verminderen.

De vraag is daarom niet uitsluitend hoeveel ruimte bestaat voor kernenergie, maar welke omvang van kernenergie naast welke hoeveelheid flexibel vermogen, opslag en duurzame productie in verschillende scenario’s robuust blijft.

Een beperkte hoeveelheid basislast kan in sommige toekomstbeelden goed passen, terwijl een zeer groot nucleair programma tot overcapaciteit leidt. In andere toekomstbeelden kan zelfs één grote centrale onvoldoende bedrijfsuren maken. De projectschaal moet daarom deel uitmaken van de beoordeling.

7.18 De betekenis van tijd

De toekomstige restvraag is nu nog met grote onzekerheid omgeven. Dat betekent niet dat Nederland geen voorbereidingen mag treffen. Het betekent wel dat een besluit met een lange bouwtijd en een zeer grote financiële verplichting moet worden gekoppeld aan de feitelijke ontwikkeling van de vraag en het systeem.

Met het verstrijken van de tijd wordt duidelijker hoeveel elektrische voertuigen, warmtepompen, datacenters, elektrolysers en industriële installaties werkelijk worden aangesloten. Ook wordt zichtbaar hoeveel wind en zon daadwerkelijk worden gebouwd, hoeveel opslag beschikbaar komt en waar netverzwaring op tijd gereed is.

Deze informatie vermindert de onzekerheid over de restvraag. Daardoor kan later met meer zekerheid worden vastgesteld of vooral basislast, middenlast, reserve of opslag nodig is.

Het behouden van bestaande regelbare capaciteit kan in deze periode voorkomen dat Nederland onder tijdsdruk een moeilijk corrigeerbare keuze moet maken. Tegelijkertijd kunnen locaties, kennis en voorbereidende mogelijkheden voor kernenergie behouden blijven.

7.19 Conclusie

De ontwikkeling van de restvraag vormt de noodzakelijke verbinding tussen toekomstige energieambities en concrete investeringen. Zonder een chronologische analyse kan niet worden vastgesteld hoeveel bedrijfsuren een kerncentrale, STEG of opslagvoorziening werkelijk kan maken en welke functie zij in het systeem vervult.

Een sterke stijging van de elektriciteitsvraag kan ruimte voor kernenergie creëren, maar bewijst die ruimte niet. Daarvoor moet ook duidelijk zijn hoe wind, zon, opslag, vraagsturing, industrie en internationale elektriciteitsstromen zich ontwikkelen.

De centrale vraag is daarom niet hoeveel elektriciteit Nederland op jaarbasis nodig heeft, maar hoeveel vraag op ieder uur overblijft nadat alle andere bronnen en vormen van flexibiliteit zijn verwerkt.

Een grote kerncentrale of SMR past pas aantoonbaar in het Nederlandse elektriciteitssysteem wanneer de minimale restvraag gedurende vele jaren en onder verschillende weersomstandigheden voldoende hoog blijft voor een groot aantal bedrijfsuren.

Wanneer dat niet het geval is, ligt de behoefte vooral bij flexibel vermogen, opslag en reserve. Het volgende hoofdstuk onderzoekt welke mogelijkheden beschikbaar zijn om die functies te vervullen en tegelijkertijd tijd en keuzevrijheid te behouden.

8. Alternatieven die tijd en keuzevrijheid kopen

8.1 Overbrugging is een volwaardige strategie

Wanneer de toekomstige systeembehoefte nog onvoldoende zeker is, wordt een tijdelijke oplossing gemakkelijk als minderwaardig beschouwd. Zij zou geld kosten zonder het eindbeeld te realiseren en slechts het moment van de definitieve keuze uitstellen. Die beoordeling doet onvoldoende recht aan de waarde van tijd en corrigeerbaarheid.

Een overbruggingsoptie kan juist rationeel zijn wanneer zij tegen een beheersbare investering de leveringszekerheid in stand houdt, terwijl de belangrijkste onzekerheden verder afnemen. In de tussenliggende periode wordt duidelijker hoe de elektriciteitsvraag zich ontwikkelt, hoeveel energie-intensieve industrie in Nederland blijft, hoeveel wind en zon werkelijk worden gebouwd, welke opslagtechnieken beschikbaar komen en wat de gerealiseerde kosten en bouwtijden van nieuwe kerncentrales en SMR’s zijn.

De waarde van een overbruggingsoptie bestaat daarom uit meer dan de elektriciteit die zij produceert. Zij voorkomt dat Nederland vanuit tijdsdruk een zeer grote en moeilijk corrigeerbare investering moet doen. Zij houdt bestaande locaties, netaansluitingen, personeel en technische kennis beschikbaar. Bovendien maakt zij het mogelijk een later investeringsbesluit te baseren op meer feitelijke informatie en minder op verwachtingen.

Een overbruggingsstrategie is daarmee geen besluit om de energietransitie stil te zetten. Zij moet juist voorkomen dat een voortijdige keuze de verdere transitie belemmert. De tijdelijke voorziening moet voldoende betrouwbaar zijn, maar ook kunnen worden teruggeschakeld, aangepast of beëindigd wanneer een structurele oplossing beschikbaar komt.

Dit vraagt om een andere economische beoordeling. Niet alleen rendement, brandstofkosten en jaarlijkse productie tellen mee. Ook de omvang van de investering, de snelheid waarmee de voorziening beschikbaar kan komen, de resterende waarde van bestaande infrastructuur en de mogelijkheid om later zonder buitensporige verliezen van koers te veranderen zijn van belang.

8.2 Levensduurverlenging van bestaande STEG’s

Bestaande STEG’s kunnen een belangrijke rol spelen in een periode waarin de behoefte aan nieuw productievermogen nog niet volledig vaststaat. Een STEG combineert een gasturbine met een stoomcyclus en kan daardoor bij voldoende bedrijfsduur met een betrekkelijk hoog rendement elektriciteit produceren. Tegelijkertijd kan een dergelijke eenheid sneller op- en afregelen dan een klassieke stoomcentrale.

De belangrijkste waarde van een bestaande STEG ligt niet noodzakelijk in langdurige basislastproductie. Zij kan juist beschikbaar blijven voor middenlast, reserve en perioden met weinig wind en zon. Wanneer de duurzame productie groot is, kan de eenheid terugregelen of stoppen. Wanneer de restvraag stijgt, kan zij opnieuw worden gestart.

Bij levensduurverlenging wordt een belangrijk deel van de oorspronkelijke investering opnieuw benut. De locatie, netaansluiting, koeling, brandstofvoorziening, gebouwen,

besturing, vergunningen en organisatie zijn al aanwezig. Groot onderhoud en vervanging van kritieke onderdelen kunnen daardoor aanzienlijk minder kapitaal vragen dan volledige nieuwbouw.

Dat betekent niet dat iedere bestaande STEG automatisch geschikt is voor verlenging. De technische staat van gasturbine, stoomturbine, ketel, generator, leidingen en besturing moet zorgvuldig worden onderzocht. Ook kan modernisering nodig zijn om de startsnelheid, minimale belasting, emissies of beschikbaarheid te verbeteren. De uitkomst kan per centrale sterk verschillen.

De investering is echter meestal beter op te delen dan bij nieuwbouw van een grote centrale. Na inspectie kan worden besloten welke onderdelen werkelijk moeten worden vervangen en welke verbeteringen economisch gerechtvaardigd zijn. Wanneer tijdens het onderzoek blijkt dat de kosten te hoog worden, kan de aanpak worden aangepast of beëindigd zonder dat al een volledig nieuw project is vastgelegd.

Een lager rendement dan dat van een nieuwe STEG is niet zonder meer doorslaggevend. Wanneer de centrale weinig uren produceert, kan de besparing op de investering zwaarder wegen dan het extra brandstofgebruik. De centrale wordt dan niet gekozen om ieder jaar zoveel mogelijk elektriciteit te leveren, maar om tegen beperkte vaste kosten beschikbaar te zijn wanneer het systeem haar nodig heeft.

De economische waarde van deze capaciteit zal daarom mogelijk niet volledig uit de gewone elektriciteitsmarkt komen. Wanneer de eenheid slechts tijdens schaarse perioden wordt ingezet, kan een vergoeding voor beschikbaarheid of deelname aan een strategische reserve nodig zijn. Dat is geen subsidie voor nutteloze productie, maar betaling voor een verzekering tegen tekorten.

Levensduurverlenging kan bovendien worden gekoppeld aan een duidelijke herbeoordeling na een aantal jaren. Daarmee wordt voorkomen dat een tijdelijke voorziening ongemerkt permanent wordt. De centrale blijft beschikbaar zolang zij aantoonbaar nodig is en tegen aanvaardbare kosten kan functioneren.

8.3 De strategische waarde van moderne koleneenheden

De bestaande moderne koleneenheden vertegenwoordigen meer dan een ketel waarin steenkool wordt verbrand. Zij beschikken over een zware netaansluiting, een grote stoomturbine en generator, koelwater, waterbehandeling, rookgasreiniging, brandstofopslag, kades, werkplaatsen en deskundig personeel. Het geheel vormt een bestaande zware productielocatie die niet eenvoudig opnieuw kan worden aangelegd.

Na 2030 kunnen deze eenheden in Nederland niet met kolen als brandstof elektriciteit blijven produceren. Daaruit volgt echter niet automatisch dat de volledige installatie technisch en economisch waardeloos wordt. De vraag is welke delen kunnen worden benut met een andere brandstof, een aangepaste ketel of een andere functie.

Wanneer een eenheid eerder al voor het meestoken of verstoken van biokorrels is aangepast, kan een verdere ombouw mogelijk beperkter zijn dan volledige nieuwbouw van een andere

centrale. De werkelijke omvang hangt af van de bestaande voorzieningen, de gewenste brandstof, de emissie-eisen en de resterende technische levensduur van de installatie.

Een moderne koleneenheid moet daarbij niet worden behandeld alsof zij uitsluitend langdurig op vol vermogen kan draaien. Zij kan technisch worden gestart, gestopt en in middenlast worden bedreven. Voor zeer snel en dagelijks diep cyclisch bedrijf is zij minder geschikt dan een moderne STEG. Koude starts duren langer, veroorzaken meer slijtage en zijn duurder. Voor langere perioden van productie, gevolgd door stilstand wanneer veel wind en zon beschikbaar zijn, kan de eenheid echter wel degelijk bruikbaar zijn.

Wanneer duurzame biomassa als brandstof wordt gebruikt en de vrijkomende biogene CO_2 permanent wordt opgeslagen, kan in beginsel CO_2 uit de atmosfeer worden verwijderd. Dat voordeel bestaat alleen wanneer de gehele biomassaketen overtuigend duurzaam is en de afgevangen CO_2 daadwerkelijk permanent wordt opgeslagen.

De installatie voor CO_2-afvang, reiniging, compressie, transport en opslag vormt waarschijnlijk de grootste aanvullende investering. Die investering is aanzienlijk en het afvangproces vraagt zelf energie. Toch moet zij niet alleen worden vergeleken met de situatie waarin niets wordt geïnvesteerd. De juiste vergelijking is met de volledige investering in een nieuwe centrale, waarbij tevens rekening wordt gehouden met de reeds aanwezige turbine, generator, koeling, kade, gebouwen en netaansluiting.

De beschikbaarheid van voldoende duurzame brandstof vormt een afzonderlijke onzekerheid. Ook de maatschappelijke aanvaardbaarheid van biomassa en de langjarige beschikbaarheid van CO_2-transport en opslag moeten worden beoordeeld. De mogelijkheid bestaat daarom niet op iedere locatie en onder alle omstandigheden.

De strategische waarde van de moderne koleneenheid ligt vooral in het behoud van een grote productielocatie en een installatie die middenlast en langere tekortperioden kan overbruggen. Voortijdige onomkeerbare ontmanteling sluit deze mogelijkheid af voordat duidelijk is of zij nodig is. Behoud betekent daarbij niet dat de eenheid onbeperkt moet blijven produceren. Het betekent dat eerst zorgvuldig wordt onderzocht welke toekomstige functie technisch, economisch en milieukundig verdedigbaar is.

8.4 Nieuwe moderne STEG’s

Wanneer bestaande centrales onvoldoende capaciteit of resterende levensduur hebben, kan nieuwbouw van een moderne STEG aan de orde komen. Een dergelijke centrale vraagt aanzienlijk minder kapitaal en heeft een kortere voorbereiding en bouwtijd dan een grote kerncentrale. Daardoor kan zij dichter bij het moment worden gebouwd waarop de behoefte werkelijk zichtbaar wordt.

Dat verkleint het risico dat wordt geïnvesteerd in capaciteit waarvoor later onvoldoende afzet bestaat. Een STEG kan bovendien in kleinere vermogensstappen worden toegevoegd. De elektriciteitsvoorziening hoeft daardoor niet in één keer met een zeer groot productieblok te worden uitgebreid.

Een moderne STEG is technisch breed inzetbaar. Zij kan langere tijd efficiënt elektriciteit produceren, maar ook op- en afregelen en tijdelijk worden stilgezet. Wanneer het ontwerp het

mogelijk maakt de gasturbine afzonderlijk te bedrijven, kan snel vermogen worden geleverd voordat de stoomcyclus volledig beschikbaar is. Bij langere inzet kan vervolgens worden overgeschakeld op efficiënter gecombineerd bedrijf.

Deze flexibiliteit is van belang in een systeem waarin de restvraag sterk kan wisselen. Een nieuwe STEG kan middenlast leveren wanneer de vraag structureel groeit, maar ook beschikbaar blijven als reserve wanneer wind, zon en opslag een groter deel van de normale productie verzorgen.

De belangrijkste onzekerheid betreft de brandstof. Bij gebruik van aardgas ontstaat CO_2-uitstoot en blijft afhankelijkheid bestaan van brandstofprijzen en klimaatbeleid. De centrale moet daarom niet uitsluitend worden beoordeeld op haar huidige brandstof, maar ook op realistische mogelijkheden voor aanpassing.

Waterstof kan in beginsel als CO_2-arme brandstof dienen wanneer zij met weinig uitstoot wordt geproduceerd. De kosten, beschikbaarheid, opslag en benodigde infrastructuur zijn echter nog onzeker. Ook de geschiktheid van de gasturbine voor hoge waterstofpercentages moet daadwerkelijk zijn aangetoond en mag niet uitsluitend op toekomstige leveranciersbeloften worden gebaseerd.

Ammoniak kan worden gebruikt als energiedrager of als grondstof voor waterstof, maar directe verbranding brengt eigen technische, veiligheids- en emissievraagstukken mee. Vooral de beheersing van stikstofoxiden en eventuele andere stikstofverbindingen vraagt aandacht. Ook hier geldt dat toekomstige geschiktheid niet alleen een ontwerpclaim mag zijn, maar technisch en economisch moet worden bewezen.

Een andere route is voortgezet gebruik van aardgas of een ander gasvormig brandstofmengsel, gecombineerd met afvang en permanente opslag van CO_2. Daarmee kunnen de emissies sterk worden verminderd, al blijven restemissies bestaan en gaat een deel van het rendement verloren. Ook zijn tijdig beschikbare infrastructuur voor transport en opslag en een betrouwbare opslagketen noodzakelijk.

De brede inzetbaarheid van de STEG betekent niet dat alle toekomstige brandstofroutes zonder meer gelijkwaardig zijn. De centrale kan wel worden ontworpen met voldoende ruimte, aansluitmogelijkheden en aanpasbaarheid om latere keuzes niet onnodig te blokkeren.

Een STEG kan daardoor een brug vormen tussen de huidige behoefte aan flexibel vermogen en een toekomstige CO_2-arme brandstofvoorziening. Zij is geen emissievrije oplossing zolang fossiel gas wordt gebruikt, maar kan wel snel leveringszekerheid bieden en later minder uren produceren of op een andere brandstof worden aangepast.

8.5 Grootschalige energieopslag

Energieopslag kan eveneens tijd en keuzevrijheid kopen. Zij kan elektriciteit opnemen wanneer wind en zon meer produceren dan op dat moment nodig is en deze energie later terugleveren. Daarmee worden pieken en dalen in de restvraag kleiner en kan minder duurzame productie verloren gaan.

Bij opslag moet steeds onderscheid worden gemaakt tussen vermogen en energie-inhoud. Het vermogen bepaalt hoeveel elektriciteit op één moment kan worden geladen of geleverd. De energie-inhoud bepaalt hoe lang dat vermogen kan worden volgehouden.

Een batterij van 1.000 MW met een energie-inhoud van 4.000 MWh kan technisch vier uur op vol vermogen leveren. Dat is zeer waardevol voor dagelijkse verschuivingen, snelle regeling en het opvangen van korte tekorten. Zij biedt echter geen oplossing voor een windstille periode van vele dagen.

Voor langere perioden is een veel grotere energievoorraad nodig. Die kan mogelijk worden geleverd door pompaccumulatie, persluchtopslag, warmteopslag, waterstof, ammoniak of andere chemische en mechanische routes. Iedere vorm heeft eigen eisen aan locatie, infrastructuur, rendement, veiligheid en kosten.

Opslag produceert zelf geen energie. Zij kan alleen elektriciteit verschuiven die eerder is geproduceerd. Voor langdurige opslag moeten vooraf voldoende overschotten beschikbaar zijn om de voorraad te vullen. Wanneer meerdere tekortperioden elkaar snel opvolgen, kan de opslag onvoldoende tijd hebben om opnieuw te laden.

Ook de economische benutting is van belang. Een opslaginstallatie verdient aan het verschil tussen de waarde van elektriciteit tijdens laden en ontladen, aangevuld met mogelijke inkomsten uit systeemdiensten. Wanneer prijsverschillen te klein zijn of de installatie weinig cycli maakt, kan de investering moeilijk worden terugverdiend.

Een zeer grote opslagvoorziening kan toch strategische waarde hebben wanneer zij een uitzonderlijke functie vervult, bijvoorbeeld het overbruggen van een storing, het beperken van netcongestie of het voorkomen van grote investeringen in piekcapaciteit. Ook dan moet duidelijk zijn voor welke functie en duur de installatie wordt ontworpen.

Grootschalige opslag kan daarom niet in algemene zin als alternatief voor een kerncentrale of STEG worden aangeduid. Zij kan een deel van hun functies overnemen, maar niet noodzakelijk langdurige productie tijdens een tekort van één of twee weken. De vergelijking moet worden gemaakt op basis van vermogen, energie-inhoud en ontlaadduur, niet alleen op basis van het aantal geïnstalleerde megawatts.

Opslag kan wel een belangrijke bijdrage leveren aan een gefaseerde strategie. De techniek kan in kleinere stappen worden toegevoegd, volgt relatief snel de ontwikkeling van de vraag en kan later worden uitgebreid wanneer de economische en technische prestaties verbeteren. Daarmee is de keuze beter corrigeerbaar dan één zeer groot langjarig project.

8.6 Bestaande locaties als strategische reserve

Bij de vergelijking van opties wordt vaak vooral naar de centrale zelf gekeken. De locatie heeft echter een zelfstandige waarde. Een zware productielocatie beschikt over ruimte, een netaansluiting, koelwater, wegen, kades, gebouwen, vergunningservaring en vaak ook een omgeving waarin energieproductie planologisch al een plaats heeft.

In een dichtbevolkt land kan het verkrijgen van een nieuwe locatie even moeilijk zijn als het bouwen van de installatie. Ook de aanleg van een zware netaansluiting kan vele jaren duren.

Wanneer een bestaande centrale wordt gesloten en de locatie een andere bestemming krijgt, is deze mogelijkheid mogelijk voorgoed verloren.

Dat betekent niet dat iedere bestaande installatie onbeperkt in stand moet worden gehouden. Wel moet vóór ontmanteling worden vastgesteld of de locatie voor toekomstige productie, opslag, synchrone compensatie, waterstofproductie of andere systeemfuncties nodig kan zijn.

De locatie kan bovendien een basis vormen voor gefaseerde vervanging. Een oude STEG kan eerst worden verlengd en later op hetzelfde terrein worden vervangen door een nieuwe STEG, opslaginstallatie of andere productie-eenheid. Daarmee kunnen delen van de aansluiting en infrastructuur opnieuw worden gebruikt.

Het behoud van een locatie is daarmee een vorm van strategische reserve. Zij houdt mogelijkheden open die later zeer kostbaar of onmogelijk opnieuw zijn te creëren.

8.7 Een portfolio is robuuster dan één overbruggingsoptie

Geen van de beschreven mogelijkheden kan onder alle omstandigheden de volledige systeembehoefte vervullen. Levensduurverlenging is alleen mogelijk wanneer de technische staat voldoende is. Een omgebouwde koleneenheid is afhankelijk van brandstof en CO_2-infrastructuur. Een nieuwe STEG blijft afhankelijk van een aanvaardbare CO_2-arme brandstofroute. Opslag wordt begrensd door energie-inhoud, rendement en kosten.

Een robuuste overbruggingsstrategie zal daarom waarschijnlijk uit een combinatie bestaan. De technisch beste bestaande STEG’s kunnen langer beschikbaar blijven. Waardevolle moderne productielocaties kunnen worden behouden en waar mogelijk aangepast. Nieuwe flexibele capaciteit kan worden gebouwd wanneer uit de ontwikkeling van de restvraag blijkt dat aanvullende capaciteit werkelijk nodig is. Batterijen en andere opslag kunnen worden toegevoegd voor functies waarvoor zij aantoonbaar geschikt zijn.

Deze combinatie kan in de tijd veranderen. Naarmate opslag goedkoper wordt, kan minder brandstof gestookte capaciteit nodig zijn. Wanneer duurzame waterstof beschikbaar en betaalbaar wordt, kan de brandstofroute van regelbare centrales veranderen. Wanneer daarentegen een structureel hoge minimale restvraag ontstaat en kernenergie aantoonbaar beter beheersbaar wordt, kan een deel van de tijdelijke capaciteit later door kernenergie worden vervangen.

Het voordeel van een portfolio is dat niet alle onzekerheid in één project wordt geconcentreerd. Een tegenvaller in één techniek brengt niet onmiddellijk de gehele strategie in gevaar. Investeringen kunnen bovendien dichter bij het moment van behoefte worden genomen en in kleinere stappen worden uitgevoerd.

8.8 Tijdelijke voorzieningen mogen geen nieuwe lock-in veroorzaken

De waarde van overbruggingsopties ligt in hun corrigeerbaarheid. Daarom moet worden voorkomen dat zij zelf een nieuwe langdurige afhankelijkheid creëren.

Bij levensduurverlenging moet de investering passen bij de beoogde overbruggingsperiode. Een zeer grote modernisering die alleen kan worden terugverdiend bij tientallen jaren intensief bedrijf kan de keuzevrijheid juist verminderen.

Bij een nieuwe STEG moet niet worden aangenomen dat toekomstige waterstof of ammoniak vanzelf betaalbaar en beschikbaar wordt. De centrale moet ook bij een tegenvallende brandstofontwikkeling een duidelijke en begrensde functie hebben.

Bij biomassa en CO_2-afvang moeten duurzaamheid, infrastructuur en emissies niet alleen op papier zijn geregeld. De tijdelijke functie mag geen reden worden om een onzekere brandstofketen onbeperkt voort te zetten.

Ook contracten voor beschikbaarheid moeten periodiek kunnen worden herzien. Zij moeten zekerheid bieden aan de eigenaar, maar mogen niet verhinderen dat capaciteit wordt afgebouwd wanneer zij niet meer nodig is.

Een overbrugging vraagt daarom vooraf een duidelijke functie, evaluatiemomenten en voorwaarden voor beëindiging of aanpassing. Daarmee blijft zij een middel om tijd te kopen en wordt zij geen doel op zichzelf.

8.9 De vergelijking met kernenergie

De overbruggingsopties verschillen fundamenteel van een grote kerncentrale. Zij vragen doorgaans minder nieuw kapitaal, zijn sneller beschikbaar en kunnen in kleinere stappen worden aangepast. Daar staan hogere brandstofkosten, mogelijke CO_2-uitstoot en onzekerheid over toekomstige brandstoffen tegenover.

Kernenergie kan bij voldoende bedrijfsuren langdurig zeer veel CO_2-arme elektriciteit leveren. De overbruggingsopties zijn minder geschikt voor continue productie zonder emissies, maar beter corrigeerbaar wanneer de toekomstige behoefte anders blijkt dan verwacht.

Daarom mogen zij niet uitsluitend worden vergeleken op de gemiddelde productiekosten per MWh. De vergelijking moet ook rekening houden met het tijdstip van beschikbaarheid, het risico van vertraging, de investering die verloren gaat bij een andere ontwikkeling en de waarde van flexibiliteit.

Een duurdere geproduceerde MWh kan rationeel zijn wanneer zij slechts tijdens schaarse uren nodig is en afkomstig is uit een installatie met lage vaste kosten. Een goedkope berekende MWh uit een kapitaalintensieve centrale kan juist duur worden wanneer het aantal bedrijfsuren achterblijft of de centrale later gereedkomt.

De alternatieven moeten daarom op hun systeemfunctie worden beoordeeld. Een overbruggingscentrale wordt niet gebouwd om een kerncentrale na te bootsen. Zij wordt ingezet om leveringszekerheid en flexibiliteit te bieden totdat duidelijk is of een structurele behoefte aan nieuwe basislast ontstaat.

8.10 Conclusie

Levensduurverlenging van bestaande STEG’s, behoud en mogelijke ombouw van moderne koleneenheden, nieuwbouw van flexibele STEG’s en verdere ontwikkeling van grootschalige opslag vormen geen onderling uitsluitende eindbeelden. Zij kunnen gezamenlijk een beheerste overbruggingsstrategie vormen.

Hun betekenis ligt niet alleen in hun technische productiecapaciteit. Zij behouden bestaande locaties en infrastructuur, kunnen relatief snel beschikbaar komen en maken het mogelijk toekomstige investeringsbesluiten op betere informatie te baseren.

Daarmee kopen zij tijd. Die tijd heeft waarde omdat de toekomstige vraag, de ontwikkeling van duurzame productie, de mogelijkheden van opslag en de werkelijke kosten en bouwtijden van kernenergie nog onzeker zijn.

De overbrugging mag geen excuus zijn om noodzakelijke verduurzaming uit te stellen. Zij moet worden gekoppeld aan heldere emissievoorwaarden, periodieke herbeoordeling en een actief programma voor duurzame productie, opslag, netten en toekomstige CO_2-arme brandstoffen.

Zolang nog niet vaststaat welke structurele systeembehoefte ontstaat, hebben voorzieningen die leveringszekerheid bieden en toekomstige keuzes openhouden een zelfstandige economische en bestuurlijke waarde.

