

DUURZAME DOORBRAKEN

NAAR SYSTEEMINNOVATIE
IN DE ENERGIETRANSITIE



De Adviesraad voor wetenschap, technologie en innovatie (AWTI) brengt gevraagd en ongevraagd advies uit aan regering en parlement. Zijn onafhankelijke adviezen zijn strategisch van aard en gaan over de hoofdlijnen van wetenschaps-, technologie- en innovatiebeleid. De leden van de AWTI zijn afkomstig uit kennisinstellingen en het bedrijfsleven. De AWTI doet zijn werk vanuit de overtuiging dat het belang van kennis, wetenschap en innovatie voor economie en samenleving groot is en in de toekomst nog verder zal toenemen.

De raad is als volgt samengesteld:

prof. dr. C.M. (Mirjam) van Praag (voorzitter)
dr. ir. J.P.H. (Jos) Benschop
ir. G.J. (Gerben) Edelijn
prof. dr. J. (Jolanda) Kluin
prof. dr. E.H.M. (Ellen) Moors
dr. h.c. M. (Marleen) Stikker
prof. dr. V. (Vinod) Subramaniam
prof. dr. P.J. (Peter) Werkhoven
prof. dr. T.N. (Cisca) Wijmenga
drs. A.M. (Annelieke) van der Giessen (secretaris)

Het secretariaat is gevestigd te:

Prins Willem-Alexanderhof 20
2595 BE Den Haag
t. 070 311 09 20
e. secretariaat@awti.nl
w. www.awti.nl

ISBN: 978-90-77005-97-2

Duurzame doorbraken

Naar systeeminnovatie in de energietransitie

oktober 2025

Colofon

Fotografie Bas Kijzers Fotografie

Ontwerp 2D3D Design

Druk Quantes

oktober 2025

ISBN 9789077005972

Alle publicaties zijn gratis te downloaden via www.awti.nl.

Auteursrecht

Alle auteursrechten voorbehouden. Mits de bronvermelding correct is, mogen deze uitgave of onderdelen van deze uitgave worden verveelvoudigd, opgeslagen of openbaar gemaakt zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de AWTI.

Een correcte bronvermelding bevat in ieder geval een duidelijke vermelding van organisatiename en naam en jaartal van de uitgave.

Inhoud

Samenvatting	5
1. Aanleiding: innovatie is cruciaal voor transformatie naar duurzaam 2050	9
1.1 Urgentie van de energietransitie is groot	9
1.2 Nederland heeft een extra grote uitdaging	11
1.3 Duurzaam 2050 vraagt om innovatie	13
1.4 Adviesvraag en afbakening	19
1.5 Totstandkoming advies	24
2 Analyse: huidige energie-innovatiebeleid nog niet optimaal	25
2.1 Perspectief voor energie-innovatiebeleid schiet tekort	25
2.2 Onvoldoende focus op innovaties voor doorbraken	32
2.3 Samenhang van het beleid moet beter	38
2.4 'Smalle' evaluaties helpen weinig bij systeembeleid	46
3 Advies: stuur op doorbraken voor de energietransitie naar een duurzaam 2050	51
3.1 Aanbeveling 1. Geef richting en breng focus aan in het energie-innovatiebeleid	53
3.2 Aanbeveling 2. Maak het beleid geschikt voor doorbraakinnovaties	59
3.3 Aanbeveling 3. Neem de context mee bij evaluatie en richt evaluaties op het leren voor systeemverandering	66
Bijlage 1 AWTI-advies uit 2016	70
Bijlage 2 Strategische autonomie	73
Bijlage 3 Afwegingskader	80
Bijlage 4 Innovatiecases	87
Bijlage 5 Gesprekspartners	92
Bijlage 6 Geraadpleegde bronnen	93

Samenvatting

Aanleiding: innovatie is cruciaal voor transformatie naar duurzaam 2050

De urgentie van de energietransitie is groot. Er ligt wereldwijd een grote uitdaging om de uitstoot van broeikasgassen in de energievoorziening substantieel te verminderen. De EU heeft zich ten doel gesteld om in 2050 volledig klimaatneutraal te zijn. Nederland heeft een extra grote uitdaging, omdat onze economie enerzijds vrij energie-intensief is en ons land anderzijds over niet zoveel bronnen van duurzame energie beschikt. Om in 2050 duurzaam te zijn, zullen onze economie, samenleving en de bijbehorende energievoorziening gezamenlijk moeten transformeren.

Die transformatie vraagt om nog veel innovatie. Technologisch, institutioneel en sociaal zullen Nederland en de EU moeten innoveren. Incrementele innovaties zijn daarbij nuttig, maar daarnaast zullen op verschillende terreinen nog echte doorbraken nodig zijn om die transformatie naar een duurzaam systeem in 2050 te realiseren. Zulke doorbraken kunnen gedreven worden door technologische ontwikkelingen maar kunnen ook voortkomen uit bijvoorbeeld nieuwe regels, organisatievormen of veranderingen in gedrag. Een kenmerk van doorbraken is dat ze vaak niet in het bestaande systeem van regelgeving, infrastructuur of organisatie passen. Daardoor ondervinden ze veel barrières.

Hoe kan de overheid die benodigde energie-innovaties zo goed mogelijk ondersteunen? Daarover vroeg de regering advies aan de AWTI, met de volgende adviesvraag:

Hoe kan het Nederlands innovatiebeleid bijdragen aan de transformatie van het energiesysteem die nodig is voor het behalen van de energie- en klimaatdoelen van het kabinet?

Analyse: huidige energie-innovatiebeleid nog niet optimaal

De AWTI constateert dat het huidige beleid nog niet optimaal is om energie-innovatie te bevorderen. Ten eerste schiet het perspectief voor het energie-innovatiebeleid tekort. De keuzes worden nog niet gemaakt op basis van een visie op hoe een duurzame Nederlandse economie, samenleving en bijbehorende energievoorziening er in 2050 uit moeten zien. Er worden nu keuzes gemaakt op basis van waar Nederland vertrekt, in plaats van waar Nederland heen zou moeten gaan. Bovendien is er in het energie-innovatiebeleid nog niet genoeg aandacht voor strategische autonomie.

Ten tweede kent het beleid voor energie-innovatie te weinig focus en is de aandacht voor doorbraakinnovaties te beperkt. Dit is een probleem, want doorbraakinnovaties zijn cruciaal voor een succesvolle energietransitie naar 2050 terwijl ze tegelijkertijd de grootste drempels ondervinden. Nederland kent geen instrument om *high risk/high*

reward ideeën te steunen. Dat is een gemis, want zulke ideeën kunnen een bron voor doorbraken vormen. Ook richt het innovatiebeleid zich in de meeste gevallen op losse oplossingen, terwijl voor doorbraken een perspectief op het systeem essentieel is.

Ten derde moet de samenhang van het beleid beter. Energie-innovatiebeleid is nog steeds te sterk op technologie gericht. Niet-technologische aspecten, die ook heel relevant zijn voor het succes van een innovatietraject, krijgen minder aandacht en worden bovendien nog te weinig gezien als een bron van innovatie. Dit geldt ook voor 'afbouw' van ongewenste praktijken: dit is een mogelijke bron van innovatie, maar het beleid heeft daar onvoldoende oog voor. Ook is het beleid versnipperd: regelingen sluiten niet goed op elkaar aan. En uiteindelijk blijkt de 'laatste stap' van opschaling vaak een bottleneck in een innovatietraject.

Ten slotte zijn evaluaties van beleidsinstrumenten nu vaak nog te 'smal' omdat ze zich op individuele instrumenten richten, terwijl ze veel beter het effect op de systeemverandering en de samenhang tussen verschillende beleidsinstrumenten in kaart zouden kunnen brengen. Die samenhang is cruciaal voor het succes van het innovatietraject.

Advies: stuur op doorbraken voor de energietransitie.

De AWTI adviseert de regering en het parlement ***om in het energie-innovatiebeleid te sturen op doorbraakinnovaties die zullen helpen bij de transformatie naar een duurzaam Nederland in 2050***, door duidelijke keuzes te maken, door het beleid geschikter te maken voor doorbraken en door het beleid te evalueren tegen de achtergrond van de bijdrage aan de gewenste transformatie. Doe dit uitgaande van een brede visie op een duurzame economie, samenleving en bijbehorende energievoorziening in 2050. Zo'n brede visie is een noodzakelijke basis van het beleid.

De AWTI pleit ervoor om het specifieke beleid voor energie-innovatie bij voorrang te richten op het bevorderen van doorbraakinnovaties. Zulke doorbraken zijn namelijk essentieel voor het slagen van de energietransitie. Toch komen ze maar zeer moeilijk tot stand door de vele barrières die ze ondervinden (zoals de grote afstand tot de markt, de complexiteit van de systeemdoorbraak, en de grotere risico's). Specifieke steun vanuit het overheidsbeleid is nodig om de benodigde doorbraken wel te realiseren.

De AWTI doet drie aanbevelingen om het advies in de praktijk te brengen (zie hieronder). Het is van groot belang dat deze aanbevelingen zo snel mogelijk worden uitgevoerd. De ontwikkeling van doorbraakinnovaties plus de benodigde aanpassingen aan het systeem kosten namelijk veel tijd. We moeten nú aan de slag met de doorbraken die bepalend zullen zijn voor het systeem in 2050. Anders zijn we vermoedelijk te laat. Aanpassing van het beleid is dus urgent.

Aanbeveling 1. Geef richting en breng focus aan in het energie-innovatiebeleid

Belangrijk is dat de overheid haar gidsrol oppakt en duidelijke keuzes maakt. Om met schaarse middelen maximale innovatie te bereiken is het essentieel om keuzes te maken. Om meer richting en focus in het energie-innovatiebeleid aan te brengen stelt de AWTI de volgende drie samenhangende acties voor:

Actie 1. Kies de prioriteiten in het energie-innovatiebeleid op basis van een geactualiseerd afwegingskader.

Dit kader houdt rekening met (a) de aansluiting van de innovatie bij de visie op de toekomstige energievoorziening, (b) de verwachte effecten voor milieu, economie en maatschappij, (c) strategische autonomie, en (d) de kans van slagen in Nederland.

Actie 2. Kies een beperkt aantal missiegedreven innovatieopgaven die goed bij Nederland passen en zet daarvoor langjarige innovatieprogramma's op met een planmatige aanpak en een sterke interne samenhang

Actie 3. Organiseer de *governance* om scherpe keuzes te maken.

De AWTI adviseert om een onafhankelijk, zelfstandig regieorgaan op te zetten dat met gedegen inhoudelijke expertise en voldoende gezag scherpe keuzes voor innovatieopgaven maakt op basis van het voorgestelde afwegingskader.

Aanbeveling 2. Maak het beleid geschikt voor doorbraakinnovaties

De opzet van het beleid kan verder worden verbeterd zodat het meer geschikt is om doorbraakinnovaties te laten slagen.

De AWTI stelt voor om twee nieuwe beleidsinstrumenten op te zetten:

Actie 1. Stel een *high risk/high reward* programma in voor energie-innovaties; het Duitse SPRIND of het Amerikaanse ARPA-E programma kunnen hiervoor als inspiratie dienen.

Actie 2. Creëer een specifiek financieel instrument ter ondersteuning van opschaling. Onderzoek de mogelijkheden om dat in Europees verband te organiseren of om hefboomen te creëren met EU-instrumenten.

Daarnaast adviseert de AWTI een betere aansluiting tussen de verschillende beleidsinstrumenten. Hierdoor zullen méér kansrijke innovaties tot doorbraken uitgroeien.

Actie 3. Verbeter de aansluiting tussen de beleidsinstrumenten voor de verschillende stappen in een innovatietraject door programma's op te zetten die voorzien in de mogelijkheid om – bij succes – binnen dat programma direct door te gaan naar de volgende stap.

Bovendien is het nodig om meer rekening te houden met de niet-technologische dimensies van innovatie.

Actie 4. Houd – bij technologische ontwikkelingen – vanaf het begin oog voor de niet-technologische aspecten en randvoorwaarden. Maak deze aspecten een integraal onderdeel van het innovatiebeleid door ervoor te zorgen dat het beleid voor die andere aspecten ‘gelijk oploopt’ met het technologisch innovatiebeleid.

Actie 5. Zie niet-technologische dimensies óók als een zelfstandige bron van innovatie en ontwikkel *innovatie*beleid om zulke innovaties uit te lokken en te stimuleren.

Verder is het zinvol om in het innovatiebeleid meer rekening te houden met de afbouw van ongewenste praktijken, parallel aan de opbouw van duurzame alternatieven.

Actie 6. Ontwikkel beleid gericht op de afbouw van (op termijn) ongewenste praktijken. Stem dat beleid goed af met de opbouw van alternatieven en behandel ook ‘afbouw’ als een onderwerp voor innovatie.

Aanbeveling 3. Neem de context mee bij evaluatie en richt evaluaties op het leren voor systeemverandering

Ten slotte adviseert de raad om evaluaties van het beleid vooral te gebruiken om te leren en het beleid op basis van die lessen aan te passen. Belangrijk is dat evaluaties zich niet beperken tot ‘smalle’ evaluaties van een enkel beleidsinstrument, maar dat de evaluatie oog heeft voor het bredere systeem en de samenhang van het beleid.

Actie 1. Richt evaluatie niet alleen op het individuele beleidsinstrument en de ‘directe’ uitkomst (*output* en *outcome*), maar óók op de context en het proces waar dit instrument deel van uitmaakt. Hanteer daartoe een breed palet aan evaluatiekaders en -methodes.

Actie 2. Gebruik evaluaties vooral om te leren, met als doel het verbeteren van het beleid of voor portfoliomanagement. Richt het leerproces op basis van evaluaties in als een continu proces, waardoor bijsturing tijdens de uitvoering kan plaatsvinden.

Aanleiding: innovatie is cruciaal voor transformatie naar duurzaam 2050

Er ligt wereldwijd een grote uitdaging om de uitstoot van broeikasgassen in de energievoorziening substantieel te verminderen. In het akkoord van Parijs zijn hier in 2015 afspraken over gemaakt. In de Europese Unie is de concrete ambitie geformuleerd om in 2050 volledig klimaatneutraal te zijn met een economie zonder uitstoot van broeikasgassen. Deze ambitie valt samen met de bredere wens om de energievoorziening en de economie zoveel mogelijk hernieuwbaar en circulair te maken.

Een belangrijke pijler daarbij is een duurzaam energiesysteem dat past bij de toekomstige economie en samenleving. Daarvoor is innovatie nodig. Technologische innovatie alleen is niet genoeg om dat doel te bereiken. Ook institutioneel en sociaal moeten Nederland en de EU innoveren. De adviesvraag waar de AWTI zich over heeft gebogen is dan ook: hoe kan het Nederlands innovatiebeleid bijdragen aan de transformatie van het energiesysteem die nodig is voor het behalen van de energie- en klimaatdoelen van het kabinet?

1.1 Urgentie van de energietransitie is groot

De noodzaak om onze economie en samenleving te verduurzamen is stevig doorgedrongen. Nederland heeft zich internationaal gecommitteerd aan het beperken van de opwarming van de aarde tot onder de 2 °C, 55% minder CO₂-uitstoot in 2030 en klimaatneutraliteit in 2050. Ook de rechter heeft duidelijk gemaakt dat deze doelen niet vrijblijvend zijn en om effectief beleid vragen.

De EU is een steeds belangrijker aanjager van en leider in de energietransitie geworden. De EU was altijd al belangrijk voor het energiebeleid (energiemarkten, infrastructuur), maar de laatste jaren is daar ook het klimaatbeleid bij gekomen. De groene transitie was één van de twee speerpunten van de vorige Europese Commissie (naast de digitale transitie). Dat werkte ook door in het EU-beleid voor onderzoek en innovatie. De EU wenste bijvoorbeeld dat een bepaald deel van het door de EU gestimuleerde onderzoek ten goede zou komen aan het realiseren van de energie- en klimaatambities.

Ook de nieuwe Europese Commissie onder leiding van Ursula von der Leyen blijft sterk inzetten op de groene transitie: een belangrijk speerpunt van deze nieuwe commissie is

de *Clean Industrial Deal*.¹ En in het Draghi-rapport over de toekomst van het Europese concurrentievermogen, dat in Europa breed wordt omarmd, is één van de drie grote uitdagingen het koolstofvrij maken van de economie en het verlagen omlaag brengen van de energiekosten. Wil Europa economisch concurrerend blijven, dan is volgens Draghi het inzetten op schone technologieën van groot strategisch belang.²

Het behouden van de concurrentiepositie van Europa op het wereldtoneel levert een extra uitdaging op. De komst van AI- en data-infrastructuur zal leiden tot een enorme toename van energieverbruik.³ De nieuwe ontwikkelingen leggen een groot beslag op het energienetwerk en doen mogelijk alle vorderingen teniet die met vergroening tot stand komen. Als gevolg hiervan zal de doelstelling van klimaatneutraliteit in 2050 een nog zwaardere opgave worden.

Nederland en de EU beseffen steeds beter dat we niet blindelings kunnen vertrouwen op landen als China of de VS. Deze grootmachten varen in toenemende mate een nationalistische koers, ook als dat ten koste gaat van hun partners. Er dient zich een nieuwe wereldorde aan met hergroepering van grootmachten die grote druk op Europa (en Nederland) leggen. Daardoor staat het belang van strategische autonomie nu steeds prominenter op de agenda. Het gaat daarbij niet alleen om grondstoffen of technologie maar ook over het belang om zo veel mogelijk zelf te kunnen voorzien in onze energiebehoefte. Zo is er in Nederland meer urgentie om 'van het gas af te gaan', omdat Nederland gestopt is met de gaswinning uit het Groningenveld en niet meer afhankelijk wil zijn van Russisch gas. Deze ontwikkelingen betekenen dat het nog belangrijker wordt om bepaalde strategische innovaties in Nederland of binnen de EU op te pakken en dit niet over te laten aan anderen. In bijlage 2 wordt 'strategische autonomie' verder uitgewerkt.

Bovendien ontstaat er in toenemende mate druk vanuit de maatschappij om snelheid te maken met de energietransitie. Het maatschappelijke bewustzijn rondom duurzaamheid en de rol van energie daarin is gegroeid, en daarmee ook de gedrevenheid en wil van burgers om zelf actief iets te doen. Er ontstaan steeds meer initiatieven van onderop, zoals burgerinitiatieven en decentrale energieorganisaties (energiecoöperaties), die de nadruk leggen op nieuwe vormen van (lokale) organisatie om de duurzaamheid in de

-
1. European Commission (2024a), *De keuze van Europa. Politieke beleidslijnen 2024 – 2029*. Straatsburg: Europese Commissie; European Commission (2024b), *Een nieuw plan voor duurzame welvaart en concurrentievermogen in Europa*. Brussel: Europese Commissie.
 2. European Commission (2024c), *The future of European competitiveness*. Brussel: Europese Commissie. Bovendien laat onderzoek zien dat Europa ver achterloopt bij de ontwikkeling van schone technologieën op bijvoorbeeld landen zoals China. Zie ook: IEA (2025a), *The State of Energy Innovation*. Parijs: IEA.
 3. Zo voorspelt het International Energy Agency (IEA) dat de wereldwijde elektriciteitsvraag van datacentra in 2030 meer dan verdubbelen zal naar 945 terawatt-uren (TWh). Dit is meer dan de gehele elektriciteitsconsumptie van het huidige Japan. Zie: IEA (2025b). *Energy and AI*. Parijs: IEA.

omgeving te verbeteren. Het gaat daarbij om samenwerkingen tussen burgers en ondernemers in hun eigen buurt, dorp, stad of regio.⁴

1.2 Nederland heeft een extra grote uitdaging

De energieopgave waar de EU voor staat is flink en voor Nederland is die relatief nog groter. Ondanks dat Nederland al vele jaren beleid voert om te verduurzamen, moet Nederland alle zeilen bijzetten om zowel de tussendoelen als het einddoel te halen: het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) schat in dat Nederland op basis van het huidige beleid zijn doelen niet gaat halen.⁵ Niet alleen zullen alle bestaande duurzame opties maximaal ingezet moeten worden, er zullen ook nieuwe opties nodig zijn om onze economie en samenleving te vergroenen. Dit moet ook nog eens relatief snel (met als doelen namelijk 55% minder CO₂-uitstoot in 2030 en klimaatneutraliteit in 2050). Dit alles vindt bovendien plaats binnen de context van Noordwest-Europa.

Voor Nederland is vergroening van de economie en samenleving een *must*. Ons land heeft enerzijds namelijk een vrij energie-intensieve economie, terwijl het anderzijds over niet zoveel bronnen van duurzame energie beschikt. Onze huidige economie en samenleving zijn in sterke mate gebouwd op de ruime beschikbaarheid van fossiele energiebronnen. Niet alleen aardgas, dat we jarenlang zelf in grote hoeveelheden produceerden, maar ook olie en steenkool, die via de haven van Rotterdam ruim beschikbaar zijn. Dat heeft geleid tot de ontwikkeling van een grote 'basisindustrie' in Nederland van staalproductie, raffinage, (petro)chemie en kunstmestproductie. Samen vertegenwoordigen deze sectoren ongeveer 80% van de finale *industriële* energie- en grondstoffenvraag in Nederland.⁶ De bijdrage van de basisindustrie aan het BBP is echter maar zo'n 5%, minder dan wat de rest van de industrie bijdraagt aan het BBP (9%).⁷ Anders gezegd: de basisindustrie verbruikt heel veel energie per verdiende euro.

-
4. Nationaal Klimaat Platform (2024). *Lokale daadkracht versterkt. Voorstel voor Nationaal Programma Maatschappelijk Initiatief*. Zie ook de brief van de minister van Klimaat en Groene Groei aan de Tweede Kamer van 29 september 2025 (kenmerk: DGKE-DSE/101327232) over de rol van energiegemeenschappen in het energiesysteem.
 5. PBL, TNO, CBS en RIVM (2025), *Klimaat- en Energieverkenning 2025*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving; zie ook: PBL, TNO, CBS en RIVM (2024), *Klimaat- en Energieverkenning 2024*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
 6. Expertteam Energiesysteem 2050 (2023), *Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050*, Den Haag: RVO, p. 83.
 7. Sustainable Industry Lab (2023), *Groene keuzes voor de Nederlandse basisindustrie. Klimaatneutrale productie in een circulaire economie*, Utrecht, p. 3-4, gebaseerd op cijfers van het CBS, die van jaar tot jaar iets kunnen verschillen.

Datzelfde geldt voor de transportsector, die in Nederland ook groot is. Deze sector verbruikt veel brandstof, terwijl de toegevoegde economische waarde relatief beperkt is.⁸

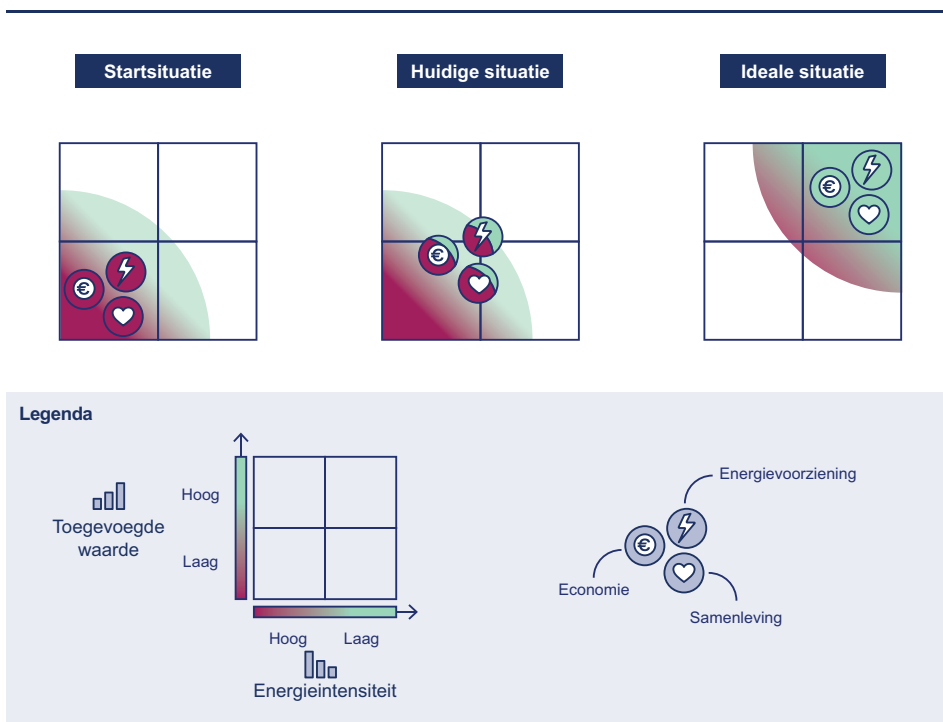
Figuur 1 illustreert de lastige uitgangssituatie voor Nederland. In het linker diagram staat schematisch aangegeven waar Nederland vandaan komt (de situatie vóór het Kyoto-protocol uit 1997). Vanuit het verleden kenmerken de Nederlandse economie en samenleving zich als sterk energie-intensief (de linkerhelft van het diagram) met veel activiteiten met relatief beperkte toegevoegde waarde (de onderste helft van het diagram). Bovendien waren de economie, samenleving en energievoorziening in het verleden bijna volledig gebaseerd op fossiele energiebronnen (de rode kleur in de figuur). In de afgelopen jaren zijn er stappen gezet om de energievoorziening te vergroenen en om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen, uitgaande van de bestaande economische structuur en samenleving. Het middelste diagram in figuur 1 geeft de huidige situatie weer. De energievoorziening is deels vergroend, maar de economie en samenleving zijn nog steeds sterk energie-intensief en in overwegende mate gebaseerd op fossiele bronnen.

In theorie zou men kunnen proberen om de huidige economie en samenleving geheel te 'vergroenen', bijvoorbeeld door in te zetten op elektrificatie. Het gevaar is echter heel groot dat dit proces doodloopt op bijvoorbeeld de kosten, die (mogelijk) veel hoger blijken te zijn dan burgers en bedrijven kunnen opbrengen⁹ of op de grenzen van het elektriciteitsnet. Dit laatste ervaart Nederland nu al, hoewel we nog helemaal aan het begin staan van een grootscheepse verschuiving naar elektriciteit.¹⁰ Betaalbaarheid (van zowel het proces als het einddoel) is dus belangrijk. Anders is de noodzakelijke transitie niet te dragen: noch financieel, noch maatschappelijk.

Het is dan ook niet waarschijnlijk dat het gaat lukken om met handhaving van de huidige opzet van de economie en samenleving een transitie naar een duurzame energievoorziening in 2050 te realiseren. Om een realistische kans te hebben op een duurzaam Nederland in 2050 zullen ook de economie en samenleving moeten transformeren.

-
8. De raad merkt op dat de (meer)waarde van de basisindustrie en een sector als transport niet alleen beschouwd moet worden in de verhouding energie versus toegevoegde waarde. Relevant zijn ook de basisbehoeften die ze vervullen en het strategisch belang. Het streven moet zijn om deze behoeften op termijn met een lagere energie-intensiteit te realiseren. Feit is dat de economische structuur die is opgebouwd in Nederland de opgave om te vergroenen extra groot maakt.
 9. Minister van Klimaat en Groene Groei (2025a), *Stand van zaken maatwerkafspraken verduurzaming industrie*, Brief aan de Tweede Kamer 30 juni 2025; Minister van Klimaat en Groene Groei (2025b), *Het Windenergie Infrastructuurplan Noordzee*, Brief aan de Tweede Kamer, 15 juli 2025.
 10. Rijksoverheid (2025), *Schakelen naar de toekomst – over bekostiging elektriciteitsinfrastructuur. IBO Bekostiging Elektriciteitsinfrastructuur*, Den Haag. Zie ook: Minister van Klimaat en Groene Groei (2025c), *Kamerbrief toekomstperspectief energie-intensieve industrie*, Brief aan de Tweede Kamer 5 september 2025.

Idealiter maken ze de sprong naar veel minder energie-intensief (een verschuiving van links naar rechts in het diagram) én naar het leveren van méér toegevoegde waarde (economisch of maatschappelijk). Dit laatste is een verschuiving van beneden naar boven in de diagrammen van figuur 1. Bovendien zal de energievoorziening in 2050 grotendeels op niet-fossiele bronnen gebaseerd zijn. Het rechterdiagram in figuur 1 illustreert deze transformatie.



Figuur 1 De ontwikkeling van de Nederlandse economie, samenleving en energievoorziening richting een duurzaam 2050

1.3 Duurzaam 2050 vraagt om innovatie

Voor het realiseren van een duurzame energievoorziening die past bij de toekomstige economie en samenleving is innovatie nodig.¹¹ Technologische innovatie alleen zal echter niet voldoende zijn om daadwerkelijk de transitie naar een ander energiesysteem

11. PBL (2024a), *Trajectverkenning klimaatneutraal 2050. Trajecten naar een klimaatneutrale samenleving voor Nederland in 2050*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

te maken.¹² Ook institutioneel en sociaal zullen Nederland en de EU moeten innoveren.¹³ Zo zijn gedragsverandering en vermindering van energiegebruik hard nodig. Technologie staat weliswaar niet centraal in deze vorm van innovatie, maar kan wel een voorwaarde zijn. Denk daarbij bijvoorbeeld aan nieuwe technische mogelijkheden die samenwerkende gebruikers in staat stellen om hun activiteiten onderling te coördineren en te optimaliseren, zoals nieuwe apparatuur en (gedistribueerde) protocollen en *data commons*.

Het is belangrijk dat het energie-innovatiebeleid oog heeft voor maatschappelijke initiatieven en de opkomst van lokale energiecoöperaties. Het belang van sociale en institutionele innovatie is alleen maar groter geworden nu de middelen voor energieonderzoek (die grotendeels gefocust zijn op technologische innovatie) afnemen door de aangekondigde bezuinigingen ('taakstelling') op subsidies voor innovatie.¹⁴

Brede blik op innovatie

De AWTI hanteert een brede blik op innovatie. Innovatie – of innoveren – gaat over het introduceren en implementeren van 'nieuwheid', of dat nou nieuwe ideeën, producten, technologie, regels, diensten of beleid is.¹⁵ De AWTI kijkt nadrukkelijk ook naar sociale en institutionele innovaties. Er is sprake van succesvolle innovatie wanneer deze zaken daadwerkelijk plaats (kunnen) vinden in een bepaald systeem.

De warmtebatterij van Lay's: technologische en institutionele innovatie¹⁶

De chipsfabriek van Lay's in Broek op Langedijk verduurzaamt haar productie door over te stappen van aardgas op groene stroom. Daarbij wil de fabriek gebruik maken van een warmtebatterij. In plaats van direct met gas te bakken, wordt nu elektriciteit gebruikt om lucht te verhitten. Deze warmte wordt opgeslagen in grote bakken met metaalslakken, zodat de fabriek altijd genoeg warmte heeft om chips te bakken. De warmtebatterij werkt simpel: als er veel goedkope stroom is, wordt de batterij opgeladen met warmte. Op momenten dat er minder stroom is (of wanneer deze erg

-
12. Onder het energiesysteem verstaan we het geheel van actoren (organisaties, groepen, individuen), materialen (producten, technologieën en infrastructuren) en regels (regulering, waarden, normen en gebruiken) binnen het energiedomein.
 13. Paunov, C. *et al.* (2025), "What is unique about green innovation? Evidence from green hydrogen, green steel, batteries and electric vehicles", *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, No. 2025/05, Paris: OECD Publishing; IEA (2025a), *The State of Energy Innovation*, Paris: IEA.
 14. Minister van Klimaat en Groene Groei (2024). *Kamerbrief bij Klimaatnota en Energienota 2024*, Brief aan de Tweede Kamer 24 oktober 2024.
 15. Zie ook: AWTI (2024), *Vanzelfsprekende verbinding. Veranker sociaal- en geesteswetenschappelijk onderzoek in innovatie*. Den Haag: AWTI.
 16. Van de Weijer, B. (2025), "'Groene' chips maken met duurzame stroom en een warmtebatterij: snack wordt klimaatvriendelijker", *de Volkskrant* 3 juli 2025.

duur is), geeft de batterij die warmte weer af aan het productieproces. Hierdoor kan de fabriek blijven draaien zonder stil te vallen of hoge energiekosten te maken.

