

Versnellen van de energietransitie: kostbaar of kansrijk?

Een gedachten-experiment voor
Nederland

Auteurs:
Occo Roelofsen
Arnout de Pee
Eveline Speelman

Voorwoord

De afgelopen jaren heeft Nederland de eerste stappen gezet van misschien wel een van de meest diepgaande veranderingen in zijn geschiedenis: de transitie van het Nederlandse energiesysteem. Tekenen van deze overgang zijn al zichtbaar. In 2015 heeft een rechtbank in Den Haag bepaald dat de overheid beleid moet maken om de uitstoot van broeikasgas (BKG) in 2020 met minstens 25 procent te verminderen. Er zijn vijf kolencentrales aangewezen die moeten sluiten. Eigenaren van elektrische auto's kunnen deze nu bij zo'n 23.000 (semi)publieke stations in het hele land opladen. En in juni 2016 heeft de overheid een contract toegewezen voor het bouwen van offshore windpark Borselle. Dit wordt het goedkoopste in zijn soort ter wereld.

Als lid van de EU wordt van Nederland verwacht dat het de ambitieuze regionale doelstellingen voor het verminderen van BKG-emissies steunt. In februari 2011 herbevestigde de EU zijn toezegging om BKG-emissies in 2050 met 80 tot 95 procent te verminderen vergeleken met 1990. In een volgende belofte van de EU, in 2014, werd als interimdoel gesteld om de BKG-emissies in 2030 met ten minste 40 procent te verminderen.

Van 1990 tot 2015 heeft Nederland zijn BKG-emissies met 12 procent verlaagd, en het ligt op koers voor een vermindering van 20 procent in 2020. Om het doel van de EU voor 2050 te realiseren, moet Nederland echter zijn emissies drie maal sneller laten afnemen dan de gemiddelde jaarlijkse reductie van 0,7 procentpunt die gemiddeld tussen 1990 en 2014 werd bereikt.

De duidelijke behoefte van Nederland om sneller de transitie te doorlopen naar een koolstofarme economie, roept een aantal vragen op. Welke beleidsmaatregelen, technische ontwikkelingen en industriële verschuivingen dragen bij aan het bijna volledig decarboniseren van het energiesysteem en de economie? Hoeveel uitgaven en investeringen zijn nodig om die veranderingen te betalen? En kan Nederland economisch groeien terwijl het de BKG-emissies in lijn met de EU-doelstellingen vermindert?

In dit rapport beginnen we die vragen te beantwoorden. We onderzoeken welke omstandigheden het Nederlandse energiesysteem bepalen, welke manieren er zijn om de wijze waarop Nederland energie opwekt en gebruikt te veranderen, en welke economische impact die veranderingen zullen hebben. Deze analyse is niet bedoeld om de goedkoopste aanpak voor het terugdringen van de uitstoot te bepalen. In plaats daarvan hebben we één set van realistische emissieverlagende opties genomen en een schatting gemaakt van hun kosten en voordelen, om beleidsmakers en industrieleiders richting te geven voor langetermijnplannen.

Hoewel onze analyse onzekerheden kent, wordt duidelijk dat het najagen van de emissiereductiedoelen van de EU economisch voordelig kan zijn voor Nederland. De sleutel tot dat voordeel ligt in het opstellen en volgen van een masterplan voor de langere termijn, kosten verlagen en tegelijkertijd mogelijke voordelen pakken, en aan infrastructuur en activa vervangen aan het eind van hun levensduur. Volgens onze aannames kan een versnelde overgang naar een koolstofarm energiesysteem Nederland op de middellange termijn een

bescheiden BBP-verhoging van rond de 2 procent opleveren. Deze impact kan groter worden als Nederland investeert in gebieden met veel groeipotentieel, zoals elektrische mobiliteit, duurzame verwarming van gebouwen, offshore wind, innovatie op het gebied van (offshore) energie-opslag en transportoplossingen, zware industrie en CO₂ afvangen en opslaan of gebruiken.

We hebben dit rapport geschreven om beleidmakers een solide feitenbasis te geven, evenals een eerste kijk op hoe de kosten en voordelen er op lange termijn uit kunnen zien. Dit rapport combineert de macro-economische perspectieven van ons McKinsey Global Institute met de sectorspecifieke kennis van bijvoorbeeld onze Automotive en Chemicals-praktijken. We hebben verder geleund op onze bedrijfseigen modellen voor het electriciteits- en energiesysteem en op de steun van vele collega's in onze Global Energy and Materials-practice.

Dit rapport had niet gemaakt kunnen worden zonder de waardevolle input van externe experts en reviewers: van energiebedrijven, netwerkbedrijven en financiële instellingen tot universiteiten en onderzoeksinstellingen.

Het helpen aanpakken van wereldwijde klimaatverandering kan goed zijn voor de Nederlandse economie en het milieu. We moedigen iedereen binnen de overheid en het bedrijfsleven aan om dit rapport in overweging te nemen en te gebruiken om een economisch verstandig pad te vinden richting wezenlijke, blijvende emissiereductie.

Occo Roelofsen, Arnout de Pee, Eveline Speelman



Samenvatting

De EU heeft opgeroepen tot het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen (BKG)¹ met minstens 40 procent voor het jaar 2030, en met 80 tot 95 procent voor 2050. Om die doelen te behalen, moet Nederland zijn emissies drie of vier keer sneller verminderen dan de jaarlijkse vermindering van 0,7 procentpunt die het tussen 1990 en 2020 bereiken zal. Hoewel de emissies tussen 1990 en 2014 zijn gedaald, geven recente cijfers aan dat de BKG-emissies in 2015 met 5 procent zijn gestegen en dat de CO₂-emissies het niveau van 1990 overstegen. Deze verhoging van CO₂ emissies was groot genoeg om de verbetering van de afgelopen 24 jaar ongedaan te maken. Om de doelen van de EU te behalen, moet Nederland terug naar een emissieverlagend traject.

Er is nauwelijks precedent voor hoe een geïndustrialiseerd land zijn hoge levensstandaard kan behouden terwijl de emissies per hoofd van de bevolking en per BBP worden verlaagd tot het niveau van minder ontwikkelde landen. Eén ding is zeker: het transformeren van het Nederlandse energiesysteem om hoge emissiereducties te bereiken, zal flinke investeringen vergen. Een cruciale vraag voor beleidsmakers en de industrie is dus of er een manier bestaat om de omvang van die investeringen te minimaliseren en de economische voordelen ervan te vergroten, door het verhogen van het rendement van investeringen en het creëren van nieuwe (export)sectoren.

Nederland kent voordelen als het gaat om het verminderen van de emissies. Het is een relatief klein en dichtbevolkt land waar nieuwe infrastructurele investeringen economisch kunnen worden uitgevoerd, gezien de hoge benutting. Energie speelt een belangrijke rol in de Nederlandse economie en draagt disproportioneel veel bij aan het BBP vergeleken met andere landen. Nederland heeft de op een na hoogste penetratie van elektrische voertuigen ter wereld. De overheid is Europese en Nederlandse doelstellingen voor emissiereductie overeengekomen en er is zelfs een gerechtelijke uitspraak die aandringt op hogere doelstellingen. De energietransitie is dus belangrijk voor zakelijke leiders, politici en de samenleving als geheel.

Dit rapport concludeert dat een versnelde maar flexibele aanpak voor het verminderen van BKG-emissies waarde op zal leveren in termen van BBP en werkgelegenheid. Onze aanpak was om de economische kosten en voordelen van een set emissiereducerende opties voor vier grote sectoren te schatten: transport, gebouwen, zware industrie en elektriciteitsopwekking. Eenvoudigheidshalve hebben we slechts één scenario overwogen, met technologieën die zich al bewezen hebben of waarschijnlijk op korte termijn bruikbaar worden. We hebben aangenomen dat er geïnvesteerd zal worden in opkomende technologieën, zoals CO₂ afvangen en opslaan of gebruiken (CSS/U) en grootschalige energieopslag, maar we hebben geen rekening gehouden met de mogelijke emissiereducties die deze technologieën kunnen opleveren tussen 2020 en 2040.

¹ Uitstoot van broeikasgassen volgens het Kyoto-protocol bestaat uit koolstofdioxide (CO₂), stikstofoxide (N₂O), methaan (CH₄) en fluorhoudende gassen. Om de invloed van de verschillende broeikasgassen te aggregeren worden alle emissiecijfers omgezet in CO₂-equivalenten (bijv., 1 kg N₂O staat gelijk aan 296 CO₂-equivalenten).

We schatten dat het investeren van EUR 10 miljard per jaar tussen 2020 en 2040 in een energiesysteem met verminderde BKG-emissies een positieve invloed op het BBP zal hebben en potentieel tienduizenden banen kan creëren op lange termijn, met minimaal 45.000 banen in de installatie op korte termijn.

Veranderen van de energiebehoefte: verschuiving naar hoge efficiëntie en koolstofarme of emissievrije technologie

Door het toepassen van een combinatie van energie-efficiëntie maatregelen en het versneld implementeren van nieuwe technologieën, kan de vraag naar primaire energie met ca. 30 procent worden verlaagd. Deze verschuivingen zouden het aandeel van elektriciteitsopwekking in het eindverbruik van energie ruwweg verdubbelen, van 17 procent nu naar zo'n 32 procent in 2040.

Op korte termijn kunnen sommige vraagsectoren initiatieven lanceren die voortbouwen op bewezen, voordelige en beschikbare kennis en technologie. Voorbeelden zijn het vervangen van benzine- of diesellootvoertuigen door elektrische voertuigen en het verbeteren van gebouwisolatie, zodat er minder energie nodig is voor verwarmen en koelen. In andere sectoren zullen veranderingen langzamer gaan of pas later versnellen. Het kan dan gaan om het vervangen van zware vrachtwagens door voertuigen op waterstof en het uitfaseren van het gebruik van fossiele brandstoffen in industriële processen, ten gunste van duurzaam opgewekte warmte en waterstof.

CO₂ vrijmaken van de energievoorziening: een derde minder energie, een derde meer elektriciteit

Het verminderen van de CO₂-emissies van het energiesysteem en tegelijkertijd voorzien in 37 procent meer vraag naar elektriciteit, is een enorme uitdaging. We hebben gemodelleerd wat een mogelijke manier is waarop aan deze uitdaging kan worden voldaan: door het uitbreiden van de capaciteit om electriciteit op te wekken op een duurzame manier (tot 80 procent van het nieuwe totaal) en daarnaast flexibele maatregelen te introduceren, zoals vraagbeheersing en energieopslag. Samen zou dit de (energetische) CO₂-emissies met ongeveer 55 procent verlagen. Deze veranderingen in het electriciteitssysteem vereisen kapitaal- en operationele uitgaven van ca. EUR 10 miljard per jaar. Dit is ca. EUR 2,5 miljard meer dan in een systeem op basis van fossiele brandstoffen.

Vergeleken met een systeem als het huidige, stijgen de "volledige" unitkosten van electriciteit² van EUR 54 per MWh naar EUR 64 per MWh, exclusief transmissie- en distributiekosten, en van ca. EUR 66 per MWh naar ca. EUR 79 per MWh inclusief transmissie- en distributiekosten. Een electriciteitssysteem met 80 procent duurzame energie produceert 75 procent minder BKG-emissies dan nu. Over het geheel genomen zouden de energiekosten voor Nederland iets dalen: van ca. EUR 23 miljard naar EUR 22 miljard. Hoe hoger de olieprijs is en hoe lager de kosten van duurzame alternatieven zijn, hoe groter dit verschil wordt.

² Deze volledige systeemkosten omvatten brandstofkosten, bedienings- en onderhoudskosten en kapitaalkosten. Ze kunnen daarom niet worden vergeleken met het prijsmechanisme van de groothandel, dat is gebaseerd op kortdurende marginale kosten (bijv. alleen brandstofkosten en bedienings- en onderhoudskosten)

Het maximaliseren van de waarde van investeringen in de energietransitie

Aangezien de energietransitie zo kapitaalintensief is, is het belangrijk om verstandig te investeren. We zien vier manieren waarop het rendement van de benodigde investeringen kan worden vergroot:

- Door landelijk schaalvoordelen te creëren door grootschalige, geplande programma's voor technologieën die profijt hebben van een centrale uitrol. Aantrekkelijke gebieden zijn onder andere het verbeteren van gebouwisolatie of het uitbreiden van de toevoer van duurzaam opgewekte elektriciteit, en het opladen van elektrische voertuigen.
- Door het vermijden van investeringen in minder efficiënte apparatuur, die voor het einde van de technische levensduur moet worden vervangen om de doelen te halen. Met andere woorden: vermijd investeringen in apparatuur die uiteindelijk nogmaals moet worden vervangen door apparatuur met minder of geen CO₂ uitstoot, voordat het economische of technische eind van de levensduur is bereikt, en maak direct de sprong naar koolstofarme of koolstofneutrale technologie.
- Door het aantrekken en stimuleren van nieuwe economische activiteit in 'doelsectoren' en de investeringen en vaardigheden in die sectoren te verhogen, waardoor Nederland zich op Europees of wereldwijd niveau kan onderscheiden van concurrentie.
- Door aangrenzende economische sectoren te transformeren. Een versnelde energietransitie kan investeringen en innovatie aanjagen in ondersteunende gebieden: het vereist ook veranderingen in technologie, bedrijfsmodellen en financiering. Dit kan de economie als geheel concurrerender maken.

Een inschatting maken van de economische impact van de energietransitie, groei activeren

We schatten dat de investeringen en de uitgaven aan goederen en diensten die voor de energietransitie nodig zijn, zullen zorgen voor een BBP-groei van 2 procent op korte tot middellange termijn. In de loop der tijd verdwijnt dit effect langzaam. Op langere termijn kunnen aanvullende voordelen worden gecreëerd. Een verschuiving van economische activiteit in sectoren met lagere economische multipliers (zoals grote fabrieken) naar sectoren met hogere economische en werknemers-multipliers (zoals bouw) zullen een stimulans zijn voor het netto BBP. Ook de handelsbalans van Nederland kan positief worden beïnvloed, aangezien er minder fossiele brandstof hoeft te worden geïmporteerd.

De grootste en meest duurzame economische voordelen komen waarschijnlijk van investeringen in sectoren die wezenlijke economische groei en banen kunnen opleveren. Voorbeelden van aantrekkelijke gebieden zijn onder meer:

- **'Nieuw' transport** – Nieuwe oplossingen om stedelijk transport te verbeteren kunnen wereldwijd op de markt worden gebracht, zeker nu de verstedelijking toeneemt. Dit kunnen innovatieve stadsplanningen zijn, of systemen voor het integreren van meerdere transportvormen, het op grote schaal uitrollen van EV's en andere emissie-arme transportvormen, en het produceren van voertuigen en transportapparatuur.