9. Grote kerncentrales en SMR’s onder onzekerheid

9.1 Kernenergie is niet één techniek of één projectvorm

In het publieke debat worden grote kerncentrales en kleine modulaire reactoren vaak gezamenlijk onder de noemer kernenergie behandeld. Zij delen belangrijke kenmerken. Beide produceren elektriciteit door kernsplijting, kennen tijdens de normale bedrijfsvoering een zeer lage uitstoot van broeikasgassen en vragen langdurige voorzieningen voor veiligheid, beveiliging, toezicht, splijtstof, radioactief afval en ontmanteling.

Voor de investeringsbeslissing verschillen zij echter wezenlijk. Een moderne grote kerncentrale levert per reactor ongeveer 1.000 tot 1.700 MWe. Een SMR levert volgens de gebruikelijke internationale definitie maximaal ongeveer 300 MWe per module.[1] Een SMR-centrale kan uit één module bestaan, maar ook uit een reeks modules op dezelfde locatie.

De grote reactor concentreert een zeer omvangrijke productie, investering en bouwopgave in één project. De SMR verdeelt het vermogen in kleinere stappen en kan daardoor in beginsel meer geleidelijk worden toegevoegd. Daar staat tegenover dat de economische voordelen van SMR’s sterk afhangen van standaardisering, fabrieksmatige productie en herhaling van hetzelfde ontwerp.

Daarom moeten grote reactoren en SMR’s niet alleen op vermogen of kostprijs worden vergeleken. Hun technische rijpheid, projectschaal, bouwrisico, vereiste bedrijfsuren, flexibiliteit, netinpassing en afhankelijkheid van seriebouw verschillen.

9.2 De kracht van de grote kerncentrale

Een grote kerncentrale kan na oplevering gedurende lange tijd een zeer grote hoeveelheid CO_2-arme elektriciteit produceren. Een reactor van 1.600 MWe die gedurende het grootste deel van het jaar beschikbaar is, kan jaarlijks ruim 12 TWh elektriciteit leveren. Dat is een materiële bijdrage aan de Nederlandse elektriciteitsvoorziening.

De schaal biedt economische voordelen wanneer de centrale veel bedrijfsuren maakt. Veel voorzieningen zijn niet recht evenredig met het elektrische vermogen. Organisatie, beveiliging, bediening, toezicht en bepaalde technische systemen kunnen bij een grote reactor over meer geproduceerde elektriciteit worden verdeeld dan bij een kleine reactor.

Een grote reactor kan bovendien gedurende lange perioden zonder nieuwe brandstoftoevoer elektriciteit produceren. De hoeveelheid splijtstof is beperkt in verhouding tot de energieproductie en kan ruim van tevoren worden ingekocht en opgeslagen. Daardoor is de centrale minder afhankelijk van dagelijkse of wekelijkse brandstofleveringen dan een fossiel gestookte centrale.

Deze eigenschappen maken een grote kerncentrale aantrekkelijk wanneer Nederland een langdurige, omvangrijke en betrekkelijk constante behoefte aan elektriciteit met een zeer lage uitstoot heeft. In dat geval worden de hoge investering en de lange voorbereiding gedragen door een groot aantal productie-uren over vele tientallen jaren.

Dezelfde schaal die bij hoge benutting een voordeel vormt, wordt echter een risico wanneer die behoefte niet voldoende zeker is.

9.3 Een grote eenheid vraagt een grote en langdurige afzetruimte

Een moderne grote reactor voegt in één stap ongeveer 1.000 tot 1.700 MWe toe. Voor een centrale met hoge vaste kosten en lage variabele kosten is het economisch aantrekkelijk zo veel mogelijk uren op hoog vermogen te produceren.

Daarvoor moet in de restvraag voldoende ruimte bestaan. De vraag is niet alleen of Nederland jaarlijks 10 of 12 TWh extra elektriciteit kan gebruiken. De vraag is of op het overgrote deel van de uren ruimte bestaat voor het volledige of vrijwel volledige vermogen van de centrale.

Wanneer wind en zon op veel uren al een groot deel van de vraag dekken, kan de kerncentrale met andere CO_2-arme productie om dezelfde afzetruimte concurreren. Zij kan technisch terugregelen, maar verliest dan productie-uren terwijl de financierings-, personeels-, onderhouds- en beveiligingskosten grotendeels blijven bestaan.

De grote reactor past daarom het beste in een systeem met een aantoonbaar hoge minimale restvraag. Een grote jaarvraag of een hoge maximale wintervraag is daarvoor onvoldoende. Er moet gedurende een groot deel van het jaar een ondergrens bestaan waaronder de restvraag niet daalt.

Wanneer Nederland meerdere grote reactoren bouwt, wordt deze voorwaarde nog zwaarder. Niet alleen voor de eerste reactor, maar ook voor iedere volgende reactor moet voldoende structurele afzetruimte bestaan. De economische ruimte voor één grote reactor bewijst niet automatisch de ruimte voor twee, vier of meer reactoren.

9.4 Technische flexibiliteit is niet hetzelfde als economische geschiktheid

Moderne kerncentrales kunnen technisch vermogen variëren en bepaalde ontwerpen kunnen aan frequentieregeling en lastvolgend bedrijf deelnemen. De IAEA heeft hiervoor afzonderlijke bedrijfsrichtlijnen opgesteld.[2] Het is daarom te absoluut om te stellen dat een kerncentrale uitsluitend op een constant vermogen kan functioneren.

Daaruit volgt echter niet dat een grote kerncentrale economisch gelijkwaardig is aan een flexibele STEG. Het verschil ligt in de kostenstructuur en in de aard van de bedrijfsvoering.

Een kerncentrale heeft zeer hoge vaste kosten en betrekkelijk lage brandstofkosten. Wanneer zij eenmaal beschikbaar is, levert iedere niet-geproduceerde MWh maar een beperkte besparing op brandstof en variabele kosten op, terwijl wel inkomsten verloren gaan. Economisch bestaat daardoor een sterke druk om te blijven produceren.

Een STEG heeft doorgaans lagere vaste kosten en hogere variabele kosten. Wanneer de elektriciteitsprijs onder de brandstof- en emissiekosten daalt, kan stoppen juist economisch logisch zijn. De installatie is dan niet alleen technisch, maar ook economisch ingericht op een wisselend aantal bedrijfsuren.

Daarnaast vraagt frequent en diep cyclisch bedrijf aandacht voor thermische belasting, onderhoud en splijtstofbeheer. Een reactor die gedurende tientallen jaren veelvuldig wordt teruggeregeld, gestopt en herstart, kent een ander bedrijfs- en verouderingspatroon dan een reactor die vooral op hoog vermogen draait.

De relevante vraag is daarom niet of lastvolgend bedrijf technisch mogelijk is. De relevante vraag is hoeveel starts, stops en vermogenswisselingen gedurende de gehele levensduur zijn voorzien, welke gevolgen dat heeft voor onderhoud en beschikbaarheid en hoeveel bedrijfsuren overblijven om de investering terug te verdienen.

9.5 De levensduur kan een voordeel en een lock-in zijn

Een moderne kerncentrale wordt ontworpen voor een technische levensduur van vele tientallen jaren. Bij goed onderhoud, periodieke veiligheidsbeoordeling en vervanging van onderdelen kan mogelijk nog langer worden geproduceerd.

Dat is een belangrijk voordeel wanneer de behoefte eveneens langdurig bestaat. De investering kan dan over veel productie worden verdeeld en dezelfde locatie, aansluiting en organisatie blijven lang bruikbaar.

De technische levensduur van de installatie bewijst echter niet dat gedurende dezelfde periode een economische behoefte aan haar productie blijft bestaan. Het elektriciteitssysteem kan in zestig jaar ingrijpend veranderen. Wind, zon, opslag, internationale verbindingen, industrie en vraagsturing kunnen een andere omvang en kostenstructuur krijgen.

Ook het bedrijfsregime beïnvloedt de levensduur. Regelmatig terugregelen, stoppen en herstarten veroorzaakt andere thermische en mechanische belastingen dan langdurig stabiel bedrijf. De veronderstelde levensduur moet daarom worden onderbouwd voor de bedrijfsvoering die in het toekomstige Nederlandse elektriciteitssysteem werkelijk wordt verwacht.

Bij een lage benutting kan de centrale technisch nog in goede staat zijn, maar economisch onder druk komen. Wanneer de overheid of elektriciteitsgebruiker de inkomsten garandeert, verdwijnt dat economische probleem niet. Het risico wordt dan verplaatst naar de partij die de garantie verstrekt.

De lange levensduur kan daarmee omslaan in een langdurige financiële en systeemtechnische lock-in. Juist omdat de centrale zo lang kan functioneren, moet vooraf overtuigend worden aangetoond dat zij niet alleen in het verwachte scenario, maar ook bij afwijkende ontwikkelingen voldoende waarde behoudt.

9.6 De investeringssprong van een grote reactor

Een grote kerncentrale vraagt een zeer omvangrijke investering voordat de eerste elektriciteit wordt geleverd. Tijdens ontwerp, vergunningverlening en bouw worden jarenlang kosten gemaakt zonder productie-inkomsten. De rente tijdens de bouw kan daardoor een groot deel van de uiteindelijke kosten bepalen.

Bij vertraging werkt dit effect in twee richtingen. De directe bouwkosten kunnen stijgen en het reeds geïnvesteerde vermogen moet langer worden gefinancierd. Tegelijkertijd worden de verwachte opbrengsten later ontvangen. Ook moet het elektriciteitssysteem langer met vervangende productie worden ondersteund.

Internationale ervaringen laten zien dat vertraging en kostenoverschrijding bij recente grote nucleaire projecten in verschillende OECD-landen geen theoretische risico's zijn. De OECD Nuclear Energy Agency noemt bouwkosten, vertraging en voltooiingsrisico de belangrijkste risico's tijdens de nieuwbouwfase.[3]

Dat betekent niet dat ieder toekomstig project hetzelfde verloop moet hebben. Herhaling van een bestaand ontwerp, een ervaren opdrachtgever, een goed voorbereide locatie, stabiele regelgeving en een volwassen toeleveringsketen kunnen de uitvoering verbeteren.

Voor Nederland is echter niet voldoende dat deze verbeteringen mogelijk zijn. Voor het definitieve investeringsbesluit moet worden aangetoond hoe zij in het concrete project zijn georganiseerd. Een optimistische planning mag niet alleen rusten op de verwachting dat van buitenlandse fouten is geleerd.

9.7 Standaardisering vraagt beperking van Nederlandse uitzonderingen

De kosten en bouwtijd van kernenergie kunnen vooral verbeteren wanneer een bewezen ontwerp meerdere keren vrijwel ongewijzigd wordt gebouwd. Iedere locatie specifieke aanpassing, nieuwe nationale eis of wijziging tijdens de bouw kan ontwerpwerk, kwaliteitsborging en vergunningverlening opnieuw openen.

Nederland staat daarmee voor een spanning. Enerzijds moet een centrale voldoen aan de specifieke omstandigheden van de locatie, het Nederlandse recht, het elektriciteitsnet, de waterhuishouding en de eisen van de toezichthouder. Anderzijds wordt het economische voordeel van standaardisering kleiner wanneer het ontwerp ingrijpend wordt gewijzigd.

Daarom moet vroeg worden bepaald welke eisen werkelijk locatie specifiek en onvermijdelijk zijn. Late wijzigingen moeten zo veel mogelijk worden voorkomen. Dat vraagt dat locatieonderzoek, netinpassing, koelwater, veiligheid en vergunningverlening ver genoeg zijn uitgewerkt voordat met de bouw wordt begonnen.

De keuze voor een reeds meerdere keren gebouwd ontwerp kan het uitvoeringsrisico verminderen. Zij beperkt echter de vrijheid om tijdens het project nieuwe wensen toe te voegen. Politiek en bestuur moeten die discipline gedurende vele jaren kunnen volhouden.

9.8 De netaansluiting en de uitval van het grootste blok

Een grote reactor vraagt een zeer zware netaansluiting. De locatie moet het volledige vermogen onder normale omstandigheden kunnen afvoeren. Tegelijkertijd moet het elektriciteitssysteem bestand zijn tegen het plotselinge verlies van de gehele eenheid.

Een reactor van 1.600 MWe is niet alleen een bron van veel productie. Hij vormt ook één zeer groot mogelijk storingsverlies. Bij onverwachte uitschakeling moeten reservevermogen, batterijen, vraagrespons en andere systeemmiddelen de frequentiedaling opvangen.

De kosten van deze voorzieningen mogen niet uitsluitend aan het algemene elektriciteitssysteem worden toegerekend. De omvang van het grootste productieblok beïnvloedt immers mede de vereiste reserve.

Ook tijdens gepland onderhoud en splijtstofwissels valt het volledige vermogen voor langere tijd weg. De onderhoudsperiode kan worden gepland in een seizoen met een lagere verwachte restvraag, maar er moet voldoende andere capaciteit aanwezig blijven om ook onverwachte tegenvallers op te vangen.

De centrale is bovendien zelf afhankelijk van een betrouwbaar elektriciteitsnet voor start, stilstand en veiligheidsfuncties. Kerncentrale en net vormen daardoor een wederzijds afhankelijke combinatie.[4]

De tijdige beschikbaarheid van de netaansluiting moet daarom een harde voorwaarde voor het project zijn en niet een afzonderlijk infrastructuurproject waarvan wordt aangenomen dat het later wel zal aansluiten.

9.9 Locatie en lokale aanvaardbaarheid zijn onderdeel van de haalbaarheid

Een technisch geschikte nucleaire locatie moet voldoen aan eisen op het gebied van koeling, bodem, overstromingsrisico, externe gevaren, bereikbaarheid, beveiliging en verbinding met het elektriciteitsnet. Ook de mogelijkheden voor noodmaatregelen en de aanwezigheid van bevolking en andere risicovolle activiteiten in de omgeving zijn relevant.

In een dichtbevolkt en intensief gebruikt land is een technisch mogelijke locatie nog niet vanzelfsprekend maatschappelijk en bestuurlijk beschikbaar. Industrie, woningbouw, natuur, scheepvaart en andere energieprojecten kunnen een beroep doen op dezelfde ruimte.

Lokale aanvaardbaarheid is daarom geen communicatieve activiteit die pas begint nadat de techniek is gekozen. Zij is een voorwaarde voor uitvoerbaarheid. Langdurig lokaal en regionaal verzet kan procedures vertragen en het politieke draagvlak gedurende de voorbereiding en bouw aantasten.

Een centrale met een levensduur van zestig jaar of langer vraagt bovendien een langdurige verhouding met de omgeving. Niet alleen de bouw, maar ook exploitatie, beveiliging, afvaltransporten en uiteindelijke ontmanteling hebben lokale gevolgen.

Een locatiebesluit moet daarom niet uitsluitend worden gebaseerd op de vraag waar de centrale technisch kan worden geplaatst. Het moet ook laten zien waarom die locatie vanuit het gehele gebied en voor de gehele levensduur verdedigbaar is.

9.10 Financiering verlaagt het risico niet, maar verdeelt het

Private financiers zullen een project met een zeer lange bouwtijd en een groot voltooiingsrisico alleen financieren wanneer zij voldoende zekerheid krijgen over terugbetaling en opbrengsten. Die zekerheid kan bestaan uit garanties, gereguleerde inkomsten, langjarige prijscontracten of directe publieke deelname.

Dergelijke instrumenten kunnen de financieringskosten verlagen. Het onderliggende bouw- en afzetrisico verdwijnt echter niet. Het wordt verdeeld over leverancier, investeerders, overheid, belastingbetalers en elektriciteitsgebruikers.

Bij een grote kerncentrale is de vraag daarom niet alleen wat de berekende kostprijs per MWh is. Er moet zichtbaar zijn wie betaalt bij kostenoverschrijding, wie de lasten draagt wanneer de centrale later gereedkomt en wie wordt gecompenseerd wanneer de elektriciteitsprijzen of bedrijfsuren lager uitvallen.

Wanneer de overheid een groot deel van het risico overneemt, kan dat om strategische redenen gerechtvaardigd zijn. Daar moet dan wel publieke zeggenschap, volledige transparantie en onafhankelijke projectbeoordeling tegenover staan.

Een lage contractprijs die alleen mogelijk is doordat grote risico’s buiten de prijs bij de overheid zijn gelegd, is geen volledige weergave van de maatschappelijke kosten.

9.11 Afval en ontmanteling blijven langjarige verplichtingen

Een kerncentrale produceert naast elektriciteit radioactieve afvalstromen, waaronder gebruikte splijtstof en ander langlevend afval. De hoeveelheden zijn in fysiek volume beperkt ten opzichte van de grote energieproductie, maar vragen wel langdurig beheer en uiteindelijk een definitieve bergingsoplossing.

Ook moet de centrale na beëindiging van de productie veilig worden ontmanteld. Daarvoor moeten gedurende de exploitatie voldoende financiële middelen worden gereserveerd.

Deze verplichtingen maken kernenergie niet per definitie onaanvaardbaar. Zij moeten wel volledig worden meegewogen in een besluit dat zich over meerdere generaties uitstrekt. Een gunstige kostprijs mag niet worden verkregen door toekomstige kosten te laag te ramen of buiten de projectvergelijking te plaatsen.

Bij een keuze voor meerdere reactoren neemt niet alleen de productie toe, maar ook de omvang van de nucleaire organisatie, afvalketen, ontmantelingsopgave en het benodigde toezicht.

9.12 Wat een SMR anders maakt

Een SMR heeft per module een kleiner elektrisch vermogen dan een grote kerncentrale. De IAEA hanteert als bovengrens ongeveer 300 MWe per module.[1] Sommige ontwerpen zijn veel kleiner, terwijl een locatie uit meerdere modules kan bestaan.

De kleinere module kan de investering beter aan te laten sluiten bij de behoefte. In plaats van in één keer 1.600 MWe toe te voegen, kan eerst een module van bijvoorbeeld enkele tientallen of honderden megawatt worden gebouwd. Een volgende module kan volgen wanneer de vraag zich daadwerkelijk ontwikkelt.

De uitval van één module is ook kleiner dan de uitval van één grote reactor. Daardoor kan minder onmiddellijk reservevermogen nodig zijn. Onderhoud kan mogelijk per module worden gepland, terwijl andere modules blijven produceren.

Een SMR kan door zijn omvang beter aansluiten bij een regionale industriële vraag, een kleinere netaansluiting of de vervanging van een bestaande productie-eenheid. Ook kan een park geleidelijk worden uitgebreid.

Dit zijn reële potentiële voordelen. Zij betekenen echter niet dat een SMR eenvoudigweg een kleine en goedkope versie van een grote kerncentrale is.

9.13 De economie van SMR's berust op herhaling

Een grote reactor probeert de kosten per eenheid vermogen te verlagen door schaalvergroting. Een SMR verliest een deel van dat schaalvoordeel. Hij moet dit compenseren met eenvoudiger ontwerpen, fabrieksmatige productie, kortere bouwtijden en seriebouw.

De economische belofte berust daarom niet alleen op de eerste module. Zij berust op een vloot van grotendeels identieke modules die herhaaldelijk wordt geproduceerd en gebouwd. Pas na meerdere eenheden kunnen ontwerp, fabricage, vergunningverlening en montage een leercurve doorlopen.

De IAEA wijst erop dat de eerste SMR-projecten de voordelen van volledige serieproductie nog niet automatisch realiseren. De economie van de zogenoemde *nth of a kind* ontstaat pas nadat ervaring met de eerste eenheden is opgedaan.[5]

Daarmee ontstaat een belangrijk verschil tussen het projectrisico van de koper en het industriële toekomstbeeld van de leverancier. Voor de leverancier kan de eerste eenheid de toegang tot een grote toekomstige markt openen. Voor de eerste afnemer is het dezelfde eenheid die de nog niet bewezen planning, kosten en productieorganisatie moet doorlopen.

Nederland moet daarom niet betalen voor een theoretische kostprijs die pas na een grote internationale serie wordt verwacht. Voor het investeringsbesluit zijn de kosten, garanties en planning van de daadwerkelijk te bouwen Nederlandse eenheid bepalend.

9.14 Een kleinere reactor betekent niet vanzelf een kleiner programma

Een afzonderlijke SMR vraagt minder vermogen en mogelijk minder kapitaal dan een grote kerncentrale. Wanneer Nederland echter dezelfde hoeveelheid elektriciteit wil produceren, zijn meerdere modules nodig.

Een park van zes modules van 250 MWe heeft ongeveer hetzelfde elektrische vermogen als één grote reactor van 1.500 MWe. De modules kunnen gefaseerd worden gebouwd, maar gezamenlijk vormen zij nog steeds een groot nucleair programma met een zware netaansluiting, beveiliging, personeel, afvalbeheer en langdurige financiële verplichtingen.

Sommige voorzieningen kunnen door de modules gezamenlijk worden gebruikt. Dat kan kosten besparen. Tegelijkertijd kunnen gemeenschappelijke systemen nieuwe afhankelijkheden creëren. Een storing in de netaansluiting, koeling, beveiliging of een gedeeld hulpsysteem kan meerdere modules raken.

Daarom moet bij SMR's onderscheid worden gemaakt tussen het risico van één module en het risico van het gehele park. Modulariteit vermindert de omvang van een afzonderlijke bouwstap, maar niet noodzakelijk de totale omvang van de uiteindelijke keuze.

9.15 De technische en commerciële rijpheid van SMR's

SMR is een verzamelnaam voor sterk verschillende ontwerpen. Sommige zijn verkleinde watergekoelde reactoren die voortbouwen op bestaande technologie. Andere gebruiken gas, vloeibaar metaal of gesmolten zout als koelmiddel en kunnen andere brandstoffen en temperaturen toepassen.

Die verscheidenheid biedt mogelijkheden, maar maakt algemene uitspraken moeilijk. De technische rijpheid, splijtstofketen, afvalstromen, industriële toepassingen en vergunningservaring verschillen per ontwerp.

De IAEA meldde dat in 2024 wereldwijd twee SMR-ontwerpen commercieel in bedrijf waren: de Russische drijvende centrale Akademik Lomonosov en de Chinese HTR-PM.[6] Deze projecten vormen waardevolle ervaring, maar nog geen brede Westerse serie van identieke, fabrieksmatig geproduceerde lichtwater-SMR's.

De Europese Commissie streeft er in haar strategie van maart 2026 naar de eerste Europese SMR-projecten in het begin van de jaren dertig in bedrijf te krijgen.[7] Dat maakt duidelijk dat SMR's voor Europa nog in de fase van ontwikkeling, demonstratie en eerste toepassing verkeren.

Voor Nederland betekent dit dat een SMR niet als een onmiddellijk beschikbare standaardoplossing mag worden behandeld. Het is wel een optie die actief kan worden gevolgd en voorbereid, zodat later gebruik kan worden gemaakt van buitenlandse ontwerp-, bouw- en bedrijfservaring.

9.16 SMR's en flexibiliteit

Het kleinere vermogen van een SMR kan beter aansluiten bij een variabele restvraag. Eén module kan mogelijk op hoog vermogen blijven draaien terwijl een andere module wordt teruggeschakeld of voor onderhoud buiten bedrijf is. Nieuwe modules kunnen alleen worden toegevoegd wanneer voldoende vraag ontstaat.

Daarmee kan het park als geheel beter worden gefaseerd dan één grote reactor. De economische druk om iedere afzonderlijke module veel uren te laten produceren blijft echter bestaan. Ook een SMR heeft hoge vaste kosten en lage variabele brandstofkosten.

Wanneer meerdere modules op dezelfde locatie zijn gebouwd en met dezelfde financieringsregeling worden ondersteund, kan de eigenaar eveneens worden gestimuleerd het gehele park zo veel mogelijk te laten produceren. Modulariteit verandert dus niet automatisch de economische logica van nucleaire productie.

De werkelijke waarde hangt af van de schaal van de afzonderlijke module, de investeringskosten per kW, de minimale belasting, de snelheid van vermogensverandering en het aantal cycli waarvoor het ontwerp en de businesscase zijn ingericht.

9.17 Warmtelevering door SMR’s

Door hun kleinere schaal kunnen SMR’s beter aansluiten bij een industriële of regionale warmtevraag dan een grote reactor met duizenden megawatt thermisch vermogen. Sommige geavanceerde ontwerpen kunnen bovendien warmte op een hoger temperatuurniveau leveren.

Dat maakt warmtekoppeling bij een SMR minder onevenwichtig dan bij een grote kerncentrale. Het neemt de eerder beschreven voorwaarden echter niet weg. De afnemer moet op korte afstand aanwezig zijn, het temperatuurniveau moet passen en de warmtevraag moet gedurende een groot deel van het jaar voldoende zijn.

Ook moet de afnemer zich voor een lange periode verbinden. De reactor kan niet economisch afhankelijk worden gemaakt van een fabriek die na vijftien of twintig jaar sluit of haar proces verandert.

Daarnaast blijft het conflict tussen warmte- en elektriciteitsbedrijf bestaan. Wanneer de warmteafnemer levering nodig heeft terwijl de elektriciteitsprijs zeer laag of negatief is, kan de SMR worden gedwongen in bedrijf te blijven. Warmtelevering creëert dan eveneens een *must-run*-situatie.

De kleinere schaal maakt warmtebenutting dus mogelijk beter passend, maar niet vanzelf bepalend voor de keuze.

9.18 SMR’s en locaties

Een kleinere module vraagt een minder zware aansluiting en kan theoretisch op meer locaties worden ingepast. Dat betekent echter niet dat een SMR een gewone industriële installatie is die eenvoudig nabij iedere warmtegebruiker of stad kan worden geplaatst.

Ook een SMR is een kernreactor. Locatieonderzoek, veiligheid, beveiliging, noodmaatregelen, koelvoorzieningen, toezicht en langdurige ruimtelijke borging blijven noodzakelijk. De precieze eisen kunnen per ontwerp en vermogen verschillen, maar verdwijnen niet door het gebruik van het woord modulair.

Wanneer SMR’s op veel afzonderlijke locaties worden geplaatst, ontstaat bovendien een bredere organisatorische opgave. Iedere locatie vraagt beveiliging, lokale voorbereiding, toezicht, onderhoud en een relatie met de omgeving.

Plaatsing van meerdere modules op bestaande nucleaire of grote energielocaties kan organisatorische voordelen hebben. De mogelijkheid om kleinere reactoren regionaal te verspreiden moet echter afzonderlijk worden afgewogen tegen de extra eisen aan organisatie, beveiliging en toezicht.

9.19 Grote reactor of SMR

De grote reactor en de SMR kennen ieder een ander risicoprofiel.

