

› VERSNELD NAAR EEN DUURZAME ENERGIE- VOORZIENING

HYBRIDE ENERGIESYSTEMEN
ALS SCHAKEL NAAR EEN
DUURZAME TOEKOMST

SEPTEMBER 2016

TNO innovation
for life

› **TNO ENERGIEVISIE 2030**

› 1. DE ENERGIE- TRANSITIE



Energie is een van onze primaire levensbehoeftes en een belangrijke motor van de economie. Vanaf de negentiende eeuw halen we onze energie vooral uit fossiele brandstoffen. Met deze vrijwel onuitputtelijke bronnen is voor velen de welvaart enorm gegroeid. De laatste decennia is het echter duidelijk geworden dat uitstoot van broeikasgassen, ontstaan door het verbranden van deze fossiele grondstoffen, een belangrijke oorzaak is van de opwarming van de aarde. Deze opwarming heeft effect op het klimaat en kan leiden tot o.a. smeltende gletsjers, stijgende zeewatervluiden, aantasting van ecosystemen en veranderingen in het voedselaanbod. Dit vormt een serieuze bedreiging voor het leven op onze planeet. Nationaal en internationaal zijn daarom afspraken gemaakt om de gemiddelde mondiale temperatuurstijging te beperken.

Een transitie naar een duurzame energievoorziening is noodzakelijk terwijl we tegelijkertijd het systeem betrouwbaar en betaalbaar moeten houden. Deze transitie vraagt wereldwijd een enorme inspanning van alle geledingen in de samenleving. Dat geldt met name ook in Nederland waar onze huidige economie en welvaart sterk afhankelijk zijn van fossiele grond- en brandstoffen¹.

Dit document beschrijft de energievisie van TNO met als tijdhorizon 2030. Waar nodig wordt een doorkijk gegeven naar 2050. Deze visie vormt de basis voor het TNO-innovatieprogramma energie.

KLIMAATDOELSTELLINGEN

In Europees verband heeft Nederland afspraken gemaakt om de uitstoot van broeikasgassen in 2050 met 80-95% te reduceren ten opzichte van 1990. Voor 2020 heeft de EU de zogenaamde Europa 20-20-20 doelstelling ontwikkeld: 20% reductie van broeikasgassen, 20% energiebesparing en 20% duurzame energie in 2020. Om de Europa 20-20-20 doelen te bereiken heeft Nederland in 2013 een nationaal Energieakkoord afgesloten: energiebesparing met gemiddeld 1,5% per jaar die leidt tot 100 PJ energiebesparing in 2020, en een aandeel van duurzame energie van 14% in 2020 met een verdere stijging naar 16% in 2023.

In het Akkoord van Parijs (december 2015) is in internationaal verband de bindende afspraak gemaakt om de aarde met niet meer dan maximaal 2 graden Celsius te laten opwarmen ten opzichte van het pre-industriële tijdperk en ernaar te streven om die opwarming te beperken tot 1,5 graad. Dit kan internationaal tot een versnelde aanpak van CO₂-reductie leiden.

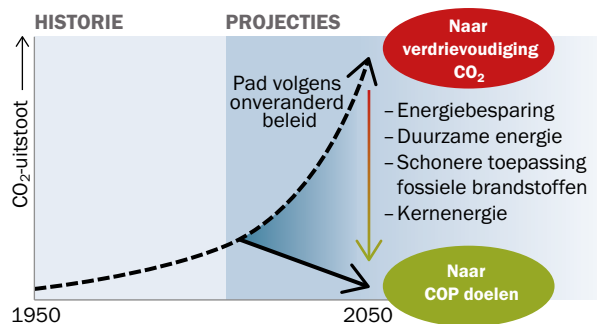
¹ Weterings et al., Naar een toekomstbestendig energiesysteem voor Nederland, TNO rapport, TNO 2013, R10325, 1 maart 2013.

2. HOE GAAN WE VERDUURZAMEN?



Over het moment waarop de energievoorziening volledig duurzaam kan zijn, zijn de meningen en beelden verdeeld. Frequent worden scenariostudies uitgevoerd, die vaak tot verschillende conclusies leiden². Ervaringen uit het verleden maken duidelijk dat het onmogelijk is een betrouwbare voorspelling te doen over hoe het energielandschap er in de toekomst uit zal zien en over het tempo van de transitie. De onzekerheden zijn daarvoor te groot. Vast staat echter dat de noodzakelijke veranderingen vergaand zijn: niet alleen technisch maar ook sociaal-maatschappelijk. De energievoorziening zal veel meer decentraal worden en verweven raken met andere sectoren in onze maatschappij zoals de gebouwde omgeving, de transportsector en de industrie. Er zullen nieuwe afhankelijkheden en partnerships ontstaan, nieuwe stelsels van regelgeving, nieuwe marktmodellen en er komen nieuwe businesskansen, die nieuwe spelers in het energiedomein zullen willen verzilveren.

In beginsel zijn er vier routes naar een duurzame energievoorziening, die elkaar aanvullen en in combinatie nodig zijn om de CO₂-reductiedoelstellingen te kunnen halen: 1) energiebesparing, 2) gebruik van duurzame energiebronnen, 3) schonere toepassing van fossiele energiebronnen en 4) kernenergie. Aangezien de laatste route in Nederland, met slechts één kerncentrale, maatschappelijk en politiek op veel bezwaren stuit, laten we deze hier buiten beschouwing. Gedurende de transitieperiode zal het belang van de derde route, schonere toepassing van fossiele bronnen, langzaam afnemen totdat de energievoorziening volledig duurzaam is.



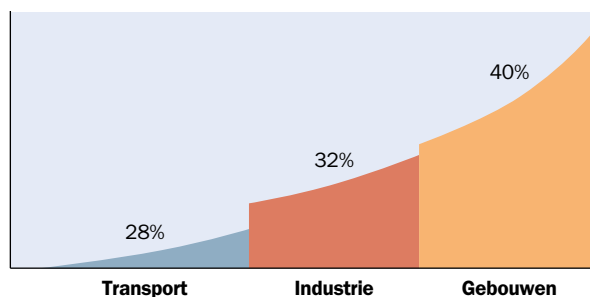
Figuur 1. Verduurzamingsroutes.

GROOTSCHALIGE INVOERING VAN ENERGIEBESPARING

Een eerste route die in vrijwel ieder scenario voorop staat, is efficiënter energiegebruik. Er zijn nog tal van mogelijkheden om vergaand energie te besparen bij huishoudens, in mobiliteit, bedrijven en industrieën. Bij de industrie ligt daarnaast een extra opgave om op termijn over te schakelen op duurzaam geproduceerde grondstoffen. Voor energiebesparing in transport en mobiliteit en in de gebouwde omgeving is de uitdaging dat de implementatie op voldoende grote schaal gebeurt.