- **Duurzame gebouwverwarming** – Nederland als (technologisch) leider op het gebied van klimaatbeheersingssystemen en energiebeheer voor gebouwen.
- **Transformatie van zware industrie en CCS/U** – Doordat chemie, productie en andere industriële sectoren zeer energie-intensief zijn, liggen er kansen voor het verbeteren van de energie-efficiëntie en voor baanbrekende alternatieven voor grondstofconfiguraties door het toepassen van innovatieve processen en technologieën. Nederland heeft een goede positie om vooruitgang te bevorderen op het gebied van koolstof afvangen en opslaan of gebruiken, vanwege de unieke ondergrondse kenmerken en aanwezige kennis.
- **Offshore wind** – De Nederlandse en wereldwijde offshore windindustrie zal waarschijnlijk groeien om te voldoen aan de toenemende vraag naar duurzame energie. Hiervoor zijn grote investeringen nodig en dit zal de industriële ontwikkeling in meerdere domeinen aandrijven. Zo kan het bijvoorbeeld interessant zijn om elektriciteitsnetten in de Noordzee te koppelen en zo energieladingen grensoverschrijdend in evenwicht te brengen.
- **Integreren van duurzame energie in het energienetwerk** – Nu zonne- en windenergie een groter aandeel in de energiemix krijgen, moet de energiesector bedenken hoe duurzame energie het beste in het energiesysteem kan worden geïntegreerd; decentraal of centraal, intermitterend tussen uren en seizoenen. Nederland kan gezien de veelzijdige chemische sector en de uitgebreide energie-infrastructuur profiteren van deze overgang door zich te richten op oplossingen voor energieconversie, -opslag en -transport.

Een weg vooruit uittekenen

Hoe deze voorbeelden gestalte krijgen is afhankelijk van veel factoren: de schaal van de investering, de snelheid van de verandering, de ontwikkeling van technologie en de bereidheid van mensen en instituten om zich aan te passen, om maar een paar zaken te noemen. De onzekerheid die hieruit volgt, maakt het een uitdaging om opties te kiezen en hier vol op in te zetten. Niettemin stellen we drie overwegingen voor die het land kan meenemen bij het najagen van de doelen:

- Ontwikkel voor elke vraagsector een masterplan voor CO₂ reductie: een op feiten gebaseerd plan, waarin de doelen voor 2050 worden vertaald in duidelijke beslissingen en doelen voor elk van de tussenliggende decennia. Een langetermijnvisie op energievoorziening en -vraag is essentieel voor het ontsluiten van investeringen met lange terugverdientijden, omdat dit consumenten en bedrijven meer zekerheid biedt over hun investeringsvooruitzichten.
- Gebruik de langetermijnwaardecreatie voor Nederland als de belangrijkste variabele om emissiereductieplannen en BBP-stimuli te optimaliseren.
- Zet publieke prikkels, inclusief belastingbeleid, in met het oog op de uitdaging op langere termijn en herontwerp ze, zodanig dat burgers en grote energieverbruikers worden aangemoedigd om mee te doen aan het herzien van de energiemarkt.

Energiegebruik in Nederland - en de uitdaging waar we voor staan

De lidstaten van de EU hebben als doel om hun BKG-emissies met 40 procent te verlagen in 2030, richting een reductie van 80 tot 95 procent in 2050. Het bereiken van dit doel wordt breed beschouwd als essentieel voor het beperken van de effecten van wereldwijde klimaatverandering, in lijn met het akkoord van Parijs dat in december 2015 op de COP21 is gesloten. Naar deze doelen handelen vereist uitgebreide veranderingen in een aantal dimensies - van economie en financiën tot openbaar beleid, technologie en cultuur.

Voor Nederland wordt het realiseren van de EU-doelen een enorme taak. Hoewel het land de afgelopen twee decennia geleidelijk verbeteringen heeft doorgevoerd in energie-efficiëntie en het gebruik van duurzame energie, blijft het een grootverbruiker van fossiele brandstoffen: slechts 6 procent van de energie komt uit duurzame bronnen.

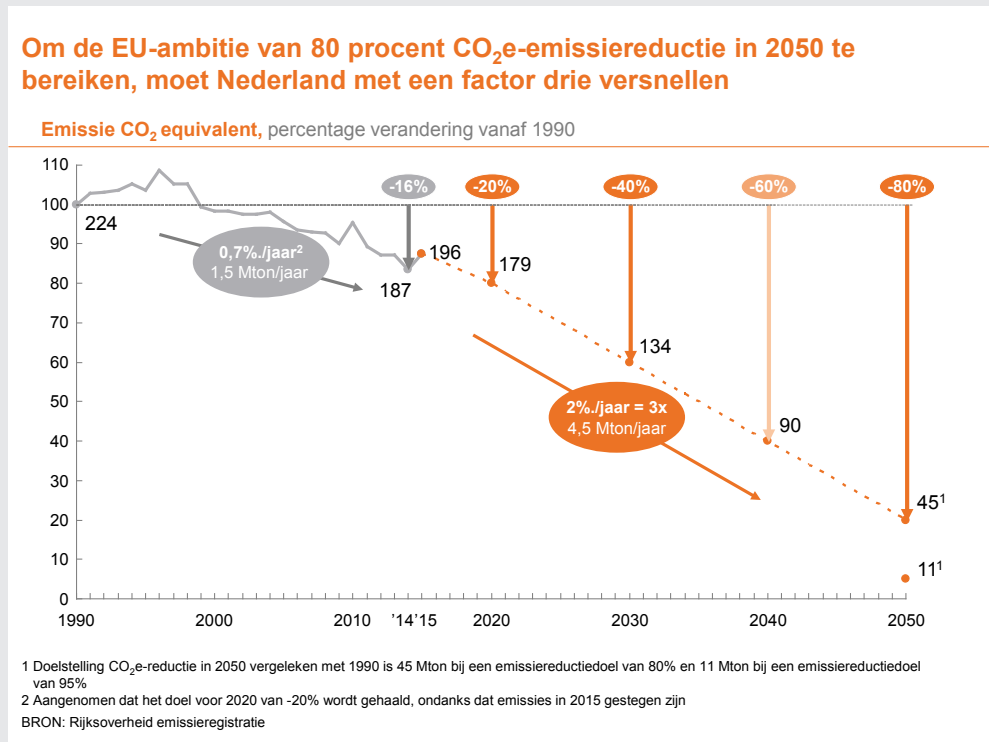
De BKG-emissies van Nederland waren 223,8 miljoen ton (Mton) CO₂-equivalent (CO₂e) in 1990. Na een piek in 1996 daalden de emissies met gemiddeld 0,7 procentpunt per jaar tot 2014 (1,5 Mton/jaar), in dat jaar ging het om 187 miljoen ton CO₂e. Dat staat gelijk aan een totale emissiereductie van 16 procent in 24 jaar. Een emissiereductie van 80 procent in 2050, in lijn met EU-brede doelstellingen, zou de uitstoot van broeikasgassen in Nederland op 44 miljoen ton brengen.

Dit is een zeer grote daling met enorme gevolgen. Bedenk dat elke persoon in Nederland ca. 10 ton BKG-emissies per jaar vertegenwoordigt. Het bereiken van een emissiedoel voor 2050 van 44 miljoen ton zou, zonder verandering in de bevolking, vereisen dat de Nederlandse emissies per hoofd van de bevolking slechts 2,6 ton zijn. Dat is een emissie-intensiteit op het niveau van een ontwikkelingsland, vergelijkbaar met Panama of Egypte. Evenzo zou Nederland, in een vergelijking van BKG-intensiteit van de economie, moeten eindigen met BKG-emissies per unit BBP die vergelijkbaar zijn met wat nu in Zambia wordt gerealiseerd.

Een andere manier om naar de emissiereductie te kijken is op basis van de snelheid van de veranderingen. Om het EU-emissiedoel voor 2050 van 80 procent emissiereductie te bereiken, moet Nederland zijn emissies elk jaar verlagen met minstens 2 procentpunt (4,5 Mton) per jaar -vergeleken met de niveaus van 1990 -. Dit is drie keer de jaarlijkse reductie die is gerealiseerd tussen 1990 en 2014 (Figuur 1).³ Berekend in samengestelde jaarlijkse groei (CAGR) is jaar-op-jaar een verandering van 4,5 procent nodig tussen 2020 en 2050. Dit betekent zelfs een zesvoudige toename vergeleken met nu. De afgelopen jaren is dit getal (reductie van >4,5 Mton) in een paar jaren bereikt (1996, 1999, 2011), gecompenseerd door veel lagere cijfers of zelfs emissieverhogingen in andere jaren.

³ Om een reductie van 95 procent in 2050 te bereiken moet Nederland met een factor vier versnellen. Emissies van internationale luchtvaart en bunkering bevinden zich niet binnen het bereik van BKG-reductieplannen, maar moeten uiteindelijk ook worden aangepakt. De emissies van het grondgebied van Nederland komen op 11 Mton CO₂ voor luchtvaart en 42 Mton CO₂ voor bunkering. Tot slot: de rechtbank heeft in de zaak van Urgenda tegen de staat geoordeeld dat Nederland zijn emissiereductie moet versnellen en een reductie van 25 procent (in plaats van 20 procent) in 2020 moet bereiken - dit impliceert een vroegere versnelling dan hier is aangegeven.

Figuur 1



Nederland zou ook zijn aandacht moeten verschuiven naar het verlagen van CO₂-emissies in het bijzonder. Tussen 1990 en 2014 kwam 85 procent van de BKG-emissiereductie van Nederland door het verlagen van de emissies van methaan (40 procent), stikstofoxide (28 procent) en fluoride (17 procent). CO₂ vormde de resterende 15 procent van de reductie (van 163 in 1990 tot 158 miljoen ton in 2014). Emissies van CO₂ moeten 17 keer sneller worden verlaagd dan tussen 1990 en 2014.⁴

Er zijn beperkte precedentes voor hoe een geïndustrialiseerd land met een hoge levensstandaard CO₂ uitstoot per hoofd van de bevolking kan verlagen tot het niveau van veel minder ontwikkelde landen, met behoud van de eigen levensstandaard. Nederland staat daarom voor twee urgente vragen. Ten eerste: welke specifieke veranderingen resulteren in een koolstofarm energiesysteem dat voortdurende economische groei en een goede kwaliteit van leven voor de inwoners van het land ondersteunt? En ten tweede: wat zijn de financiële en economische eisen en implicaties voor het bereiken van de CO₂ doelen van de EU in een land waar de energiesector direct 6 procent van het BBP vertegenwoordigt, en indirect nog eens 5 procent?

Dit rapport is een eerste poging om die vragen te beantwoorden.

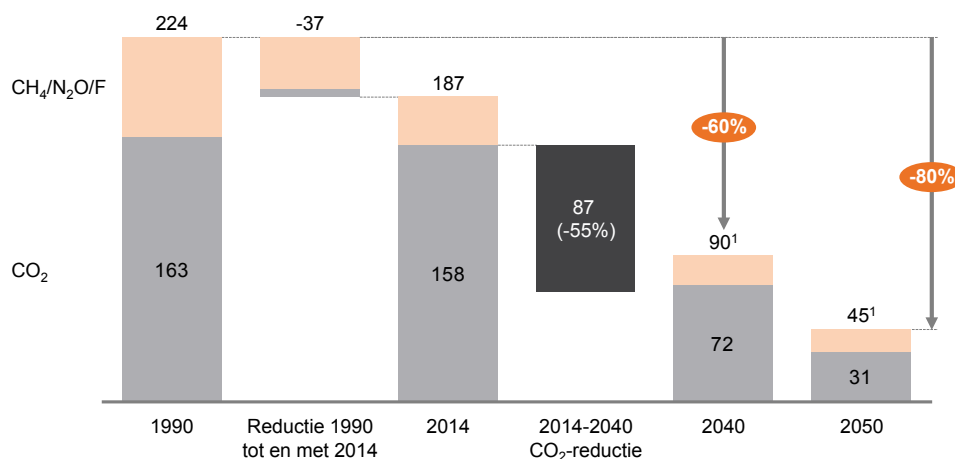
⁴ Tussen 1990 en 2014 is de CO₂ gemiddeld verminderd met 0,2 miljoen ton per jaar; dit moet stijgen naar ca. 4,5 miljoen ton per jaar tot 2050 om het reductiedoel van 80 procent CO₂-reductie in 2050 te halen. In 2015 is de CO₂-uitstoot weer gestegen naar 167 Mton, waarmee de bereikte reducties tot nu toe ongedaan zijn gemaakt.

Ons onderzoek richt zich vooral op Nederland in de periode van 2020 tot 2040, een tijd die relevant is voor huidige investeringsbeslissingen. Eenvoudigheidshalve richten we ons op een emissiereductie van minstens 60 procent in 2040 als stap richting een reductie van 80 procent in 2050 (Figuren 1 en 2).⁵ We concentreren ons vooral op het verminderen van CO₂-emissies van energiegerelateerde activiteiten (149 van de 158 miljoen ton (2014))⁶. We identificeren plausibele veranderingen voor de middellange en lange termijn en schetsen de kosten en voordelen van al deze stappen - allemaal tegen een achtergrond van business-as-usual-investeringen. We behandelen Nederland als een op zichzelf staande entiteit, maar we erkennen dat in de praktijk oplossingen in een internationale context moeten worden geoptimaliseerd en ingebed. Eenvoudigheidshalve hebben we slechts één scenario overwogen met technologieën die nu bewezen zijn of waarschijnlijk op korte termijn bruikbaar worden. Technologieën zoals koolstof afvangen en opslaan of gebruiken (CSS/U), kernenergie en specifieke grootschalige opslagoplossingen zijn buiten beschouwing gelaten om de analyse te vereenvoudigen, maar in sommige gevallen is budget aan deze oplossingen toegewezen zonder dat er expliciete technologische keuzes zijn gemaakt.

Figuur 2

Van 2014 tot 2040 is een reductie van 55% van CO₂-emissies nodig om op koers te blijven voor het behalen van de emissiereductiedoelen voor 2050

Jaarlijkse emissie van broeikasgassen, Mton CO₂-equivalent



¹ Het minimum aan overgebleven emissies is voor 2050 geschat op ongeveer 14 Mton CO₂e voor methaan, stikstofoxide en fluorhoudende gassen. Voor 2040 nemen we aan dat er 18,4 Mton aan emissies resteren. Dit volgt uit een lineaire interpolatie tussen nu en 2050.