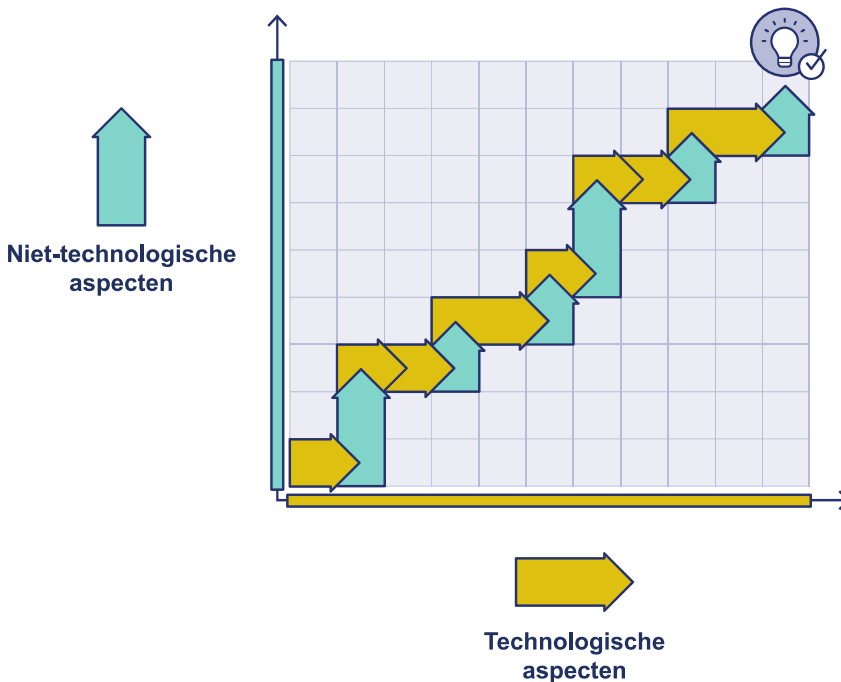
Om dit nieuwe proces soepel te laten lopen, was een innovatie nodig in de vorm van een nieuw soort stroomcontract, dat Lay's met netbeheerder Liander heeft afgesloten. In plaats van een vaste aansluiting voor een bepaald aantal megawatts, krijgt de fabriek dagelijks een hoeveelheid stroomcapaciteit toegewezen. De fabriek kan alleen gebruik maken van haar installatie als er genoeg netcapaciteit is. Het concern betaalt alleen netwerkkosten voor de afgenomen capaciteit aan megawatt, tegen een gereduceerd tarief. Zo betaalt Lay's alleen voor de capaciteit die ze daadwerkelijk gebruikt. Dit stimuleert gebruik buiten de piekuren, wanneer stroom goedkoper is en het net minder belast wordt. Hierdoor blijft het net stabiel en worden extra kosten voor uitbreiding voorkomen. Liander onderzoekt of dit contractmodel ook voor andere grote bedrijven geschikt is, zodat de energietransitie betaalbaar blijft.

Om tot succesvolle innovatie te komen moeten dus stappen gezet worden langs meerdere dimensies: de technologische en de niet-technologische. Dit is schematisch weergegeven in figuur 2 op de volgende pagina. De gele pijlen staan voor technologische stappen, terwijl de turquoise pijlen duiden op vooruitgang langs de niet-technologische dimensie. De combinatie van 'technologische' stappen en niet-technologische stappen kan ervoor zorgen dat een nieuw idee succesvol in de praktijk wordt toegepast: een geslaagde innovatie (het lampje rechtsboven).¹⁷ Sommige innovatiestappen zorgen voor flinke vooruitgang in het proces of betekenen het overwinnen van een stevige barrière. Zulke belangrijke stappen duiden we in dit advies aan met 'sprongen'.

Innovaties zijn zelf ook slechts radertjes die samen met andere innovaties (en andere ontwikkelingen in het systeem) kunnen leiden tot een transformatie van het hele systeem. Verschillende (innovatie)stappen kunnen samen leiden tot een succesvolle innovatie, terwijl meerdere innovaties samen kunnen zorgen voor voortgang in het bredere proces van transformatie van het maatschappelijk systeem.¹⁸

17. Zoals met elk model is de werkelijkheid complexer. Niet-technologische innovatie kan technologische innovatie beïnvloeden, en andersom. Bovendien zullen nooit alle sprongen voorwaarts gaan: in de praktijk zal soms een sprong ook achterwaarts plaatsvinden. Voor de eenvoud is gekozen om het proces van innovatie lineair voor te stellen. Daarmee kunnen we de conceptuele samenhang tussen innovatie, de technologische en niet-technologische dimensie daarvan én de stappen daarbinnen duidelijk weergeven.

18. Onder maatschappelijke systemen verstaan we systemen die zijn gerelateerd aan maatschappelijke 'behoeften' zoals voedsel, energie, onderwijs en mobiliteit. Ze bestaan uit actoren (organisaties, groepen, individuen), materialen (producten, technologieën en infrastructuren) en regels (regulering, waarden, normen en gebruiken). Zie: AWTI (2023). *In dienst van de toekomst. Van optimalisatie naar transformatie*. Den Haag: AWTI.



Figuur 2 Een succesvol innovatietraject is een samenspel van technologische en niet-technologische innovatiestappen

Energietransitie is een systeemtransformatie

Dit laat zien dat het *systemische* aspect van de energietransitie zeer belangrijk is. Het hele systeem zal dus moeten innoveren om de gewenste transformatie te realiseren.¹⁹ Incrementele innovatie is daarbij belangrijk, omdat het tot verbetering en vergroening van het bestaande systeem zal leiden, dus tot een 'optimalisatie van het bestaande en het bekende'.²⁰ Dit kan nuttig zijn om kosten te drukken en zo financiële en maatschappelijke haalbaarheid te realiseren. Maar het zal niet voldoende zijn om de transformatie te realiseren naar een duurzaam Nederland in 2050, omdat daarvoor grote veranderingen en omwentelingen nodig zijn.

19. Onder transformaties verstaan we ingrijpende fundamentele veranderingen in de structuur, cultuur en infrastructuur van onze maatschappelijke systemen die verder gaan dan gewone veranderingen. Zie: AWTI (2023). *In dienst van de toekomst. Van optimalisatie naar transformatie*. Den Haag: AWTI.

20. AWTI (2023). *In dienst van de toekomst. Van optimalisatie naar transformatie*. Den Haag.

Doorbraken zijn noodzakelijk

Om een (snellere) transformatie mogelijk te maken moeten er op verschillende terreinen doorbraken gerealiseerd worden. Doorbraken zijn innovaties (of een aantal samenhangende innovaties) die een 'doorbrekende' rol kunnen hebben in de transformatie. Anders dan incrementele innovatie, is het kenmerkende van doorbraken dat zij juist niet binnen het bestaande systeem passen. Doorbraken ondervinden daardoor systeemfrictie, niet alleen op technologisch, maar ook institutioneel en sociaal gebied. Ook niet-technologische ontwikkelingen (innovaties) kunnen grote impact hebben, juist omdat ze obstakels wegnemen om doorbraken te laten slagen.²¹ Een doorbraak slaagt daarom alleen als meerdere delen van het systeem meeveranderen. Doorbraken leiden tot systeemveranderingen, bijvoorbeeld door toepassingen op een andere manier van energie te voorzien, of de kosten van het systeem te veranderen.²² Deze systeemveranderingen zijn noodzakelijk om een transformatie te realiseren. Doorbraken zijn daarmee niet alleen essentieel om grote sprongen te maken in het tijdspad dat voor ons ligt, maar ook om de juiste schaal te bereiken om de transformatie te laten slagen. Zonder doorbraken zal de transformatie van het energiesysteem, de economie en de samenleving voor 2050 niet gerealiseerd worden.²³

Als men 'doorbraken' breder beschouwt,²⁴ kan het daarbij onder andere gaan om doorbraak*technologieën*. Dit zijn potentieel radicale technologieën die zich nog in de beginfase van ontwikkeling bevinden, en daarmee nog ver weg van een succesvolle toepassing.²⁵ Het risico is groot dat ze niet zullen slagen, maar de impact kan heel groot zijn als ze wel slagen (*high risk/high reward*), bijvoorbeeld omdat ze economisch een kans bieden om internationaal leidend te zijn. Maar ook niet-technologische innovaties kunnen een systeemdoorbrekende impact hebben. In dit advies verstaan we onder doorbraken: radicaal²⁶ andere technologieën of processen in de industrie, andere manieren van transport en geheel nieuwe organisatievormen van energievoorziening. Voorbeelden zijn technologieën die nodig zijn voor groene chemie, elektrisch kraken, duurzame brandstoffen en CO₂-verwijdering.²⁷ Voorbeelden van niet-technologische

21. IEA (2025a), *The State of Energy Innovation*. Paris: IEA.

22. Kooiman A., & van Tuyll, M. (2025), *Technologieradar: Welke disruptieve technologieën gaan impact hebben op ons energiesysteem?*, TNO2025 R10049, Den Haag: TNO Public.

23. IEA (2025a), *The State of Energy Innovation*. Paris: IEA

24. Vergelijk Datta, A. & S. Srivastava (2023), '(Re)conceptualizing technological breakthrough innovation: A systematic review of the literature and proposed framework', *Technological Forecasting & Social Change* **194** (2023) 122740.

25. AWTI (2020). *Beter van start. De sleutel tot doorgroei van kennisintensieve start-ups*. Den Haag.

26. In dit advies zullen we de voorkeur geven aan het begrip 'doorbraakinnovaties' boven 'radicale' innovaties. Ten eerste omdat het aspect van 'systeemdoorbraak' cruciaal is in onze analyse en betoog. Ten tweede sluit het aan bij de terminologie van de adviesvragers uit kabinet en Kamer.

27. Dit zijn de voorbeelden die Tweede Kamerlid Bontenbal (CDA) noemde in het debat dat uiteindelijk leidde tot de adviesvraag aan de AWTI voor dit advies.

doorbraken zijn een nieuwe marktordening van het energiesysteem, of nieuwe besturingsmechanismen zoals gedistribueerde en lokale energienetwerken. In het tekstkader hieronder geven we drie voorbeelden van doorbraken.

Hooggelegen windturbines

Het Duitse Beventum-project richt zich op de ontwikkeling van windturbines die op meer dan 350 meter hoogte opereren. Dit project wordt gesteund door het Duitse agentschap SPRIND (zie tekstkader op p. 34). Op deze hoogte zijn de windsnelheden sterker en constanter dan lager bij de grond, waardoor deze turbines efficiënter kunnen werken en de kosten per opgewekte kilowattuur dalen. Het doorbraakaspect van het programma is dat Beventum voor het eerst wereldwijd een windturbine op 350 m hoogte daadwerkelijk bouwt en test. Door windenergie op deze hoogte te winnen, wordt het mogelijk om het potentieel van wind aanzienlijk te vergroten zonder extra ruimtebeslag of milieubelasting. Dit biedt met name perspectief voor de transformatie van voormalige mijnbouwregio's in Duitsland, en draagt bij aan de regionale productie van groene stroom en waterstof. De aanpak is zó ontworpen dat ook kleinere, regionale bedrijven kunnen meedoen aan een versnelde uitrol van deze innovatieve technologie.

Verduurzaming goederentransport

Het Amerikaanse project *'Transformative Rail Architecture to Decarbonize Freight'* richt zich op de ontwikkeling van een nieuw systeem van zelfrijdende, elektrische railvoertuigen waar bestaande spoorwegmaatschappijen gebruik van kunnen maken. Dit project wordt gesteund door het Amerikaanse agentschap ARPA-E (zie het tekstkader op p. 35). Het doel is om technologie te ontwikkelen die leidt tot een gedecentraliseerde goederendienst per spoor. Het doorbraakaspect van dit programma is de inzet van autonome batterijrailvoertuigen die zonder grootschalige infrastructurele aanpassingen kunnen worden ingezet op bestaande spoorlijnen. Dit maakt een snelle en kosteneffectieve verduurzaming van het goederenspoorvervoer mogelijk. Het project maakt gebruik van simulaties om technologie-implementatiescenario's tot 2050 te modelleren. Deze aanpak ondersteunt besluitvorming door betrokken partijen en helpt zo het spoorvervoer ingrijpend te transformeren naar een duurzaam en emissievrij logistiek systeem. De verwachting is dat men door deze doorbraak jaarlijks 33 miljard aan dieselimport kan besparen. Dat moet ook leiden tot een reductie van 4,5% van alle Amerikaanse broeikasgasemissies.

Koolstof-negatieve woningen

Een ander ARPA-E-project richt zich op het ontwikkelen van een modulair bouwstelsel om eengezinswoningen te bouwen die van begin tot eind koolstof-negatief

zijn. Naast het gebruik van bouwmaterialen die CO₂-uitstoot moet beperken, is onderdeel van deze doorbraakinnovatie ook een nieuw ontwerpproces dat ervoor moet zorgen dat de woning eenvoudig te demonteren en opnieuw te hergebruiken is, met minimale afvalproductie. Het voorgestelde ontwerp zorgt ervoor dat er minder broeikasgassen worden uitgestoten dan bij het eerste ontwerp. Bij de tweede keer bouwen wordt 71% van de CO₂-uitstoot vermeden en bij de derde keer 52%. Dit ontwerp is helemaal elektrisch en bestaat uit losse onderdelen die aan te passen zijn. Zo kan het gebouw veranderen als dat nodig is, zonder dat het veel duurder wordt. Het streven is dat belangrijke componenten van de woning tot drie keer langer meegaan dan de gebruikelijke 50 jaar van een conventionele eengezinswoning.

1.4 Adviesvraag en afbakening

Een succesvolle energietransitie zal samen moeten gaan met een transformatie van onze economie en samenleving. Belangrijk is dus welk beeld we hebben van de economie en de samenleving van 2050 en welke energievoorziening daarbij hoort. Voor dit advies zijn relevante vragen: welke innovaties zijn daarvoor nodig? En met welk beleid kunnen die innovaties worden ondersteund? Waar zou Nederland het beste op in kunnen zetten en wat is er nodig om de innovaties van de grond te krijgen die nodig zijn voor een effectieve transitie naar een broeikasgasvrij energiesysteem? Zijn daar nieuwe beleidsinstrumenten voor nodig? De eerder geschetste nationale én internationale ontwikkelingen tonen de relevantie van een hernieuwde blik op het energie-innovatiebeleid in Nederland.

Ook de Tweede Kamer en de regering vonden het noodzakelijk om het Nederlandse energie-innovatiebeleid opnieuw onder de loep te nemen. De minister voor Klimaat en Energie van het vorige kabinet, Rob Jetten, heeft de AWTI dan ook uitdrukkelijk om advies gevraagd, naar aanleiding van een verzoek vanuit de Tweede Kamer. In het debat 'Systeemtransitie en klimaatbeleid na 2030' van 20 april 2023 stelde Tweede Kamerlid Henri Bontenbal (CDA) de vraag aan de minister of "Nederland voldoende doet aan onderzoek en innovatie met betrekking tot doorbraaktechnologieën die Nederland nodig zal hebben voor groene chemie, elektrisch kraken, duurzame brandstoffen en CO₂-verwijdering," en of de minister bereid zou zijn om de AWTI daarover advies te vragen. In de latere aanbiedingsbrief bij het *concept* Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) zegde de minister toe om de AWTI om advies te vragen, en in het definitieve NPE schrijft hij: "De [...] AWTI is gevraagd advies uit te brengen over energie-innovatie inzet, prioritering en doelbereik."²⁸

28. Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2023), *Nationaal plan energiesysteem*, Den Haag: EZK, p. 29.

Overleg tussen de AWTI en het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) heeft geresulteerd in de volgende overkoepelende adviesvraag:

Hoe kan het Nederlands innovatiebeleid bijdragen aan de transformatie van het energiesysteem die nodig is voor het behalen van de energie- en klimaatdoelen van het kabinet?

De energie- en klimaatdoelen van het kabinet omvatten onder meer de doelstellingen voor 2030 omtrent de uitstoot van broeikasgassen (dat moet 55% minder zijn vergeleken met 1990). En in 2050 moet Nederland klimaatneutraal zijn: als Nederland in 2050 nog broeikasgassen uitstoot, moet deze uitstoot volledig gecompenseerd worden met koolstofverwijdering. Hierdoor is er dan netto geen uitstoot meer.

Drie aandachtspunten

Vanuit deze breed geformuleerde adviesvraag heeft het ministerie van EZK²⁹ drie aandachtspunten genoemd waar ze in ieder geval advies over zouden willen krijgen:

- a) **prioriteiten:** hoe kan het ministerie van EZK de prioriteiten stellen en wat is dan nodig in het energie-innovatiebeleid om de doelen en innovatieopgaven uit het NPE te realiseren?
- b) **doorbraken:** hoe kan het ministerie van EZK doorbraken optimaal faciliteren en proportionele aandacht en middelen geven, gegeven hun rol in de transformatie?
- c) **meetbaarheid:** hoe kunnen de effecten van het energie-innovatiebeleid op het realiseren van de transformatie van het energiesysteem beter inzichtelijk en meetbaar gemaakt worden en wat is daarvoor nodig?

De raad heeft het vraagstuk van het energie-innovatiebeleid in eerste instantie breder benaderd dan enkel deze aandachtspunten, maar neemt deze aandachtspunten zeker mee in zijn analyse (Hoofdstuk 2) en aanbevelingen (Hoofdstuk 3). Aan het begin van de hoofdstukken 2 en 3 wordt steeds kort aangegeven welke paragrafen ingaan op elk van bovenstaande aandachtspunten.

Afbakening adviesvraag

De adviesvraag spreekt vrij algemeen over 'het Nederlands innovatiebeleid' en zijn bijdrage aan het behalen van de energie- en klimaatdoelen. Bij de beantwoording van de adviesvraag focust de AWTI op het Nederlandse *energie-innovatiebeleid*, dat wil zeggen dat deel van het Nederlandse innovatiebeleid dat zich specifiek bezighoudt met *energie-innovatie*. Dit is ook de primaire focus van de adviesvrager.

29. Ten tijde van het verduidelijken van de adviesvraag was er nog sprake van één ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK). In de huidige context moet voor EZK gelezen worden: de ministeries van Klimaat en Groene Groei (KGG) en van Economische Zaken (EZ).

Tegelijkertijd verliest de AWTI daarbij de wisselwerking met relevante, aanpalende beleidsterreinen en de internationale ontwikkelingen *niet* uit het oog. De overheid beïnvloedt immers met allerlei vormen van beleid de ontwikkeling van het energiesysteem en het pad naar klimaatneutraliteit, inclusief de daarvoor benodigde innovaties. Dit wordt geïllustreerd in figuur 3. In deze figuur staan – naast het beleid dat zich specifiek richt op energie-innovatie – beleidsinstrumenten uit het algemeen beleid ter bevordering van onderzoek en innovatie, uit het energie- en klimaatbeleid, en uit het EU-beleid dat invloed heeft op energie-innovatie.

De regelingen die zijn weergegeven in de oranjebruine blokken centraal in figuur 3 (Topsectorregelingen, DEI+-modules en NIKI) behoren in ieder geval tot het energie-innovatiebeleid.³⁰ Deze regelingen zijn overwegend gericht op technologische innovatiestappen.

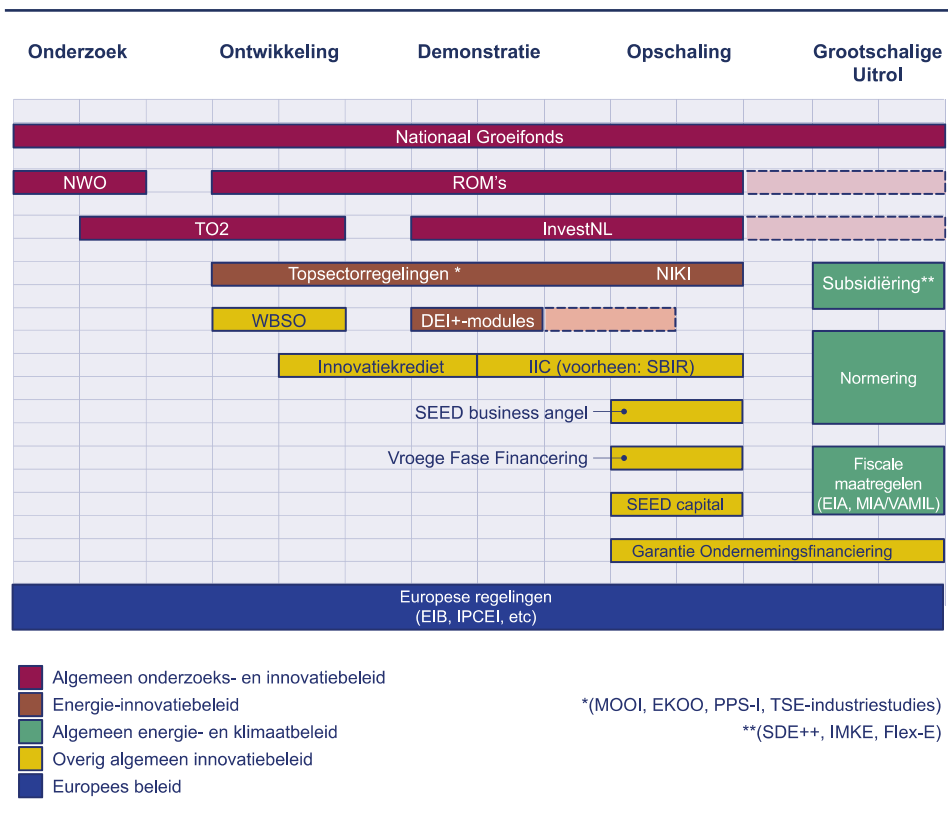
Ook het algemene onderzoeks- en innovatiebeleid heeft impact op innovatie in de energiesector; dat zijn de paarsrode en gele blokken in figuur 3. Dit loopt van de financiering van onderzoek (o.a. via NWO) via fiscale maatregelen die bedrijven stimuleren om onderzoek, ontwikkeling en innovatie te doen (WBSO)³¹ tot investeringen voor innovatiestimulering (ROM's en InvestNL). In voorgaande jaren is ook het Nationaal Groeifonds ingezet als een bron van financiering voor grootschalige, langjarige onderzoek- en innovatieprogramma's onder andere op het gebied van energie, bijvoorbeeld GroenvermogenNL dat zich richt op groene waterstof en chemie.

Daarnaast hebben het algemene *energie*beleid en het *klimaat*beleid (die zich gezamenlijk onder meer richten op vermindering van CO₂-uitstoot, bevordering van hernieuwbare energie en energiebesparing) invloed op energie-innovatie. Een aantal regelingen uit het energiebeleid staat afgebeeld in de groene blokken in figuur 3. Dat zijn bijvoorbeeld de SDE++ en de VEKI-regelingen.³² Dit zijn exploitatiesubsidies voor hernieuwbare energie en CO₂-vermindering. Zo'n regeling kan innovaties stimuleren omdat ze de exploitatie van hernieuwbare bronnen en nieuwe CO₂-besparende technieken ondersteunt – ook als die nog niet volledig concurrerend zijn. Alleen de meest concurrerende technieken komen in aanmerking voor de subsidie, dus de regeling geeft een prikkel om efficiëntie te blijven verhogen en kosten te verlagen bij nieuwe technieken.

30. Het gaat om: TSE ('Topsector Energie'); EKOI (Energie & Klimaat Onderzoek en Ontwikkeling); MOOI ('Missiegedreven Onderzoek, Ontwikkeling en Innovatie'); PPS-I (PPS-Innovatie); DEI+ ('Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie'); NIKI (Nationale Investeringsregeling Klimaatprojecten Industrie); eerder bestond de HER+ ('Hernieuwbare Energietransitie'), maar deze wordt nu voortgezet binnen DEI+ en MOOI.

31. WBSO: Wet Bevordering Speur- en Ontwikkelingswerk.

32. SDE++: Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie; VEKI: Versnelde Klimaatinvesteringen industrie.



Figuur 3. Verschillende typen beleid hebben invloed op energie-innovatie

De EU speelt een steeds grotere rol met initiatieven als (nu) de *Clean Industrial Deal* of (eerder) de *Green Deal* en andere wetgeving. Deze hebben effect op de gehele innovatieketen (zie onderste balk in figuur 3). Op tal van manieren beïnvloedt het EU-beleid energie-onderzoek en -innovatie. Zo is er EU-wetgeving die haar schaduw vooruitwerpt. Niet alleen betreft dat wetgeving zoals de organisatie van de energiemerken, maar ook directe regelgeving voor milieu en klimaat. Bijvoorbeeld regels voor hernieuwbare energie of voor het *EU Emissions Trading System*, een handelssysteem voor uitstootrechten, waarvan de opbrengsten deels worden ingezet voor financiering van innovatie en verduurzaming. De EU kent ook andere financieringsinstrumenten die direct of indirect effect hebben op energie-innovatie. Ten slotte zijn er de beleidsinstrumenten van het (algemene) EU-beleid voor onderzoek en innovatie. Een deel van de ondersteuning die daar gegeven wordt komt ten goede aan energie-onderzoek en -innovatie.

AWTI-advies 2016: 'Oppakken en doorpakken'

De AWTI boog zich eerder ook al over het innovatiebeleid voor de energietransitie. In 2016 publiceerde de raad op verzoek van de regering het advies 'Oppakken en doorpakken'. Dat advies vormde een soort tweeluik met het advies 'Rijk zonder CO₂' van de Raad voor de leefomgeving en infrastructuur.³³ De Rli constateerde destijds dat het met een stevige inspanning mogelijk zou zijn om in 2050 CO₂-neutraal te zijn in Nederland, maar dat dit een enorme uitdaging zou zijn die ondersteund zou moeten worden met langjarige innovatieprogramma's. Innovatie was immers onontbeerlijk voor het behalen van dat doel in 2050. De AWTI adviseerde destijds hoe het energie-innovatiebeleid ingericht zou moeten worden (zie bijlage 1 voor een samenvatting van dat advies).

In dat advies gaf de AWTI aanbevelingen om zowel het innovatiebeleid als het energiebeleid gericht in te zetten en zo de broodnodige energie-innovatie te stimuleren. De AWTI riep op om eerst een visie te ontwikkelen op de energievoorziening van de toekomst. En om vervolgens de publieke inspanningen in het energie-innovatiebeleid primair te richten op *radicale* innovaties. Aanvullend daaraan zouden meer incrementele innovaties via Europese regels, het Nederlandse energiebeleid en het (Nederlandse) algemene innovatiebeleid gestimuleerd kunnen worden. Om in de pas te lopen met vergelijkbare landen zou een jaarlijks totaalbudget van 400 tot 450 miljoen voor energie-innovatie aan te raden zijn (in 2016 was het budget ongeveer 250 miljoen).

Sinds de publicatie van dat advies is er van alles gebeurd. Energiebeleid en innovatiebeleid zijn aangepast, deels in de richting zoals geadviseerd door de AWTI. Zo is er in het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) een visie neergelegd op het energiesysteem van de toekomst. Ook is energie-innovatie momenteel missiegedreven georganiseerd, waartoe de AWTI had opgeroepen, maar daarbij is men nog niet zo ver gegaan om die missies te focussen op *radicale* innovaties. Verder is het budget voor energie-innovatie vanaf 2016 in eerste instantie wel toegenomen, maar dit lijkt inmiddels weer af te nemen.³⁴

33. Rli (2015), *Rijk zonder CO₂: Naar een duurzame energievoorziening in 2050*. Den Haag: Raad voor de leefomgeving en infrastructuur.

34. RVO (2024), *Monitor publiek gefinancierd energieonderzoek 2023*, p. 5.

1.5 Totstandkoming advies

Het advies is in een aantal stappen tot stand gekomen. De AWTI voerde een beleidsanalyse uit, bestudeerde een aantal energie-innovatiecases in het energiedomein en sprak met diverse experts uit het energieveld. Bijlage 5 bevat een volledig overzicht van alle gesprekspartners. Onze beleidsanalyse richtte zich op het nationale en Europese energie-innovatiebeleid.

De bestudeerde energie-innovatiecases vielen uiteen in twee typen.

Ten eerste zijn er drie innovatieprocessen in het energiedomein bestudeerd om een beter begrip te krijgen van de belangrijkste obstakels en de meest lastige stappen in het laten slagen van een innovatie. Deze cases illustreren welke (rand)voorwaarden noodzakelijk zijn voor het succesvol faciliteren van zo'n innovatie. Deze innovatiecases betreffen 'wind op zee', stoomproductie met behulp van stroom, en zoutbatterijen. Ze zijn uitgewerkt in bijlage 4.

Ten tweede is er een bredere *case study* uitgevoerd over de transformatie van het energiesysteem, via de grootschalige toepassing van waterstof. Deze case richt zich op zowel faciliterende als remmende aspecten van deze transformatie. De lessen van deze *case study* zijn in het advies verwerkt.

In de eindfase van het adviestraject is het conceptadvies voorgelegd aan een externe reviewer om te reflecteren op de consistentie van het conceptadvies en mogelijke lacunes. De opmerkingen van de reviewer zijn vervolgens onder verantwoordelijkheid van de raad verwerkt. De reviewer voor dit advies was:

- ▶ dr. ir. B.M. (Martien) Visser, emeritus lector Energie & Netwerken, Hanzehogeschool Groningen en senior fellow van het CIEP (Centre for International Energy Policy)

Projectgroep

Dit advies is voorbereid door een projectgroep bestaande uit de raadsleden Ellen Moors (voorzitter), Chokri Mousaoui, Marleen Stikker en Peter Werkhoven en stafleden Hamilcar Knops (penvoerder), Bart Gulden en Isabel Pieterse.

Analyse: huidige energie-innovatiebeleid nog niet optimaal

De AWTI concludeert dat het innovatiebeleid voor energie nog niet optimaal is voor de transformatie naar een duurzaam 2050. Uit de analyse blijkt dat het perspectief voor energie-innovatiebeleid tekort schiet en dat het huidige beleid onvoldoende focust op doorbraakinnovaties. Ook kan de samenhang in het beleid nog een stuk beter. Ten slotte hebben beleidsevaluaties vaak nog te beperkt oog voor de bredere context van aanpalend beleid en het grotere systeem.

De analyse van de raad is in dit hoofdstuk te vinden. Daarbinnen zijn ook de drie aandachtspunten van de kant van de regering (prioriteiten, doorbraken, meetbaarheid) aan de orde gekomen.

Het stellen van de juiste prioriteiten in het energie-innovatiebeleid blijkt nog lastig. Dat komt omdat de achterliggende visie te weinig rekening houdt met de transformatie van de economie en samenleving naar een duurzaam 2050, omdat er geen scherpe keuzes worden gemaakt, en omdat het belang van strategische autonomie nog te weinig meespeelt (zie paragrafen 2.1 en 2.2).

Bovendien krijgen doorbraken en de daarvoor benodigde doorbraakinnovaties te weinig aandacht in het huidige beleid. Een te beperkt deel van het beschikbare geld gaat naar doorbraakinnovaties en de bestaande tekortkomingen in de beleidsmix werken vooral ten nadele van doorbraakinnovaties (zie de paragrafen 2.2 en 2.3).

Bij 'meetbaarheid' is het inherent lastig om de effecten van het innovatiebeleid (nu) te meten als een innovatie pas op lange termijn slaagt. Een te smalle blik bij een beleids-evaluatie zal nooit de effecten op het uiteindelijke innovatiesucces of de systeemtransformatie inzichtelijk kunnen maken (zie paragraaf 2.4).

2.1 Perspectief voor energie-innovatiebeleid schiet tekort

Er is weliswaar een visie op het energiesysteem...