De grote reactor is gebaseerd op een technisch volwassen categorie installaties en kan in één keer zeer veel CO_2-arme elektriciteit leveren. Hij concentreert echter een zeer grote investering, bouwopgave, netaansluiting en mogelijke uitval in één project. Zijn economische succes vraagt veel bedrijfsuren en een langdurig hoge restvraag.

De SMR maakt een kleinere en beter faseerbare vermogensstap mogelijk. Hij kan daardoor beter aansluiten bij een geleidelijk groeiende vraag en verkleint het gevolg van de uitval van één module. De verwachte kostendaling is echter afhankelijk van standaardisering en internationale seriebouw die in Europa nog niet commercieel is aangetoond.

De grote reactor heeft daarmee vooral een schaal- en projectrisico. De SMR heeft daarnaast een ontwikkelings-, eerste-toepassings- en serierisico.

Het is daarom niet juist om de grote reactor als bewezen en goedkoop te behandelen. Evenmin is het juist de SMR als een reeds beschikbare, flexibele en goedkope oplossing te presenteren.

9.20 Voorwaarden voor een grote kerncentrale

Een grote kerncentrale wordt een robuuste mogelijkheid wanneer verschillende voorwaarden tegelijk zijn vervuld. Er moet gedurende vele jaren een structurele restvraag bestaan die voldoende bedrijfsuren mogelijk maakt. De locatie moet technisch, ruimtelijk en maatschappelijk uitvoerbaar zijn. De netaansluiting en de reserve voor uitval van het grote blok moeten tijdig beschikbaar zijn.

Daarnaast moet het gekozen ontwerp voldoende referentieprojecten hebben en moet de Nederlandse uitvoering aantoonbaar kunnen profiteren van standaardisering en een volwassen toeleveringsketen. Kosten en planning moeten niet alleen project specifiek worden geraamd, maar ook worden getoetst aan gerealiseerde vergelijkbare projecten.

Ten slotte moet vooraf duidelijk zijn wie het risico van vertraging, kostenoverschrijding en minder bedrijfsuren draagt. Ook moet een geloofwaardige terugvalroute bestaan voor het geval de centrale later of niet gereedkomt.

Wanneer deze voorwaarden niet overtuigend kunnen worden aangetoond, is niet de techniek onmogelijk, maar het investeringsbesluit onvoldoende robuust.

9.21 Voorwaarden voor een SMR

Voor een SMR gelden deels dezelfde voorwaarden, maar komen aanvullende vragen naar voren. Het ontwerp moet voldoende technisch en vergunning technisch zijn uitgewerkt. De kosten van de eerste Nederlandse module moeten zijn gebaseerd op een uitvoerbaar contract en niet uitsluitend op een toekomstige seriekostprijs.

Ook moet duidelijk zijn hoeveel identieke modules internationaal werkelijk zijn besteld en gebouwd, waar de fabriek en toeleveringsketen zich bevinden en wie het risico draagt wanneer de verwachte serie niet tot stand komt.

Een eerste module moet zelfstandig een nuttige en economisch verdedigbare functie hebben. Zij mag niet alleen aantrekkelijk lijken wanneer Nederland zich vooraf verplicht tot een groot aantal vervolgeenheden.

De gefaseerde opbouw moet werkelijk beslisruimte bieden. Na iedere module moet op basis van vraagontwikkeling, kosten en bedrijfservaring kunnen worden besloten of uitbreiding zinvol is. Een contract dat Nederland feitelijk vooraf aan de gehele serie bindt, neemt een belangrijk voordeel van modulariteit weg.

9.22 Conclusie

Grote kerncentrales en SMR's kunnen beide een bijdrage leveren aan een betrouwbare elektriciteitsvoorziening met een zeer lage uitstoot. Hun geschiktheid hangt echter af van het systeem waarin zij moeten functioneren en van de uitvoerbaarheid van het concrete project.

Een grote reactor levert veel elektriciteit uit één installatie, maar vraagt een grote en langdurige afzetruimte, een zeer zware aansluiting en een omvangrijke investering die vóór de eerste productie grotendeels is vastgelegd.

Een SMR kan de investering en capaciteitsuitbreiding in kleinere stappen verdelen. Dat vermindert bepaalde risico's, maar introduceert andere onzekerheden rond eerste toepassing, kostprijs en de seriebouw waarvan het economische voordeel afhankelijk is.

Daarom kan niet in algemene zin worden vastgesteld dat groot of klein nucleair de voorkeur verdient. De grote reactor moet zich bewijzen als beheersbaar project voor een aangetoonde grote basislastbehoefte. De SMR moet zich bewijzen als industrieel product waarvan kosten, planning en herhaalbaarheid niet alleen worden verwacht, maar in de praktijk zijn aangetoond.

De grote kerncentrale vraagt zekerheid over een zeer grote en langdurige behoefte. De SMR vraagt daarnaast zekerheid over de techniek, de eerste toepassing en de seriebouw die haar economische belofte moet waarmaken.

Zolang die zekerheden nog onvoldoende bestaan, blijft het rationeel beide nucleaire mogelijkheden technisch en bestuurlijk voor te bereiden, maar het elektriciteitssysteem niet afhankelijk te maken van hun tijdige en betaalbare oplevering.

Bronverantwoording

[1] De IAEA definieert SMR's als geavanceerde reactoren met een elektrisch vermogen van maximaal ongeveer 300 MWe per module. Ter vergelijking: de Amerikaanse AP1000 levert ongeveer 1.100 MWe en een EPR ongeveer 1.650 MWe. (IAEA)

[2] De IAEA beschrijft lastvolgend bedrijf en frequentieregeling als technisch mogelijke bedrijfswijzen van kerncentrales, maar behandelt daarbij ook de gevolgen voor ontwerp, splijtstofbeheer, onderhoud en bedrijfsvoering. (www-pub.iaea.org)

[3] De OECD Nuclear Energy Agency beschouwt kostenoverschrijding, vertraging en het risico dat een nieuwbouwproject niet wordt voltooid als centrale bouw- en

financieringsrisico’s. De NEA constateert tevens dat recente projecten in OECD-landen veelal met aanzienlijke vertragingen en kostenoverschrijdingen zijn geconfronteerd. (Nuclear Energy Agency (NEA))

[4] De IAEA benadrukt dat kerncentrales niet alleen grote hoeveelheden elektriciteit aan het net leveren, maar ook afhankelijk zijn van een stabiele externe stroomvoorziening voor veilig starten, stilleggen en veiligheidsfuncties. Ook moet het systeem rekening houden met langdurig gepland onderhoud en de uitval van grote productie-eenheden. (IAEA)

[5] Volgens de IAEA worden de volledige economische voordelen van modulaire serieproductie niet noodzakelijk bij de eerste SMR’s gerealiseerd. De verwachte leereffecten behoren vooral bij latere, herhaalde eenheden van hetzelfde ontwerp. (www-pub.iaea.org)

[6] De IAEA meldde dat in 2024 twee SMR-ontwerpen commercieel in bedrijf waren: Akademik Lomonosov in Rusland en HTR-PM in China. De IAEA wijst er tevens op dat de eerste toepassing van een SMR aanzienlijke voorbereiding vraagt doordat nog weinig specifieke bedrijfservaring beschikbaar is. (Nucleus)

[7] De Europese Commissie publiceerde op 10 maart 2026 een strategie om de eerste Europese SMR-projecten in het begin van de jaren dertig in bedrijf te krijgen. De strategie benadrukt daarvoor de noodzaak van een vlootbenadering, industriële standaardisering, een Europese toeleveringsketen en samenwerking tussen overheid, industrie, financiers en toezichthouders. (energy.ec.europa.eu)

Hoofdstuk 10 brengt de vijf hoofdopties uit de oorspronkelijke studie samen met opslag en vraagsturing. De vergelijking gaat niet uit van één voorspelde toekomst, maar van de vraag welke strategie onder uiteenlopende ontwikkelingen voldoende blijft functioneren.

10. Vergelijking van de opties en strategieën

10.1 Niet iedere optie vervult dezelfde functie

Na de afzonderlijke bespreking van de systeembehoefte, de restvraag, de overbruggingsmogelijkheden en de nucleaire opties kan de vergelijking worden samengebracht. Daarbij moet worden voorkomen dat installaties uitsluitend naast elkaar worden gezet alsof zij allemaal dezelfde dienst leveren.

Een bestaande STEG die beschikbaar blijft voor perioden met weinig wind en zon vervult een andere functie dan een kerncentrale die gedurende een groot deel van het jaar elektriciteit produceert. Een batterij die vier uur kan ontladen is niet rechtstreeks vergelijkbaar met een centrale die twee weken achtereen kan draaien. Een SMR die in kleine stappen kan worden toegevoegd heeft een ander risicoprofiel dan één grote reactor van 1.600 MWe.

De vergelijking begint daarom niet bij de vraag welke centrale technisch het beste is. Zij begint bij de functie die moet worden vervuld. Daarna wordt beoordeeld welke optie die functie betrouwbaar kan leveren, wanneer zij beschikbaar kan zijn, welke onzekerheden eraan verbonden zijn en welke gevolgen ontstaan wanneer de oorspronkelijke verwachting niet uitkomt.

In deze studie worden vijf hoofdopties onderscheiden. Het gaat om levensduurverlenging van bestaande STEG’s, behoud en mogelijke ombouw van moderne koleneenheden, nieuwbouw van moderne STEG’s, bouw van grote kerncentrales en ontwikkeling of toepassing van SMR’s. Opslag, vraagsturing, import en netuitbreiding worden daarbij als aanvullende systeemmiddelen beschouwd. Zij kunnen de behoefte aan centrales beïnvloeden, maar nemen niet onder alle omstandigheden hun volledige functie over.

10.2 De vergelijking moet meer omvatten dan de kostprijs per MWh

De berekende productiekosten per MWh zijn belangrijk, maar niet voldoende. Zij hangen sterk af van het aantal bedrijfsuren, de financieringskosten, de brandstofprijs, de bouwtijd en de technische levensduur. Wanneer deze aannamen verschillen, kunnen twee kostenberekeningen voor dezelfde techniek tot zeer verschillende uitkomsten leiden.

Voor een kapitaalintensieve centrale is vooral de benuttingsgraad van belang. Hoge vaste kosten kunnen over veel geproduceerde MWh worden verdeeld wanneer de installatie langdurig op hoog vermogen draait. Wanneer zij regelmatig moet terugregelen of stoppen, stijgen de kosten per geproduceerde MWh snel.

Voor een centrale met een lagere investering en hogere brandstofkosten geldt een andere logica. Zij kan per geproduceerde MWh duurder zijn, maar toch economisch rationeel wanneer zij slechts gedurende een beperkt aantal uren nodig is. De samenleving betaalt dan niet voor voortdurende productie, maar voor het beschikbaar hebben van vermogen tijdens schaarse perioden.

Ook de bouw- en voorbereidingstijd moet worden meegewogen. Een installatie die over drie tot vijf jaar beschikbaar kan zijn, vervult een andere functie dan een project dat mogelijk pas

na vijftien jaar of langer elektriciteit levert. De behoefte tijdens de tussenliggende jaren verdwijnt niet doordat een toekomstige centrale is gepland.

Ten slotte is van belang hoeveel van de investering verloren gaat wanneer de werkelijkheid anders verloopt dan verwacht. Een optie die in kleinere stappen kan worden uitgevoerd en aangepast, is bij grote onzekerheid minder kwetsbaar dan een project waarbij het grootste deel van het kapitaal vooraf en onomkeerbaar wordt vastgelegd.

10.3 Bestaande STEG's: geringe nieuwe investering en grote corrigeerbaarheid

Levensduurverlenging van bestaande STEG's heeft als belangrijkste voordeel dat een groot deel van de installatie en infrastructuur al aanwezig is. De centrale beschikt over een locatie, netaansluiting, koeling, brandstoftoevoer, gebouwen, vergunningservaring en gekwalificeerd personeel.

De nieuwe investering kan daardoor beperkt blijven tot inspectie, groot onderhoud, vervanging van kritieke onderdelen en gerichte modernisering. De exacte kosten hangen af van de technische staat en kunnen pas na diepgaand onderzoek worden vastgesteld.

Een bestaande STEG kan middenlast, piekvermogen en reserve leveren. Zij kan langere perioden produceren wanneer wind en zon weinig leveren en op andere momenten worden teruggeschakeld of stilgezet. Daarmee sluit zij goed aan op een elektriciteitssysteem waarin het aantal bedrijfsuren onzeker is.

Het rendement kan lager zijn dan dat van een nieuwe STEG. Bij veel bedrijfsuren leidt dat tot hogere brandstofkosten en een hogere uitstoot. Bij weinig bedrijfsuren kan het beperkte nieuwe kapitaal echter zwaarder wegen dan het lagere rendement.

De optie is bovendien goed corrigeerbaar. Wanneer na tien of vijftien jaar blijkt dat kernenergie, opslag of andere technieken voldoende capaciteit leveren, kan de centrale worden gesloten zonder dat kort daarvoor een volledig nieuw productiepark is gebouwd.

De zwakke kant is dat bij gebruik van aardgas CO_2 vrijkomt en dat toekomstige kosten afhankelijk blijven van brandstof- en emissieprijzen. Levensduurverlenging is daarom vooral verdedigbaar als tijdelijke of strategische capaciteit en minder als route naar langdurige intensieve fossiele productie.

De centrale koopt tijd, maar die tijd moet actief worden benut voor verdere verduurzaming en voorbereiding van structurele oplossingen.

10.4 Moderne koleneenheden: grote bestaande waarde, maar een complexe omzetting

Moderne koleneenheden beschikken over zware en kostbare infrastructuur die niet eenvoudig kan worden vervangen. De stoomturbine, generator, netaansluiting, koeling, kade, brandstoflogistiek en rookgasbehandeling vertegenwoordigen een aanzienlijke bestaande waarde.

Hun toekomstige bruikbaarheid hangt af van de mogelijkheid om een andere brandstof te gebruiken en de emissies voldoende te beperken. Ombouw naar biomassa of een andere vaste brandstof kan technisch mogelijk zijn, zeker wanneer al aanpassingen voor het gebruik van biokorrels zijn uitgevoerd. De werkelijke omvang van de benodigde aanpassing verschilt per installatie.

Wanneer CO_2-afvang en permanente opslag worden toegevoegd, kan de uitstoot sterk worden verminderd. Bij duurzame biomassa kan in beginsel zelfs netto CO_2-verwijdering ontstaan. Deze uitkomst is alleen verdedigbaar wanneer de duurzaamheid van de gehele brandstofketen overtuigend is en de CO_2 daadwerkelijk permanent wordt opgeslagen.

De investeringen in afvang, compressie en aansluiting op een CO_2-netwerk zijn aanzienlijk. Toch moeten zij worden vergeleken met de volledige kosten van nieuwbouw en niet alleen met de situatie waarin niets wordt aangepast.

Een moderne koleneenheid is minder snel regelbaar dan een moderne STEG, maar kan wel degelijk stoppen, starten en middenlast leveren. Zij kan vooral geschikt zijn voor langere productieperioden, bijvoorbeeld tijdens een meerdaagse of meerweekse periode met weinig wind en zon. Zeer frequent dagelijks starten en stoppen ligt minder voor de hand.

De optie kent aanzienlijke onzekerheden rond brandstof, maatschappelijke aanvaardbaarheid, emissies, CO_2-infrastructuur en resterende levensduur. Zij is daarom geen vanzelfsprekende oplossing, maar evenmin een optie die zonder onderzoek moet worden afgeschreven.

De strategische vraag is of het verstandig is een zware, moderne productielocatie onomkeerbaar te ontmantelen voordat duidelijk is of zij nog een nuttige functie kan vervullen.

10.5 Nieuwe moderne STEG’s: snel, flexibel en brandstofafhankelijk

Een nieuwe moderne STEG kan met een betrekkelijk korte voorbereidingstijd worden gebouwd en vraagt aanzienlijk minder kapitaal dan een grote kerncentrale. De capaciteit kan bovendien in kleinere stappen worden toegevoegd.

Technisch past een moderne STEG goed bij een wisselende restvraag. Zij kan efficiënt gedurende langere perioden produceren, maar ook snel terugregelen, stoppen en opnieuw starten. Sommige configuraties kunnen de gasturbine snel inzetten en later de stoomcyclus toevoegen.

Hierdoor kan de installatie zowel middenlast als reserve leveren. Wanneer de elektriciteitsvraag sterker groeit dan voorzien, kan zij meer uren produceren. Wanneer wind, zon en opslag sterker groeien, kan zij minder uren draaien zonder dat een even groot kapitaalverlies ontstaat als bij een zeer kapitaalintensieve basislastcentrale.

De keerzijde is de brandstofafhankelijkheid. Bij gebruik van aardgas blijft CO_2-uitstoot bestaan. Toekomstig gebruik van waterstof, ammoniak, biogas of synthetisch gas kan de uitstoot verminderen, maar de beschikbaarheid en prijs van deze brandstoffen zijn nog onzeker.

Ook CO_2-afvang en opslag kan een route vormen. Daarbij blijft een deel van de emissies bestaan en daalt het rendement. De infrastructuur voor transport en opslag moet bovendien tijdig beschikbaar zijn.

Een nieuwe STEG is daarom geen vanzelfsprekend klimaat neutrale eindoplossing. Zij kan wel een robuuste systeemoptie zijn wanneer flexibiliteit en tijdige beschikbaarheid zwaarder wegen dan langdurige productie tegen de laagste variabele kosten.

Het ontwerp moet zo veel mogelijk voorkomen dat de installatie alleen bruikbaar is onder één toekomstige brandstofaanname. Ruimte, aansluitingen en technische mogelijkheden voor latere aanpassing hebben daardoor zelfstandige waarde.

10.6 De grote kerncentrale: sterke productieprestatie, grote beslissprong

De grote kerncentrale onderscheidt zich door de combinatie van een zeer lage uitstoot tijdens de productie, een groot vermogen en het vermogen gedurende lange tijd grote hoeveelheden elektriciteit te leveren.

Wanneer Nederland gedurende vele tientallen jaren een structureel hoge minimale restvraag heeft, kan deze optie veel waarde bieden. De centrale kan dan veel bedrijfsuren maken en de hoge investering over een grote productie verdelen.

De centrale levert niet alleen energie, maar kan ook bijdragen aan diversificatie van de productie en vermindering van het gebruik van fossiele brandstoffen. De beperkte brandstofvolumes en de mogelijkheid splijtstof voor langere tijd beschikbaar te houden vormen een strategisch voordeel.

Tegenover deze voordelen staat een zeer grote investeringssprong. Een aanzienlijk deel van de kosten wordt gemaakt voordat de eerste elektriciteit wordt geproduceerd. Vertraging leidt daardoor niet alleen tot extra bouwkosten, maar ook tot hogere financieringskosten en uitgestelde opbrengsten.

De projectschaal beperkt de corrigeerbaarheid. Wanneer de vraag achterblijft of de restvraag anders wordt dan verwacht, kan de capaciteit niet eenvoudig worden verkleind. De centrale kan technisch terugregelen, maar de hoge vaste kosten blijven bestaan.

Een grote reactor creëert bovendien één groot mogelijk storingsverlies en vraagt een zware, tijdig beschikbare netaansluiting. Ook locatie, koeling, lokaal draagvlak, toezicht, afvalbeheer en ontmanteling moeten voor vele decennia worden geborgd.

De grote kerncentrale is daarmee potentieel zeer waardevol in het toekomstbeeld waarvoor zij geschikt is, maar relatief kwetsbaar wanneer de aannamen over vraag, bouwtijd, kosten en bedrijfsuren niet uitkomen.

10.7 SMR’s: kleinere stappen, maar nieuwe onzekerheden

SMR’s bieden het potentiële voordeel dat nucleair vermogen in kleinere stappen kan worden toegevoegd. De investering per module is lager dan bij één grote reactor en de uitval van één module heeft minder invloed op het elektriciteitssysteem.

De modulaire opbouw kan beter aansluiten bij een vraag die geleidelijk groeit. Na de eerste eenheid kan worden beoordeeld of en wanneer een volgende module nodig is. Dat voordeel bestaat echter alleen wanneer de contracten werkelijk de vrijheid laten om na iedere module opnieuw te beslissen.

De economische belofte van SMR’s berust sterk op standaardisering, fabrieksmatige productie en seriebouw. De eerste eenheden zullen die voordelen nog niet volledig hebben. Zij dragen juist de kosten en risico’s van de eerste toepassing, het opbouwen van de toeleveringsketen en het doorlopen van nieuwe vergunningstrajecten.

Een SMR kan daardoor projectmatig kleiner zijn, maar per kW duurder uitvallen dan een grote reactor zolang geen omvangrijke serie wordt geproduceerd. Het totale programma kan bovendien alsnog groot worden wanneer meerdere modules op dezelfde locatie worden gebouwd.

De kleinere schaal kan beter aansluiten bij regionale vraag en mogelijk bij bepaalde industriële warmtebehoeften. Warmte blijft echter een nevenfunctie. Ook bij een SMR moeten temperatuur, afstand, bedrijfsprofiel en langjarige afname overtuigend passen. Warmtelevering kan daarnaast tot gedwongen bedrijf leiden wanneer de elektriciteitsprijs laag of negatief is.

SMR’s zijn daarom vooral een mogelijkheid om actief te volgen en voor te bereiden. Een eerste Nederlandse toepassing wordt robuuster wanneer hetzelfde ontwerp elders al meerdere keren is gebouwd en de werkelijke kosten, bouwtijd en bedrijfsvoering bekend zijn.

10.8 Opslag: waardevol voor verschuiving, begrensd door energie-inhoud

Opslag kan geen energie produceren, maar kan het tijdstip van productie en gebruik beter op elkaar afstemmen. Daarmee kan zij de restvraag afvlakken en het aantal uren met overschotten of tekorten verminderen.

Voor korte perioden zijn batterijen technisch zeer geschikt. Zij kunnen snel reageren, frequentie ondersteunen en energie over enkele uren verschuiven. De investering kan in relatief kleine stappen worden uitgevoerd en later worden uitgebreid.

Voor langdurige windstille perioden is niet alleen veel vermogen, maar vooral een zeer grote energie-inhoud nodig. De kosten van opslag moeten daarom worden uitgedrukt in zowel MW als MWh en in de duur waarvoor het vermogen kan worden geleverd.

Seizoensopslag met waterstof, ammoniak of andere energiedragers kan in beginsel grote hoeveelheden energie bevatten. De volledige keten kent echter aanzienlijke omzettingsverliezen en vraagt productie, opslag, vervoer en omzetting naar elektriciteit.

Opslag vermindert de behoefte aan andere productie, maar neemt die behoefte niet automatisch weg. Naarmate meer opslag beschikbaar komt, kan een kerncentrale meer afzet vinden tijdens overschoturen, maar kan opgeslagen wind- en zonne-energie tegelijk een deel van de tekorturen overnemen.

De betekenis van opslag moet daarom in de chronologische systeemanalyse worden bepaald en niet als een onbeperkte technische mogelijkheid worden aangenomen.

10.9 De opties in een toekomst met beperkte vraaggroei

Wanneer de elektriciteitsvraag slechts beperkt groeit en wind en zon verder worden uitgebreid, zal de restvraag waarschijnlijk gedurende meer uren laag of negatief worden. De behoefte verschuift dan vooral naar flexibiliteit, kortdurende opslag en reserve tijdens perioden met weinig duurzame productie.

In dit toekomstbeeld passen levensduurverlengde STEG’s relatief goed. Zij vragen weinig nieuw kapitaal en kunnen beschikbaar blijven zonder voortdurend te produceren. Nieuwe STEG’s kunnen nodig zijn wanneer de bestaande capaciteit technisch onvoldoende is, maar moeten voorzichtig en gefaseerd worden toegevoegd.

Moderne koleneenheden kunnen vooral waarde hebben wanneer zij met beperkte aanpassingen langere tekortperioden kunnen overbruggen. Een grote en kostbare ombouw wordt moeilijker te rechtvaardigen wanneer het verwachte aantal bedrijfsuren laag is.

Een grote kerncentrale loopt in dit toekomstbeeld een aanzienlijk benuttingsrisico. De centrale kan tijdens windstille perioden nuttig zijn, maar moet tijdens veel andere uren met wind, zon en opslag om afzetruimte concurreren.

Een SMR sluit door zijn kleinere schaal beter aan, maar ook daarvoor moet voldoende structurele vraag bestaan. De lagere vraag maakt het bovendien moeilijker een groot aantal identieke modules te rechtvaardigen.

In deze toekomst is een portfolio van bestaande capaciteit, beperkte nieuwbouw, batterijen en vraagsturing waarschijnlijk robuuster dan een grote nieuwe basislastinvestering.

10.10 De opties bij sterke vraaggroei en gelijkblijvende duurzame productie

Wanneer de elektriciteitsvraag sterk groeit terwijl de productie uit wind en zon ongeveer gelijk blijft, stijgt de restvraag. Er ontstaat dan meer behoefte aan zowel middenlast als mogelijk basislast.

Bestaande STEG’s kunnen in de eerste jaren meer worden ingezet, maar het lagere rendement en de technische leeftijd kunnen bij veel bedrijfsuren een nadeel worden. Nieuwe moderne

STEG’s worden economisch aantrekkelijker wanneer zij voldoende uren maken, al blijft de brandstof- en emissievraag bestaan.

Moderne koleneenheden kunnen langere productieperioden leveren, mits een aanvaardbare brandstof- en CO_2-route beschikbaar is. Bij een hoog aantal bedrijfsuren worden rendement en emissieprestatie belangrijker.

In dit toekomstbeeld kan een grote kerncentrale goed passen. Een hoge en langdurige restvraag biedt veel bedrijfsuren en beperkt het risico dat de centrale moet worden afgeregeld. De lange levensduur kan dan een belangrijk voordeel zijn.

Ook SMR’s kunnen worden ingezet, vooral wanneer de vraag geleidelijk groeit en gefaseerde uitbreiding waardevol is. De keuze tussen een grote reactor en meerdere SMR’s hangt dan mede af van werkelijke kosten, bouwtijd, technische rijpheid, netinpassing en risicobereidheid.

Sterke vraaggroei maakt kernenergie dus aantrekkelijker, maar nog niet automatisch noodzakelijk. Ook de beschikbaarheid van brandstoffen, opslag, import en andere productieopties blijft van invloed.

10.11 De opties bij sterke groei van zowel vraag als duurzame productie

Wanneer de elektriciteitsvraag sterk groeit en wind en zon eveneens sterk worden uitgebreid, kan een zeer groot elektriciteitssysteem ontstaan met zowel omvangrijke overschotten als diepe tekorten.