BRON: Kyotoprotocol; National Inventory Reports

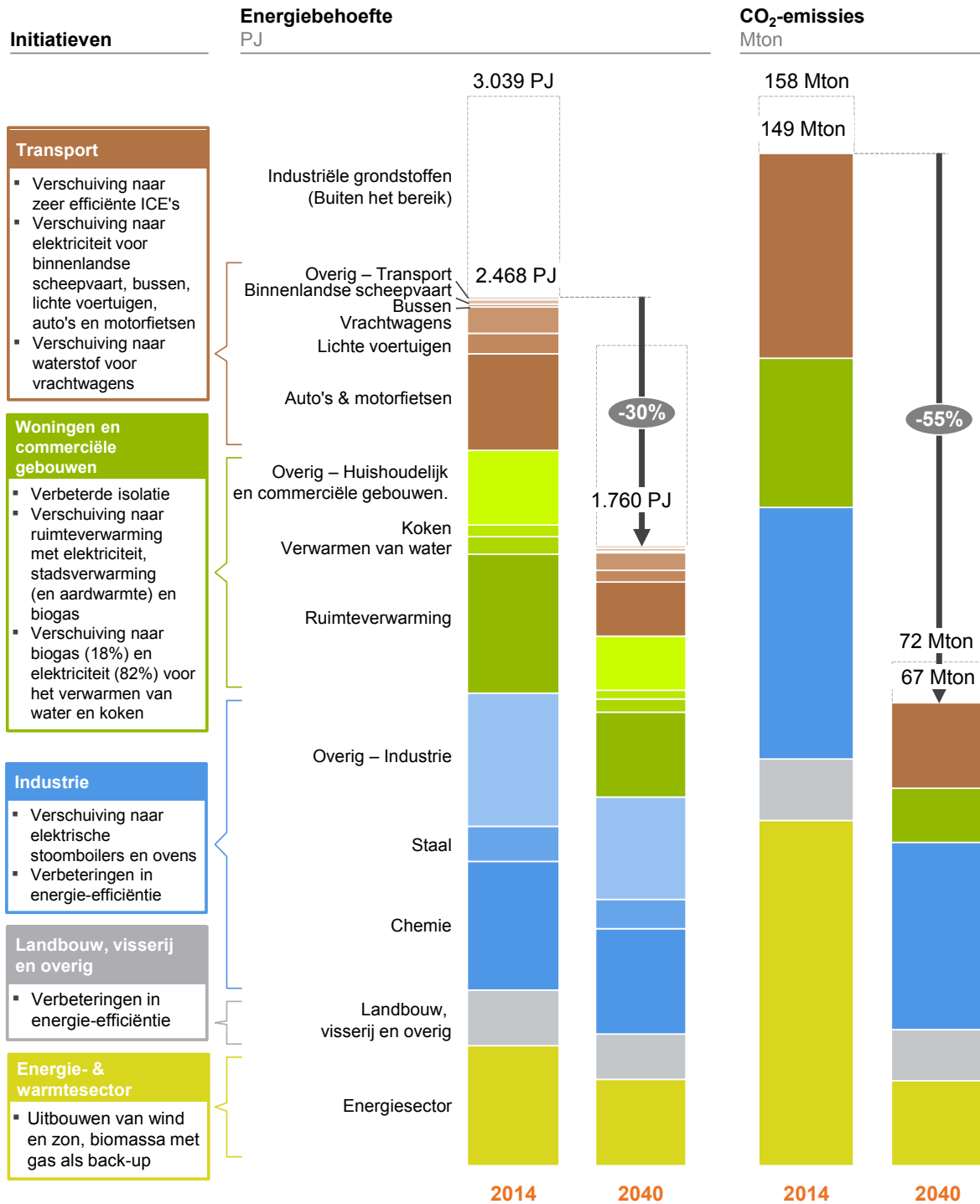
- Naar schatting kunnen niet-CO₂-emissies uit landbouw, industrie en afval worden verlaagd tot een restniveau van 14 Mton CO₂e, waarboven de kosteneffectiviteit en technische haalbaarheid verdere verbeteringen beperken (zie voor meer achtergrondinformatie PBL, 2011). Lineaire interpolatie tussen de huidige niveaus (29 Mton CO₂e) en de doelstelling van 2050 geeft een restniveau van 18 Mton CO₂e voor niet-CO₂ BKG in 2040. Om 60 procent emissiereductie in 2040 te bereiken moeten CO₂-emissies dus worden verlaagd naar 72 Mton CO₂.
- Van de CO₂-emissies komt 7 Mton van emissies van industriële processen (zoals cementproductie) en 151 Mton van energiegerelateerde activiteiten. Ook nemen we een lineaire extrapolatie aan van gerealiseerde emissiereducties tussen 1990 en 2014 (van 9 naar 7 Mton) tot 2040 (5 Mton resterend).

Waar mogelijk lichten we mogelijkheden uit die Nederland voordeel bieden (zoals een progressieve offshore windindustrie, uitgebreide kennis van aardgas-infrastructuur, bewezen innovatiehubs, en ruime ervaring met grootschalige projecten, zoals de Deltawerken en het uitrollen van het gasnetwerk) bij het aangaan van de uitdagingen van het introduceren en opschalen van nieuwe energie-oplossingen en het integreren van deze oplossingen in de energiesystemen van het land.

De rest van dit rapport volgt de logica die onze analyse onderbouwt. We definiëren eerst wat we zien als een plausibele, constructieve reeks veranderingen die plaats kunnen vinden in de sectoren die het grootste deel van de energievraag en het energieverbruik van het land voor hun rekening nemen. Vervolgens bekijken we de invloed van die veranderingen op het systeem van energieopwekking en -distributie. We sluiten af met onze schattingen van de economische en financiële impact van de energietransitie, in termen van investeringseisen en effecten op BBP en werkgelegenheid.

Figuur 4

De energiebehoefte daalt met 30% en de (energetische) CO₂-emissies met ~55%

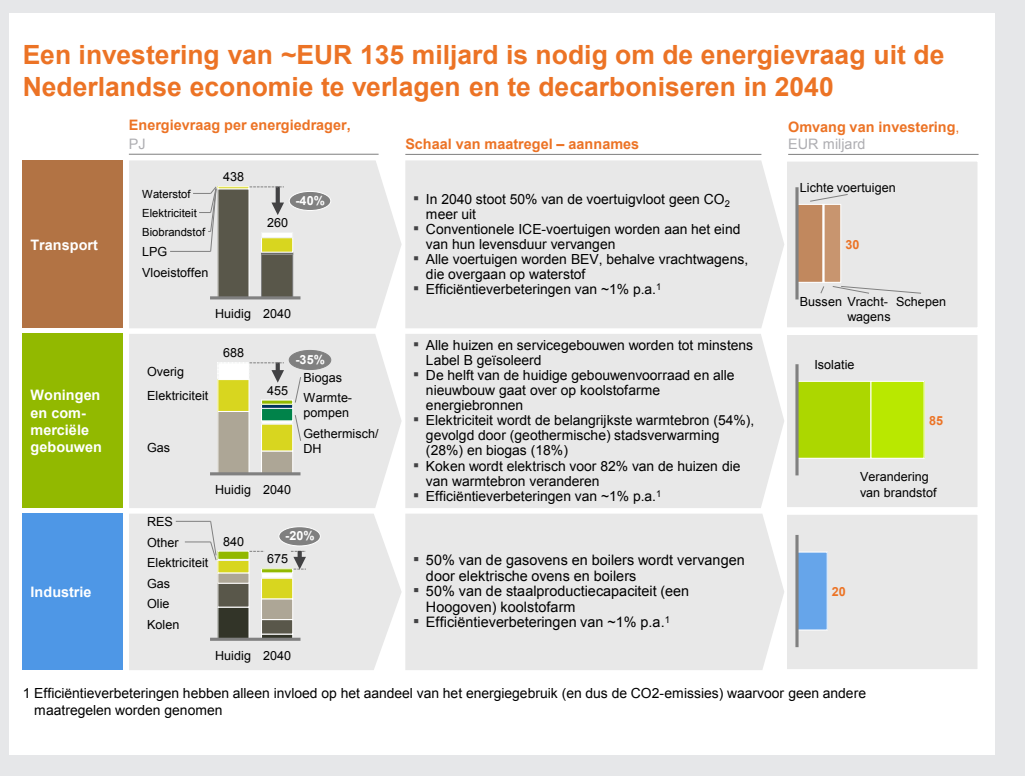


BRON: CBS-gegevens uit 2014

Uit onze analyse komt naar voren dat het toepassen van een combinatie van energie-efficiëntie maatregelen⁸ en het versnellen van de implementatie van geavanceerde technologieën voor de helft van de betreffende sectoren de vraag naar primaire energie met 30 procent kan verlagen (Figuur 4) - voldoende om de uitstoot van CO₂ met ca. 55 procent te verlagen. Tegelijkertijd zouden deze veranderingen het aandeel van de finale energievraag van de energiesector verdubbelen, van 17 procent nu naar zo'n 32 procent in 2040.

Sommige vraagsectoren kunnen hun emissies op korte termijn beginnen te verlagen met bewezen aanpakken op basis van relatief ontwikkelde technologieën. Hieronder vallen verbeteren van gebouwisolatie en een verschuiving naar elektrische voertuigen (EV's). In andere sectoren zullen de veranderingen langzamer gaan, vooral omdat de noodzakelijke technologieën nog niet breed beschikbaar zijn of niet praktisch op grote schaal in te zetten zijn. Deze veranderingen omvatten het vervangen van zware vrachtwagens door voertuigen op waterstof (waarvoor ook een distributie-infrastructuur voor waterstof moet worden uitgerold) en het uitfasen van fossiele brandstoffen in industriële processen (Figuur 5). Meer informatie over de aannames achter onze analyse is te vinden in Bijlage I - methodologische achtergrond.

Figuur 5



8 Aangenomen jaar-op-jaar efficiëntieverhoging van ongeveer 1 procent voor energiegebruik dat niet wordt gedekt door andere beoogde maatregelen. Deze aanname is in lijn met of conservatief vergeleken met gepubliceerde doelstellingen voor individuele sectoren (bijv. 'routekaarten industrie' – streeft naar 5,7 Mton CO₂-reductie (90 PJ) in 2030 door middel van energie-efficiëntie en procesintensivering).

Transport

Om een plausibel scenario voor een energietransitie in de transportsector te maken hebben we een aantal potentiële veranderingen beoordeeld en één verandering per transportmiddel gekozen.⁹ Bij elkaar maken deze veranderingen mogelijk dat de helft van de transportsector¹⁰ bijna uitsluitend duurzame energie gebruikt in 2040, wat leidt tot een emissiereductie van 17 Mton CO₂. De veranderingen draaien vooral om elektrificatie:

Lichte voertuigen vervangen door EV's – lichte voertuigen vormen 76 procent van het energiegebruik binnen transport. We nemen aan dat voertuigen met interne verbrandingsmotoren voor 50% wisselen naar EV's als het gaat om lichte voertuigen (LDV's) voor 2040. Deze transitie kan relatief snel ontstaan omdat de TCO van lichte EV's dichterbij die van lichte voertuigen op gas en diesel ligt dan bij elk ander voertuigtype, en het gat blijft krimpen nu de prijzen van accu's dalen. Vooral voor kleine(re) auto's is slechts een beperkte extra investering nodig (~EUR 1 miljard) aangezien het verschil in TCO voor 2020 minder dan 1 cent/km wordt. Tegelijkertijd nemen we aan dat de resterende voertuigvloot richting zeer efficiënte interne verbrandingsmotoren (ICE's) beweegt.

Zware voertuigen vervangen door waterstof (vrachtwagens) en EV's (bussen – deze zware voertuigen vormen respectievelijk 17 en 2 procent van het energieverbruik binnen transport (81 PJ). We nemen een geleidelijke overgang aan van voertuigen met interne verbrandingsmotoren naar EV's, voertuigen die worden aangedreven door vloeibaar aardgas (LNG) en voertuigen die worden aangedreven door waterstof. Over het algemeen zijn brandstoffen met een hoge energiedichtheid voordelig voor vrachtwagens die zware ladingen over lange afstanden vervoeren. Voor ons scenario nemen we aan dat zware voertuigen die vooral voor korte ritten worden gebruikt (dus minder dan 100 km, binnen steden, zoals bussen en kleine vrachtwagens) vervangen kunnen worden door EV's, terwijl zware voertuigen die voor langere afstanden worden gebruikt uiteindelijk worden vervangen door voertuigen op waterstof, met een aantal LNG-aangedreven voertuigen als tussenoplossing. We zijn ons ervan bewust dat dit niet op deze manier hoeft te gebeuren als andere emissievrije brandstoffen een doorbraak maken of als hybride oplossingen voldoende zijn (bijv. 'last mile' elektrisch). Tegelijkertijd nemen we weer aan dat de resterende voertuigvloot richting zeer efficiënte interne verbrandingsmotoren beweegt.

Motorfietsen vervangen door elektrische motorfietsen of de motor vervangen – snelle conversie naar elektrische motoren. Een dergelijke snelle verandering is recentelijk geïmplementeerd in Beijing, waar motoren werden vervangen, en ook in bijvoorbeeld Amsterdam worden oudere niet-efficiënte scooters en motorfietsen vanaf 2018 uit het stadscentrum geweerd.

⁹ Omdat luchtvaart en bunkering uit officiële berekeningen van de totale energieconsumptie van Nederland zijn uitgesloten, hebben we ze uit onze analyse weggelaten.

¹⁰ Diverse mobiliteit (inclusief auto delen), verbeterde connectiviteit en autonome voertuigen - dit heeft allemaal invloed op het aantal auto's, de gereisde afstand per auto en de manier waarop er in auto's wordt gereden. Tegelijkertijd beïnvloedt dit ook de manier waarop en de mate waarin openbaar vervoer wordt gebruikt. Voor nu hebben we aangenomen dat het aantal en de mix van voertuigen in 2040 vergelijkbaar is met nu.

Vervangen van binnenvaartschepen door elektrische schepen of vervangen van de motor – omdat de afgelegde afstand meestal relatief kort is (bijv. korte veerponten over rivieren en kanalen) worden traditionele schepen aan het eind van hun levensduur omgebouwd tot schepen met elektrische motoren, of waar mogelijk kan de motor eerder worden vervangen.

Verbeteren van de efficiëntie van treinen, trams en trolleys – de Nederlandse spoorwegen rijden vooral op elektriciteit, dus de grootste emissiereductie moet komen van een verschuiving van de opwekkingscapaciteit van het land naar duurzame energiebronnen. Deze verschuiving beschrijven we in het volgende deel.

We schatten dat de kosten van deze reeks maatregelen ca. EUR 30 miljard zullen zijn tussen 2020 en 2040. Onze schattingen zijn gebaseerd op een gefaseerde aanpak van het implementeren van de bovenbeschreven veranderingen, en zijn berekend als het verschil in TCO tussen het CO₂-arme alternatief en diens conventionele tegenhanger. Hiervoor moeten de goedkoopste, meest geavanceerde technologieën direct worden geïmplementeerd. Technologieën die nu nog relatief duur of minder ontwikkeld zijn moeten geleidelijk worden ingevoerd. De projecties omvatten ook de kosten van het installeren van elektrische oplaadpunten, waterstoftankstations en andere typen infrastructuur die nodig zijn om een breder scala van krachtbronnen te ondersteunen.

Als de brandstoffen van Nederlandse voertuigen diverser worden, moet de energiemix van het land ook veranderen. De totale energievraag zou met ongeveer 60 PJ stijgen en de vraag naar waterstof zou met ongeveer 20 PJ stijgen. De vraag naar fossiele brandstoffen in de transportsector zou met meer dan 40 procent dalen, wat resulteert in een grote verbetering in de totale energie-efficiëntie en in een enorme verlaging van de CO₂-intensiteit van vervoer.

