



Planbureau voor de Leefomgeving

WAT BETEKENT HET PARIJSAKKOORD VOOR HET NEDERLANDSE LANGETERMIJN-KLIMAATBELEID?

Detlef P. van Vuuren, Pieter Boot, Jan Ros, Andries Hof en Michel den Elzen

18 november 2016

PBL

Colofon

Wat betekent het Parijsakkoord voor het Nederlandse langetermijn-klimaatbeleid?

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2016

PBL-publicatienummer: 2580

Contact

detlef.vanvuuren@pbl.nl

Auteurs

Detlef P. van Vuuren, Pieter Boot, Jan Ros, Andries Hof en Michel den Elzen

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Eindredactie

Uitgeverij PBL

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Vuuren, D.P. van, et al. (2016), Wat betekent het Parijsakkoord voor het Nederlandse langetermijn-klimaatbeleid?, Den Haag: PBL.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is voor alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoud

SAMENVATTING	4	
1	Introductie	7
2	Mondiaal koolstofbudget en emissiereductiepaden	8
2.1	Mondiaal koolstofbudget consistent met het klimaatakkoord van Parijs	8
2.2	Emissiepaden consistent met een koolstofbudget gebaseerd op de Parijsdoelen	9
	2.2.1 De Parijsdoelen van 1,5 en 2°C vereisen een snelle emissiereductie	9
	2.2.2 Model-gebaseerde scenario's	11
2.3	Effectiviteit van het voorgenomen beleid	13
3	Consequenties voor Nederland	14
3.1	Mogelijke doelen voor Nederland en de EU voor 2030 en 2050 consistent met Parijs	14
	3.1.1 Verdeling van emissiereducties: kostenefficiëntie en rechtvaardigheid	14
	3.1.2 Bestaande studies naar EU-reductiedoelstelling op basis van verdelingsprincipes	14
	3.1.3 Illustratieve berekeningen voor de Europese Unie en Nederland op basis van nieuwe mondiale emissiedoelen	16
3.2	Reductiestrategieën in Nederland	20
3.3	Ingrijpende veranderingen	20
3.4	Inzet op alle fronten nodig om doel te halen	21
3.5	Komende jaren cruciaal	23
4	Literatuur	24

SAMENVATTING

Een langetermijnperspectief is noodzakelijk voor een effectief klimaatbeleid. Nederland heeft zich met het Parijsakkoord gecommitteerd aan een ambitieus klimaatbeleid. Dat is alleen te realiseren door een verregaande reductie van broeikasgasemissies. De hiervoor noodzakelijke transformatie van het energiesysteem zal tijd kosten, waarbij het beleid alleen effectief kan zijn bij een doeltreffend langetermijnperspectief (de zogenoemde stip op de horizon). Zo'n helder langetermijnperspectief ontbreekt momenteel, zoals recent vastgesteld door de WRR.

Zo'n langetermijnperspectief kan worden geformuleerd op basis van een combinatie van recente klimaatkennis en maatschappelijke keuzes. Het internationaal klimaatbeleid is sinds enkele jaren gebaseerd op zogenoemde 'nationale inspanningen', waarbij elk land zelf verantwoordelijk is voor het formuleren en halen van doelen. Daarbij geldt nog steeds dat landen elkaar kunnen toetsen op basis van de internationaal overeengekomen verplichtingen. In Nederland is daarnaast het Europese beleid sturend via het *Emission Trading System* (ETS) en de doelstelling voor de overige sectoren. Binnen deze context gaan we in dit rapport in op de vraag wat wetenschappelijke kennis over het klimaatsysteem en de beleidsscenario's betekenen voor de reductieopgave op nationaal niveau. Om de doelstellingen van Parijs te vertalen in concrete doelen voor Nederland, is het nodig deze kennis te combineren met de mogelijke keuzes die de samenleving kan maken. We gebruiken illustratieve berekeningen om een indicatie te geven van denkbare doelstellingen.

De klimaatdoelen uit het Parijsakkoord komen overeen met een maximale cumulatieve emissie van ongeveer 250-400 GtCO₂ of 600-1200 GtCO₂ (vanaf 2015) voor respectievelijk 1,5 en 2°C . Een dergelijk budget is zo krap dat wereldwijd stringent klimaatbeleid nodig is om hieraan te voldoen. Een dergelijk beleid gaat ver voorbij het huidige beleid van de betrokken landen. In het Parijsakkoord is de doelstelling van internationaal klimaatbeleid geformuleerd als het beperken van klimaatverandering tot ruim onder de 2°C, en te streven naar een maximale opwarming van 1,5°C. Onderzoek laat zien dat een wereldwijde maximale cumulatieve emissie van ongeveer 600-1200 GtCO₂ vanaf 2015 een waarschijnlijke kans (van meer dan 66 procent) geeft om beneden de 2°C te blijven. Voor een 1,5°C zouden emissies moeten worden beperkt tot een waarde in de orde van 250-400 GtCO₂. Die maximale CO₂-emissies worden ook wel koolstofbudget genoemd. Ter vergelijking: een koolstofbudget van 900 GtCO₂ is bij de huidige emissies in 25 jaar volledig opgebruikt. De bovengenoemde *ranges* hangen vooral samen met onzekerheid over het klimaatsysteem.

Maatschappelijke keuzes die een cruciale rol spelen bij de mondiale CO₂-reductieopgave betreffen niet alleen het hierboven genoemde temperatuurdoel en de zekerheid waarmee deze moeten worden behaald, maar ook het mogelijke gebruik van 'negatieve emissies'. Het is mogelijk het koolstofbudget tijdelijk te overschrijden en deze overschrijding later ongedaan te maken door 'netto negatieve emissies'. Netto negatieve emissies kunnen onder meer tot stand worden gebracht door grootschalige herbebossing en de combinatie van bio-energie en koolstof-afvang-en-opslag. De meeste IPCC-scenario's maken hiervan gebruik. Het gebruik in de scenario's van negatieve emissies varieert meestal tussen de 0 en de 350 GtCO₂. Vooral de reducties op korte termijn hangen in sterke mate samen met deze negatieve emissies.

Een volgende stap is de verdeling van mondiale opgaven naar nationale doelen. Hierbij spelen zowel kosteneffectiviteit als eerlijke principes een belangrijke rol. Eerlijke principes worden vaak ingedeeld in de categorieën gelijkheid, draagkracht en

verantwoordelijkheid. In combinatie met overwegingen rond kosteneffectiviteit kunnen deze principes worden gebruikt om te beoordelen of een bijdrage van landen consistent is met de mondiale doelstellingen. Er is duidelijk geen consensus over de weging van dit soort principes. Vaak wordt in de literatuur gekeken naar een toekomstige situatie (bijvoorbeeld in 2050) van een gelijke verdeling van emissies per hoofd van de bevolking.

De reductie van CO₂-emissies en de energietransitie vormen nu de kern van de klimaatbeleidsopgave. Naast CO₂ zijn er verschillende andere broeikasgassen, zoals methaan en lachgas. In het beleid wordt uitgegaan van een 'multigas'-benadering waarin uitwisseling tussen de gassen mogelijk is op basis van equivalenten. Voor de mate van klimaatverandering op de lange termijn is de rol van CO₂ dominant, zowel vanwege de lange levensduur van dit gas als de grote bijdrage aan de totale emissies. In Nederland geldt dat CO₂ zelfs nog belangrijker is: 85 procent van de totale emissies bestaat uit CO₂ (vrijwel volledig afkomstig uit het energiesysteem). De illustratieve berekeningen in dit rapport richten zich daarom op CO₂.

Op basis van een aanname van gelijke wereldwijde emissie per hoofd in 2050 zou een Nederlandse doelstelling voor een 2°C-doel overeenkomen met een reductie van CO₂-emissies van zo'n 85-95 procent in 2050. Het 1,5°C-doel komt in dat geval overeen met een emissiereductie van meer dan 100 procent in 2050. De consistente reducties voor 2030 bedragen zo'n 40-50 procent voor CO₂. Ruwweg betekent dit een volledige decarbonisatie van de Nederlandse energievoorziening in 2050. Voor deze illustratieve berekeningen zijn we uitgegaan van een gelijke emissieverdeling per hoofd van de wereldbevolking, en drie interpretaties van het Parijsdoel: maximaal 2°C met negatieve emissies, 2°C zonder negatieve emissies en 1,5°C met negatieve emissies (de cumulatieve mondiale CO₂ emissies vanaf 2020 tot 2050 variëren tussen de 550 en 850 GtCO₂).

Het vaststaand en voorgenomen beleid in Nederland leidt niet tot een reductie overeenkomstig met de Parijsdoelen. Volgens de Nationale Energieverkenning 2016 (NEV 2016) leidt het beleid tot een reductie in 2030 van 24 procent voor alle broeikasgassen en 12 procent voor alleen CO₂. De Nederlandse broeikasgasemissies dalen nu tamelijk geleidelijk: de emissiereductie in de laatste 10 jaar bedroeg zo'n 0,7 procentpunt per jaar voor alle Kyoto-broeikasgassen en ongeveer 0,5 procentpunt per jaar voor alleen CO₂ (ten opzichte van het emissieniveau in 1990). Om de doelen voor 2030 en 2050 uit de illustratieve berekeningen te halen zou de jaarlijkse reductie 2,6-2,8 procentpunt moeten bedragen van het emissieniveau in 1990. Deze reductiesnelheid is dus veel hoger dan de historische. Wanneer het niet lukt om op zeer korte termijn een trendbreuk te realiseren is het onwaarschijnlijk dat deze doelen worden bereikt. Daarbij geldt echter dat ook de verwachte reductie bij het vastgestelde en voorgenomen beleid voor 2030 ruim onvoldoende is om de doelen van de illustratieve berekeningen te kunnen halen (12 procent CO₂-reductie volgens de NEV 2016 versus 40-50 procent voor de Parijsdoelen).

Om in overeenstemming te komen met het Parijsakkoord is dus al op korte termijn aanscherping nodig van het Nederlands beleid; voor emissiereducties van 85 tot 100 procent in 2050 zijn ingrijpende veranderingen nodig. Ten dele kunnen dergelijke reducties worden bewerkstelligd via technische maatregelen. Daarnaast kan ook gedragsverandering bijdragen aan de daarbij behorende reducties. Als Nederland besluit het nationaal klimaatbeleid in te vullen conform het Parijsakkoord dan zouden de volgende uitgangspunten kunnen gelden:

- Richt het beleid op 40-50 procent CO₂-reductie in 2030 ten opzichte van 1990.
- Zorg ervoor dat huidige beslissingen bijdragen aan een langetermijn streefwaarde van 85-100 procent reductie in 2050.