De gemiddelde restvraag kan in dit toekomstbeeld hoog zijn, terwijl de minimale restvraag laag blijft. Daardoor bestaat mogelijk ruimte voor een beperkte hoeveelheid basislast, maar blijft ook veel behoefte aan flexibel vermogen, opslag en reserve.

Een kerncentrale kan in zo’n systeem waardevol zijn wanneer haar vermogen binnen de structurele ondergrens van de restvraag past. Wanneer te veel nucleair vermogen wordt toegevoegd, neemt het aantal uren toe waarin wind, zon of kernenergie moet worden afgeregeld.

Bestaande en nieuwe STEG’s blijven nodig voor de variabele bovenkant van de restvraag en voor langdurige tekortperioden. Hun jaarlijkse bedrijfsuren kunnen lager zijn, waardoor een passende vergoeding voor beschikbaarheid nodig kan worden.

Opslag en vraagsturing krijgen een grotere rol, maar moeten op voldoende schaal en met voldoende energie-inhoud beschikbaar zijn. Elektrolysers kunnen overschotten opnemen, maar alleen wanneer waterstofproductie en afzet economisch uitvoerbaar zijn.

Dit toekomstbeeld ondersteunt daarom geen keuze voor uitsluitend kernenergie of uitsluitend duurzaam met opslag. Een gemengd systeem waarin een beperkte hoeveelheid langdurige productie wordt gecombineerd met veel flexibiliteit ligt meer voor de hand.

10.12 De opties wanneer duurzame productie op lange termijn afneemt

Het is mogelijk dat bestaande wind- en zonne-installaties na het einde van hun levensduur niet volledig worden vervangen. Kosten, ruimtelijke weerstand, netproblemen of veranderend beleid kunnen de groei vertragen of tot een afname leiden.

Wanneer de elektriciteitsvraag tegelijk gelijk blijft of stijgt, neemt de restvraag sterk toe. In dat toekomstbeeld ontstaat meer ruimte voor langdurige productie en kunnen kerncentrales economisch beter worden benut.

Bestaande STEG's en koleneenheden kunnen tijd kopen, maar worden bij veel bedrijfsuren geconfronteerd met hoge brandstofkosten, emissies en de noodzaak van omvangrijke modernisering. Nieuwe STEG's bieden meer rendement, maar vragen een geloofwaardige CO_2-arme brandstof- of afvangroute.

Een grote kerncentrale kan in dit scenario een sterke structurele oplossing zijn. De vraag blijft echter of Nederland nu al voldoende zekerheid heeft dat deze ontwikkeling zich werkelijk zal voordoen.

Juist omdat verschillende toekomstbeelden tot een andere voorkeursvolgorde leiden, moet de strategie niet uitsluitend op één van deze beelden worden gebaseerd.

10.13 Snelheid en beschikbaarheid

De opties verschillen sterk in het moment waarop zij een bijdrage kunnen leveren. Levensduurverlenging en gericht onderhoud van bestaande centrales kunnen relatief snel effect hebben, mits tijdig besloten wordt voordat personeel, onderdelen en vergunningen verloren gaan.

Ombouw van moderne koleneenheden en aanleg van CO_2-afvang vragen meer voorbereiding, maar kunnen gebruikmaken van bestaande locaties en infrastructuur. Nieuwe STEG's hebben een langere doorlooptijd dan levensduurverlenging, maar aanzienlijk korter dan een volledig nieuw nucleair programma.

Grote kerncentrales vragen een lange voorbereiding, vergunningverlening en bouw. De ontwikkeling van een eerste Nederlands project omvat daarnaast de versterking van opdrachtgeverschap, toezicht, kennis, financiering en afvalbeheer.

SMR's kunnen in theorie sneller en fabrieksmatiger worden gebouwd. Voor de eerste Europese en Nederlandse toepassingen moeten echter ook ontwerp, vergunning, productieketen en contractering worden ontwikkeld. Daardoor is de eerste eenheid niet noodzakelijk snel beschikbaar.

Een strategie voor de komende vijftien jaar kan daarom niet volledig worden gebaseerd op capaciteit die pas daarna en mogelijk later beschikbaar komt. Overbruggingscapaciteit blijft nodig, ook wanneer uiteindelijk voor kernenergie wordt gekozen.

10.14 Financieel risico en de partij die het draagt

De financiële risico's verschillen niet alleen in omvang, maar ook in aard.

Bij levensduurverlenging van een bestaande centrale is de investering relatief beperkt en kan zij na technische inspectie verder worden verfijnd. Wanneer de kosten tegenvallen, kan het project worden verkleind of beëindigd.

Bij een nieuwe STEG is de investering groter, maar de bouwtijd korter en de projectschaal beheersbaarder. Het belangrijkste lange termijn risico betreft brandstof, emissies en het aantal bedrijfsuren.

Bij ombouw van een koleneenheid is de onzekerheid groter door de combinatie van brandstofaanpassing, CO_2-afvang, resterende levensduur en toekomstige inzet.

Bij een grote kerncentrale is de financiële blootstelling tijdens de bouw zeer groot. De uiteindelijke kosten worden sterk beïnvloed door rente, vertraging en wijzigingen. Het project kan na aanvang moeilijk worden beëindigd zonder verlies van een aanzienlijk deel van de investering.

Bij een SMR is de investering per module kleiner, maar kan de eerste eenheid een relatief hoge kostprijs en ontwikkelingsrisico hebben. Wanneer de verwachte serie niet ontstaat, blijven de voordelen van herhaling uit.

Publieke garanties kunnen de financieringskosten verlagen, maar verplaatsen het risico naar de overheid of elektriciteitsgebruiker. Een betrouwbare vergelijking moet daarom steeds vermelden wie de gevolgen draagt wanneer de kosten, bouwtijd of benutting afwijken.

10.15 Lokale aanvaardbaarheid en netaansluiting kunnen de technische rangorde veranderen

Een centrale die op papier de laagste kosten of beste technische eigenschappen heeft, kan in de praktijk onuitvoerbaar zijn wanneer geen geschikte locatie of netaansluiting beschikbaar is.

Bestaande energiecentrales hebben hier een belangrijk voordeel. De locatie is al voor energieproductie gebruikt en beschikt vaak over een zware aansluiting, koeling en industriële infrastructuur. Dat betekent niet dat iedere wijziging automatisch aanvaardbaar is, maar de uitgangspositie is sterker dan bij volledige nieuwbouw op een nieuwe locatie.

Een grote kerncentrale stelt zeer zware eisen aan locatie, net, koeling, veiligheid, beveiliging en lokale aanvaardbaarheid. De plotselinge uitval van het grote productieblok moet bovendien door het systeem kunnen worden opgevangen.

SMR's vragen per module een kleinere aansluiting, maar blijven nucleaire installaties met bijbehorende eisen. Verspreiding over meerdere locaties kan de netinpassing verbeteren, maar vergroot de bestuurlijke, organisatorische en beveiligingsopgave.

Nieuwe STEG’s en opslaginstallaties kunnen eveneens op lokale weerstand en netproblemen stuiten. Vooral de beschikbaarheid van gas-, waterstof-, ammoniak- of CO_2-infrastructuur kan de locatiekeuze sterk beïnvloeden.

Daarom kunnen lokale acceptatie en netaansluiting niet als latere uitvoeringsdetails worden behandeld. Zij zijn mede bepalend voor de rangorde van de opties.

10.16 Corrigeerbaarheid als zelfstandig criterium

In een voorspelbare omgeving kan vooral worden gekozen op basis van verwachte kosten en prestaties. In een onzekere omgeving krijgt corrigeerbaarheid een zelfstandige waarde.

Levensduurverlenging is relatief goed corrigeerbaar omdat de nieuwe investering beperkt blijft en periodiek kan opnieuw worden beoordeeld. Nieuwe STEG’s zijn minder corrigeerbaar, maar kunnen in kleinere stappen worden gebouwd en later minder uren produceren.

Ombouw van koleneenheden kan corrigeerbaar zijn wanneer de investering gefaseerd plaatsvindt. Een zeer omvangrijke investering in brandstofketen en CO_2-afvang vermindert die flexibiliteit.

SMR’s zijn in beginsel beter te faseren zijn dan een grote reactor. Dat voordeel verdwijnt wanneer het contract Nederland vooraf aan een volledige serie bindt.

Een grote kerncentrale is het minst corrigeerbaar zodra de bouw eenmaal ver is gevorderd. Het project vraagt daarom de hoogste mate van zekerheid en onafhankelijke toetsing vóórdat de onomkeerbare fase begint.

Corrigeerbaarheid betekent niet dat altijd voor de kleinste of meest tijdelijke oplossing moet worden gekozen. Wanneer een grote structurele behoefte overtuigend is aangetoond, kan een groot project rationeel zijn. Het criterium bepaalt vooral hoe zwaar de bewijslast moet zijn.

10.17 Geen rangorde die voor alle perioden gelijk blijft

De vergelijking leidt niet tot één vaste rangorde voor de gehele periode tot 2100.

Op korte termijn hebben bestaande centrales en infrastructuur een duidelijke waarde, omdat zij snel beschikbaar kunnen blijven en tijd kopen. Grootschalige kernenergie kan deze functie niet tijdig overnemen.

Op middellange termijn kan nieuw flexibel vermogen nodig zijn wanneer bestaande installaties technisch of economisch uitvallen. De omvang van de nieuwbouw moet aansluiten bij de feitelijke ontwikkeling van de restvraag.

Op lange termijn kan kernenergie een grotere rol krijgen wanneer een structureel hoge minimale restvraag ontstaat en kosten en bouwtijd beter beheersbaar worden. SMR’s kunnen aantrekkelijker worden wanneer internationale seriebouw werkelijk tot lagere kosten en kortere bouwtijden leidt.

De voorkeursvolgorde kan dus veranderen door nieuwe informatie. Dat is geen zwakte van de strategie, maar juist het doel van adaptieve besluitvorming.

10.18 De meest robuuste strategie onder de huidige onzekerheid

Onder de huidige onzekerheid lijkt niet één afzonderlijke techniek, maar een gefaseerde combinatie het meest robuust.

Bruikbare bestaande STEG's en moderne productielocaties worden niet voortijdig opgegeven. Per installatie wordt onderzocht welke levensduurverlenging of aanpassing technisch en economisch verantwoord is. Waar aanvullende capaciteit werkelijk nodig wordt, kan deze in beheersbare stappen worden toegevoegd.

Opslag, vraagsturing en netuitbreiding worden ontwikkeld voor de functies waarvoor zij aantoonbaar geschikt zijn. Zij verminderen de behoefte aan brandstof gestookte productie, maar worden niet zonder bewijs als volledige vervanging van langdurig regelbaar vermogen beschouwd.

Tegelijkertijd kan de voorbereiding van kernenergie doorgaan. Locaties, vergunningen, kennis, organisatie en mogelijke ontwerpen worden onderzocht. De werkelijke prestaties van buitenlandse grote reactoren en SMR's worden gevolgd.

Het definitieve investeringsbesluit wordt echter gekoppeld aan aantoonbare voorwaarden. De restvraag moet voldoende bedrijfsuren bieden, de locatie en netaansluiting moeten beschikbaar zijn, kosten en bouwtijd moeten onafhankelijk zijn getoetst en de verdeling van risico's moet vooraf helder zijn.

Deze strategie sluit kernenergie niet uit. Zij voorkomt wel dat Nederland de leveringszekerheid afhankelijk maakt van een project dat mogelijk later of duurder wordt gerealiseerd dan verwacht.

10.19 Conclusie

De vijf hoofdopties hebben ieder een eigen sterke en zwakke kant.

Bestaande STEG's bieden vooral snelheid, beperkte nieuwe investeringen en corrigeerbaarheid. Moderne koleneenheden vertegenwoordigen waardevolle bestaande locaties en infrastructuur, maar vragen een overtuigende brandstof- en emissieroute. Nieuwe STEG's bieden flexibiliteit en relatief snelle nieuwbouw, maar blijven afhankelijk van de beschikbaarheid van een betaalbare CO_2-arme brandstof of afvangroute.

Grote kerncentrales kunnen gedurende zeer lange tijd grote hoeveelheden CO_2-arme elektriciteit leveren, maar vragen een aantoonbaar hoge restvraag, een zeer grote investering en een lange periode waarin de kosten en planning kwetsbaar zijn. SMR's kunnen in kleinere stappen worden toegevoegd, maar hun economische voordelen zijn nog afhankelijk van seriebouw die eerst in de praktijk moet worden aangetoond.

Opslag en vraagsturing zijn essentiële aanvullingen, maar hun bijdrage wordt begrensd door energie-inhoud, duur, kosten en daadwerkelijke beschikbaarheid.

De vergelijking levert daarom geen eenvoudige winnaar op. Zij leidt tot een volgorde van besluitvorming:

Eerst behouden wat met beperkte middelen betrouwbare keuzevrijheid biedt. Vervolgens alleen capaciteit toevoegen die uit de feitelijke restvraag nodig blijkt. Een grote en moeilijk corrigeerbare investering volgt pas wanneer haar structurele behoefte en uitvoerbaarheid overtuigend zijn aangetoond.

11. De gevolgen van later beslissen

11.1 Ook wachten is een keuze

De voorgaande hoofdstukken laten zien dat een definitief investeringsbesluit voor kernenergie pas robuust is wanneer voldoende zekerheid bestaat over de restvraag, de bedrijfsuren, de locatie, de netaansluiting, de kosten, de bouwtijd en de verdeling van risico's. Daaruit mag echter niet worden afgeleid dat uitstel zonder gevolgen is.

Ook wachten is een keuze. Wanneer Nederland een besluit later neemt, komt een eventuele kerncentrale eveneens later beschikbaar. In de tussenliggende periode moet de elektriciteitsvoorziening door andere middelen betrouwbaar en voldoende CO_2-arm worden gehouden. Bestaande centrales moeten langer beschikbaar blijven, nieuwe flexibele capaciteit kan nodig zijn en netten, opslag en duurzame productie moeten verder worden ontwikkeld.

De relevante vraag is daarom niet of wachten kosteloos is. De vraag is welke kosten en risico's ontstaan door later te beslissen en hoe deze zich verhouden tot de kosten en risico's van een te vroeg genomen, moeilijk corrigeerbaar besluit.

Een beheerste strategie moet beide kanten zichtbaar maken. Zij mag de risico's van voortijdige vastlegging niet overdrijven, maar evenmin de nadelen van vertraging onderschatten.

11.2 Later beslissen betekent later produceren

Een kerncentrale heeft een lange voorbereidingstijd. Voor een eerste Nederlands nieuwbouwproject moeten niet alleen ontwerp en bouw worden uitgevoerd, maar ook locatieonderzoek, vergunningverlening, financiering, contractering, toezicht, netaansluiting, personeelsopbouw en andere nucleaire infrastructuur worden voorbereid.

Wanneer het definitieve investeringsbesluit vijf jaar later wordt genomen, zal ook de elektriciteitsproductie in beginsel jaren later beginnen. Een deel van de voorbereidingen kan vooraf worden uitgevoerd, maar de bouw en de grootste financiële verplichtingen volgen pas na de definitieve keuze.

Dit tijdseffect is belangrijk wanneer de centrale op een bepaald moment noodzakelijk wordt geacht voor leveringszekerheid of klimaatdoelen. Wanneer Nederland pas besluit nadat een tekort aan regelbare of CO_2-arme productie volledig zichtbaar is geworden, is kernenergie te laat om dat onmiddellijke probleem op te lossen.

De lange doorlooptijd betekent daarom dat niet kan worden gewacht op volledige zekerheid. Een zekere mate van vooruitzien blijft noodzakelijk. De voorbereiding moet voldoende vroeg beginnen om een latere keuze uitvoerbaar te houden.

Dat is echter iets anders dan de centrale nu al bestellen. Tussen niets doen en een definitief bouwbesluit bestaat een breed gebied van onderzoek, locatievoorbereiding, kennisontwikkeling en vergunning technische voorbereiding.

11.3 Het risico van een toekomstige capaciteit tekorten

Wanneer bestaande regelbare centrales worden gesloten voordat voldoende vervangende capaciteit beschikbaar is, kan in de jaren daarna een tekort aan betrouwbaar vermogen ontstaan. Dat risico wordt groter wanneer de elektriciteitsvraag snel groeit, wind en zon tijdens bepaalde perioden weinig produceren en import niet onbeperkt beschikbaar is.

Een kerncentrale die nog in voorbereiding of aanbouw is, levert tijdens zo'n tekort geen elektriciteit. Er moet dan alsnog tijdelijk vermogen worden gebouwd of langer in bedrijf worden gehouden. Wanneer deze noodzaak pas laat wordt onderkend, kunnen de kosten hoog zijn en kunnen minder gunstige keuzes noodzakelijk worden.

Nederland kan dan afhankelijker worden van import, tijdelijke gascentrales of noodmaatregelen om de vraag te beperken. Ook kan de overheid tegen ongunstige voorwaarden capaciteit moeten contracteren, omdat marktpartijen weten dat er weinig alternatieven beschikbaar zijn.

Het risico van tekorten aan capaciteit is daarom een argument voor tijdige voorbereiding en voor het behoud van bestaande mogelijkheden. Het is geen argument om één specifieke lange termijn oplossing zonder verdere toetsing onomkeerbaar vast te leggen.

Een robuuste strategie houdt voldoende regelbaar vermogen beschikbaar totdat nieuwe capaciteit aantoonbaar gereed en betrouwbaar is.

11.4 Mogelijk hogere uitstoot in de tussenperiode

Wanneer kernenergie later beschikbaar komt, moet de elektriciteit in de tussenliggende jaren uit andere bronnen komen. Voor zover die productie uit aardgas, kolen of andere fossiele brandstoffen afkomstig is, ontstaat extra uitstoot van broeikasgassen.

Dit is een reëel nadeel van vertraging. Een centrale die eerder in bedrijf komt, kan eerder fossiele productie verdringen. Bij de beoordeling van later beslissen moet daarom niet alleen naar de uiteindelijke nucleaire productie worden gekeken, maar ook naar de uitstoot tijdens de jaren vóór oplevering.

De omvang van die extra uitstoot hangt af van de alternatieven. Wanneer het uitstel wordt opgevangen door meer wind, zon, opslag, vraagsturing of import van CO_2-arme elektriciteit, kan het effect beperkt blijven. Wanneer bestaande gas- en kolencentrales veel meer moeten produceren, kan het effect aanzienlijk zijn.

Ook de bedrijfsduur van de tijdelijke centrales is van belang. Het langer beschikbaar houden van een STEG betekent niet automatisch dat deze voortdurend op vol vermogen draait. De eenheid kan vooral worden ingezet wanneer wind en zon onvoldoende leveren. De uitstoot wordt dan bepaald door de feitelijke productie en niet door het nominale vermogen.

De klimaatkosten van later beslissen moeten daarom worden berekend voor concrete overbruggingsscenario's. Het is onvoldoende om te stellen dat iedere vertraging van kernenergie automatisch tot een gelijke hoeveelheid extra fossiele productie leidt.

11.5 Hogere kosten van tijdelijke voorzieningen

Een overbruggingsstrategie vraagt investeringen. Bestaande STEG's moeten worden geïnspecteerd en onderhouden. Moderne koleneenheden kunnen aanpassingen nodig hebben. Nieuwe flexibele centrales, opslag en netverzwaring vragen eveneens kapitaal.

Wanneer later alsnog een kerncentrale wordt gebouwd, kan een deel van deze tijdelijke capaciteit minder intensief worden gebruikt of eerder worden gesloten. Daardoor kan worden gesteld dat Nederland tweemaal betaalt: eerst voor de overbrugging en later voor de structurele oplossing.

Dit risico bestaat, maar moet zorgvuldig worden beoordeeld. Niet iedere overbruggingsinvestering verliest haar waarde na de komst van kernenergie. Flexibel vermogen blijft nodig voor variaties in vraag, uitval van centrales en perioden met weinig wind en zon. Opslag en netversterking blijven eveneens bruikbaar.

Ook kan een bestaande centrale tegen betrekkelijk beperkte kosten langer beschikbaar worden gehouden. In dat geval is de overbruggingsinvestering eerder een verzekeringspremie dan een volledig dubbel gebouwde energievoorziening.

De juiste economische vergelijking omvat daarom de resterende waarde van de overbruggingsoptie. Een investering die na tien jaar nog reservevermogen, netondersteuning of noodcapaciteit levert, mag niet volledig als verloren worden beschouwd.

Daartegenover staat dat een te grote of te intensieve tijdelijke investering zelf een lock-in kan veroorzaken. De omvang moet daarom aansluiten bij de functie die werkelijk moet worden overbrugd.

11.6 Verlies van locaties, personeel en kennis

Te lang wachten kan ertoe leiden dat waardevolle productielocaties verdwijnen. Wanneer een centrale wordt ontmanteld, de netaansluiting wordt opgeheven of het terrein een andere bestemming krijgt, kan later niet eenvoudig dezelfde capaciteit worden teruggebracht.

Ook deskundig personeel kan vertrekken. Bediening, onderhoud, engineering, vergunningverlening en projectbeheersing vragen kennis die niet onmiddellijk beschikbaar is wanneer een nieuw project begint.

Dit geldt zowel voor bestaande conventionele centrales als voor kernenergie. Wanneer Nederland een nucleaire mogelijkheid wil behouden, moet voldoende kennis aanwezig blijven bij overheid, toezichthouder, kennisinstellingen en marktpartijen. Zonder een zekere continuïteit wordt een later project duurder, trager en afhankelijker van buitenlandse partijen.

Daarom kan voorbereiding niet geheel worden uitgesteld tot het moment waarop het definitieve besluit wordt genomen. Het behouden van locaties, kennis en organisatorische capaciteit heeft optiewaarde.

Deze voorbereiding moet echter doelgericht en begrensd zijn. Het opbouwen van kennis mag niet worden gebruikt als reden om later door te gaan omdat er inmiddels veel geld en

menskracht in het programma zijn geïnvesteerd. Ook voorbereidende investeringen moeten periodiek aan de oorspronkelijke doelstelling worden getoetst.

11.7 Het risico dat Nederland achteraan in de rij komt

Wanneer meerdere landen gelijktijdig nieuwe kerncentrales willen bouwen, kunnen schaarste aan gespecialiseerde onderdelen, ervaren bouworganisaties en gekwalificeerd personeel de kosten en bouwtijd beïnvloeden. Een land dat laat toetreedt, kan moeite hebben om een gunstige plaats in de toeleveringsketen te verkrijgen.

Hetzelfde kan gelden voor SMR's. Wanneer een succesvol ontwerp werkelijk in serie wordt gebouwd, kunnen vroege klanten invloed hebben op de productie slots, standaardisering en industriële organisatie. Een late toetreding kan betekenen dat Nederland langer moet wachten.

Daar staat tegenover dat vroege afnemers juist de grootste ontwikkelings- en eerste-toepassingsrisico's dragen. Zij betalen mogelijk mee aan ontwerpwijzigingen, vergunningservaring en het opbouwen van de fabriek. Latere klanten kunnen profiteren van geleerde lessen en een rijpere productieketen.

Het moment van toetreding is daarom een afweging tussen toegang en leereffect. Te vroeg instappen kan Nederland tot proefproject maken. Te laat instappen kan leiden tot langere wachttijden en minder invloed.

Een verstandige strategie volgt de ontwikkeling van concrete ontwerpen en leveranciers actief, zonder zich al te verbinden voordat kosten, planning en prestaties voldoende zijn aangetoond.

11.8 Stijgende bouw- en financieringskosten

Later bouwen kan duurder worden door stijgende lonen, materiaalprijzen, strengere eisen en een grotere wereldwijde vraag naar gespecialiseerde capaciteit. Ook kunnen rentestanden op het latere beslismoment ongunstiger zijn.

Daartegenover staat dat standaardisering, herhaling en technische ontwikkeling de kosten kunnen verlagen. Buitenlandse projecten kunnen ontwerp- en uitvoeringsrisico's verminderen. Voor SMR's kan seriebouw pas later de beloofde kostenvoordelen opleveren.

De richting van de kostenontwikkeling is daarom niet vooraf zeker. Wachten kan zowel een prijs hebben als een financieel voordeel opleveren.

Van bijzonder belang is de rente tijdens de bouw. Een kortere en betrouwbaardere bouwtijd kan financieel meer betekenen dan een beperkte daling van de directe bouwkosten. Wanneer later beschikbare ervaring de bouw beter beheersbaar maakt, kan uitstel ondanks hogere materiaalprijzen tot lagere totale projectkosten leiden.

De beoordeling moet daarom niet uitgaan van de eenvoudige veronderstelling dat later altijd duurder is. Zij moet onderzoeken welke kostendrijvers waarschijnlijk stijgen, welke kunnen dalen en welke onzekerheden door extra ervaring worden verminderd.

11.9 Uitstel kan de afhankelijkheid van tijdelijke brandstoffen verlengen

Wanneer Nederland later voor kernenergie kiest, blijven andere regelbare centrales langer nodig. Bij gebrek aan voldoende CO_2-arme brandstoffen kan dit het gebruik van aardgas verlengen.

Daarmee blijven de elektriciteitskosten gevoelig voor gasprijzen, geopolitieke ontwikkelingen en de prijs van CO_2-emissierechten. Ook kan extra infrastructuur nodig zijn om gascentrales beschikbaar te houden.

Deze afhankelijkheid is een serieus nadeel. Zij kan gedeeltelijk worden beperkt door centrales minder uren te laten produceren, de vraag flexibeler te maken en meer opslag en duurzame productie toe te voegen. Volledig verdwijnen zal regelbaar brandstofvermogen mogelijk niet, omdat ook een systeem met kernenergie reserve nodig heeft.

De keuze is daarom niet tussen jarenlang gasgebruik en een energiesysteem zonder enige brandstofafhankelijkheid. De vraag is hoeveel brandstof gestookte productie in de verschillende strategieën nodig blijft, welke brandstoffen worden gebruikt en hoe lang de afhankelijkheid voortduurt.

11.10 Uitstel kan ook verkeerde investeringen voorkomen

Tegenover de nadelen van later beslissen staat de mogelijkheid dat nieuwe informatie een verkeerde of te grote investering voorkomt.

Wanneer de elektriciteitsvraag minder sterk groeit dan verwacht, kan blijken dat één grote reactor voldoende is waar eerder meerdere reactoren werden voorzien. Wanneer duurzame productie veel sterker groeit, kan vooral behoefte bestaan aan flexibel vermogen. Wanneer SMR’s in het buitenland goed presteren, kan een gefaseerde nucleaire route aantrekkelijker worden dan een grote reactor. Het omgekeerde is eveneens mogelijk.