GROOTSCHALIGE INVOERING VAN DUURZAME ENERGIE

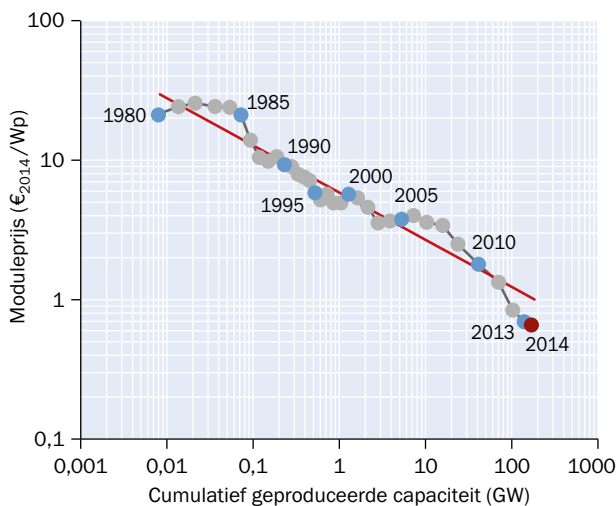
Zon, wind, geothermie en biomassa zijn op dit moment veelbelovende duurzame energiebronnen. Het rendement van opwekking verbetert gestaag en de kosten gaan omlaag, waardoor deze bronnen aantrekkelijker worden. Zo is de prijs van elektriciteit uit zonne-energie (PV zonne-energie) zo snel aan het dalen dat deze in enkele gevallen, met name in de gebouwde omgeving, nu al concurreert met 'fossiele elektriciteit' (zie Figuur 3). Er is op dit moment echter nog geen volwassen technologie die in staat is fossiele brandstoffen volledig te vervangen.



Figuur 2. Potentiële bijdragen van verschillende sectoren aan energiebesparing in Nederland.

SCHONERE TOEPASSING VAN FOSSIELE ENERGIEBRONNEN

Zolang we nog gebruik blijven maken van fossiele brandstoffen, is sturing op een zo laag mogelijke CO₂-emissie van fossiele energie noodzakelijk. Dit kan bijvoorbeeld door steenkool, een brandstof met hoge CO₂-emissies, te vervangen door aardgas en/of door aardgas te vervangen door rest- en aardwarmte. Een optie die op korte termijn effect heeft op CO₂-emissies is het zo veel mogelijk afvangen, gebruiken en opslaan van CO₂: Carbon Capture Use and Storage (CCUS). We moeten daarbij wel voorkomen dat CCUS de bestaande lock-in voor fossiele energiebronnen versterkt en de prikkels weg neemt om over te schakelen op duurzame energie.

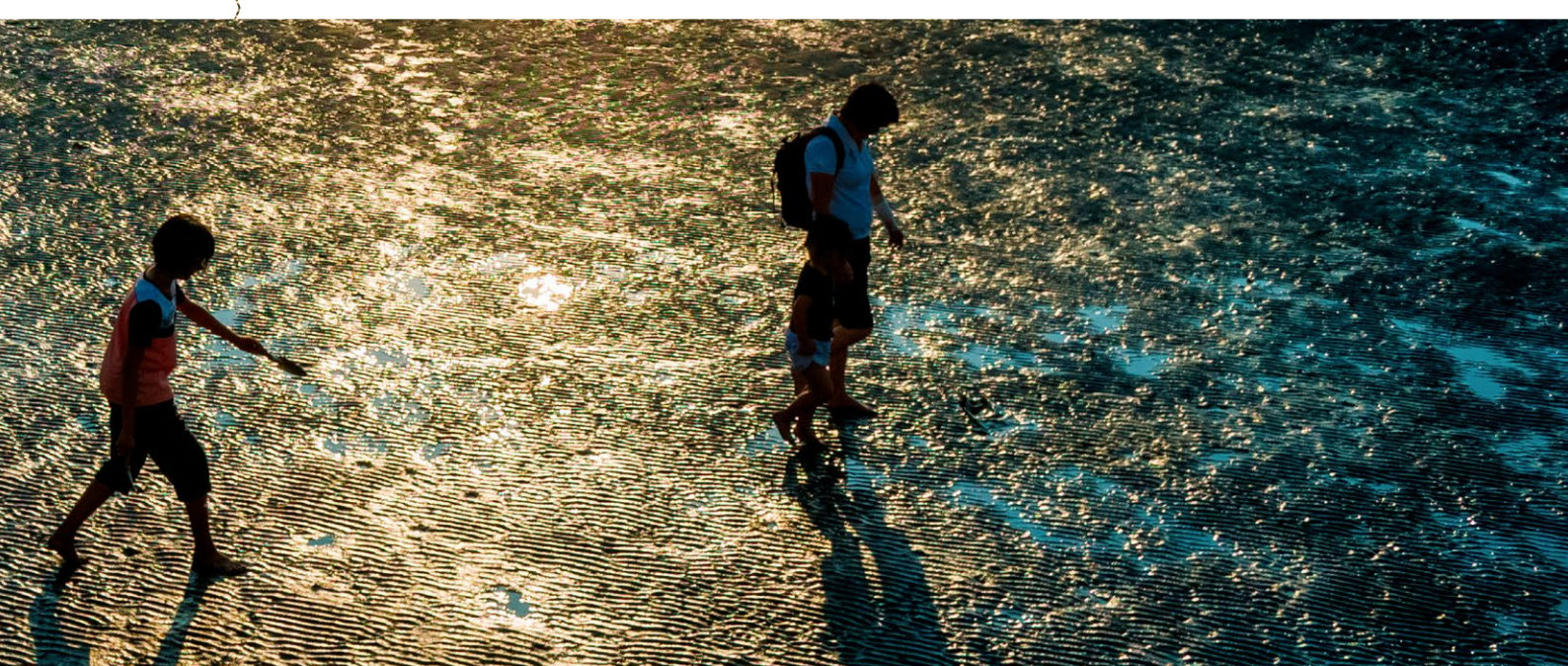


Figuur 3. Kostenontwikkeling PV zon³.

² Weterings et al., Naar een toekomstbestendig energiesysteem voor Nederland, TNO rapport, TNO 2013, R10325, 1 maart 2013.

³ Fraunhofer ISE, Current and Future Cost of Photovoltaics. Long-term scenarios for Market Development, System Prices and LCOE of Utility-Scale PV Systems. Study on behalf of Agora Energiewende, February 2015.