- Zorg voor transitiebeleid gericht op het op tijd invullen van alle infrastructurele, technische en institutionele randvoorwaarden voor het op grote schaal kunnen toepassen van CO₂-arme technieken.
- Waarborg dit alles, zodat stabiele omstandigheden ontstaan voor investeringen richting een CO₂-emissieloze energievoorziening en betrek de maatschappij bij de uitvoering daarvan.

1 Introductie

Recent heeft Nederland zich met het Parijsakkoord gecommitteerd aan een ambitieus klimaatbeleid. Hiervoor is in alle landen een verregaande reductie van broeikasgasemissies noodzakelijk. Door de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR) is recent vastgesteld dat voor een effectief klimaatbeleid een helder langetermijnperspectief belangrijk is om zo richting, samenhang en bestendigheid te geven aan beleidskeuzes (Faber et al. 2016). Tegelijkertijd stelt de WRR vast dat in Nederland een dergelijk perspectief momenteel ontbreekt.

Het internationaal klimaatbeleid is sinds enkele jaren gebaseerd op zogenoemde 'nationale inspanningen', waarbij elk land zelf verantwoordelijk is voor het formuleren en halen van doelen. Daarbij geldt natuurlijk nog steeds dat landen elkaar kunnen toetsen op basis van de internationaal overeengekomen verplichtingen. In Nederland is daarnaast het Europese beleid sturend. Hierbij gelden twee belangrijke instrumenten. Ten eerste is dit het Europese *Emission Trading System* (ETS), waarbij de emissies van relevante bedrijfssectoren worden beperkt door een emissieplafond waaronder 'handel' is toegestaan. Ten tweede zijn ook voor de zogenoemde niet-ETS-sectoren doelen gesteld.

In deze notitie bespreken we de klimaatdoelen uit het Parijsakkoord en de mogelijkheden om deze te vertalen in concretere doelstellingen voor emissies. Hierbij bespreken we zowel de wetenschappelijke kennis als de keuzes die wereldwijd nodig zijn bij de interpretatie van de doelen van het Parijsakkoord. Hiermee samenhangend kijken we hoe doelen voor Nederland kunnen worden afgeleid: welke keuzes moeten worden gemaakt? Tot welke doelstellingen kan dit leiden? En hoe kunnen deze doelstellingen worden ingevuld?

2 Mondiaal koolstofbudget en emissiereductiepaden

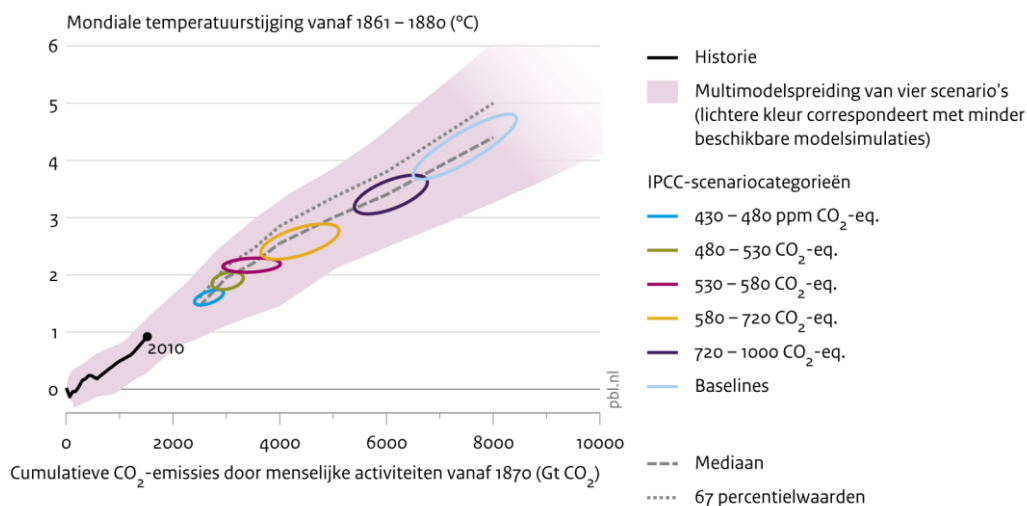
2.1 Mondiaal koolstofbudget consistent met het klimaat-akkoord van Parijs

In het Parijs Klimaatakkoord (december 2015) is door bijna alle landen ter wereld, waaronder Nederland, overeengekomen om de stijging van de mondiale temperatuur te beperken tot een niveau duidelijk onder 2°C ten opzichte van het pre-industriële niveau, en te streven naar een maximale stijging van 1,5°C (UNFCCC, 2015).

De wetenschappelijke literatuur, waaronder het IPCC 5^e Assessmentrapport, laat zien dat de langetermijntemperatuur vooral wordt bepaald door de cumulatieve koolstofdioxide (CO₂) emissies (figuur 2.1) (IPCC, 2014a, Friedlingstein et al., 2014, Meinshausen et al., 2009). Met deze relatie tussen temperatuur en CO₂ is het mogelijk voor verschillende klimaatdoelen het zogenoemde koolstofbudget vast te stellen: de hoeveelheid CO₂ die vanaf nu nog wereldwijd zou mogen worden uitgestoten om aan de doelstelling uit het Parijsakkoord te voldoen, (de relatie is in principe geldig op het niveau van enkele eeuwen; bij het afleiden van het budget worden in de meeste methoden de berekeningen gedaan tot 2100).

Figuur 2.1

Verandering van mondiaal gemiddelde temperatuur als functie van totale CO₂-emissie door menselijke activiteit



Bron: IPCC 2014

De relatie tussen cumulatieve CO₂-emissies en temperatuurverandering kan worden gebruikt om een mondiaal koolstofbudget af te leiden conform de Parijsdoelstellingen.

Toelichting: het gekleurde vlak toont de range van uitkomsten van klimaatmodellen en is dus indicatief voor de onzekerheid. Binnen de verdeling zijn de mediaan en de 67e percentielwaarde weergegeven. De cirkels tonen de verschillende scenariocategorieën gebruikt in het recente IPCC-rapport op basis van CO₂-equivalente concentratie. De grootte van de cirkels wordt onder meer bepaald door onzekerheid in niet-CO₂-emissies. Bron: (Rogelj et al., 2016b)

Het gekleurde gebied in figuur 2.1 geeft de uitkomst van een groot aantal verschillende klimaatmodellen weer. Dit toont daarmee de onzekerheid als gevolg van de beperkte kennis van het klimaatsysteem. Als gevolg van deze onzekerheid correspondeert een bepaald temperatuurniveau (y-as) met een range aan verschillende waarden van het koolstofbudget (x-as). Figuur 2.1 kan ook worden gebruikt om af te leiden hoe groot de kans is dat een bepaalde temperatuurdoelstelling wordt gehaald met een bepaald budget. Voor een punt op de mediaanlijn geldt dat het koolstofbudget op de x-as ongeveer een 50 procent kans geeft om beneden de temperatuurwaarde op de y-as te blijven. Voor punten boven deze lijn geldt dat hetzelfde koolstofbudget een grotere kans heeft om beneden het bij dit punt horende temperatuurniveau te blijven (y-as). Een tweede lijn in het figuur toont de punten die meer dan 66 procent kans hebben om aan een bijbehorend temperatuurdoel te voldoen. Deze waarde wordt *likely* genoemd op basis van de IPCC-onzekerheidsdefinities. Naast de onzekerheid in het klimaatsysteem spelen ook de onzekerheid in niet-CO₂-emissies en (in mindere mate) het emissieprofiel (*timing* van emissiereducties) een rol bij het vaststellen van het koolstofbudget. Het effect van deze factoren wordt in figuur 2.1 weergegeven door de cirkels: door onzekerheid in niet-CO₂-emissies kunnen verschillende waarden voor het CO₂-budget binnen elke cirkel toch tot een vergelijkbare temperatuurverandering leiden.

De waarden die in de literatuur te vinden zijn voor het koolstofbudget hangen niet alleen af van bovengenoemde onzekerheden maar ook van methodologische verschillen (bijvoorbeeld soorten modellen). In de studie van Rogelj et al. (2016b) worden verschillende schattingen met elkaar vergeleken. De totale onzekerheidsrange voor het koolstofbudget behorende bij een meer dan 66 procent kans op het halen van het 2°C-doel, wordt door Rogelj et al. geschat op zo'n 600-1200 GtCO₂. In tabel 2.1 zijn de waarden uit het IPCC-rapport samengevat (IPCC, 2014a). Ter vergelijking – de huidige emissies zijn wereldwijd zo'n 36 GtCO₂ (Le Quéré et al., 2015).

Tabel 2.1
Overzicht van het koolstofbudget behorend bij twee klimaatdoelen (IPCC, 2014a)
(waarden zijn gecorrigeerd voor emissies in de periode 2011-2015)

	Kans op het halen van 1,5°C		Kans op het halen van 2°C	
	Ten minste 50%	Ten minste 66%	Ten minste 50%	Ten minste 66%
Koolstofbudget vanaf 2015 (in miljard ton GtCO ₂)	375-425	225	1125 (975-1225)	825 (575-1225)

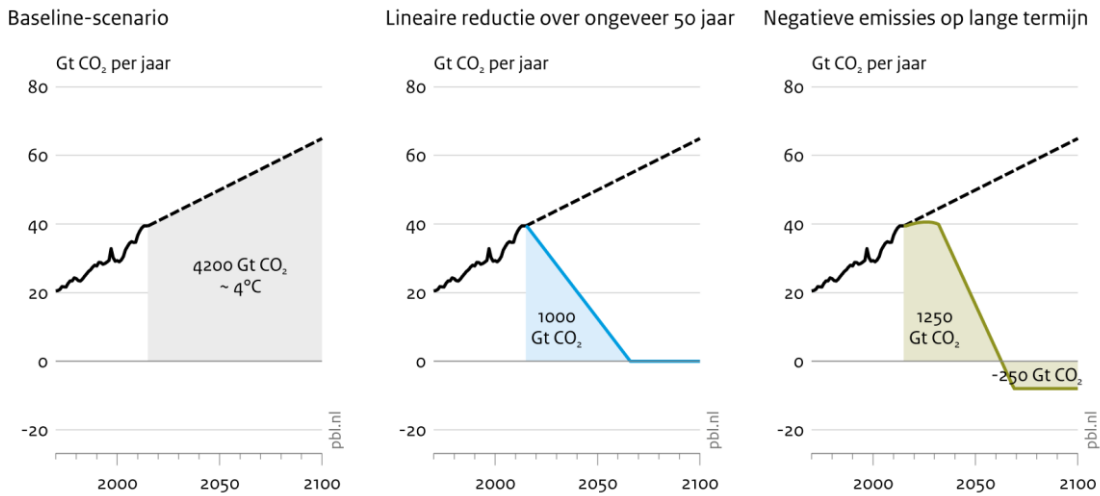
2.2 Emissiepaden consistent met een koolstofbudget gebaseerd op de Parijsdoelen

