

De klimaatdoelstelling van Parijs

*WAT BETEKENT EEN MAXIMALE TEMPERATUURSTIJGING VAN “RUIM BENEDEN 2 GRADEN,
EN STREVEN NAAR ANDERHALVE GRAAD”?*

Discussienotitie

Amsterdam, 15 maart 2016

Auteurs:

- Wim Turkenburg
- Sible Schöne
- Bert Metz
- Leo Meyer

Inhoud

In de discussie over de vraag met welke energietechnieken en -systemen de gewenste beperking van de temperatuurstijging op aarde kan worden bereikt spelen tenminste vijf vragen.

De eerste vraag is wat er nodig is om de mondiale temperatuurstijging tot maximaal anderhalve of twee graden te beperken. De tweede is welk energiebesparingstempo gedurende een reeks van jaren mogelijk is. De derde betreft de noodzaak en haalbaarheid van een groeiende inzet van biomassa in de energievoorziening. De vierde vraag gaat over de noodzaak en haalbaarheid van het afvangen en opslaan van CO₂ (CCS). De vijfde vraag betreft de noodzaak en haalbaarheid van het verwijderen van CO₂ uit de atmosfeer ('negatieve emissies') en de opties die daarvoor beschikbaar zijn.

In deze notitie gaan we op deze vijf vragen in.

Samenvatting

Inleiding

1. Wat is nodig voor “ruim beneden twee en streven naar niet meer dan anderhalve graad”?
2. Het tempo van energiebesparing
3. Biomassa als energiebron
4. Afvang en opslag van CO₂
5. CO₂-verwijdering uit de atmosfeer ('negatieve emissies')

Deze transitie-analyse om Nederland duurzaam te maken door emissiemitigatie is uitgevoerd door:

Wim Turkenburg: Emeritus hoogleraar 'Science, Technology and Society', Universiteit Utrecht en in het recente verleden: directeur van het Copernicus Instituut voor Duurzame Ontwikkeling, Universiteit Utrecht; voorzitter van de Energiecommissie van de VN (UN-CENRD); convening lead author 'Renewable Energy' van de World Energy Assessment en de Global Energy Assessment.

Sible Schöne: Directeur Stichting HIER klimaatbureau; voorzitter Bezinningsgroep Energie.

Bert Metz: Adviseur European Climate Foundation; voormalig co-voorzitter IPCC Werkgroep Mitigatie (3^{de} en 4^{de} Assessment).

Leo Meyer: Freelance consultant en in het recente verleden: projectleider Syntheserapport IPCC (5^e Assessment); hoofd secretariaat IPCC Werkgroep Mitigatie (4^e Assessment).

Correspondentieadres: wim_turkenburg@hotmail.com

De discussienotitie kan worden gedownload van de website:

<https://hier.nu/klimaatbureau/pagina/publicaties>

Samenvatting

Een van de meest opvallende uitkomsten van de klimaatconferentie in Parijs (COP21, december 2015) is, dat alle landen hebben erkend dat het toestaan van een temperatuurstijging op aarde van maximaal twee graden als gevolg van menselijk handelen in feite een te hoog getal is. De lange-termijndoelstelling is daarom aangescherpt en luidt nu “we moeten ruim beneden de twee graden blijven en streven naar een temperatuurstijging van maximaal anderhalve graad”.

De aanscherping van de doelstelling komt voort uit de inmiddels gegroeide wetenschappelijke inzichten dat ook opwarming beneden de 2°C grote schade kan toebrengen aan koraalriffen, tropisch regenwoud, en de landbouw, en ook kan leiden tot onomkeerbare processen zoals het verdwijnen van het ijs op Groenland en West-Antarctica, en de daaruit resulterende zeespiegelstijging.