Ook kan blijken dat een bepaalde locatie niet tijdig op het net kan worden aangesloten, dat de bouwkosten hoger zijn dan aanvaardbaar of dat lokaal draagvlak structureel ontbreekt. Een later besluit kan voorkomen dat Nederland zich al vóór deze informatie beschikbaar is financieel en politiek heeft vastgelegd.

De waarde van vermeden fouten is bij zeer grote projecten aanzienlijk. Een investering van tientallen miljarden euro’s die onvoldoende wordt benut of veel later gereedkomt, kan veel grotere gevolgen hebben dan enkele jaren extra overbruggingskosten.

Daarom moet niet alleen de prijs van wachten worden berekend. Ook de waarde van de informatie die tijdens het wachten beschikbaar komt, behoort tot de vergelijking.

11.11 Het onderscheid tussen omkeerbaar en onomkeerbaar uitstel

Niet ieder uitstel heeft dezelfde betekenis. Sommige activiteiten kunnen later relatief gemakkelijk worden ingehaald. Andere kennen lange doorlooptijden en moeten tijdig beginnen.

Het opzetten van een sterke projectorganisatie, de versterking van de toezichthouder, het onderzoeken van locaties en de voorbereiding van netinpassing kunnen vroeg worden uitgevoerd. Ook kan Nederland deelnemen aan internationale kennisprogramma's en de ontwikkeling van geselecteerde reactorontwerpen volgen.

Het bestellen van hoofdcomponenten, het afsluiten van langjarige financieringscontracten en het beginnen met de bouw zijn veel minder omkeerbare stappen. Zij leggen een groot deel van de toekomstige keuze vast.

Een beheerste strategie stelt daarom niet alle besluiten uit. Zij vervroegt de stappen die informatie opleveren en opties openhouden en stelt de stappen die grote onomkeerbare verplichtingen veroorzaken uit totdat de voorwaarden voldoende zijn aangetoond.

Daarmee wordt voorkomen dat wachten later tot onnodige vertraging leidt. Tegelijkertijd blijft de mogelijkheid bestaan om van koers te veranderen wanneer de feiten daartoe aanleiding geven.

11.12 De voorbereiding moet een eigen resultaat opleveren

Voorbereidende uitgaven zijn alleen gerechtvaardigd wanneer zij bruikbare kennis, capaciteit of keuzevrijheid opleveren. Een onderzoek dat uitsluitend bevestigt wat politiek al is besloten, vermindert de onzekerheid niet.

Locatieonderzoek moet laten zien welke locaties werkelijk geschikt zijn en welke afvallen. Een kostenstudie moet niet alleen één bedrag noemen, maar de gevoeligheid voor vertraging, rente en minder bedrijfsuren tonen. Een leveranciersdialoog moet duidelijk maken welke risico's de leverancier daadwerkelijk wil dragen.

Ook moet de voorbereiding onderscheid maken tussen eisen die vóór een definitief besluit moeten zijn opgelost en vraagstukken die tijdens het project verder kunnen worden uitgewerkt.

Wanneer een cruciale voorwaarde niet kan worden vervuld, moet de voorbereiding tot een negatief oordeel kunnen leiden. Anders is zij geen voorbereiding van een besluit, maar voorbereiding van uitvoering.

11.13 Beslistermijnen moeten aan systeemsignalen worden gekoppeld

Een besluit over kernenergie moet niet uitsluitend worden gekoppeld aan een politiek gekozen kalenderjaar. Het moet ook afhangen van de ontwikkeling van het elektriciteitssysteem en van de uitvoerbaarheid van het project.

Relevante signalen zijn onder meer de feitelijke groei van de elektriciteitsvraag, de ontwikkeling van de minimale restvraag, het aantal uren met lage of negatieve prijzen, de voortgang van industriële elektrificatie, de beschikbaarheid van netcapaciteit en de kosten van alternatieven.

Aan de projectzijde zijn de maturiteit van het ontwerp, het aantal gerealiseerde referentieprojecten, de kwaliteit van de kostenraming, de contractuele risicoverdeling en de haalbaarheid van de locatie bepalend.

Een gekozen beslisjaar kan richting geven en voorkomen dat voorbereiding onbeperkt voortduurt. Het mag echter niet betekenen dat in dat jaar automatisch een positief besluit volgt. Het beslismoment is het moment waarop aan de vooraf vastgestelde voorwaarden wordt getoetst.

Wanneer de voorwaarden niet zijn vervuld, moet duidelijk zijn welke aanvullende informatie nodig is, hoe lang de overbruggingsstrategie kan worden voortgezet en wanneer opnieuw wordt beoordeeld.

11.14 De gevolgen van te lang wachten

Een adaptieve strategie kan ook mislukken wanneer zij voortdurend nieuwe redenen vindt om een definitief besluit uit te stellen. Volledige zekerheid bestaat niet en zal ook later niet bestaan.

Wanneer de structurele behoefte aan langdurige CO_2-arme productie overtuigend is aangetoond, het project uitvoerbaar is en de risico's beheersbaar zijn, kan verder uitstel juist onverantwoord worden. De toekomstige baten worden dan later ontvangen, bestaande tijdelijke capaciteit moet langer worden bekostigd en Nederland kan afhankelijk blijven van fossiele brandstoffen en import.

Daarom moet de bewijslast tweezijdig zijn. Niet alleen doorgaan moet worden onderbouwd; ook verder uitstel moet na verloop van tijd worden gemotiveerd.

Wanneer meerdere jaren achtereen een hoge minimale restvraag zichtbaar is, de vraag aantoonbaar groeit en vergelijkbare kernprojecten tegen beheersbare kosten en planning worden uitgevoerd, wordt het argument voor een definitief besluit sterker.

Adaptiviteit betekent niet dat ieder besluit tijdelijk blijft. Zij betekent dat een onomkeerbaar besluit wordt genomen op het moment waarop de omstandigheden dat voldoende rechtvaardigen.

11.15 De gevolgen van te vroeg besluiten

Te vroeg besluiten kent het spiegelbeeldige risico. Nederland kan zich vastleggen op een centrale waarvan bij oplevering blijkt dat de afzetruimte kleiner is, de kosten hoger zijn of de netaansluiting later gereedkomt dan verwacht.

Door de omvang van het project ontstaat dan sterke druk om door te gaan. Reeds gemaakte kosten, contractuele verplichtingen en politieke reputatie maken beëindiging steeds moeilijker. Aanvullende publieke middelen kunnen noodzakelijk worden om het project alsnog te voltooien.

Wanneer de centrale eenmaal gereed is, kan vervolgens druk ontstaan om haar zoveel mogelijk te laten produceren, ook wanneer wind en zon op veel uren voldoende elektriciteit

leveren. De financieringsstructuur kan deze productie afdwingen via prijsgaranties of andere vormen van inkomenszekerheid.

Het risico is daarmee niet alleen financieel. Een te grote basislastinvestering kan de verdere ontwikkeling van flexibiliteit, opslag en duurzame productie beïnvloeden en leiden tot afregeling van andere CO_2-arme bronnen.

De gevolgen van te vroeg beslissen kunnen daardoor gedurende vele tientallen jaren doorwerken.

11.16 De kosten van wachten moeten naast de kosten van vergissen worden geplaatst

De werkelijke beleidsafweging bestaat uit twee soorten kosten. Aan de ene kant staan de kosten van wachten: latere CO_2-arme productie, langere inzet van tijdelijke centrales, mogelijk hogere toekomstige bouwkosten en het risico dat kennis of capaciteit verloren gaat.

Aan de andere kant staan de kosten van vergissen: een te grote of verkeerd getimede investering, kostenoverschrijding, onvoldoende bedrijfsuren, een ongeschikte locatie of een project dat veel later gereedkomt dan nodig.

Deze kosten zijn niet symmetrisch. Een beperkte investering in levensduurverlenging kan na tien jaar worden beëindigd. Een grotendeels gebouwde kerncentrale kan niet zonder zeer groot verlies worden opgegeven.

Dat verschil rechtvaardigt dat voor de moeilijkst corrigeerbare stap een hogere mate van zekerheid wordt verlangd. Het betekent niet dat wachten altijd de voorkeur verdient. Het betekent dat de omvang van een mogelijke fout in de besluitvorming wordt meegewogen.

11.17 Een actieve tussenperiode

Wanneer het definitieve besluit later wordt genomen, moet de tussenperiode actief worden ingericht. De leveringszekerheid moet aantoonbaar zijn geborgd. Bestaande centrales moeten tijdig technisch worden onderzocht en waar nodig worden gemoderniseerd. Netten en opslag moeten worden uitgebreid waar hun waarde reeds duidelijk is.

Tegelijkertijd moet de nucleaire voorbereiding voldoende voortgang houden. Locatiegeschiktheid, veiligheidsvoorwaarden, netinpassing, ontwerpen, contractvormen en financieringsmodellen moeten worden uitgewerkt tot het niveau waarop een werkelijk besluit mogelijk is.

Ook moet systematisch worden gevolgd hoe de restvraag, industriële vraag, bouwkosten en internationale nucleaire projecten zich ontwikkelen. Zonder deze monitoring levert tijd geen betere informatie op.

De tussenperiode krijgt daarmee een concrete opdracht. Zij moet zowel de huidige betrouwbaarheid borgen als de onzekerheid over de toekomstige keuze verminderen.

11.18 Conclusie

Later beslissen over kernenergie is niet kosteloos. Een eventuele centrale komt later beschikbaar, tijdelijke capaciteit moet langer worden onderhouden of gebouwd en de uitstoot kan hoger zijn zolang fossiele productie nodig blijft. Ook kunnen locaties, kennis en gunstige posities in de toeleveringsketen verloren gaan.

Daartegenover staat dat tijd waardevolle informatie oplevert. De werkelijke elektriciteitsvraag, de restvraag, de industriële ontwikkeling, de prestaties van opslag en de gerealiseerde kosten en bouwtijden van grote reactoren en SMR’s worden beter zichtbaar. Daardoor kan een te grote, te vroege of verkeerd vormgegeven investering worden voorkomen.

De verstandige keuze ligt daarom niet tussen onmiddellijk bouwen en niets doen. Zij ligt in een actieve, gefaseerde voorbereiding waarbij omkeerbare stappen tijdig worden gezet en onomkeerbare verplichtingen pas volgen wanneer de voorwaarden voldoende zijn aangetoond.

De kosten van wachten moeten worden vergeleken met de kosten van een verkeerde onomkeerbare keuze. Naarmate de mogelijke fout groter en moeilijker herstelbaar is, neemt de waarde van aanvullende informatie toe.

Een latere beslissing is verantwoord wanneer de tussenliggende leveringszekerheid is geborgd, de voorbereiding doorgaat en duidelijke criteria bepalen wanneer verder wachten niet langer rationeel is.

12. Een gefaseerde Nederlandse strategie

12.1 Van een technische keuze naar een bestuurlijke strategie

De voorgaande hoofdstukken laten zien dat de Nederlandse elektriciteitsvoorziening niet kan worden ingericht rond één voorspelde toekomst. De groei van de elektriciteitsvraag, de ontwikkeling van wind en zon, het voortbestaan van de energie-intensieve industrie, de beschikbaarheid van opslag en CO_2-arme brandstoffen en de kosten en bouwtijd van kernenergie zijn nog te onzeker.

Daaruit volgt niet dat Nederland geen richting kan kiezen. De richting kan juist helder zijn: een betrouwbare elektriciteitsvoorziening met een zeer lage uitstoot, voldoende flexibiliteit, beheersbare kosten en zo veel mogelijk vrijheid om bij nieuwe informatie van koers te veranderen.

De strategie moet daarom niet beginnen met een onvoorwaardelijke keuze voor één techniek. Zij moet beginnen met het veiligstellen van de functies die onder vrijwel alle toekomstbeelden nodig zijn. Tegelijkertijd moeten opties worden voorbereid die later noodzakelijk kunnen blijken.

Dat vraagt om een gefaseerde aanpak waarin drie activiteiten parallel verlopen. De bestaande leveringszekerheid wordt behouden. De voorbereiding van mogelijke structurele oplossingen, waaronder kernenergie, gaat door. Tegelijkertijd wordt systematisch gemeten hoe de elektriciteitsvraag, de restvraag, de industrie, duurzame productie, opslag en internationale reactorprojecten zich werkelijk ontwikkelen.

Het uiteindelijke investeringsbesluit volgt niet automatisch uit het verstrijken van de tijd. Het volgt wanneer vooraf bepaalde voorwaarden aantoonbaar zijn vervuld.

12.2 Geen keuze tussen doen en niet doen

Het publieke debat presenteert de keuze vaak als een tegenstelling. Nederland zou óf nu moeten besluiten kerncentrales te bouwen, óf kernenergie feitelijk moeten afwijzen. Deze tegenstelling is te eenvoudig.

Tussen een principiële afwijzing en een definitieve bouwopdracht ligt een omvangrijk voorbereidingstraject. Nederland kan locaties onderzoeken, kennis opbouwen, de toezichthouder versterken, ontwerpopties beoordelen, contractvormen verkennen en de netinpassing voorbereiden zonder zich al onomkeerbaar aan één project te verbinden.

Ook kan Nederland bestaande centrales en productielocaties langer beschikbaar houden zonder daarmee te besluiten dat zij permanent een centrale rol moeten blijven spelen. Levensduurverlenging kan bewust voor een begrensde periode worden uitgevoerd en aan herbeoordeling worden gekoppeld.

De juiste tegenstelling is daarom niet bouwen of niets doen. Zij ligt tussen een onvoorwaardelijke, moeilijk corrigeerbare keuze en een beheerste strategie waarin iedere volgende stap afhankelijk blijft van nieuwe informatie.

Voorbereiding heeft waarde omdat zij de doorlooptijd van een later besluit kan verkorten. Voorwaardelijkheid heeft waarde omdat zij voorkomt dat voorbereiding ongemerkt verandert in uitvoeringsdwang.

12.3 De eerste lijn: de leveringszekerheid behouden

De elektriciteitsvoorziening mag gedurende de voorbereiding van lange termijn oplossingen niet afhankelijk worden van installaties die nog niet zijn gebouwd. Daarom moet eerst worden vastgesteld welke bestaande regelbare capaciteit technisch en organisatorisch beschikbaar kan blijven.

Dat vraagt per STEG en moderne koleneenheid een afzonderlijk onderzoek naar technische staat, resterende levensduur, noodzakelijke investeringen, startsnelheid, minimale belasting, emissies en mogelijke toekomstige brandstoffen. Een algemene aanname dat alle bestaande centrales oud en economisch afgeschreven zijn, is onvoldoende. Evenmin mag worden verondersteld dat iedere installatie zonder grote kosten kan worden verlengd.

De beoordeling moet plaatsvinden voordat essentiële onderdelen, vergunningen, personeel of netaansluitingen verloren gaan. Wanneer een installatie eenmaal volledig is ontmanteld en de locatie een andere bestemming heeft gekregen, is de mogelijkheid niet eenvoudig terug te brengen.

Levensduurverlenging moet worden gericht op beschikbaarheid en flexibiliteit. Het doel is niet dat bestaande centrales zo veel mogelijk fossiele elektriciteit produceren. Het doel is dat voldoende vermogen aanwezig blijft tijdens perioden waarin wind, zon, import en opslag tekortschieten.

Dat betekent dat de economische waardering niet uitsluitend uit de verkochte elektriciteit kan komen. Een centrale die weinig uren produceert, kan toch grote maatschappelijke waarde hebben doordat zij een langdurige tekortperiode kan overbruggen. Een vergoeding voor beschikbaarheid kan daarom rationeler zijn dan een marktmodel dat alleen productie beloont.

De overheid moet daarbij voorkomen dat beschikbaarheidscontracten leiden tot onbeperkte instandhouding. Zij moeten een duidelijke looptijd hebben en periodiek worden herzien aan de hand van de ontwikkeling van de restvraag en nieuwe capaciteit.

12.4 Bestaande productielocaties als strategisch bezit

De locatie van een centrale heeft een waarde die gemakkelijk wordt onderschat. Een bestaande productielocatie beschikt vaak over een zware netaansluiting, koeling, wegen, kades, brandstofvoorzieningen, gebouwen en een omgeving die reeds met energieproductie bekend is.

Deze voorzieningen kunnen later worden gebruikt voor een nieuwe STEG, opslag, een synchrone compensator, waterstofproductie, CO_2-afvang of mogelijk een andere vorm van elektriciteitsproductie. De locatie kan daarmee belangrijker zijn dan de huidige installatie.

Voordat een productielocatie definitief wordt opgegeven, moet daarom worden beoordeeld welke systeemfuncties daar op lange termijn mogelijk blijven. Dat vraagt samenwerking tussen eigenaar, netbeheerder, rijksoverheid, provincie en gemeente.

Het behoud van een locatie hoeft niet te betekenen dat alle bestaande installaties volledig operationeel blijven. Soms kan een deel van de infrastructuur worden geconserveerd terwijl de productie wordt verminderd. In andere gevallen kan beperkt bedrijf nodig zijn om personeel, vergunningen en technische gereedheid te behouden.

De strategische waarde moet expliciet worden gemaakt. Anders kan een eigenaar rationeel besluiten een terrein te verkopen of de aansluiting op te geven, terwijl de samenleving enkele jaren later grote kosten moet maken om elders dezelfde mogelijkheden te creëren.

12.5 Alleen gefaseerde nieuwbouw waar behoefte zichtbaar wordt

Wanneer de bestaande capaciteit onvoldoende blijkt, kan nieuwe regelbare capaciteit nodig zijn. Ook daarbij moet de omvang aansluiten bij de feitelijk zichtbare systeembehoefte.

Een moderne STEG kan relatief snel en in kleinere vermogensstappen worden gebouwd. Zij kan middenlast en reserve leveren en haar productie aanpassen aan de ontwikkeling van wind en zon. De investering is beter te faseren dan één zeer groot productieproject.

De brandstofroute moet daarbij vanaf het begin serieus worden onderzocht. Een centrale die aanvankelijk aardgas gebruikt, mag niet uitsluitend worden gerechtvaardigd met een vrijblijvende verwachting dat later waterstof, ammoniak of CO_2-afvang beschikbaar komt. De technische mogelijkheden, ruimte, aansluitingen en kosten van een latere aanpassing moeten vooraf worden beoordeeld.

Ook moet duidelijk zijn welke bedrijfsduur wordt verwacht. Een centrale die vooral als reserve wordt gebouwd, moet financieel anders worden behandeld dan een installatie die vele duizenden uren per jaar produceert.

Nieuwbouw moet worden gekoppeld aan concrete systeemsignalen. Niet iedere stijging van de piekvraag rechtvaardigt een nieuwe centrale. Eerst moet worden beoordeeld hoeveel vraagsturing, opslag, import en bestaande capaciteit werkelijk beschikbaar zijn. Pas het resterende tekort vormt de basis voor nieuw regelbaar vermogen.

12.6 Opslag en vraagsturing gericht ontwikkelen

Opslag en vraagsturing behoren tot vrijwel iedere robuuste strategie, maar moeten worden ontwikkeld voor functies die zij daadwerkelijk kunnen vervullen.

Batterijen zijn bijzonder geschikt voor snelle regeling, korte pieken en verschuiving van elektriciteit over enkele uren. Zij kunnen netcongestie verminderen en voorkomen dat regelbare centrales voor ieder kortstondig verschil hoeven te starten.

Voor tekorten van meerdere dagen of weken is een veel grotere energievoorraad nodig. Daarvoor kunnen andere opslagvormen, brandstoffen of import nodig blijven. Het is daarom

misleidend om alleen het vermogen van een opslaginstallatie in MW te vermelden zonder de energie-inhoud en ontlaadduur te noemen.

Vraagsturing kan eveneens een belangrijke bijdrage leveren. Elektrische voertuigen, warmtepompen, elektrolysers en bepaalde industriële processen kunnen hun afname gedeeltelijk verschuiven. Alleen flexibiliteit die technisch beschikbaar, contractueel geregeld en onder kritieke omstandigheden daadwerkelijk inzetbaar is, mag echter als zekere capaciteit worden beschouwd.

De ontwikkeling van opslag en vraagsturing moet stapsgewijs worden uitgebreid op basis van werkelijk behaalde prestaties. Hierdoor kan worden geleerd welke toepassingen economisch functioneren en welke bijdrage tijdens langdurige tekortperioden werkelijk beschikbaar blijft.

12.7 De tweede lijn: kernenergie serieus voorbereiden

Parallel aan het behoud van de leveringszekerheid moet Nederland de mogelijkheid van kernenergie serieus blijven voorbereiden. Wanneer pas met onderzoek wordt begonnen nadat een structurele behoefte volledig zichtbaar is, komt een centrale door haar lange voorbereiding te laat.

De voorbereiding moet echter gericht zijn op het verminderen van onzekerheid en niet op het creëren van een onomkeerbare politieke dynamiek.

Dat betekent dat eerst duidelijk moet worden welke systeemfunctie een kerncentrale moet vervullen. Gaat het om langdurige basislast, om een beperkter nucleair aandeel naast veel flexibel vermogen of om een gefaseerde uitbreiding met kleinere modules? Zonder antwoord op deze vraag kan geen rationele keuze worden gemaakt tussen ontwerpen en vermogens.

Vervolgens moeten mogelijke locaties technisch, ruimtelijk en maatschappelijk worden onderzocht. Daarbij horen netaansluiting, koeling, overstromingsrisico, externe gevaren, bereikbaarheid, noodmaatregelen, beveiliging en de gevolgen voor andere ontwikkelingen in het gebied.

De voorbereiding moet ook de volledige nucleaire infrastructuur omvatten. Wetgeving, toezicht, projectorganisatie, kennis, opleidingen, splijtstofvoorziening, afvalbeheer, beveiliging en ontmanteling moeten als samenhangend programma worden beschouwd.

Een kerncentrale kan niet worden gereduceerd tot een contract met een reactorleverancier. De kwaliteit van het Nederlandse opdrachtgeverschap en toezicht is mede bepalend voor kosten, planning en veiligheid.

12.8 Ontwerpen selecteren zonder te vroeg vast te leggen

Nederland kan de voorbereiding beperken tot een kleine groep realistische reactorontwerpen. Daarmee kan voldoende diepgang worden bereikt zonder alle beschikbare concepten jarenlang parallel te onderzoeken.

Voor grote reactoren ligt het voor de hand ontwerpen te beoordelen die daadwerkelijk zijn gebouwd, in bedrijf zijn of aantoonbaar in serie worden uitgevoerd. Het aantal

referentieprojecten, de gerealiseerde bouwtijd, de beschikbaarheid van de toeleveringsketen en de mate waarin het ontwerp zonder Nederlandse uitzonderingen kan worden toegepast, zijn daarbij belangrijk.

Voor SMR's moet onderscheid worden gemaakt tussen een technisch concept, een vergund ontwerp, een eerste demonstratieproject en een werkelijk seriematig geproduceerd industrieel product. Alleen een ontwerptekening of leveranciersplanning is onvoldoende basis voor een Nederlandse investeringsbeslissing.

Nederland moet voorkomen dat het zich vroegtijdig exclusief aan één leverancier bindt zonder betrouwbare vergelijking. Tegelijkertijd kan een eindeloze concurrentiedialoog eveneens tijd en geld kosten. De selectie moet daarom stapsgewijs worden verkleind op basis van vooraf vastgelegde criteria.

Het doel van deze fase is niet de winnaar politiek aan te wijzen. Het doel is vast te stellen welke ontwerpen voldoende technisch, commercieel en vergunning technisch volwassen zijn om later een uitvoerbaar aanbod te kunnen doen.

12.9 De derde lijn: systematisch meten wat werkelijk gebeurt

Een adaptieve strategie werkt alleen wanneer de ontwikkeling van het elektriciteitssysteem systematisch wordt gevolgd. Zonder monitoring blijft de keuze afhankelijk van wisselende verwachtingen en politieke voorkeuren.

De belangrijkste grootheid is de chronologische restvraag. Jaarlijks moet worden vastgesteld hoe de vraag, wind, zon, opslag, import, export en regelbare productie zich per uur hebben ontwikkeld. Ook moeten meerdere weersjaren worden gebruikt om toekomstige situaties te simuleren.

Daarbij moet zichtbaar worden hoeveel uren ruimte bestaat voor continue productie, hoeveel uren de restvraag laag of negatief is, hoe lang tekortperioden duren en hoe vaak regelbare centrales moeten starten en stoppen.

De industriële ontwikkeling moet eveneens op basis van feitelijke verbintenissen worden gevolgd. Aangekondigde plannen moeten worden onderscheiden van projecten met vergunning, financiering, een definitief investeringsbesluit en daadwerkelijke ingebruikname.

Ook de ontwikkeling van elektrolyse, waterstof, opslag en vraagsturing moet in termen van werkelijk beschikbaar vermogen, bedrijfsuren, kosten en contractuele inzetbaarheid worden gemeten.

Aan de nucleaire kant moeten internationale projecten worden gevolgd. Niet alleen aangekondigde kosten en planningen zijn relevant, maar vooral contractprijzen, gerealiseerde bouwvoortgang, vertragingen, wijzigingen en bedrijfservaring.

Door dezelfde indicatoren ieder jaar te actualiseren ontstaat een feitelijke basis voor latere beslissingen.

12.10 Een onafhankelijke periodieke systeembeoordeling

De monitoring mag niet uitsluitend worden uitgevoerd door partijen die belang hebben bij een specifieke techniek. Producenten, leveranciers, netbeheerders en industriële afnemers beschikken over noodzakelijke kennis, maar hebben ieder hun eigen positie.

Daarom is een periodieke onafhankelijke beoordeling nodig waarin de ontwikkeling van het gehele elektriciteitssysteem wordt samengebracht. Deze beoordeling moet niet alleen de verwachte situatie beschrijven, maar ook aangeven waar eerdere verwachtingen afwijken van de werkelijkheid.

Wanneer de vraaggroei achterblijft, moet dat zichtbaar worden. Wanneer netuitbreiding later gereedkomt, moet de invloed op productieprojecten worden verwerkt. Wanneer internationale kernprojecten duurder worden, moet de Nederlandse kostenraming worden aangepast. Wanneer opslag veel sneller goedkoper wordt, moet ook dat effect worden meegenomen.

Een dergelijke herijking voorkomt dat het beleid jarenlang blijft rusten op uitgangspunten die inmiddels zijn achterhaald.

De onafhankelijke beoordeling moet openbaar zijn en zowel door technische deskundigen als door beleidsmakers en belanghebbenden kunnen worden gecontroleerd. Daarmee ontstaat een gezamenlijke feitelijke basis, ook wanneer over de uiteindelijke keuze verschil van mening blijft bestaan.