2.2.1 De Parijsdoelen van 1,5 en 2°C vereisen een snelle emissiereductie

Voor de toekomstige CO₂-uitstoot bestaan verschillende scenario's. Figuur 2.2 illustreert de implicatie van het koolstofbudget voor mitigatiestrategieën. Wanneer de emissies van het belangrijkste broeikasgas, koolstofdioxide (CO₂), door blijven stijgen zoals in een scenario zonder extra klimaatbeleid, dan stoten we naar verwachting in de komende eeuw wereldwijd zo'n 3500-6500 miljard ton CO₂ uit (IPCC, 2014b) (in figuur 2.2 wordt gerekend met de mediane waarde van 4200 miljard ton CO₂). Dit zou leiden tot een wereldwijde stijging van de mondiale temperatuur in 2100 met 3-7°C ten opzichte van het pre-industriële niveau.

Figuur 2.2

Baseline en mogelijke mitigatiescenario's om binnen het 2 °C CO₂-budget te blijven



Bron: PBL

Er zijn meerdere emissiepaden die binnen een gegeven koolstofbudget van 1000 miljard ton CO₂ kunnen blijven. De linker grafiek toont een emissieontwikkeling op basis van de historische trend, terwijl de rechter grafieken paden tonen met en zonder negatieve emissies.

NB: 1 miljard ton = 1 Gt.

We kunnen de opgave van het 2 °C-doel bezien aan de hand van het koolstofbudget. We rekenen hier met een gemiddelde schatting voor het koolstofbudget om waarschijnlijk (meer dan 66 procent kans) het doel te halen, afgerond op 1000 miljard ton CO₂ (een illustratieve waarde, midden in de range die in tabel 2.1 wordt genoemd). Dit komt dus overeen met ongeveer 27 keer de huidige jaarlijkse emissies (van 36 GtCO₂). Wanneer wereldwijd de emissies met constante snelheid worden gereduceerd dan zouden de emissies in ongeveer 55 jaar naar nul moeten worden teruggebracht om binnen het budget te blijven (middelste grafiek van figuur 2.2). Hoe groot deze opgave is, kan worden geïllustreerd aan de hand van de breuk in emissietrends (historisch versus vereist), maar ook door de vergelijking met de gemiddelde levensduur van veel energie-infrastructuur (elektriciteitscentrales gaan bijvoorbeeld vaak minstens 40 jaar mee). Het laatste betekent dus dat de komende jaren omgeschakeld moet worden naar een situatie waarin alle nieuwe infrastructuur klimaatneutraal is.

Het is mogelijk het koolstofbudget op korte termijn te verruimen door in de toekomst gebruik te maken van een situatie van 'netto negatieve emissies'. Dit wordt getoond in de rechter grafiek van figuur 2.2. 'Negatieve emissies' verwijst naar het actief uit de lucht halen van CO₂. Dit kan (tijdelijk) door middel van herbebossing. Het kan ook door de combinatie van bio-energie en afvang en opslag van CO₂. Er zijn ook enkele andere methoden die minder vaak worden overwogen (zoals *direct-air-capture*, het afvangen van CO₂ uit de lucht). Wanneer de negatieve emissies groter zijn dan eventuele overgebleven emissies van fossiele brandstoffen is sprake van 'netto negatieve emissies'. Bijna alle scenario's van het VN-klimaatpanel en de wetenschappelijke literatuur calculeren dit in (van Vuuren et al., 2015). Dit geldt dus ook voor de afgeleide emissiedoelen die in het Parijsakkoord worden genoemd, die immers op deze literatuur en scenario's gebaseerd zijn. Negatieve emissies kunnen echter niet onbeperkt worden ingezet vanwege de gevolgen van bio-energie teelt en herbebossing voor landgebruik (en dus voedselvoorziening) en de beperkte opslagcapaciteit (Smith et al., 2016). In scenario's in de literatuur variëren de netto negatieve emissies (in de tweede helft van de eeuw) typisch tussen de 0 tot meer dan 350 miljard ton CO₂. In figuur 2.2 is de

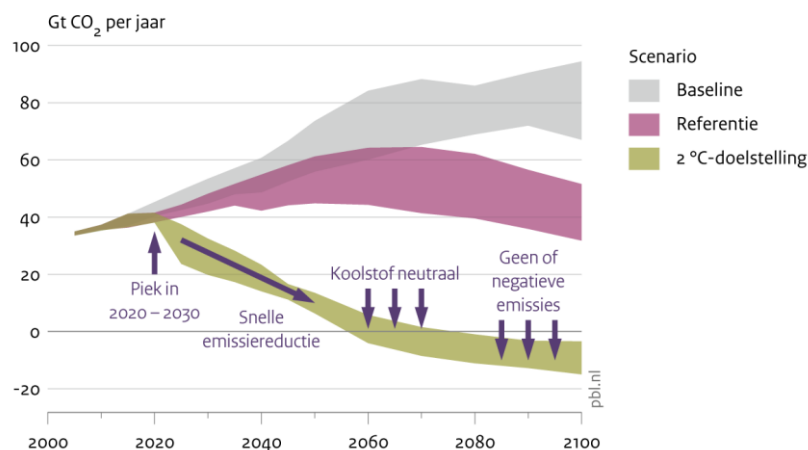
situatie getoond voor een veronderstelde 250 miljard ton negatieve CO₂-emissies (de medianwaarde voor de scenario's in de laagste categorie van IPCC). De figuur toont dat in dat geval een net iets minder snelle omschakeling van het wereldenergiesysteem nodig is.

Het gebruik van grootschalige negatieve emissie ligt niet zomaar voor de hand. CO₂-opslag (nodig voor BECCS) en grootschalige herbebossing worden nog nauwelijks toegepast. Bovendien zijn zowel bio-energie als CO₂-opslag controversieel vanwege mogelijke ongewenste effecten, zoals die voor voedselzekerheid, biodiversiteit, mogelijke emissies en risico's van CO₂-opslag. De vraag dringt zich op of scenario's met CO₂-opslag wel reëel zijn (Anderson, 2015, Geden, 2015) en daarmee of het mogelijk is om binnen de 1000 miljard ton CO₂ te blijven zonder negatieve emissies. Dit is buitengewoon lastig maar niet onmogelijk. Het vereist of een onmiddellijke omschakeling naar een CO₂-vrij energiesysteem (conform de middelste grafiek in figuur 2.2) of een pad dat een tragere reactie nog voor 2050 compenseert met een veel lagere uitstoot.

2.2.2 Model-gebaseerde scenario's

Berekeningen met energiemodellen laten zien dat verregaande reducties technisch mogelijk zijn (figuur 2.3) (Tavoni et al., 2015). Dit figuur laat zowel baselinescenario's (zonder klimaatbeleid), referentiescenario's (huidig beleid) als scenario's zien die tegemoetkomen aan de 2°C-doelstelling. De scenario's in de laatste categorie in figuur 2.3 gaan allemaal uit van negatieve emissies (maar er zijn dus scenario's die nog sneller reduceren en daarmee negatieve emissies vermijden). In het algemeen geldt dat 2°C-scenario's op de korte termijn een piek in wereldemissies hebben, gevolgd door een periode van snelle reducties. Rond 2060 zijn de CO₂-emissies in dergelijke scenario's nul, waarna de emissies eventueel negatief worden.

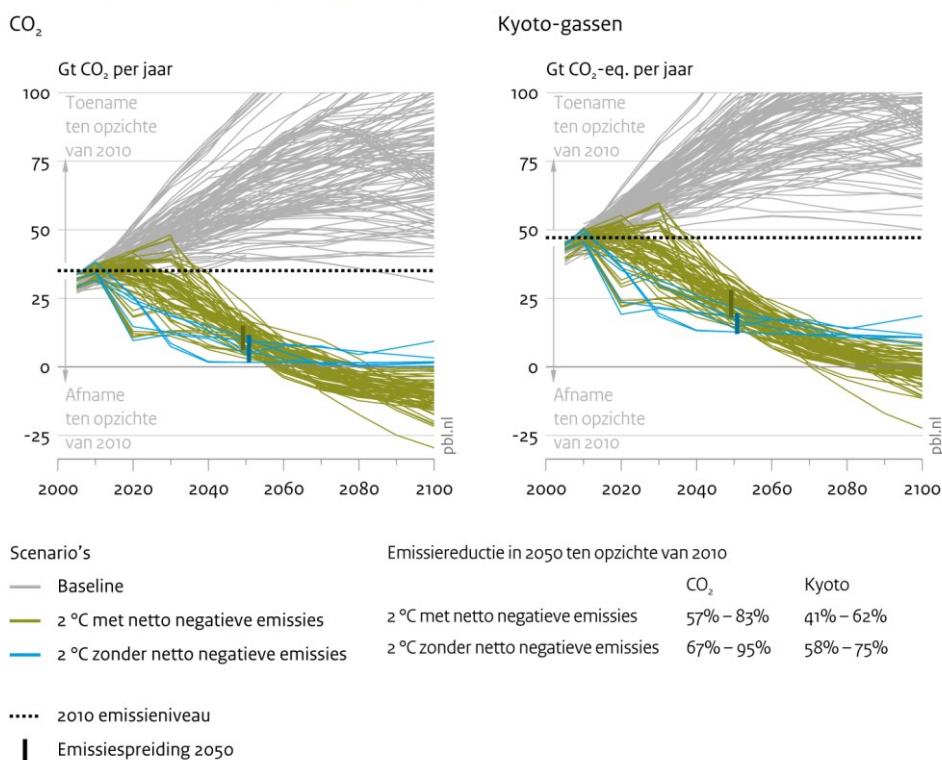
Figuur 2.3
Mondiale CO₂-emissies



Bron: Tavoni et al. 2015; Nature Climate Change

Scenario's waarin het 2°C-doel wordt gehaald laten op korte termijn een piek zien in wereldemissies, gevolgd door een periode van snelle reducties en meestal negatieve emissies na 2060-2080.