Realisatie van deze doelstelling vereist een verregaande vermindering van de uitstoot van broeikasgassen. In deze notitie gaan we in op de vraag wat dat betekent voor de inzet van technologieën om met name de uitstoot van het belangrijkste broeikasgas, te weten CO₂, binnen aanvaardbare grenzen te houden. Behandeling van deze vraag is van belang omdat nogal eens wordt gesteld, zeker ook in Nederland, dat dit doel met uitsluitend een sterke stimulering van energiebesparing en van het gebruik van wind- en zonne-energie kan worden bereikt. Anderen daarentegen bepleiten een veel breder pakket waarin ook het gebruik van duurzaam gewonnen biomassa zit evenals het toepassen van CO₂ Capture and Storage (CCS) en het verwijderen van CO₂ uit de atmosfeer.

Uit de beschikbare wetenschappelijke literatuur komt als dominante conclusie naar voren dat mondiale inzet van biomassa, CCS en ook CO₂-verwijdering uit de atmosfeer (met name door het gebruik van bio-energie waar mogelijk te combineren met CCS) al nodig is om binnen een temperatuurstijging van 2 graden te blijven. In nog veel sterkere mate geldt dit wanneer de limiet bij 1,5 graad wordt gelegd.

Een overweging daarnaast is dat je zoveel mogelijk opties moet ontwikkelen en inzetten om eventuele tegenvallers bij de toepassing van een technologie te kunnen pareren, mits deze opties bijdragen aan een duurzame ontwikkeling van de samenleving.

Tot voor kort waren er scenario's die – in ieder geval voor een limiet van 2 graden - het zonder CCS en zonder CO₂ verwijdering uit de atmosfeer konden stellen. Die gingen er dan vanuit dat de uitstoot van broeikasgassen snel zou dalen. Omdat deze emissie sindsdien mondiaal is toegenomen en deze toename naar verwachting tot zeker het jaar 2020 zal doorgaan, is voorbij gaan aan deze twee opties niet langer meer mogelijk als we met een kans van meer dan 66% onder de 2 graden willen blijven.

Stel nu dat de mondiale CO₂ emissie niet stijgt maar jaar in jaar uit op het niveau van het jaar 2014 wordt gehouden. Dan is, gerekend vanaf 2014, na circa 21 jaar het nog beschikbare emissiebudget voor een 2 graden limiet (met meer dan 66% kans om dat te halen) verbruikt. Beperking van de temperatuurstijging tot maximaal 1,5 graad met eveneens een kans van meer dan 66% impliceert dat al na circa 6 jaar (dus in het jaar 2020) het nog resterende emissiebudget is verbruikt. Dit laat zien dat we wereldwijd met een levensgroot en uiterst urgent vraagstuk hebben te maken.

De mondiale energiescenario's van WWF/Ecofys en Greenpeace (die niet zijn doorgerekend door het IPCC) en het nationale energiescenario van Urgenda laten allen een aanzienlijke inzet van biomassa in de energievoorziening zien maar geen CCS en geen CO₂-verwijdering uit de atmosfeer. Dit wordt in deze scenario's onder meer veroorzaakt door extreme aannamen te maken over de verbetering van de efficiency van het energiegebruik die jaar in jaar uit zou kunnen worden bereikt.

Tot nu toe bedraagt de efficiencyverbetering die mondiaal wordt bereikt niet veel meer dan 1% per jaar. De Global Energy Assessment, die in 2012 is gepubliceerd, gaat uit van een maximaal haalbare efficiëntieverbetering van 2,4% per jaar. Zou dit worden gerealiseerd, dan zou de stijging van het mondiale energieverbruik tussen 2010 en 2050 tot ongeveer 50% kunnen worden beperkt. De scenario's van Greenpeace en WWF gaan uit van circa 4% efficiëntieverbetering per jaar, met als gevolg dat het mondiale energieverbruik in hun scenario's in 2050 zo'n 20% lager ligt dan in 2000. In de praktijk zijn we – wereldwijd gemiddeld – helaas nog ver verwijderd van 2,4% efficiëntieverbetering per jaar, laat staan van 4% per jaar. In Europa streven we thans een efficiencyverbetering van 1,5% per jaar na maar zelfs dit getal blijkt in Nederland in de praktijk moeilijk realiseerbaar.