Verwarming van woningen en commerciële gebouwen

Om de CO₂ emissies van verwarming (van ruimtes en water) en koken in woningen en commerciële gebouwen te verlagen hebben we twee gebieden onderzocht: betere isolatie voor zover dat economisch gezien praktisch is, en het introduceren van nieuwe verwarmingsoplossingen.

Voor bestaande gebouwen zou het verbeteren van de isolatie tot de normen van energielabel B (netto energieverbruik van minder dan 1,3 GJ per vierkante meter) het energieverbruik voor verwarming met ca. 30 procent verlagen. Nieuwe gebouwen moeten worden geïsoleerd volgens de normen van energielabel A (netto energieverbruik van minder dan 1,05 GJ per vierkante meter).

De helft van de bestaande gebouwen zou moeten overgaan op duurzame warmtebronnen: 18 procent moet overgaan op biogas, 54 procent op een mix van aard- en luchtwarmtepompen, en 28 procent op stadsverwarming¹¹. We nemen aan dat de helft van

¹¹ Voor alternatieve verwarmingsoplossingen volgen we gedeeltelijk scenario's die zijn ontwikkeld door CE Delft. We maken gebruik van hun classificatie van "15 wijken" met een agressievere aanname rond elektrische verwarming, en we gebruiken deze om energie-reductiepotentieel en investeringsbehoefte te schatten.

de stadswarmte uit diepe geothermische bronnen komt en de andere helft uit industriële restverwarming, verbrandingsovens en andere efficiënte, koolstofarme, bronnen. De kooktoestellen (fornuizen) moeten ook veranderen, behalve voor de panden die op biogas overgaan.

We schatten dat deze veranderingen een investering van ca. EUR 85 miljard zullen vereisen¹²: EUR 50 miljard om de isolatie te verbeteren; EUR 33 miljard om warmtebronnen om te zetten; en EUR 7 miljard om warmtepompen in nieuwe gebouwen te bekostigen in plaats van gasgestookte apparatuur, gedeeltelijk gecompenseerd door EUR 5 miljard aan besparingen voor vermeden of verlaagde kosten door gesloopte gebouwen. Voor deze sector hebben we geen rekening gehouden met gedeeltelijke terugbetaling van deze investeringen; zo zal bijvoorbeeld betere gebouwisolatie leiden tot lagere energierekeningen. Verbeterde isolatie in combinatie met andere energie-efficiëntiemaatregelen en het veranderen van warmtebronnen in gebouwen zou de vraag naar fossiele brandstof verlagen met zo'n 240 PJ per jaar. De vraag naar stroom zou ruwweg worden verhoogd met 40 PJ per jaar, naar biogas met 30 PJ per jaar en naar stadsverwarming met 30 PJ per jaar.

Zware industrie

In ons scenario nemen we aan dat industrie ca. 1 procent verbetering in energie-efficiëntie bereikt gedurende 20 jaar, jaar-op-jaar, in lijn met de eigen ambities van de sector. Daarnaast hebben we de mogelijkheden geanalyseerd voor verdere efficiëntiewinst en emissiereducties in de chemie- en staalsector, die nu samen 67 procent van het energetische industriële energieverbruik voor hun rekening nemen. Het is (nog) minder zeker welke maatregelen of strategieën voor het volledig uitbannen van CO₂-emissies uiteindelijk in deze sector zullen spelen - met CCS als voorbeeld van een techniek die een verschil zou kunnen maken. Bovendien kunnen er volledig andere producten en processen worden gebruikt waarvoor andere energiebronnen nodig zijn.

De industrie zou zich richten op het verbeteren van efficiëntie en het gebruiken van meer elektriciteit in plaats van andere energiebronnen - behalve in de configuraties waar nu zeer veel (fossiele) restwarmte wordt gebruikt. Effectief kunnen gasovens en gasketels vervangen worden door hun elektrische tegenhangers. Voor dit gedachte-experiment hebben we een budget voor emissiereductie aan de staalsector toegewezen. Technologische opties kunnen bestaan uit efficiëntieverbeteringen en procesveranderingen zoals het Hlsarna-proces¹³ – waarmee CO₂-emissies met maar liefst 20 procent kunnen worden verlaagd (exclusief extra voordelen uit CCS/U, die als ze worden geïmplementeerd de reducties tot 80 procent kunnen verhogen). Een andere bestaande optie is overgaan van kolengestookte hoogovens naar hoogovens die op houtsnippers of houtskool worden gestookt. Men kan ook een ander

¹² Volgens ons is dit een hoge inschatting van de uiteindelijke kosten, omdat leercurves voor het verlagen van bijvoorbeeld geothermische kosten en kosten van elektrische warmtepompen te verwachten zijn. Hiermee is hier geen rekening gehouden.

¹³ Bij het Hlsarna-proces (ontwikkeld door Tata Steel IJmuiden) verbetert de energie-efficiëntie (met tot 20 procent) vanwege het weglaten van bepaalde voorbereidende stappen in het proces van ijzer maken. Als dit zou worden gecombineerd met CSS-technieken, is de verwachting bovendien dat het de CO₂-emissies met 80 procent per ton staal verlaagt.

proces voor het maken van staal gaan gebruiken en biogas inzetten om direct-gereduceerd ijzer (DRI) te produceren, wat vervolgens in elektro-ovens (EAF) in staal kan worden omgezet. Andere veel genoemde technologieën zijn elektrolyse, waterstof en 3D-printing met schroot. Deze technologieën lijken allemaal nog niet klaar voor grootschalige implementatie. De sector zou ook zijn bestaande ovens kunnen vervangen door elektro-ovens (EAF) die alleen gebruik maken van gerecycled staal - waardoor de algehele kwaliteit van het geproduceerde staal wordt verminderd.

Het implementeren van wijzigingen in deze twee zware-industriese sectoren zou een investering van minstens EUR 3 tot 5 miljard vergen. Afhankelijk van specifieke technologische keuzes en emissiereductie doelstellingen, kan dit bedrag flink stijgen. Aangenomen dat biogas duurder is dan aardgas en dat elektriciteit duurder is dan kolen, zouden de jaarlijkse bedrijfskosten van de sector stijgen. Andere te overwegen opties zouden zijn om goedkope (overtollige) energie te gebruiken om relatief goedkope waterstof en stoom te creëren voor industriële processen. Potentiële veranderingen in de bedrijfskosten moeten worden aangepakt in de context van internationale concurrentie. In totaal zou de industrie na deze maatregelen de energievraag met 215 PJ zien dalen vanwege efficiëntieverbeteringen, terwijl de elektriciteitsvraag stijgt met 122 PJ en de vraag naar biogas met 33 PJ.

Deze investeringen zijn, relatief aan de huidige winstmarges en investeringsniveaus en in het licht van de internationale markt waarin ze werken, bijna onhaalbaar zonder een incentive- en investeringsstructuur die een aantal van de negatieve effecten op individuele fabrieken of ondernemingen verzacht.



Box I – bunkering en luchtvaart

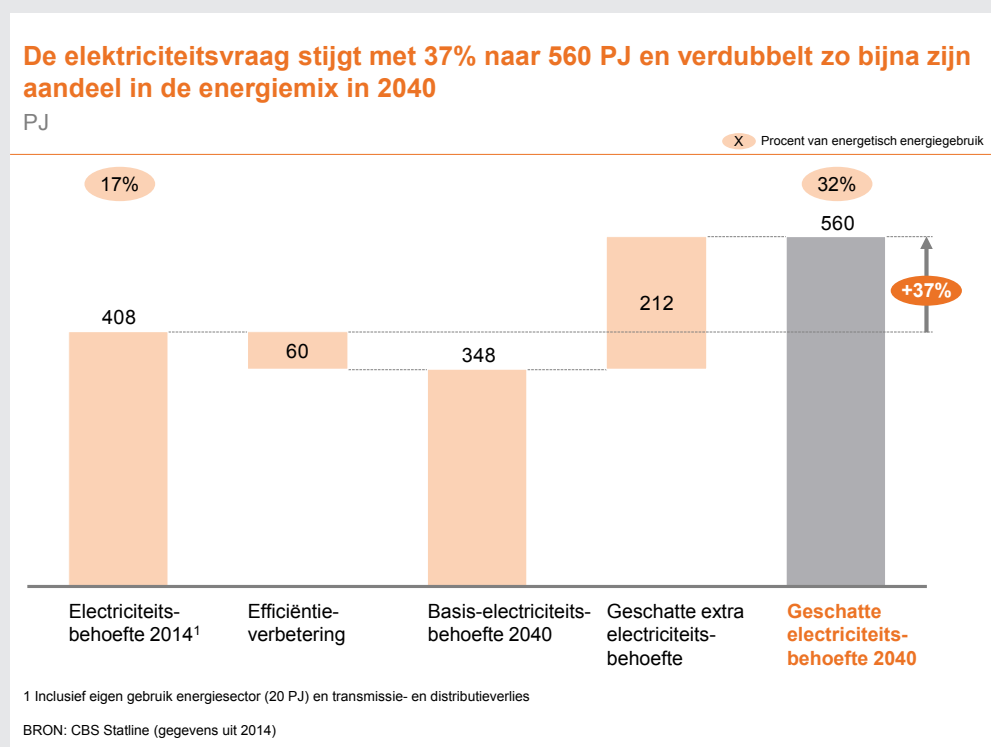
Emissies van bunkering en luchtvaart worden apart gerapporteerd en zijn niet onderworpen aan reductieverplichtingen van de in Bijlage I opgenomen partijen in het kader van het Verdrag en het Protocol van Kyoto. Daarom hebben we ze hier ook buiten beschouwing gelaten. Ze vormen echter een wezenlijk deel van de uitstoot van koolstofdioxide die door het Nederlandse territorium wordt geleverd: Bunkering en internationale luchtvaart consumeren samen een extra 692 PJ bovenop de 3.039 PJ (zie Figuur 3). Voor zowel bunkering als luchtvaart is de koolstofintensiteit van de energiedrager relatief hoog en de corresponderende CO₂e-emissies komen respectievelijk op 42 en 11 Mton CO₂e.

Voor de luchtvaart wordt voor het uitbannen van koolstof het meest gewezen naar biobrandstof of andere vloeibare brandstof (bijv. uit duurzame energiebronnen). Directe zonne-energie heeft ook mogelijkheden, maar staat nog in de kinderschoenen (er vliegt pas één bemand vliegtuig op zonne-energie). Voor bunkering kan, afhankelijk van de afgelegde afstand, elektrificatie een rol spelen. Net als bij andere zware transportvormen kan LNG dienen als (tussen)oplossing. Andere oplossingen voor langere reisafstanden (meer dan 500 km) omvatten vervanging door of gelijktijdig stoken van biobrandstof en koolstofvrije duurzame of zonnebrandstoffen zoals waterstof, ammoniak en methanol.

Emissie-arme energievoorziening: een derde minder energie, een derde meer elektriciteit

In het hierboven beschreven scenario zou de energievraag van Nederland in 2040 met ca. 30 procent zijn gedaald tot 1760 PJ (Figuur 4), terwijl de stroomvraag zou stijgen met 37 procent, naar zo'n 560 PJ (Figuur 6). Het land zou ook een hogere vraag ervaren naar biogebaseerde brandstoffen en grondstoffen (240 PJ t.o.v. 117 PJ in 2014)¹⁴ en een lagere vraag naar fossiele brandstoffen. In dit scenario zouden alle drie de delen van de nationale energie-infrastructuur - het elektriciteitsnet, het gasdistributienetwerk (met een verdeling tussen hoog- en laagcalorisch gas) en tank- of bunkeringstations - ook significant moeten veranderen.

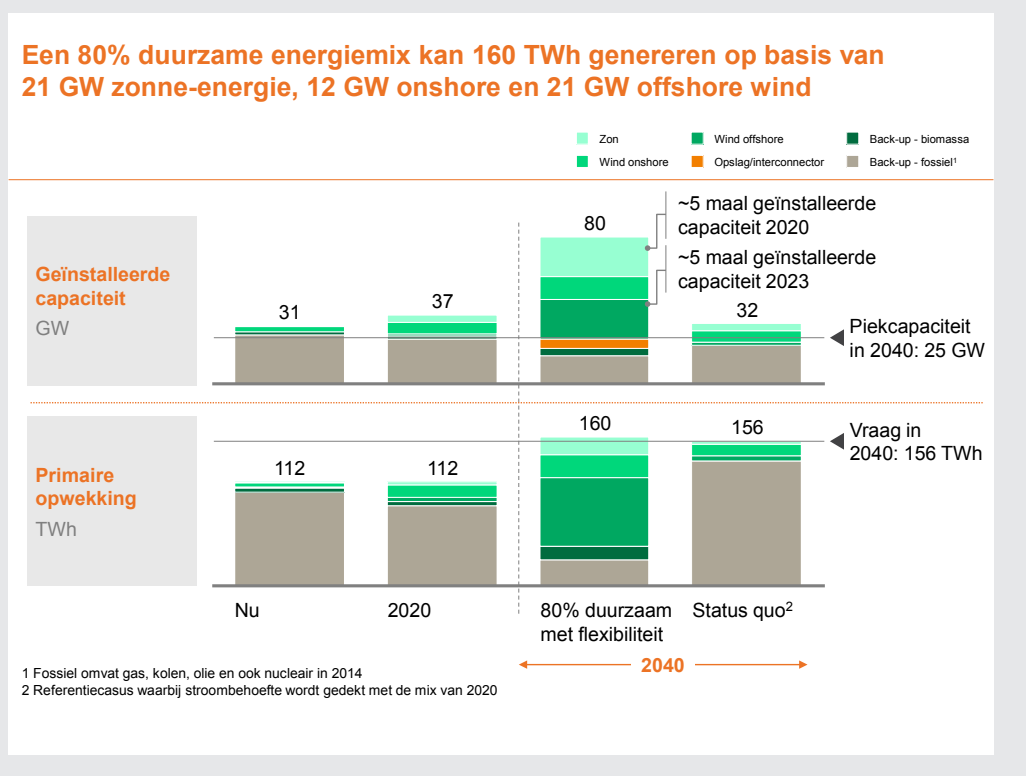
Figuur 6



Het verlagen van de CO₂-emissies van het energiesysteem en tegelijkertijd voldoen aan een stijging van 37 procent in de electriciteitsvraag vormt een enorme uitdaging op het gebied van technologie, economie en implementatie. Om te zorgen dat maatregelen daadwerkelijk leiden tot CO₂-emissiereductie, moet de installatie van duurzame electriciteitsopwekking even snel plaatsvinden als de elektrificatie aan de vraagkant. Een systeem waarin 80 procent van de energie uit duurzame bronnen komt, kan de installatie met zich meebrengen van ca. 36 GW aan extra capaciteit, met jaarlijkse kosten van ruwweg EUR 10 miljard per jaar, exclusief transmissie- en distributiekosten (Figuur 7).