De Nederlandse regering heeft met het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE), dat is uitgebracht in december 2023, een visie neergelegd waarmee ze richting geeft aan de toekomst van het Nederlandse energiesysteem.³⁵ Het NPE gaat ook in op de verschillende transitiepaden die nodig zijn om dat te bereiken. De AWTI onderschrijft het belang van een dergelijke visie om duidelijkheid te scheppen en relevante actoren mee te

35. Rijksoverheid (2023), *Nationaal Plan Energiesysteem definitief vastgesteld*. Den Haag.

krijgen in de transitie. Het is immers cruciaal om steeds de samenhang in het systeem in de gaten te houden, of zoals PBL het terecht stelt: 'een integrale blik is van groot belang'.³⁶ Het NPE is dus een grote stap voorwaarts. In het verleden ontbrak zo'n visie en dat was destijds voor de AWTI aanleiding om de regering te adviseren om in haar energie-innovatiebeleid uit te gaan van een duidelijke visie op het toekomstige energiesysteem.³⁷

...maar deze maakt nog onvoldoende de connectie met een visie op de transformatie van economie en samenleving en bijbehorend energiesysteem in 2050

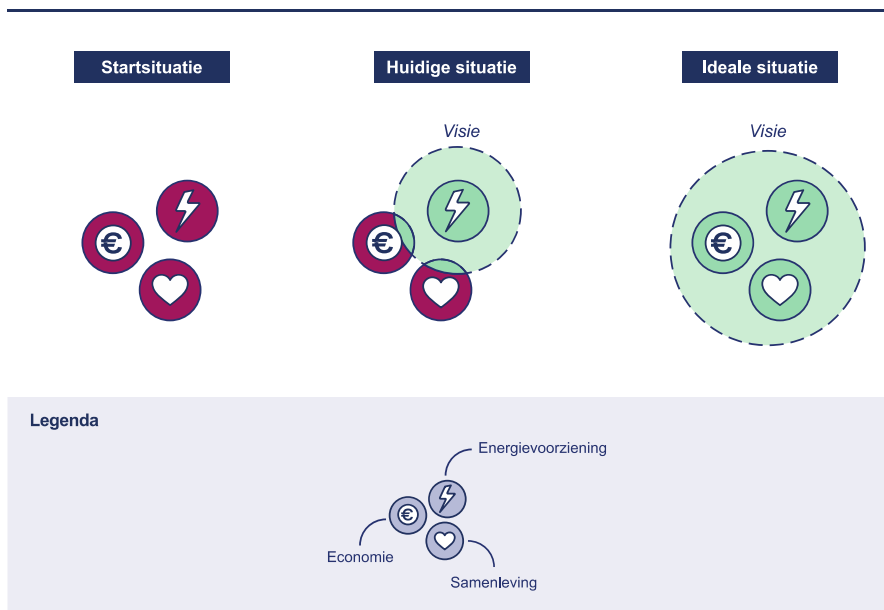
Toch is het NPE nog in sterke mate gericht op het verduurzamen van de *huidige* economie en samenleving. Het NPE behelst vooral een visie ('plan') voor het energiesysteem van de toekomst, gegeven de economie en samenleving van nu: het is gericht op het groener maken van de 'huidige' processen. In het NPE wordt uitgegaan van de bestaande sectoren, die moeten verduurzamen door nieuwe energievormen of energiebesparing. Het lijkt erop dat het NPE niet afweegt welke sectoren we willen behouden, en welke niet, en in welke vorm of omvang. Dit is afgebeeld in de middelste afbeelding van figuur 4: de 'duurzame' visie van het NPE richt zich vooral op het energiesysteem, maar nog niet echt op de gewenste transformatie van economie en samenleving.

Het creëren van een duurzame energievoorziening voor de *huidige economie en samenleving* is evenwel een heel zware opgave voor Nederland (zie § 1.2). Het is dus verstandiger om een integrale visie op de toekomstige duurzame economie en samenleving en de daarbij passende energievoorziening te ontwikkelen³⁸ (zie de rechterafbeelding van figuur 4). In zo'n integrale visie is ruimte voor het radicaal anders inrichten van onze economie of samenleving. Dit kan het resultaat zijn van doorbraakinnovaties, die nodig zijn om een vlucht naar voren te maken in de energietransitie.

36. PBL (2024b), 'Ook controversiële opties nodig voor klimaatneutraal Nederland in 2050'. Nieuwsbericht op de site van PBL van 24 april 2024.

37. Zoals geadviseerd door de AWTI in zijn advies 'Oppakken en doorpakken' uit 2016.

38. In de aanloop naar het NPE heeft het Expertteam Energiesysteem 2050 wel met verschillende scenario's voor de toekomstige economie en samenleving gewerkt, zie Expertteam Energiesysteem 2050 (2023), *Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050*, Den Haag: RVO. Overigens is het de bedoeling om het NPE periodiek (elke vier jaar) te herijken. Maar dat doet niet af een ons punt dat men om de juiste keuzes te maken over welke innovaties je wilt bevorderen, je beter van een beeld van je doel-systeem kunt uitgaan dan van het huidige.



Figuur 4. Van een visie op de energievoorziening naar een brede visie op een duurzame economie, samenleving en bijbehorende energievoorziening in 2050

De urgentie van een toekomstbeeld waarin naar economie, samenleving en energievoorziening wordt gekeken, wordt onderstreept door de realiteit van nu. Want de plannen om de huidige energievoorziening (gebaseerd op de huidige economie en samenleving) te vergroenen vertragen nu al of komen zelfs tot stilstand, onder andere door de hoge kosten. Er is een trend zichtbaar waarin verschillende bedrijven hun vergroeningsplannen terugdraaien.³⁹ Dat zijn niet alleen fossiele bedrijven in de olie- en gasindustrie; ook groene spelers komen in de knel. Bedrijven zoals Eneco doen niet meer mee met aanbestedingen voor wind op zee omdat het financieel niet haalbaar zou zijn. Andere bedrijven, zoals Northvolt (batterijen) en Emergya (turbines) zijn inmiddels failliet verklaard. Gebrek aan beleidscontinuïteit op de lange termijn draagt hier ook aan bij. Als er een duidelijke gedragen visie zou liggen voor economie, samenleving en het energiesysteem van de toekomst, wordt het eenvoudiger om consistent beleid te voeren en voor bedrijven en burgers om hun beslissingen te nemen.

Niet alleen de AWTI, ook anderen pleitten voor zo'n toekomstbeeld waarin economie, samenleving en innovatie in samenhang worden gezien. Zo wees de Raad van State er in zijn Advies bij het Ontwerp-Klimaatplan 2025-2035 al op dat het niet vanzelfsprekend

39. C. Hensen en P. Luttkhuis (2025), 'Hoe gaat het met de energietransitie? Elke partij wacht tot de ander iets doet', in *NRC* 27 maart 2025.

is dat we op de oude weg door kunnen gaan vanwege alle geopolitieke, demografische en economische ontwikkelingen en de beperkte fysieke ruimte. We zullen moeten nadenken over hoe we de economie en maatschappij van de toekomst willen inrichten. De Raad van State constateert echter dat in het Ontwerp-Klimaatplan zo'n visie (een 'samenhangend beeld van wat er nodig is om deze transformatie naar een innovatieve en duurzame economie succesvol te laten zijn') nog onvoldoende wordt geschetst. En dat ook het ontmoedigen of beëindigen van bepaalde activiteiten daarbij hoort. De overheid heeft hierbij een belangrijke rol.⁴⁰ Ook de Wetenschappelijke Klimaatraad riep onlangs op tot het ontwikkelen van een klimaatvisie die zich richt op de lange termijn (méér dan 25 jaar vooruit), samenhangend is (dus ook economie en samenleving meeneemt en beleidsterreinen integreert) en invoelbaar is voor de samenleving.⁴¹

Een samenhangend beeld van hoe de transformatie naar een duurzaam 2050 gemaakt kan worden, is een noodzakelijke basis voor het beleid, inclusief het innovatiebeleid voor energie. Dat beeld houdt rekening met welke rol innovatie en de overheid daarbij hebben, met wat dat betekent voor de samenleving en de structuur van de economie, en ook met het belang van strategische autonomie. Niet alles kan immers, er zijn duidelijke keuzes nodig. De overheid heeft een belangrijke regierol in de energietransitie.⁴² Energie-innovaties kennen vaak een lange doorlooptijd, waardoor het noodzakelijk is op tijd in te spelen op nieuwe ontwikkelingen. Zo pionierde Denemarken begin jaren '90 met offshore wind; pas twintig jaar later nam dit een grote vlucht. Door keuzes te maken op basis van een visie geeft de overheid aan de betrokken partijen in de economie en samenleving ook richting voor hun inspanningen.⁴³ Burgers en bedrijven hebben behoefte aan zo'n richtinggevend perspectief in het (klimaat)beleid, blijkt uit onderzoek van het SCP.⁴⁴

Zo'n visie bevat een doorkijk op langere termijn (2050). Het is denkbaar dat de feitelijke ontwikkelingen in de volgende jaren vragen om een bijstelling van de visie op lange termijn. Bijvoorbeeld omdat bepaalde ontwikkelingen heel snel en positief verlopen of andere juist hun potentieel niet waarmaken. Ook onverwachte externe ontwikkelingen kunnen de situatie kantelen. Daarom moet er wel voor gezorgd worden dat de brede visie periodiek bijgesteld kan worden.

40. Raad van State (2025), *Advies W19.24.00360/IV over het Ontwerp-Klimaatplan 2025-2035*, d.d. 19 februari 2025.

41. Wetenschappelijke Klimaatraad (2025), *Vaart maken met visie. Met toekomstvisie richting geven aan klimaatbeleid*, WKR-rapport 005, Den Haag: WKR.

42. B. ter Haar (2025), 'Zo simpel mogelijke energietransitie vergt stevige (waterstof)keuzes', ESB-blog.

43. Zie ook: AWTI (2016), *Oppakken en doorpakken. Durven kiezen voor energie-innovatie*, Den Haag: AWTI.

44. Y. de Kluienaar, G. ten Berge en J. Iedema (2025), *Klimaat en Samenleving. Burgerperspectieven*, Den Haag: SCP.

Gebrek aan een brede visie is een probleem voor energie-innovatiebeleid

Er wordt in de visie op het energiesysteem van de toekomst nog onvoldoende rekening gehouden met hoe een klimaatneutrale economie en samenleving er in 2050 uit zouden moeten zien. Dat is problematisch voor het (energie)-innovatiebeleid.

Ten eerste is zo'n eindbeeld over wat voor soort economie en samenleving Nederland in 2050 heeft, sterk bepalend voor de keuze op welke partijen en welke innovatietrajecten we nu willen inzetten. Een voorbeeld hiervan is de *case* over de toepassing van waterstof: wordt dit straks toegepast bij raffinage, om 'schoner' staal te produceren of als een energiedrager in transport? Een voorkeur voor één van deze toepassingsmogelijkheden vertaalt zich bijvoorbeeld in welke partijen er nu bij betrokken worden. In de praktijk lijkt dit besef nog niet echt doorgedrongen; het beleid is nu erg gefocust op het genereren van aanbod aan waterstof. Het maakt daarbij nu niet uit als een partij daarin zou stappen die betrokken is bij een route die mogelijk op termijn niet de voorkeur heeft.

Ten tweede geldt dat als men uitgaat van de huidige economie en samenleving er een *bias* ontstaat voor gevestigde partijen en systemen. Er is geen of slechts beperkte ruimte voor radicaal nieuwe ideeën, concepten of andere economische structuren. Het gevaar bestaat dat mogelijke *game changers* over het hoofd worden gezien. Zulke *game changers* zouden ons op een heel ander pad kunnen brengen, waarmee we bijvoorbeeld gemakkelijker onze klimaatdoelen kunnen bereiken. Ze kunnen bovendien zorgen voor een versterking van onze strategische autonomie op energiegebied en in de praktijk ook een nieuwe bron van (economisch) concurrentievoordeel blijken. Bij zittende partijen is wel veel kennis die kan worden ingezet bij de transitie. Een succesvolle transitie maakt dus maximaal gebruik van kennis bij bestaande spelers, en biedt tegelijk ruimte voor nieuwe partijen.⁴⁵

Ten derde: als men uitgaat van een visie op het toekomstige energiesysteem die sterk gebaseerd is op hoe we *nu* georganiseerd zijn, zijn andere, nieuwe vormen van organisatie in de regel veel moeilijker in te passen. Denk daarbij bijvoorbeeld aan verschillende (bottom-up) maatschappelijke initiatieven. Deze *bias* tegen andere vormen van organisatie dan de gangbare is problematisch. In een visie die ook ruimte laat voor een transformatie van de economie en samenleving daarentegen kan eerder ruimte zijn voor zulke andere vormen van organisatie.

45. Zie ook AWTI (2023), *In dienst van de toekomst. Van optimalisatie naar transformatie*, Den Haag: AWTI.

Les uit de waterstofcase: wat is het eindbeeld?

De innovatiecase over de grootschalige toepassing van (groen geproduceerde) waterstof zoomt in op drie verschillende doelen voor de waterstof-inzet. Elke route kent zijn eigen bijbehorende innovatieopgaven. Maar wat we vooral zien: elke route hoort bij een ander 'eindbeeld', een ander uiteindelijk effect op het energiesysteem en de economische structuur. Kort samengevat:

- 'groene' waterstof toepassen in raffinaderijen is weliswaar redelijk eenvoudig te realiseren (huidige waterstof vervangen door groene waterstof) maar zorgt er wel voor dat raffinage van fossiele brandstoffen door blijft gaan, terwijl we dat willen afbouwen;
- 'groene' waterstof toepassen bij de staalproductie reduceert een deel van het gebruik van koolstof (en derhalve de uitstoot van CO₂) bij staalproductie, en vereist focus op de innovatie van het staalproductieproces;
- 'groene' waterstof toepassen ten behoeve van transport kan op verschillende manieren. Elke optie vraagt om zijn eigen combinatie van innovaties en investeringen in ondersteunende infrastructuur. Bovendien zijn bij elke optie (deels) andere partijen betrokken.

In theorie zou het mogelijk zijn om alle drie de routes van het grootschalig gebruik van waterstof naast elkaar te realiseren. In de praktijk zal het waarschijnlijk lastig worden om de daarvoor benodigde hoeveelheden waterstof in Nederland te produceren of te importeren tegen aanvaardbare kosten. Daarom is het verstandig om te kiezen een keuze te maken welke inzet van waterstof prioriteit zou moeten hebben.

Vanuit dit perspectief is het belangrijk om vóóraf al heel goed af te wegen waar we heen willen met een bepaalde optie, zoals waterstof. De keuze die men daarbij maakt, is vervolgens onder meer bepalend voor welke innovatieopgaven men uitkiest om aan te werken, welke partijen betrokken zijn, en welk flankerend beleid nodig is.

Onvoldoende aandacht voor strategische autonomie

In bijlage 2 staat een uiteenzetting over 'strategische autonomie' met betrekking tot de energievoorziening en wat dat betekent voor het beleid voor energie-innovatie. In de kern gaat het vraagstuk van 'strategische autonomie' over de vraag van wie/welke partijen we onszelf afhankelijk willen maken (of juist niet). Aan deze vraag zit niet alleen een geografische dimensie (van welke landen of gebieden willen we wel of niet afhankelijk zijn?), maar ook een economische dimensie (worden we afhankelijk van één of meer bedrijven, en welke economische machtsposities hebben die?). Het antwoord op deze vragen bepaalt in hoeverre we als land, burger, bedrijf of maatschappelijke organisatie nog een zekere mate van vrijheid van handelen houden rond energie of dat die in de praktijk sterk is beperkt.

Om deze afhankelijkheden te managen en de eigen kwetsbaarheid te verminderen ziet de raad vier strategieën voor zich (zie bijlage 2 voor verdieping):

- ▶ daadwerkelijke autonomie binnen het 'eigen' gebied (het eigen land, of de EU). Men is dan onafhankelijk van andere landen of gebieden omdat men de hele keten van grondstoffen tot product zelf kan verzorgen;
- ▶ gespreide afhankelijkheden met meerdere opties, wat minder kwetsbaar maakt (voor energie bijvoorbeeld: meerdere energiebronnen of meerdere bronnen waar men bepaalde brandstoffen, grondstoffen of producten vandaan haalt);
- ▶ zelf een 'machtspositie' opbouwen op één of meerdere cruciale punten in een keten (rond een product of technologie); die machtspositie kan als uitruil/hefboom worden gebruikt jegens die landen/partijen van wie men afhankelijk is in andere schakels van de keten;
- ▶ een voorsprong opbouwen in de ketens van de toekomst. Hierbij verlegt men de focus naar de nieuwe bepalende ketens van de toekomst. Dit is in potentie een manier om de afhankelijkheid in de ketens van nu te mitigeren. Het is een interessante strategie om afhankelijkheid in de toekomst te beperken, in het bijzonder als men in bepaalde bestaande ketens op zodanige achterstand staat dat men verwacht blijvend afhankelijk te zullen zijn van anderen.

Strategische autonomie krijgt vooral veel aandacht als het gaat om de beschikbaarheid van grondstoffen. De raad constateert echter dat dit aspect 'strategische autonomie' nog onvoldoende terugkomt in het beleid rond energie-innovatie. Het zou vrij eenvoudig kunnen worden meegenomen in (subsidie)regelingen voor onderzoek als een 'pluspunt'. Als dit zou gebeuren, zou er vervolgens in de fase van opschaling of in de markt een 'premie' voor het bijdragen aan strategische autonomie gegeven kunnen worden. Dit ziet de raad echter nog niet in de praktijk, bijvoorbeeld in de case van zoutbatterijen (zie bijlage 4). Gezien het toenemende belang van strategische autonomie, zal dit aspect op een duidelijkere manier in het energie-innovatiebeleid meegenomen moeten worden.

Overigens is er een zeker verband tussen strategische autonomie op het gebied van grondstoffen en van energie. Stel dat men in de EU nauwelijks nog staal of aluminium zou produceren, dan zal dat tot een veel lagere behoefte aan (fossiele) energie leiden en dus tot minder afhankelijkheid van de landen die die energie leveren. Tegelijkertijd echter ontstaat een afhankelijkheid voor inkoop van staal en aluminium. Afwegingen op het gebied van afhankelijkheid houden idealiter rekening met zulke verschuivingen. Daarbij heeft de keuze voor de afhankelijkheid die het beste te mitigeren is, de voorkeur.

Strategische autonomie zal dus ook meegenomen moeten worden in de brede visie op de (duurzame) economie, samenleving en energievoorziening in 2050. Omdat geopolitieke ontwikkelingen op die tijdsschaal onzeker zijn en lastig te voorspellen, is het cruciaal om nu al tot een inschatting te komen op welke gebieden we autonoom willen

zijn ('kritieke' onderdelen van de energievoorziening, infrastructuur of economie), waar autonomie wenselijk is maar niet noodzakelijk en waar dit minder vitaal is. In dit proces helpt het om stelselmatig voor alle lagen van het energiesysteem kwetsbaarheden in kaart te brengen op basis van historische gevoeligheden, scenario-analyses en stress-testen. Die gelaagdheid zal dan weer doorwerken in de brede visie en de beleidskeuzes die vervolgens gemaakt worden. De geïdentificeerde kwetsbaarheden kan men in de brede visie minimaliseren via de hiervoor genoemde strategie die opties omvat zoals autonomie, maar ook diversificatie, strategische voorraden, hergebruik, interoperabiliteit en adaptiviteit in gebruik.

2.2 Onvoldoende focus op innovaties voor doorbraken

Keuzes zijn nog niet scherp genoeg

Mede onder invloed van het AWTI-advies over energie-innovatie uit 2016 is er in 2019 een Integrale Kennis- en Innovatieagenda (IKIA) voor energie en klimaat ontwikkeld,⁴⁶ die in november 2023 vernieuwd is.⁴⁷ Deze eerste IKIA is 'van onderop' ontwikkeld vanuit de verschillende 'tafels' en overlegstructuren die al bestonden, waarin de sector (bedrijven en kennisinstellingen) en de overheid bij elkaar kwamen. Gewoonlijk leidt zo'n proces niet tot scherpe keuzes (om slechts een paar dingen te doen) en dat is hier niet anders. De IKIA omvatte in eerste instantie maar liefst dertien meerjarige missiegedreven innovatieprogramma's (MMIP's); dat is inmiddels gegroeid naar zestien MMIP's.

De raad verwacht dat het Nederlandse energie-innovatiebeleid méér impact kan hebben op lange termijn door de aandacht te focussen op een beperkt aantal innovatie-opgaven die goed passen bij Nederland en die recht doen aan de unieke kansen van Nederland. Als Nederland inzet op een paar innovatie-opgaven waar we ook (internationaal) echt een verschil kunnen maken *met het oog op de transformatie op lange termijn*, zal dat zowel bijdragen aan de gewenste energietransitie als aan de economie. Nederland vertegenwoordigt namelijk maar een klein deel van de wereldwijde onderzoeks- en innovatiecapaciteit (ordegrootte van een procent); het overgrote deel van alle benodigde energie-innovaties zal dus *niet* hiervandaan komen.

Doorbraken krijgen nog te beperkt aandacht bij energie-innovatiebeleid

Rigoureuze keuzes om tot enkel vier tot zes programma's te komen op energie-innovatiegebied zijn dus niet gemaakt. Evenmin heeft men in de energie-innovatie-

46. Voor de eerste IKIA (2019-2023) zie de website: <https://www.klimaatakkoord.nl/themas/kennis--en-innovatieagenda>.

47. Voor de nieuwe IKIA (2024-2027): <https://www.topsectoren.nl/publicaties/publicaties/publicaties-2023/november/02/ikia-klimaat-energie-2024-2027>.

portefeuille gefocust op 'radicale' innovaties die voor doorbraken in het energiesysteem (zullen) zorgen. Dit laatste was wel het advies van de AWTI in 2016. In de energie-innovatieportefeuille is weliswaar enige aandacht voor doorbraakinnovaties, maar deze categorie vormt zeker niet de hoofdmoot.

Dat heeft verschillende oorzaken. Allereerst komt het door de doelen van het energie-innovatiebeleid in de afgelopen jaren. Dit beleid was meer gericht op de korte termijn. Energie-innovatie moest immers bijdragen aan CO₂-reductie in 2030 of aan een kostenreductie van de SDE+ subsidies. Beide zijn effecten op korte termijn, die vooral door incrementele innovaties bereikt kunnen worden. Daarnaast was de opdracht voor de sector sterk ingekleurd door het vergroten van verdienvermogen, wat vanzelfsprekend zorgt voor meer focus op opties die snel resultaat leveren. Ook het feit dat de programmering van onderzoek en innovatie vooral door de 'zittende' partijen bepaald is, betekent dat incrementele innovaties meer voor de hand liggen dan het ontwikkelen van radicaal nieuwe opties. En zelfs als bestaande partijen denken over radicaal nieuwe oplossingen, dan staat regelgeving vaak in de weg: het past niet bij hun positie of verantwoordelijkheid (dit speelt bijvoorbeeld bij netbeheerders) of de oplossing zelf past niet in het bestaande stelsel.



Figuur 5. Een *high risk/high reward* instrument ontbreekt in Nederland

Een *high risk/high reward* instrument ontbreekt

Ook mist het Nederlandse (energie-innovatie)beleid een instrument om nieuwe ideeën met een potentieel grote impact, die ook risicovol zijn, te stimuleren (zie figuur 5). In sommige andere landen heeft men wel zo'n *high risk/high reward* instrument opgezet. Binnen de EU is een voorbeeld SPRIND in Duitsland. Dit is een programma dat zich op meer thema's richt dan alleen energie, en stelt naast economische waarde ook sociale waarde centraal. Een ouder voorbeeld is ARPA-E in de Verenigde Staten. Dit agentschap

zet alleen in op projecten in het energiedomein die een heel hoog risico hebben, maar die *als ze slagen*, ook een grote impact zullen hebben. De filosofie hierachter is dat de impact van de minderheid aan projecten die zal slagen zo groot zal zijn (banen, kennisvoorsprong, marktkansen) dat de Amerikaanse samenleving en economie die publieke investering dubbel en dwars zullen terugverdienen. Ook het Verenigd Koninkrijk (met ARIA) heeft recent zo'n fonds opgericht (zie tekstkader). Eerder pleitte de AWTI al voor het opzetten van zo'n fonds voor *high risk/high reward* projecten in Nederland.⁴⁸ Tot nu toe is zo'n fonds in Nederland niet geïmplementeerd. Maar onlangs heeft het kabinet in zijn actieplan om te komen tot besteding van 3% van het BBP aan R&D een 'verkenning' aangekondigd naar de toegevoegde waarde van een Nationaal Agentschap voor Disruptieve Innovatie (NADI), dat geïnspireerd is op de genoemde buitenlandse voorbeelden.

Voorbeelden van agentschappen voor *high risk/high reward* projecten

SPRIND

Het Federale Agentschap voor Doorbraakinnovaties SPRIND, ook wel SPRIND genoemd, is een Duits R&D financieringsagentschap. SPRIND is opgericht in 2019 en heeft als doel om disruptieve innovaties te identificeren en financieren. SPRIND kende in de opstartfase van 2019-2022 een budget van ten minste 151 miljoen euro. SPRIND is aanvankelijk gepland als een agentschap in experimentele fase voor een periode van tien jaar (vanaf 2019). Voor de volledige tien jaar wordt een totaalbudget van ongeveer 1 miljard euro verwacht.

SPRIND richt zich op projecten die een compleet nieuwe markt creëren, een bestaande markt fundamenteel veranderen om een nieuw ecosysteem te creëren, of een grootschalig technologisch, sociaal of milieuprobleem oplossen. Alle onderwerpen zijn relevant voor SPRIND, zolang ze gebaseerd zijn op Europese waarden en non-militair zijn (*dual-use* daarentegen wordt wel ondersteund). In tegenstelling tot pure onderzoeksfinanciering wil SPRIND de ontwikkeling van nieuwe verhandelbare producten, technologieën, bedrijfsmodellen en/of diensten ondersteunen die het leven van zoveel mogelijk mensen duurzaam verbeteren. De focus ligt daarom op economische én sociale toegevoegde waarde.

Als gevolg van een nieuwe wet, de SPRIND-Freiheitsgesetz, kan SPRIND gebruik maken van verschillende vormen van financiering. Denk hierbij aan validatiecontracten, aandeleninvesteringen, mezzaninefinanciering of subsidies. Omdat SPRIND toegang heeft tot deze verschillende vormen van financiering, kan dit agentschap gericht, precies, flexibel en 'onbureaucratisch' te werk gaan.

48. AWTI (2016), *Oppakken en doorpakken. Durven kiezen voor energie-innovatie*, Den Haag.

ARPA-E

Het *Advanced Research Projects Agency – Energy* (ARPA-E) is een agentschap van het Amerikaanse ministerie van Energie, opgericht in 2009. Het heeft als doel wetenschappelijke en technologische innovaties te bevorderen die de wijze waarop we energie genereren, opslaan en gebruiken fundamenteel zal transformeren. ARPA-E richt zich dan ook op het identificeren en ondersteunen van onderzoek dat zich kenmerkt als *high risk/high reward*. Binnen ARPA-E werken diverse programma-directeuren en managers, elk verantwoordelijk voor specifieke technologische domeinen zoals energieopslag, slimme netwerken, en duurzame productie. De teams bestaan uit experts die zowel de technische haalbaarheid als de potentie van nieuwe technologieën kunnen beoordelen en aansturen. In het fiscale jaar 2023 was het budget 470 miljoen USD. Projecten krijgen steun van ordegrrootte 1 miljoen USD.

Een belangrijk onderdeel van de ARPA-E organisatie is het *Technology to Market* (T2M) team. Zij dragen bij aan de commercialisering van technologische innovaties, van het in kaart brengen van marktkansen tot opschaling.

Een voorbeeld is het SCALE-UP programma. Dit programma helpt veelbelovende energietechnologieën, die eerder door ARPA-E zijn gefinancierd, om verder te groeien richting commerciële toepassing.

ARIA

De *Advanced Research Invention Agency* (ARIA) is een agentschap in het Verenigd Koninkrijk dat doorbraken in onderzoek en innovatie financiert in onderbelichte gebieden. ARIA wordt gefinancierd door het ministerie van Wetenschap, Innovatie en Technologie, bestaat sinds 2023 en heeft een budget van 800 miljoen pond, verdeeld over vijf jaar (2023 tot 2028). ARIA richt zich op *high risk/high reward* onderzoek, bijvoorbeeld op het gebied van bio-engineering, AI en klimaatwetenschappen. ARIA opereert zo autonoom en flexibel mogelijk. Zo heeft het parlement aan ARIA vrijstelling gegeven van publieke aanbestedingsregels door middel van de *Advanced Research and Invention Agency Act 2022*. Ook heeft ARIA vrijstelling gekregen van *Freedom of Information requests*, om de administratieve last te verlagen.

Bepaalde aandacht voor doorbraken belemmert realiseren van de energietransitie

Het feit dat doorbraakinnovaties te weinig aandacht krijgen in het energie-innovatiebeleid in Nederland is om meerdere redenen een probleem. Een aantal radicale innovaties zal nodig zijn voor een daadwerkelijke transformatie naar een duurzame economie en samenleving in 2050. Die radicale innovaties komen in de meeste gevallen niet vanzelf

tot stand. Als er ergens steun van de overheid nodig is, is het voor zulke radicale doorbraken. Eigenlijk zou de overheid haar steun bij voorkeur moeten richten op die (cruciale) ontwikkelingen die *zonder* de overheid *niet* van de grond zouden komen. Het energie-innovatiebeleid zou dus *additioneel* moeten zijn aan de marktspanningen. Hier hoort ook bij dat de overheid door heldere keuzes te maken, duidelijke doelen te stellen en randvoorwaarden te regelen, richting en perspectief geeft aan bedrijven en burgers om te innoveren en stappen te zetten in de gewenste transformatie. Bovendien bieden radicale doorbraken Nederland de mogelijkheid om in de toekomst een nieuwe sterke positie in te nemen. Ze zorgen ervoor dat we in nieuwe ketens van strategische goederen of diensten een of meer sleutelposities innemen en dat is goed voor onze strategische autonomie.

Governance en risicomijdende cultuur zitten keuze voor doorbraken in de weg

Eerder noemden we al dat het proces 'van onderop' waarmee de IKIA (kennis- en innovatieagenda) ontwikkeld is, in de regel niet tot scherpe keuzes leidt om slechts een paar dingen te doen. Een keuze voor doorbraakinnovaties is bij dat proces ook minder voor de hand liggend. Bovendien zijn verantwoordelijkheid, middelen en uitvoering rond energie-innovatie op verschillende plekken belegd. Daar komt bij dat binnen de Topsectoren de verdeling van rollen (of verantwoordelijkheden) op dit moment niet volledig helder is, zo blijkt uit meerdere gevoerde gesprekken. Wie maakt nu welke keuzes op het niveau van de Topsector en op dat van de (daaronder hangende) Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's)?

Als men scherpe keuzes wil maken om slechts op een beperkt aantal innovatie opgaven in te zetten en als men doorbraakinnovaties wil steunen, dan voldoet de *governance* zoals die in de afgelopen jaren is gehanteerd, niet. Interessant in deze context is de ontwikkeling van het Nationaal Groeifonds. Dat kent een Adviescommissie,⁴⁹ die tot taak heeft om enkele voorstellen te selecteren waarvoor vervolgens een langjarig innovatie-programma ontwikkeld en uitgevoerd kan worden. Deze commissie was in staat om een beperkt aantal programma's te selecteren. De opzet van de Adviescommissie van het Groeifonds komt in vorm en functie redelijk overeen met de in 2016 door de AWTI voorgestelde Taskforce Energie-innovatie. Deze zou moeten bestaan uit enkele nationale en internationale experts met voldoende gezag, die aan de hand van een afwegingskader scherpe keuzes maken en een beperkt aantal radicale innovatietrajecten selecteren die door de overheid gesteund zouden moeten worden.⁵⁰

49. Zie: <https://www.nationaalgroefonds.nl/over-de-commissie>

50. AWTI (2016), *Oppakken en doorpakken. Durven kiezen voor energie-innovatie*, Den Haag.

Naast de *governance* van het bepalen van de agenda, zit ook de risicomijdende cultuur van de overheid in de weg. Omdat het gaat om publieke middelen die ingezet worden om innovatie te bevorderen, voelt men niet alleen een zekere druk om 'mislukking' te voorkomen, maar ook angst om 'controle' uit handen te geven. Dat creëert een *bias* richting minder risicovolle projecten en voorkomt het vol inzetten op enkele radicale, maar tegelijk meer onzekere innovatieprogramma's. Dit is in schril contrast met bijvoorbeeld de aansturing binnen het Amerikaanse ARPA-E:⁵¹ hierbij heeft een programmadirecteur heel veel vrijheid om zelfstandig te beslissen welke vragen uitgezet worden en welke projecten gefinancierd (blijven) worden.