Figuur 2.4
Mondiale emissie van broeikasgassen voor baseline- en 2 °C-scenario's



Bron: IPCC AR5 database

Scenario's gericht op het 2°C-doel laten sterke reducties zien, waarbij in 2050 mondiaal de emissierange zo'n 60-95 procent is (afhankelijk van het gebruik van netto negatieve emissies). In deze scenario's wordt echter vaak een onmiddellijke reductie verondersteld. De bijbehorende range van emissies in 2050 is samengevat in de legenda. De getoonde scenario's (uit de IPCC AR5 Scenariodatabase) zijn baselinescenario's (grijs), en 2°C-scenario's met netto negatieve emissies (groen) en zonder netto negatieve emissies (blauw).

Dit betekent dus dat in alle gevallen het wereldenergiesysteem in de komende 50-60 jaar volledig omgeschakeld zou moeten zijn van een systeem dat vrijwel volledig gebaseerd is op fossiele brandstoffen naar een systeem waarin het gebruik van fossiele brandstoffen zonder CO₂-afvang-en-opslag (ook wel *carbon capture and storage: CCS*) geen plaats meer heeft. Hierbij is de uitdaging niet voor alle landen gelijk. Snelgroeiende ontwikkelingslanden zullen bijvoorbeeld nog meer moeite hebben om aan een dergelijke opgave te voldoen dan rijke landen. Daarmee kan dus ook worden verwacht dat een bepaalde verdeling van de lasten plaatsvindt.

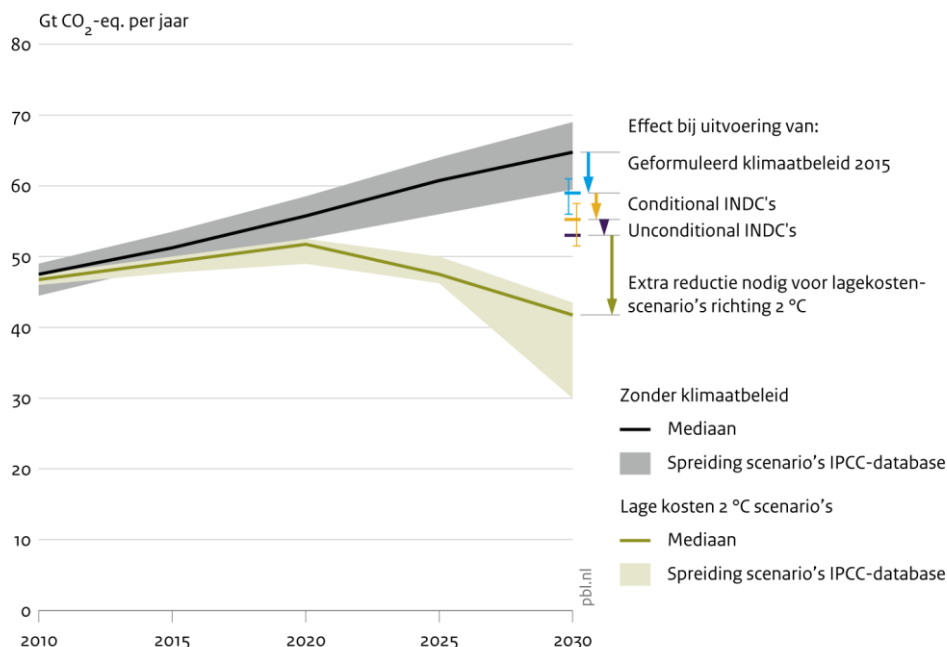
Figuur 2.4 geeft een overzicht van alle baseline- en 2°C-scenario's in de zogenoemde IPCC-scenariodatabase. In het IPCC-rapport wordt op basis van deze cijfers aangegeven dat rond 2050 de reductie van alle broeikasgassen 40-70 procent (alle scenario's) moet zijn ten opzichte van 2010. Dit percentage is echter afhankelijk van het gebruik van negatieve emissietechnologieën. Zonder negatieve emissies zouden de emissies namelijk nog sneller terug moeten. Nadere analyse toont dat het kleine aantal scenario's dat geen negatieve emissies gebruikt een nog grotere reductie heeft van 60-75 procent in 2050 voor alle broeikasgassen vergeleken met 2010. De range voor scenario's met negatieve emissies is daarmee 40-60 procent (figuur 2.4). Figuur 2.4 is gebaseerd op de literatuur samengevat in het IPCC AR5 rapport en bevat studies gepubliceerd in de periode 2008-2013. Veel studies gaan daarom uit van onmiddellijke reducties vanaf 2015. Ondertussen is het echter onwaarschijnlijk dat de 2020-emissies onder het niveau van de doelstellingen voor 2020 uitkomen, zoals verwerkt in de illustratieve berekeningen in het volgende hoofdstuk.

Als alleen naar CO₂ wordt gekeken, zijn de reducties veel groter. De reden is dat voor veel bronnen die de wereldwijde emissies van niet-CO₂-gassen (zoals methaan en N₂O) bepalen, het zeer lastig is emissies verder te beperken dan zo'n 50 procent (Gernaat et al., 2015). De cijfers voor CO₂-emissies zijn dan ook 70-95 procent zonder negatieve emissies en 60-85 procent met negatieve emissies.

2.3 Effectiviteit van het voorgenomen beleid

Als onderdeel van het klimaatakkoord hebben landen ook plannen ingediend hoe zij de broeikasgassen in de komende 10-15 jaar gaan terugdringen, de zogenoemde *Intended Nationally Determined Commitments (INDC's)*. Rogelj et al. (2016a) hebben een uitvoerige analyse gemaakt op basis van tien bestaande studies naar het effect van alle plannen die landen hebben ingediend voor de mondiale emissies in 2025 en 2030. Voor de periode na 2030 nemen deze onderzoeken aan dat het klimaatbeleid wordt voortgezet met een vergelijkbare intensiteit als in de periode tot 2030. Gezamenlijk laten deze studies zien dat uitvoering van de INDC's en voorzetting van dat beleid zou kunnen leiden tot een stijging van de mondiale temperatuur in 2100 van 2,6-3,1°C (ten opzichte van de pre-industriële situatie). Dit is dus minder dan de scenario's zonder beleid – maar bij lange na niet genoeg om de Parijsdoelstelling van 2°C of zelfs 1,5°C te halen. Om, uitgaande van de INDC's, dit wel te bereiken zijn er meteen na 2030 drastische maatregelen nodig, met jaarlijkse mondiale reducties van 3-4 procent. Dergelijke maatregelen zijn duur en moeilijk uitvoerbaar. Uitgaande van het 1,5- of 2°C-doel is het dus verstandig om de huidige plannen voor 2030 aan te scherpen. Om op een kosten-optimaal pad te komen zou de ambitie in de huidige INDC's door de verschillende partijen nog ruwweg moeten worden verdubbeld (Rogelj et al., 2016a).

Figuur 2.5
Mondiale emissie van broeikasgassen met en zonder klimaatbeleid



Bron: Rogelj et al. 2016

Uitvoering van het voorgenomen beleid en de verdere doelstellingen voor 2030 (INDC's) is onvoldoende om de reducties te halen conform het Parijsakkoord.

3 Consequenties voor Nederland

3.1 Mogelijke doelen voor Nederland en de EU voor 2030 en 2050 consistent met Parijs

3.1.1 Verdeling van emissiereducties: kostenefficiëntie en rechtvaardigheid

Het is mogelijk uit de mondiale koolstofbudgetten en scenario's doelstellingen voor Europa en Nederland af te leiden. Hiervoor is het wel nodig om een vertaling te maken van het mondiale naar het nationale niveau. Bij deze vertalingen spelen zowel argumenten rond efficiëntie van klimaatbeleid als rechtvaardigheid een rol. Terwijl het vanuit een mondiaal perspectief efficiënt lijkt veel maatregelen te nemen in ontwikkelingslanden omdat reducties hier vaak goedkoper zijn dan in rijke landen, kan dit strijdig zijn met rechtvaardigheidscriteria. Bij het laatste spelen namelijk ook afwegingen zoals: 1) de draagkracht van de economie (groter in OECD-landen), 2) de huidige emissies per persoon (vaak hoger in OECD-landen) en 3) de verantwoordelijkheid voor historische klimaatverandering.

Hieronder illustreren we hoe op basis van de mondiale budgetten een indicatie kan worden gegeven van de Europese en Nederlandse opgave, op basis van enkele simpele berekeningen met de in hoofdstuk 1 gepresenteerde cijfers. Eerdere rapportages die, met name voor de EU, naar regionale en nationale klimaatdoelen hebben gekeken, kunnen worden gebruikt om beter inzicht te krijgen in de gevoeligheid van de gepresenteerde uitkomsten. Deze bespreken we eerst kort in paragraaf 3.1.2.

3.1.2 Bestaande studies naar EU-reductiedoelstelling op basis van verdelingsprincipes

Zoals hierboven al gezegd, is het niet mogelijk om eenduidig te bepalen welke reductiedoelstelling voor de EU overeenkomt met het halen van een mondiaal reductiedoel. De reden is dat de afleiding afhankelijk is van eerlijke principes over hoe de emissiereducties (of emissies) verdeeld zouden moeten worden over de verschillende landen. Wereldwijd bestaat duidelijk geen consensus (onder meer onder wetenschappers, landen, ngo's) over het te hanteren eerlijkheidsprincipe. Veel van de voorgestelde allocatie-mechanismes voor de reductiedoelstellingen zijn gebaseerd op rechtvaardigheidsprincipes zoals (historische) verantwoordelijkheid voor de mondiale opwarming, vermogen om bij te dragen, gelijkheid en kosteneffectiviteit (Höhne et al., 2014). Hiervan afgeleide verdelingsleutels zijn bijvoorbeeld 1) een verdeling van de mondiale emissies op basis van een convergentie naar dezelfde uitstoot per hoofd in een bepaald jaar voor alle landen, 2) een verdeling op basis van bestaande uitstoot, 3) een verdeling op basis van gelijke reductiekosten per eenheid bnp, 4) een verdeling op basis van gelijke kosten per gereduceerde hoeveelheid emissies of 5) op basis van gelijke cumulatieve emissies (eventueel inclusief historische emissies), of een combinatie van deze sleutels.