¹⁴ Naar schatting kan 100 tot 300 EJ aan biomassa per jaar duurzaam worden geproduceerd. Het "eerlijke aandeel" van Nederland hiervan zou ongeveer 200 tot 600 PJ per jaar zijn. Onze relatief bescheiden aannames over conversie naar biomassa (bijv. nog geen biogebaseerde chemieproductie, bescheiden gebruik van biogas voor verwarming) brengen het biomassaniveau van Nederland dus al boven de laagste schatting.

Figuur 7



Het introduceren van flexibiliteitsmaatregelen zou echter een meer kosteneffectief energiesysteem kunnen creëren met een hogere capaciteit. Dergelijke flexibiliteitsmaatregelen omvatten management van de vraagrespons en de vraagkant, energieopslag, en conversie van kolengestookte back-up naar op biomassa gestookte back-up. Om het elektriciteitsnet te laten werken op 80 procent duurzame stroom, kan een mix van bijvoorbeeld 33 GW geïnstalleerde windcapaciteit en 21 GW fotovoltaïsche zonne-energiecapaciteit werken. Er zou ook nog zo'n 24 GW back-up- of opslagcapaciteit nodig zijn om de resterende piekvraag te dekken. Circa 15 GW back-up capaciteit zou op basis van gas zijn; de rest kan bestaan uit door biomassa aangedreven capaciteit en kortdurende en langdurige energieopslag (Figuur 7 en 9).

De benodigde capex en opex voor het opzetten van het hier beschreven 80 procent duurzame generatiesysteem komen op ca. EUR 10 miljard per jaar, of zo'n EUR 2,5 miljard meer dan een systeem op basis van fossiele brandstoffen (aangenomen dat de kosten van zonne-energiesystemen en windturbines blijven dalen tot 2040 en dat de olieprijs zich herstellen tot USD 70 per vat) (Figuur 8). Na deze sterke prijsdalingen stijgen de "volledige" unitkosten van elektriciteit¹⁵ van EUR 67 per MWh naar EUR 79 per MWh

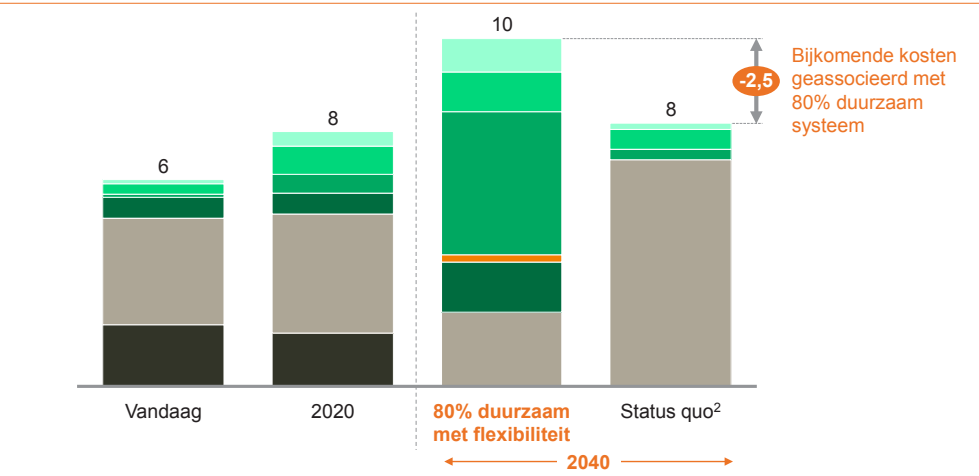
¹⁵ Deze "volledige" systeemkosten omvatten brandstofkosten, bedienings- en onderhoudskosten en kapitaalkosten. Ze kunnen daarom niet worden vergeleken met het prijsmechanisme van de groothandel, dat is gebaseerd op kortdurende marginale kosten (bijv. alleen brandstofkosten en bedienings- en onderhoudskosten)

Figuur 8

Totale systeemkosten zijn EUR 2,5 miljard hoger dan in de (op fossiele brandstof gebaseerde) status quo

Totale kosten elektriciteitssysteem¹,
EUR miljard/jaar

Zonnestroom Offshore wind Back-upgeneratie - biomassa
Onshore wind Opslag Back-upgeneratie - gas



¹ Omvat capex, O&M en brandstofkosten evenals (enkele) kosten voor het netwerk, 20% van de duurzame energie als stroom aan het netwerk toegevoegd, maar met hoge niveaus van niet-benutting - het introduceren van flexibiliteitsmaatregelen verbetert de systeemkosten
² Referentiecasus waarbij energiebehoefte wordt gedekt met de mix van 2020

Figuur 9

Hoe kan deze '80% duurzame stroomvoorziening' eruit zien?

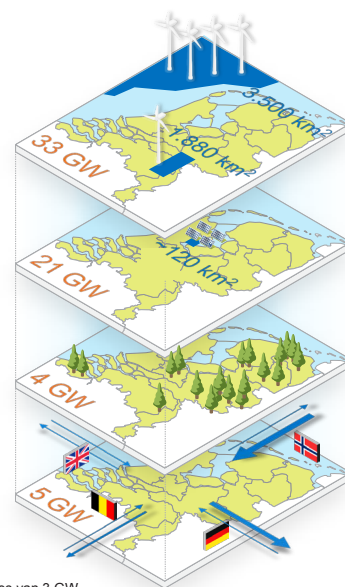
VOORBEELD

Wind
62% van de productie

Zonne-energie
12% van de productie

Biomassa
8%
(back-upcapaciteit)

Flexibiliteitsmaatregelen



- ~11 duizend turbines¹
- ~3.500 km² offshore (equivalent van 6% van het Nederlands Continentaal Plat)
- ~63 miljoen zonnepanelen²
- ~120 km² (bedekt een derde van het huidige dakoppervlak)
- Conversie van bestaande kolencentrales naar biomassa
- 8.500 kton droge biomassa³
- 4.250 km², of 140 Panamax-schepen
- Ter illustratie: flexibiliteitsmaatregelen kunnen bestaan uit een aanvullende verbinding van 5 GW naar Noord-Europa, of andere (seizoens-) opslagfaciliteiten

¹ Capaciteitsfactor van 45%, turbines van 3 GW
² 1,65 m² per zonnepaneel, 235 kW
³ 17 MJ/kg biomassa, 2 kton/km²

inclusief transmissie en distributie. Uiteraard zijn deze kosten afhankelijk van de timing en feitelijke ontwikkelingen van technologieprijzen.

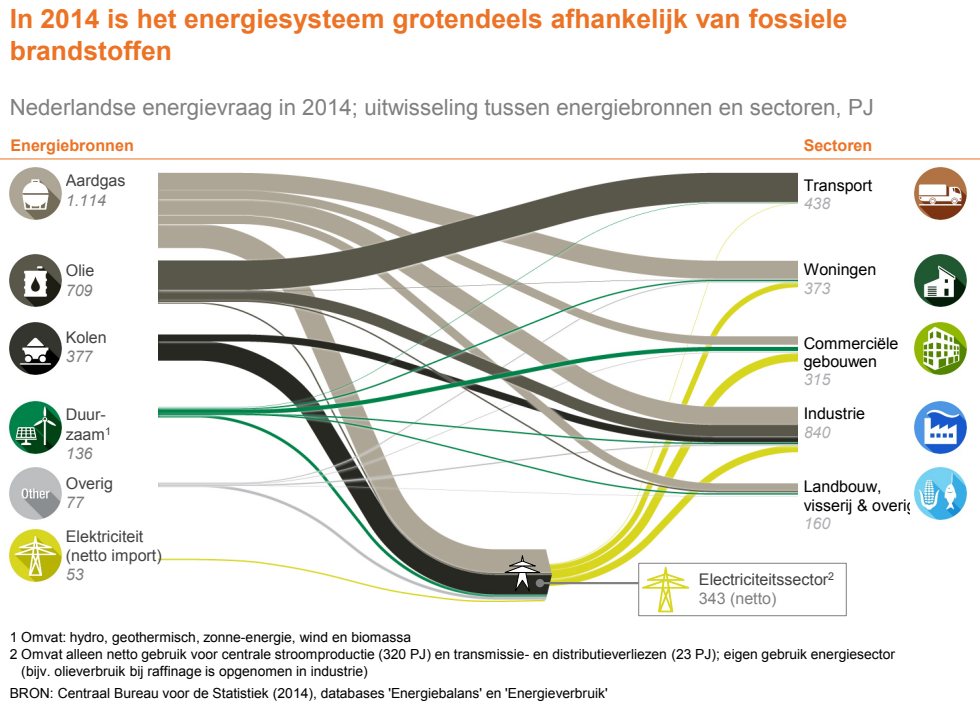
Een dergelijk systeem zou ook leiden tot een daling van CO₂-emissies: 75 procent minder, van 51 Mton per jaar naar 13 Mton (Figuur 4, Figuren 10 en 11, en 12). Het grootste deel van de reductie resulteert in een scherpe daling van het gebruik van fossiele brandstoffen voor gecentraliseerde elektriciteitsproductie, van 600 PJ naar ca. 223 PJ.

Het resulterende energiesysteem zou ook anders presteren en er anders uitzien dan nu (Figuur 9). De belangrijkste kenmerken zijn als volgt:

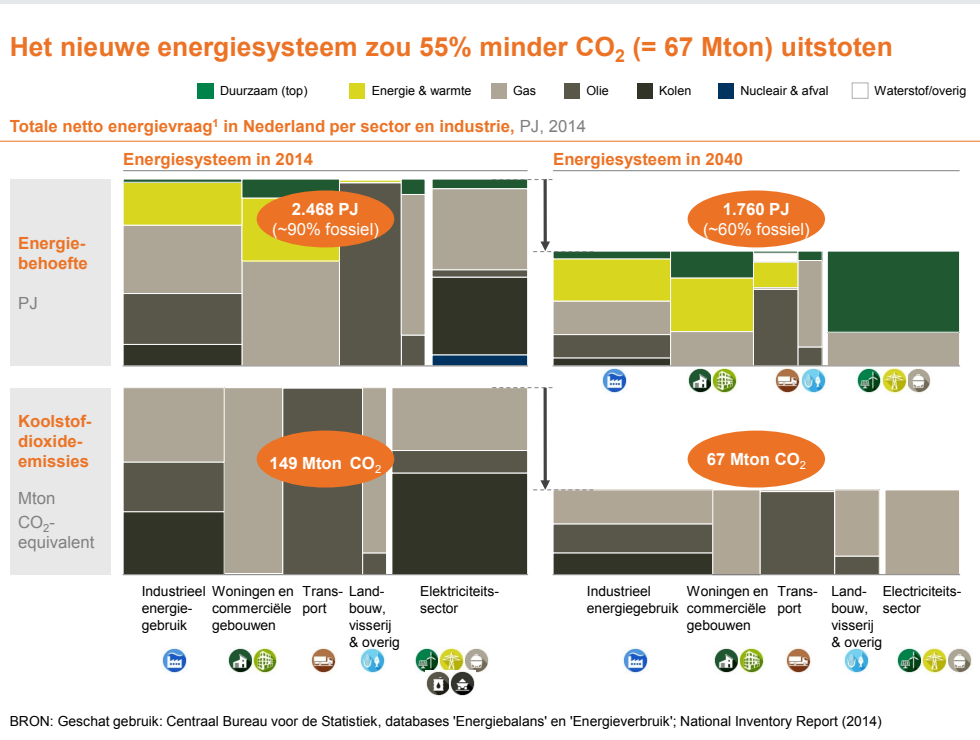
- Een betrouwbaar, flexibel transmissie- en distributienetwerk dat in staat is om de hogere piekvraag te leveren
- De ladingen op het netwerk in balans brengen, met een 'portfolio' van miljoenen EV's, warmtepompen en andere elektrische apparaten die gebruik maken van energie-managementtechnologieën aan de vraagkant
- Het vermogen om overtollige energie die door intermitterende duurzame bronnen zoals zon en wind wordt gegenereerd, op te slaan en te beheren
- Consistente levering van elektriciteit, dag en nacht en in elk seizoen, indien nodig uit opgeslagen energie of verschoven vraagmomenten

De primaire risico's die de implementatie van een dergelijk systeem beïnvloeden hebben te maken met financiering en de noodzaak om een nieuw marktmodel te ontwikkelen. Investeerders moeten tegemoet komen aan hoge initiële kapitaaleisen en marginale kosten van bijna nul; het intermitterend opwekken van energie door wind en zon moet worden geïntegreerd in het systeem als geheel; en er moet worden gezorgd voor energiezuikerheid gedurende het hele jaar, door middel van back-up- of opslagcapaciteit met een relatief lage bezettingsgraad.

Figuur 10



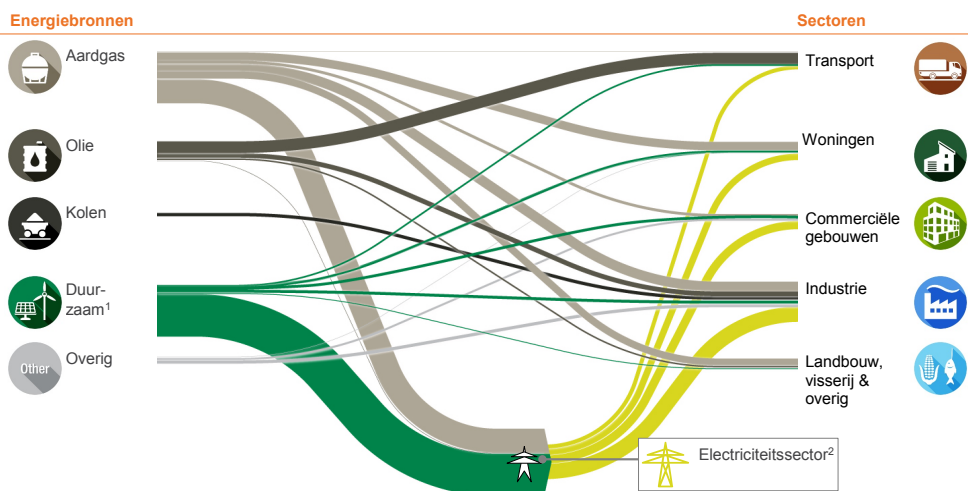
Figuur 12



Figuur 11

In 2040 is de aanblik en het functioneren van het energiesysteem heel anders

Nederlandse energievraag in 2040; uitwisseling tussen energiebronnen en sectoren, PJ



1 Omvat: hydro, geothermisch, zonne-energie, wind, biomassa en waterstof
2 Omvat netto gebruik van biomassa (94 PJ), gasgebruik (111 PJ) en eigen gebruik en transmissie- en distributieverliezen



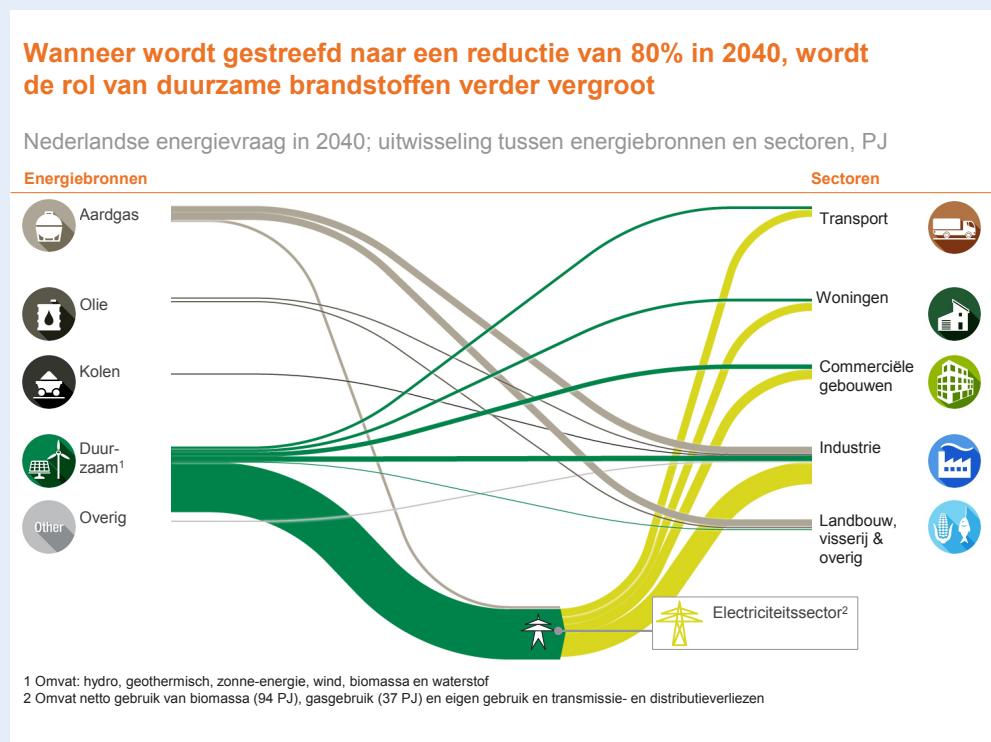
Box II – wat als we naar een hogere doelstelling streven?