Nog te veel focus op losse oplossingen, en niet op het systeem

Er is nog een reden waarom het stellen van prioriteiten niet goed verloopt. Er wordt in het algemeen nog te veel in losse oplossingen ('punto oplossingen') gedacht en te weinig gefocust op (de effecten op) het hele energiesysteem. Op zichzelf is dat begrijpelijk, omdat de meeste betrokken partijen actief zijn rond de 'punto oplossingen'. Bovendien is het veld georganiseerd in (deel)sectoren of langs bepaalde technologieën. Toch is het problematisch, want gezien de samenhang is er uiteindelijk een integrale blik nodig die zich meer richt op (effecten op) systeemniveau.⁵²

Dat geldt ook voor het 'doel' van het energie- en klimaatbeleid. Dat is erg gericht op het verminderen van de hoeveelheid uitgestoten CO₂ (en andere broeikasgassen). Maar in feite eindigt elke fossiele koolstof (C) die gewonnen wordt als CO₂. Dus zou het misschien wel interessanter (en effectiever) kunnen zijn om het beleid (ook) te richten op het verminderen van de winning van fossiele koolstof (C). Dit onderstreept het belang om innovatie(behoefte) meer vanuit systeemperspectief te bekijken, bijvoorbeeld door langs de hele 'koolstofketen' te kijken.

Eén van de aandachtspunten van het kabinet bij zijn adviesvraag aan de AWTI is hoe 'doorbraken' optimaal gefaciliteerd kunnen worden 'gegeven hun rol in de transformatie'.⁵³ Hierbij is het systeemperspectief dus essentieel. Het succes van een doorbraakinnovatie hangt immers van meerdere factoren af. En de kans is groot – omdat het gaat om een doorbraak, iets nieuws of anders dan het bestaande – dat het nog niet goed in het bestaande systeem past. Bovendien gaat het uiteindelijk niet alleen om een bepaalde (geïsoleerde) innovatie, maar ook om het zetten van een daadwerkelijke stap in de transformatie van het gehele energiesysteem.

51. Ook het Britse ARIA en Duitse SPRIN-D proberen op deze wijze aan te sturen.

52. Vergelijk PBL (2024b), 'Ook controversiële opties nodig voor klimaatneutraal Nederland in 2050'.

53. Zie ook AWTI (2023), *In dienst van de toekomst. Van optimalisatie naar transformatie*, en AWTI (2025), *In dienst van de toekomst. Een handreiking voor transformatiegericht beleid*, Den Haag.

Een ander voordeel van een systeemperspectief is dat het uitdaagt om na te denken hoe men een getransformeerd systeem het beste zou kunnen organiseren op een manier die goed bij dat 'nieuwe' systeem past. Een voorbeeld: ons elektriciteitssysteem is traditioneel *top-down* georganiseerd met een markt op basis van energie (kWh). Misschien past bij de duurzame elektriciteitsvoorziening van de toekomst wel een andere aansturing (meer decentraal) en een markt gebaseerd op capaciteit (kW), of een andere organisatievorm zoals zelforganisatie. Dit zijn veranderingen die niet zozeer samenhangen met één innovatie, maar met de transformatie van het gehele energiesysteem.

2.3 Samenhang van het beleid moet beter

Energie-innovatiebeleid nog te sterk op technologie gericht

Het energie-innovatiebeleid is nog steeds sterk op technologie gericht.⁵⁴ Drie van de vier regelingen die de afgelopen jaren het energie-innovatiebeleid vormden richtten zich op technologieën. Het gaat dan om de DEI+, HER+ en TSE.⁵⁵ De vierde regeling (MOOI)⁵⁶ gaat uit van een missie en beoogt die missie meer integraal vanuit de verschillende relevante dimensies te benaderen (technologie, economie, sociaal). Dat laatste is in de ogen van de AWTI een goede ontwikkeling.

Het is problematisch dat het energie-innovatiebeleid nog steeds voornamelijk op innovatie in de technologische dimensie is gericht. Andere aspecten, zoals de rol van instituties en gedrag, en randvoorwaarden zoals infrastructuur, zijn zeker zo relevant voor het welslagen van een innovatie. Dat volgt ook uit de innovatiecases die de raad in het kader van dit advies in meer detail heeft geanalyseerd: 'wind-op-zee', stoomproductie met behulp van elektriciteit, en zoutbatterijen (zie bijlage 4 voor een overzicht). Uit die cases wordt duidelijk dat organisatievorm, markt en regelgeving cruciaal zijn voor het slagen van de betreffende innovatieprocessen. In het tekstkader wordt de case van zoutbatterijen toegelicht. Hoewel het hierbij gaat om verschillende processen van technologische ontwikkeling, zijn aspecten zoals de juridische positie van energieopslag en de uiteindelijke *business case* sterk bepalend voor het succes van dit innovatieproces.

54. Dit wordt mede versterkt door het feit dat de meeste aandacht traditioneel uitgaat naar de productie kant van energie (duurzame of schonere energiebronnen) en minder naar distributie of gebruik van energie; bij de laatste aspecten spelen gedrag, regels, etc. een prominentere rol.

55. DEI+: Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie; TSE: Topsector Energie; eerder bestond de HER+ ('Hernieuwbare Energietransitie'), maar deze wordt nu voortgezet binnen DEI+ en MOOI.

56. MOOI: Missiegedreven Onderzoek, Ontwikkeling en Innovatie.

Innovatiecase Zoutbatterijen:

niet-technologische aspecten zijn bepalend voor succes

In het toekomstige (duurzame) energiesysteem zijn nieuwe vormen van energieopslag essentieel. Een nadeel van klassieke batterijen is dat er schaarse grondstoffen voor nodig zijn, die grotendeels van buiten de EU komen. Het opslaan van energie met behulp van zout is daarom een interessante optie, omdat deze grondstof lokaal voldoende aanwezig is. Momenteel wordt er in Nederland gewerkt aan verschillende technologieën van energieopslag met behulp van zout (zie bijlage 4 voor twee voorbeelden en een FD-artikel uit 2024 voor nog meer voorbeelden)⁵⁷. Deze opties hebben met elkaar gemeen dat de technologie nog in ontwikkeling is, terwijl tegelijkertijd wordt onderzocht wat precies hun *business case* zal zijn en hoe ze kunnen passen in het stelsel van regelgeving en markt. Een voorbeeld is de technologie die wordt ontwikkeld door Aqua Battery, waarbij membraantechnologie wordt gebruikt. Een ander initiatief is dat van TNO en de TU/e voor thermochemische opslag, dus opslag van warmte, in een zoutbatterij, waar nu een spin-off (Cellcius) mee bezig is. Bij deze trajecten gaat het om het samenspel van de *technische* vooruitgang parallel aan de ontwikkeling van gebruiksmogelijkheden en business cases, en ook om heldere randvoorwaarden rond regelgeving en vergunningen. Ook valt op dat er (nog) geen financiële prikkel ('premie') bestaat voor het bijdragen aan strategische autonomie. Iedereen ziet het strategische voordeel van zoutbatterijen (de grondstoffen zijn lokaal), maar nog niemand 'betaalt' ervoor.

Belang van niet-technische aspecten bij innovatie blijft onderbelicht

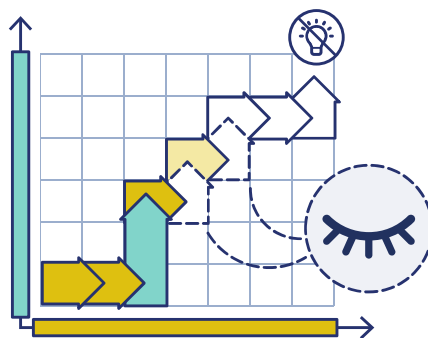
Ook in de literatuur over innovatie en transformatieprocessen wordt het belang van niet-technische aspecten erkend. Zo identificeert het TransMissie kader, dat ontwikkeld is door het TransMission Institute, een aantal sleutelprocessen rond innovatie, waaronder sleutelprocessen rondom de institutionele dimensie (zoals 'marktforming' en 'sectororganisatie en coördinatie') en het belang van randvoorwaarden als 'infrastructuur'.⁵⁸ Juist deze aspecten (zoals regelgeving, marktordening en infrastructuur) zijn vaak bij uitstek terreinen waar de overheid ofwel het monopolie heeft danwel een belangrijke positie als regisseur of financier.

57. E. Selderbeek (2024). 'Elk type batterij telt in zoektocht naar langdurige energieopslag', in: *Financieele Dagblad* 24 juni 2024.

58. L. Simons, A. Nijhof, en M. Janssen (2023), *TransMissie: De missiegedreven transitieaanpak voor het managen van complexe veranderprocessen*. Utrecht: TransMission Institute. N.B. onder andere, niet-institutionele sleutelprocessen die relevant zijn, vallen bijvoorbeeld kennisontwikkeling en middelen (budget, infrastructuur, etc.).

Juist voor 'doorbraken' zijn die niet-technologische aspecten zeer belangrijk. Voor nieuwe, radicaal andere opties dan wat in het bestaande systeem prevaleert, zullen ook institutionele veranderingen of nieuwe infrastructuur nodig zijn. Het kan betekenen dat we het energiesysteem anders moeten organiseren. Een voorbeeld hiervan is de nieuwe Energiewet. Deze gaat nog steeds uit van het oude model en de liberalisatie van de markt, waarbij elke speler een specifieke rol en verantwoordelijkheid heeft. Dit werkt fragmentatie in de hand; er wordt niet op systeemniveau gedacht en gewerkt. Tegelijkertijd komen individuele actoren alleen in beweging als het voor hen voordelig is. De uitdaging is daarom het veld zo te organiseren dat dit voordeel op systeemniveau óók terecht komt bij de relevante actoren.

In de praktijk zien we dat de verschillende dimensies die van belang zijn in innovatieprocessen, onvoldoende gelijk oplopen. Het kan zijn dat een energie-innovatieregeling een of meer stappen langs de technologische dimensie heeft gesteund, maar dat er op het vlak van de benodigde regels, markten, infrastructuur of de benodigde netwerken van partijen onvoldoende of geen stappen gezet zijn. Figuur 6 illustreert dat.



Figuur 6. Er is onvoldoende oog voor niet-technologische aspecten van innovatie

Voor doorbraken of radicaal nieuwe oplossingen is het dus problematisch als er te weinig oog is voor die andere dimensies. Het gevaar bestaat dat er weliswaar op technologisch vlak vooruitgang wordt geboekt, maar dat er geen transformatie plaatsvindt omdat er sociaal of institutioneel niet de benodigde stappen zijn gezet. Zo blijkt uit de innovatiecase 'stoom uit stroom' dat stoomproductie met behulp van elektriciteit (in plaats van gas, zoals nu gangbaar is) technisch al heel goed mogelijk is. Dit vindt in de praktijk echter nog nauwelijks plaats omdat de daarvoor benodigde *institutionele* voorwaarden nog niet

gerealiseerd zijn. Zo ontbreken nog de juiste contracten, die ook eventuele 'diensten' ten behoeve van de netbeheerders verdisconteren. Een doorbraak vanuit de institutionele dimensie mist dus nog.

**Innovatiecase Stoom uit stroom:
succes blijft uit omdat de institutionele voorwaarden nog ontbreken**

In de industrie wordt veel stoom gebruikt bij verschillende processen. Nu wordt stoom geproduceerd met behulp van gas. Als we van het gas afgaan, is stoom uit stroom eigenlijk het enige schone alternatief (tenzij er alternatieven komen voor het gebruik van stoom). Technisch kan dit al zonder problemen (door een e-boiler te gebruiken), maar het is momenteel te duur om met stroom stoom te produceren. Om deze optie in de praktijk te realiseren, zullen er dus essentiële stappen gezet moeten worden in de markt én in de institutionele organisatie (zie bijlage 4). In de markt is een verschuiving in de onderlinge verhouding van de prijzen van elektriciteit en gas nodig. In de institutionele organisatie moeten de juiste contracten gecreëerd worden voor de stoomgebruiker. Een mogelijkheid is dat zo'n contract de stoomgebruiker in staat stelt om diensten aan de (lokale) netbeheerder te leveren. Een andere mogelijkheid is dat meerdere stoomgebruikers binnen eenzelfde gebied tot een vorm van onderlinge samenwerking komen om samen de kosten te drukken van een overstap naar 'stoom uit stroom'. Dit is dus een voorbeeld van een innovatiecase waar de benodigde ontwikkelingen *niet* zozeer op technisch vlak liggen, maar vooral op andere dimensies (vooral institutioneel vlak).⁵⁹

Een valkuil is bovendien dat als men inzet op de optie die *nu* misschien rendabel is, namelijk een hybride stoominstallatie op gas en elektriciteit, men daarmee het volledig uitfaseren van gas als bron voor stoom uitstelt.

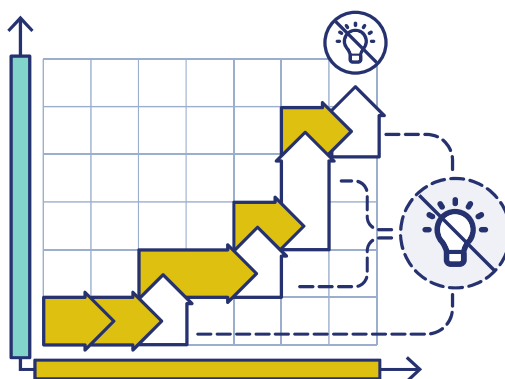
Een interessante ontwikkeling in de afgelopen jaren is de MOOI-regeling (Missiegedreven Onderzoek, Ontwikkeling en Innovatie). Deze roept nadrukkelijk op tot multidisciplinaire samenwerking en het betrekken van de vraagzijde/afnemer/gebruiker in de projecten die men indient. Dit is een poging om alle relevante innovatiedimensies (technologisch, institutioneel en sociaal) in samenhang te bekijken. Het is leerzaam om te evalueren hoe

59. Op momenten dat de elektriciteitsprijs laag is, kan het nu al interessant zijn om stoom met behulp van stroom te produceren, zie: H.P.A. Knops, A.C. Patil & R.M. Stikkelman (2014), "Power-to-value": Converting Excess Wind Power into Valuable Products or Processes', *Proceedings of IAEE Conference*, IAEE: Rome. Knops *et al.* (2014) wezen op de haven van Rotterdam als cluster waar deze optie kansrijk was om geïmplementeerd kon worden. Dat is daar echter nog niet gebeurd vanwege de institutionele drempels. Wel heeft de Maastrichtse papierproducent Sappi onlangs aangegeven stoom uit stroom te willen produceren en diensten aan de netbeheerder te willen leveren (zie B. van de Weijer (2024). 'Vol stroomnet? Een elektrische reuzenboiler kan wonderen verrichten', in: *de Volkskrant* 25 juni 2024).

succesvol de MOOI-regeling op dit punt is. Lastig is wel dat een deel van de stimuleringsregelingen voor onderzoek en/of innovatie niet openstaan voor alle typen partijen.

Niet-technologische innovatie cruciaal maar onvoldoende in beeld

Een tweede probleem is dat de institutionele en sociale aspecten nog onvoldoende benaderd worden als een mogelijkheid voor innovatie of als onderdeel van *innovatie*-beleid, zie figuur 7. Aan de ene kant ontbreekt soms het besef dat aanpassingen aan bijvoorbeeld marktordening of regelgeving *ook* onderdeel (moeten) zijn van beleid dat innovatie(s) wil bevorderen. Zo wordt er nu aan allerlei opties gewerkt om elektriciteit op te slaan, vanuit de gedachte dat dit cruciaal wordt in een elektriciteitssysteem dat gedomineerd wordt door 'grillige' bronnen zoals zon en wind. Tegelijkertijd is de juridische status van elektriciteitsopslag nog niet goed uitgekristalliseerd. Momenteel heeft opslag een achterstand tegenover (directe) elektriciteitsproductie. Dit maakt de *business case* voor opslag minder aantrekkelijk en remt derhalve de innovatieprocessen. Het creëren van een duidelijk juridisch en economisch perspectief voor opslag, zou onderdeel moeten zijn van (het integrale) beleid om zulke innovaties te bevorderen.



Figuur 7. Niet-technologische aspecten worden onvoldoende gezien als zelfstandige bron van innovatie

Dit voorbeeld laat zien dat – los van een specifieke technologie – ook sociale en institutionele innovaties mogelijk zijn die de transformatie naar het beoogde nieuwe energiesysteem bevorderen. Een goede oplossing over hoe 'opslag' juridisch en economisch beschouwd moet worden, kan helpen om willekeurig welke opslag-opties te

integreren. Een mooi voorbeeld van hoe een juridische ontwikkeling tot innovatie kan leiden is de introductie van het concept ‘hernieuwbare-energiegemeenschap’ in de EU-regelgeving en de verplichting vanuit de EU aan lidstaten om “een faciliterend kader [te scheppen] ter bevordering en vergemakkelijking van de ontwikkeling van [zulke] hernieuwbare-energiegemeenschappen.”⁶⁰ Dit heeft de ontwikkeling van zulke energie-gemeenschappen in Nederland meer houvast gegeven. Daarmee is deze regel uit Brussel een aanjager geweest van institutionele innovatie. Een ander vraagstuk waar institutionele innovatie veel meer innovaties (ook technische) in het energiesysteem kan aanjagen is de ontwikkeling van een nieuw marktmodel dat beter aansluit bij energiebronnen die vooral capaciteitskosten hebben (zoals bij wind en zon). Zo’n model zal immers veel (economische) onzekerheden kunnen elimineren die nu bestaan met prijzen die gerelateerd zijn aan de geproduceerde energie (kWh).⁶¹ Een voorbeeld hiervan is het MODES-consortium, een NWO-project dat onderzoek doet naar de vraag ‘hoe de Nederlandse energiesector tijdens en na de energietransitie georganiseerd moet worden’.⁶² Waarom zouden dit soort projecten niet kunnen doorontwikkelen in het innovatiebeleid? Zo kan men vanuit de sociale en institutionele dimensies een soort tractie creëren die juist technologische innovaties kan aanzuigen.

Het is zinvol om structureel aandacht te geven aan institutionele innovaties die gaande, mogelijk of nodig zijn binnen het bredere plaatje van de transformatie van het gehele energiesysteem. Relevante actoren kunnen in een deel van de gevallen ‘unusual suspects’ zijn, bijvoorbeeld typen partijen die nog niet vertegenwoordigd zijn binnen de Topsector Energie. Dat vraagt om gerichte aandacht: voor de innovatievraag van dit soort partijen zou ook plaats moeten zijn in het energie-innovatiebeleid. Bovendien geldt ook de omgekeerde relatie, namelijk dat institutionele innovaties kunnen vragen om innovaties in het technologische domein. Als men bijvoorbeeld binnen energie-coöperaties een vorm van technisch beheer wil voeren – al dan niet gekoppeld aan bepaalde afspraken met netbeheerders – zijn daarvoor misschien wel nieuwe apparaten en/of protocollen nodig. In dit voorbeeld vraagt een ontwikkeling (innovatie) op

60. Zie Richtlijn (EU) 2018/2001 van het Europees Parlement en de Raad van 11 december 2018 ter bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen, (*PbEU* 2018, L 328/82).

61. Windturbines en zonnepanelen hebben vooral vaste kosten die gerelateerd zijn aan de geïnstalleerde capaciteit (kW). In de huidige elektriciteitsmarkt wordt echter afgerekend per geproduceerde hoeveelheid energie (kWh). Met een onzeker en in zekere zin ook oncontroleerbaar aantal uren en derhalve gemiddelde capaciteit dat windturbines en zonnepanelen produceren, is het dus heel lastig om die kW-kosten te ‘vertalen’ in een benodigde kWh-prijs om quitte te draaien. Dat veroorzaakt dus een economische onzekerheid aan de kant van de exploitant van de windturbine of zonnepaneel, welke onzekerheid ook weer zijn ‘prijs’ zal hebben.

62. Zie: NWO (2025), *Market Organisation of the Dutch Energy System (MODES)*. NWO. <https://www.nwo.nl/projecten/nwa164622003>.

institutioneel vlak dus om innovaties op technologisch vlak. De vraag is of de beleidsmix zodanig is ingericht dat hierop gestuurd kan worden.

Afbouw te weinig onderkend als onderwerp van innovatie

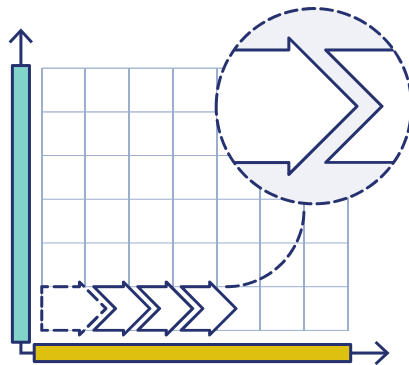
Niet-technologische aspecten worden dus nog te weinig gezien als een terrein voor (institutionele of sociale) innovatie. Datzelfde geldt voor de 'afbouw' van ongewenste praktijken. Het innovatiebeleid is immers vooral gericht op het vooruithelpen van *nieuwe* oplossingen. In het innovatiebeleid is minder aandacht voor hoe we ongewenste praktijken kunnen afbouwen.

Een voorbeeld van innovatie uitlokken via afbouw is 'horizonwetgeving' die op termijn verplicht om bepaalde praktijken (al dan niet stapsgewijs) af te bouwen, zoals de uitstoot of het gebruik van bepaalde stoffen. Er kunnen heel veel manieren zijn om aan die toekomstige regels te (gaan) voldoen. Horizonwetgeving laat aan betrokken partijen in principe de vrijheid om een (of meerdere) manieren te kiezen en daar eventueel in te innoveren. Een ander voorbeeld van innovatie uitlokken aan de afbouwkant, is het programma 'Aardgasvrije wijken', waarin allerlei manieren onderzocht en uitgeprobeerd zijn hoe wijken 'van het gas af' kunnen gaan en welke effecten dat heeft.⁶³

Beleid is nog te versnipperd: beleidsinstrumenten sluiten niet goed op elkaar aan

Een andere tekortkoming van het beleid voor energie-innovatie is dat het versnipperd is. Er zijn verschillende regelingen voor verschillende stappen in het innovatieproces (zie figuur 3 in paragraaf 1.4). De aansluiting daartussen is niet optimaal. Als men de ene stap succesvol heeft doorlopen, met steun van een bepaalde regeling, moet men voor de volgende stap een nieuwe procedure door voor een andere regeling. Daarbij concurreert men opnieuw met andere aanvragen. Voor zo'n nieuwe regeling gelden vaak weer net andere criteria en dikwijls krijgt men te maken met een andere commissie. In veel gesprekken met betrokkenen hoorden we deze klacht over slechte aansluiting tussen de verschillende 'opeenvolgende' beleidsinstrumenten terug. Een andere klacht is daarbij dat bij veel instrumenten potentiële deelnemers met elkaar concurreren voor financiële middelen, wat samenwerking binnen Nederland ontmoedigt terwijl in bepaalde gevallen samenwerking tot een effectiever eindresultaat zou kunnen leiden. Figuur 8 illustreert dit probleem. Omdat voor elke volgende innovatiestap weer een apart instrument geldt, wordt het moeilijker om die opeenvolgende stappen te doorlopen.

63. In 2022 is dit Programma Aardgasvrije Wijken geëvalueerd, zie: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/10/14/evaluatie-programma-aardgasvrije-wijken> en voor de voortgang van de proeftuinen (peildatum eind 2024) zie: <https://www.nplw.nl/data-en-monitoring/rapporten/voortgang-proeftuinen>



Figuur 8. Beleidsinstrumenten voor innovatie sluiten nu niet goed op elkaar aan

De afgelopen jaren zijn er wel initiatieven ontplooid die deze versnippering zouden kunnen verhelpen. Zo bood het Nationaal Groeifonds langjarige en grootschalige financiering voor grotere geïntegreerde projecten. Daardoor kunnen verschillende fasen in het onderzoeks- en innovatieproces langdurig aan elkaar gekoppeld worden. Binnen het thema ‘Energie en Duurzame Ontwikkeling’ zijn acht Groeifondsprojecten toegekend.⁶⁴ Het huidige kabinet heeft echter besloten dat er geen nieuwe rondes in het Nationaal Groeifonds komen. Desondanks is het zinvol om te evalueren in hoeverre de opzet van het Groeifonds en de projecten zorgt voor een betere aansluiting tussen de verschillende fasen in het innovatieproces.

Opschaling is nog vaak een bottleneck

Te vaak ervaren partijen dat er aan het eind van de innovatieketen (nog) geen markt blijkt te zijn. Nadat men stappen gezet heeft in het innovatieproces met gebruik van de bestaande regelingen, blijkt de stap naar opschaling dikwijls een groot probleem. Soms ligt het aan juridische beperkingen (zoals regels rond staatssteun) die de overheid belemmeren om hier de helpende hand toe steken. Maar regelmatig moeten betrokkenen constateren dat een markt nog ontbreekt. In zo’n geval is het vinden van financiering voor opschaling heel moeilijk. Ook als er wel marktmogelijkheden zijn, zijn er grote bedragen

64. Rijksoverheid (z.d.). *Thema Energie en duurzame ontwikkeling* (website). Den Haag: Nationaal Groeifonds, te vinden via: <https://www.nationaalgroeifonds.nl/overzicht-lopemde-projecten/thema-energie-en-duurzame-ontwikkeling>.

voor opschaling nodig. Die zijn in Europa echter minder ruim beschikbaar zijn dan bijvoorbeeld in de Verenigde Staten. Figuur 9 illustreert dit probleem: de laatste sprong van een mogelijke innovatie via opschaling naar een succesvolle innovatie stopt nog te vaak, omdat randvoorwaarden ontbreken (vaak: financiering).



Figuur 9. Opschaling is nog vaak een *bottleneck* die voorkomt dat een innovatie succesvol is; het vinden van financiering voor opschaling is vaak nog erg lastig.

2.4 ‘Smalle’ evaluaties helpen weinig bij systeembeleid

Een aandachtspunt voor adviesvrager EZK is de ‘meetbaarheid’: *“Hoe kunnen de effecten van het energie-innovatiebeleid op het realiseren van de transformatie van het energiesysteem beter inzichtelijk en meetbaar gemaakt worden en wat is daarvoor nodig?”* Voor de ontwikkeling van effectief energie-innovatiebeleid is het immers van belang inzicht te hebben in hoeverre dit beleid bijdraagt aan het realiseren van de doelen en innovatieopgaven die volgen uit de visie op het toekomstige energiesysteem.

De raad heeft gezien dat de verschillende regelingen ten behoeve van energie-innovatie periodiek geëvalueerd worden. Het is echter lastig om de precieze impact van de maatregelen te bepalen omdat de termijn waarop de impact zichtbaar zou (moeten) zijn in de toekomst ligt. Zo kan in 2025 nog niet vastgesteld worden wat het effect is van een energie-innovatie(stap) op de uitstoot van broeikasgassen in 2030. Bovendien blijkt het

moeilijk om effectiviteit en doelmatigheid te bepalen zelfs van regelingen die al afgelopen zijn.⁶⁵

Het is goed dat deze evaluaties plaatsvinden, maar de raad plaatst er twee kritische kanttekeningen bij. Ten eerste: wat is het succescriterium? In de uitgebreide evaluatie van de energie-innovatieregelingen over de periode 2012-2021 wordt geconcludeerd dat als “overkoepelend beeld [...] naar voren komt [...] dat de regelingen [...] een versnellende werking lijken te hebben op de ontwikkeling van energie-innovaties”.⁶⁶ Deze conclusie wordt voornamelijk gebaseerd op gesprekken met betrokkenen. Los van het feit dat ‘versnelling’ moeilijk te bewijzen valt, zou in de ogen van de raad het energie-innovatiebeleid juist ontwikkelingen moeten stimuleren die *additioneel* zijn, dat wil zeggen die zonder die steun überhaupt niet van de grond zouden zijn gekomen. Deze ontwikkelingen zijn ook beter te evalueren, want dan zouden partijen moeten aangeven dat ze zonder de steun het betreffende innovatieproces niet aangegaan zouden zijn.

Daarnaast roept de raad op om scherp te blijven op wat we onder innovatie verstaan. Dat is de tweede kanttekening. In de genoemde evaluatie wordt geconcludeerd dat “minder duidelijk is in hoeverre energie-innovaties worden toegepast in de markt.”⁶⁷ In het gangbare beeld van wat (een geslaagde) innovatie is, is het feit dat de vernieuwing uiteindelijk wordt toegepast in de praktijk, echter een voorwaarde. Door het hanteren van deze voorwaarde, creëert men aandacht voor het evalueren van factoren die beïnvloeden of een technologische vernieuwing in de praktijk wordt toegepast.

Verder bleek uit de evaluatie van de energie-innovatieregelingen dat het nog lastig is om projecten die zich op niet-technologische (dimensies van) innovatie richtten, te evalueren. Zo beschikten de evaluerende organisaties Dialogic en SEO wel over de gegevens van de projecten die zich op technologische innovatie richtten, maar niet over de gegevens van projecten die zich met institutionele randvoorwaarden bezighielden. Hieruit blijkt dat het momenteel nog onvoldoende lukt om alle dimensies in een innovatieproces goed mee te nemen in de evaluatieprocessen.

Een evaluatie zou niet alleen de effecten op individueel projectniveau moeten laten zien, maar ook de (toekomstige) effecten van de beoogde innovatie op het *systeemniveau* en of de innovatie bijdraagt (of naar verwachting gaat bijdragen) aan de gewenste *transformatie*. Dat betekent dus een ‘bredere blik’ op de beleidsambities. Hierbij is de vraag niet alleen of de betreffende innovatie ‘geslaagd’ is, maar ook wat het uiteindelijke effect op het systeem is en of daarmee het beoogde doel dichterbij gekomen of bereikt is.

65. Dialogic en SEO (2023), *Evaluatie Energie-Innovatieregelingen 2012-2021*. In opdracht van: ministerie van EZK.

66. Dialogic en SEO (2023), *Evaluatie Energie-Innovatieregelingen*, p. 76.

67. Dialogic en SEO (2023), *Evaluatie Energie-Innovatieregelingen*, p. 77.

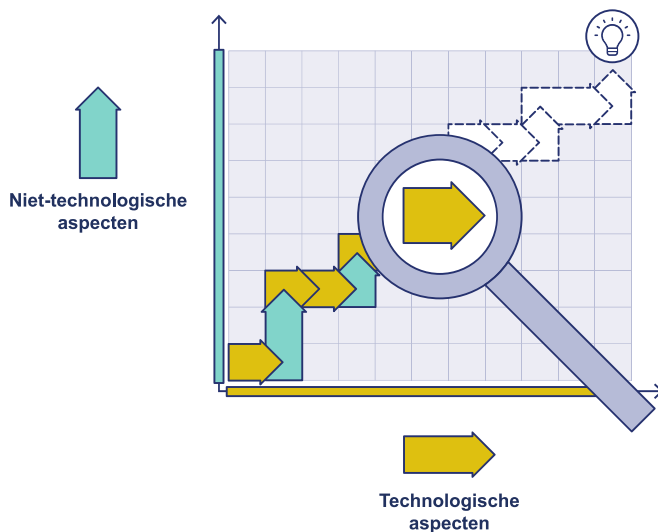
De afgelopen jaren is in de literatuur het specifieke karakter van de evaluatie van transitie- en systeem beleid geanalyseerd en besproken.⁶⁸ Een belangrijk kenmerk van dit type beleid is dat de relatie tussen probleem en oplossing vaak niet lineair of eenduidig is. Daardoor kan het lastig zijn om de effecten van beleid goed in kaart te brengen. Het is daarom belangrijk dat al vroeg helder is wat de beleidsdoelen en bijbehorende logica zijn.⁶⁹

Een illustratief voorbeeld hiervan is opnieuw de waterstofcase (zie pagina 30). Een deel van de Nederlandse waterstofagenda is gericht op het vergroten van het aanbod van 'groen geproduceerde waterstof'. De relevante vraag is echter *wat* we uiteindelijk met die waterstof willen gaan doen en welk effect dat heeft binnen het toekomstige energiesysteem en de economie. Gebruiken we waterstof om olieraffinaderijen in de lucht te houden, om op een groenere manier staal te maken of voor transport? Elke route heeft een ander uiteindelijk effect op onze energie- en koolstofhuishouding. In een 'beperkte' evaluatie tegen de achtergrond van het tussendoel om meer waterstof op een 'groene' manier te produceren, kan de conclusie zijn dat het betreffende doel is bereikt. Maar die evaluatie geeft nog geen antwoord op de vraag wat vervolgens het effect van die geproduceerde waterstof is geweest is voor onze energiehuishouding en klimaatboekhouding en wat dit betekent voor de toekomstige economie en samenleving.