3. NAAR EEN NIEUWE BALANS



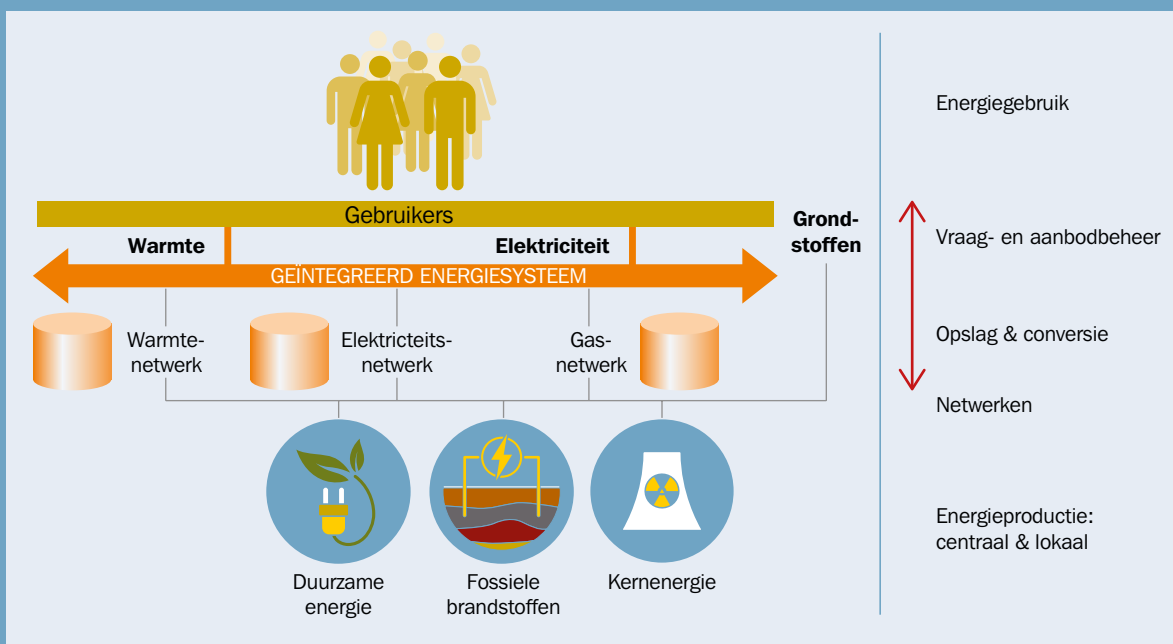
De hiervoor beschreven routes voor verduurzaming hebben grote consequenties voor het energiesysteem. Met name de introductie van duurzame energie heeft ingrijpende gevolgen. In 2014 is het aandeel duurzame energie in de Nederlandse energievoorziening ongeveer 5,5%⁴, waarmee Nederland in de achterhoede van Europa zit. Volgens de doelen van de overheid moet in 2020 14% van alle energie die we in Nederland gebruiken duurzaam zijn. Hier ligt een belangrijke opgave. Zo lang duurzame energietechnologie nog niet volwassen, betrouwbaar en betaalbaar genoeg is, zullen we aanvullend gebruik blijven maken van fossiele bronnen. Om de transitie te versnellen moet de focus liggen op het maximaal inbrengen van duurzame bronnen, waarbij de rol van fossiele energie verandert van *dominant naar dienend*. In welk tempo dit mogelijk is wordt sterk bepaald door technologische ontwikkelingen, leveringszekerheid, betaalbaarheid en de sociaal-economische en juridische inbedding van duurzame technologie in onze maatschappij. De prijs van duurzame energie is een belangrijke factor voor de snelheid van de introductie.

Als duurzame energie goedkoper wordt dan fossiele brandstoffen, krijgt de introductie daarvan een enorme versnelling. De leveringszekerheid is van even groot belang, want consumenten zijn pas bereid over te schakelen als energie zonder haperingen wordt geleverd.

De komende decennia bevinden we ons dus in een overgangperiode naar een volledig duurzaam energiesysteem, waarbij we zowel fossiele brandstoffen als duurzame energiebronnen zullen gebruiken: het '*hybride energiesysteem*'. In dit energiesysteem wordt de primaire vraag naar energie in de vorm van warmte/koude en van elektriciteit geleverd door een groeiend aandeel van duurzame bronnen die zo fossiele bronnen vervangen. De duurzame bronnen zijn op een gecontroleerde manier in het systeem geïntegreerd om leveringszekerheid te waarborgen. Nieuwe mogelijkheden voor opslag, conversie, transport en systeemintegratie spelen daarbij een belangrijke rol.

HYBRIDE ENERGIESYSTEEM

Het geheel van energieproductie, infrastructuur (netwerken), energieconversie, energieopslag en energiegebruik noemen we het energiesysteem. Het hybride energiesysteem wordt gevoed door een combinatie van fossiele en duurzame energie (en eventueel kernenergie). Deze energiebronnen worden via verschillende infrastructuren (gas en/of vloeibare brandstof, elektriciteit, warmte) met de vraagzijde verbonden (zie Figuur 4), al dan niet via tijdelijke opslag of conversie van energie. Het hybride energiesysteem zal in de periode tot 2030 – de tijdshorizon van deze visie – zowel fossiele als duurzame energie moeten accommoderen met als doel om uiteindelijk te kunnen over gaan in een volledig duurzaam energiesysteem. Netwerken/infrastructuren spelen daarbij een cruciale rol op verschillende schaalniveaus, van lokaal tot nationaal en internationaal. Deze netwerken moeten in staat zijn om zowel fossiel als duurzaam opgewekte energie op te nemen en de gebruiker op tijd en betaalbaar van energie te voorzien.



Figuur 4. Schematische voorstelling hybride energiesysteem.

4 Hernieuwbare energie in Nederland 2014, CBS, Den Haag, 2015

› 4. DE UITDAGING



De transitie naar een duurzame, betrouwbare, en betaalbare CO₂-neutrale energiehuishouding heeft met name consequenties voor de gebouwde omgeving, de industrie, mobiliteit en transport, en de energiesector zelf.

GEBOUWDE OMGEVING

Aangezien de bestaande bebouwing een veel grotere omvang heeft dan nieuwbouw en achter loopt in energiebesparing, verdient verduurzaming van bestaande bebouwing voorrang. Er is een grootschalige en grondige renovatie van woningen en bedrijventerreinen noodzakelijk om het energiegebruik vergaand terug te dringen. Het vraagt om een doortastende en systematische aanpak om deze opties ook daadwerkelijk te benutten.

De afgelopen jaren is het aanbod van technische middelen voor energiebesparing in de gebouwde omgeving, bijvoorbeeld in de vorm van uitgekende isolatietechnieken, sterk vergroot. Integratie van PV in gebouwen, een nieuwe generatie batterijen (zowel warmte als elektriciteit) en installaties maakt het zelfs mogelijk om in de toekomst gebouwen om te vormen van energieconsument tot -producent. De verduurzaming van de gebouwde omgeving vraagt daarnaast om een goede maatschappelijke inbedding, waarin bewoners en bedrijven zijn betrokken en financiële arrangementen de grootschalige aanpak mogelijk maken. Blijvende aandacht is nodig voor de rol van gebruikers om energiebesparingsmaatregelen goed te laten landen. Beïnvloeding van het energiegebruik kan bijvoorbeeld plaats vinden via prijsprikkels en *feedback* op het energiegebruik.

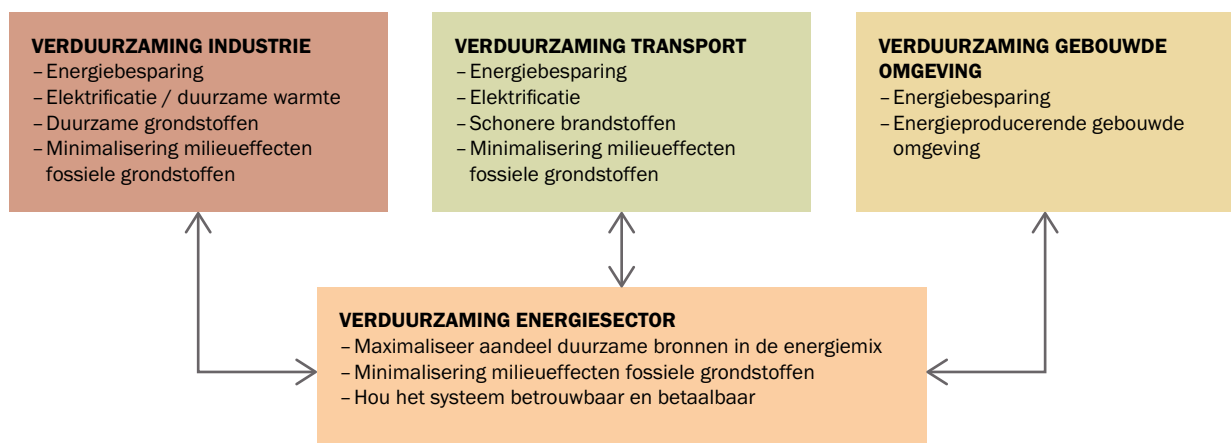
INDUSTRIE

Nederland heeft een energie-intensieve bedrijvigheid die sterk leunt op fossiele grondstoffen. De opgave voor de energie-intensieve bedrijven is de CO₂-emissies te verminderen door vergaande energiebesparing, elektrificatie van het productieproces en vervanging van fossiele door duurzame grondstoffen ('duurzame feedstock'). Deze opgave is zeer groot en echte alternatieven hebben nog ontwikkeltijd nodig.