Onze schattingen van de economische impact van de Nederlandse energietransitie zijn gebaseerd op de aanname dat Nederland emissiereducties van 80 procent gaat nastreven. Maar wat gebeurt er als Nederland de bovengrens van de EU-doelstelling wil of moet halen: een reductie van 95 procent in 2050?

In een dergelijk scenario verwachten we dat Nederland zijn elektriciteitsvraag zou verdubbelen, zijn vraag naar andere (CO₂-)emissie-vrije energiedragers zou verhogen en zijn afhankelijkheid van fossiele brandstoffen enorm zou verminderen. Het financieren van een dergelijke transitie zou veel meer investeringen vergen, in totaal EUR 300 miljard in 2040, of EUR 15 miljard per jaar.

De tabel op de volgende pagina vat de essentiële verschillen samen tussen het "base case"-scenario uit dit rapport en het ambitieuzere scenario van een reductie van 80 procent in 2040 (op weg naar 95 procent in 2050).

Figuur 1

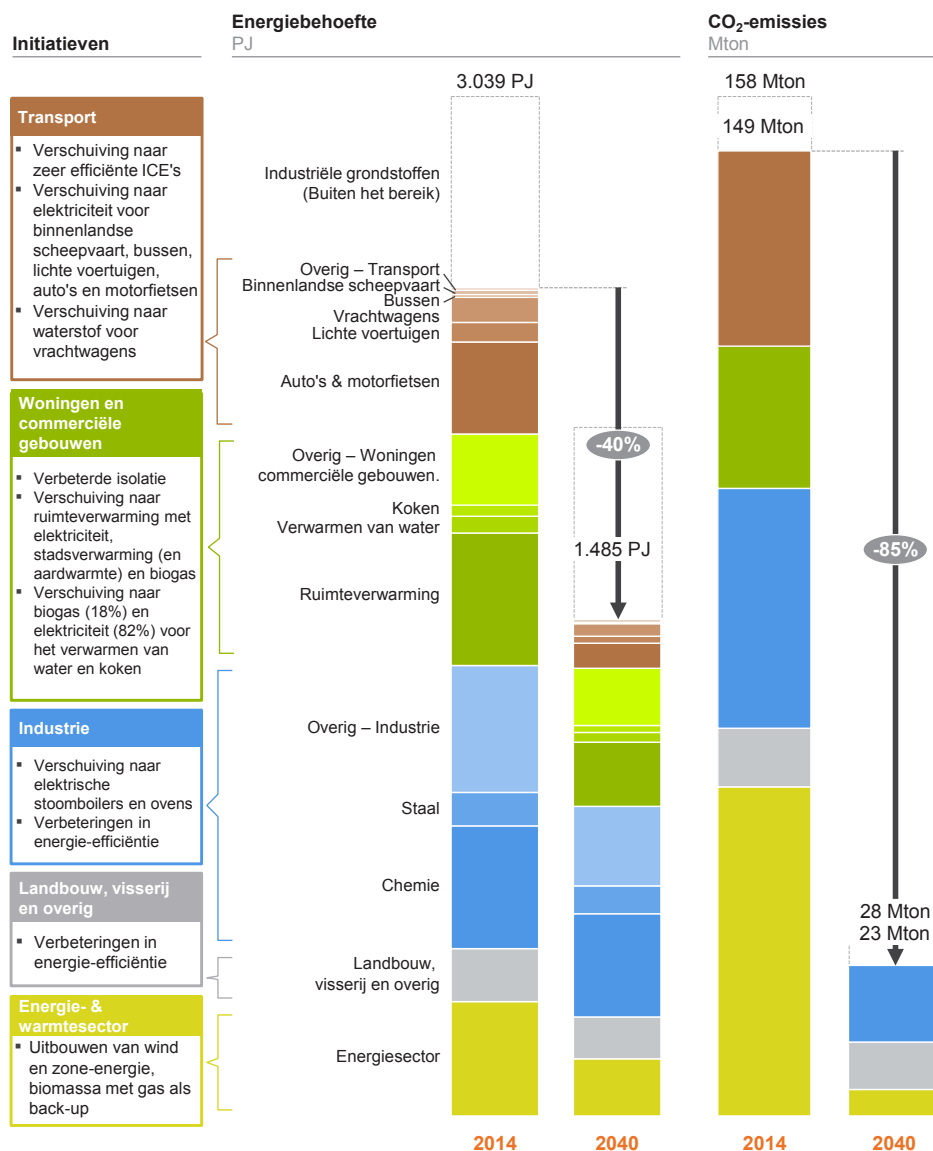


Figuur 2

	In de analyse gebruikt basis-scenario – 80% in 2050	Ambitieuzer scenario – 95% in 2050
In 2050 bereikte emissiereductie, totaal	80 procent (60 procent in 2040)	95 procent (80 procent in 2040)
Veranderingen in belangrijkste aannames	Transport	100 procent van LDV's en bussen naar EV, 50 procent van vrachtwagens op waterstof
	Woningen en commerciële gebouwen	100 procent van gebouwweriming verandert van warmtebron
	Zware industrie	Elektrificatie van 100 procent van de ovens en boilers Omzetten van beide hoogovens naar koolstofarm proces
Energiebehoefte in 2040 (reductie t.o.v. 2016)	1.760 PJ (-28 procent) 61 procent op fossiele basis	1.487 PJ (-40 procent) 26 procent op fossiele basis
Capaciteit voor stroomopwekking in 2040 (procentuele verandering vanaf 2016)	80 procent RES: 78 GW 156 TWh (+38 procent)	95 procent RES: 137 GW 210 TWh (+90 procent), plus 59 TWh niet-benutting
Vereiste investering, 2020-2040	Totaal: EUR 200 miljard Transport: EUR 30 miljard Woningen en comm. gebouwen: EUR 85 miljard Industrie: EUR 20 miljard	Totaal: EUR 300 miljard Transport: EUR 60 miljard Woningen en comm. gebouwen: EUR 120 miljard Industrie: EUR 35 miljard
Vereiste jaarlijkse investering	EUR 10 miljard	EUR 15 miljard

Figuur 3

De energiebehoefte halveert bijna en de emissies dalen met ~85%



De waarde van investeringen maximaliseren

Hoe kunnen we de voordelen van deze investeringen maximaliseren? Om van de veranderingen te profiteren moeten beleidsmakers en zakelijk leiders naar kansen zoeken om de waarde van de investeringen in een koolstofarm energiesysteem te maximaliseren. We zien vier belangrijke manieren waarop het rendement van investeringen kan worden vergroot:

Door het creëren van nationale schaalectonomieën en het verlagen van kosten in energiegerelateerde industrieën. Een grootschalig, goed gepland programma om de uitstoot van de Nederlandse economie te verlagen, zal de vraag naar emissie-arme energiediensten en apparatuur verhogen, zodat bedrijven hun productie kunnen uitbreiden en de kosten kunnen verlagen. In de offshore windsector zijn de kapitaalkosten bijvoorbeeld sterk afhankelijk van de prijs van windturbines (ca. 50 procent van de capex), gevolgd door de fundering en installatie (ca. 25 procent), bekabeling en transmissie. Apparatuur-, installatie-, bedienings-, en onderhoudskosten zouden allemaal moeten dalen wanneer de sector voor windenergie groeit (IRENA, 2012). Het plannen van energieprojecten met een vooruitziende blik op verwachte ontwikkelingen in de vraag gedurende de komende decennia kan ook leiden tot verbeteringen in het systeemontwerp en de integratie. Hierdoor kunnen de totale kosten worden verlaagd.

Door investeringen in minder efficiënte apparatuur te vermijden. Direct overgaan op emissie-vrije technologie kan leiden tot kostenbesparingen omdat huishoudens en bedrijven geen geld uitgeven aan apparatuur die uiteindelijk moet worden vervangen door emissie-arme of emissie-vrije apparatuur. Bovendien vermijden activa-eigenaren dat ze worden opgezadeld met inefficiënte, koolstof-intensieve activa.

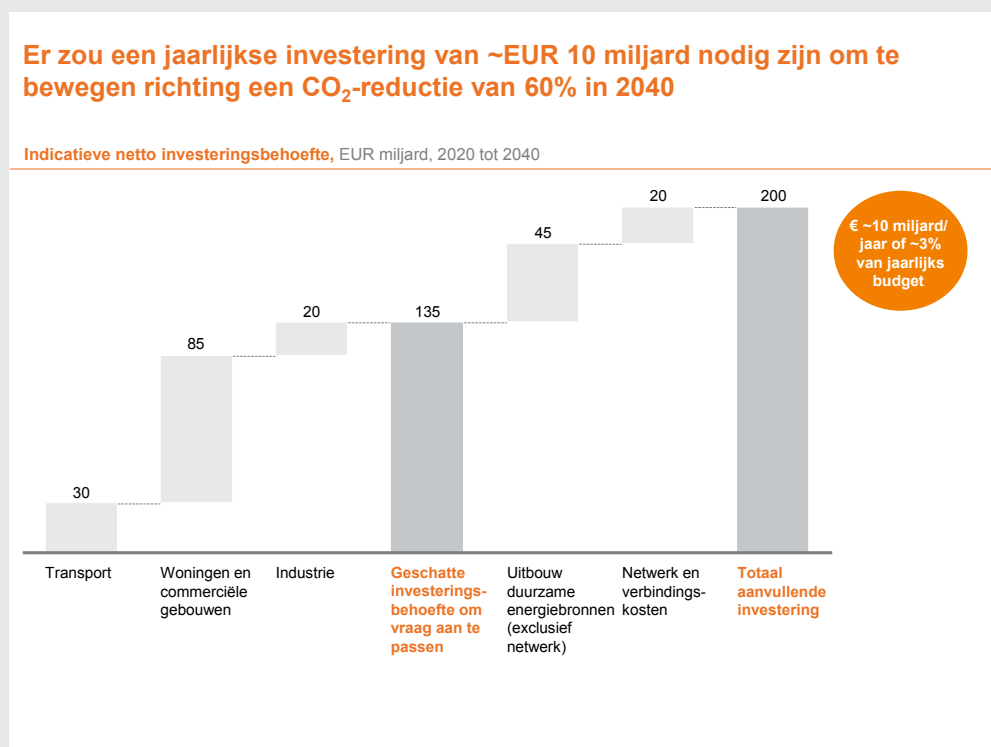
Door nieuwe economische activiteit in kernsectoren aan te trekken en te stimuleren. Een duidelijke visie en routekaart creëren om sectoren met aantrekkelijke economische activiteiten op te bouwen. Autofabrikanten en accufabrikanten zouden het bijvoorbeeld aantrekkelijk kunnen vinden om fabrieken te plaatsen in een land waar mensen en bedrijven 200.000 – 400.000 EV's per jaar kopen. Nederland is al de thuisbasis van de grootste assemblagefabriek van Tesla in Europa. Op dezelfde manier kan Nederland een aantrekkelijke locatie worden voor fabrikanten en installateurs van offshore windapparatuur, met een betrouwbare vraag naar turbines ter waarde van meer dan 1 GW per jaar. Ook kan de focus op innovatie en R&D rond bijvoorbeeld het maken van brandstof uit zonne-/windenergie en de verdere integratie van duurzame energiebronnen in het systeem de economische activiteit verder stimuleren. Zie Box III voor meer ideeën over dit onderwerp. Het is hierbij belangrijk om te benadrukken dat de focus van de nieuwe economische activiteit moet liggen bij de activiteiten waarin Nederland een onderscheidende factor kan zijn of worden, een leider op Europese of wereldwijde schaal.

Door aangrenzende economische sectoren te transformeren. De energietransitie kan investeringen en innovaties aanjagen in ondersteunende velden, zoals financiën en technologie. Financiële instellingen kunnen bijvoorbeeld nieuwe dealstructuren creëren om het risico van grote investeringen in energie-activa te verlagen. Waarschijnlijk slijpen er meer veranderingen door in andere sectoren van de economie, zodat er nog meer economisch gewin wordt behaald.

Een inschatting maken van de economische impact van de energietransitie

Onze analyse suggereert dat Nederland economische waarde kan creëren door zijn transitie naar een emissie-arm energiesysteem te versnellen. We schatten dat deze versnelde transitie jaarlijkse investeringen zal vereisen van EUR 10 miljard tussen 2020 en 2040, of EUR 200 miljard in totaal (Figuur 13)¹⁶. Hoewel dit een wezenlijke hoeveelheid geld is - meer dan de EUR 8 miljard per jaar die Nederland nu besteedt aan infrastructuur en milieubescherming - komt uit onze analyse naar voren dat de investering een positief effect op het BBP kan hebben. Deze stijging zou voort komen uit drie effecten op de Nederlandse economie.