In de ogen van de raad ligt de grootste uitdaging rond evaluatie in het verbreden van de evaluatie-blik. Momenteel richten de meeste evaluaties zich op een enkel beleidsinstrument en de vraag of dat geleid heeft tot (de gewenste) output. Dit is weergegeven in figuur 10. Evaluatie is echter het meest zinvol als wordt uitgegaan van de gewenste effecten op het systeem en de transformatie. Zo'n breed innovatieperspectief houdt rekening met de verschillende relevante dimensies. Zo kan bij de evaluatie van een maatregel die zich richt op technologische ontwikkeling geconstateerd worden dat de technologische ontwikkeling geslaagd is, maar het beoogde effect op het systeem onvoldoende is. Dit is dan zeer waarschijnlijk te wijten aan obstakels in andere dimensies. Bijvoorbeeld het ontbreken van een markt of de juiste regelgeving. Ook andersom geldt dit: als men streeft naar een institutionele innovatie, kan het zijn dat deze niet slaagt omdat de daarvoor de benodigde technische mogelijkheden ('voorwaarden') nog ontbreken.

68. Zie bijvoorbeeld Commissie Evaluatiemethoden Systeem- en Transitiebeleid (2022), *Durf te leren, ga door met meten*. Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat; L. Verwoerd en E. Kunseler (2025), 'Lerend evalueren: een methode voor beleidsevaluatie van complexe veranderopgaven', in: D. Hanemaayer, J. Mevissen en V. Patyn (red.), *Themareeks Methoden en benaderingen in de beleidsevaluatie*. Beleidsonderzoek Online.

69. Janssen, M. (2023), *Adviesnota monitoring en evaluatie missiegedreven innovatiebeleid*, Utrecht: Copernicus Institute of Sustainable Development - Utrecht University.



Figuur 10. Evaluaties (weergegeven door de loep) zijn nu nog vaak te ‘smal’: ze richten zich op losse beleidsinstrumenten en beschouwen die *niet* in samenhang met ander beleid of het bredere systeem.

Het is daarbij ook belangrijk om oog te hebben voor het proces *random* het innovatiebeleid zelf. Zo constateert de OECD dat doelen en structuren van missiegedreven innovatiebeleid gedurende de uitvoering kunnen veranderen. Het is daarom essentieel dat het beleid zelf ook adaptief is. Dit hangt in sterke mate af van het aanpassingsvermogen van de *governance* rondom beleidsinitiatieven. Het is belangrijk om dit ook in de evaluatie mee te nemen.⁷⁰

Cruciaal is ten slotte wat er gedaan wordt met de uitkomsten van evaluaties en monitoring. Het zou goed zijn als die uitkomsten óók doorwerken in het portfolio-management van de innovatieprogramma's en in de beleidscyclus. Het voornaamste doel van zulke evaluaties is immers om te leren en op basis van de lessen verbeteringen aan te brengen. Dit maakt portfoliomanagement ook een geschikt beleidsterrein waar zulke evaluaties toegepast kunnen worden. Wat betreft het leren omtrent beleid kan een les uit zulke evaluaties zijn dat men (wel) tijdig moet zorgen voor de randvoorwaarden. Ook kan men het beleid verbeteren zodat het effectiever wordt, niet alleen op basis van de eigen

70. OECD (2024), 'Monitoring and evaluation of mission-oriented innovation policies: From theory to practice', *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, No. 2024/09. Paris: OECD Publishing.

ervaringen met het (Nederlandse) beleid, maar ook door ervaringen en lessen uit het buitenland mee te nemen. Kijk daarbij bijvoorbeeld naar de samenhang tussen de verschillende beleidsinstrumenten (de 'beleidsmix') in het energie-innovatiesysteem in die andere landen en wat daarvan te leren valt.⁷¹ Een andere *input* bij het leren voor beleid kan komen uit het onderzoek(sveld) naar technologieontwikkeling en hoe dit het best met beleid ondersteund kan worden.⁷² De inzichten uit dit type onderzoek zijn vooral relevant voor beleidsinstrumenten die zich richten op technologieontwikkeling. De raad benadrukt evenwel dat het gebruik van deze inzichten (rond technologieontwikkeling) ingebed dienen te zijn in een bredere blik op het energie-innovatiebeleid, die kijkt vanuit het perspectief van het systeem en waar de niet-technologische aspecten ook een integraal onderdeel van zijn.

71. Het IEA brengt verschillende studies uit over energie-innovatiebeleid in andere landen. Zie bijvoorbeeld: <https://www.iea.org/reports/germany-2025>; <https://www.iea.org/reports/designing-energy-efficiency-policies-to-enhance-affordability>.

72. Zie bijvoorbeeld: M. Junginger, & A. Louwen (Eds.) (2020), *Technological Learning in the Transition to a Low-Carbon Energy System. Conceptual Issues, Empirical Findings, and Use in Energy Modeling*, Academic Press.

Advies: stuur op doorbraken voor de energietransitie naar een duurzaam 2050

De AWTI adviseert het kabinet om in het energie-innovatiebeleid te sturen op doorbraken in de energietransitie om zo de sprong naar een daadwerkelijk duurzaam Nederland in 2050 te maken. Deze opgave is een flinke uitdaging. Onze economie, samenleving en energievoorziening moeten ingrijpend veranderen. De AWTI heeft drie aanbevelingen om het beleid voor energie-innovatie effectiever te maken. Maak heldere keuzes en focus daarop. Maak het beleid geschikter voor doorbraakinnovaties. En verbeter je beleid op basis van evaluaties die oog hebben voor de bredere systeemverandering. Omdat systeendoorbraken veel tijd kosten, roept de AWTI op om snel actie te ondernemen: pas nu het beleid aan en stimuleer de gewenste doorbraken.

Naast incrementele verbeteringen van het bestaande energiesysteem is een aantal stevige doorbraakinnovaties nodig: radicaal andere technologieën of processen in de industrie, andere manieren van transport of geheel nieuwe organisatievormen voor de energievoorziening.⁷³ Deze doorbraken vereisen over het algemeen nog veel technologische ontwikkeling⁷⁴ en kennen grote sociale en institutionele drempels. Maar als ze leiden tot systeemveranderingen, kan de impact groot zijn, zeker als ze tijdig beschikbaar zijn op de grote schaal die noodzakelijk is voor de energietransitiedoelen. Doorbraakinnovaties zijn in veel gevallen *high risk*, maar bieden in potentie *high reward*. Bijvoorbeeld in de vorm van economische kansen op internationaal leiderschap. Daarnaast zijn ze op termijn mogelijk een *game changer* waarmee Nederland zijn klimaatambitie makkelijker kan bereiken.

De ondersteuning voor doorbraakinnovaties vanuit de overheid is essentieel.⁷⁵ Niet alleen omdat ze een groot potentieel hebben, maar ook omdat ze vanwege de grote risico's en onzekerheden dikwijls niet direct door de markt worden opgepakt. Bovendien geldt juist bij doorbraakinnovaties dat ontwikkelingen in niet-technologische dimensies (zoals wet- en regelgeving, marktforming en sociale aspecten) en randvoorwaarden (zoals infra-

73. HET IEA schat bijvoorbeeld in dat zeker 35% van de benodigde technieken voor een duurzaam 2050 nog helemaal ontwikkeld moeten worden (zie: IEA (2025a), *The State of Energy Innovation*, Paris: IEA Publications); zie ook: A. Kooiman & M. van Tuyl (2025), *Technologieradar: Welke disruptieve technologieën gaan impact hebben op ons energiesysteem?*, TNO2025 R10049, Den Haag: TNO Public.

74. De IEA (2025a) identificeert bijvoorbeeld 18 'races' rond nieuwe doorbraaktechnologieën.

75. Zie AWTI (2016), *Oppakken en doorpakken, Durven kiezen voor energie-innovatie*, Den Haag, p. 20-23, voor een uitgebreide beschouwing over de rol van de overheid bij energie-innovatie.

structuur) vaak cruciaal zijn voor het welslagen van de innovatie.⁷⁶ Dit zijn aspecten van het innovatieproces die dikwijls onder de verantwoordelijkheid van de overheid vallen.

In de ogen van de AWTI kunnen verbeteringen in het bestaande energiesysteem, de incrementele innovaties, al vrij goed gestimuleerd worden door het slim inzetten van zowel het algemene innovatiebeleid als het nationale en Europese energie- en klimaatbeleid. Wel zal dit energie- en klimaatbeleid op onderdelen meer innovatie-prikkelend moeten worden.⁷⁷ Stimulering van incrementele innovatie blijft belangrijk, want ze draagt niet alleen bij aan reductie van uitstoot, maar ook aan het in de hand houden van de kosten van de transitie.

Het specifieke beleid gericht op energie-innovatie zou zich bij voorkeur moeten richten op doorbraakinnovaties. De steun van het specifieke innovatiebeleid voor energie is essentieel omdat doorbraken met alleen het algemene innovatiebeleid en het energie- en klimaatbeleid niet gerealiseerd zullen worden. Het algemene innovatiebeleid en het energie- en klimaatbeleid zijn immers niet effectief genoeg om de specifieke barrières bij doorbraakinnovaties te overkomen. Bijvoorbeeld de grote afstand tot de markt, de complexiteit van de bredere transformatie waar de doorbraak toe moet leiden, en de terughoudendheid vanuit de markt om in zo'n risicovol traject te investeren. Specifieke beleidssteun is nodig om de benodigde doorbraken wel te realiseren.

Bovendien staan de middelen voor energie-innovatie onder druk terwijl de opgave groot is. Dat maakt het des te belangrijker om het energie-innovatiebeleid zo effectief mogelijk te laten zijn. Om die reden adviseert de AWTI de regering en het parlement om ***in het energie-innovatiebeleid te sturen op doorbraakinnovaties die zullen helpen bij de transformatie naar een duurzaam Nederland in 2050***, door duidelijke keuzes te maken, door het beleid geschikter te maken voor doorbraken en door het beleid te evalueren tegen de achtergrond van de bijdrage aan de gewenste transformatie. Doe dit uitgaande van een brede visie op een duurzame economie, samenleving en bijbehorende energievoorziening in 2050. Zo'n brede visie is een noodzakelijke basis van het beleid.

De AWTI doet drie aanbevelingen om dit advies in de praktijk te brengen:

- ▶ Geef richting en breng focus aan in het energie-innovatiebeleid
- ▶ Maak het beleid geschikt voor doorbraakinnovaties
- ▶ Neem de context mee bij evaluatie en richt evaluaties op het leren voor systeemverandering

76. Dit is een complicerende factor voor 'groene innovaties' in het algemeen, maar geldt nog sterker bij doorbraakinnovaties (zie: C. Paunov *et al.* (2025), en: IEA (2025a), p. 12). Zie ook: AWTI (2023), *In dienst van de toekomst. Van optimalisatie naar transformatie*, Den Haag.

77. Vergelijk aanbevelingen 2 en 3 uit AWTI (2016), *Oppakken en doorpakken*, p. 65.

Systeemverandering kost tijd. Daarom moeten we nu al inzetten op de doorbraak-innovaties die we richting 2050 nodig hebben. De ontwikkeling van zulke innovaties plus de benodigde aanpassingen aan het systeem kosten al snel 15 tot 20 jaar. Het is dus van het grootste belang dat de aanbevelingen van de AWTI voor het energie-innovatiebeleid zo snel mogelijk worden uitgevoerd. Beleidsaanpassing is urgent, paradoxaal genoeg omdat we praten over processen met een lange looptijd.

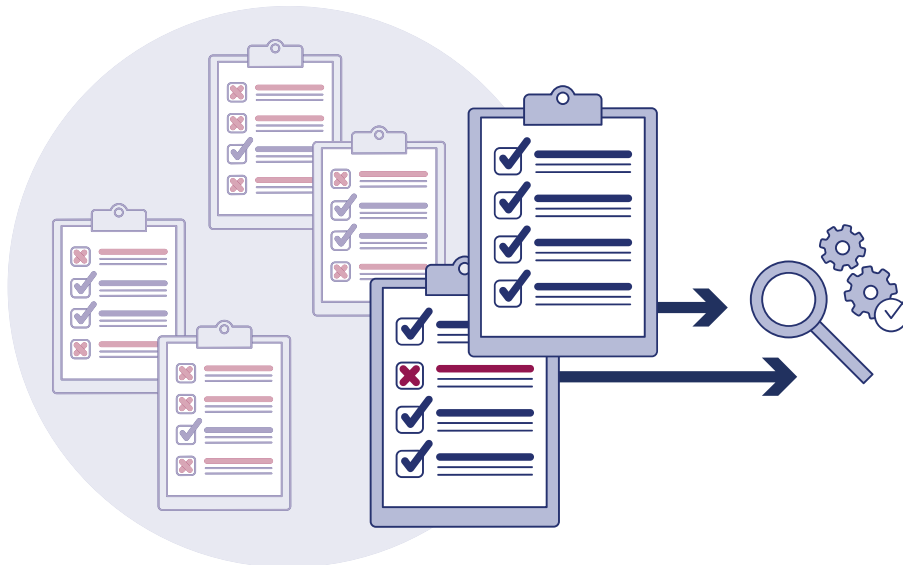
Met deze aanbevelingen adresseert de AWTI ook de aandachtspunten die de regering bij de adviesvraag heeft meegegeven (prioriteiten, doorbraken en meetbaarheid). De eerste aanbeveling helpt om de prioriteiten in het energie-innovatiebeleid beter te kiezen en om meer focus aan te brengen in het beleid. De eerste en tweede aanbeveling zorgen er in samenhang voor dat 'doorbraken' de passende aandacht krijgen in het innovatiebeleid voor energie en dat de beleidsmix effectiever wordt om doorbraken te stimuleren. De derde aanbeveling betreft meetbaarheid en gaat in op de vraag hoe de effecten van het innovatiebeleid op de transformatie beter inzichtelijk gemaakt kunnen worden.

3.1 Aanbeveling 1. Geef richting en breng focus aan in het energie-innovatiebeleid

De AWTI adviseert de overheid om een meer leidende rol te nemen bij energie-innovatie. Door de aandacht te concentreren op een beperkt aantal innovatieopgaven zal de impact van het beleid toenemen. Belangrijk is dat deze innovatieopgaven goed passen bij Nederland en bij de brede visie op een duurzame economie, samenleving en energievoorziening in 2050,

Meer richting en focus in het energie-innovatiebeleid start bij een brede visie op een duurzame economie, de samenleving in 2050 en de energievoorziening die daarbij hoort. Welke actoren spelen daarin een rol en hoe organiseren we de energievoorziening van de toekomst? Een samenhangend beeld van hoe de transformatie naar een duurzaam 2050 eruitziet, is een noodzakelijke basis voor het beleid. Op dit moment wordt uitgegaan van de huidige economie en samenleving. Dat is problematisch want het is een (te) zware opgave om die volledig te verduurzamen in 2050. De AWTI adviseert de overheid gebruik te maken van de eerdere adviezen van onder andere de AWTI en de Wetenschappelijke Klimaatraad om tot een brede, inspirerende en toereikende visie op een duurzame economie, samenleving en energievoorziening van Nederland in 2050 te komen.⁷⁸ Neem in zo'n visie ook strategische autonomie mee.

78. AWTI (2016), *Oppakken en doorpakken. Durven kiezen voor energie-innovatie*; AWTI (2020), *Versterk de rol van wetenschap, technologie en innovatie in maatschappelijke transities*; AWTI



Figuur 11. Aanbeveling 1: Geef richting en breng focus aan in het energie-innovatiebeleid door een beperkt aantal prioriteiten te kiezen op basis van een afwegingskader waarvoor missiegedreven innovatieprogramma's worden opgezet

Om meer richting en focus in het energie-innovatiebeleid aan te brengen stelt de AWTI de volgende drie samenhangende acties voor: (1) kies prioriteiten op basis van een afwegingskader, (2) ontwikkel voor die prioriteiten langjarige innovatieprogramma's en (3) zorg voor de juiste *governance* zodat die scherpe keuzes ook echt gemaakt worden.

Actie 1. Kies de prioriteiten in het energie-innovatiebeleid op basis van een geactualiseerd afwegingskader.

Om de prioriteiten in het energie-innovatiebeleid weloverwogen te kiezen stelt de AWTI voor een afwegingskader te gebruiken. Dat afwegingskader helpt bij de keuze op welke innovatieopgaven het Nederlandse innovatiebeleid zich met voorrang gaat richten. Daarbij is het van belang om een inschatting te maken van:

(2023), *In dienst van de toekomst. Van optimalisatie naar transformatie*; Wetenschappelijke Klimaatraad (2025), *Vaart maken met visie*.

- ▶ *de aansluiting* van de innovatie bij het toekomstige duurzame energiesysteem,
- ▶ *de impact*: het effect van de betreffende innovatie, zowel qua bijdrage aan het behalen van de duurzaamheidsdoelen als de maatschappelijke en/of economische waarde ervan;
- ▶ *strategische autonomie*: hoe belangrijk vinden we het – strategisch gezien – om de betreffende innovatie in de EU of in Nederland te ontwikkelen?⁷⁹
- ▶ *de kans van slagen*: de mate waarin Nederland over de voorwaarden beschikt om deze innovatieopgave tot een succes te maken. Heeft Nederland een relatief voordeel om deze innovatie te laten slagen?

Hoe beter de aansluiting van de innovatie op het toekomstige systeem, hoe groter de (verwachte) impact, hoe zwaarder het belang van strategische autonomie en hoe groter de kans van slagen, des te aantrekkelijker de betreffende innovatieopgave is om in Nederland op te pakken.

In tabel 1 staat het afwegingskader dat de AWTI nu voorstelt, gebaseerd op het kader dat de AWTI in 2016 adviseerde. In deze geactualiseerde versie zijn verschillende nieuwe ontwikkelingen meegenomen, zoals strategische autonomie, het EU-beleid en de opkomst van maatschappelijke initiatieven. In bijlage 3 wordt toegelicht hoe deze punten zijn verwerkt in het eerdere kader.

De aansluiting bij de brede visie komt aan de orde in het eerste criterium, waarbij die visie dus ook rekening zal moeten houden met strategische autonomie rond bijvoorbeeld energiebronnen en de toekomstige economische structuur.

Het tweede en derde criterium van het afwegingskader gaan over de (verwachte) impact van de innovatie. Welke bijdrage aan de energietransitie en welke milieuwinst verwachten we van de betreffende innovatie? En welke effecten heeft de betreffende innovatie economisch én maatschappelijk? Bij economische impact hoeft het niet altijd te gaan om één groot nieuw bedrijf dat voortkomt uit die innovatie, maar een innovatie kan juist ook heel succesvol zijn indien het zeer goed schaalbaar en reproduceerbaar is.

Het vierde criterium betreft strategische autonomie met betrekking tot de betreffende innovatieopgave: zijn er strategische redenen om de betreffende innovatieopgave zelf in Nederland te willen realiseren? Relevant hierbij is een inschatting van de internationale positie van Nederland en ook om acceptabele kwetsbaarheden en gewenste strategische onafhankelijkheid in de afweging mee te nemen. Strategische (on)afhankelijkheid gaat niet alleen over de geopolitieke aspecten maar ook over de zeggenschap (autonomie) van de burgers en eventuele afhankelijkheid van enkele grote spelers.

79. Dit houdt mede rekening met het perspectief van de afnemer/burger en de mate waarin deze keuzevrijheid houdt en handelingsperspectief, en hoe naar verwachting de prijsstabiliteit zal zijn.

Tabel 1: Afwegingskader om prioriteiten te bepalen voor energie-innovatie

<i>Aspect</i>	
 criterium	Vraag
<i>Aansluiting</i>	
Aansluiting bij brede visie	Hoe goed sluit de innovatie aan bij de visie op de toekomstige duurzame economie, samenleving en energievoorziening?
<i>Impact</i>	
Verwachte effect op duurzaamheid	Wat is de verwachte bijdrage van de innovatie aan de energie- en klimaatdoelen?
Verwachte effect op economie en maatschappij	Wat is het verwachte effect van de innovatie op de economie en de samenleving? Draagt het bij aan verdienvermogen, de afbouw van ongewenste afhankelijkheden en maatschappelijke doelen? Hoe gemakkelijk is de innovatie reproduceerbaar en schaalbaar?
<i>Strategische autonomie</i>	
Internationale context	Zijn er strategische redenen om deze innovatieopgave in Nederland te willen oppakken? Draagt het bij aan onze autonomie? Wat wordt in het buitenland gedaan en hoe is onze relatie tot die landen: zijn dat landen die we 'vertrouwen' of waar we liever niet afhankelijk van zijn?
Economische verhoudingen	Draagt de innovatie bij aan (het behoud van) zeggenschap en/of keuzevrijheid van burgers, organisaties en bedrijven?
<i>Kans van slagen</i>	
Kennispositie Nederland	Is de benodigde kennis aanwezig in Nederland? Hoe vooraanstaand is de Nederlandse kennispositie in de wereld, onder 'bevriende landen' en in de EU?
Stakeholder-bereidheid	Zijn bedrijven/maatschappelijke organisaties aanwezig en bereid om te investeren?
Marktpotentieel	Is er een markt aanwezig of te creëren (in Nederland, de EU of wereldwijd), eventueel met hulp van de overheid?
Maatschappelijk potentieel	Is er maatschappelijke drijfkracht (bijvoorbeeld via maatschappelijke initiatieven) of draagvlak, of valt dat te creëren?
Koppelkansen	Zijn er verbindingen te maken met andere innovaties of beleid? (Zoals Technologiestrategie, EU of maatschappelijke initiatieven)
Obstakels	Zijn er nog (andere) barrières voor bepaalde innovatiestappen, zoals het ontbreken van infrastructuur of wetgeving?

De resterende criteria gaan in op aspecten die invloed hebben op de kans dat de betreffende innovatieopgave in Nederland succesvol wordt opgepakt. Aspecten die relevant zijn om te beschouwen zijn de (relatieve) kennispositie van ons land, de aanwezigheid van relevante stakeholders (zoals bedrijven) en hun bereidheid om deze innovatievraag op te pakken, het marktpotentieel voor de innovatie, het maatschappelijk potentieel (is er maatschappelijk initiatief of draagvlak), de kansen om de innovatie te koppelen aan andere beleidsdoelen en de aan- of afwezigheid van obstakels.

Met het gepresenteerde afwegingskader kan de overheid de inhoudelijke prioriteiten bepalen binnen het energie-innovatiebeleid. De inschatting van de raad is dat doorbraak-innovaties meer dan incrementele innovaties aan de criteria van het afwegingskader voldoen om de energietransitiedoelen te bereiken. Die doorbraakinnovaties kunnen meer uit de hoek van een technologische innovatie voortkomen, aangejaagd worden door innovaties die niet-technologisch zijn of (juist) in samenhang plaatsvinden. Belangrijk is dat zulke doorbraken uiteindelijk een verandering van het systeem betekenen en dus ook een perspectief vanuit het systeem nodig hebben (zie ook aanbeveling 2).

Actie (2) geeft aan *hoe* de overheid het best kan inzetten op die prioriteitsinnovaties.

Actie 2. Kies een beperkt aantal missiegedreven innovatieopgaven die goed bij Nederland passen en zet daarvoor langjarige innovatieprogramma's op met een planmatige aanpak en een sterke interne samenhang

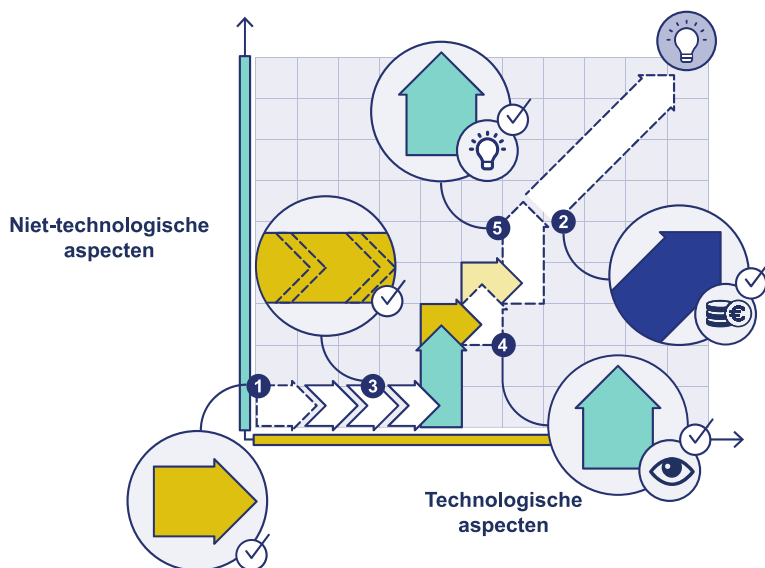
De AWTI beveelt aan om met behulp van het gepresenteerde afwegingskader een beperkt aantal missiegedreven innovatieopgaven te kiezen en daarvoor innovatieprogramma's op te zetten. Om een grote transformatie te bereiken binnen de relatief korte tijd die we ons daarvoor gegeven hebben tot 2050, zijn nog veel innovaties nodig. Nederland is geen groot land en kan slechts bij een deel van deze innovaties betrokken zijn. De AWTI beveelt dan ook aan om scherp en strategisch te kiezen voor innovatieopgaven die goed bij Nederland passen, gezien de toekomstige economie, samenleving, energievoorziening, en strategische autonomie. Daarmee wordt niet alleen de kans op succes, maar ook de impact groter. Bij het maken van keuzes is het belangrijk om steeds de doelen op lange termijn voor ogen te houden. Het hiervoor gepresenteerde afwegingskader helpt daarbij.

De AWTI adviseert om de missiegedreven innovatieprogramma's met voorrang te richten op doorbraakinnovaties. Zulke innovaties hebben juist baat bij een missiegedreven en langjarige aanpak. Bovendien is dit in lijn met het overkoepelende advies van de AWTI om in het energie-innovatiebeleid te sturen op doorbraakinnovaties.

De volgende actie gaat in op de *governance* die nodig is om daadwerkelijk scherp te kunnen kiezen.

Actie 3. Organiseer de *governance* om scherpe keuzes te maken.

De AWTI beveelt aan om de *governance* van het energie-innovatiebeleid aan te scherpen om de benodigde scherpe keuzes te kunnen maken. De structuur die de afgelopen jaren is gehanteerd, heeft immers geleid tot versnippering van de aandacht over vele onderwerpen. De AWTI adviseert een onafhankelijk, zelfstandig regieorgaan op te zetten dat met gedegen inhoudelijke expertise en voldoende gezag scherpe keuzes voor innovatieopgaven maakt.⁸⁰ Dit orgaan kan de bevoegdheid krijgen om zelf keuzes te maken, of om een zwaarwegend advies te geven aan de bewindspersoon die hierover beslist (dit laatste gebeurt bijvoorbeeld bij de Adviescommissie van het Nationaal Groeifonds). Geef aan dit regieorgaan een helder afwegingskader mee (zie hierboven bij actie 1) dat ook de verbinding legt met de brede visie op het energiesysteem. Het verdient aanbeveling om in dat regieorgaan ook enkele experts uit het buitenland op te nemen.



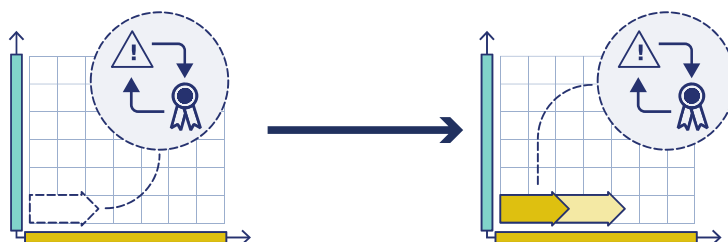
Figuur 12. Aanbeveling 2: Maak het beleid geschikt voor doorbraakinnovaties. Met een aantal aanpassingen denkt de AWTI dat de samenhang van het beleid verbeterd kan worden wat de kans van slagen van innovaties zal vergroten. De nummers verwijzen naar de voorgestelde acties bij aanbeveling 2.

80. Zoals de Taskforce Energie-innovatie, die de AWTI eerder voorstelde: AWTI (2016), *Oppakken en doorpakken. Durven kiezen voor energie-innovatie*, Den Haag: AWTI, p. 40-42 en p. 66-67.

3.2 Aanbeveling 2.

Maak het beleid geschikt voor doorbraakinnovaties

Doorbraakinnovaties zijn hard nodig om de transformatie naar een duurzaam 2050 te bewerkstelligen, maar ze kennen ook de grootste drempels. Daarom doet de AWTI voorstellen om het beleid rond energie-innovatie verder te verbeteren zodat het beter geschikt wordt om doorbraakinnovaties te laten slagen. In onze analyse hebben we een aantal tekortkomingen gezien in de huidige beleidsmix voor de energie-innovatieketen. Deze vormen obstakels voor het laten slagen van doorbraakinnovaties. Als deze obstakels in samenhang worden weggenomen, hebben doorbraken een grotere kans van slagen. Als slechts enkele worden aangepakt, bestaat het gevaar dat een innovatieproces alsnog op een ander obstakel vastloopt. Daarom adviseert de AWTI een zestal acties, die niet alleen doorbraakinnovaties helpen, maar ook andere energie-innovaties. Figuur 12 geeft schematisch aan waar de eerste vijf acties aangrijpen in de beleidsmix voor de innovatieketen. Het gaat om opvullen van lacunes en om betere samenhang.



Figuur 13. Actie 1: Stel een *high risk/high reward* programma in voor energie-innovaties

Actie 1. Stel een *high risk/high reward* programma in voor energie-innovaties; het Duitse SPRIND en het Amerikaanse ARPA-E programma kunnen hiervoor als inspiratie dienen.

De AWTI stelt voor een specifiek *high risk/high reward* programma voor energie-innovatie op te richten. Dit programma heeft als doel om aan het begin van de innovatieketen potentieel zeer impactvolle ideeën, die echter nog wel zeer risicovol zijn, te ondersteunen bij de eerste stappen. In het Nederlandse ecosysteem voor energie-innovatie ontbreekt nu zo'n instrument.⁸¹ Figuur 13 illustreert deze aanbeveling.