In het verleden hebben vertegenwoordigers van Brazilië, Zuid-Afrika, India en China een principe verondersteld in berekeningen op basis van gelijke cumulatieve emissies per hoofd van de bevolking over een bepaalde tijdsperiode (BASIC experts, 2011). De EU heeft in berekeningen eerder gekeken naar een geleidelijke convergentie naar gelijke emissies per hoofd in een toekomstig jaar (bijvoorbeeld 2050), maar ook naar een kostenverdeling op basis van kosten-optimale reducties. De EU-klimaatbijdrage (National Determined Contribution (NDC)) aan het Parijsakkoord is een ten minste 40 procent reductiedoelstelling in 2030 ten opzichte van 1990. Voor de 2°C-doelstelling zijn de reducties voor de EU in de orde van 45

procent (40-55 procent) in 2030 en 77 procent (75-80 procent) in 2050 ten opzichte van 1990; op basis van de dataset van Tavoni et al. Verschillende studies hebben echter laten zien dat een benadering die volledig uitgaat van kosten-optimale verdeling zonder compensatie of internationale financiering voor ontwikkelingslanden de hoogste kosten per eenheid bnp oplevert (Hof et al., 2009, Tavoni et al., 2015).

Höhne et al. (2014) hebben een verdere uitwerking gepubliceerd van de cijfers in IPCC AR5. Hierin wordt gekeken naar een groot aantal studies waarin de allocatie van de reductiedoelstellingen is geanalyseerd op basis van verschillende rechtvaardigheidsprincipes. Zij berekenen een EU-reductiedoelstelling van 35 tot 65 procent in 2030 en 75 tot 90 procent ten opzichte van 1990 in 2050 voor 2°C op basis van de 20^e tot 80^e percentieluitkomsten. Du Pont et al. (2016) laten zien dat voor mondiale reducties in de orde van het 2°C-doel de 2030-doelstellingen voor de EU uiteenlopen van 24 tot 72 procent onder het emissieniveau van 2010 (ofwel 36 tot 76 procent ten opzichte van 1990), afhankelijk van het te hanteren rechtvaardigheidsprincipe. Hierbij leiden allocaties op basis van historische verantwoordelijkheid en/of naar vermogen om bij te dragen tot relatief hoge reductiedoelstellingen voor de EU en een allocatie op basis van huidige emissies per hoofd van de bevolking (*grandfathering*; een vorm van gelijkheid waarbij de huidige status quo wordt behouden) tot relatief lage doelstellingen. Een allocatie op basis van een geleidelijke overgang van huidige hoofdelijke emissieniveaus naar gelijke emissies per hoofd van de bevolking in 2040 leidt tot doelstellingen voor de EU die dicht bij het midden van de totale range liggen (46 procent ten opzichte van 2010, ofwel 54 procent ten opzichte van 1990). In een eerdere analyse van het PBL (Hof et al., 2012), ook gericht op de 2°C-doelstelling bij het uitgangspunt van gelijke reductiekosten per eenheid bnp voor alle landen, werd op EU-niveau een reductie berekend van 45-47 procent in 2030 ten opzichte van 1990.

Tabel 3.1
Overzicht recente studies rond EU-emissiedoel voor 2030

	Criteria	EU reductiedoelstelling 2030 (t.o.v. 1990)
Hof et al. (2012)	Gelijke reductiekosten als percentage van bbp	45-47%
Hohne et al. (2014)	Overzicht studies	35-65%
Tavoni et al. (2015)	Kosteneffectiviteit	40-55%
Dupont et al. (2016)	Diverse criteria	36-76%

Op basis van bovengenoemde studies (zie ook tabel 3.1) kan dus worden geconcludeerd dat op basis van verschillende interpretaties van 'wat eerlijk is' een range van verschillende doelen kan worden afgeleid voor EU-emissies. Uit de literatuur blijkt echter ook dat een verdeling op basis van hoofdelijke emissies vaak een redelijk gemiddeld resultaat oplevert – een relatief groot aantal studies gebruikt dit als benchmark. Veel studies komen uit op een reductiedoel boven het 'ten minste' 40 procentdoel wat nu wordt gehanteerd door de EU.

3.1.3 Illustratieve berekeningen voor de Europese Unie en Nederland op basis van nieuwe mondiale emissiedoelen

In onze illustratieve berekeningen voor deze studie concentreren we ons op doelstellingen voor CO₂-emissies (zie kader 3.1). We gaan daarbij uit van drie scenario's ('Parijsscenario's):

- a) Het behalen van het 2°C-doel met meer dan 66 procent kans (*well below 2°C*), uitgaande van het gebruik van netto negatieve emissies (in onze berekeningen gaan we uit van 200 miljard ton CO₂ negatieve emissies).
- b) Het behalen van het 2°C-doel met meer dan 66 procent kans (*well below 2°C*) zonder negatieve emissies.
- c) Het behalen van het 1,5°C-doel met meer dan 50 procent kans met negatieve emissies (in de berekeningen gaan we uit van 350 miljard ton CO₂).

We nemen in de berekeningen aan dat het niet meer mogelijk is om wereldwijd het bestaande beleid tot 2020 nog sterk aan te scherpen. Studies geven aan dat de emissies wereldwijd naar verwachting tussen 2015 en 2020 zo'n 6 procent zullen toenemen (Rogelj et al., 2016a). Vanaf 2020 veronderstellen we vervolgens een lineaire reductie wereldwijd om te voldoen aan het koolstofbudget.

De keuze voor de hoeveelheid negatieve emissies is tamelijk arbitrair. We hebben hier gekozen voor een hoeveelheid van 200 miljard ton CO₂ voor het 2°C-scenario, wat redelijk illustratief is voor het voorkomen van negatieve emissies in scenario's in de literatuur. Omdat het halen van de 1,5°C-doelstelling zonder negatieve emissies nauwelijks voorstelbaar is – en alle scenario's tot nu toe een veel grotere hoeveelheid negatieve emissies toepassen (Rogelj et al., 2015) is hier uitgegaan van 350 miljard ton CO₂ (gebaseerd ook op de eerste uitkomsten van nieuwe mondiale scenario's gebaseerd op de zogenoemde Shared Socio-economic Pathways, SSP's).

Voor het afleiden van de paden voor Europa en Nederland nemen we in deze illustratieve berekeningen aan dat de emissies per hoofd van de bevolking in 2050 wereldwijd dezelfde waarde bereiken. Zoals aangegeven in de vorige paragraaf is dit slechts een van de mogelijke rechtvaardigheidscriteria. Het is wel een van de meest gebruikte – en levert over het algemeen ook resultaten op die in het midden van de bandbreedte liggen. Voor zowel Europa als Nederland nemen we een lineaire reductie aan vanaf 2020 tot het afgeleide 2050-niveau.

Overigens geldt dat in de EU zelf sprake is van een verdeling van reductieverplichtingen zoals voor niet-ETS-sectoren (*effort sharing decision*). De berekeningen hier zijn dus illustratief en direct afgeleid van de mondiale doelstelling. Rekening houdend met het Europese doel en de ETS/niet-ETS sectoren is het complexer de doelstelling voor Nederland af te leiden.

Kader 3.1 CO₂ en andere broeikasgassen

Behalve CO₂ dragen ook andere broeikasgassen bij aan klimaatverandering, zoals methaan (CH₄), lachgas (N₂O), allerlei gehalogeneerde gassen en sommige aerosolen. Er bestaan verschillende methoden om de bijdrage van gassen met elkaar te vergelijken. Een complicerende factor is dat de atmosferische levensduur van de verschillende gassen en stoffen nogal verschilt. Zo is de atmosferische levensduur van het belangrijkste niet-CO₂-gas zo'n 15 jaar, terwijl het voor CO₂ vaak eeuwen duurt voordat een verhoogde concentratie CO₂ uit de atmosfeer is verwijderd.

In het beleid wordt sinds het Kyoto-protocol vaak uitgegaan van een *multigas*-benadering gebaseerd op zogenoemde *Global Warming Potentials* (GWP's). Hierdoor kan de totale emissie worden uitgedrukt in CO₂-equivalente emissies. Het GWP is een integraal over de warmtetoevoeging aan de atmosfeer van een gas over een bepaalde periode ten opzichte van CO₂. De waarde van methaan is relatief hoog (in opeenvolgende IPCC-rapporten is

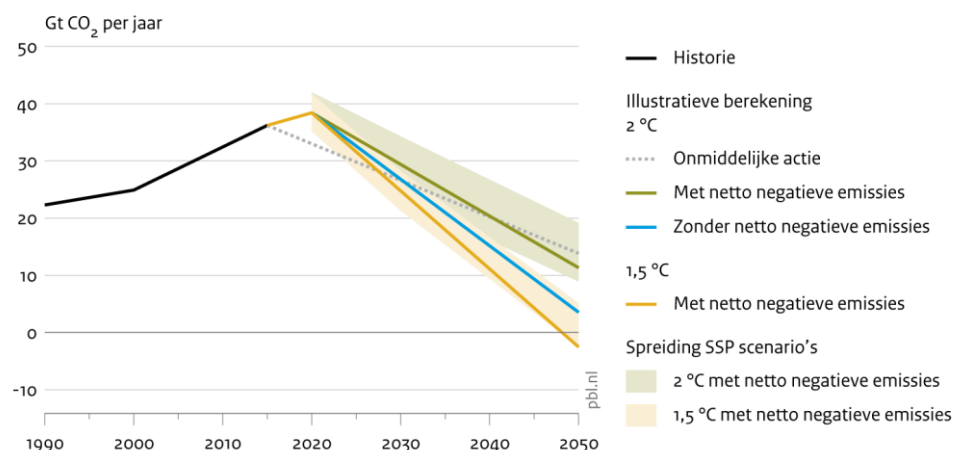
deze aangepast van 21 naar 34 in het laatste rapport (IPCC, 2013)). De huidige methaan-emissies hebben echter op korte termijn een grote invloed op klimaatverandering, maar dragen nauwelijks bij aan klimaatverandering op de lange termijn. Een budgetbenadering waarin emissies over een lange tijd worden opgeteld is alleen zinvol voor langlevende broeikasgassen (CO₂ en eventueel N₂O en bepaalde gehalogeneerde gassen). In dit rapport kijken we dus alleen naar CO₂ vanwege de benadering met budgetten, de dominante rol van CO₂ in klimaatverandering op lange termijn en (hiermee samenhangend) de directe samenhang tussen CO₂ en de langetermijntransities in energie en landbouw.