12.11 Vooraf vastgelegde beslismomenten

Een gefaseerde strategie vraagt vaste momenten waarop wordt beoordeeld of een volgende stap verantwoord is. Zonder zulke momenten kan voorbereiding eindeloos voortduren of juist ongemerkt overgaan in uitvoering.

Bij ieder beslismoment moet de volledige vergelijking opnieuw worden gemaakt. Niet alleen kernenergie, maar ook bestaande centrales, nieuwe STEG’s, opslag, vraagsturing, netuitbreiding en andere reële alternatieven moeten worden betrokken.

Het eerste beslismoment kan betrekking hebben op de vraag welke locaties en ontwerpen verder worden voorbereid. Daarbij hoeft nog geen bouwopdracht te worden gegeven.

Een volgend beslismoment kan bepalen of voldoende informatie beschikbaar is om bindende aanbiedingen te vragen. Daarvoor moeten de systeembehoefte, locatie, netaansluiting en projectorganisatie voldoende zijn uitgewerkt.

Pas daarna komt een definitief investeringsbesluit in beeld. Op dat moment moeten niet alleen technische en financiële voorwaarden zijn vervuld, maar ook een geloofwaardige terugvalroute beschikbaar zijn voor vertraging of beëindiging.

De beslismomenten moeten niet alleen een doorgang naar de volgende fase bieden. Zij moeten ook kunnen leiden tot aanpassing, uitstel, verkleining of beëindiging van een project.

12.12 De voorbereiding mag geen voortzettingsdwang creëren

Naarmate meer geld, tijd en politieke reputatie in een project worden geïnvesteerd, neemt de druk toe om door te gaan. Dit is een bekend risico bij grote infrastructuurprojecten.

Daarom moeten de voorbereidende fasen financieel en bestuurlijk worden begrensd. Voor iedere fase moet duidelijk zijn welk resultaat wordt verwacht, welk budget beschikbaar is en welke informatie nodig is voor de volgende stap.

De kosten van eerdere voorbereiding mogen niet worden gebruikt als argument om een project voort te zetten wanneer de toekomstige baten onvoldoende zijn. Reeds gemaakte kosten zijn niet terug te verdienen door nog meer geld in een ongunstig project te investeren.

Dit vraagt politieke discipline. Een tussenbesluit om niet door te gaan is geen mislukking wanneer het voorkomt dat een veel grotere verkeerde investering wordt gedaan. Het kan juist aantonen dat de gefaseerde besluitvorming functioneert.

12.13 Een nucleair programma kleiner kunnen beginnen

Wanneer uiteindelijk voldoende ruimte voor kernenergie ontstaat, hoeft Nederland niet noodzakelijk direct het maximale programma te bestellen.

Een eerste project kan worden gekozen op een schaal die bij de aangetoonde structurele restvraag past. Daarbij moet rekening worden gehouden met het risico dat de vraag anders verloopt en met de noodzaak voldoende flexibel vermogen naast kernenergie te behouden.

Bij een grote reactor is de afzonderlijke stap omvangrijk. Daarom moet vóór de bouw overtuigend zijn vastgesteld dat het systeem het volledige vermogen gedurende voldoende uren kan benutten.

Een SMR kan theoretisch een kleinere eerste stap mogelijk maken. Dit voordeel bestaat alleen wanneer de eerste module zelfstandig economisch en technisch verantwoord is en Nederland niet contractueel vooraf aan een volledige serie wordt gebonden.

De strategie moet uitbreiding mogelijk maken, maar niet verplicht stellen. Iedere volgende eenheid moet opnieuw worden getoetst aan de feitelijke ontwikkeling van de restvraag en aan de prestaties van de voorgaande eenheid.

12.14 Een geloofwaardige terugvalroute

Voor iedere grote investeringsstrategie moet vooraf duidelijk zijn wat er gebeurt wanneer een project later gereedkomt of wordt beëindigd.

Bij kernenergie betekent dit dat voldoende regelbaar vermogen, opslag, importmogelijkheden en vraagrespons beschikbaar moeten blijven totdat de centrale aantoonbaar bedrijfsvaardig is. Bestaande capaciteit mag niet worden gesloten op basis van een geplande opleverdatum alleen.

Ook het onverwacht uitvallen van een leverancier, ontwerpwijzigingen of een mislukte eerste SMR-serie moeten kunnen worden opgevangen zonder dat de leveringszekerheid direct in gevaar komt.

Een terugvalroute vermindert niet alleen het systeemrisico. Zij versterkt ook de positie van de overheid tegenover leveranciers en financiers. Wanneer Nederland geen alternatief heeft, wordt het moeilijk bij kostenoverschrijdingen of ongunstige contractwijzigingen nee te zeggen.

De kosten van de terugvalroute behoren tot de totale strategie. Zij zijn geen bewijs dat kernenergie ongeschikt is, maar een verzekering tegen de onzekerheden van een lang en omvangrijk project.

12.15 Een passende marktordening

Een elektriciteitssysteem met veel wind en zon heeft zowel energieproductie als beschikbaar vermogen nodig. De gewone elektriciteitsmarkt beloont vooral geproduceerde MWh. Daardoor kunnen centrales die weinig uren draaien maar noodzakelijk zijn voor uitzonderlijke situaties onvoldoende inkomsten ontvangen.

Een strategische reserve, capaciteitsvergoeding of andere beschikbaarheidsregeling kan daarom nodig zijn om voldoende regelbaar vermogen in stand te houden. Zo'n regeling moet technologieneutraal zijn waar dat mogelijk is en duidelijke eisen stellen aan beschikbaarheid, startsnelheid, duur en uitstoot.

Ook kernenergie vraagt waarschijnlijk een bijzondere financierings- en marktstructuur. Door de hoge investering en lange bouwtijd zal de markt het project niet zonder langjarige zekerheid financieren. De gekozen regeling bepaalt in hoge mate wie het bouw-, prijs- en afzetrisico draagt.

Daarom moet de marktordening niet pas na de technische keuze worden ontworpen. Zij is onderdeel van de keuze. Een project dat alleen uitvoerbaar wordt doordat vrijwel alle risico's bij de overheid of elektriciteitsgebruiker worden gelegd, moet op die volledige maatschappelijke basis met de alternatieven worden vergeleken.

12.16 Klimaatbeleid en leveringszekerheid gezamenlijk sturen

De overbruggingsstrategie mag niet leiden tot een onbeperkte verlenging van fossiele productie. Tegelijkertijd mag het klimaatbeleid niet zo worden ingericht dat regelbare capaciteit verdwijnt voordat voldoende vervanging beschikbaar is.

Daarom moeten emissiereductie en leveringszekerheid gezamenlijk worden gestuurd. Bestaande centrales kunnen beschikbaar blijven, maar het aantal productie-uren en de gebruikte brandstoffen moeten in de tijd passen bij de klimaatdoelen.

Investeringen in rendement, alternatieve brandstoffen en CO_2-afvang kunnen de uitstoot beperken, maar moeten worden getoetst aan hun verwachte gebruiksduur. Een zeer kostbare aanpassing is niet rationeel wanneer de installatie kort daarna alsnog wordt gesloten.

Ook kan worden overwogen productie met hoge emissies vooral te reserveren voor uitzonderlijke tekortperioden. De jaarlijkse uitstoot kan dan beperkt blijven, terwijl de capaciteit als verzekering beschikbaar blijft.

De maatstaf is niet alleen of een installatie fossiel is, maar hoeveel zij werkelijk produceert, welke emissies daardoor ontstaan en welke betrouwbaarheid zij toevoegt.

12.17 De strategie per tijdshorizon

Op korte termijn ligt de nadruk op behoud en inzicht. Bestaande centrales en locaties worden technisch beoordeeld, de leveringszekerheid wordt geborgd en de werkelijke restvraag wordt systematisch gevolgd. Tegelijkertijd worden locaties en ontwerpen voor kernenergie verder onderzocht.

Op middellange termijn verschuift het accent naar gerichte toevoeging van capaciteit. Wanneer bestaande installaties uitvallen of de restvraag aantoonbaar groeit, kunnen nieuwe flexibele centrales, opslag en netvoorzieningen in beheersbare stappen worden toegevoegd. De voorbereiding van kernenergie moet dan voldoende ver zijn gevorderd om een werkelijke vergelijking van uitvoerbare aanbiedingen mogelijk te maken.

Op lange termijn kan een structurele keuze worden gemaakt. Wanneer een hoge minimale restvraag, uitvoerbare locaties, een tijdige netaansluiting en beheersbare nucleaire projecten overtuigend zijn aangetoond, kan kernenergie een belangrijk onderdeel van het systeem worden. Wanneer die omstandigheden niet ontstaan, kan de flexibele route verder worden ontwikkeld zonder dat reeds een groot nucleair project moet worden afgeschreven.

Deze tijdshorizonnen zijn geen afzonderlijke beleidswerelden. De beslissingen op korte termijn moeten de mogelijkheden op middellange en lange termijn openhouden.

12.18 Bestuurlijke verantwoordelijkheid

Een gefaseerde strategie vraagt een duidelijke verdeling van verantwoordelijkheden. Het Rijk moet de samenhang bewaken tussen klimaatbeleid, leveringszekerheid, kernenergie, brandstoffen, netten en industriebeleid.

Netbeheerders moeten tijdig aangeven welke aansluitingen en systeemvoorzieningen technisch beschikbaar kunnen zijn en welke onzekerheden daarbij bestaan. Eigenaren van centrales moeten inzicht geven in technische staat, onderhoudsbehoefte en mogelijke levensduurverlenging.

Provincies en gemeenten spelen een belangrijke rol bij locaties, ruimtelijke inpassing en lokale belangen. De nucleaire toezichthouder moet onafhankelijk kunnen vaststellen welke veiligheidseisen gelden en over voldoende mensen en kennis beschikken.

Marktpartijen die toekomstige vraag aankondigen, moeten steeds sterker worden aangesproken op concrete verbintenissen naarmate hun plannen een grotere rol spelen in publieke investeringsbesluiten. Een beleidsambitie of intentieverklaring kan niet dezelfde bewijskracht hebben als een definitief investeringsbesluit en een langjarig afnamecontract.

De gefaseerde strategie werkt alleen wanneer informatie gedeeld wordt en iedere partij verantwoordelijk blijft voor de aannamen waarop zij invloed heeft.

12.19 Geen perfecte zekerheid, wel voldoende bewijs

Het doel van deze aanpak is niet alle onzekerheid weg te nemen. Ook na jaren van voorbereiding blijven vraag, prijzen, techniek en politiek onzeker.

Een definitief besluit vraagt daarom geen absolute zekerheid, maar voldoende bewijs dat de keuze onder uiteenlopende omstandigheden verantwoord blijft. De centrale moet niet alleen in het meest waarschijnlijke scenario goed presteren, maar ook bestand zijn tegen aannemelijke tegenvallers.

Daarbij moet worden vastgesteld welke afwijkingen nog aanvaardbaar zijn. Hoeveel vertraging kan worden opgevangen? Hoeveel minder bedrijfsuren kan de centrale verdragen? Welke kostenoverschrijding kan worden gedragen zonder dat het project duidelijk ongunstiger wordt dan alternatieven?

Wanneer zulke grenzen niet vooraf worden benoemd, kan iedere tegenvaller tijdens het project alsnog worden geaccepteerd omdat stoppen op dat moment te kostbaar lijkt.

Voldoende bewijs betekent daarom ook voldoende duidelijkheid over de omstandigheden waarin niet wordt doorgegaan.

12.20 Conclusie

Nederland hoeft onder de huidige onzekerheid niet te kiezen tussen onmiddellijke bouw van kerncentrales en volledige stilstand. Een rationele strategie kan tegelijkertijd de huidige leveringszekerheid behouden, nucleaire mogelijkheden serieus voorbereiden en de toekomstige behoefte systematisch volgen.

Bestaande regelbare centrales en productielocaties hebben daarbij waarde omdat zij tijd en manoeuvreerruimte bieden. Nieuwe flexibele capaciteit, opslag en vraagsturing kunnen gefaseerd worden toegevoegd waar de werkelijke systeemontwikkeling daarom vraagt.

Kernenergie blijft als structurele mogelijkheid in beeld. De voorbereiding moet voldoende diepgaand zijn om later een werkelijk investeringsbesluit te kunnen nemen. Zij mag echter niet zo worden ingericht dat een positief besluit onvermijdelijk wordt voordat de behoefte, locatie, netaansluiting, kosten, planning en risicoverdeling overtuigend zijn aangetoond.

Borg eerst de leveringszekerheid. Behoud waardevolle locaties en keuzevrijheid. Bereid kernenergie serieus voor. Meet jaarlijks welke systeembehoefte werkelijk ontstaat. Neem het onomkeerbare besluit pas wanneer de voorwaarden aantoonbaar zijn vervuld.

13. Voorwaarden voor een verantwoord besluit en conclusie

13.1 De vraag is niet of kernenergie mogelijk is

De voorafgaande hoofdstukken laten zien dat kernenergie technisch een belangrijke bijdrage kan leveren aan een elektriciteitsvoorziening met een zeer lage uitstoot van broeikasgassen. Een grote kerncentrale kan gedurende vele jaren een omvangrijke en weersonafhankelijke productie leveren. Een SMR kan die nucleaire capaciteit mogelijk in kleinere stappen beschikbaar maken.

De centrale vraag van deze studie is daarom niet of kernenergie technisch mogelijk of in algemene zin nuttig is. Dat is zij. De vraag is of voldoende zeker is dat een concreet Nederlands project op het moment van oplevering past bij de behoefte van het elektriciteitssysteem en tegen maatschappelijk aanvaardbare kosten en risico's kan worden gerealiseerd.

Daarvoor is meer nodig dan een verwachte groei van het elektriciteitsverbruik, een algemene behoefte aan CO_2-arme productie of de politieke wens om kernenergie aan de energiemix toe te voegen. Een investeringsbesluit moet berusten op aantoonbare omstandigheden die de schaal, bedrijfsvoering en lange levensduur van de centrale rechtvaardigen.

De bewijslast moet daarbij toenemen naarmate het besluit groter, langduriger en moeilijker corrigeerbaar is. Een onderzoek naar kernenergie vraagt geen zekerheid dat de centrale uiteindelijk wordt gebouwd. Een locatieonderzoek evenmin. Een definitief investeringsbesluit, waarbij tientallen miljarden euro's en vele tientallen jaren worden vastgelegd, vraagt echter een veel zwaardere onderbouwing.

13.2 Eerst moet een structurele systeembehoefte zijn aangetoond

De eerste voorwaarde is dat duidelijk is welke functie de centrale in het toekomstige elektriciteitssysteem moet vervullen.

Een hoge jaarlijkse elektriciteitsvraag is daarvoor onvoldoende. Beslissend is de chronologische restvraag: de vraag die per uur overblijft nadat wind, zon, opslag, vraagsturing, import en andere productie zijn verwerkt.

Voor een grote kerncentrale moet gedurende een groot deel van het jaar voldoende afzetruimte bestaan voor een productieblok van ongeveer 1.000 tot 1.700 MWe. Niet alleen de gemiddelde, maar vooral de minimale restvraag moet daarvoor hoog genoeg zijn. Wanneer de restvraag gedurende duizenden uren laag of negatief wordt, ontstaat druk om de centrale terug te regelen of andere CO_2-arme productie af te schakelen.

De behoefte moet bovendien in meerdere toekomstbeelden en met verschillende weerjaren zichtbaar blijven. Een centrale die alleen in een scenario met zeer sterke vraaggroei en beperkte groei van wind en zon voldoende bedrijfsuren maakt, is onvoldoende robuust wanneer andere ontwikkelingen eveneens plausibel zijn.

Voor een SMR kan een kleinere structurele behoefte voldoende zijn. Ook dan moet echter worden aangetoond dat de eerste module zelfstandig een nuttige functie heeft. De businesscase mag niet afhankelijk zijn van een volledige reeks vervolgeenheden waarvan de afzet nog onzeker is.

Het investeringsbesluit moet daarom expliciet aangeven hoeveel bedrijfsuren worden verwacht, hoe vaak de centrale moet terugregelen, stoppen en herstarten en welke elektriciteitsprijzen bij die bedrijfsvoering aannemelijk zijn.

13.3 De toekomstige vraag moet meer zijn dan een optelsom van ambities

De tweede voorwaarde betreft de onderbouwing van de vraag.

Elektrificatie van vervoer, verwarming en industrie kan tot een sterke stijging van het elektriciteitsverbruik leiden. Elektrolysers, datacenters en nieuwe industriële processen kunnen daar grote hoeveelheden aan toevoegen. De afgelopen jaren hebben echter laten zien dat aangekondigde projecten niet altijd in de aangekondigde omvang en op het aangekondigde tijdstip worden gerealiseerd.

Voor een investering met een mogelijke levensduur van zestig jaar mag toekomstige industriële vraag daarom niet uitsluitend worden gebaseerd op beleidsambities, subsidieaanvragen of intentieverklaringen. Naarmate een vraagpost zwaarder meetelt in de onderbouwing van de centrale, moet ook de zekerheid van die vraag groter zijn.

Een definitief investeringsbesluit van een industriële afnemer heeft meer betekenis dan een onderzoeksplan. Een gebouwde en aangesloten installatie heeft meer betekenis dan een definitief investeringsbesluit. Een langjarig afnamecontract heeft meer betekenis dan een algemene verklaring dat in de toekomst veel CO_2-arme elektriciteit nodig zal zijn.

Daarbij moet ook worden onderzocht hoe lang de vraag werkelijk gebonden is aan Nederland. Een industriële installatie kan een economische levensduur van twintig of dertig jaar hebben, terwijl de kerncentrale zestig jaar of langer moet functioneren. De mogelijkheid dat productie wordt gesloten, verplaatst of technisch anders wordt ingericht, moet daarom in de risicoanalyse worden opgenomen.

13.4 Warmte mag geen dragende onderbouwing zijn

Warmtelevering kan bij een geschikte locatie een nuttige nevenfunctie hebben. Zij mag echter niet worden gebruikt als dragende rechtvaardiging voor de schaal of economie van een grote kerncentrale.

Een reactor van ongeveer 1.000 MWe produceert voortdurend enkele duizenden megawatt thermisch vermogen. In Nederland bestaat geen industriële warmtevraag van vergelijkbare omvang die gedurende vele tientallen jaren op één plaats beschikbaar is. Grote industriële gebruikers vragen eerder enkele honderden MWth en vaak op een hoger temperatuurniveau dan de laagwaardige warmte die na elektriciteitsproductie resteert.

Ook stadsverwarming biedt geen structurele afzet voor deze schaal. De warmtevraag is seizoensgebonden en bereikt slechts gedurende een deel van het jaar de maximale waarde. Buiten het stookseizoen blijft het overgrote deel van de warmtestroom zonder nuttige bestemming.

Bovendien kan warmtelevering conflicteren met de gewenste bedrijfsvoering van de centrale. Wanneer wind en zon veel elektriciteit leveren en de stroomprijs zeer laag of negatief is, bestaat economische druk om de centrale terug te regelen. Wanneer woningen of industrie tegelijkertijd afhankelijk zijn van haar warmte, wordt de centrale gedwongen in bedrijf gehouden. Warmtelevering creëert dan een *must-run*-situatie en kan leiden tot afregeling van wind en zon.

Eventuele warmtebenutting mag daarom alleen als aanvullende bate worden opgenomen voor een concrete, beperkte en voldoende zekere afname. De hoofdfunctie en de economische onderbouwing moeten op elektriciteitsproductie kunnen rusten.

13.5 De locatie en netaansluiting moeten werkelijk beschikbaar zijn

Een kerncentrale kan niet los van haar locatie worden beoordeeld. De locatie moet geschikt zijn voor koeling, veiligheid, beveiliging, bereikbaarheid, noodmaatregelen en langdurige ruimtelijke inpassing.

Ook moet de omgeving de centrale gedurende de gehele levensduur kunnen dragen. De bouwfase, exploitatie, onderhoud, afvaltransporten, beveiliging en ontmanteling hebben gevolgen voor bewoners, bedrijven en andere ruimtelijke ontwikkelingen. Lokale aanvaardbaarheid is daarom geen communicatieve aanvulling, maar onderdeel van de uitvoerbaarheid.

De netaansluiting moet vóór het investeringsbesluit technisch en planmatig voldoende zijn verzekerd. Het is onvoldoende dat een aansluiting in beginsel mogelijk is. Duidelijk moet zijn wanneer zij gereedkomt, welke netverzwaring daarvoor nodig is en welke gevolgen zij heeft voor andere productie en afnemers in dezelfde regio.

Ook moet het systeem het plotselinge verlies van de centrale kunnen opvangen. Een reactor van 1.600 MWe levert veel elektriciteit, maar vormt tegelijkertijd één zeer groot mogelijk storingsverlies. Reservevermogen, batterijen, vraagrespons en netondersteuning moeten daarop zijn ingericht.

De kosten van aansluiting en reserve behoren tot de integrale vergelijking en mogen niet buiten de projectkosten worden geplaatst alsof zij geen gevolg van de gekozen projectschaal zijn.

13.6 Kosten en bouwtijd moeten van buitenaf worden getoetst

Een project specifieke kostenraming van leverancier of projectorganisatie is noodzakelijk, maar niet voldoende.

De raming moet worden getoetst aan de werkelijke kosten en bouwtijden van vergelijkbare projecten. Daarbij moet worden gekeken naar ontwerp, ervaring van de opdrachtgever, volwassenheid van de toeleveringsketen, regelgeving, locatie en mate van standaardisering.

De beoordeling moet duidelijk maken welke kosten wel en niet zijn opgenomen. Directe bouwkosten, rente tijdens de bouw, netaansluiting, projectorganisatie, toezicht, beveiliging, afvalbeheer, ontmanteling en een eventuele terugvalroute moeten herkenbaar worden onderscheiden.

Ook moeten gevoeligheden worden doorgerekend. Wat gebeurt er bij vijf jaar vertraging? Wat is het effect van een hogere rente? Hoe verandert de kostprijs wanneer de centrale geen negentig, maar zestig of zeventig procent van de tijd produceert? Welke gevolgen heeft een lagere elektriciteitsprijs of een hogere onderhoudslast?

Niet alleen één verwachte uitkomst, maar ook de omslagpunten moeten zichtbaar zijn. Het besluit moet laten zien bij welke kosten, bouwtijd en benutting de centrale duidelijk ongunstiger wordt dan de alternatieven.

Een raming die alleen bij vrijwel perfecte uitvoering aantrekkelijk blijft, is geen robuuste onderbouwing.

13.7 Het risico moet zichtbaar worden toegewezen

Financieringsconstructies kunnen risico’s verdelen, maar niet laten verdwijnen.

Wanneer de overheid garanties verstrekt, een vaste prijs toezegt of de bouwkosten tijdens de realisatie laat doorberekenen aan elektriciteitsgebruikers, wordt de financiering mogelijk goedkoper. Het bouw- en afzetrisico komt dan echter voor een groter deel bij de samenleving te liggen.

Daarom moet vóór het investeringsbesluit voor iedere belangrijke tegenvaller duidelijk zijn wie uiteindelijk betaalt. Dat geldt voor kostenoverschrijding, vertraging, ontwerpwijzigingen, tegenvallende prestaties, minder bedrijfsuren en voortijdige sluiting.

De partij die een risico draagt, moet ook voldoende invloed hebben om dat risico te beheersen. Wanneer de overheid het grootste deel van de financiële gevolgen draagt, moet zij beschikken over sterke publieke zeggenschap, onafhankelijke deskundigheid en volledige toegang tot projectinformatie.

Een lage contractprijs is niet overtuigend wanneer belangrijke risico’s buiten het contract bij de overheid zijn geplaatst. De maatschappelijke kosten moeten worden beoordeeld inclusief de waarde van garanties en risicodragend kapitaal.

13.8 Voor vertraging moet vooraf een terugvalroute bestaan

Een kerncentrale mag niet als tijdig beschikbaar worden beschouwd omdat een planning dat aangeeft. De gevolgen van vertraging moeten vóór het investeringsbesluit zijn uitgewerkt.

Wanneer de centrale vijf of tien jaar later gereedkomt, moeten andere voorzieningen de leveringszekerheid blijven waarborgen. Dat kan betekenen dat bestaande STEG's langer beschikbaar blijven, nieuwe flexibele capaciteit wordt gebouwd, opslag wordt uitgebreid of aanvullende import- en vraagresponscontracten worden afgesloten.

Deze terugvalroute vraagt zelf tijd, investeringen en personeel. Zij kan niet pas worden ontwikkeld nadat vertraging zich heeft voorgedaan.

Bestaande capaciteit mag daarom niet op basis van de geplande opleverdatum van een kerncentrale worden ontmanteld. Zij kan pas verdwijnen wanneer de vervangende capaciteit daadwerkelijk is getest en bedrijfsvaardig is.

Een geloofwaardig alternatief vermindert bovendien de voortzettingsdwang. Wanneer Nederland volledig afhankelijk wordt van het slagen van één project, zal het bij iedere tegenvaller steeds moeilijker worden om voorwaarden te stellen of het project te beëindigen.

13.9 Voor SMR's gelden aanvullende voorwaarden

Voor SMR's geldt naast de algemene nucleaire voorwaarden een aanvullende bewijslast.

De verwachte economische voordelen van een SMR berusten op standaardisering, fabrieksmatige productie en seriebouw. Daarom moet worden aangetoond dat niet alleen de techniek, maar ook het industriële productieproces voldoende volwassen is.

De kosten van de Nederlandse eerste module moeten gebaseerd zijn op een uitvoerbaar contract en niet op een theoretische kostprijs die pas na tientallen toekomstige modules wordt verwacht. Duidelijk moet zijn hoeveel identieke reactoren internationaal werkelijk zijn gebouwd, hoeveel er in bestelling zijn en welke prestaties de productiefaciliteit heeft geleverd.

De eerste Nederlandse module moet zelfstandig kunnen worden beoordeeld. Nederland mag niet vooraf tot een volledige serie worden verplicht om de eerste eenheid economisch aantrekkelijk te laten lijken.

Na iedere module moet een werkelijk beslismoment bestaan. Op basis van de gerealiseerde kosten, bouwtijd, bedrijfsvoering en ontwikkeling van de restvraag moet kunnen worden besloten of een volgende module wordt gebouwd.

Wanneer modulariteit alleen technisch bestaat, maar contractueel geen keuzevrijheid geeft, verdwijnt een belangrijk voordeel van de SMR.

13.10 Bestaande en flexibele opties moeten volwaardig worden vergeleken

Een investeringsbesluit voor kernenergie is alleen overtuigend wanneer het wordt vergeleken met volwaardige alternatieven.