81. In het recente 3%-R&D-actieplan wordt een verkenning aangekondigd naar een Nationaal Agentschap voor Disruptieve Innovatie (NADI), naar voorbeeld van ARPA-E. De raad vindt dit

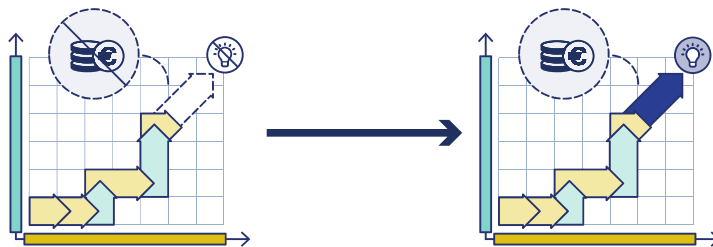
In 2016 adviseerde de AWTI ook om een *high risk/high reward* programma op te starten, waarin jaarlijks zo'n 10 potentieel kansrijke ideeën gefinancierd zouden kunnen worden.⁸² Het voorstel was om die ideeën te selecteren in een open competitie. Bij deze selectie moet dan gelet worden op enerzijds de impact (zoals CO₂-reductie, bijdrage aan de economie) en anderzijds de (potentiële) technische haalbaarheid. Ook de toegevoegde waarde vanuit internationaal perspectief is relevant (onder andere op gebied van strategische autonomie).

Voor de vormgeving van zo'n *high risk/high reward* programma kan Nederland inspiratie opdoen bij SPRIND in Duitsland, ARIA in het Verenigd Koninkrijk of ARPA-E in de Verenigde Staten. In Nederland kent onderzoeksfinancier NWO met 'Open Mind' een programma voor 'out-of-the-box ideeën', maar hierbij gaat het om slechts € 50.000 per idee, een ordegrrootte kleiner dan waar het bij ARPA-E om gaat.⁸³ Het NWO-programma is bovendien alleen voor universiteiten toegankelijk. Een *high risk/high reward* fonds opzetten binnen de context van de EU-regelgeving is niet eenvoudig (onder andere vanwege de EU-regels over staatssteun) maar het Duitse voorbeeld SPRIND laat zien dat het met de juiste politieke wil wel te realiseren valt. Wel heerst in Nederland een risicomijdende cultuur bij de overheid. Die zal ook overwonnen moeten worden. Het is belangrijk om rond zulke potentieel impactvolle ideeën een stevig ecosysteem te bouwen van kennisspelers, talent, infrastructuur en bedrijvigheid. En om ervoor te zorgen dat er in Nederland en de EU voldoende financieringsmogelijkheden zijn voor doorontwikkeling van die innovatie zodat, als het idee een succes wordt, de bedrijvigheid ook in Nederland (of de EU) blijft.

een veelbelovende ontwikkeling, en hoopt dat deze verkenning zal leiden tot de daadwerkelijke implementatie van zo'n *high risk/high reward* programma. Zie: Minister van Economische Zaken (2025), *Kamerbrief 'Investeren in een weerbare en toekomstbestendige economie: het 3%-R&D-actieplan'*, brief aan de Tweede Kamer 11 juli 2025.

82. Zie AWTI (2016), *Oppakken en doorpakken*, Den Haag: AWTI, p. 67.

83. Projecten die vanuit ARPA-E gefinancierd worden ontvangen typisch bedragen van tussen de 500.000 USD en enkele miljoenen USD.



Figuur 14. Actie 2: Creëer een specifiek financieel instrument voor opschaling

Actie 2. Creëer een specifiek financieel instrument ter ondersteuning van opschaling.

Onderzoek de mogelijkheden om dat in Europees verband te organiseren of om hefboomen te creëren met EU-instrumenten.

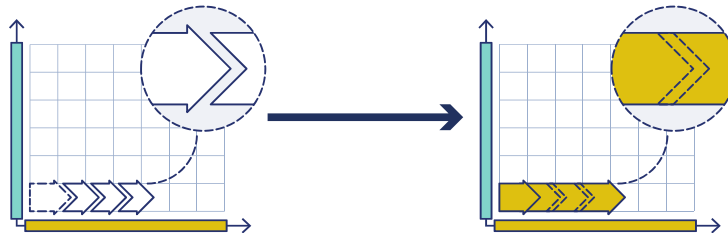
De AWTI beveelt aan een (financieel) instrument te creëren ter ondersteuning van opschaling (zie figuur 14). Bij opschaling ondervindt men dikwijls obstakels waardoor de innovatie en de bijbehorende transformatie van het energiesysteem niet slagen.⁸⁴ De grootste drempel is vaak een gebrek aan financiering om op te schalen. Grote ‘financieringspakketten’ voor doorgroei zijn in EU en Nederland immers schaars, zeker in vergelijking met de VS.⁸⁵ De overheid kan het voortouw nemen om publiek-private fondsen op te zetten die zijn gericht op de financiering van de opschaling van (doorbraak)innovaties rond energie. Nog meer impact hebben fondsen in EU-verband. Daarmee kan meer kapitaal worden opgehaald. De (Europese) schaalgrootte maakt het opzetten van thematische fondsen bovendien meer levensvatbaar.⁸⁶

Naast financiële obstakels, zijn de beschikbaarheid van arbeidskrachten en kennis mogelijke obstakels voor opschaling. Gevestigde partijen, zoals netwerkbedrijven, kunnen hierbij een rol spelen, aangezien zij wel beschikken over kennis en arbeidskrachten. Obstakels zoals de huidige regelgeving (die mogelijk in de weg staat), onduidelijkheid over de markt (*business case*) of het ontbreken van noodzakelijke infrastructuur, kunnen weggenomen worden door tijdig aandacht te hebben voor randvoorwaarden en niet-technologische dimensies van innovatie (zie actie 4).

84. Vergelijk AWTI (2023), *In dienst van de toekomst. Van optimalisatie naar transformatie*, Den Haag: AWTI, p. 48-50.

85. AWTI (2020), *Beter van start. De sleutel tot doorgroei van kennisintensieve start-ups*, Den Haag: AWTI, p. 30-31.

86. Zie ook: AWTI (2020), *Beter van start. De sleutel tot doorgroei van kennisintensieve start-ups*, Den Haag: AWTI, paragraaf 3.6 (p. 50-52).



Figuur 15. Actie 3: Verbeter de aansluiting tussen beleidsinstrumenten

Actie 3. Verbeter de aansluiting tussen de beleidsinstrumenten voor de verschillende stappen in een innovatietraject door programma's op te zetten die voorzien in de mogelijkheid om – bij succes – binnen dat programma direct door te gaan naar de volgende stap.

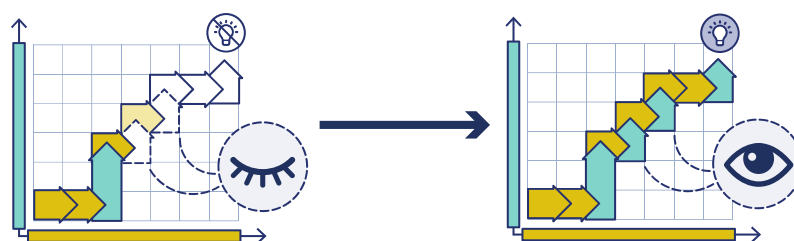
Een veelgehoorde klacht is dat men in een innovatietraject voor elke volgende stap een nieuwe ondersteuningsaanvraag moet doen. Men loopt aan tegen steeds een andere regeling, met een eigen commissie en eigen criteria. Dat zorgt niet alleen voor veel rompslomp, maar betekent ook dat aanvragers voor elke volgende stap weer moeten concurreren met andere projecten (zie linkerafbeelding in figuur 15). Om dit te voorkomen pleit de AWTI voor geïntegreerde programma's met duidelijke criteria om *binnen* een programma naar de volgende innovatiestap door te gaan. Wanneer men in een bepaalde innovatiestap aan de doelstellingen heeft voldaan, is men verzekerd van steun in de volgende innovatiestap (zie de rechterafbeelding van figuur 15). Opnieuw concurreren met andere voorstellen wordt zo dus vermeden. Dit kan betekenen dat het aantal innovatiegebieden waaraan de overheid financiële steun geeft, beperkt wordt. Maar aan de andere kant wordt de inzet van deze ondersteuning effectiever en de impact groter. In aanbeveling 1 stelde de AWTI voor om langjarige missiegedreven innovatieprogramma's op te zetten. Deze zouden zo moeten functioneren.⁸⁷ Een ander voorbeeld van zo'n meer geïntegreerd programma is het Nationaal Groeifonds, maar er zijn ook andere manieren denkbaar om de versnippering in het beleid aan te pakken.⁸⁸

Het is dus belangrijk dat de consortia en de programma's die op doorbraakinnovaties gericht zijn een doorlopende lijn kennen, maar ze moeten ook adaptief zijn. Want bij

87. Vergelijk ook AWTI (2016), *Oppakken en doorpakken*, Den Haag: AWTI, p. 38-42.

88. Zie voorbeelden in Dialogic en SEO (2023), *Evaluatie Energie-Innovatieregelingen 2012-2021*, paragraaf 4.1 (p. 57-61) en paragraaf 6.2 (p. 80-81).

transformatieve systeeminnovaties, die vaak een *high risk/high reward* karakter hebben, zijn de onzekerheden in de ontwikkeling groot. Toekomstige programma's kunnen adaptiever vormgegeven worden dan nu door minder gedetailleerde plannen en snellere beoordelingsprocessen, en door ervoor te zorgen dat consortiumvorming transdisciplinair is en dynamischer over innovatiecycli heen plaatsvindt. Een hoogwaardige regiefunctie gedurende de programma's wordt daarmee belangrijker. Onderzoek bij de opzet van programma's of concurrentie de aangewezen weg is om geld en aandacht te verdelen, of dat juist samenwerking effectiever is. Een andere mogelijkheid is om weliswaar competitie te organiseren, maar via de eis dat oplossingen interoperabel zijn om wel samenwerking op het niveau van uitvoering te garanderen.

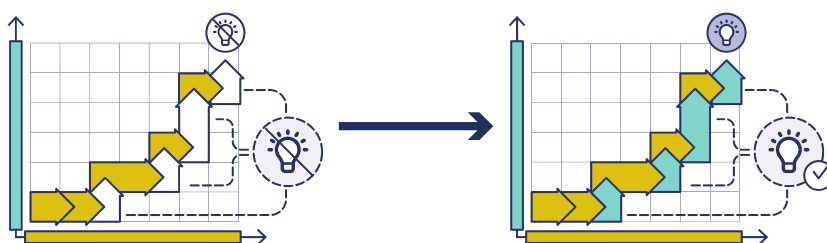


Figuur 16. Actie 4: Houd tijdig voldoende oog voor niet-technologische aspecten en randvoorwaarden. Maak deze aspecten een integraal onderdeel van het innovatiebeleid.

Actie 4. Houd – bij technologische ontwikkelingen – vanaf het begin oog voor de niet-technologische aspecten en randvoorwaarden. Maak deze aspecten een integraal onderdeel van het innovatiebeleid door ervoor te zorgen dat het beleid voor die andere aspecten ‘gelijk oploopt’ met het technologisch innovatiebeleid.

De AWTI bepleit dat het beleid voor relevante niet-technologische aspecten van innovatie meegenomen moet worden in de beleidsmix voor innovatie. Momenteel ligt er in het innovatiebeleid te veel focus op de technologische aspecten van innovatie; de niet-technologische aspecten worden vaak slechts als een secundaire randvoorwaarde gezien (zie de linker afbeelding van figuur 16). Juist bij doorbraakinnovaties zijn de niet-technologische aspecten voorwaardelijk voor het slagen of falen van een innovatietraject. Ze moeten vanaf het begin stelselmatig worden meegenomen (zie de rechter afbeelding van figuur 16). Als regelgeving in de weg zit, er geen markt is, of de ondersteunende infrastructuur ontbreekt, komt een innovatietraject snel tot stilstand, ook al ontwikkelt de techniek zich wel als beoogd.

Schep dus bijvoorbeeld als wetgever duidelijkheid over de juridische status van elektriciteitsopslag zodat de verschillende partijen die bezig zijn met het ontwikkelen van opslag-opties, weten waar ze aan toe zijn en hoe ze hun *business case* moeten inrichten. Zorg ook dat maatregelen voor de niet-technologische aspecten tijdig genomen worden, zodat de technologische en de niet-technologische stappen tijdens het innovatieproces goed op elkaar aansluiten en er geen belemmeringen ontstaan.



Figuur 17. Actie 5: Zie niet-technologische dimensies óók als een zelfstandige bron van innovatie

Actie 5. Zie niet-technologische dimensies óók als een zelfstandige bron van innovatie en ontwikkel *innovatiebeleid* om zulke innovaties uit te lokken en te stimuleren.

De AWTI stelt voor dat energie-innovatiebeleid zich ook richt op niet-technologische aspecten als een *zelfstandige* bron van innovatie (zie figuur 17). Dus om institutionele en sociale innovaties rond energie te bevorderen. Dit is een aanvulling op actie 4, die ervoor pleit dat technologische en niet-technologische ontwikkelingen *samen* zorgen voor een succesvol innovatietraject (waarbij het innovatiebeleid zich nu meestal richt op het aanjagen van de technologische innovatiestappen).

Juist niet-technologische innovatiestappen zijn heel belangrijk voor het realiseren van doorbraken. Doorbraken passen immers vaak niet in het bestaande systeem; hun succes hangt er dan ook sterk van af of het lukt om dat soort systeembarrrières te slechten. Maar dat betekent ook dat als men erin slaagt om 'het systeem' zodanig te veranderen dat het veel makkelijker allerlei innovaties kan accommoderen, dit een stevige impuls kan vormen voor zulke innovaties. Een voorbeeld van zo'n institutionele innovatie is een verandering van regelgeving, organisatie of de marktordening, waardoor een omgeving ontstaat die de ingebruikname van geheel nieuwe technologische innovaties mogelijk maakt of zelfs stimuleert. Door in te zetten op niet-technologische innovaties kunnen dus doorbraken gerealiseerd worden die bijdragen aan een transformatie van het gehele energiesysteem.

Een concreet voorbeeld hiervan is het uitzetten van een *call* voor het ontwerpen van een geheel nieuwe marktordening voor de elektriciteitsmarkt. Een markt die beter aansluit dan de huidige marktregels, bij zelfopwekking met zonnepanelen of windmolens, en bij de opkomst van coöperatieve energie-gemeenschappen. Dergelijke sociale of institutionele energie-innovaties kunnen op hun beurt technologische innovaties stimuleren.

Bijvoorbeeld de ontwikkeling van apparatuur die onderlinge uitwisseling van energie tussen leden van een energiecoöperatie ook technisch mogelijk maakt.

Actie 6. Ontwikkel beleid gericht op de afbouw van (op termijn) ongewenste praktijken.
Stem dat beleid goed af met de opbouw van alternatieven en behandel 'afbouw' ook als een onderwerp voor innovatie.

Momenteel ligt de nadruk in het innovatiebeleid vooral op het stimuleren van de *opbouw* van nieuwe alternatieven. Even belangrijk echter is het realiseren van de afbouw van datgene waar we van af willen vanuit onze visie op een duurzaam 2050.⁸⁹ Afbouw is nodig om ruimte te creëren voor nieuwe (duurzame) alternatieven. Het beleid voor afbouw van bestaande, maar op termijn ongewenste praktijken zou gelijk op moeten lopen met de opbouw van (duurzame) alternatieven. Dit is in zekere zin vergelijkbaar met onze aanbeveling dat het beleid voor de niet-technologische innovatie-aspecten gelijk op zou moeten lopen met de technologische voortgang van de innovatie (actie 4). Het afbouwen van bestaande praktijken creëert bovendien tractie voor de ontwikkeling van alternatieven. In die zin kan het dus een belangrijke stimulans zijn voor innovatie.

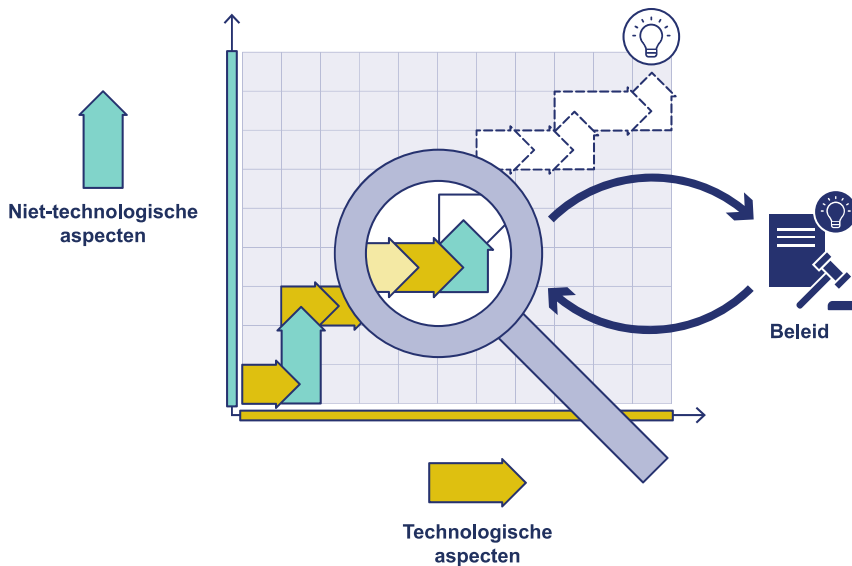
Ook afbouw zou een onderwerp kunnen zijn waarop innovaties uitgelokt worden. Een voorbeeld was het Programma Aardgasvrije Wijken, waarin allerlei manieren onderzocht en uitgetoet zijn waarop wijken 'van het gas af' kunnen gaan en welke effecten dat heeft.⁹⁰ Het uitgangspunt hier was de afbouw ('van het gas af') en het programma moest ideeën genereren om dat te bereiken.

Ook vraagt de raad aandacht voor een andere relevante rol van 'afbouw': het is belangrijk om ook in het beleid om innovaties (of nieuwe alternatieven) te stimuleren tijdig goed na te denken hoe zulke steun voor innovaties of nieuwe alternatieven op de langere termijn weer afgebouwd kan worden, zodra die nieuwe ontwikkelingen breder toegepast worden. Door daar duidelijkheid over te geven, kunnen betrokkenen anticiperen op manieren waarop die nieuwe alternatieven duurzaam in het 'nieuwe' systeem gepast kunnen worden.⁹¹

89. Zie ook: AWTI (2023), *In dienst van de toekomst*, Den Haag, p. 28-30.

90. Zie Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (2022) voor evaluatie van het Programma Aardgasvrije Wijken.

91. Een voorbeeld waar men deze kans om tijdig duidelijkheid te verschaffen, heeft laten liggen, is de afbouw van de salderingsregeling. Al heel lang kon de overheid zien aankomen dat deze



Figuur 18. Aanbeveling 3: Neem de context mee bij evaluatie en richt evaluaties op het leren voor systeemverandering

3.3 Aanbeveling 3. Neem de context mee bij evaluatie en richt evaluaties op het leren voor systeemverandering

De bredere blik die de AWTI adviseert voor het energie-innovatiebeleid geldt ook voor de evaluatie van het beleid. De context van het beleidsinstrument en van de gestimuleerde innovaties is erg belangrijk. Evaluatie van innovatieprocessen is immers het meest zinvol als het oog heeft voor de verschillende dimensies die relevant zijn voor de innovatie, en voor het bijbehorende beleid. En met oog voor het achterliggende doel: transformatie richting een duurzaam systeem in 2050. Daarom zou het 'succes' van het innovatiebeleid bepaald moeten worden in het licht van de gewenste effecten op het systeem en de (beoogde) transformatie. Anders gezegd: is de beoogde systeemverandering dichterbij gekomen? Voor een goede evaluatie beveelt de AWTI de volgende twee acties aan:

wijze van stimulering van de productie van 'eigen stroom' door afnemers (vooral met behulp van zonnepanelen) niet houdbaar was, maar te lang bleef er onduidelijkheid over hoe die regeling afgebouwd zou gaan worden.

Actie 1. Richt evaluatie niet alleen op het individuele beleidsinstrument en de ‘directe’ uitkomst (*output* en *outcome*), maar óók op de context en het proces waar dit instrument deel van uitmaakt. Hanteer daartoe een breed palet aan evaluatiekaders en -methodes.⁹²

De AWTI adviseert om niet alleen een individueel beleidsinstrument te evalueren, maar ook de context en het proces waar dit instrument deel van uitmaakt. In figuur 18 is dat weergegeven doordat de loep nu het beleidsinstrument bekijkt met de context erbij. Een project kan immers technologisch geslaagd zijn, maar de innovatie kan alsnog blijven steken op het ontbreken van randvoorwaarden. Het opsporen van dergelijke ‘systeemknelpunten’ is van belang, omdat het aanknopingspunten biedt voor verbetering en daarmee ook de effectiviteit verhoogt van de beleidsmix ter bevordering van innovatie. Met de ‘context’ doelen we op aspecten zoals de *governance* rondom beleidsinstrumenten. In hoeverre biedt deze *governance* mogelijkheden om veranderingen in de beleidsmix door te voeren? Andere onderwerpen die bij evaluatie aan de orde kunnen komen, zijn de wisselwerking tussen het technologische en niet-technologische beleidsinstrumentarium, de mate waarin *high risk/high reward* ideeën gestimuleerd worden, of de mate waarin het beleidsinstrument daadwerkelijk aan een systeemverandering heeft bijgedragen.

Een evaluatie die als uitgangspunt heeft om de effecten op systeemniveau in kaart te brengen, moet dus ook de vanuit systeemperspectief relevante aspecten meenemen. Die zijn niet altijd goed in strikt meetbare termen van *output* en *outcome* te vertalen, waardoor conclusies over de doeltreffendheid en impact van instrumenten (zeker op korte termijn) lastig vast te stellen zijn. Om effecten van het beleidsinstrumentarium op systeemniveau vast te stellen, is het gebruik van verschillende evaluatiemethoden noodzakelijk en is het belangrijk om de onderliggende aannames expliciet te maken.⁹³

Actie 2. Gebruik evaluaties vooral om te leren, met als doel het verbeteren van het beleid of voor portfoliomanagement. Richt het leerproces op basis van evaluaties in als een continu proces, waardoor bijsturing tijdens de uitvoering kan plaatsvinden.

De AWTI beveelt aan om evaluatie vooral in te zetten als leerinstrument met het oog op het verbeteren van beleid of voor portfoliomanagement binnen grote innovatie-

92. Voor een volledig overzicht van verschillende evaluatieperspectieven, -methoden, en beslisschema verwijzen we naar Commissie Evaluatiemethoden Systeem- en Transitiebeleid (2022), *Durf te leren, ga door met meten*. Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

93. We benadrukken daarbij het belang van het opstellen van een *theory of change*, waarin de relatie tussen de beleidsinterventies en gewenste uitkomsten worden geëxpliciteerd. Door deze aannames in kaart te brengen kunnen beleidsmakers systematisch nagaan welke specifieke mechanismen in werking moeten treden en waar stagnatie optreedt. Daarmee vormt het een referentiepunt waartegen de beleidspraktijk kan worden afgezet.

programma's. Evaluatie moet dienen om continu te leren en op basis van deze lessen verbeteringen aan te brengen. Dit is weergegeven in figuur 18 door de wisselwerking tussen de evaluatie (loep) enerzijds en het beleid anderzijds. Leren van evaluatie kan door bijvoorbeeld tijdig te zorgen voor realisatie van randvoorwaarden of door het beleid of de samenhang ervan te verbeteren zodat het effectiever wordt. Dat vereist dat de onderliggende evaluaties oog hebben voor de context van aanpalend beleid en het systeem waarbinnen de innovatie moet werken (zie actie 1). Bij dat leren kan men *naast* de lessen uit de evaluatie(s) van het Nederlandse beleid, kijken naar het buitenland en hoe andere landen de samenhang van het energie-innovatiebeleid dáár inrichten en welke lessen daaruit gehaald kunnen worden voor de Nederlandse context.

In portfoliomanagement van innovatieprogramma's kan door gebruik te maken van eerdergenoemde methodes en evaluatiekaders een verstandige ontwikkeling van het innovatieportfolio worden gestimuleerd. Ook hier geldt dat het systeem perspectief het uitgangspunt moet zijn bij de beoordeling van het portfolio, niet de optelsom van het succes van de verschillende programma's of activiteiten.⁹⁴

Een kenmerk van systeemveranderingen is dat ze vaak niet lineair verlopen. Bovendien zijn veel ontwikkelingen op een complexe manier verbonden, wat het lastig maakt om causaliteit vast te stellen. Om recht te doen aan de complexiteit en veranderlijkheid van de systeemverandering, zou al tijdens de uitvoering van het beleid een vorm van evaluatieonderzoek ingericht moeten worden. Dat moet inzicht opleveren over de werking en de sturing op beleid. Hierdoor kan er tijdig bijgestuurd worden om beleid gaandeweg te verbeteren.⁹⁵ Ten slotte is het van groot belang dat er voldoende kennisniveau over energie-innovatie en het beleid daarvoor binnen de (rijks)overheid aanwezig is en blijft.⁹⁶

94. OECD (2025), 'Proactive Portfolio Management in Mission-Oriented Innovation Policy', *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*, No. 173. Paris: OECD Publishing.

95. We verwijzen hierbij naar de literatuur omtrent 'lerend evalueren'. Zie: L. Verwoerd en E. Kunseler (2025), 'Lerend evalueren: een methode voor beleidsevaluatie van complexe veranderopgaven'. In: D. Hanemaayer, J. Mevissen en V. Patyn (red.), *Themareeks Methoden en benaderingen in de beleidsevaluatie*. Beleidsonderzoek Online.

96. Vergelijk ook AWTI (2021), *Rijk aan kennis. Naar een herwaardering van kennis en expertise in beleid en politiek*, Den Haag: AWTI.



Bijlagen

Bijlage 1 AWTI-advies uit 2016

De AWTI adviseerde in 2016 ook al over het gewenste beleid voor energie-innovatie.⁹⁷ Voor dat advies maakte de AWTI een zeer uitgebreide analyse van het beleidskader dat betrekking had op energie-innovatie. Ook keek de raad naar enkele voorbeelden uit het buitenland. De AWTI concludeerde destijds dat energie-innovatie in Nederland achterbleef bij wat mogelijk én noodzakelijk was. De belangrijkste oorzaken daarvan waren:

- ▶ *Het innovatiesysteem rond energie behoefde verdere versterking.*
Er was weliswaar veel kennis maar deze is versnipperd en gefragmenteerd. Ook ontbraken schakels in de innovatieketens en kon de aansluiting tussen schakels nog versterkt worden, hoewel de Topsector Energie hier al voor belangrijke verbeteringen had gezorgd. Bovendien was er onduidelijkheid over de contouren van het gewenste energiesysteem door het ontbreken van een breed gedragen visie voor de lange termijn.
- ▶ *Er was te weinig aandacht voor innovatie binnen het energiebeleid.*
Er was wel veel geld beschikbaar voor de uitrol van duurzame energie (die steun richtte zich op de goedkoopste nu beschikbare technologieën), maar het energiebeleid prikkelde nauwelijks tot de verbetering van bestaande technologieën of de ontwikkeling van nieuwe, dan wel tot andere manieren om emissies te beperken (zoals energiebesparing).
- ▶ *Radicale energie-innovatie en de implementatie daarvan werden te weinig gestimuleerd.*
Het beleid (in 2016) dat zich specifiek richtte op energie-innovatie gaf vooral prikkels tot incrementele innovaties. Instrumenten als de regeling Demonstratie Energie-innovatie of de Topsector Energie waren vooral gericht op incrementele verbeteringen en bleken te weinig toegerust om radicale (systeem)veranderingen teweeg te brengen. Er was geen rijksbrede agenda die radicale innovatie bevorderde. Bovendien investeerde Nederland vergeleken met de OESO-landen weinig in onderzoek, ontwikkeling en demonstratie van nieuwe energietechnologieën.

Om dit om te buigen en te zorgen dat Nederland de kansen rond energie-innovatie beter zou kunnen oppakken om zo ook een grotere bijdrage aan de energietransitie te kunnen leveren, adviseerde de AWTI de overheid om een meer leidende rol te nemen.

97. AWTI (2016), *Oppakken en doorpakken. Durven kiezen voor energie-innovatie*, Den Haag.

De AWTI deed in 2016 de volgende aanbevelingen:

- a)** ontwikkel eerst een duidelijke, internationaal ingebedde visie op het toekomstige energiesysteem;
- b)** richt het Nederlandse en Europese *energiebeleid* meer op innovatie (als subdoel);
- c)** richt het (Nederlandse) generieke innovatiebeleid meer in op *energie*-innovatie;
- d)** focus het energie-innovatiebeleid allereerst op het bevorderen van enkele *radicale* innovaties (kies voor 6 missiegedreven innovatieprogramma's met langjarige looptijd, planmatige aanpak, sterke interne samenhang en voldoende financiering; gebruik een afwegingskader voor je keuze – de AWTI deed een voorstel voor zo'n kader);
- e)** zorg dat de brede kennisbasis op orde blijft en geef ondersteuning aan nieuwe ideeën (onder andere door een *high impact/high risk* programma voor nieuwe ideeën);
- f)** voor het voorgestelde nieuwe beleid (onderdelen *d* en *e*) zou zo'n 300 miljoen euro per jaar nodig zijn en om in de pas te lopen met vergelijkbare landen zou een jaarlijks totaalbudget van 400 tot 450 miljoen voor energie-innovatie aan te raden zijn (in 2016 was het budget ongeveer 250 miljoen).

Een belangrijke gedachte in het advies van de AWTI uit 2016 was dat incrementele innovaties gestimuleerd kunnen worden met behulp van het energie- en klimaatbeleid (zowel nationaal als Europees) en het algemene innovatiebeleid. Het energie- en klimaatbeleid zouden meer innovatiebevorderend gemaakt kunnen worden, terwijl het algemene innovatiebeleid meer gericht zou kunnen worden op maatschappelijk gewenste innovaties. Daarmee zou incrementele energie-innovatie al flink geholpen kunnen worden. Het zou dan juist verstandig zijn om het specifieke *energie-innovatiebeleid* te gebruiken voor het stimuleren van *radicale* innovaties.

Enkele onderdelen van dit advies uit 2016 zijn in de afgelopen jaren opgepakt. Zo heeft het vorige kabinet in het Nationaal Plan Energiesysteem (van december 2023) een visie geformuleerd op hoe het Nederlandse energiesysteem van de toekomst eruit zou moeten zien. Daarnaast zijn op enkele punten de instrumenten van het algemeen energiebeleid zo aangepast dat ze óók innovatie bevorderen. Een voorbeeld is de SDE++ regeling waarin nu gewerkt wordt met verschillende categorieën. Daarbinnen krijgen de meest rendabele technologieën subsidie, waardoor SDE-geld ook innovatie kan stimuleren in categorieën die nog meer aan het begin van de innovatieketen staan (de vroegere SDE+ was eigenlijk één pot waarin alléén de allergeoedkoopste technologieën subsidie kregen).

Een aantal punten uit het vorige advies is *niet* opgepakt. Het voorgestelde fonds voor *high impact/high risk*-projecten is er in Nederland nog niet gekomen. (Het Verenigd Koninkrijk en Duitsland hebben onlangs wel zulke fondsen ingesteld.)⁹⁸ Een andere

98. In het VK gaat het om ARIA (Advanced Research and Invention Agency) en in Duitsland om SPRIND (Bundesagentur für Sprunginnovationen SPRIND).

aanbeveling van de AWTI in 2016 was om R&D die gericht is op niet-duurzame opties uit te sluiten van ondersteuning vanuit generieke regelingen van het innovatiebeleid en om het budget voor generieke ondersteuning nadrukkelijker te bestemmen voor maatschappelijk gewenste innovaties. Ook deze ontwikkeling heeft zich in de afgelopen jaren *niet* voltrokken. Het generieke innovatiebeleid ondersteunt nog steeds in gelijke mate duurzame of niet-duurzame innovaties.

Andere voorstellen van de AWTI zijn in mindere mate opgepakt. Het energie-innovatiebeleid is na 2016 weliswaar missiegedreven ingericht, met een Integrale Kennis- en Innovatieagenda (IKIA). Bij (sommige) agenda's is ook een afwegingskader gebruikt dat geïnspireerd lijkt op het door de AWTI voorgestelde; deze ontwikkeling is zeker een eerste stap in lijn met het AWTI-advies uit 2016.