Voor producten die thans worden gemaakt uit fossiele grondstoffen zullen we CO₂-neutrale alternatieven moeten bieden. Gebruik van biomassa levert een bijdrage aan het verkleinen van de CO₂-footprint en zal zich, om economische redenen, op de kortere termijn vooral richten op producten met hoge toegevoegde waarde.

MOBILITEIT EN TRANSPORT

Mobiliteit en transport zijn verantwoordelijk voor een aanzienlijk deel van het Nederlandse energiegebruik en de CO₂-uitstoot. Verduurzaming is hier in de eerste plaats te bereiken door energiebesparing. Elektrificatie van vervoer is ook een oplossing, mits de elektriciteit duurzaam is geproduceerd. Een derde optie is het gebruiken van duurzame brandstoffen zoals biobrandstoffen en waterstof. Tenslotte is het gebruiken van brandstoffen die minder CO₂-emissies geven een oplossing voor transport, bijvoorbeeld LNG in plaats van stookolie of diesel in de scheepvaart. Momenteel komen deze opties voor personenvervoer al dichtbij. Prijsprikkels kunnen in deze sector de vervoers- en brandstofkeuze beïnvloeden.



Figuur 5. De uitdagingen van de energietransitie.

Het is belangrijk zicht te houden op mogelijke afwentelingsmechanismen van biobrandstoffen aangezien deze bijvoorbeeld via het landgebruik lokaal tot extra CO₂-emissies of tot verlies aan biodiversiteit kunnen leiden.

ENERGIESECTOR

De kernopgave voor de energiesector is het vergroten van het aandeel van duurzame energiebronnen in de energiemix.

Zoals hiervoor aangegeven is het energiesysteem hybride, waarin duurzame en waar nodig niet-duurzame bronnen, lokaal dan wel centraal, al dan niet opgeslagen of geconverteerd, flexibel worden ingezet voor de levering van warmte en elektriciteit. Zolang fossiele brandstoffen nog nodig zijn, is het noodzakelijk de negatieve milieueffecten hiervan maximaal te beperken. Dit geldt niet alleen voor de productiefase van energie, door bijvoorbeeld CCUS (Carbon Capture Usage & Storage), maar ook voor de hele keten van opsporing, winning, transport en raffinage.

Het hybride energiesysteem leidt tot een integratie van systemen. Het onderscheid tussen afzonderlijke

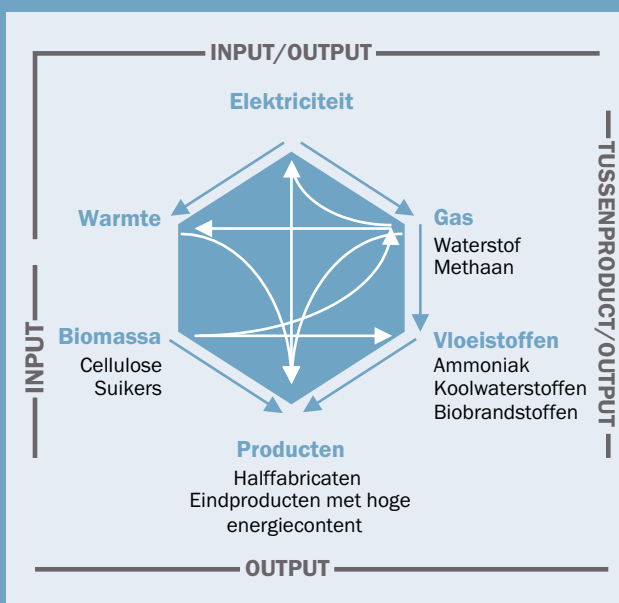
energieketens (gas, elektriciteit, warmte, duurzaam en fossiel) valt weg en er ontstaat een geïntegreerd en gedistribueerd systeem dat bestaat uit een combinatie van kleinschalige, lokale energiesystemen en grootschalige, grensoverschrijdende systemen. De afzonderlijke energievormen moeten daarin in samenhang worden bekeken. Een belangrijke opgave is ervoor te zorgen dat dit complexe hybride systeem betrouwbaar en betaalbaar blijft. Hiertoe moeten we op slimme wijze de flexibiliteit van het systeem benutten en waar mogelijk vergroten.

De hiervoor genoemde opgaves voor verduurzaming in vier domeinen zijn zeer sterk met elkaar verweven. Zo zal een hybride energiesysteem voor een deel geïntegreerd zijn in de gebouwde omgeving. De gebouwde omgeving bijvoorbeeld consumeert niet alleen energie, ze kan deze ook produceren. Een soortgelijke situatie is aan het ontstaan bij het elektrisch vervoer met tijdelijke opslag in autobatterijen. Een andere verwevenheid is die van energiesysteem en industrie (Zie box). Dit betekent dat traditionele grenzen tussen vraag en aanbod, energiesystemen en gebruikssectoren aan het vervagen zijn.

INTEGRATIE ENERGIE EN INDUSTRIE

De relatie tussen het energiesysteem en de industrie is nu nog in veel gevallen ééndimensionaal, namelijk een producent-consument relatie. Het eerste (voorzichtige) gebruik van restwarmte brengt hier al verandering in. Deze verwevenheid zal naar verwachting verder groeien. De TU Delft heeft deze verwevenheid inzichtelijk gemaakt door middel van de zogenaamde 'energiediamant'⁵.

De 'diamant' laat zien dat verschillende energiedragers en koolstofbronnen in elkaar omgezet kunnen worden, in de richting van de pijlen. Bijvoorbeeld elektriciteit opgewekt door de zon of wind kan worden gebruikt voor het maken van gassen en vloeistoffen, eventueel door een koolstofbron toe te voegen. De vloeibare of gasvormige brandstoffen zijn makkelijk transporteerbaar via reeds aanwezige infrastructuur en kunnen worden gebruikt voor verschillende toepassingen (industrie, transport, huishoudens, etc.).



Figuur 6. Energiediamant⁵.

⁵ The Delft Plan, The Netherlands as an Energy Gateway, TU Delft, Maart 2015.



5. INNOVATIEOPGAVES – KANSEN VOOR NEDERLAND EN TNO

KANSEN VOOR NEDERLAND

Wereldwijd investeren partijen fors in duurzame energie-technieken, zowel in onderzoek als in invoering ervan.

Voor het totale Nederlandse energiegebruik in 2050 geeft het Energierapport⁶ een bandbreedte aan van 1400-2500 PJ, gebaseerd op verschillende scenario studies. Tabel 1, afkomstig uit dit rapport, geeft de bijdragen van verschillende technologieën aan de beperking van de CO₂-emissies in 2050. Het laat zien dat alle zeilen moeten worden bijgezet om de CO₂-reductiedoelstellingen in 2050 te halen. Afvang en opslag van CO₂ van fossiel gestookte energiecentrales speelt een belangrijke rol in het bereiken van een CO₂-arme energievoorziening. Het Energierapport schat daarmee in dat het energiesysteem in 2050 nog hybride zal zijn.