Figuur 13



Het economische effect van investeringen. Het verhogen van het investeringsniveau is goed voor de eerste tranche van de BBP-stijging die wordt geassocieerd met een versnelde energietransitie. Onze initiële economische voorspelling, die is ontwikkeld met behulp van het Global Growth Model van het McKinsey Global Institute, geeft aan dat een versnelde energietransitie een bescheiden impuls aan het BBP zou geven van ca. 0,8 procent (van 1,9 procent groei naar 2,7 procent). De uiteindelijke samengestelde invloed van nieuwe investeringen in 2040 resulteert in een reëel BBP van ca. +1 procent vergeleken met een 'business as usual' scenario, aangenomen dat de totale investeringen gelijk over de tijd worden verspreid (10 miljard/jaar). Deze BBP-stijging is in lijn met de eerder geschatte BBP-verandering van -0,2 procent en 1,8 procent voor de hele EU (ECF, 2015).

¹⁶ Het moet echter worden opgemerkt dat potentiële negatieve gevolgen van lagere (wereldwijde) consumptie van fossiele brandstoffen (bijv. minder overslag in de havens, lagere inkomsten voor de oliemaatschappijen) hier worden beschouwd als 'business as usual' - dit gebeurt in elk geval als de wereld richting een koolstofarme wereld beweegt.

Afhankelijk van het uiteindelijke evenwicht tussen publieke en private investeringen en de corresponderende financieringsstructuur en het geassocieerde risicoprofiel, kan deze impact lager of hoger blijken te zijn.

Buiten de economische effecten waar het Global Growth Model rekening mee houdt, zien we aanvullende economische effecten die het BBP verder kunnen doen stijgen, ook op lange termijn:

- Het Global Growth Model houdt geen rekening met wijzigingen in het investeringsniveau in bepaalde sectoren. Door veranderingen in de vraag naar en opwekking van energie te activeren kan een versnelde energietransitie investeringen verhogen in sectoren met matige tot hoge economische multipliers, zoals bouw (0,96) en verkoop en onderhoud van voertuigen (1,00). We voorspellen dat dit in elk geval op korte termijn een aanvullende positieve impact op de algehele economie zal hebben.
- Een relatieve stijging in investeringen in innovatie, onderzoek en ontwikkeling heeft vaak positieve effecten op de economie, maar is niet als zodanig gekwantificeerd.

De economische effecten van veranderingen in de handelsbalans van Nederland.

Aanvullende BBP-winsten moeten resulteren uit het verminderen van de import van fossiele brandstoffen wanneer het binnenlands gebruik van fossiele brandstoffen daalt en de opwekking van elektriciteit stijgt. We schatten dat Nederland geleidelijk zal overgaan van het importeren van 67 procent van zijn fossiele brandstoffen naar het importeren van minder dan 50 procent ervan, zelfs na compensatie voor een lagere gaswinning. De energiekosten zouden in het algemeen iets dalen, en er kan een netto voordeel van EUR 8 miljard worden gerealiseerd door een verbeterde handelsbalans. Dit zou het BBP met ca. 1 procent doen stijgen (Figuur 14). Dit effect zal alleen zichtbaar zijn zolang de wereldwijde handelsstromen niet significant veranderen (en Nederland dus anderen voor blijft) en is zeer gevoelig voor prijsveranderingen in olie en gas.

De economische effecten van nieuwe industriële of andere economische activiteit.

Investeringen in gebieden zoals uitgelicht in Box III moeten in de loop der tijd extra BBP-winsten produceren en een positieve impact hebben op de werkgelegenheid. Het verdubbelen van de huidige toeleveringsactiviteiten voor auto's, ter waarde van ca. 9 miljard, zou bijvoorbeeld resulteren in een BBP-stijging van 1 procent.

De corresponderende impact op de werkgelegenheid

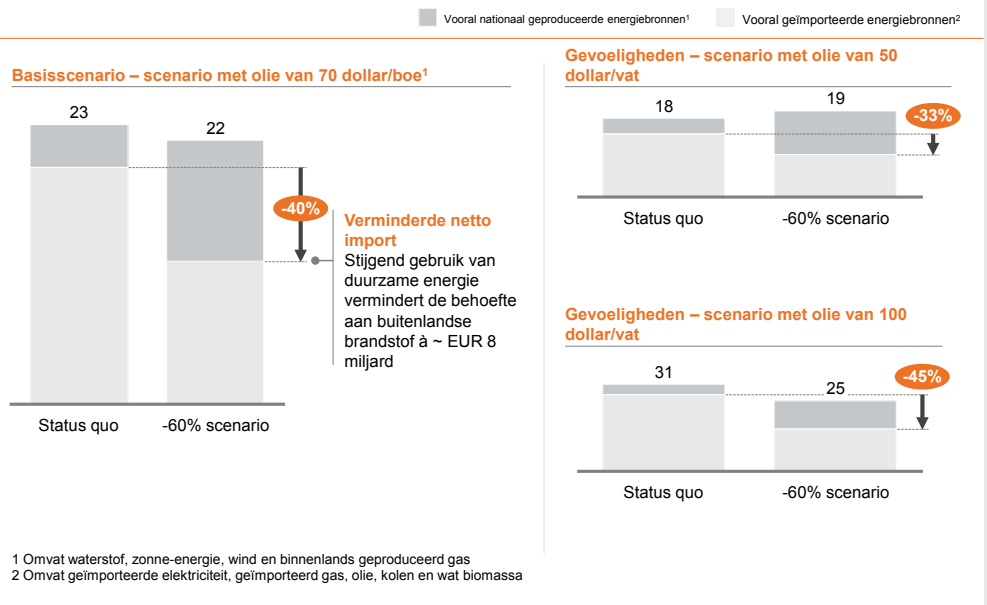
De impact op de werkgelegenheid kan worden bekeken over drie horizons. De uiteindelijke realisatie is uiteraard ook afhankelijk van of er op tijd kan worden voldaan aan de vraag naar nieuwe vaardigheden en capaciteiten.

Op de korte tot middellange termijn wordt een positief effect gezien door installatie- en spanningen. In totaal verwachten we dat de energietransitie 45.000 of meer banen zal creëren, allemaal primair in verband met installatie (Figuur 15). Deze cijfers zijn in lijn met eerdere projecties (bijv. uit het Energieakkoord, waar een investering van EUR 3,3 miljard zou

Figuur 14

Een eerste schatting laat zien dat de totale systeemkosten kunnen worden verlaagd ten opzichte van een Business as usual scenario

Indicatieve uitgaven aan brandstof in miljard EUR, 2040



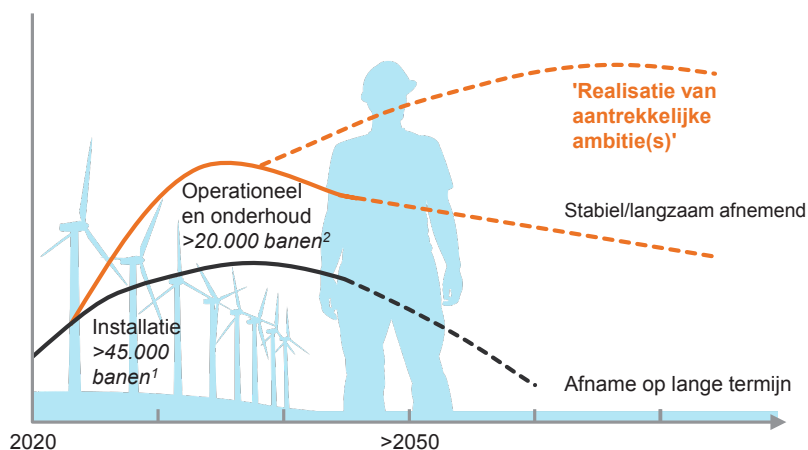
moeten leiden tot het creëren van zo'n 15.000 banen). Sommige van deze banen zouden bij bedrijven zijn die op korte en middellange termijn veel vraag zullen ervaren (bijvoorbeeld bedrijven die gebouwen isoleren). Andere bedrijven zullen op de middellange termijn de meeste vraag ervaren (bijv. installatie van offshore wind, die ook zal doorgaan wanneer de vraag naar elektriciteit blijft stijgen).

De economische multipliers van bepaalde sectoren beïnvloeden ook het effect van investeringen op de werkgelegenheid op korte tot middellange termijn. Sectoren die waarschijnlijk meer investeringen aantrekken tijdens de energietransitie, zoals bouw en auto-assemblage, hebben relatief hoge werkgelegenheidsmultipliers. Sectoren die waarschijnlijk minder investeringen zullen ontvangen, vooral fossiele brandstofsectoren met een hoge kapitaalefficiëntie, hebben relatief lage werkgelegenheidsmultipliers. Het versnellen van de energietransitie zou daarom tot het creëren van meer banen moeten leiden. We schatten bijvoorbeeld dat terwijl de energietransitie plaatsvindt, de autosector 8.000 banen zal toevoegen en de bouwsector 27.000 banen zal toevoegen.

Op middellange en lange termijn zouden er ook meer banen op het gebied van bediening en onderhoud moeten komen. Vooral de energiesector zou banen erbij moeten krijgen omdat het genereren van duurzame energie meer banen per MWh vereist dan het genereren van niet-duurzame energie. Het kan langer duren voordat de duurzame energiesector banen toevoegt, maar het is minder waarschijnlijk dat die banen weer verdwijnen. Voor het bedienen en onderhouden van zonne-energie en offshore wind installaties zijn bijvoorbeeld

Figuur 15

Potentieel voor nieuwe banen: de 'echte' langetermijnpact moet komen uit gerealiseerde ambities



1 Omvat installatie van offshore wind, zonne-energie, verbeterde isolatie en vervanging van verwarmingsapparatuur; alternatieve referentie: Energieakkoord: investering van ~ 3,3 EUR miljard/jaar gedurende een korte tijd leidt naar verwachting tot 15.000 extra banen. Het toepassen van vergelijkbare logica op investeringen van 10 EUR miljard/jaar zorgt ook voor 45.000 extra banen/jaar. De hoogste impact wordt verwacht van installatie van offshore wind, gevolgd door gebouwenisolatie
2 Delta tussen werkgelegenheid tussen genereren van duurzame energie en genereren van fossiele energie, gecorrigeerd voor een stijging in het aantal installatiebanen. Veranderingen in andere sectoren zijn niet in dit getal opgenomen

minstens 20.000 extra banen nodig. En wanneer de bedienings- en onderhoudsactiviteiten van transmissie- en distributieservicebedrijven stijgen, zullen ze waarschijnlijk meer personeel moeten aannemen. Werkgelegenheid in andere sectoren die bij de energietransitie betrokken zijn, kan stabiel blijven of zelfs iets dalen. EV's hebben bijvoorbeeld veel minder onderhoud nodig dan voertuigen met interne verbrandingsmotoren.

Op lange termijn zal, als de energietransitie de verwachte effecten op de economie heeft, de vraag naar werknemers stijgen, zodat de werkgelegenheid en de lonen worden opgedreven. Bijvoorbeeld het openen van een faciliteit ter grootte van Tesla's Gigafactory om aan de binnenlandse vraag naar EV's te voldoen, zou 6500 banen toevoegen. Het creëren van deze banen kan in de loop der tijd de verloren banen in sectoren die gerelateerd zijn aan fossiele brandstoffen (deels) compenseren, evenals de verliezen in sectoren die structurele verschuivingen ervaren vanwege hogere arbeidsproductiviteit of nieuwe technologie.



Box III – profiteren van de energietransitie: kansen voor Nederland

Voor Nederland kan een vergaande transitie naar een (CO₂)emissie-arm energiesysteem een veelheid aan mogelijkheden creëren voor innovatie en industriële ontwikkeling. Het decarboniseren van bepaalde sectoren van de Nederlandse economie vereist investeringen en veranderingen op een schaal die net zo veelomvattend is als een aantal van de grootste en beroemdste energieprojecten ter wereld. Het vervangen van de volledige Nederlandse voertuigvloot met 400.000 auto's per jaar vereist bijvoorbeeld een accufabriek ter grootte van die van Tesla, een van de grootste productie-lokaties ter wereld.

Op andere gebieden zal de Nederlandse energietransitie een meer bescheiden bijdrage aan de wereldwijde economische activiteit leveren. Het produceren van voldoende zonnepanelen om aan de Nederlandse behoeften te voldoen, voegt iets minder dan 1 procentpunt aan de wereldwijde vraag naar zonnepanelen toe.

Misschien wel de meest veelbelovende kansen voor Nederland liggen op het snijvlak van bestaande mogelijkheden en de eisen van de transitie. We zien een aantal bestaande sterke punten die Nederland een bijzonder voordeel kunnen geven in markten voor koolstofarme energie-technologie:

Een geavanceerde (petro)chemische industrie, die de hele waardeketen omvat, van olieraffinage tot gespecialiseerde chemische productie

Een goed ontwikkelde, diverse offshore (wind)industrie, met constructie- en onderhoudsbedrijven alsook met data- en analyseproviders, olie- en gasproducenten en nutsbedrijven

Een transport- en logistieksector van wereldklasse die de havens van Rotterdam en Amsterdam en de luchthaven Schiphol omvat

Een groeiende en innovatieve bedrijfstak rond auto's en oplaadinfrastructuur met ca. 300 toeleveranciers voor de auto-industrie en EUR 9,2 miljard aan inkomsten (2015). Verschillende bedrijven voor oplaadinfrastructuur lopen voorop in de ontwikkelingen en uitrol daarvan

Capaciteit voor innovatie en R&D door 13 universiteiten, meer dan 40 instituten voor toegepaste wetenschap, en publieke en private R&D-centra met een jaarlijks budget van ca. EUR 10 miljard

Omvangrijke verbondenheid met de rest van Europa's energiestromen, die zichtbaar wordt in onze positionering als op een na grootste importeur en op een na grootste exporteur van energie in Europa

Hoge bevolkingsdichtheid (412 inwoners per km²) en de hoogste snelwegdichtheid van Europa (0,06 kilometer weg per km²), maken Nederland een ideale plek voor innovatie op het gebied van infrastructuur en mobiliteit.

Volgens ons kan Nederland zich met deze vermogens en kenmerken goed positioneren om ambities in energiegerelateerde sectoren na te jagen, waaronder:

'Nieuw' transport. Door de capaciteiten te ontwikkelen die nodig zijn om te voldoen aan de binnenlandse vraag naar EV's en andere transportvormen met lage emissies, kan Nederland ook een bron worden van goederen en diensten die elektrisch aangedreven transportvormen ondersteunen. Het kan dan gaan om alles van accu's en EV's tot technische systemen die nodig zijn voor een volgende generatie transportvormen, zoals zelfrijdende voertuigen. De relatief compacte infrastructuur kan een goede proeftuin zijn, bijvoorbeeld bij het ontwikkelen van innovatieve stadsplanningen en systemen voor het integreren van meerdere transportvormen.

Duurzame gebouwverwarming. Nederland kan mogelijk voortbouwen op ervaringen uit de jaren '60 met het uitrollen van een (gas)infrastructuur en (technologisch) voorloper worden op het gebied van systemen voor klimaatbeheersing en energiebeheer van woonhuizen.