Toch is daarbij niet 'doorgepakt': zo is het aantal meerjarige missiegedreven innovatieprogramma's met dertien het dubbele van wat de AWTI in 2016 adviseerde (namelijk zes). Daardoor is de aandacht meer versnipperd. Bovendien wordt in de IKIA's en de programma's niet de door de AWTI gewenste focus op *radicale* innovatie gelegd: er is weliswaar enige aandacht voor radicale innovaties, maar dat is naast incrementele innovaties.⁹⁹ Ook is de ontwikkeling van de agenda's ingebed gebleven in de Topsector Energie. De AWTI was daar in 2016 kritisch op, omdat daarin vooral gevestigde partijen vertegenwoordigd zijn. Dat maakt de agendering van radicaal nieuwe alternatieven minder aannemelijk. Ook is het hierdoor moeilijker om innovatiebehoeften vanuit maatschappelijke initiatieven te agenderen.

Hoewel het Nederlandse budget voor energie-innovatie sinds 2016 in eerste instantie is toegenomen (tot aan 2021), was dit bedrag niet bij voorrang bestemd voor radicale innovatie. Dit laatste was wel het advies van de AWTI in 2016. In de jaren na 2021 lijkt het publieke budget voor energieonderzoek en -innovatie zelfs gestaag gedaald: in 2022 was het budget 290 miljoen euro, in 2023 nog slechts 151 miljoen euro.¹⁰⁰

De raad constateert dus dat een deel van de in 2016 geconstateerde zwaktes in het Nederlandse beleid rond energie-innovatie nog steeds bestaat. Tegelijkertijd is er een aantal nieuwe uitdagingen bijgekomen waar het beleid voor energie-innovatie nog een antwoord op moet vinden. Al met al is het energie-innovatiebeleid nog (steeds) niet optimaal, zeker als men kijkt naar de positie van *doorbraken* daarin.

99. Zie bijvoorbeeld de IKIA voor wind op zee.

100. RVO (2024), *Monitor publiek gefinancierd energieonderzoek 2023*, p. 5.

Bijlage 2 Strategische autonomie

Strategische autonomie is de laatste jaren enorm belangrijk geworden, ook binnen het domein van energie. De oorlog in Oekraïne heeft laten zien welke risico's afhankelijkheden in energietoevoer opleveren voor de EU. Ook de veranderende opstelling van bijvoorbeeld China en de VS heeft effect op de prijs en beschikbaarheid van bepaalde energiebronnen. Strategische autonomie is daarom in toenemende mate van belang, ook binnen het kader van energie-innovatie. Innovaties die leiden tot de ingebruikname van nieuwe energiebronnen of besparing op bestaande energiebronnen dragen bij aan strategische autonomie, omdat ze de afhankelijkheid van bepaalde partners verminderen.

Strategische autonomie is een diffuus begrip. Deze bijlage beschrijft eerst wat strategische autonomie behelst. En vervolgens hoe innovatie kan bijdragen aan het vergroten van autonomie en hoe dit aspect kan worden meegenomen in de optimale prioritering van het Nederlandse energie-innovatiebeleid.

Definitie en dimensies van strategische autonomie

Hoewel veelbesproken, blijft strategische autonomie een ambigue term, zoals ook erkend in een studie voor het Europees Parlement¹⁰¹. De Europese Commissie heeft de term 'Open strategische autonomie' gemunt, maar discussies laten zien hoe verschillend de lidstaten over de invulling van dit concept denken. In wetenschappelijke literatuur wordt Europese strategische autonomie binnen het energiedomein omschreven als *'het politieke, institutionele en materiële vermogen van de Europese Unie om haar eigen, levensvatbare pad naar een koolstofarme energiemix te volgen'*.¹⁰² Daarbij zijn zowel leveringszekerheid en betaalbaarheid van energie cruciale aspecten.

Externe afhankelijkheden ziet men in de waardeketen op meerdere dimensies. Allereerst met betrekking tot grondstoffen. Voldoende toegang tot mineralen en metalen zoals koper, lithium en zeldzame aardmetalen is essentieel om hernieuwbare technologieën te kunnen produceren. De EU definieert een grondstof als 'kritiek' als deze van grote economische waarde is en er een leveringsrisico bestaat. Van de materialen die gebruikt worden in duurzame technologieën zijn geen significante voorraden aanwezig op EU-grondgebied; men is sterk afhankelijk van landen die rijk zijn aan bronnen, zoals Congo of China.

Daarnaast zijn er afhankelijkheden als het gaat om de componenten die nodig zijn voor groene energietechnologieën in de verschillende fasen van het productieproces. China is

101. European Parliamentary Research Service (2022), *"EU strategic autonomy 2013–2023: From concept to capacity"*, Briefing EU Strategic Autonomy Monitor. Brussel: Europees Parlement.

102. Hancher, L., en A. de Hauteclocque (2024), *'Strategic Autonomy, REPowerEU and the Internal Energy Market: Untying the Gordian Knot'*, *Common Market Law Review* 61, Issue 1, p. 55-92.

bijvoorbeeld op dit moment de grootste producent, exporteur en installateur van zonnepanelen, windturbines en elektrische voertuigen. Als we kijken naar de richting die de huidige regering van Trump recentelijk heeft inslagen wat betreft de energietransitie, blijft dit waarschijnlijk ook zo. Trumps *Big Beautiful Bill* faseert de komende jaren bijvoorbeeld de belastingvoordelen uit voor zonne- en windenergie, en groene waterstof.¹⁰³

Een andere dimensie is strategische autonomie binnen het *innovatieproces* zelf. Wat is de invloed/positie van externe partijen op het innovatieproces? Bijvoorbeeld doordat intellectueel eigendom in buitenlandse handen is. Strategische autonomie in het innovatieproces betekent dat een groter deel van het proces en de relevante intellectuele eigendom in 'binnenlandse' (Europese) handen is.¹⁰⁴

Het voorgaande heeft vooral oog voor de geopolitieke kant van strategische autonomie: van welke landen wil je wel of niet afhankelijk zijn? Strategische autonomie kent echter ook een ander perspectief: in hoeverre houden betrokkenen zeggenschap over hun eigen positie of wordt men afhankelijk gemaakt van één of een beperkt aantal partijen? Vergelijk de ontwikkelingen in de informatietechnologie waar enkele grote bedrijven overheersen en boven op 'onze' data zitten. In de brede visie op de economie, samenleving en energievoorziening van de toekomst (een duurzaam 2050) zal dit aspect óók meegenomen moeten worden. Als men zulke autonomie van burgers belangrijk vindt, zal men andere eisen stellen aan de organisatie van de energievoorziening dan als dat minder belangrijk gevonden wordt.

Europese strategische autonomie voor het energiesysteem in de praktijk

Voor de EU betekent strategische autonomie: een energiesysteem dat leveringszekerheid kan bieden en daarbij niet te afhankelijk is van import van primaire energiebronnen, elektriciteit of andere energiedragers, of van grondstoffen uit een klein aantal landen of een anderszins instabiele aanvoerketen. De afbouw van het belang van fossiele energiebronnen zoals kolen, olie en gas, die nu voor een groot deel in de EU geïmporteerd worden, vermindert de afhankelijkheid van landen buiten de EU. Maar alleen als daarvoor méér lokale energiebronnen zoals windenergie en (lokale) zonne-energie in de plaats komen.¹⁰⁵

103. The Economist (2025), 'Donald Trump's war on renewables'. In: The Economist. Geraadpleegd op 5 augustus 2025 via <https://www.economist.com/briefing/2025/07/31/donald-trumps-war-on-renewables>.

104. H. Kroll (2024), *Assessing Open Strategic Autonomy*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/767279> (JRC136359).

105. Indien men voor een substantieel deel van de benodigde primaire energie zou steunen op bijvoorbeeld zonne-energie in de Sahara die vervolgens wordt omgezet in een energiedrager die naar de EU wordt vervoerd, creëert men daarmee een nieuwe afhankelijkheid.

Energieopslag zal een belangrijke component van de stabiliteit van het energiesysteem vormen. Het is nog onzeker hoeveel groene waterstof Europa zelf kan produceren en hoeveel er moet worden geïmporteerd. Voor de productie en import van batterijen zijn we momenteel behoorlijk afhankelijk van landen buiten de EU, zoals China.

Er zijn daarnaast sectoren waarin de EU zelf producent is, maar afhankelijk is van andere landen voor essentiële grondstoffen. Dit geldt voornamelijk voor technologieën zoals waterstofauto's, elektrische voertuigen, en energieopslag (bijv. batterijen). Dan zijn er sectoren waarin de EU voor essentiële grondstoffen vrijwel volledig afhankelijk is van China, zoals bij fotovoltaïsche energieopwekking. Ook voor CCS-projecten zal internationale samenwerking cruciaal zijn, bijvoorbeeld het opzetten van een netwerk voor koolstofopslag zodat CO₂-uitstoot van industrieën kan worden opgevangen en opgeslagen in lege gasvelden onder de Noordzee.

Sommige bronopties verschuiven slechts afhankelijkheden. Zo heeft kernenergie de potentie om afhankelijkheid van (geïmporteerde) fossiele brandstoffen te verlagen, maar het daarbij als 'brandstof' gebruikte uranium is een kritieke grondstof. Uranium wordt op dit moment vooral gewonnen in Canada, Kazachstan, Niger en Rusland.

Betekenis van strategische autonomie voor beleid

Bij het meenemen van strategische autonomie in beleid zijn er twee overwegingen. In de eerste plaats moet men nadenken over de vraag hoe om te gaan met afhankelijkheden van andere partijen. In de tweede plaats zal men moeten bepalen voor welke zaken men autonoom wil en kan zijn, en op welke schaal.

Afhankelijkheid

Wat betreft afhankelijkheid zijn er verschillende strategieën denkbaar. Volledige autonomie (en dus onafhankelijkheid) is het ene uiterste, maar dat is veelal weinig realistisch. Onderzoekers van Clingendael¹⁰⁶ concluderen dat volledige onafhankelijkheid voor de Europese energievoorziening onhaalbaar is en dat strategische autonomie daarom waarschijnlijk grotendeels over differentiatie van bronnen, grondstoffen en componenten gaat.

106. S. Lokenberg, G. Cretti & L. van Schaik (2023), 'A Tale of Two Dependencies: European Strategic Autonomy in the Field of Energy'. *European Foreign Affairs Review* **28**, no. 4, p. 417-438.

Op Europees niveau zien we dit bijvoorbeeld terug in de Europese verordening ‘Kritieke grondstoffen’ die in 2024 is aangenomen.¹⁰⁷ In deze verordening worden eisen gesteld aan de aanvoerketens van kritieke grondstoffen om deze te vergroten en te diversifiëren.

Andere meer generieke instrumenten binnen het handelsbeleid zijn o.a. de *Export Control Regulation*, de *Foreign Direct Investment Screening* en het recent aangenomen *Single Market Emergency Instrument*, waarmee de EU probeert de import en export te controleren en toelevering van kritieke producten veilig te stellen. Ook via het budget probeert de EU aan te sturen op Europese strategische autonomie, onder andere door het financieren van *Important Projects of Common European Interest* die zich richten op het onderzoeken en creëren van multinationale toeleveringsketens in de EU. Een ander voorbeeld is het recent opgezette *Strategic Technologies for Europe Platform (STEP)*. Dit platform put uit bestaande fondsen en probeert publieke en private investeringen aan te trekken voor de ontwikkeling en productie van kritieke technologieën.

De Nederlandse overheid onderstreept het belang van Europese strategische autonomie en beoogt een voortrekkersrol te nemen bij gerelateerde EU-trajecten en beleid te ontwikkelen in nauwe samenhang met Europees beleid. Zo heeft de Nederlandse overheid haar eigen grondstoffenstrategie gepubliceerd. Hierin worden vijf handelingsperspectieven geïntroduceerd die o.a. verduurzaming, verbetering van circulariteit en diversificatie van grondstoffengebruik als doel hebben. Ook langs de lijn van consumptie kan strategische autonomie beïnvloed worden. De meest directe manier om de EU en NL minder afhankelijk te maken van energie is immers energiebesparing. Hier wordt dan ook, naast maximale energieproductie en leveringszekerheid, vol op ingezet in het NPE.

Autonomie

Het verkrijgen van een leiderschapspositie in groene technologie is een andere strategie om het gebruik en recycleren van kritieke grondstoffen te optimaliseren. Dit leidt mogelijk ook internationaal tot een sterkere onderhandelingspositie. Op Europees niveau zien we dit doorwerken in de manier waarop de EU de eigen industrie competitiever, maar tegelijk ook meer ‘open strategisch autonoom’ probeert te maken. De EU beoogt dit te combineren in de *Net Zero Industry Act*, een regelgevingskader om te industrie te verduurzamen maar tegelijkertijd competitief te houden. Dit kan worden gezien als een reactie op de *Inflation Reduction Act* van de VS. Ook het in 2024 uitgebrachte Draghi-rapport past in deze context.

107. Verordening (EU) 2024/1252 van het Europees Parlement en de Raad van 11 april 2024 tot vaststelling van een kader om een veilige en duurzame voorziening van kritieke grondstoffen te waarborgen, *PbEU* 2024 L.

Het streven naar een leiderschapspositie in groene technologie vereist radicale innovatie van de huidige industrie. Het Joint Research Centre beschrijft in een rapport over de stand van de open strategische autonomie in de EU dat hierbij twee dimensies van groot belang zijn:¹⁰⁸ autonomie in innovatie en autonomie in de economie. Autonomie in het innovatieproces gaat over de invloed van externe stakeholders op de innovatieprocessen (hoe meer externe invloed hoe minder autonoom). Een autonome economie kenmerkt zich door de afwezigheid van materiële en productieafhankelijkheden in de relevante waardeketens. Economische autonomie is belangrijk voor de welvaart nu en in de nabije toekomst. Autonomie in innovatie speelt juist op de langere termijn een rol speelt in welvaart, omdat ze een vormende invloed heeft op het sociaal-economisch model van de toekomst.

Samenhang afhankelijkheid en autonomie

Beide strategieën gaan vaak hand in hand. Een sterke positie op het gebied van de productie en innovatie van groene technologieën kan immers niet alleen afhankelijkheid van grondstoffen of productieprocessen verminderen maar ook andere partners afhankelijk maken van de eigen technologie. Zo zetten China en de VS (tot recent) innovatie in om leidend te zijn op sleuteltechnologieën. Daarmee stellen ze hun strategische autonomie veilig. Voorbeelden zijn respectievelijk de 'Made in China 2025' strategie en de *US Chips Act*.

Binnen de EU wordt juist toegewerkt naar integratie van de Nederlandse energiemarkt met die van andere EU-lidstaten om stabiliteit te vergroten. Dat gebeurt onder andere door grensoverschrijdende infrastructuurprojecten en gezamenlijke investeringen in hernieuwbare bronnen (hierbij wordt specifiek gesproken over de koppeling van netwerken met Duitsland en België), het delen van kennis en innovaties en beleidsafstemming en harmonisatie van regelgeving binnen de EU. Daarnaast werkt Nederland nu al samen met andere EU-lidstaten aan gezamenlijke offshore windenergieprojecten in de Noordzee.

Strategische autonomie in internationale samenwerkingsverbanden

Hoe worden bovenstaande overwegingen meegenomen bij strategische keuzes rond energie-innovatie in internationale samenwerkingsverbanden? Uit een gesprek met EZ/KGG bleek dat in de strategische besluitvorming rond energie-innovatie het aspect van strategische autonomie nog maar beperkt een rol speelt. Strategische autonomie wordt nog vooral gelinkt aan kritieke grondstoffen. Het kritisch bekijken van afhankelijkheden in productieprocessen of in de resulterende energievoorziening vindt

108. Kroll, H. (2024). *Assessing Open Strategic Autonomy*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/767279> (JRC136359).

nog niet of slechts in beperkte mate plaats. De inzet op bilaterale samenwerking, Europese en internationale fondsen begint bij de Integrale Kennis en Innovatie Agenda (IKIA) – een uitwerking van de Nederlandse prioriteiten in energie-innovatie. Maar in de realiteit is de keuze bij welke internationale projecten men aanhaakt vaak meer gestoeld op een zeker opportunisme. Internationale financiering is immers dermate moeilijk te organiseren dat strategische autonomie als mogelijke belemmering het aflegt tegen potentiële samenwerkingen. In de praktijk werkt Nederland overigens meestal samen met partnerlanden die (op dit moment) als betrouwbaar gelden, wat toetsing minder noodzakelijk maakt. Bij EZ/KGG is er men zich wel bewust van het risico van afhankelijkheid, maar dit is nog geen pijler waar daadwerkelijk op wordt gestuurd. De indruk is dat dit ook bij decentrale overheden geldt.

Implicaties voor energie-innovatiebeleid

Strategische autonomie heeft voor het Nederlandse energie-innovatiebeleid dus een aantal implicaties.

Allereerst onderstreept strategische autonomie het belang van radicale innovatie of doorbraakinnovaties. Er ligt een enorme uitdaging in het verduurzamen van de industrie. Daarnaast is het belangrijk de industrie zo circulair en onafhankelijk mogelijk te maken.

Volledige onafhankelijkheid is niet haalbaar en niet wenselijk. De beste manier om kwetsbare energie afhankelijkheden te verminderen, is in EU-verband. Nederland kan hier aan bijdragen op een manier waar we zelf ook baat bij hebben. Aan de innovatiekant kan het verwerven van een leiderschapspositie op een technologie of andere innovatieve oplossing, kwetsbare afhankelijkheden verminderen of juist positief beïnvloeden. Nederland zou kunnen streven naar een voortrekkersrol in één van de waardenketens die belangrijk worden geacht voor het Europese energiesysteem. Met de integratie van het Europese energiesysteem zullen waardeketens mogelijk uitgesplitst worden over meerdere landen. Het zal dan eerder gaan om een deel van zo'n waardeketen, bijvoorbeeld het transport van waterstof. Dat impliceert dat Nederland zich meer moet gaan specialiseren en mogelijk moet kiezen op welke innovatieopgaven het inzet, om zo een sterke positie te verwerven.

Bij de totstandkoming van het NPE is duidelijk nagedacht over de kansen van Nederland om sterke eigenschappen te benutten en in te zetten voor het Europese energiesysteem; bijvoorbeeld als waterstofhub of door opslag, conversie en distributie in en tussen de verschillende energieketens in Nederland te concentreren. Het lijkt dus dat de regering deze kansen in het oog heeft.

Voor veel van deze plannen is nog veel innovatie nodig, en daarin kan Nederland alleen een voortrekkersrol verkrijgen als duidelijke prioriteiten gesteld worden. Op welke innovatievragen of onderdelen van de keten gaan Nederland(se partijen) zich richten?

Juist op dit punt van prioritering lijkt de aansturing echter onvoldoende scherp. Het huidige missiegedreven innovatiebeleid is gestoeld op vijf missies die tezamen effectief beschrijven welke maatschappelijke opgaven er liggen om tot een emissievrij energiesysteem te komen. Deze missies zijn opgesplitst in meerjarige missiegedreven innovatie programma's (MMIP's).¹⁰⁹ De vraag is of deze missies leiden tot de convergentie van inspanningen waarmee Nederland daadwerkelijk een koppositie kan bereiken in een bepaalde technologie of domein. Daarvoor is meer nodig dan ruimte bieden aan goede ideeën alleen; het vraagt ook om transformatie van het hele ecosysteem eromheen, met institutionele en sociale innovaties. Missiedenken is goed om creativiteit uit te lokken, maar moet niet vervallen in het vermijden van strategische keuzes. Bovendien zal Nederland moeten leren om zijn strategisch autonome positie ten opzichte van andere partners te benutten. Een punt in het netwerk in handen hebben kan voordeel opleveren, maar ook leiden tot het risico zelf uitgespeeld te worden tussen andere grootmachten, zoals in het geval van ASML.

Nederland zet goed in op het verminderen van afhankelijkheid met de grondstoffenstrategie, die aansluit bij de Europese Verordening 'Kritieke grondstoffen'. De vraag is echter of dit naar alle bestuurslagen doorsijpelt. Veel keuzes die te maken hebben met het vraagstuk van grondstoffen, worden gemaakt op provinciaal of gemeentelijk niveau, bijvoorbeeld als het gaat om wat voor soort methode wordt gebruikt om energie op te slaan.

109. M. Janssen (2023). *Adviesnota monitoring en evaluatie missiegedreven innovatiebeleid*. Utrecht: Copernicus Institute of Sustainable Development - Utrecht University.

Bijlage 3 Afwegingskader

Afwegingskader uit eerdere AWTI-advies (2016)

In het AWTI-advies 'Oppakken en doorpakken' uit 2016 is een afwegingskader opgenomen, dat diende om te bepalen op welke innovatieopgaven voor energie Nederland zich het beste kan richten. Het kader uit 2016 kende twee niveaus. Het eerste niveau moest helpen bij het bepalen welke bronopties voor energie kansrijk en wenselijk zijn voor Nederland (welke energiebronnen of energiebesparing). Het tweede niveau diende om te bepalen op welke kennis- en innovatievragen Nederland bij voorkeur zijn aandacht (en geld) richt voor de bronopties die op het eerste niveau van het kader waren gekozen. Dit zouden innovatieopgaven moeten zijn die goed bij Nederland passen.

Het afwegingskader uit 2016 is hieronder samengevat.

Tweelaags afwegingskader uit AWTI-advies 'Oppakken en doorpakken' (2016)

In de eerste stap van het afwegingskader (bronopties) werden als relevante issues benoemd:

- ▶ Wat zijn de verwachte effecten van die optie (in hoeverre draagt die bij aan de doelen)?
- ▶ In hoeverre heeft Nederland een relatief voordeel bij deze optie?
- ▶ Hoe goed sluit deze optie aan bij (de visie op) het toekomstige energiesysteem?

In de tweede stap (selectie van innovatie-opgaven waar Nederland met voorrang op moet inzetten) werden als relevante aspecten gezien:

- ▶ Wordt in het buitenland al niet hetzelfde gedaan?
- ▶ Is de benodigde kennis aanwezig in Nederland en is Nederland vooraanstaand in de wereld?
- ▶ Zijn relevante bedrijven aanwezig en bereid om te investeren?
- ▶ Is er een markt aanwezig of te creëren, eventueel met hulp van de overheid?
- ▶ Zijn er koppelkansen met andere innovaties, sectoren of ontwikkelingen?
- ▶ Is er maatschappelijk draagvlak, of valt dat te creëren?
- ▶ Zijn er nog (andere) barrières voor bepaalde innovatiestappen, zoals het ontbreken van infrastructuur?

Actualisatie nodig om nieuwe ontwikkelingen te verdisconteren

Sinds 2016 is er natuurlijk van alles gebeurd, bijvoorbeeld het opkomend belang van strategische autonomie, de grotere rol van de EU op het terrein van energie en klimaat,

en de opkomst van maatschappelijke initiatieven in het energiedomein. Deze ontwikkelingen waren nog niet of maar deels verwerkt in het afwegingskader van 2016. Het is dus de hoogste tijd om het afwegingskader te actualiseren.

Naar een eenlaags afwegingskader

De eerste belangrijke actualisatie is om het afwegingskader eenlaags te maken. In 2016 ontbrak een visie op de energievoorziening van de toekomst en was het dus logisch dat het afwegingskader ook inging op de onderliggende vraag welke energiebronnen Nederland in de toekomst zou moeten gebruiken. Inmiddels is er in het NPE een visie neergelegd op het energiesysteem van de toekomst. De AWTI roept weliswaar op om deze visie breder in te bedden in een visie op de duurzame economie en samenleving in 2050, maar we kunnen er nu wel van uitgaan dat die onderliggende vraag welke bronopties Nederland wil kiezen, beantwoord is in zo'n visie. Bij het beantwoorden van die voorvraag via de brede visie zal nadrukkelijk ook 'strategische autonomie' als relevant aandachtspunt meegenomen moeten worden. De verschuiving van fossiele energiebronnen, die in overwegende mate van buiten de EU komen, naar alternatieve bronnen biedt een kans om als EU meer autonoom te worden qua energievoorziening. Als uit die brede visie een beeld voortkomt over welke bronopties Nederland in de toekomst wil gebruiken, kan het afwegingskader dus focussen op de selectie van de *innovatie-opgaven* waar Nederland zich met voorrang op zou moeten richten. Die innovatie-opgaven horen bij die gekozen bronopties.

De belangrijkste issues

Toch zijn ook de vragen uit de eerste stap van het afwegingskader uit 2016 zeer relevant voor het geactualiseerde kader. De drie aspecten die daarin genoemd worden zijn immers samen heel bepalend voor hoe aantrekkelijk het is om een bepaalde innovatie-opgave in Nederland op te pakken:

- ▶ *de aansluiting* van de innovatie bij het toekomstige duurzame energiesysteem,
- ▶ *de impact*: het effect van de betreffende innovatie, zowel qua bijdrage aan het behalen van de duurzaamheidsdoelen als de maatschappelijke en/of economische waarde ervan,
- ▶ *de kans van slagen*: de mate waarin Nederland over de voorwaarden beschikt om deze innovatieopgave tot een succes te maken; heeft Nederland een relatief voordeel om deze innovatie te laten slagen?

Hoe beter de aansluiting op het toekomstige systeem, hoe groter de (verwachte) impact, en hoe groter de kans van slagen, des te aantrekkelijker de betreffende innovatieopgave is om in Nederland op te pakken. In hoeverre moet hier op basis van de huidige ontwikkelingen nog een aspect aan toegevoegd worden?

Strategische autonomie in een afwegingskader?

Strategische autonomie was nog niet *expliciet* opgenomen als punt van overweging in de versie van het afwegingskader uit 2016 (zie kader). In dat tijdsgewricht heerste er meer optimisme over de mate waarin kennis, grondstoffen en materialen ‘vrijelijk’ van elders gehaald konden worden. Toch zou je kunnen zeggen dat het belang van autonomie al impliciet meegenomen werd daar waar het afwegingskader een duidelijke voorkeur toekende aan ketens waarbinnen Nederland in vele schakels actief was. In de huidige terminologie: ketens waarvoor een beperkte afhankelijkheid van het buitenland bestond en dus een vrij grote mate van autonomie.

Anno 2025 moet strategische autonomie zeker een plaats hebben in het afwegingskader. Allereerst werkt strategische autonomie door in de brede visie op de economie, samenleving en energievoorziening in 2050: welke bronopties voorziet men in die duurzame toekomst? Hoe (on)afhankelijk wil Nederland zijn? Welke afhankelijkheden wil men nog wel accepteren? Dit sluit aan bij het tweede punt van het 2016-afwegingskader met betrekking tot de bronopties: ‘de relatieve positie van Nederland’. In de nieuwe versie kunnen vragen meegenomen worden die betrekking hebben op de mate van afhankelijkheid dan wel autonomie bij die optie. Hoe minder afhankelijk men is van externe partijen, des te aantrekkelijker die (bron)optie en dus ook de bijbehorende innovatie-opgaven zijn. Omdat geopolitieke ontwikkelingen op die tijdsschaal van 2050 lastig te voorspellen zijn, is het cruciaal om nu al tot een inschatting te komen op welke gebieden we autonoom willen zijn (‘kritieke’ onderdelen van de energievoorziening, infrastructuur of economie), waar autonomie wenselijk is maar niet noodzakelijk en waar dit minder vitaal is. Die gelaagdheid zal dan weer doorwerken in de brede visie en de beleidskeuzes die vervolgens gemaakt worden,

Op het tweede niveau van het afwegingskader wordt ingezoomd op de prioritering van de innovatieopgaven (en bijbehorende technologieën). De eerste vragen betreffen de (relatieve) positie van Nederland. Wordt elders ook al aan deze innovatievraag gewerkt, hoe ver is men daar? Waar is de kennis beschikbaar, waar bevinden zich de relevante bedrijven? Waar in 2016 misschien al snel de conclusie zou zijn geweest ‘hier niet doen’ indien men elders verder was qua kennis of bedrijven, kan dat anno 2025 genuanceerder liggen. Stel dat het gaat om kritieke technologieën in ketens die voor Europa of Nederland belangrijk zijn, maar waarvoor de expertise of bedrijvigheid op dit moment nog buiten de EU ligt. Dan zou dat best een reden kunnen zijn om alsnog deze kennis of bedrijvigheid *binnen* de EU te ontwikkelen. Daarbij kan Nederland in beeld zijn als Nederland een *relatieve* koppositie heeft binnen de EU.

Het aspect ‘strategische autonomie’ in het afwegingskader betekent in essentie de vraag of er strategische redenen aanwezig zijn om een bepaalde innovatieopgave in Nederland

op te pakken. Daar kunnen geopolitieke redenen voor zijn. Bijvoorbeeld dat we niet afhankelijk willen zijn van andere gebieden, of dat we vinden dat we relatief zo'n goede uitgangspositie hebben dat het zeer voor de hand ligt die innovatie hier op te pakken. Maar ook de wens om de zeggenschap van burgers, organisaties en bedrijven te beschermen kan een aanleiding zijn om een innovatie hier op te pakken. Als we niet willen dat zij afhankelijk gemaakt worden van één of enkele grote partijen voor cruciale diensten of data, kan dat een reden zijn om bepaalde innovaties (die zo'n ontwikkeling moeten voorkomen) hier te willen ontwikkelen of in ieder geval te ondersteunen.

Het afwegingskader heeft bovendien oog voor mogelijke koppelkansen met andere ontwikkelingen. Ook hier kan strategische autonomie een rol spelen. Wat is het effect van de betreffende innovatievraag (en achterliggende technologie) op de afhankelijkheid van Nederland en/of de EU qua grondstoffen, keten of economie? Vermindert het onze afhankelijkheid (een plus) of maakt het ons meer afhankelijk van andere partijen (een min)? In hoeverre sluit (het verwachte effect van) de innovatie aan bij EU of Nederlands beleid rond (kritieke) grondstoffen?

Om strategische autonomie mee te nemen, zouden de eerste twee vragen uit de tweede stap van het afwegingskader meer gespecificeerd moeten worden. In het geactualiseerde kader vallen ze uiteen in drie vragen. Ten eerste een vraag die de internationale context beschouwt (de geopolitieke dimensie van strategische autonomie). Ten tweede een vraag die ingaat op de economische verhoudingen (de economische dimensie van strategische autonomie). En ten derde moet de vroegere vraag uit het kader uit 2016 over de kennispositie in Nederland nu ingekleurd worden vanuit strategische autonomie. Dit worden dan de geactualiseerde vragen:

- ▶ Zijn er strategische redenen om deze innovatieopgave in Nederland te willen oppakken? Draagt het bij aan onze autonomie? Wat wordt in het buitenland gedaan en hoe is onze relatie tot die landen: zijn dat landen die we 'vertrouwen' of waar we liever niet afhankelijk van zijn?
- ▶ Draagt de innovatie bij aan (het behoud van) zeggenschap en/of keuzevrijheid van burgers, organisaties en bedrijven?
- ▶ Is de benodigde kennis aanwezig in Nederland? Hoe vooraanstaand is Nederlandse kennispositie in de wereld, onder 'bevriende landen' en in de EU?

Andere ontwikkelingen in nieuwe afwegingskader: maatschappelijke initiatieven

Een andere belangrijke ontwikkeling sinds het vorige advies uit 2016 is dat veel burgers, bedrijven en organisaties individueel of vanuit collectieven initiatieven nemen om te vergroenen (bijvoorbeeld door het plaatsen van zonnepanelen op de eigen woning of bedrijfsgebouwen) en samen stappen zetten voor verduurzaming. Dat zijn waardevolle bijdragen op weg naar het uiteindelijke doel van een duurzame energievoorziening.

Deze drijvende kracht vanuit de samenleving was nog niet goed meegenomen in de 2016-versie van het afwegingskader.