De industrie voor duurzame energietechnologie is in Nederland zeer klein. Veel belangrijke technologische ontwikkelingen en doorbraken op energiegebied komen uit het buitenland en daarom zal Nederland deze ontwikkelingen goed moeten volgen en ligt structurele samenwerking met buitenlandse kennisinstellingen voor de hand.

Een aantal specifieke sterktes geeft Nederland hierbij een interessante positie:

- Strategisch gelegen aan de Noordzee, met *state-of-the-art* havens en infrastructuur.
- Belangrijk knooppunt voor handel en transport van energie en grondstoffen.
- Een sterke maritieme, offshore- en chemiesector.
- Aardgasland met veel ervaring en kennis en aanwezigheid van geavanceerde infrastructuur en installaties.
- Een modern hoogwaardig en fijnmazig energiesysteem met uitstekende verbindingen, onder andere naar Duitsland.

- Een dichtbevolkt land met relatief korte afstanden tussen gebruikers en producenten van energie.
- Een lange traditie van samenwerking over verschillende domeinen, maatschappelijke groeperingen en belangengroepen heen.
- Een hoogwaardige en goed georganiseerde kennisinfrastructuur.

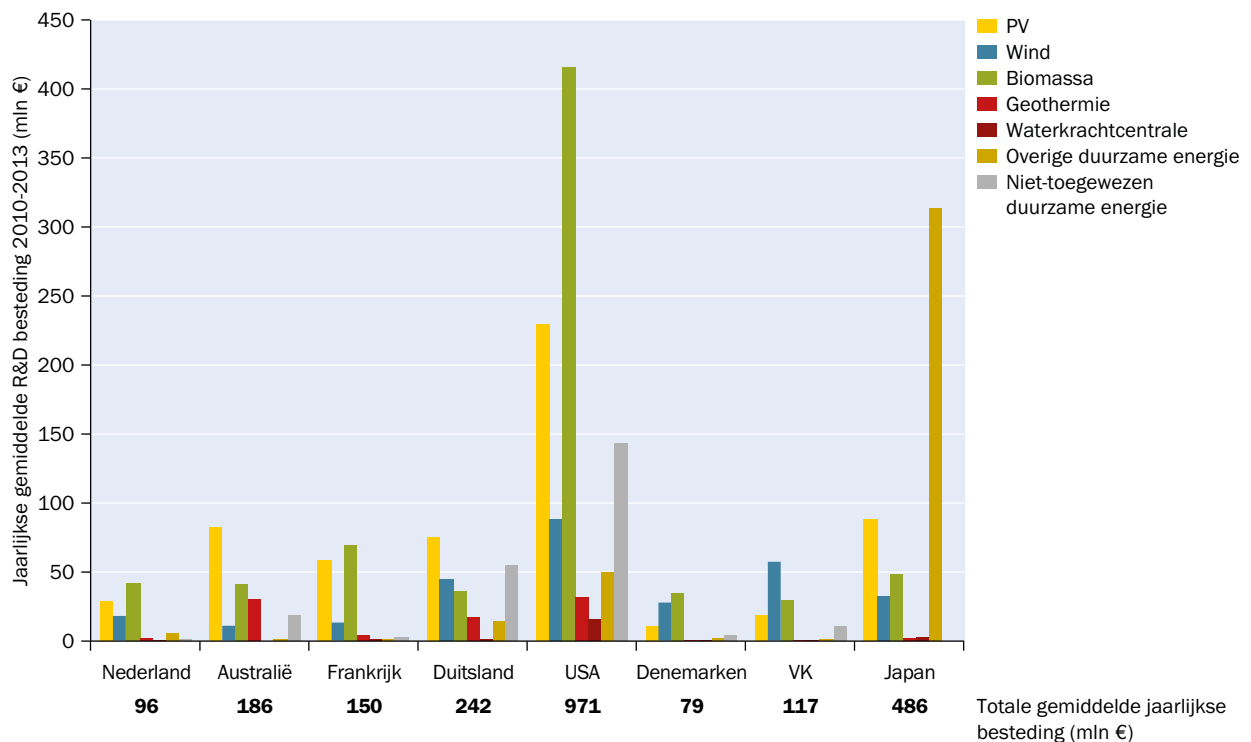
Als ons land optimaal gebruik maakt van deze sterktes kan het in de toekomst een belangrijke rol spelen op het gebied van transport, conversie en handel van duurzame gasvormige en vloeibare grondstoffen (uit biomassa). Deze kans zal zich voordoen als we deze duurzame grondstoffen in grote hoeveelheden verhandelen en raffineren, hetgeen naar verwachting over een aantal decennia kan worden bereikt. Daarnaast kan Nederland een uitvalbasis en ontwikkelingsknooppunt vormen voor aanleg, beheer en onderhoud van grootschalige energieinfrastructuur op de Noordzee, gebruikmakend van de sterke maritieme sector. Nederland kan haar sterke positie op het gebied van fossiele grondstoffen inzetten voor de versnelling van de energietransitie, aangezien de technologie en infrastructuur voor fossiele brand- en grondstoffen veelal ook kan worden ingezet voor duurzame toepassingen. De sterke dienstverleningssector biedt kansen voor het ontwikkelen van nieuwe energiediensten. Deze kansen, in combinatie met Nederlands' hoogwaardige en fijnmazige infrastructuur, korte afstanden en op samenwerking gerichte cultuur, maken ons land bij uitstek geschikt als proeftuin voor de vele technische en niet-technische oplossingen en trajecten van systeemintegratie die de komende jaren nodig zijn. De energietransitie is per definitie een uitdaging die grote delen van de maatschappij aangaat. Samenwerking is daarbij cruciaal en daarom zullen nieuwe, flexibele, nationale en internationale samenwerkingsmodellen moeten worden ontwikkeld.

Tabel 1. Potentiëlen van CO₂-arme opties in Nederland⁷.

Opties	Potentieel in 2050 (petajoule)
Biomassa	200 (binnenland), 120-780 (import)
Elektriciteit uit hernieuwbare bronnen (zon, wind en water)	500-750
Warmte uit hernieuwbare bronnen (zon, bodem, lucht, geothermie en restwarmte)	200-550
Kernenergie	30-200
Afvang en opslag van CO ₂ (CCS)	320-600

⁶ Energierapport, Transitie naar duurzaam, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag, Januari 2016.

⁷ Energierapport, p. 119.



Figuur 7. Publieke investering in R&D⁸.

KANSEN VOOR TNO

In aanvulling op de sterktes van Nederland brengt TNO haar eigen specifieke sterktes in. TNO is sterk verbonden met de domeinen waar de energietransitie moet plaatsvinden: de energie-intensieve industrie (met name chemische industrie), de transport- en mobiliteitssector, de gebouwde omgeving en de energiesector. TNO heeft daarnaast ook een uitstekende positie in de maritieme sector. TNO is een onafhankelijke en multidisciplinair opererende kennisorganisatie met een uniek palet aan technische en niet-technische kennis en kunde, die flexibel en efficiënt kan worden gecombineerd tot integrale oplossingen ('smart integrator'). TNO heeft kennis van zowel duurzame als fossiele energie en een lange ervaring op het gebied van o.a. aardgas, energiebesparing in de gebouwde omgeving, brandstof voor motoren, PV dunne-filmtechnieken, CO₂-behandeling, ICT-ontwikkeling, en energiemanagementsystemen.