Het is overigens zinvol om opnieuw af te vragen of multigasdoelen gebaseerd op zulke verschillende gassen verstandig zijn. Dit hangt sterk samen met de doelstelling van klimaatbeleid. Omdat methaan met name een rol speelt op de korte termijn, wordt het belang van dit gas groter naarmate klimaatbeleid vooral ook op de korte termijn klimaatverandering wil voorkomen. In de meeste gevallen is het, vanwege het verschil in het effect in de tijd, niet verstandig om CO₂-emissiereducties uit te ruilen met die van methaan. Een benadering waarin zowel voor langlevende gassen als voor methaan doelen worden geformuleerd (én-én) lijkt effectiever dan een benadering waarin uitruil mogelijk is (óf-óf).

Figuur 3.1 toont voor de drie genoemde situaties het wereldwijde emissietraject. Alle berekeningen laten sterke reducties van de CO₂ emissies zien. De uitkomsten van de illustratieve berekeningen (lijnen) worden vergeleken met modeluitkomsten (vlakken). De illustratieve berekeningen vallen binnen de uitkomsten van complexe modellen. Doordat voor 1,5°C modellen soms nog meer netto negatieve emissies veronderstellen ligt hier de illustratieve berekening aan de onderkant van de modelrange.

In figuur 3.2 kijken we vervolgens naar de emissietrends per hoofd in de wereld, EU en Nederland in elk van de drie genoemde scenario's. Historisch bestaan er grote verschillen tussen de emissietrends in deze regio's – die ook de emissietrends naar 2050 bepalen.

Figuur 3.1
Mondiale CO₂-emissiepaden gebaseerd op Parijsakkoord

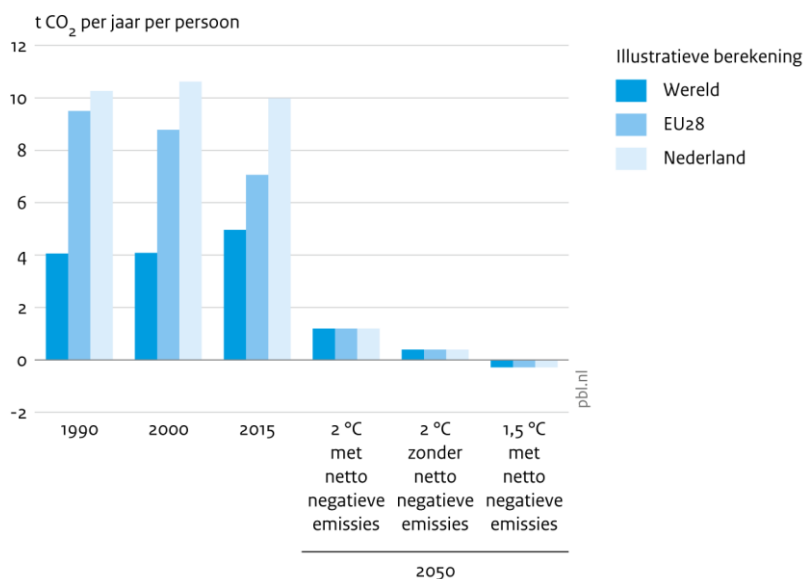


Bron: PBL

Toelichting: De gestreepte lijn toont het hypothetische geval van versnelde emissiereductie in 2020 consistent met het 2°C-doel. Het vlak toont de spreiding van nieuwe model-gebaseerde scenario's op basis van de Shared Socio-economic Pathways (SSP's) met netto negatieve emissies gericht op respectievelijk 2°C en 1,5°C.

Figuur 3.2

Mondiale CO₂-emissiepaden per persoon gebaseerd op Parijsakkoord



Bron: PBL

Toelichting: de berekeningen gaan uit van gelijke CO₂-emissies per hoofd van de bevolking in 2050 binnen het koolstofbudget: wereld, EU28 en Nederland.

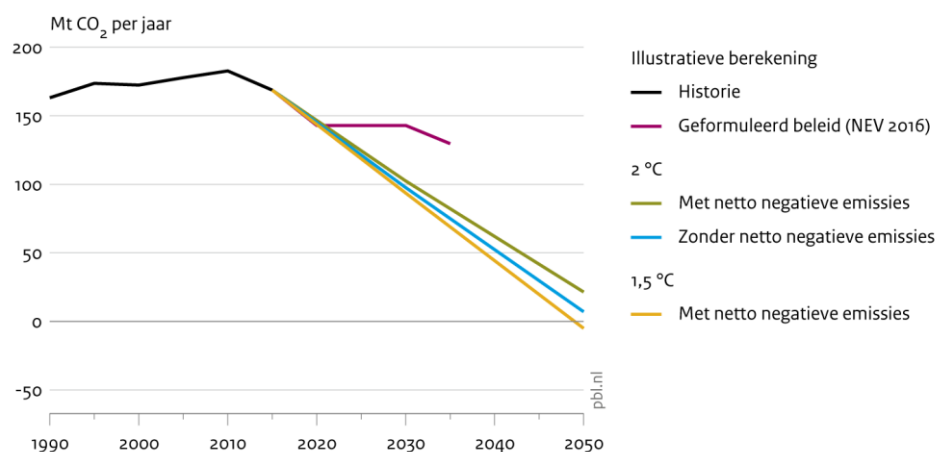
Tabel 3.2 geeft een overzicht van de drie illustratieve berekeningen gebaseerd op het Parijsakkoord. Afhankelijk van het scenario zouden de emissiereducties in de EU in 2030 rond de 50 procent moeten zijn voor de 2°C-doelstelling en 60 procent voor 1,5°C ten opzichte van 1990. In 2050 zouden de CO₂-emissiereducties lopen van 85-95 procent voor 2°C en meer dan 100 procent voor 1,5°C. Er geldt dus dat de reducties groter zijn dan voorgenomen bij het huidige beleid in de EU, dat momenteel een doelstelling van 40 procent reductie in 2030 heeft en streeft naar een reductie van 80-95 procent in 2050. Voor Nederland in 2030 leveren vergelijkbare berekeningen een reductie van 40 procent voor 2 °C en 50 procent voor 1,5 °C, en in 2050 opnieuw 85-95 procent voor 2 °C en meer dan 100 procent voor 1,5 °C. De geringere reductiepercentages in Nederland ten opzichte van 2010 voor de 2030-doelen komen doordat de Europese emissies in de periode 1990-2015 sneller zijn gereduceerd.

In Nederland zijn de broeikasgasemissies tussen 1990 en 2015 met 11 procent afgenomen. Deze trend wordt gedomineerd door de reducties van niet-CO₂-emissies, dat wil zeggen methaan, lachgas en fluorhoudende stoffen. De CO₂-emissies zijn ten opzichte van 1990 ongeveer constant gebleven (3,4 procent stijging), waarbij moet worden aangetekend dat de laatste 5 jaar de CO₂-emissies wel sterk zijn gedaald (maar vanaf een piek in 2010 van 12 procent boven de situatie van 1990).

Tabel 3.2
CO₂-emissiereducties ten opzichte van 1990 volgens de drie illustratieve berekeningen gebaseerd op het Parijsakkoord

		2°C; negatieve emissies	2°C; geen negatieve emissies	1.5°C; negatieve emissies
Mondiaal budget		1000 GtCO₂	1000 GtCO₂	550 GtCO₂
Emissies 2010-2015		175 GtCO ₂	175 GtCO ₂	175 GtCO ₂
Emissies 2015-2020		185 GtCO ₂	185 GtCO ₂	185 GtCO ₂
Netto negatieve emissies		-200 GtCO ₂	-0 GtCO ₂	-350GtCO ₂
Budget vanaf 2020 (inclusief overshoot)		840 GtCO₂	640 GtCO₂	540 GtCO₂
EU28	2030	49%	53%	61%
	2050	86%	95%	>100%
NL	2030	37%	40%	47%
	2050	87%	96%	>100%

Figuur 3.3
Nederlandse CO₂-emissiepaden gebaseerd op Parijsakkoord en geformuleerd beleid



Bron: PBL

De Nationale Energieverkenning (NEV-2016) (Schoots et al., 2016) laat zien dat in de komende jaren een verdere afname van de CO₂-emissies wordt verwacht. In 2020 zou dit leiden tot 12 procent reductie van CO₂-emissies ten opzichte van 1990; voor alle broeikasgassen is deze reductie 23 procent. Volgens de NEV zal bij uitvoering van het vastgestelde en voorgenomen beleid in de periode 2020-2030 weinig veranderen in de emissies van broeikasgassen. In 2030 is daardoor de verwachte emissiereductie van CO₂ opnieuw ongeveer 12 procent en de reductie van alle gassen naar verwachting 24 procent (beide ten opzichte van 1990). Omdat momenteel de niet-CO₂-bijdrage van de totale emissies nog maar 15 procent is (versus 26,5 procent in 1990) zal verdere reductie van broeikasgassen vooral door reductie van CO₂-emissies tot stand moeten worden gebracht.

De afgelopen 10 jaar zijn de CO₂-emissies met zo'n 0,6 procentpunt (als percentage van de 1990-emissies) per jaar afgenomen. Voor de eerder gepresenteerde scenario's zou de emis-

siereductie 2,6-2,8 procentpunt (2°C) en 3,4 procentpunt (1,5%) van de 1990-emissies impliceren. Dit betekent een duidelijke versnelling van emissiereducties ten opzichte van de historische trend. Ook het voorgenomen beleid (NEV-2016) is, met name na 2020, duidelijk onvoldoende om de 2°C-doelstelling te halen.

3.2 Reductiestrategieën in Nederland

De afspraken in het klimaatakkoord van Parijs vragen dus ook om een vérgaande vermindering van de uitstoot van broeikasgassen in Nederland. Dat kan met energiezuinige processen, hernieuwbare energie in plaats van kolen, olie en aardgas, emissievrij vervoer, elektrificatie in de warmtevoorziening, groene brandstoffen, en afvang en opslag van CO₂. Dit zijn veelal nieuwe technieken, waarbij ook nieuwe infrastructuur, aangepaste regels, andere organisaties en soms zelfs andere gewoonten nodig zijn. Daarnaast kan ook gedragsverandering bijdragen aan een reductie van emissies. Dit laatste betreft bijvoorbeeld dieetverandering of aanpassing van transportpatronen. Zonder krachtig beleid gaat dat niet lukken. Dit blijkt uit eerdere analyses van het PBL in onder meer het rapport 'Opties voor energie- en klimaatbeleid'.