Het oorspronkelijke afwegingskader keek wel naar de vraag of 'er maatschappelijk draagvlak [is], of valt te creëren?'. Dat was misschien een wat 'passieve' benadering: eerst innoveren en daarna pas maatschappelijk draagvlak zoeken. Het miskent de maatschappelijke 'drijfkracht' achter een aantal innovaties. Bij zulke innovaties die voortkomen uit de maatschappelijke initiatieven van onderop is het 'draagvlak' dus juist een actieve bron voor innovatie(s). Ons voorstel is dan ook om dit aspect van 'draagvlak' als volgt te herformuleren, om daarmee ook de relevantie van een drijvende kracht 'van onderop' te erkennen:

- ▶ Is er maatschappelijke drijfkracht (bijvoorbeeld via maatschappelijke initiatieven) of draagvlak, of valt dat te creëren?

Koppelingen met aanpalend beleid

Het oorspronkelijke afwegingskader bevat een vraag die ingaat op koppelkansen 'met andere innovaties, sectoren of ontwikkelingen'. De raad ziet nu ook het belang om te kijken naar de koppeling ('kansen') met aanpalend *beleid*, zoals algemeen, niet energie-specifiek beleid rond technologie of het EU-beleid rond energie(innovatie). Bijvoorbeeld de aansluiting bij de Nationale Technologiestrategie.

Wat betreft de koppeling met het EU-beleid adviseerde de AWTI in zijn advies *Strategisch samenspel* (2023) om een weloverwogen verbinding te maken tussen het nationale en het Europese beleid voor onderzoek en innovatie. De raad beval aan om altijd een 'EU-check' te doen voordat men een nationale maatregel of beleid invoert. Versterkt het nationale beleid de Europese keuzes of prioriteiten versterkt? Of zet Nederland met de nationale maatregelen bewust in op onderwerpen die de EU niet in het vizier heeft? Kiest men voor het (nationaal) versterken van het gekozen beleid in de EU, dan zou dit als een hefboom kunnen werken die de Nederlandse inspanningen meer succes kan brengen. Nederland kan er daarentegen ook bewust voor kiezen om een niche te ontwikkelen waar de EU als geheel niet op inzet. Belangrijk is dat die (nationale) keuzes weloverwogen gemaakt worden. Dit geldt ook voor keuzes over energie-onderzoek en -innovatie.

De raad stelt dus voor om de oorspronkelijke vraag over koppelkansen iets aan te passen zodat uitdrukkelijk ook de koppelkansen met ander *beleid* bekeken worden. Dat kan zowel aanpalend nationaal beleid zijn (zoals een Technologiestrategie of beleid voor strategische autonomie rond grondstoffen) als EU-beleid. De vraag in het afwegingskader wordt dan:

- ▶ Zijn er verbindingen te maken met andere innovaties of beleid?
(Zoals Technologiestrategie, EU of maatschappelijke initiatieven)

Een geactualiseerd afwegingskader

Een geactualiseerd afwegingskader helpt de overheid en betrokken partijen om die energie-innovatieopgaven te selecteren waar Nederland met voorrang op wil inzetten.

In dat kader is het van belang om een inschatting te maken van:

- ▶ *de aansluiting* van de innovatie bij het toekomstige duurzame energiesysteem (zoals idealiter neergelegd in een brede visie op een duurzame economie, samenleving en bijbehorende energievoorziening in 2050, die onder meer rekening houdt met strategische autonomie voor energiebronnen, grondstoffen, etc.),
- ▶ *de impact*: het effect van de betreffende innovatie, zowel qua bijdrage aan het behalen van de duurzaamheidsdoelen als de maatschappelijke en/of economische waarde ervan, waarbij ook belangrijk is hoe gemakkelijk die innovatie elders gereproduceerd kan worden of opgeschaald?
- ▶ *strategische autonomie*: hoe belangrijk vinden we het – strategisch gezien – om de betreffende innovatie in de EU of Nederland te ontwikkelen, en
- ▶ *de kans van slagen*: de mate waarin Nederland over de voorwaarden beschikt om deze innovatieopgave tot een succes te maken: heeft Nederland een relatief voordeel om deze innovatie te laten slagen?

Hoe beter de aansluiting op het toekomstige systeem, hoe groter de (verwachte) impact, hoe zwaarder het belang van strategische autonomie en hoe groter de kans van slagen, des te aantrekkelijker is de betreffende innovatieopgave om in Nederland op te pakken. Deze vier aspecten zijn in meer detail uitgewerkt in de volgende vragen, die samen het geactualiseerde afwegingskader vormen (dat gebaseerd is op het kader uit 2016 met de hierboven besproken aanpassingen):

Tabel 2: Geactualiseerd afwegingskader ter bepaling prioriteiten voor energie-innovatie

<i>Aspect</i>	
 criterium	Vraag
<i>Aansluiting</i>	
Aansluiting bij brede visie	Hoe goed sluit de innovatie aan bij de visie op de toekomstige duurzame economie, samenleving en energievoorziening?
<i>Impact</i>	
Verwachte effect op duurzaamheid	Wat is de verwachte bijdrage van de innovatie aan de energie- en klimaatdoelen?
Verwachte effect op economie en maatschappij	Wat is het verwachte effect van de innovatie op de economie en de samenleving? Draagt het bij aan verdienvermogen, de afbouw van ongewenste afhankelijkheden en maatschappelijke doelen? Hoe gemakkelijk is de innovatie reproduceerbaar en schaalbaar?
<i>Strategische autonomie</i>	
Internationale context	Zijn er strategische redenen om deze innovatieopgave in Nederland te willen oppakken? Draagt het bij aan onze autonomie? Wat wordt in het buitenland gedaan en hoe is onze relatie tot die landen: zijn dat landen die we 'vertrouwen' of waar we liever niet afhankelijk van zijn?
Economische verhoudingen	Draagt de innovatie bij aan (het behoud van) zeggenschap en/of keuzevrijheid van burgers, organisaties en bedrijven?
<i>Kans van slagen</i>	
Kennispositie Nederland	Is de benodigde kennis aanwezig in Nederland? Hoe vooraanstaand is de Nederlandse kennispositie in de wereld, onder 'bevriende landen' en in de EU?
Stakeholder-bereidheid	Zijn bedrijven/maatschappelijke organisaties aanwezig en bereid om te investeren?
Marktpotentieel	Is er een markt aanwezig of te creëren (in Nederland, de EU of wereldwijd), eventueel met hulp van de overheid?
Maatschappelijk potentieel	Is er maatschappelijke drijfkracht (bijvoorbeeld via maatschappelijke initiatieven) of draagvlak, of valt dat te creëren?
Koppelkansen	Zijn er verbindingen te maken met andere innovaties of beleid? (Zoals Technologiestrategie, EU of maatschappelijke initiatieven)
Obstakels	Zijn er nog (andere) barrières voor bepaalde innovatiestappen, zoals het ontbreken van infrastructuur of wetgeving?

Bijlage 4 Innovatiecases

Er zijn drie innovatieprocessen in het energiedomein bestudeerd om een beter begrip te krijgen van de belangrijkste obstakels en de meest lastige stappen in het laten slagen van een innovatie. Deze cases illustreren welke (rand)voorwaarden noodzakelijk zijn voor het succesvol faciliteren van zo'n innovatie.

De innovatiecases

Wind op zee: Dit werd in 2016 al door de AWTI als een kansrijke optie geïdentificeerd. Eigenlijk is het een van de weinige opties die Nederland heeft om op grote(re) schaal hernieuwbare elektriciteit te produceren. Inmiddels is het een voorbeeld van een succesvolle doorbraak: binnen een beperkt aantal jaren is er een grote schaa sprong aan capaciteit gerealiseerd. Er zijn technische stappen gezet (steeds grotere turbines) en de kostprijs is sterk gedaald. Dat komt onder meer doordat er efficiencywinst is geboekt in aanleg en onderhoud, terwijl er daarnaast door de overheid is gezorgd voor de randvoorwaarden (zoals infrastructuur om de stroom 'aan land te brengen', stroomlijning van vergunningprocedures maar ook subsidies voor exploitatie). Dat drukte de private kosten ook. Toch zal er een nog grotere schaa sprong nodig zijn in de toekomst (van 2 GW naar 70 GW aan geïnstalleerd vermogen).

Stoom uit stroom: In de industrie wordt veel stoom gebruikt bij verschillende processen. Nu wordt dat geproduceerd met behulp van gas. Als we van het gas afgaan, is stoom uit stroom eigenlijk het enige schone alternatief (tenzij er alternatieven voor het gebruik van stoom worden ontwikkeld). Technisch kan dit al zonder problemen (door een e-boiler te gebruiken), maar het is momenteel te duur om met stroom stoom te produceren.

Om deze optie in de praktijk te realiseren, zullen er dus essentiële stappen gezet moeten worden in de markt én in de institutionele organisatie. In de markt is een verschuiving in de onderlinge verhouding van de prijzen van elektriciteit en gas nodig. In de institutionele organisatie moeten de juiste contracten gecreëerd worden voor de stoomgebruiker. Een mogelijkheid is dat zo'n contract de stoomgebruiker in staat stelt om diensten aan de (lokale) netbeheerder te leveren. Een andere mogelijkheid is dat meerdere stoomgebruikers binnen eenzelfde gebied tot een vorm van onderlinge samenwerking komen om samen de kosten te drukken van een overstap naar 'stoom uit stroom'. Dit is dus een voorbeeld van een innovatiecase waar de benodigde ontwikkelingen *niet* zozeer op technisch vlak liggen, maar vooral op andere dimensies (vooral institutioneel vlak).¹¹⁰

110. Op momenten dat de elektriciteitsprijs laag is, kan het nu al interessant zijn om stoom met behulp van stroom te produceren, zie: H.P.A. Knops, A.C. Patil & R.M. Stikkelman (2014), "Power-to-value": Converting Excess Wind Power into Valuable Products or Processes', *Proceedings of IAAE Conference 'Sustainable Energy Policy and Strategies for Europe'*, IAAE:

Een valkuil is bovendien dat als men inzet op de optie die *nu* misschien rendabel is, namelijk een hybride stoominstallatie op gas en elektriciteit, men daarmee het volledig uitfaseren van gas als bron voor stoom uitstelt.

Zoutbatterijen: In het toekomstige (duurzame) energiesysteem zijn nieuwe vormen van energieopslag essentieel. Een nadeel van klassieke batterijen is dat daar schaarse grondstoffen voor nodig zijn, die grotendeels van buiten de EU komen. Het opslaan van energie met behulp van zout is daarom een interessante optie, omdat deze grondstof lokaal voldoende aanwezig is. Momenteel wordt er in Nederland gewerkt aan verschillende technologieën van energieopslag met behulp van zout (zie bijvoorbeeld een artikel in het FD van 24 juni 2024)¹¹¹. Deze opties hebben met elkaar gemeen dat de technologie nog in ontwikkeling is, terwijl tegelijkertijd wordt onderzocht wat precies hun *business case* zal zijn en hoe ze kunnen passen in het stelsel van regelgeving en markt. Een voorbeeld is de technologie die wordt ontwikkeld door Aqua Battery, waarbij membraan-technologie wordt gebruikt. Een ander initiatief is dat van TNO en de TU/e voor thermochemische opslag, dus opslag van warmte, in een zoutbatterij, waar nu een spin-off (Cellcius) mee bezig is. Bij deze trajecten gaat het vooral om het samenspel van de *technische* vooruitgang parallel aan de ontwikkeling van gebruiksmogelijkheden en business cases, en ook om heldere randvoorwaarden rond regelgeving en vergunningen. Ook valt op dat er (nog) geen financiële prikkel ('premie') bestaat voor het bijdragen aan strategische autonomie. Iedereen ziet het strategische voordeel van zoutbatterijen (de grondstoffen zijn lokaal), maar nog niemand 'betaalt' ervoor.

Hieronder beschrijven we de belangrijkste lessen met betrekking tot de obstakels in het innovatieproces, onderverdeeld naar de relevante dimensies van technologie, instituties en sociaal.

Technologische dimensie:

De technologische 'stappen' rond een innovatie zijn meestal wel duidelijk in beeld in het innovatiebeleid. Door middel van verschillende beleidsinstrumenten wordt de ontwikkeling langs de ladder van de *Technology Readiness Levels* bevorderd. Toch zien we obstakels bij technologieontwikkeling.

Rome. Knops *et al.* (2014) wezen op de haven van Rotterdam als cluster waar deze optie kansrijk was om geïmplementeerd kon worden. Dat is daar echter nog niet gebeurd vanwege de institutionele drempels. Wel heeft de Maastrichtse papierproducent Sappi onlangs aangegeven stoom uit stroom te willen produceren en diensten aan de netbeheerder te willen leveren (zie B. van de Weijer (2024). 'Vol stroomnet? Een elektrische reuzenboiler kan wonderen verrichten', in: *de Volkskrant* 25 juni 2024).

111. Selderbeek, E. (2024). 'Elk type batterij telt in zoektocht naar langdurige energieopslag', in: *Financieele Dagblad* 24 juni 2024.

Obstakels:

Systeemdimensie van technologie. Elke nieuwe technologie/innovatie wordt onderdeel van een technisch systeem en moet hierin passen. Dat kan bijvoorbeeld gaan om zaken als aansluiting, compatibiliteit of de achterliggende capaciteit van het systeem om een innovatie te integreren. Vaak vereist dat aanpassingen aan het bestaande (technische) systeem. Hier is in het beleid niet altijd tijdig oog voor. Dat kan dan als obstakel gaan werken voor de innovatie. Ook hier kunnen vragen rondom strategische autonomie spelen: wie is eigenaar van de infrastructuur en levert dit onwenselijke afhankelijkheden op?

De markt. Als een technologie niet efficiënt of goedkoop genoeg is in vergelijking met alternatieven, zal een marktintroductie weinig succesvol zijn. Dat leidt ertoe dat zo'n innovatie niet snel in gebruik zal worden genomen. De overheid kan sturen door middel van correctieve mechanismen zoals beprijzing van de alternatieven (en hun externe effecten) of subsidies voor de innovatie. Ook maatregelen om bestaande praktijken af te bouwen (bijvoorbeeld door normering of verbod) kunnen helpen om de nieuwe technologie terrein te laten winnen.

Technologische padafhankelijkheid. Bepaalde technologische keuzes kunnen noodzakelijk zijn voor doorontwikkeling of rentabiliteit, maar kunnen vervolgens leiden tot een *lock-in*. Daardoor komt de nieuwe technologie mogelijk niet tot zijn volle duurzame potentie. Een voorbeeld hiervan is een hybride systeem voor 'stoom uit stroom': hierbij installeert men een combinatie van een stoomgenerator op gas en één op elektriciteit. Die combinatie is eerder rendabel dan alleen een elektrische stoomgenerator, maar met de hybride installatie blijft men wel langer gas gebruiken.

Institutionele dimensie:

Institutionele veranderingen zijn vaak nodig om innovaties te accommoderen in het systeem, maar het institutionele domein is zelf ook een bron van innovaties. Nieuwe samenwerkingsvormen rond energie, bijvoorbeeld in maatschappelijke coöperaties, of nieuwe contractvormen die het aangeslotenen mogelijk maken om bij te dragen aan het netbeheer, zijn voorbeelden van institutionele innovaties. Klimaatdoelstellingen geven richting en stimuleren ontwikkelingen. Toch bestaan er op het institutionele vlak ook obstakels voor doorbraken op energiegebied.

Obstakels:

Publieke bekostigingsstructuren. De manier waarop de overheid steun geeft leidt er mogelijk toe dat innovaties met veel potentie worden geremd, omdat de overheidsregelingen (op dat moment) goedkopere alternatieven tot favoriet maken. Een voorbeeld hiervan was de oorspronkelijke opzet van de SDE, waarbij de subsidie alleen ging naar die energieoptie die destijds het goedkoopst was. Daarbij werd geen rekening gehouden

met de mogelijkheid dat andere opties op termijn misschien veel aantrekkelijker (en goedkoper) zouden kunnen zijn. De focus lag op financiële aspecten op korte termijn in plaats van op duurzaamheidsaspecten op langere termijn die door middel van nog te realiseren doorbraken bereikt zouden (kunnen) worden.

Past niet in het stelsel. De manier waarop sectoren of markten georganiseerd zijn, kan expliciet of impliciet nadelig zijn voor potentiële doorbraken, omdat die doorbraken niet in het bestaande stelsel passen. In het meest extreme geval staat de bestaande regelgeving of ordening een vernieuwing überhaupt niet toe. Minder extreem, maar nog steeds belemmerend is onduidelijkheid over hoe om te gaan met een vernieuwing. Het is soms bijvoorbeeld onduidelijk of er een vergunning voor iets moet worden aangevraagd en, zo ja, welke. Dat zien we bijvoorbeeld in de case rond opslag met zoutbatterijen. Niet alleen is nog niet goed geregeld hoe er economisch naar dergelijke opslag gekeken moet worden, maar ook blijkt dat lokale overheden vaak totaal nog niet weten welke vergunningen van toepassing zijn.

Belangen. Bestaande partijen hebben soms andere belangen dan de 'doorbrekende' innovatie. Dergelijke belangen van gevestigde partijen staan dan in de weg bij duurzame innovaties. Ze voorkomen dat drempels in het proces overwonnen worden of dat zulke innovaties vervolgens kunnen opschalen.

Sociale dimensie

Sociaal gezien zijn er twee krachten, die als stimulans of als obstakel voor (sprongen in het) innovatieproces kunnen uitwerken.

Maatschappelijke inbedding. Er kan sprake zijn van weerstand, het ontbreken van draagvlak voor bepaalde innovaties. In dat geval fungeert de maatschappelijke houding als obstakel, omdat weerstand leidt tot vertraging van vergunningverlening, of tot politieke druk tegen bepaalde duurzame subsidies. Aan de andere kant kunnen juist uit de maatschappij krachten naar voren komen die bepaalde innovaties aanzwengelen. We zien allerlei initiatieven van burgers, bedrijven en organisaties om zelf stappen te zetten richting verduurzaming. Deze vertalen zich in verschillende nieuwe institutionele arrangementen. Daarbij worden ook andere innovaties toegepast. In dit geval werkt de maatschappij als aanjager van innovaties.

Vertrouwen. Vertrouwen is een relevante factor voor het succesvol zetten van stappen in innovatieprocessen. Wanneer vertrouwen ontbreekt, werkt dat remmend. Zwalkend beleid vanuit de overheid, bijvoorbeeld, verlaagt het vertrouwen bij marktpartijen waardoor ze terughoudend worden om te investeren in innovaties. Ook het vertrouwen tussen private partijen onderling is van belang. Dat is niet altijd vanzelfsprekend, omdat men het bijvoorbeeld eens moet worden over het uitwisselen van gegevens, handels-

afspraken of het samen beheren van installaties. Als het vertrouwen er wél is, in de lijn van het beleid en de regelgeving, of tussen bedrijven of -organisaties onderling, dan ligt er een stevige basis om samen te werken aan nieuwe (institutionele of technologische) oplossingen.

Bijlage 5 Gesprekspartners

▶ Olaf Adan	TNO/Cellcius
▶ Marco de Baar	Differ
▶ Peter de Bock	ARPA-E/Eaton
▶ Mark Boneschanscher	Technische Universiteit Eindhoven
▶ Martin van Breukelen	Differ
▶ Lisanne Brummelhuis	Ministerie van Economische Zaken
▶ Hugo Buis	Noordzeker
▶ Jiajun Cen	Aqua Battery
▶ Fonz Dekkers	Ministerie van Klimaat en Groene Groei
▶ Floor Hooijman	Rebel Group
▶ Myrthe Hooijman	Techleap
▶ Lena Kitzing	DTU (Technical University of Denmark)
▶ Zofia Lukszo	TU Delft
▶ Peter Molengraaf	Topsector Energie
▶ Jelle Nijdam	RVO
▶ Andrea Ramirez Ramirez	TU Delft
▶ Marjolein van Splunder	Ministerie van Klimaat en Groene Groei
▶ Wim Turkenburg	Universiteit Utrecht
▶ Jacqueline Vaessen	Topsector Chemie/NL Hydrogen
▶ Laurens de Vries	TU Delft
▶ Pascal Weijers	Windunie
▶ David van Walderveen	Differ
▶ Peter Maarten Westerhout	Techleap
▶ Christian van der Woude	Techleap

Bijlage 6 Geraadpleegde bronnen

- ▶ AWTI (2016). *Oppakken en doorpakken. Durven kiezen voor energie-innovatie*. Den Haag: AWTI.
- ▶ AWTI (2020). *Beter van start. De sleutel tot doorgroei van kennisintensieve start-ups*. Den Haag: AWTI.
- ▶ AWTI (2021). *Rijk aan kennis. Naar een herwaardering van kennis en expertise in beleid en politiek*. Den Haag: AWTI.
- ▶ AWTI (2023). *In dienst van de toekomst. Van optimalisatie naar transformatie*. Den Haag: AWTI.
- ▶ AWTI (2024). *Vanzelfsprekende verbinding. Veranker sociaal- en geesteswetenschappelijk onderzoek in innovatie*. Den Haag: AWTI.
- ▶ AWTI (2025). *In dienst van de toekomst. Een handreiking voor transformatiegericht beleid*. Den Haag: AWTI.
- ▶ Commissie Evaluatiemethoden Systeem- en Transitiebeleid (2022). *Durf te leren, ga door met meten*. Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- ▶ Datta, A., & S. Srivastava (2023). '(Re)conceptualizing technological breakthrough innovation: A systematic review of the literature and proposed framework', *Technological Forecasting & Social Change* **194** (2023) 122740.
- ▶ De Kluizenaar, Y., G. ten Berge & J. Iedema (2025). *Klimaat en Samenleving. Burgerperspectieven*. Den Haag: SCP.
- ▶ Dialogic en SEO (2023). *Evaluatie Energie-Innovatieregelingen 2012-2021*. In opdracht van: Ministerie van Economische Zaken. Te vinden via: <https://open.overheid.nl/documenten/7184fe72-5084-4dc6-8c56-8a1e54f722ce/file>
- ▶ European Commission (2024a). *De keuze van Europa. Politieke beleidslijnen 2024 – 2029*. Straatsburg: Europese Commissie.
- ▶ European Commission (2024b). *Een nieuw plan voor duurzame welvaart en concurrentievermogen in Europa*. Brussel: Europese Commissie.
- ▶ European Commission (2024c). *The future of European competitiveness*. Brussel: Europese Commissie.
- ▶ European Parliamentary Research Service (2022). "EU strategic autonomy 2013–2023: From concept to capacity". Briefing EU Strategic Autonomy Monitor. Brussel: Europees Parlement.
- ▶ Expertteam Energiesysteem 2050 (2023). *Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050*, Den Haag: RVO.
- ▶ Hancher, L., & A. de Hauteclocque (2024). 'Strategic Autonomy, REPowerEU and the Internal Energy Market: Untying the Gordian Knot', *Common Market Law Review* **61**, Issue 1, p. 55-92.

- ▶ Hensen, C., & Lutikhuis, P. (2025). 'Hoe gaat het met de energietransitie? Elke partij wacht tot de ander iets doet', in *NRC 27 maart 2025*, te vinden via: <https://www.nrc.nl/nieuws/2025/03/27/hoe-het-gaat-met-de-energietransitie-elke-partij-wacht-tot-een-ander-iets-doet-a4887872>.
- ▶ IEA (2025a). *The State of Energy Innovation*. Parijs: IEA.
- ▶ IEA (2025b). *Energy and AI*. Parijs: IEA.
- ▶ Janssen, M. (2023). *Adviesnota monitoring en evaluatie missiegedreven innovatiebeleid*. Utrecht: Copernicus Institute of Sustainable Development/Utrecht University.
- ▶ Junginger, M., & A. Louwen (Eds.) (2020). *Technological Learning in the Transition to a Low-Carbon Energy System. Conceptual Issues, Empirical Findings, and Use in Energy Modeling*. Academic Press.
- ▶ Knops, H.P.A., A.C. Patil & R.M. Stikkelman (2014). "Power-to-value": Converting Excess Wind Power into Valuable Products or Processes'. In: *Proceedings of IAAE Conference 'Sustainable Energy Policy and Strategies for Europe'*. IAAE: Rome.
- ▶ Kooiman, A., & M. van Tuyl (2025). *Technologieradar: Welke disruptieve technologieën gaan impact hebben op ons energiesysteem?*. TNO2025 R10049. Den Haag: TNO Public.
- ▶ Kroll, H. (2024). *Assessing Open Strategic Autonomy*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/767279> (JRC136359).
- ▶ Lokenberg, S., G. Cretti & L. van Schaik (2023). 'A Tale of Two Dependencies: European Strategic Autonomy in the Field of Energy'. *European Foreign Affairs Review* **28**, no. 4, p. 417-438.
- ▶ Minister van Economische Zaken (2025). *Kamerbrief 'Investeren in een weerbare en toekomstbestendige economie: het 3%-R&D-actieplan'*. Brief aan de Tweede Kamer 11 juli 2025.
- ▶ Minister van Klimaat en Groene Groei (2024). *Kamerbrief bij Klimaatnota en Energienota 2024*. Brief aan de Tweede Kamer 24 oktober 2024.
- ▶ Minister van Klimaat en Groene Groei (2025a). *Stand van zaken maatwerkafspraken verduurzaming industrie*. Brief aan de Tweede Kamer 30 juni 2025
- ▶ Minister van Klimaat en Groene Groei (2025b). *Het Windenergie Infrastructuurplan Noordzee*. Brief aan de Tweede Kamer 15 juli 2025.
- ▶ Minister van Klimaat en Groene Groei (2025c). *Kamerbrief toekomstperspectief energie-intensieve industrie*, Brief aan de Tweede Kamer 5 september 2025.
- ▶ Minister van Klimaat en Groene Groei (2025d). *Kamerbrief over de rol van energiegemeenschappen in het energiesysteem*, Brief aan de Tweede Kamer van 29 september 2025 (kenmerk: DGKE-DSE/101327232).
- ▶ Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (2022). *Evaluatie Programma Aardgasvrije Wijken*, te vinden via:

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/10/14/evaluatie-programma-aardgasvrije-wijken>.

- ▶ Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2023). *Nationaal plan energiesysteem*, Den Haag: EZK.
- ▶ Nationaal Klimaat Platform (2024). *Lokale daadkracht versterkt. Voorstel voor Nationaal Programma Maatschappelijk Initiatief*. Utrecht: Nationaal Klimaat Platform.
- ▶ Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie (2025). Voortgang proeftuinen aardgasvrije wijken in cijfers (website), te vinden via: <https://www.nplw.nl/data-en-monitoring/rapporten/voortgang-proeftuinen>.
- ▶ NWO (2025). *Market Organisation of the Dutch Energy System (MODES)*. Den Haag: NWO, te vinden via: <https://www.nwo.nl/projecten/nwa164622003>.
- ▶ OECD (2024). 'Monitoring and evaluation of mission-oriented innovation policies: From theory to practice'. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, No. 2024/09. Paris: OECD Publishing.
- ▶ OECD (2025). 'Proactive Portfolio Management in Mission-Oriented Innovation Policy'. *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*, No. 173. Paris: OECD Publishing.
- ▶ Paunov, C. *et al.* (2025). "What is unique about green innovation? Evidence from green hydrogen, green steel, batteries and electric vehicles". *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, No. 2025/05. Paris: OECD Publishing.
- ▶ PBL (2024a). *Trajectverkenning klimaatneutraal 2050. Trajecten naar een klimaatneutrale samenleving voor Nederland in 2050*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- ▶ PBL (2024b). 'Ook controversiële opties nodig voor klimaatneutraal Nederland in 2050'. Nieuwsbericht op de site van PBL van 24 april 2024, te vinden via: <https://www.pbl.nl/actueel/nieuws/ook-controversiele-opties-nodig-voor-klimaatneutraal-nederland-in-2050>.
- ▶ PBL, TNO, CBS en RIVM (2024). *Klimaat- en Energieverkenning 2024*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- ▶ PBL, TNO, CBS en RIVM (2025). *Klimaat- en Energieverkenning 2025*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- ▶ Raad van State (2025). *Advies W19.24.00360/IV over het Ontwerp-Klimaatplan 2025-2035*, d.d. 19 februari 2025.
- ▶ Richtlijn (EU) 2018/2001 van het Europees Parlement en de Raad van 11 december 2018 ter bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen, (PbEU 2018, L 328/82).
- ▶ Rijksoverheid (2023). *Nationaal Plan Energiesysteem definitief vastgesteld*. Den Haag.

- ▶ Rijksoverheid (2025). *Schakelen naar de toekomst – over bekostiging elektriciteitsinfrastructuur*. IBO *Bekostiging Elektriciteitsinfrastructuur*, Den Haag.
- ▶ Rijksoverheid (z.d.). Thema Energie en duurzame ontwikkeling (website). Den Haag: Nationaal Groeifonds; te vinden via: <https://www.nationaalgroeifonds.nl/overzicht-lopende-projecten/thema-energie-en-duurzame-ontwikkeling>.
- ▶ Rli (2015). *Rijk zonder CO₂: Naar een duurzame energievoorziening in 2050*. Den Haag: Raad voor de leefomgeving en infrastructuur.
- ▶ RVO (2024). *Monitor publiek gefinancierd energieonderzoek 2023*. Den Haag: RVO.
- ▶ Selderbeek, E. (2024). 'Elk type batterij telt in zoektocht naar langdurige energieopslag', in: *Financieele Dagblad* 24 juni 2024, te vinden via: <https://fd.nl/bedrijfsleven/1521138/elk-type-batterij-telt-in-zoektocht-naar-langdurige-energieopslag>.
- ▶ Simons, L., A. Nijhof, & M. Janssen (2023). *TransMissie: De missiegedreven transitieaanpak voor het managen van complexe veranderprocessen*. Utrecht: TransMission Institute.
- ▶ Sustainable Industry Lab (2023). *Groene keuzes voor de Nederlandse basisindustrie. Klimaatneutrale productie in een circulaire economie*. Utrecht.
- ▶ Ter Haar, B. (2025). 'Zo simpel mogelijke energietransitie vergt stevige (waterstof)keuzes'. ESB-blog, te vinden via: <https://esb.nu/zo-simpel-mogelijke-energietransitie-vergt-stevige-waterstofkeuzes/>.
- ▶ The Economist (2025). 'Donald Trump's war on renewables'. In: *The Economist*. Geraadpleegd op 5 augustus 2025 via <https://www.economist.com/briefing/2025/07/31/donald-trumps-war-on-renewables>.
- ▶ Van de Weijer, B. (2024). 'Vol stroomnet? Een elektrische reuzenboiler kan wonderen verrichten', in: *de Volkskrant* 25 juni 2024, te vinden via: <https://www.volkskrant.nl/nieuws-achtergrond/vol-stroomnet-een-elektrische-reuzenboiler-kan-wonderen-verrichten~bd04de432/>.
- ▶ Van de Weijer, B. (2025), "Groene" chips maken met duurzame stroom en een warmtebatterij: snack wordt klimaatvriendelijker', *de Volkskrant* 3 juli 2025, te vinden via: <https://www.volkskrant.nl/economie/groene-chips-maken-met-duurzame-stroom-en-een-warmtebatterij-snack-wordt-klimaatvriendelijker~bbd1a061/>
- ▶ Verordening (EU) 2024/1252 van het Europees Parlement en de Raad van 11 april 2024 tot vaststelling van een kader om een veilige en duurzame voorziening van kritieke grondstoffen te waarborgen, *PbEU 2024 L*.
- ▶ Verwoerd, L. en E. Kunseler (2025). 'Lerend evalueren: een methode voor beleidsevaluatie van complexe veranderopgaven'. In: D. Hanemaayer, J. Mevissen en V. Patyn (red.), *Themareeks Methoden en benaderingen in de beleidsevaluatie*.

Beleidsonderzoek Online; te vinden via:

https://www.boomportaal.nl/tijdschrift/BO/BO_2213-3550_2025_003.

- ▶ Wetenschappelijke Klimaatraad (2025). *Vaart maken met visie. Met toekomstvisie richting geven aan klimaatbeleid*. WKR-rapport 005, Den Haag: WKR.

Adviesraad voor wetenschap, technologie en innovatie

Prins Willem-Alexanderhof 20

2595 BE Den Haag

t. 070 3110920

e. secretariaat@awti.nl

w. www.awti.nl