Daarbij gaat het niet alleen om de bouw van een nieuwe STEG. Ook levensduurverlenging van bestaande STEG's, behoud of ombouw van moderne koleneenheden, opslag, vraagsturing, netuitbreiding en combinaties daarvan moeten worden onderzocht.

De vergelijking moet dezelfde systeemfunctie en dezelfde betrouwbaarheid leveren. Het is niet eerlijk een kerncentrale met veel bedrijfsuren te vergelijken met één batterij die slechts enkele uren kan ontladen. Evenmin is het juist kernenergie als volledig CO_2-arm te vergelijken met een STEG die verondersteld wordt permanent op aardgas te draaien wanneer die STEG in werkelijkheid vooral als reserve wordt gebruikt.

De juiste vergelijking betreft complete strategieën. Aan de ene kant kan een nucleaire strategie staan met de centrale, netaansluiting, reserve en terugvalroute. Aan de andere kant kan een portfolio staan van wind, zon, opslag, vraagsturing en regelbaar vermogen op aardgas, waterstof, ammoniak, biomassa of met CO_2-afvang.

De alternatieven hoeven niet perfect te zijn om relevant te zijn. Zij moeten technisch uitvoerbaar, voldoende betrouwbaar en eerlijk geprijsd zijn.

13.11 Het besluit moet ook negatief kunnen uitvallen

Een toetsingskader heeft alleen betekenis wanneer niet vooraf vaststaat dat het project doorgaat.

Wanneer de minimale restvraag onvoldoende is, de kosten buiten de aanvaardbare bandbreedte vallen, de locatie niet beschikbaar is of de netaansluiting te laat komt, moet uitstel, verkleining of beëindiging mogelijk zijn.

Hetzelfde geldt wanneer internationale referentieprojecten opnieuw grote vertragingen laten zien of wanneer een SMR-serie niet tot stand komt. Nieuwe informatie moet het oordeel kunnen veranderen.

Reeds gemaakte voorbereidingskosten mogen daarbij niet doorslaggevend zijn. Die kosten zijn gemaakt om beter te kunnen beslissen. Wanneer de uitkomst van die voorbereiding is dat een project niet verantwoord is, heeft de voorbereiding haar functie vervuld.

Een negatief besluit is geen mislukking wanneer daarmee een veel grotere verkeerde investering wordt voorkomen.

13.12 Ook verder wachten moet worden verantwoord

De mogelijkheid om niet door te gaan betekent niet dat een besluit onbeperkt kan worden uitgesteld.

Wanneer gedurende meerdere jaren een structureel hoge minimale restvraag zichtbaar is, de elektriciteitsvraag aantoonbaar groeit, de locatie en aansluiting beschikbaar zijn en vergelijkbare projecten beheersbaar worden uitgevoerd, neemt de onderbouwing voor kernenergie toe.

Wanneer ook de financiering, risicoverdeling en terugvalroute op orde zijn, kan verder wachten grotere nadelen hebben dan het investeringsrisico. De centrale komt dan later beschikbaar, tijdelijke capaciteit moet langer worden betaald en fossiele productie kan langer nodig blijven.

Daarom moet ook een besluit tot verder uitstel worden gemotiveerd. Adaptieve besluitvorming betekent niet dat nooit een definitieve keuze wordt gemaakt. Zij betekent dat die keuze wordt genomen op het moment waarop de behoefte en uitvoerbaarheid voldoende overtuigend zijn.

13.13 De meest robuuste koers voor Nederland

Onder de huidige omstandigheden is de meest robuuste koers geen onmiddellijke keuze voor een maximaal nucleair programma en evenmin een definitieve afwijzing van kernenergie.

Nederland moet de leveringszekerheid behouden door bruikbare bestaande centrales, productielocaties en netaansluitingen niet voortijdig op te geven. Waar nodig kan flexibel vermogen in beheersbare stappen worden toegevoegd. Opslag en vraagsturing moeten worden uitgebreid voor de functies die zij aantoonbaar kunnen vervullen.

Tegelijkertijd moet de nucleaire voorbereiding serieus doorgaan. Locaties, ontwerpen, kosten, toezicht, contractvormen, netinpassing en afvalbeheer moeten voldoende worden uitgewerkt om later een werkelijk besluit mogelijk te maken.

De ontwikkeling van de restvraag, de industrie, wind en zon, opslag, brandstoffen en internationale nucleaire projecten moet periodiek en onafhankelijk worden beoordeeld. Daarmee ontstaat een steeds steviger feitelijke basis.

Het onomkeerbare investeringsbesluit volgt pas wanneer een structurele behoefte, een uitvoerbaar project en een maatschappelijk aanvaardbare risicoverdeling tegelijk zijn aangetoond.

13.14 Conclusie

De argumenten vóór kernenergie zijn serieus. Kernenergie kan gedurende lange tijd grote hoeveelheden elektriciteit produceren met een zeer lage uitstoot van broeikasgassen. De productie is niet afhankelijk van het weer, vraagt relatief weinig direct ruimtebeslag en kan de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en afzonderlijke energieketens verminderen.

Deze voordelen maken kernenergie tot een mogelijke belangrijke bouwsteen van de toekomstige Nederlandse elektriciteitsvoorziening. Zij maken een concrete investering echter nog niet vanzelfsprekend.

De werkelijke waarde van een kerncentrale hangt af van de behoefte die bij oplevering bestaat. Een grote reactor vraagt gedurende vele tientallen jaren een hoge minimale restvraag en veel bedrijfsuren. Een SMR kan een kleinere stap mogelijk maken, maar moet eerst bewijzen dat de technische en economische voordelen van seriebouw werkelijk worden gerealiseerd.

Warmtelevering verandert deze conclusie niet. De beschikbare warmtestroom is veel groter dan de Nederlandse industriële of stedelijke warmtevraag en past vaak niet bij het vereiste temperatuurniveau en jaarprofiel. Bovendien kan warmteafname de centrale dwingen elektriciteit te blijven produceren wanneer wind en zon de vraag al dekken.

Ook de lange levensduur is niet uitsluitend een voordeel. Zij is waardevol wanneer de behoefte langdurig bestaat, maar vormt een lock-in wanneer vraag, techniek of markt zich anders ontwikkelen dan verwacht.

Daarom moet Nederland niet eerst een techniek kiezen en daarna de behoefte passend maken. De volgorde moet worden omgekeerd.

Eerst moet worden vastgesteld welke elektriciteit en welk vermogen het systeem per uur nodig heeft. Daarna moet worden beoordeeld welke combinatie van kernenergie, duurzame productie, opslag, vraagsturing en flexibel regelbaar vermogen deze behoefte het meest betrouwbaar en robuust vervult.

Zolang de structurele behoefte nog niet overtuigend vaststaat, hebben bestaande STEG’s, moderne productielocaties, gefaseerde nieuwbouw en opslag een zelfstandige waarde. Zij kopen niet alleen tijd, maar ook informatie en keuzevrijheid.

Tijd kopen is echter alleen verstandig wanneer de tijd actief wordt gebruikt. De ontwikkeling van de vraag moet worden gemeten, alternatieven moeten worden voorbereid, locaties moeten worden behouden en nucleaire ontwerpen en projecten moeten kritisch worden gevolgd.

De uiteindelijke keuze voor kernenergie moet daarom niet berusten op enthousiasme of afwijzing, maar op aantoonbare voorwaarden.

Kernenergie verdient een plaats in de Nederlandse besluitvorming, maar niet op krediet van een voorspelde toekomst. Een definitief investeringsbesluit is pas verantwoord wanneer de behoefte, bedrijfsvoering, locatie, netaansluiting, kosten, bouwtijd, risicoverdeling en terugvalroute overtuigend zijn aangetoond.

Tot dat moment is een gefaseerde strategie met behoud van manoeuvreerruimte geen uitstel van beleid, maar behoorlijk bestuur.

Bijlage A — Actuele stand van zaken bij de overheid

Juni 2026

Het kabinet heeft de politieke richting voor kernenergie inmiddels in belangrijke mate bepaald. De ambitie is niet langer uitsluitend om kernenergie te onderzoeken. Het coalitieakkoord gaat uit van ten minste vier nieuwe kerncentrales en het kabinet werkt met een routekaart toe naar een mogelijke omvang van 7 GW kernenergie in 2050. De eerste stap bestaat uit de voorbereiding van twee grote kerncentrales. Daarnaast worden SMR's en andere nucleaire ontwikkelingen onderzocht en wordt gewerkt aan versterking van het Nederlandse nucleaire kennis- en bedrijvennetwerk.

Voor de eerste twee grote kerncentrales is begin 2024 een projectprocedure gestart. Daarbij wordt uitgegaan van twee generatie III+-reactoren op één locatie, met ieder een vermogen van meer dan 1 GW. De huidige procedure onderzoekt daarom niet opnieuw of Nederland twee grote kerncentrales nodig heeft en evenmin of één centrale, meerdere kleinere centrales of een andere combinatie van technieken beter bij het toekomstige elektriciteitssysteem past. De procedure richt zich in de eerste plaats op de vraag waar de reeds voorgenomen twee grote centrales ruimtelijk kunnen worden ingepast.

Aanvankelijk zijn negen locatievarianten onderzocht in vier gebieden: het Sloegebied, Terneuzen, de Maasvlakte en de Eemshaven. Op basis van de concept-Integrale Effectenanalyse, het plan-MER en de onderzoeken van TenneT heeft het kabinet deze mogelijkheden inmiddels teruggebracht tot Terneuzen en twee locatievarianten in de Eemshaven. Het Sloegebied en de Maasvlakte vallen volgens de huidige kabinetsrichting af.

Daarmee is een moeilijk bestuurlijk dilemma ontstaan. De onderzoeken geven aan dat locaties in de Eemshaven ruimtelijk en vanuit het elektriciteitssysteem gunstiger zijn dan Terneuzen. De inpassing van 3,2 GW nieuw nucleair vermogen veroorzaakt daar volgens TenneT geen nieuwe netknelpunten, mits ook de sterke groei van de elektriciteitsvraag uit het gebruikte energiescenario werkelijk optreedt. In Groningen ontbreekt echter politiek-bestuurlijk draagvlak. Provinciale Staten, gemeenten en beide Kamers hebben zich eerder tegen kerncentrales in de Eemshaven uitgesproken.

Voor Zeeland geldt het omgekeerde. Voorgaande kabinetten hebben aangegeven dat Zeeland de voorkeur krijgt wanneer daar een uitvoerbare mogelijkheid bestaat. De netinpassing blijkt daar echter bijzonder moeilijk. In het Sloegebied acht TenneT ook een lager vermogen van 2,2 GW niet verantwoord inpasbaar. In Terneuzen is 3,2 GW niet zonder zeer ingrijpende maatregelen in te passen. Een kleinere variant van ongeveer 2,2 GW is technisch mogelijk met operationele maatregelen, maar alleen wanneer de veronderstelde zeer sterke groei van de regionale elektriciteitsvraag daadwerkelijk wordt gerealiseerd.

Voor Zeeland gaat TenneT in de gebruikte scenario's uit van een elektriciteitsvraag van ongeveer 5,4 GW in 2040, oplopend tot ongeveer 6,8 à 7,1 GW wanneer de extra flexibele vraag wordt meegerekend die nodig is om kernenergie en wind op zee zonder grote knelpunten in te passen. De huidige vraag bedraagt ongeveer 1,45 GW. De benodigde groei komt daarmee neer op ongeveer een vervijfvoudiging. TenneT stelt uitdrukkelijk dat deze ontwikkeling op basis van de huidige aansluitaanvragen en beschikbare stationscapaciteit niet realistisch is zonder actief industrie-, vestigings- en vraagsturingsbeleid.

Wanneer deze vraaggroei niet of later wordt gerealiseerd, ontstaan grote transportknelpunten. De berekende redispatchkosten kunnen oplopen tot ongeveer €500 miljoen per jaar en bij een sterk achterblijvende vraag tot circa €700 miljoen à €1,3 miljard per jaar. De structurele oplossing, een fundamentele aanpassing van het landelijke 380 kV-net, kost volgens TenneT tientallen miljarden euro's en is niet vóór 2045 beschikbaar.

TenneT adviseert daarom vanuit systeem- en kostenefficiëntie de eerste grote kerncentrales niet in Zeeland, maar in de Eemshaven te plaatsen. Als alternatief noemt TenneT een verspreide plaatsing van kleinere nucleaire eenheden. Wanneer het kabinet toch voor Terneuzen kiest, is volgens TenneT onmiddellijk een actief en dwingend systeembeleid nodig. Daarbij moet de overheid niet alleen de productie plannen, maar ook gericht industrie en flexibele elektriciteitsvraag naar Zeeland brengen, keuzes maken tussen kernenergie en nieuwe aanlandingen van wind op zee en de bijkomende systeemkosten expliciet dragen.

De overheid bevindt zich daarmee nog niet bij een definitief investeringsbesluit, maar is wel aanzienlijk verder dan een open technische verkenning. De staatsdeelneming Nucleaire Energie Organisatie Nederland, NEO NL, is opgericht om de bouw en exploitatie van kerncentrales voor te bereiden. NEO NL werkt verder aan de inkoopprocedure en zal na de voorkeursbeslissing de selectie van de technologieleverancier en de verdere planuitwerking overnemen. Parallel daaraan werkt het kabinet aan het financieringspakket, het nucleaire kennis- en bedrijvennetwerk, regionale maatregelenpakketten en de voorbereiding van vergunningverlening.

Om de grond voor de mogelijke projecten beschikbaar te houden, heeft het Rijk bovendien een nationaal voorkeursrecht gevestigd op zoeklocaties bij Terneuzen en de Eemshaven. Voor Terneuzen heeft dit voorkeursrecht tevens betrekking op de grond die nodig is voor een nieuw 380 kV-station. Het kabinet benadrukt dat het voorkeursrecht nog geen definitieve locatiekeuze inhoudt, maar de maatregel laat wel zien dat de voorbereiding inmiddels concrete ruimtelijke gevolgen heeft.

Het kabinet wil vóór het einde van 2026 richting geven aan de voorkeurslocatie. De ontwerp-Voorkeursbeslissing wordt volgens de huidige planning in de eerste helft van 2027 gepubliceerd en samen met de definitieve Integrale Effectenanalyse en het plan-MER ter inzage gelegd. Daarna volgen de verdere planuitwerking, een projectbesluit, een nieuw project-MER, de technologie- en leverancierskeuze, financiering en de vergunningen op grond van de Kernenergiewet. Een betrouwbare integrale planning voor voorbereiding, bouw en ingebruikname bestaat op dit moment nog niet.

De huidige stand van zaken laat daarmee precies de bestuurlijke spanning zien die in deze studie wordt onderzocht. De politieke richting, de gewenste omvang en de projectvorm zijn al in belangrijke mate gekozen. Pas tijdens de uitwerking wordt volledig zichtbaar welke vraagontwikkeling, netaanpassingen, regionale ingrepen, financiële garanties en keuzes ten opzichte van wind op zee daarvoor nodig zijn.

Dat rechtvaardigt de vraag uit de titel:

Eerst kiezen, dan denken?

Het vraagteken blijft belangrijk. Het kabinet voert omvangrijke onderzoeken uit en heeft nog geen definitief investeringsbesluit genomen. De uitkomsten hebben al geleid tot het afvallen

van locaties en tot erkenning van ernstige inpassingsproblemen. Tegelijkertijd is de onderzoeksvolgorde niet volledig open: de procedure zoekt vooral naar de beste manier om twee reeds politiek gekozen grote kerncentrales mogelijk te maken.

Deze studie vult daarom een ontbrekende stap aan. Zij begint niet met de vraag waar twee kerncentrales kunnen worden gebouwd, maar met de voorafgaande vraag welke productie-, flexibiliteits- en reservefunctie het Nederlandse elektriciteitssysteem werkelijk nodig heeft. Pas daarna kan worden vastgesteld of twee grote kerncentrales, één centrale, SMR's of een combinatie van flexibel vermogen, duurzame productie en opslag de meest robuuste keuze vormt.

Bijlage B moet compact blijven en vooral de **controleerbaarheid** van de studie dienen. Zij legt vast welke toekomstbeelden worden onderzocht, hoe de restvraag wordt bepaald en op welke eigenschappen de opties worden vergeleken. De bijlage hoeft geen volledig simulatiemodel of uitgebreid tabellenboek te worden.

Bijlage B — Technische uitgangspunten en scenario’s

B.1 Doel van deze bijlage

Deze bijlage beschrijft de technische uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de vergelijking van bestaande STEG’s, moderne koleneenheden, nieuwe STEG’s, grote kerncentrales, SMR’s, opslag en vraagsturing.

Het doel is niet de toekomst exact te voorspellen. De bijlage maakt zichtbaar onder welke aannamen een techniek goed of minder goed in het Nederlandse elektriciteitssysteem past. Daarmee kan worden beoordeeld of de conclusies van de studie ook standhouden wanneer vraag, duurzame productie, industrie, opslag of bouwkosten zich anders ontwikkelen dan verwacht.

De scenario’s zijn daarom geen beleidsdoelen en evenmin voorspellingen. Zij vormen samenhangende toekomstbeelden waarmee de robuustheid van de verschillende strategieën wordt getoetst.

B.2 Tijdshorizon en analyse eenheid

De beoordeling onderscheidt drie perioden.

Op korte termijn staat het behoud van leveringszekerheid centraal. In deze periode kunnen vooral levensduurverlenging, onderhoud, aanpassing van bestaande installaties, batterijen en beperkte nieuwbouw een bijdrage leveren.

Op middellange termijn kan nieuwe flexibele productiecapaciteit nodig worden wanneer bestaande centrales sluiten en de elektriciteitsvraag groeit. In deze periode kunnen moderne STEG’s, opslag, vraagsturing en mogelijk de eerste nucleaire projecten een rol spelen.

Op lange termijn wordt beoordeeld of een structurele behoefte aan nieuwe basislast ontstaat en of grote kerncentrales of SMR’s dan beter passen dan een verdere ontwikkeling van flexibele productie, opslag en duurzame energie.

De basis van de beoordeling is één uur. Jaarlijkse hoeveelheden elektriciteit in TWh zijn nuttig voor het energiebeeld, maar onvoldoende om de behoefte aan vermogen, flexibiliteit en opslag vast te stellen. De productie en vraag worden daarom chronologisch per uur beschouwd.

B.3 Vraag, productie en restvraag

De totale elektriciteitsvraag bestaat uit het bestaande verbruik en uit nieuwe toepassingen, waaronder elektrisch vervoer, warmtepompen, datacenters, industriële elektrificatie en elektrolyse.

De bruto restvraag per uur wordt bepaald door van de totale elektriciteitsvraag de productie van wind, zon en andere niet-regelbare bronnen af te trekken.

Een positieve bruto restvraag betekent dat aanvullende productie, import, opslagontlading of vraagvermindering nodig is. Een negatieve bruto restvraag betekent dat een overschot beschikbaar is voor opslag, export, elektrolyse, andere flexibele afname of afregeling.

Na inzet van opslag, vraagsturing, import en flexibele afnemers resteert de netto restvraag die door regelbare centrales moet worden geleverd.

Voor de beoordeling van een productiemiddel zijn niet alleen de maximale en gemiddelde restvraag van belang. Ook de volgende eigenschappen worden beschouwd:

- de minimale restvraag;
- het aantal uren waarin de restvraag boven een bepaald vermogen ligt;
- het aantal uren met een lage of negatieve restvraag;
- de duur van aaneengesloten tekortperioden;
- de snelheid waarmee de restvraag stijgt of daalt;
- het aantal starts, stops en belasting wisselingen dat van centrales wordt gevraagd;
- de benodigde reserve bij storing of onderhoud.

B.4 Vraagscenario's

De toekomstige elektriciteitsvraag is onzeker. Daarom worden drie hoofdrichtingen onderscheiden.

Vraagscenario	Karakter
Beperkte groei	De totale vraag blijft dicht bij het huidige niveau of groeit slechts geleidelijk. Elektrificatie en elektrolyse ontwikkelen zich langzamer en een deel van de energie-intensieve industrie vermindert de productie of vertrekt.
Sterke groei	Elektrisch vervoer, verwarming en een deel van de industrie elektrificeren. De vraag neemt duidelijk toe, maar niet alle aangekondigde industriële en waterstofprojecten worden gerealiseerd.
Zeer sterke groei	De vraag verdubbelt of verdrievoudigt op lange termijn. Industrie, elektrolyse, datacenters, vervoer en verwarming ontwikkelen zich gelijktijdig sterk. Dit scenario geldt als stresstest en niet als voorspelling.

Als indicatieve orde van grootte kan daarbij worden gedacht aan een huidige vraag van ongeveer 120 TWh per jaar, een sterke groei naar ongeveer 180 tot 240 TWh en een zeer sterke groei richting 300 tot 360 TWh. De exacte waarden zijn minder bepalend dan de uurprofielen en de snelheid waarmee de vraag werkelijk tot stand komt.

De industriële vraag wordt niet uitsluitend afgeleid uit beleidsambities of aangekondigde projecten. Er wordt onderscheid gemaakt tussen bestaande vraag, projecten met een definitief investeringsbesluit en plannen die nog afhankelijk zijn van subsidies, infrastructuur, vergunningen of toekomstige marktprijzen.

B.5 Scenario's voor wind en zon

Naast de vraagontwikkeling wordt de ontwikkeling van wind en zon afzonderlijk gevarieerd.

Scenario duurzame productie	Karakter
Afbouw op lange termijn	Een deel van de bestaande wind- en zonne-installaties wordt na het einde van de levensduur niet vervangen. Kosten, ruimtelijke weerstand, netproblemen of een achterblijvende vraag beperken nieuwe investeringen.
Ongeveer gelijkblijvend	Bestaande capaciteit wordt grotendeels vervangen, maar er vindt na een bepaalde periode geen sterke verdere groei plaats.
Sterke verdere groei	Wind op zee, wind op land en zonne-energie worden verder uitgebreid en leveren op jaarbasis een steeds groter deel van het verbruik.

Deze drie ontwikkelingen worden gecombineerd met de drie vraagscenario's. Zo ontstaan negen hoofdscenario's.

	Duurzaam neemt af	**Duurzaam blijft ongeveer gelijk**	**Duurzaam groeit sterk**
Beperkte vraaggroei	1	2	3
Sterke vraaggroei	4	5	6
Zeer sterke vraaggroei	7	8	9

Deze matrix voorkomt dat uit hoge vraaggroei automatisch een behoefte aan basislast wordt afgeleid. Ook bij een zeer hoge vraag kan de minimale restvraag laag blijven wanneer wind en zon gelijktijdig sterk groeien.

Omgekeerd kan bij een gematigde vraaggroei toch ruimte voor basislast ontstaan wanneer duurzame productie op lange termijn stagneert of afneemt.

B.6 Uurprofielen van nieuwe vraag

Niet iedere nieuwe elektriciteitsvraag heeft hetzelfde effect op het systeem.

Elektrisch vervoer kan gedeeltelijk worden verschoven naar uren met lage prijzen. Warmtepompen hebben vooral tijdens koude perioden een hoge vraag en kunnen slechts beperkt gebruikmaken van gebouwmassa en warmtebuffers. Datacenters hebben doorgaans een relatief constante vraag. Industriële processen kunnen continu zijn, maar kunnen ook onderhoudsstops en productiebeperkingen kennen.

Elektrolysers worden als flexibele afnemers gemodelleerd. Zij produceren meer tijdens goedkope uren en verminderen de afname bij hoge elektriciteitsprijzen. Er wordt niet verondersteld dat zij onbeperkt en tegen iedere prijs elektriciteit opnemen.

De benutting van een elektrolyser wordt bepaald door de combinatie van investeringskosten, elektriciteitsprijs, netkosten, rendement, opslag, infrastructuur en de prijs waarvoor waterstof kan worden verkocht. Een lage stroomprijs gedurende enkele uren is daarom niet voldoende om een grote en continue afname te rechtvaardigen.

B.7 Opslag

Opslag wordt beschreven aan de hand van twee afzonderlijke grootheden:

- het laad- en ontlaadvermogen in MW;
- de energie-inhoud in MWh of GWh.

Een batterij van 1.000 MW en 4.000 MWh kan gedurende ongeveer vier uur op vol vermogen leveren. Zij kan korte pieken, dagelijkse verschuivingen en snelle netdiensten opvangen, maar geen tekortperiode van meerdere dagen of weken.

Voor langdurige opslag worden ook routes met waterstof, ammoniak, pompaccumulatie of andere technieken beschouwd. Daarbij worden de volledige omzettingsverliezen en de benodigde infrastructuur meegenomen.

Opslag wordt niet behandeld als een energiebron. De voorraad moet vooraf worden gevuld. Bij langdurige of snel opeenvolgende tekortperioden kan de opslag uitgeput raken.

B.8 Vraagsturing

Vraagsturing wordt alleen als zekere systeembijdrage opgenomen wanneer zij technisch uitvoerbaar, economisch aantrekkelijk en contractueel beschikbaar is.

Een theoretische mogelijkheid om elektriciteitsgebruik te verschuiven wordt niet automatisch als beschikbare capaciteit beschouwd. Van belang zijn:

- het maximaal afschakelbare of verschuifbare vermogen;
- de maximale duur van de verschuiving;
- de hersteltijd;
- het aantal keren dat de flexibiliteit mag worden ingezet;
- de kosten of productieverliezen voor de afnemer;
- de zekerheid dat de flexibiliteit tijdens een kritieke periode werkelijk beschikbaar is.

B.9 Import en export

Nederland wordt als onderdeel van het Noordwest-Europese elektriciteitssysteem beschouwd. Import en export kunnen overschotten en tekorten verminderen, maar worden niet als onbeperkte buffer behandeld.

Bij een langdurige windstille periode kunnen meerdere landen tegelijk behoefte hebben aan regelbaar vermogen en brandstof. Tijdens zeer winderige uren kunnen meerdere landen tegelijk een overschot hebben.

De nominale capaciteit van een internationale verbinding wordt daarom niet gelijkgesteld aan gegarandeerde import of export. Er wordt rekening gehouden met buitenlandse vraag, gelijktijdige weersomstandigheden, onderhoud, storingen en marktprijzen.