Als uitvloeisel van het huidige EU-beleid is in scenario's tot nu toe vooral verkend hoe emissiereducties voor Nederland kunnen leiden tot een reductie van alle broeikasgassen van 40 procent in 2030 en 80 procent reductie in 2050. Volgens de berekeningen in de vorige paragraaf zouden deze waarden aangescherpt moeten worden om consistent te zijn met het 2°C-doel van Parijs, en nog meer wanneer wordt geprobeerd om niet afhankelijk te zijn van netto negatieve emissies in de toekomst of wanneer wordt gekozen voor het 1,5°C-doel. Daarbij geldt wel dat het voor de hand ligt dat op korte termijn de focus meer zal liggen op het versnellen van de transitie dan het exacte emissiereductiepercentage in 2050. Nederland is natuurlijk afhankelijk van het Europese beleid, maar als het besluit het nationaal klimaatbeleid in te vullen conform het Parijsakkoord zouden de volgende uitgangspunten kunnen gelden:

- Richt beleid op minstens 40 en mogelijk 50 procent CO₂-reductie in 2030, ten opzichte van 1990. Hiervoor is een sterke aanpassing nodig van het beleid. Volgens de NEV-2016 komt de emissiereductie bij vaststaand beleid op een reductie van 13 procent voor CO₂ en 24 procent voor alle broeikasgassen.
- Zorg ervoor dat huidige beslissingen bijdragen aan een langetermijnstreven naar een reductie van ten minste 85 procent en mogelijk meer dan 100 procent in 2050.
- Waarborg dit alles zodat een robuust investeringsklimaat ontstaat en betrek de maatschappij bij de uitvoering daarvan.
- Zorg voor transitiebeleid gericht op het op tijd invullen van alle infrastructurele, technische en institutionele randvoorwaarden voor het op grote schaal kunnen toepassen van CO₂-arme technieken.

Recent heeft de WRR ter overweging meegegeven dat voor het creëren van een robuust investeringsklimaat het belangrijk kan zijn een langetermijnperspectief voor Nederlands klimaatbeleid ook wettelijk te verankeren in een zogenoemde Klimaatwet.

3.3 Ingrijpende veranderingen

Het Parijsakkoord betekent dus voor Nederland een beperking van de CO₂-uitstoot met 85-100 procent in 2050. Dit doel is alleen haalbaar als de voorbereiding en uitvoering snel worden opgepakt, omdat het om zeer ingrijpende veranderingen gaat. Alleen het plukken van het laaghangende fruit – makkelijk te realiseren relatief goedkope maatregelen, zoals veel vormen van efficiencyverbetering – is niet voldoende om dat doel te bereiken. Investerings

in de komende 10 jaar bepalen al voor een groot deel hoe het Nederlandse energiesysteem eruitziet in 2050. Het is daarom van belang dat er voldoende wordt geïnvesteerd in innovatieve technieken die op korte termijn nog relatief duur zijn maar op de lange termijn onmisbaar om het doel te kunnen halen. Juist vanwege het ingrijpende karakter is deze vernieuwing vooral kansrijk als politieke kaders de robuustheid van het beleid waarborgen. Daarbij is zo'n transitie een zodanig ingrijpend proces dat het verstandig is maatschappelijke partijen en burgers een actieve rol te geven. Het Energieakkoord en de Nationale Klimaattop 2016 zijn eerste voorbeelden van hoe dit mogelijk is.

3.4 Inzet op alle fronten nodig om doel te halen

De genoemde veranderingen zijn stuk voor stuk bepaald geen eenvoudige opgaven. Voor het halen van het doel is er in elke sector vernieuwing nodig – en die ziet er in elke sector weer anders uit. Voor de gebouwde omgeving betekent het veel meer gasvrije wijken met warmtenetten of vérgaande isolatie met verwarming op elektriciteit. In het personenverkeer is er de optie om nul-emissievoertuigen (zoals elektrische auto's) tot de toekomstige standaard te maken. Bedrijven moeten dan de mogelijkheden voor innovatieve procesvernieuwing meer in praktijk gaan brengen. Voor zover dat onvoldoende emissiebeperking oplevert zal CO₂ moeten worden afgevangen, hetgeen pas kan als de organisatie van en infrastructuur voor het transport en de opslag van CO₂ zijn geregeld. Het is ook belangrijk dat de verduurzaming van de elektriciteitsvoorziening wordt doorgezet en het fluctuerende aanbod van zon en wind in het systeem wordt ingepast. Voor zover er in de toekomst nog steeds gas en vloeibare brandstoffen nodig zijn, is de verdere ontwikkeling van processen voor de productie van groene varianten hiervan gewenst.

In de figuren 3.4 en 3.5 zijn verschillende opties, in dit geval zonder de inzet van kernenergie, weergegeven voor de energievraag en de inrichting van het energiesysteem waarbij een emissiereductie van 80 respectievelijk 95 procent zou kunnen worden bereikt (Ros en Schure 2016). Besparing op het finale energiegebruik en elektrificatie in het gebruik, inzet van veel meer hernieuwbare energie en afvang en opslag van CO₂ (CCS) zijn belangrijke elementen van de vereiste aanpak (PBL 2011).

Voor een emissiereductie van 80 procent zijn er varianten denkbaar zonder de inzet van CCS, maar dan is niet alleen een flinke energiebesparing van belang; de inzet van hernieuwbare energie moet dan ook rond de 80 procent komen te liggen. Met maximale inzet van CCS zou met ongeveer 40 procent hernieuwbare energie kunnen worden volstaan.

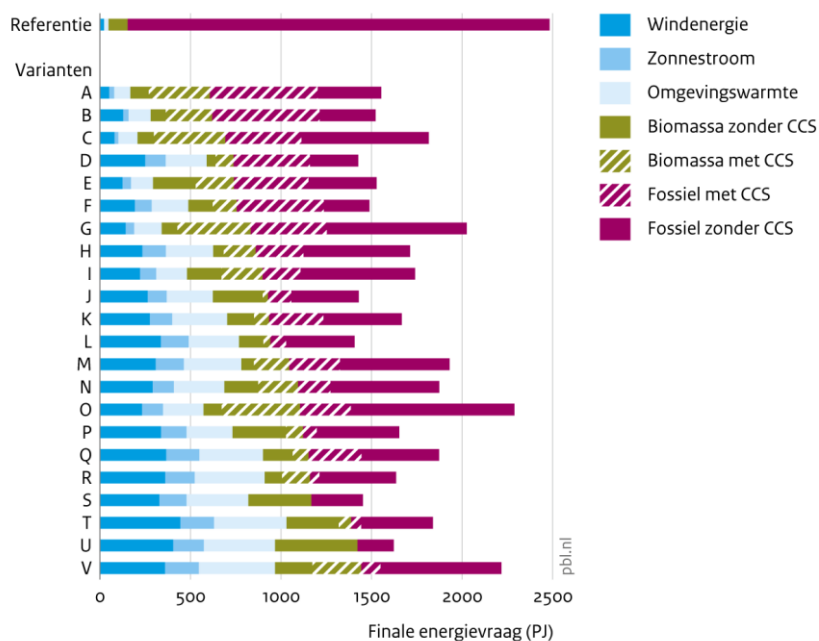
Voor een emissiereductie van 95 procent is een systeem zonder CCS nauwelijks voorstelbaar; er zou tientallen megaton CO₂ worden afgevangen en opgeslagen. Daarbij moet de energievraag aanzienlijk worden teruggebracht. De inzet van hernieuwbare energie zou (zelfs bij maximale inzet van CCS) ten minste 70 procent moeten bedragen en in de meeste varianten zelfs meer dan 80 procent. De combinatie van bio-energie met CCS is daarvoor een belangrijke optie. In veel varianten levert de combinatie van bio-energie met CCS een belangrijke bijdrage door de negatieve emissies die daarmee worden bereikt, vooral de afvang van CO₂ die vrijkomt bij de productie van groen gas en biobrandstoffen.

Als partijen invulling willen geven aan de opgave om te komen tot een reductie van de broeikasgasemissies met meer dan 90 procent in 2050, dan kan dat alleen als zij inzetten op een groot aantal maatregelen tegelijkertijd. Met andere woorden: het is dan niet of-of, maar en-en.

Rond vele technologieën zijn er nog onzekerheden omtrent potentiële beschikbaarheid (zoals van biomassa), kosten, inpasbaarheid in het systeem, en acceptatie door de burgers. Naast technologische maatregelen zijn ook gedragsaanpassingen een optie om reducties tot stand te brengen; zo kunnen mensen kiezen voor andere vervoersmiddelen, en voor het minder vaak eten van dierlijke producten.

Figuur 3.4

Opties voor invullen van energievraag in 2050 bij 80% emissiereductie ten opzichte van 1990

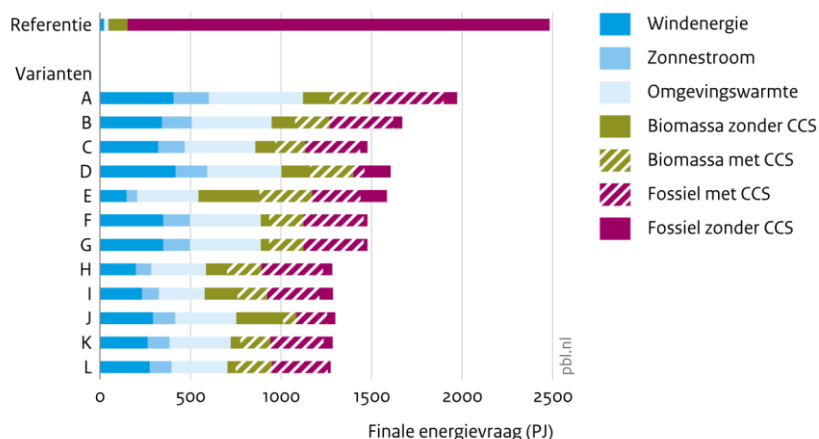


Bron: PBL model E-design

Een emissiereductie van 80 procent vereist een grote transitie in het Nederlands energiesysteem; A tot en met V zijn verschillende varianten om die te bereiken.