Tenslotte heeft TNO een bijzondere gedelegeerde overheidstaak in huis: de Geologische Dienst Nederland⁹, met unieke kennis van de gebruiksmogelijkheden van de Nederlandse ondergrond. Hierdoor is TNO bij uitstek in staat een bijdrage te leveren aan het verantwoord ontwikkelen van de kansen die de Nederlandse ondergrond biedt voor het versnellen van de energietransitie.

Op diverse terreinen hebben nationale en internationale kennisorganisaties essentiële aanvullende kennis in huis. Samenwerking met deze partijen heeft daarom prioriteit ('smart follower'). In het volgende schema zijn de sterktes van TNO in relatie tot de energietransitie aangegeven.

⁸ Gebaseerd op de IEA-database van R&D uitgaven per land: www.iea.org/statistics/RDDonlinedataservice.

⁹ Wet Basisregistratie Ondergrond, september 2015.

TECHNOLOGIEËN EN SOCIALE INNOVATIE

- Geen focus TNO
- Matige sterkte TNO
- Sterkte TNO

UITDAGINGEN

1 Verduurzaming industrie

- Energiebesparing
- Elektrificatie / duurzame warmte
- Duurzame grondstoffen
- Minimalisering milieueffecten fossiele grondstoffen

2 Verduurzaming transport

- Energiebesparing
- Elektrificatie
- Schonere brandstoffen
- Minimalisering milieueffecten fossiele grondstoffen

3 Verduurzaming gebouwde omgeving

- Energiebesparing
- Energieproducerende gebouwde omgeving

4 Verduurzaming energiesector

- Maximaliseer aandeel duurzame bronnen in de energiemix
- Minimalisering milieueffecten fossiele grondstoffen
- Hou het systeem betrouwbaar en betaalbaar

HYBRIDE ENERGIESYSTEMEN

Productie

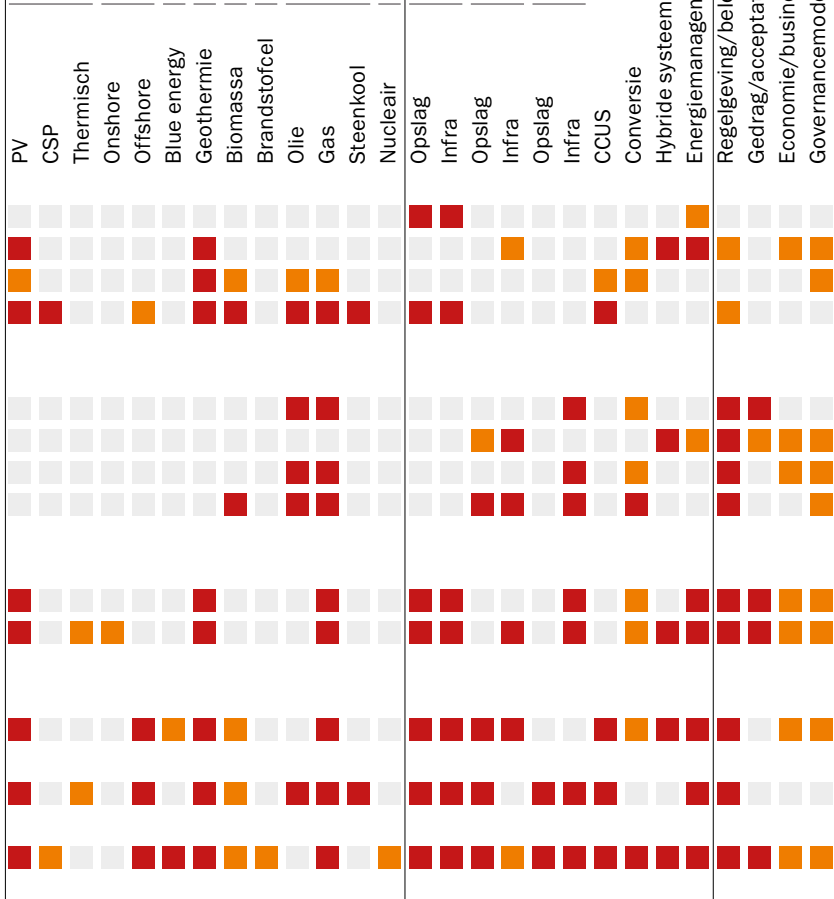
- Zon
- Wind
- Water
- Geo
- Bio
- Chemie
- Fossiel
- Nucleair

Infrastructuur


- Warmte
- Elektriciteit
- Gas

Gebruik

- Regelgeving/ beleidsaanpassing
- Gedrag/acceptatie
- Economie/businessmodellen
- Governancemodellen



Figuur 8. Overzicht domeinen waar TNO verschil kan maken op uitdagingen energietransitie.



› 6. DE INNOVATIE- SPEERPUNTEN VAN TNO

TNO kiest uitgaande van haar sterktes en de verduurzamingsopgaves waar Nederland voor gesteld staat, voor acht innovatiespeerpunten. Deze speerpunten passen bij de vier te verduurzamen sectoren en bij specifieke kennisdomeinen van TNO: kennis van de ondergrond, betrouwbare maritieme constructies en installaties, gas (inclusief CCUS) en sociale innovaties. Hieronder worden de acht speerpunten verder toegelicht.

1. **Een gebouwde omgeving die energie geeft:** het groot-schalig realiseren van energiebesparing in combinatie met lokale duurzame opwekking en integratie in het energiesysteem. Hierdoor wordt de gebouwde omgeving een lokale energieleverancier. TNO combineert en integreert daarbij innovaties op het gebied van energiebesparing met duurzame energie-installaties, warmtesystemen, PV en kennis van energiesystemen.
2. **Duurzame energie-intensieve industrie:** elektrificatie van de procesindustrie die gebruik maakt van duurzame brand- en grondstoffen, waardoor CO₂-emissies worden gereduceerd. Hierbij benut TNO maximaal haar sterke kennis van procestechnologie in combinatie met kennis van energiesystemen.
3. **Duurzaam en schoon onderweg:** innovaties voor zwaar transport over weg en water die leiden tot brandstofbesparing en aanzienlijke vermindering van CO₂- en andere emissies. TNO combineert hierbij haar kennis van *automotive*, het maritieme domein en brandstoffen, zoals LNG.
4. **De Noordzee als kraamkamer voor duurzame offshore energie:** Nederland als knooppunt voor ontwerp, aanleg, beheer en onderhoud van offshore energiesystemen. Hierbij draagt TNO bij aan een flexibele en robuuste offshore energie-infrastructuur passend bij een sterk onderdeel van de Nederlandse economie, gebruikmakend van onze maritieme kennis en die van materialen, energiesystemen, sensoren, robotica en menselijk gedrag.

5. **Hybride energiesystemen:** integreren van diverse componenten en systemen tot een betrouwbare en betaalbare eenheid. Daarbij maakt TNO gebruik van een breed palet aan kennis: van gassystemen, duurzame energietechnologie, procestechnologie, energiesystemen en van ICT managementsystemen.