CCS kan worden gezien als een internationaal bewezen technologie die bij de winning en het gebruik van koolwaterstoffen kan worden ingezet om de uitstoot van CO₂ verregaand te beperken. De toepassing van CCS technologie brengt aanzienlijke kosten met zich mee. Ook vergt het energie. Vrijwel alle duurzame ('sustainable') energiescenario's voor het jaar 2050 komen echter tot de conclusie dat inzet van de CCS technologie – als derde optie, naast energiebesparing en hernieuwbare energiebronnen - noodzakelijk is om beneden twee graad temperatuurstijging te blijven. Nog veel sterker geldt dit als we de stijging tot maximaal 1,5 graad willen beperken. De meeste studies komen bovendien tot de conclusie dat we aanvullend ook technieken moeten inzetten om een teveel aan CO₂ in de lucht er weer uit te halen. De belangrijkste optie hiervoor is het combineren van CCS met toepassingen van bio-energie (BECCS).

De hoeveelheid biomassa die in klimaatvriendelijke energiescenario's wordt ingezet is doorgaans gelijk aan of wat groter dan de hoeveelheden die in de scenario's van WWF, Greenpeace en Urgenda worden gebruikt, maar in de meeste gevallen binnen de grenzen van wat naar verwachting op duurzame wijze kan worden gewonnen.

Er kleven risico's aan grootschalige toepassing van zowel bio-energie als CCS, maar deze zijn met een grote waarschijnlijkheid hanteerbaar door scherpe eisen te stellen aan de duurzaamheid van biomassa en het ondergronds opslaan van CO₂. Ook moeten ze worden gezien in het licht van de risico's die kleven aan het overschrijden van de 1,5 of 2 graden grens.

Specifiek voor Nederland geldt dat de mogelijkheden voor winning van hernieuwbare energie, waaronder zonne-energie, minder groot zijn dan voor de wereld als geheel. Nederland zal dus veel oog moeten hebben voor de import van hernieuwbare energie, voor de toepassing van CCS bij het gebruik van koolwaterstoffen en voor 'negatieve emissies' als we het klimaatvraagstuk ook in ons land met de in Parijs afgesproken inzet willen adresseren.

Inleiding

Een van de meest opvallende uitkomsten van de klimaatconferentie in Parijs (COP21, december 2015) is, dat alle landen hebben erkend dat het toestaan van een temperatuurstijging van maximaal twee graden als gevolg van menselijk handelen – zoals internationaal overeengekomen in Cancun in 2010 – in feite te hoog is. We moeten ruim beneden de twee graden blijven en streven naar maximaal anderhalve graad.¹ Daarom is besloten dat de mondiale uitstoot van broeikasgassen zo snel als mogelijk is niet meer mag toenemen en vervolgens snel moet dalen, in overeenstemming met de best beschikbare wetenschappelijke kennis. Dit moet in de tweede helft van deze eeuw leiden tot een situatie waarin op aarde de uitstoot en vastlegging van broeikasgassen met elkaar in evenwicht zijn,² dat wil zeggen "netto nul" emissies.

De aanscherping van de doelstelling komt voort uit de inmiddels gegroeide wetenschappelijke inzichten dat ook al beneden de 2°C grote en onomkeerbare schade door de opwarming kan optreden. Dit geldt voor natuurlijke systemen, zoals koraalriffen en tropisch regenwoud, voor de landbouw in grote delen van de wereld. Maar dit geldt ook voor het risico op het smelten van het Groenland ijs en het afsmelten en afbreken van het West-Antarctische landijs door de opwarming van de oceaan.³ Dat kan gezamenlijk uiteindelijk tot 10 meter zeespiegelstijging leiden.⁴ Die processen kunnen weliswaar vele eeuwen duren, maar zijn onomkeerbaar, en daarmee wordt klimaatverandering ook een echte bedreiging voor alle delta's in de wereld en de grote steden die in deze delta's liggen.