Figuur 3.5

Opties voor invullen van energievraag in 2050 bij 95% emissiereductie ten opzichte van 1990



Bron: PBL model E-design

De opgave om emissies met 95 procent te reduceren, vereist een nog grotere verandering van het energiesysteem; A tot en met L zijn verschillende varianten om die te bereiken.

Al deze vernieuwingen komen niet vanzelf tot stand; ze vragen ondersteunend beleid. De overheid kan de technologische en gedragsvernieuwingen stimuleren door ze bijvoorbeeld te faciliteren, regelgeving aan te passen op vele gebieden, publiek-private samenwerkingen aan te gaan, subsidies te verstrekken, of door andere financiële prikkels. In Nederland speelt ook het Europese beleid een cruciale rol. Het zal dan ook nodig zijn een effectief beleid op Europees niveau te bevorderen, zoals het versterken van het functioneren van het Europees handelssysteem voor emissierechten (ETS) en strenge normen te stellen voor voertuigen. Ook de inpassing van hernieuwbare energiebronnen vraagt om Europese coördinatie van de elektriciteitsmarkten en van grensoverschrijdende energie-infrastructuur.

3.5 Komende jaren cruciaal

De komende 10 jaar zullen cruciaal zijn zowel wereldwijd als in Nederland om klimaatbeleid tot een succes te maken. Om aan het Klimaatakkoord van Parijs gevolg te geven zullen wereldwijd de huidige beleidsvoornemens sterk moeten worden aangescherpt om binnen het koolstofbudget te blijven. Bovendien zullen overheden zich op korte termijn moeten buigen over de vraag welke rol zij negatieve emissies daarbij willen geven. Negatieve emissies zijn op lange termijn mogelijk, maar op basis van technologie die niet onomstreden is. Zonder negatieve emissies wordt de beleidsopgave voor de korte termijn nog groter.

In Nederland geldt een vergelijkbare opgave. Het voorgenomen beleid leidt tot onvoldoende reducties, namelijk 12 procent voor CO₂ ten opzichte van 1990. Een beleid consistent met het Parijsakkoord zou gericht moeten zijn op een reductie in 2030 tot zo'n 40-50 procent ten opzichte van 1990. Op de langere termijn (2050) geldt dat de emissies dan nagenoeg tot nul zullen moeten worden gereduceerd.

Nederland kan ook een rol spelen in de internationale onderhandelingen. Hier is afgesproken om voor 2020 de onderhandelingen over nieuwe emissiedoelstellingen af te ronden. Uitstel betekent dat op de iets langere termijn nog scherpere reducties nodig zijn, mogelijk via het afschrijven van bestaande installaties, aanpassing van bestaande installaties en gedragsverandering.

4 Literatuur

- ANDERSON, K. 2015. Duality in climate science. *Nature Geoscience*, 8, 898-900.
- BASIC EXPERTS 2011. Equitable access to sustainable development: Contribution to the body of scientific knowledge. BASIC expert group: Beijing, Brasilia, Cape Town and Mumbai.
- DU PONT, Y. R., JEFFERY, M. L., GÜTSCHOW, J., CHRISTOFF, P. & MEINSHAUSEN, M. 2016. National contributions for decarbonizing the world economy in line with the G7 agreement. *Environ Res Let*
- FABER, A., DE GOEDE, P. & WEIJNEN, M. 2016. Klimaatbeleid voor de lange termijn: van vrijblijvend naar verankerd. Den Haag: Wetenschappelijke raad voor het regeringsbeleid.
- FRIEDLINGSTEIN, P., ANDREW, R. M., ROGELJ, J., PETERS, G. P., CANADELL, J. G., KNUTTI, R., LUDERER, G., RAUPACH, M. R., SCHAEFFER, M., VAN VUUREN, D. P. & LE QUÉRÉ, C. 2014. Persistent growth of CO2 emissions and implications for reaching climate targets. *Nature Geoscience*, 7, 709-715.
- GEDEN, O. 2015. Policy: Climate advisers must maintain integrity. *Nature*, 521, 27-28.
- GERNAAT, D. E. H. J., CALVIN, K., LUCAS, P. L., LUDERER, G., OTTO, S. A. C., RAO, S., STREFLER, J. & VAN VUUREN, D. P. 2015. Understanding the contribution of non-carbon dioxide gases in deep mitigation scenarios. *Global Environmental Change*, 33, 142-153.
- HOF, A., BRINK, C., MENDOZA BELTRAN, A. & ELZEN, M., DEN 2012. *Greenhouse gas emission reduction targets for 2030. Conditions for an EU target of 40%*. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- HOF, A. F., DEN ELZEN, M. G. J. & VAN VUUREN, D. P. 2009. Environmental effectiveness and economic consequences of fragmented vs. universal regimes: What can we learn from model studies? *Int. Environ. Agreem.: Polit., Law and Econ*, 9, 39-62.
- HÖHNE, N., DEN ELZEN, M. & ESCALANTE, D. 2014. Regional GHG reduction targets based on effort sharing: a comparison of studies. *Clim Policy*, 14, 122-147.
- IPCC 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *In: STOCKER, T. F., QIN, D., PLATTNER, G. K., TIGNOR, M., ALLEN, S. K., BOSCHUNG, J., NAUELS, A., XIA, Y. & BE, V. (eds.)*
- IPCC 2014a. Climate Change 2014 - Synthesis Report. Intergovernmental panel on Climate Change.
- IPCC 2014b. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge, United Kingdom, Cambridge University Press.
- LE QUÉRÉ, C., MORIARTY, R., ANDREW, R. M., CANADELL, J. G., SITCH, S., KORSAKKEN, J. I., FRIEDLINGSTEIN, P., PETERS, G. P., ANDRES, R. J., BODEN, T. A., HOUGHTON, R. A., HOUSE, J. I., KEELING, R. F., TANS, P., ARNETH, A., BAKKER, D. C. E., BARBERO, L., BOPP, L., CHANG, J., CHEVALLIER, F., CHINI, L. P., CIAIS, P., FADER, M., FEELY, R. A., GKRTZALIS, T., HARRIS, I., HAUCK, J., ILYINA, T., JAIN, A. K., KATO, E., KITIDIS, V., KLEIN GOLDEWIJK, K., KOVEN, C., LANDSCHÜTZER, P., LAUVSET, S. K., LEFÉVRE, N., LENTON, A., LIMA, I. D., METZL, N., MILLERO, F., MUNRO, D. R., MURATA, A., NABEL, J., NAKAOKA, S., NOJIRI, Y., O'BRIEN, K., OLSEN, A., ONO, T., PÉREZ, F. F., PFEIL, B., PIERROT, D., POULTER, B., REHDER, G., RÖDENBECK, C., SAITO, S., SCHUSTER, U., SCHWINGER, J., SÉFÉRIAN, R., STEINHOFF, T., STOCKER, B. D., SUTTON, A. J., TAKAHASHI, T., TILBROOK, B., VAN DER LAAN-LUIJKX, I. T., VAN DER WERF, G. R., VAN HEUVEN, S., VANDEMARK, D., VIOVY, N., WILTSHIRE, A., ZAEHLE, S. & ZENG, N. 2015. Global Carbon Budget 2015. *Earth System Science Data*, 7, 349-396.
- MEINSHAUSEN, M., MEINSHAUSEN, N., HARE, W., RAPER, S. C. B., FRIELER, K., KNUTTI, R., FRAME, D. J. & ALLEN, M. R. 2009. Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C. *Nature*, 458, 1158-1162.
- ROGELJ, J., DEN ELZEN, M., HÖHNE, N., FRANSEN, T., FEKETE, H., WINKLER, H., SCHAEFFER, R., SHA, F., RIAHI, K. & MEINSHAUSEN, M. 2016a. Paris Agreement

- climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C. *Nature*, 534, 631–639.
- ROGELJ, J., LUDERER, G., PIETZCKER, R., KRIEGLER, E., SCHAEFFER, M., KREY, V. & RIAHI, K. 2015. Energy system transformations for limiting end-of-century warming to below 1.5°C. *Nature Climate Change*, 5, 519-528.
- ROGELJ, J., SCHAEFFER, M., FRIEDLINGSTEIN, P., GILLET, N., VAN VUUREN, D. P., RIAHI, K., ALLEN, M. R. & KNUTTI, R. 2016b. Differences between carbon budget estimates unravelled. *Nature Clim. Change*, accepted.
- SCHOOTS, K., HEKKENBERG, M. & HAMMINGH, P. 2016. Nationale Energieverkenning 2016. ECN Beleidsstudies.
- SMITH, P., DAVIS, S. J., CREUTZIG, F., FUSS, S., MINX, J. C., GABRIELLE, B., KATO, E., JACKSON, R. B., COWIE, A., KRIEGLER, E., VAN VUUREN, D. P., ROGELJ, J., CIAIS, P., MILNE, J., CANADELL, J. G., MCCOLLUM, D., PETERS, G. M., ANDREW, R. M., KREY, V., SHRESTHA, G., FRIEDLINGSTEIN, P., GASSER, T., GRÜBLER, A., HEIDUG, W. K., JONAS, M., JONES, C. D., KRAXNER, F., LITTLETON, E., LOWE, J., MOREIRA, J. R., NAKICENOVIC, N., OBERSTEINER, M., PATWARDHAN, A., ROGNER, M., RUBIN, E. S., SHARIFI, A., TORVANGER, A., YAMAGATA, Y., EDMONDS, J. & YONGSUNG, C. 2016. Biophysical and economic limits to negative CO2 emissions. *Nature Clim. Change*, DOI: 10.1038/NCLIMATE2870.
- TAVONI, M., KRIEGLER, E., RIAHI, K., VAN VUUREN, D. P., ABOUMAHBOUB, T., BOWEN, A., CALVIN, K., KOBER, T., JEWELL, J., LUDERER, G., MARANGONI, G., MCCOLLUM, D., VAN SLUISVELD, M., ZIMMER, A. & VAN DER ZWAAN, B. 2015. Post-2020 climate agreements in the major economies assessed in the light of global models. *Nature Clim. Change*, 5, 119-126.
- UNFCCC 2015. 2015.FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1: Adoption of the Paris Agreement. Paris, France: UNFCCC.
- VAN VUUREN, D. P. 2015. Integrated assessment: Back to the Future. *Inaugural lecture*. Utrecht University.
- VAN VUUREN, D. P., VAN SLUISVELD, M. & HOF, A. F. 2015. Implications of long-term scenarios for medium-term targets (2050). PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.