6. **De ondergrond als bron en buffer van duurzame energie:** innovaties voor het optimaal, veilig en met minimale milieueffecten benutten van de ondergrond voor een versnelling van de energietransitie, bijvoorbeeld door productie, opslag en buffering van energie. Bij dit speerpunt benutten we de kennis en infrastructuur voor exploratie en productie van koolwaterstoffen en die van de Geologische Dienst Nederland.

7. **Gas op maat:** hoe kan de inzet van gas de energietransitie ondersteunen? Bij dit speerpunt gebruiken we de kennis en infrastructuur voor exploratie, productie en transport van koolwaterstoffen en onze specifieke kennis van gas en CO₂-afvang, -gebruik en -opslag.

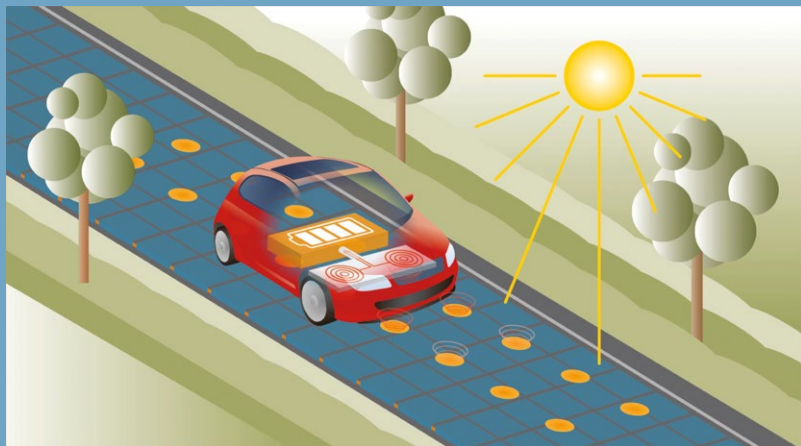
8. **Sociale innovatie:** ondersteuning van de energietransitie vanuit economisch, juridisch, maatschappelijk en bestuurlijk perspectief. De mens staat daarbij centraal. TNO maakt hierbij gebruik van haar kennis over wet- en regelgeving, participatie en beleidsvernieuwing, nieuwe samenwerkingsvormen, nieuwe markt- en businessmodellen, en van gedrag en prestaties van mensen.

Deze acht speerpunten realiseert TNO in nauwe samenwerking met andere kennispartijen en betrokken stakeholders. TNO werkt actief aan nieuwe nationale en internationale samenwerkingsverbanden, bijvoorbeeld in de vorm van 'Joint Innovation Centres' (JIC's). De missie van TNO is het toepasbaar maken van kennis. De ondersteuning van de energietransitie zal vooral in de praktijk plaatsvinden op de plekken waar de innovaties zullen worden geïmplementeerd. Dat doen we met behulp van onderzoekslaboratoria, *field labs* en *living labs*.

EEN GEBOUWDE OMGEVING DIE ENERGIE GEEFT: SOLAROAD

Nederland en een groot aantal andere landen hebben een groot verhard oppervlak bijvoorbeeld voor bestrating. In Nederland is deze wel twee keer zo groot als het oppervlak van daken. Door de bestrating te benutten voor PV ontstaat in potentie een groot oppervlak voor ‘zonnepanelen’ waarover verkeer zich voortbeweegt. TNO heeft dit concept uitgewerkt in een praktisch werkbaar concept genaamd SolaRoad. Een eerste proef als fietspad ligt in Krommenie. De volgende uitdaging is dit concept op te schalen naar grootschalige toepassingen en te integreren in het energiesysteem.

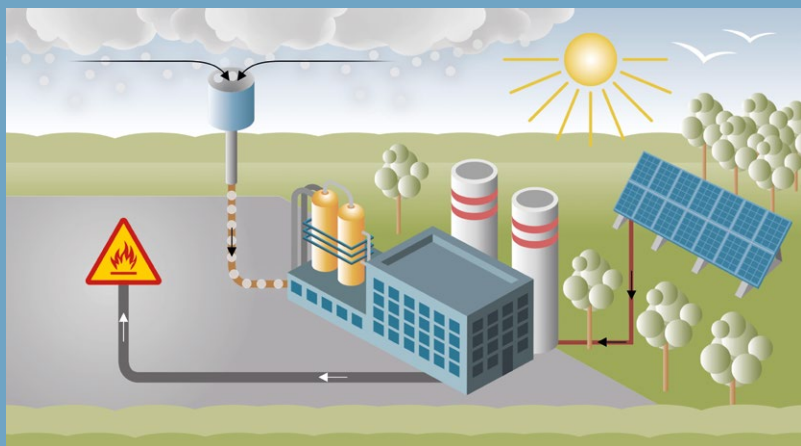
De ultieme uitdaging is het inbouwen van inductiemodules in de weg die batterijen van elektrische auto’s automatisch opladen.



Figuur 9. SolaRoad.

GEBRUIK VAN (ATMOSFERISCHE) CO₂ IN DE ENERGIE-INTENSIEVE INDUSTRIE

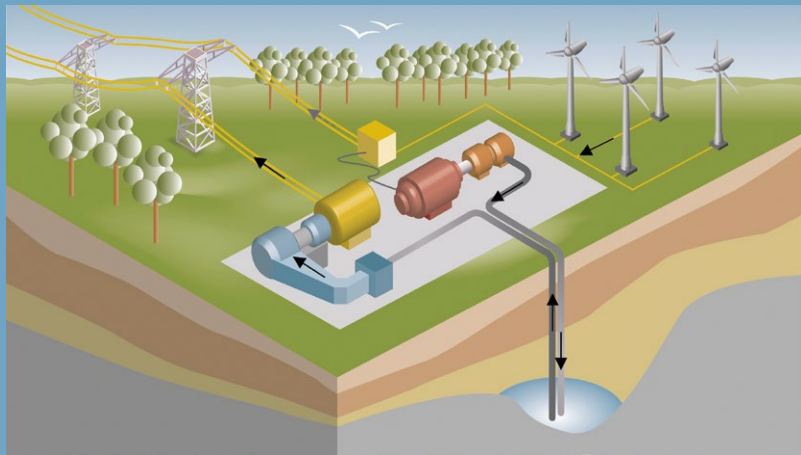
Een duurzame wijze voor het reduceren van CO₂-emissies is deze nuttig te gebruiken, bijvoorbeeld als grondstof ('feedstock') voor de chemische industrie. TNO werkt aan conversiemethoden die CO₂ omzetten in grondstoffen voor de chemie, zoals methanol. De ultieme uitdaging is het gebruik van atmosferische CO₂. Dit zou tot een reductie van CO₂-concentratie in de atmosfeer leiden.



Figuur 10. Schematische voorstelling CO₂-conversie uit de atmosfeer.

COMPRESSED AIR ENERGY STORAGE (CAES): BENUTTING VAN DE ONDERGROND VOOR OPSLAG VAN ENERGIE

CAES is een systeem voor de opslag van energie in de ondergrond, bijvoorbeeld in een mijn of ondergrondse holte. Elektriciteit wordt omgezet in gecompriëerde lucht en in een ondergronds reservoir opgeslagen. Daarmee zijn overschotten aan elektriciteit te bewaren. Als er energie nodig is, drijft de gecompriëerde lucht via een ‘recuperator’ een generator aan die het weer in elektriciteit omzet. Hiermee sluit het fluctuerende aanbod van elektriciteit uit duurzame energiebronnen beter aan op de energievraag.