Transformatie van zware industrie en CCS/U. De aanwezigheid van belangrijke zware industrie zoals staal en petrochemie kan een kans bieden om de innovatie van deze industrie richting koolstofarme productie te ondersteunen. De leeg rakende (offshore) gasvelden en bestaande dichte infrastructuur biedt samen met de aanwezige geologische expertise een uniek startpunt voor CCS. CCU, waarbij koolstofmonoxide als chemische grondstof wordt gebruikt, kan hand in hand gaan met de bovengenoemde innovatie op het gebied van duurzame brandstof.

Offshore wind. De Nederlandse en wereldwijde offshore windindustrie zal waarschijnlijk groeien om te voldoen aan de groeiende vraag naar duurzame energie. Hiervoor zijn grote investeringen nodig en dit zal de industriële ontwikkeling in meerdere velden aandrijven. Dit omvat hoogspanningsmasten, onderstations en transmissie- en distributielijnen. Nederland kan ook een kernrol spelen bij het verbinden van de elektriciteitsnetten van landen rond de Noordzee, waardoor het mogelijk wordt om electriciteit grensoverschrijdend te balanceren.

Het integreren van duurzame energiebronnen in het energienetwerk. De innovatieve chemische industrie geeft Nederland het potentieel om het creëren van energie-opslag en transportsystemen te bevorderen. Nieuwe technologieën om overtollig opgewekte duurzame energie om te zetten naar brandstoffen die kunnen worden opgeslagen en getransporteerd, kan de rol van spelers binnen de Nederlandse chemie, transport en opslag versterken.

De weg vooruit - zorgvuldig plannen en coördineren

Voor Nederland kan een versnelde transitie naar een koolstofarme energie-economie wezenlijke economische voordelen genereren. Dat kost echter grootschalige inzet en investeringen. Het vereist ook zorgvuldige planning en coördinatie. Elke economische sector vereist zijn eigen aanpak, die rekening houdt met factoren als de beschikbaarheid van investeringskapitaal, de ontwikkeling van de benodigde technologie, de behoefte aan en mogelijkheden voor internationale samenwerking, en de bereidheid van de samenleving om de transitie te ondersteunen. Elk van deze aanpakken heeft duidelijke doelstellingen nodig, zodat de investeringen en inzet effectief kunnen worden ingezet, maar er moet ook flexibiliteit blijven om in te spelen op nieuwe (technische) oplossingen en kansen wanneer die zich voordoen.

Overheden kunnen transformaties van energiesystemen op eindeloos veel manieren ondersteunen, van het geven van prikkels tot het doen van directe investeringen. De volgende drie suggesties kunnen Nederlandse leiders en ambtenaren helpen om een effectief beleidsprogramma te ontwikkelen dat de energietransformatie versnelt:

- **Ontwikkel een masterplan voor elke vraagsector.** Een dergelijk masterplan moet op zijn minst de investeringen en regelgeving in kaart brengen waarmee de private en maatschappelijke sectoren veranderingen in het energiesysteem kunnen ondersteunen. Om deze plannen te ontwikkelen kan de overheid specifieke doelstellingen definiëren in een visie voor 2040/2050 en van daaruit terugrekenen om tussendoelen en tussenstappen vast te stellen. Een langetermijnvisie op energievoorziening en -vraag is onmisbaar om investeringen met lange terugverdientijden los te maken, niet in de laatste plaats omdat het consumenten en bedrijven meer zekerheid biedt over hun investeringsvooruitzichten.
- **Gebruik de langetermijnwaarde voor Nederland als de belangrijkste variabele om emissiereductieplannen en BBP-stimuli te optimaliseren.** Nederland kan zijn plannen voor de energietransitie zo structureren dat het investeringen aantrekt en de economische, industriële en technologische competenties van het land uitbreidt. Dit levert het land meer economische voordelen op dan wanneer het vertrouwt op buitenlandse expertise en geïmporteerde goederen. Deze plannen moeten de ware kosten van interventies in kaart brengen en daarnaast rekening houden met bedrijfsmatige overwegingen, zoals het rendement op investeringen, of beleidsmatige overwegingen, zoals belastingen. In de transitieplanning moet ook overwogen welke kansen er zijn voor Nederland om zich te positioneren als een wereldwijd voorloper op het gebied van innovatie, engineering en productontwikkeling rondom energie.
- **Zet publieke prikkels, inclusief belastingbeleid, in met het oog op de bovengenoemde masterplannen.** Prikkels moeten effectief zijn binnen de langetermijnhorizon van de transitie. Ze zouden ook de financiële, wetgevende en fysieke eigenschappen van het energiesysteem in lijn moeten brengen met de belangen van burgers en grote energieverbruikers.



Bijlage I – methodologische achtergrond

Algemene scope van dit gedachte-experiment

De scope van dit rapport is eenvoudigheidshalve beperkt tot de geografie van Nederland, maar er wordt rekening gehouden met Europese energietransport en opslagsystemen, de hele waardeketen voor energie (downstream, midstream, upstream) en er worden algemeen verwachte vooruitzichten gevolgd (bijv. voor technologische ontwikkelingen, prijsontwikkelingen en BBP). Het is niet ons doel om een specifieke oplossing te geven of te verdedigen - we kijken slechts naar de gevolgen van een reeks ontwerpkeuzes rond vraag en aanbod. Eenvoudigheidshalve sluiten we CCS nu als oplossing uit. We hebben niet expliciet gebruik gemaakt van een perspectief voor CO₂ beprijzing. Dit zou de transitie kunnen helpen versnellen en/of gedeeltelijk de voorgestelde maatregelen kunnen financieren. Dit rapport bouwt voort op eerder werk rond de EU-Roadmap 2050 en heeft niet de intentie om een (McKinsey-)voorspelling te zijn of (beleids)aanbevelingen te doen.

Aannames

Over het algemeen volgen we de vooruitzichten van het CBS/PBL voor 2040 voor BBP-groei (1 tot 2 procent p.a.) en bevolking (17.8 miljoen inwoners) (Manders, Ton (PBL); Kool, Clemens (CPB), 2015) (de Jong & van Duin, 2012) om naar veranderingen in de vraag te kijken. Voor wat betreft energievraag gaan we uit van een netto energie-intensiteitsverbetering van 1 procent per jaar tussen 2020 en 2040. We specificeren hier geen specifieke maatregelen. Voor alle berekeningen nemen we aan dat de olieprijs zich herstelt en stabiliseert rond USD 70/boe en dat de elektriciteitsprijzen stijgen met 20 procent (van 5ct/KWh naar ca. 6 ct/KWh).

Vervoer

Op transportgebied kunnen de komende 20 jaar naast veranderende technologie nog drie andere grote trends gaan meespelen: diverse mobiliteit (inclusief auto's delen), meer connectiviteit en autonome voertuigen. Dit heeft allemaal invloed op het aantal voertuigen, de afgelegde afstand per voertuig en de manier waarop voertuigen worden gebruikt. Verder zijn, behalve (grote) efficiëntiewinsten in verband met andere aandrijvingen, andere verbeteringen door het integreren van geavanceerde materialen, hydrodynamische oppervlakken of systeem-activiteiten hierin niet opgenomen. Deze beïnvloeden echter wel de (energie)vraag. In totaal zijn alle schattingen sterk afhankelijk van aannames over kostenontwikkelingen van accu's en waterstof-brandstofcellen en van veranderingen in de prijzen van olie, elektriciteit en waterstof.

De omschakeling van interne verbrandingsmotoren naar andere aandrijvingen door lichte voertuigen, zware voertuigen en schepen heeft gevolgen voor de infrastructuur, zowel binnen als buiten Nederland. In het geval van 4 miljoen (van de 8 miljoen) passagiersvoertuigen nemen we aan dat 4 miljoen oplaadstations voldoende kan en zal zijn - vooral aangezien het huidige autogebruik ca. 4 tot 8 procent is, zodat er voldoende tijd overblijft om op te laden. De combinatie van meer connectiviteit, diverse mobiliteit en autonoom rijden kan collectief de efficiëntie van het systeem vergroten. Voor bussen hebben we de TCO berekend voor "opportunity e-bussen" die het gewicht van de accu willen minimaliseren door onderweg op te laden bij bushaltes. Voor vrachtwagens hebben we rekening gehouden met binnenlandse veranderingen in de infrastructuur (bijv. waterstoftankstations) - geen grensoverschrijdende aanpassingen of investeringen.

Woningen en commerciële gebouwen

We volgen gedeeltelijk scenario's die zijn ontwikkeld door CE Delft. We maken gebruik van hun classificatie van '15 wijken' (CE Delft, 2015) met een agressievere aanname rond elektrische verwarming, en we gebruiken deze om energie-reductiepotentieel en investeringsbehoefte te schatten. Veel factoren beïnvloeden de keuze voor het toepassen van verwarmingsoplossingen voor gebouwen: de leeftijd en de staat van het gasnetwerk (bijv. in de oude stadskernen kan dit toe zijn aan grootschalig onderhoud of vervanging), gebouwendichtheid, type gebouwen, staat van het gebouw (inclusief nieuwbouw t.o.v. bestaande bouw), nabijheid van alternatieve warmtebronnen en de kostenontwikkeling van andere technieken, zoals geothermische energie. De trend lijkt echter te bewegen richting meer elektrische verwarming, waarbij een combinatie van zeer goede isolatie, driedubbele beglazing, elektrische boilers, lucht- of aardwarmtepompen en decentrale zonnepanelen of zonneboilers leidt tot netto energieneutrale laagbouw. In flatgebouwen en in dichtbevolkte gebieden kunnen netwerken van stadsverwarming een meer economische oplossing zijn. We nemen verder aan dat 100 procent van de nieuwbouwhuizen (deze vormen in 2040 ca. 15 procent van de huizen) overgaan op elektrische verwarming. Dit kan een overschatting zijn, aangezien de huidige trend voor nieuwe wijken stadsverwarming lijkt te zijn (bijv. na concessies in Utrecht en Amsterdam). Voor stadsverwarming kunnen op korte termijn restwarmtebronnen worden verbonden, maar omdat de industrie zich blijft richten op het verbeteren van de energie-efficiëntie en mogelijk ook overgaat op duurzame bronnen, kan deze warmtebron op lange termijn flink inkrimpen.

Zware industrie

Onze schatting van de investeringen is gebaseerd op de volgende logica en aannames: het vervangen van warmtebronnen (bijv. gasboilers en gasfornuizen) is in de meeste gevallen minder ingewikkeld dan het vervangen / wijzigen van warmtewisselaars. Apparatuur die fossiele energie gebruikt, dekt 10 tot 20 procent van de geïnstalleerde capex. Het vervangen van apparatuur aan het eind van de technische levensduur of tijdens grote renovaties, impliceert dat alleen de delta in investeringen tussen de op fossiele brandstof gestookte en elektrische verwarmingssystemen hoeft te worden meegerekend. Het vervangen van oude apparatuur door de nieuwe apparatuur tijdens geplande onderhoudscycli (elke vier jaar) kan de kosten voor stilstandtijd laag houden. De operationele kostendelta is conservatief gebaseerd op de huidige prijzdelta's tussen de gebruikte fossiele brandstofmix en hetzelfde consumptieniveau van 129 PJ als elektriciteit.

Impact van investeringen

Voor de impact op het BBP hebben we het Global Growth Model van het McKinsey Global Institute gebruikt om de impact van de reeks maatregelen op de Nederlandse economie te beoordelen. We hebben gekeken naar de multiplier-tabellen (op basis van de input-outputtabellen van het CBS) voor deep dives over specifieke sectoren. Overloopeffecten in de bredere economie dankzij investeringen in R&D en innovatie zijn eerder aangetoond, en kunnen in dit geval ook een rol spelen, maar zijn niet als zodanig gekwantificeerd.

Bijlage II – implicaties voor opwekking

Een eerste poging om te kijken naar het maximaliseren van het aandeel van duurzame energie en het gelijktijdig minimaliseren van de jaarlijkse systeemkosten (capex, O&M en brandstofkosten) laat zien dat een electriciteitssysteem met 80 procent duurzame energie ongeveer EUR 12 miljard/jaar zou kosten (Figuur 7). We nemen aan dat er 90 procent centraal en 10 procent decentraal geïnstalleerde zonnepanelen zijn, met afnemende kosten tot EUR 54/MWh in 2040. Voor offshore wind wordt aangenomen dat de kosten dalen naar EUR 51/MWh.

Het genereren van meer wind- en zonne-energie tot meer dan een scenario van ca. 60 tot 75 procent duurzame energie leidt onvermijdelijk tot hogere niet-benuttingsniveaus en kostenniveaus als de niet-benutte stroom niet op een andere manier kan worden gebruikt. Het introduceren van flexibiliteitsmaatregelen zoals vraagzijdemanagement, opslag en de conversie van kolen naar biomassa van een deel van de back-upopwekking zou een meer kosteneffectief systeem creëren dat meer stroom produceert met meer capaciteit. Voor biomassa hebben we de conversie van 4 GW aan kolencentrales aangenomen, die lopen op een laadfactor van 35 procent. Voor de resulterende opwekking van 14 TWh is 8.500 kton biomassa (de lading van 150 Panamax-schepen) nodig (17 GJ/ton). Ter illustratie: opslag op langere termijn kan worden gedekt door verbeterde connectiviteit met Noord-Europa, dat toegang heeft tot waterkracht (bijv. een kabel van 5 GW). In totaal zou nog steeds zo'n 15 GW (vooral gasgestookte) back-upcapaciteit nodig zijn (t.o.v. 26 GW in 2020). Het gebruik van de fossiele back-up zal wel een stuk lager zijn. Dit genereert 15 TWh primaire productie t.o.v. ongeveer 86 TWh nu, wat vraagt om een alternatief financierings- en prijssysteem. Hierbij moet worden opgemerkt dat richting 2050, ook als het aandeel van duurzame energie richting 95 procent wordt verhoogd, een grotere hoeveelheid back-upcapaciteit nodig kan zijn (28 GW) om aan verdere stijgingen in de energievraag te kunnen voldoen.

Voor wat betreft de andere energiedragers: de vraag naar waterstof zal met 20 PJ stijgen, aangedreven door de aangenomen vraag naar vrachtwagens op waterstof-brandstofcellen. De vraag naar biogas/biomassa komt van een verschuiving van het bouwmilieu naar biogas/groen gas (18 procent van de vraag; 27 PJ), de staalproductie die DRI gebruikt (33 PJ), en de biomassa die nodig is voor stroomopwekking (conversie van bestaande kolencentrales naar biomassacentrales à 144 PJ).

Contacten

Adres:

Amstel 344
1017 AS Amsterdam
Nederland



Eveline Speelman

Engagement manager
E-mail: eveline_speelman@mckinsey.com



Arnout de Pee

Partner
E-mail: arnout_de_pee@mckinsey.com



Occo Roelofsen

Senior partner
E-mail: occo_roelofsen@mckinsey.com