B.10 Beschouwde productieopties

Optie	Hoofdfunctie	Sterkste eigenschap	Belangrijkste onzekerheid
Levensduurverlenging bestaande STEG	Middenlast, reserve en langdurige tekorten	Beperkte nieuwe investering en snelle beschikbaarheid	Technische staat, rendement, gas- en CO_2-kosten
Behoud of ombouw moderne koleneenheid	Langere productieperioden en strategische reserve	Bestaande zware locatie en infrastructuur	Brandstof, CO_2-afvang, emissies en resterende levensduur
Nieuwe moderne STEG	Flexibele middenlast en reserve	Relatief korte bouwtijd en goede regelbaarheid	Toekomstige brandstof en emissieroute
Grote kerncentrale	Langdurige CO_2-arme productie	Groot vermogen en lage operationele uitstoot	Bouwkosten, bouwtijd, bedrijfsuren en afzetrisico
SMR	Gefaseerde nucleaire productie	Kleinere vermogensstap en modulariteit	Eerste toepassing, kostprijs en seriebouw
Batterijopslag	Korte verschuivingen en snelle regeling	Zeer snelle reactie	Energie-inhoud en verdienmodel
Langdurige opslag	Overbrugging van langere tekorten	Grote potentiële energievoorraad	Kosten, rendement, infrastructuur en beschikbaarheid

B.11 Technische bedrijfsvoering

Voor iedere thermische centrale worden ten minste de volgende eigenschappen beschouwd:

- nominaal vermogen;
- minimumvermogen;
- op- en afregelsnelheid;
- warme en koude starttijd;
- minimale bedrijfsduur na een start;
- minimale stilstandtijd;
- kosten en slijtage van een start;
- rendement bij vollast en deellast;
- geplande beschikbaarheid;
- storingskans;
- onderhoudsduur;
- technische levensduur bij het verwachte bedrijfsregime.

Bij kerncentrales wordt onderscheid gemaakt tussen de technische mogelijkheid om het vermogen te variëren en de economische geschiktheid voor frequent lastvolgend bedrijf.

Een kerncentrale kan technisch terugregelen. De hoge vaste kosten en lage variabele kosten veroorzaken echter een sterke economische prikkel om veel uren te produceren. Daarnaast moet de invloed van cyclisch bedrijf op onderhoud, componentbelasting en splijtstofbeheer worden meegenomen.

Bij bestaande koleneenheden wordt niet verondersteld dat zij uitsluitend als inflexibele basislast kunnen functioneren. Moderne eenheden kunnen stoppen, starten en terugregelen. Zij zijn minder geschikt voor zeer snel dagelijks cyclisch bedrijf dan moderne STEG's, maar kunnen wel langere productieperioden afwisselen met stilstand.

B.12 Vermogen en uitval van kerncentrales

Voor grote kerncentrales wordt uitgegaan van een eenheidsvermogen in de orde van 1.000 tot 1.700 MWe. Twee grote eenheden op één locatie kunnen samen ongeveer 2 tot 3,4 GW aan productie toevoegen.

Het plotselinge verlies van één eenheid vormt een afzonderlijke systeemopgave. De benodigde snelle reserve, frequentieregeling en netondersteuning wordt daarom aan de projectschaal gekoppeld.

Voor SMR's wordt uitgegaan van maximaal ongeveer 300 MWe per module. Een kleiner eenheidsvermogen vermindert het gevolg van de uitval van één module. Bij meerdere modules op één locatie wordt ook rekening gehouden met gemeenschappelijke oorzaken, zoals uitval van de aansluiting, koeling of gedeelde hulpsystemen.

B.13 Warmtebenutting

Warmtebenutting wordt niet als dragende afzetmogelijkheid voor een grote kerncentrale verondersteld.

Een kerncentrale van ongeveer 1.000 MWe produceert continu enkele duizenden MWth. De Nederlandse industriële warmtevraag per afzonderlijke locatie ligt doorgaans in een veel lagere orde van grootte en vraagt vaak een hoger temperatuurniveau.

Stadsverwarming kent een sterk seizoensgebonden vraag en kan de beschikbare warmte niet gedurende het gehele jaar op vergelijkbare schaal benutten.

Eventuele warmtebenutting wordt daarom uitsluitend als aanvullende bate opgenomen wanneer:

- een concrete afnemer aanwezig is;
- het temperatuurniveau aansluit;
- de afstand beperkt is;
- de afname gedurende voldoende uren bestaat;
- een reservevoorziening beschikbaar is;
- duidelijk is wie het risico draagt wanneer de afnemer wegvalt.

Daarnaast wordt rekening gehouden met het risico dat warmtelevering tot een *must-run*-situatie leidt. De centrale kan dan gedwongen blijven produceren terwijl de elektriciteitsprijs laag of negatief is.

B.14 Onderhoud, storingen en reserve

Geen enkele techniek wordt als permanent beschikbaar beschouwd.

Gepland onderhoud wordt zo veel mogelijk buiten kritieke perioden geplaatst. Onverwachte uitval wordt afzonderlijk gemodelleerd. De berekeningen moeten ook situaties omvatten waarin een storing samenvalt met een hoge restvraag en lage productie uit wind en zon.

Het systeem wordt niet zonder marge ontworpen. Er moet voldoende reserve aanwezig zijn om onverwachte uitval, afwijkende weersomstandigheden en onderhoud van netverbindingen op te vangen.

B.15 Kosten en financiële vergelijking

De vergelijking omvat niet alleen de gemiddelde productiekosten per MWh. De volgende kosten worden onderscheiden:

- investering;
- financieringskosten;
- rente tijdens de bouw;
- vaste bedrijfs- en onderhoudskosten;
- brandstofkosten;
- kosten van emissierechten;
- kosten van starten, stoppen en deellastbedrijf;
- kosten van netaansluiting en systeemdiensten;
- kosten van reserve en terugvalvoorzieningen;
- kosten van CO_2-afvang, transport en opslag;
- kosten van afvalbeheer en ontmanteling;
- verwachte restwaarde.

Voor kernenergie worden ten minste gevoeligheden onderzocht voor:

- hogere bouwkosten;
- vijf en tien jaar vertraging;
- hogere rente;
- lagere beschikbaarheid;
- minder bedrijfsuren;
- lagere marktprijzen;
- hogere onderhouds- en moderniseringskosten.

Voor STEG’s en omgebouwde koleneenheden worden ten minste gevoeligheden onderzocht voor:

- hogere brandstofprijzen;
- hogere CO_2-prijzen;

- lagere bedrijfsuren;
- kosten van alternatieve brandstoffen;
- kosten en prestaties van CO_2-afvang;
- investeringen in levensduurverlenging.

B.16 Corrigeerbaarheid en optiewaarde

Naast kosten en technische prestaties wordt beoordeeld hoe gemakkelijk een strategie kan worden aangepast wanneer de toekomst anders verloopt.

Daarbij wordt gekeken naar:

- de omvang van de eerste investeringsstap;
- de tijd tussen besluit en ingebruikname;
- de mogelijkheid om capaciteit gefaseerd toe te voegen;
- de mogelijkheid om de investering te verkleinen of te beëindigen;
- het verlies wanneer een andere ontwikkeling optreedt;
- de waarde van behouden locaties, netaansluitingen en kennis.

Levensduurverlenging en gefaseerde nieuwbouw hebben een relatief hoge corrigeerbaarheid. Een grote kerncentrale heeft na het begin van de bouw een veel lagere corrigeerbaarheid. Voor een dergelijke stap is daarom een zwaardere onderbouwing nodig.

B.17 Beoordeling per scenario

De opties worden niet tot één algemene rangorde teruggebracht. Per scenario wordt vastgesteld welke functie dominant is.

Bij een beperkte vraaggroei en sterke uitbreiding van wind en zon ligt de nadruk waarschijnlijk op flexibiliteit, opslag en reserve.

Bij een sterke vraaggroei en gelijkblijvende duurzame productie kan een structurele behoefte aan middenlast en basislast ontstaan.

Bij een sterke groei van zowel vraag als duurzame productie kunnen tegelijkertijd ruimte voor een beperkte hoeveelheid basislast, grote overschotten en zware tekortperioden ontstaan.

Bij afbouw van duurzame productie en een stijgende vraag neemt de behoefte aan langdurige productie sterk toe en kan kernenergie aantrekkelijker worden.

De robuustste strategie is niet noodzakelijk in ieder scenario de goedkoopste. Zij moet in zo veel mogelijk plausibele toekomstbeelden voldoende blijven functioneren zonder tot onbeheersbare tekorten, kosten of kapitaalverlies te leiden.

B.18 Uitkomsten van de analyse

De technische analyse moet per scenario ten minste de volgende uitkomsten opleveren:

- jaarlijkse elektriciteitsvraag;
- jaarlijkse productie per techniek;
- maximale, gemiddelde en minimale restvraag;
- aantal uren met negatieve restvraag;
- afgeregelde productie uit wind, zon en kernenergie;
- bedrijfsuren per centrale;
- aantal starts en stops;
- minimale en gemiddelde belasting;
- maximale aaneengesloten tekortperiode;
- benodigde opslagcapaciteit en energie-inhoud;
- benodigde regelbare en strategische reserve;
- import en export tijdens kritieke perioden;
- CO_2-uitstoot;
- systeemkosten;
- financiële blootstelling bij vertraging of tegenvallende benutting.

De uitkomsten worden niet gebruikt om één toekomst als de juiste aan te wijzen. Zij laten zien onder welke omstandigheden een techniek goed past en bij welke ontwikkeling haar belangrijkste voordeel verdwijnt.

B.19 Beslisregel

De technische scenarioanalyse moet uiteindelijk antwoord geven op drie vragen.

Bestaat gedurende vele jaren een voldoende hoge minimale restvraag om een grote kerncentrale of SMR veel bedrijfsuren te laten maken?

Kan dezelfde betrouwbaarheid met een meer gefaseerde combinatie van bestaande centrales, nieuwe flexibele capaciteit, opslag en vraagsturing worden bereikt?

Hoe groot zijn de gevolgen wanneer vraag, duurzame productie, bouwtijd of kosten anders verlopen dan verwacht?

Een grote en moeilijk corrigeerbare investering is pas gerechtvaardigd wanneer zij niet alleen in het verwachte scenario, maar ook onder aannemelijke afwijkingen voldoende waarde behoudt.

Deze bijlage legt de uitgangspunten vast waarmee die robuustheid kan worden getoetst.

Bijlage C — Compacte vergelijking en besliskader

C.1 Doel van deze bijlage

Deze bijlage vat de vergelijking van de belangrijkste productie- en opslagopties samen en vertaalt de studie naar een praktisch besliskader.

Het overzicht is geen ranglijst waarin één techniek onder alle omstandigheden als winnaar naar voren komt. De geschiktheid van iedere optie hangt af van de functie die het elektriciteitssysteem nodig heeft, het moment waarop de capaciteit beschikbaar moet zijn en de mate van zekerheid over de toekomstige restvraag.

De beoordeling is kwalitatief. Zij voorkomt schijnnauwkeurigheid zolang kosten, bedrijfsuren, toekomstige brandstoffen, bouwtijden en vraagontwikkeling nog onzeker zijn.

C.2 Vergelijking van de belangrijkste opties

Optie	Primaire systeemfunctie	Beschikbaarheid	Flexibiliteit	Financieel risico	Corrigeerbaarheid	Belangrijkste voorwaarde
Levensduurverlenging bestaande STEG	Middenlast, reserve en langdurige tekorten	Relatief snel	Hoog	Beperkt tot middelgroot	Hoog	Technische staat moet voldoende zijn en investering moet passen bij de resterende gebruiksduur
Behoud of ombouw moderne koleneenheid	Middenlast en langere productieperioden	Sneller dan volledige nieuwbouw, maar afhankelijk van ombouw	Middelgroot	Middelgroot tot hoog	Middelgroot	Geschikte brandstof, beheersbare emissies en eventueel beschikbare CO_2-infrastructuur
Nieuwe moderne STEG	Flexibele middenlast, reserve en piekvermogen	Relatief snel	Hoog	Middelgroot	Middelgroot tot hoog	Geloofwaardige route voor brandstof en emissiereductie
Grote kerncentrale	Langdurige CO_2-arme productie	Laat beschikbaar	Technisch regelbaar, economisch gericht op veel bedrijfsuren	Zeer hoog	Laag na aanvang van de bouw	Structureel hoge minimale restvraag, beheerste bouw en tijdige netaansluiting

SMR	Gefaseerde nucleaire productie	Afhankelijk van ontwerp en eerste serie	Mogelijk beter faseerbaar dan grote reactor	Hoog bij eerste toepassing	Potentieel middelgroot	Aangetoonde techniek, werkelijke seriebouw en zelfstandige waarde van de eerste module
Batterijopslag	Snelle regeling en verschuiving over uren	Snel en gefaseerd	Zeer hoog	Middelgroot	Hoog	Voldoende prijsverschil en passende verhouding tussen vermogen en energie-inhoud
Langdurige opslag	Overbrugging van meerdaagse of langere tekorten	Afhankelijk van techniek en infrastructuur	Hoog na beschikbaarheid	Hoog en onzeker	Middelgroot	Voldoende overschotten, aanvaardbare verliezen en grote energie-inhoud
Vraagsturing	Vermindering en verschuiving van pieken	Gefaseerd beschikbaar	Hoog binnen contractuele grenzen	Beperkt tot middelgroot	Hoog	Flexibiliteit moet technisch en contractueel werkelijk beschikbaar zijn
Import en export	Aanvulling bij regionale overschotten en tekorten	Afhankelijk van verbindingen en buitenlandse markt	Middelgroot	Afhankelijk van marktprijzen	Middelgroot	Beschikbaarheid mag niet worden verondersteld tijdens gelijktijdige Europese tekorten

C.3 Betekenis van de vergelijking

Bestaande STEG's scoren vooral goed op snelheid, beperkte nieuwe investeringen en corrigeerbaarheid. Hun zwakke punt is dat bij gebruik van aardgas CO_2-uitstoot en afhankelijkheid van brandstofprijzen blijven bestaan. Zij zijn daarom vooral geschikt als overbrugging, middenlast of strategische reserve en minder als intensief gebruikte structurele eindoplossing.

Moderne koleneenheden beschikken over waardevolle locaties, netaansluitingen, koeling, turbines, generatoren en logistiek. Zij kunnen technisch stoppen, starten en middenlast leveren. Hun toekomstige waarde hangt echter sterk af van de mogelijkheid om een andere brandstof te gebruiken en de emissies voldoende te beperken. De kosten van CO_2-afvang kunnen aanzienlijk zijn, maar moeten worden vergeleken met de volledige kosten van nieuwbouw en niet alleen met de situatie zonder aanpassing.

Nieuwe STEG's bieden een goede combinatie van relatief snelle beschikbaarheid, flexibiliteit en beperkte projectschaal. Zij kunnen in kleinere stappen worden gebouwd en hun bedrijfsuren aanpassen aan de ontwikkeling van wind en zon. De belangrijkste onzekerheid ligt bij de toekomstige brandstof. Waterstof, ammoniak en CO_2-afvang zijn technisch mogelijke routes, maar hun kosten en beschikbaarheid zijn nog niet voldoende zeker.

Een grote kerncentrale biedt een sterke combinatie van langdurige productie en zeer lage operationele CO_2-uitstoot. De centrale past vooral wanneer gedurende een groot deel van het jaar een hoge restvraag aanwezig blijft. De keuze vraagt een zeer grote investering en wordt na het begin van de bouw moeilijk corrigeerbaar. Daarom is een zware onderbouwing nodig van behoefte, locatie, aansluiting, kosten en bouwtijd.

SMR's kunnen de afzonderlijke investerings- en vermogensstap verkleinen. Hun potentiële voordeel ligt vooral in modulariteit en seriebouw. Zolang die seriebouw nog niet aantoonbaar is gerealiseerd, blijft onzeker of de verwachte lagere kosten en kortere bouwtijden werkelijk worden bereikt.

Opslag en vraagsturing zijn noodzakelijke aanvullingen, maar moeten worden beoordeeld op hun werkelijke duur en beschikbaarheid. Een batterij van enkele uren vervult een andere functie dan een centrale of energievoorraad die een tekort van meerdere dagen of weken kan overbruggen.

C.4 Geen algemene winnaar

De voorkeursvolgorde verandert per toekomstbeeld.

Ontwikkeling	Meest voor de hand liggende behoefte	Waarschijnlijk passende strategie
Beperkte vraaggroei en sterke groei van wind en zon	Flexibiliteit, opslag en reserve	Bestaande STEG's, beperkte flexibele nieuwbouw, batterijen en vraagsturing
Sterke vraaggroei en gelijkblijvende duurzame productie	Middenlast en mogelijk basislast	Nieuwe STEG's, mogelijke kernenergie en behoud van voldoende reserve
Sterke groei van zowel vraag als duurzame productie	Combinatie van beperkte basislast, veel flexibiliteit en opslag	Gemengd portfolio met mogelijk kernenergie naast regelbaar vermogen
Afnemende duurzame productie en groeiende vraag	Langdurige productie en hoge restvraag	Kernenergie wordt aantrekkelijker; flexibel vermogen blijft nodig
Onzekere industrie en achterblijvende elektrolyse	Lage zekerheid over structurele afzet	Gefaseerde investeringen en behoud van corrigeerbaarheid
Sterk groeiende en contractueel zekere industriële vraag	Hogere minimale restvraag	Grotere structurele productie kan worden gerechtvaardigd

Deze vergelijking laat zien waarom het onjuist is een techniek los van de toekomstige systeemfunctie als beste oplossing aan te wijzen.

C.5 Besliskader voor een grote kerncentrale

Een definitief investeringsbesluit voor een grote kerncentrale is pas verantwoord wanneer alle volgende onderdelen voldoende zijn onderbouwd.

Beslisvoorwaarde	Vereist bewijs
Structurele systeembehoefte	Een chronologische analyse over meerdere weerjaren toont voldoende hoge minimale restvraag en veel bedrijfsuren
Langdurige afzet	De vraag is niet uitsluitend gebaseerd op beleidsambities, maar op gerealiseerde of voldoende zekere ontwikkeling
Geschikte bedrijfsvoering	Het verwachte aantal starts, stops, vermogenswisselingen en bedrijfsuren past bij ontwerp en economie
Locatie	Ruimte, koeling, bodem, veiligheid, beveiliging en regionale inpassing zijn overtuigend onderzocht
Lokale aanvaardbaarheid	De locatie is niet alleen technisch, maar ook bestuurlijk en maatschappelijk uitvoerbaar
Netaansluiting	Aansluiting, netverzwaring en voorzieningen voor het wegvallen van het grootste blok zijn tijdig verzekerd
Bewezen ontwerp	Er bestaan voldoende vergelijkbare referentieprojecten en het ontwerp kan grotendeels gestandaardiseerd worden gebouwd
Kostenraming	De raming omvat bouw, rente, aansluiting, organisatie, toezicht, afval, ontmanteling en terugvalvoorzieningen
Bouwtijd	De planning is getoetst aan feitelijk gerealiseerde vergelijkbare projecten
Risicoverdeling	Voor kostenoverschrijding, vertraging en tegenvallende benutting is duidelijk wie betaalt en wie kan ingrijpen
Alternatievenvergelijking	Volwaardige en gelijkwaardige combinaties van flexibele productie, opslag en duurzame energie zijn beoordeeld
Terugvalroute	Leveringszekerheid blijft geborgd wanneer de centrale later of niet gereedkomt

Geen enkele voorwaarde hoeft absolute zekerheid te bieden. De voorwaarden moeten gezamenlijk echter voldoende bewijs leveren dat het project ook bij aannemelijke tegenvallers verantwoord blijft.

C.6 Aanvullend besliskader voor SMR’s

Voor SMR’s gelden dezelfde algemene voorwaarden als voor grote kerncentrales. Daarnaast moet worden aangetoond dat de vermeende voordelen van modulariteit en serieproductie werkelijk bestaan.

Aanvullende voorwaarde	Vereist bewijs
Technische rijpheid	Het ontwerp is voldoende uitgewerkt, vergund en bij voorkeur reeds gebouwd en in bedrijf

Industriële productieketen	De fabriek en toeleveringsketen bestaan daadwerkelijk en beschikken over voldoende capaciteit
Seriebouw	Meerdere identieke modules zijn besteld, gebouwd of aantoonbaar in uitvoering
Kosten eerste module	De Nederlandse eerste module heeft een uitvoerbare prijs en planning, los van toekomstige theoretische serievoordelen
Zelfstandige waarde	De eerste module heeft ook zonder vervolgbestellingen een nuttige functie
Werkelijke fasering	Na iedere module bestaat contractueel de mogelijkheid om uitbreiding uit te stellen of te beëindigen
Gemeenschappelijke risico's	Uitval van gedeelde koeling, aansluiting, beveiliging of hulpsystemen is meegewogen

Een contractuele verplichting om vooraf een volledige reeks modules af te nemen, vermindert de corrigeerbaarheid en daarmee een belangrijk voordeel van de SMR.

C.7 Signalen voor doorgaan, uitstellen of stoppen

De gefaseerde voorbereiding moet op vooraf bepaalde momenten tot een werkelijk besluit kunnen leiden.

Doorgaan naar een volgende fase

Doorgaan ligt voor de hand wanneer:

- de structurele restvraag duidelijker en hoger wordt;
- de industriële elektriciteitsvraag door feitelijke investeringen wordt bevestigd;
- locatie en netaansluiting tijdig uitvoerbaar blijken;
- vergelijkbare projecten aantoonbaar beheersbaar worden gerealiseerd;
- de kosten binnen de vooraf bepaalde bandbreedte blijven;
- een transparante en aanvaardbare risicoverdeling mogelijk is;
- alternatieven niet aantoonbaar robuuster of doelmatiger zijn.

Uitstellen en aanvullende informatie verzamelen

Uitstel ligt voor de hand wanneer:

- de toekomstige restvraag nog sterk uiteenloopt tussen plausibele scenario's;
- industriële projecten nog geen definitief investeringsbesluit hebben;
- de aansluiting of locatie technisch mogelijk maar nog onvoldoende verzekerd is;
- internationale referentieprojecten nog te weinig informatie opleveren;
- de kostenraming sterk afhankelijk is van optimistische bedrijfsuren of rente;
- de terugvalroute nog niet is uitgewerkt.

Uitstel moet worden gekoppeld aan concrete informatievragen en een nieuw beslismoment. Het mag niet leiden tot onbeperkt onderzoek zonder duidelijke voortgang.

Stoppen, verkleinen of een andere route kiezen

Stoppen of verkleinen moet mogelijk zijn wanneer:

- onvoldoende structurele afzetruimte bestaat;
- de aansluiting niet tijdig of alleen tegen buitensporige systeemkosten beschikbaar kan komen;
- de kosten of bouwtijd buiten de vooraf vastgestelde grenzen vallen;
- de locatie ruimtelijk of maatschappelijk niet uitvoerbaar blijkt;
- de leverancier de belangrijkste bouwrisico's niet kan beheersen;
- een SMR-serie niet tot stand komt;
- een alternatief dezelfde betrouwbaarheid met aanzienlijk minder risico kan leveren.

Een negatief besluit na een zorgvuldige voorbereiding is geen verspilling van de voorbereiding. De voorbereiding heeft dan voorkomen dat een veel grotere verkeerde investering wordt gedaan.

C.8 Gefaseerde besluitvorming

De besluitvorming kan in vijf opeenvolgende stappen worden georganiseerd.

Fase	Hoofdactiviteit	Besluit aan het einde van de fase
1. Systeemanalyse	Restvraag, flexibiliteit, tekorten en alternatieven onderzoeken	Is een nucleaire optie voldoende relevant om verder te onderzoeken?
2. Voorbereiding	Locaties, ontwerpen, toezicht, aansluiting en financieringsvormen onderzoeken	Welke locaties en ontwerpen blijven realistisch?
3. Vergelijking van aanbiedingen	Uitvoerbare contracten, kosten, planning en risicoverdeling beoordelen	Is een bindend aanbod maatschappelijk aantrekkelijker dan de alternatieven?
4. Definitief investeringsbesluit	Volledige systeem- en projecttoets uitvoeren	Bouwen, verkleinen, uitstellen of stoppen
5. Bouw en herijking	Kosten, planning en systeemontwikkeling blijven volgen	Bijsturen binnen contractuele grenzen en terugvalroute activeren wanneer nodig

Een eerdere fase mag geen automatische aanspraak op de volgende fase geven. Iedere fase moet zelfstandig kunnen eindigen met de conclusie dat niet wordt doorgegaan.

C.9 Kernindicatoren voor de periodieke herbeoordeling

Voor een consistente beoordeling moet jaarlijks een beperkte set indicatoren worden geactualiseerd.

Onderwerp	Kernindicator
Elektriciteitsvraag	Werkelijk verbruik en gerealiseerde groei per sector

Restvraag	Minimum, maximum en duurkromme per uur
Duurzame productie	Werkelijk opgesteld vermogen, productie en afregeling
Tekortperioden	Maximale duur en omvang van perioden met weinig wind en zon
Industrie	Definitieve investeringsbesluiten, ingebruikname en sluiting van grote gebruikers
Elektrolyse	Werkelijk vermogen, bedrijfsuren en elektriciteitsprijs bij productie
Opslag	Beschikbaar vermogen, energie-inhoud, rendement en inzet tijdens kritieke perioden
Regelbaar vermogen	Technische beschikbaarheid, starts, bedrijfsuren en resterende levensduur
Net	Beschikbare aansluitcapaciteit, vertragingen en regionale knelpunten
Grote kerncentrales	Gerealiseerde kosten en planning van vergelijkbare projecten
SMR's	Aantal gerealiseerde identieke modules en werkelijke seriekosten
Financiering	Rente, publieke garanties en omvang van het publieke risico

Deze gegevens moeten periodiek door een voldoende onafhankelijke partij in samenhang worden beoordeeld.

C.10 Samenvattende beslisregel

De vergelijking leidt niet tot de conclusie dat kernenergie moet worden uitgesloten. Evenmin ondersteunt zij een onvoorwaardelijke keuze om nu een maximaal nucleair programma vast te leggen.

De meest robuuste strategie onder de huidige onzekerheid bestaat uit drie gelijktijdige lijnen:

1. voldoende regelbaar vermogen, opslag en netcapaciteit behouden of gefaseerd toevoegen;
2. kernenergie technisch, ruimtelijk en organisatorisch serieus voorbereiden;
3. het definitieve investeringsbesluit afhankelijk maken van aantoonbare behoefte en uitvoerbaarheid.

De uiteindelijke beslisregel luidt:

Kies niet eerst de techniek en zoek daarna de behoefte. Stel eerst vast welke systeemfunctie langdurig nodig is en kies vervolgens de oplossing die ook bij aannemelijke afwijkingen voldoende waarde behoudt.

Daarmee vormt deze bijlage de praktische vertaling van de hoofdgedachte van de studie: eerst denken over de behoefte, daarna kiezen.