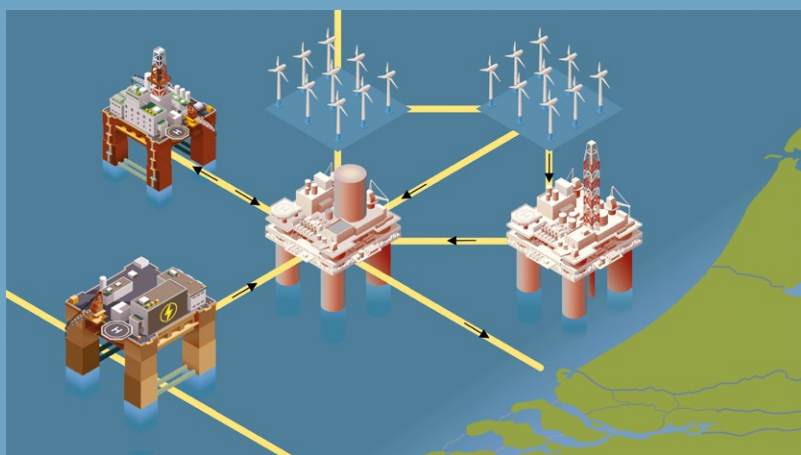


Figuur 11. CAES in de ondergrond.

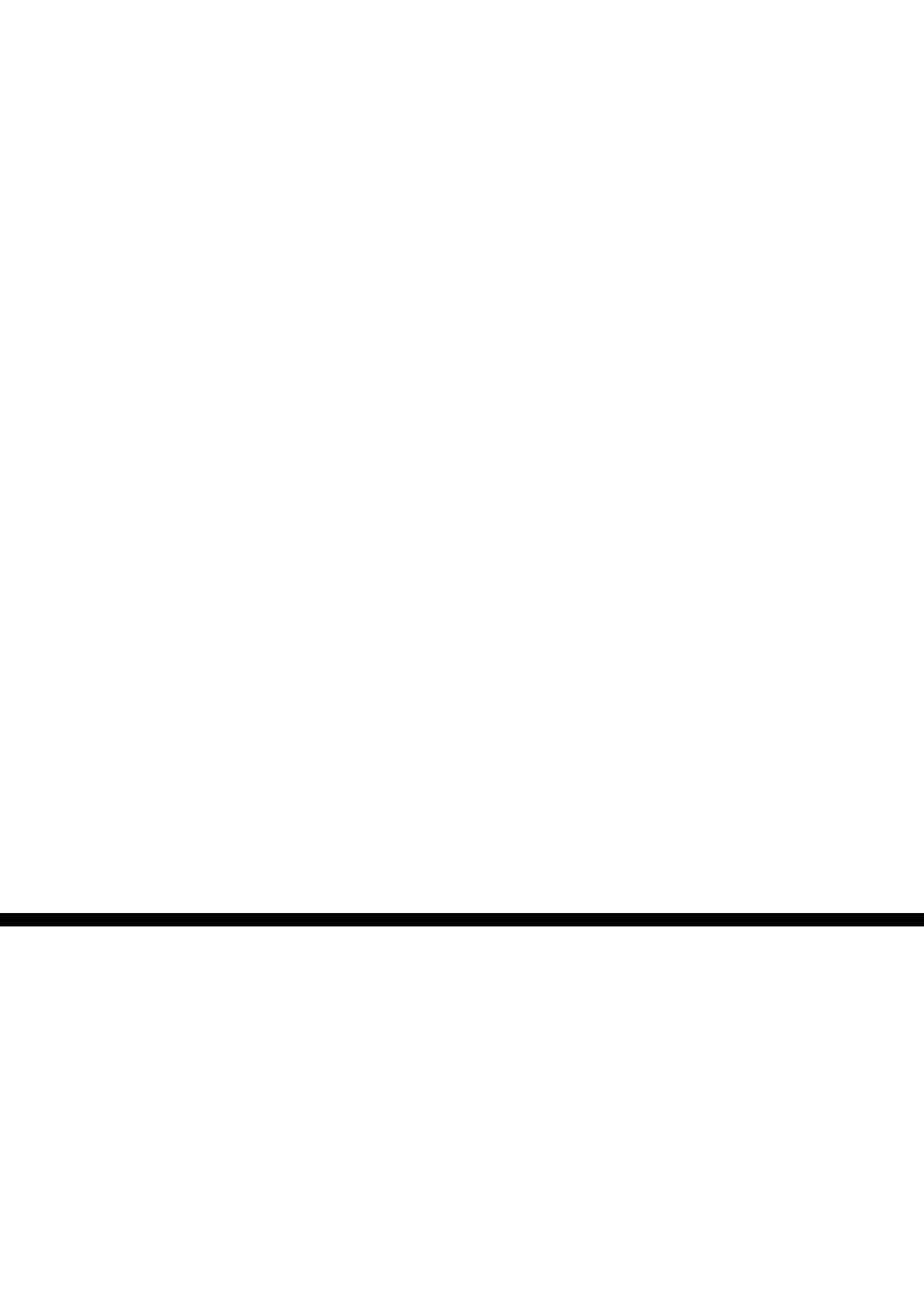
HYBRIDE ENERGIESYSTEEM: GAS EN WIND OP DE NOORDZEE

De productie van gas uit de gasvelden op de Noordzee neemt geleidelijk af. De operators van deze velden beseffen bovendien dat de emissies van de productieplatforms omlaag moeten. Parallel aan deze trend worden op diezelfde Noordzee windparken ontwikkeld en zal de productie van elektrische windenergie de komende jaren sterk groeien. Deze groei maakt aanzienlijke investeringen in het elektriciteitsnetwerk op de Noordzee noodzakelijk. Door beide ontwikkelingen bij elkaar te brengen realiseren de operators van de gasvelden en die van de windparken zich dat het voor beiden een aantrekkelijke optie is om de elektrische energie voor de productieplatforms te betrekken van de windparken. De productieplatforms kunnen hierdoor een sterke reductie van de emissies realiseren. Voor de windparken betekent het dat het netwerk naar het vasteland lichter kan worden uitgevoerd omdat de specificaties voor de piekbelasting omlaag gaan. Verder is overtollige elektriciteit opgewekt met windenergie om te zetten in waterstof en op te slaan of bij te mengen in de gasleidingen.

Zo ontstaat een uitgesproken voorbeeld van een hybride energiesysteem op de Noordzee, dat emissies bespaart en voordelen oplevert voor olie- en gasbedrijven, windenergie-exploitanten en andere stakeholders.



Figuur 12. Hybride energiesysteem Noordzee.



AUTEURS

Adriaan Slob
Kees Willemse
Mart van Bracht
Met inbreng van vele TNO-medewerkers

CONTACT

Mart van Bracht
Algemeen directeur Energie
T 088 866 44 00
E mart.vanbracht@tno.nl

TNO Energie
Postbus 6012
2600 JA Delft

› TNO VERBINDT MENSEN EN KENNIS
OM INNOVATIES TE CREËREN DIE DE
CONCURRENTIEKRACHT VAN BEDRIJVEN
EN HET WELZIJN VAN DE SAMENLEVING
DUURZAAM VERSTERKEN.

TNO.NL/ENERGIE