Er is in het Klimaatakkoord van Parijs weinig tot niets vastgelegd over de energiebronnen en technologieën die al dan niet ingezet moet worden om de gestelde doelen te bereiken. Dit leidt inmiddels tot een zekere richtingsstrijd in de discussie over de meest effectieve aanpak van het klimaatprobleem. Enerzijds zijn er partijen die het klimaatprobleem willen oplossen door op relatief korte termijn volledig te stoppen met het gebruik van fossiele brandstoffen en te kiezen voor (uitsluitend) energiebesparing en de inzet van hernieuwbare energiebronnen, met name zon en wind. Aan de andere kant zien we toekomstbeelden waarin daarnaast ook een belangrijke rol is weggelegd voor CO₂-afvang en opslag (CCS), bio-energie, verwijdering van CO₂ uit de atmosfeer ('negatieve emissies') en mogelijk kernenergie.

In de discussie over de vraag met welke energietechnieken en -systemen de gewenste beperking van de temperatuurstijging op aarde kan worden bereikt spelen tenminste vijf vragen.

De eerste vraag is wat er nodig is om de mondiale temperatuurstijging tot maximaal anderhalve of twee graden te beperken. De tweede is welk energiebesparingstempo gedurende een reeks van jaren mogelijk is. De derde betreft de noodzaak en haalbaarheid van een groeiende inzet van biomassa in de energievoorziening. De vierde vraag gaat over de noodzaak en haalbaarheid van het

¹ Het Klimaatakkoord van Parijs zegt hierover: *'Holding the increase in the global average temperature to well below 2 °C above pre-industrial levels and to pursue efforts to limit the temperature increase to 1.5 °C above pre-industrial levels'*.

² Het Klimaatakkoord van Parijs zegt hierover: *'Parties aim to reach global peaking of greenhouse gas emissions as soon as possible, recognizing that peaking will take longer for developing country Parties, and to undertake rapid reductions thereafter in accordance with best available science, so as to achieve a balance between anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases in the second half of this century, on the basis of equity, and in the context of sustainable development and efforts to eradicate poverty.'*

³ T.F. Stocker et al., 2013: *Technical Summary*. In: Climate Change (2013): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press.

⁴ International Cryosphere Climate Initiative, 2015: *Thresholds and closing windows, risks of irreversible cryosphere climate change*.

afvangen en opslaan van CO₂ (CCS). De vijfde vraag betreft de noodzaak en haalbaarheid van het verwijderen van CO₂ uit de atmosfeer ('negatieve emissies') en de opties die daarvoor beschikbaar zijn. In deze notitie gaan we op deze vijf vragen in.

Andere vragen, zoals de rol van gedragsverandering, bevolkingspolitiek en het beperken van economische groei zijn ook relevant maar worden in deze notitie niet besproken. Ook aan kernenergie wordt in deze notitie voorbij gegaan omdat de optie vooralsnog niet aan te stellen duurzaamheidscriteria voldoet⁵, niet economisch inzetbaar is bij een verregaande penetratie van zon- en windenergie⁶, en ook niet per se noodzakelijk lijkt om het klimaatvraagstuk op te kunnen lossen⁷.

1. Wat is nodig voor “ruim beneden twee en streven naar niet meer dan anderhalve graad”?

De landen die partij zijn bij de UN Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) waren overeengekomen dat ieder van hen ruim vóór de Conference of Parties in Parijs (COP21) zou aangeven welk klimaatbeleid zij de komende jaren willen gaan voeren. Meer dan 185 landen, waaronder alle landen die er toe doen, hebben hun indicatieve plan ('INDC') ingestuurd. Opgeteld is de uitkomst dat met het voorgenomen beleid de uitstoot van broeikasgassen tot 2030 nog belangrijk zal stijgen en dat de gemiddelde temperatuur op aarde deze eeuw waarschijnlijk met 3-3,5 graad Celsius zal toenemen.⁸

In Parijs hebben de indicatieve plannen het stempel 'Nationally Determined Contribution' (NDC) gekregen; ze zijn dus niet langer indicatief. De optelsom van alle NDCs laat zien dat het realiseren van maximaal 2 graad, laat staan 1,5 graad, bij lange na nog niet in zicht is. Daarvoor is nodig dat de uitstoot van broeikasgassen, en vooral CO₂, veel sneller wordt teruggedrongen.

Op de website van Carbon Brief⁹ is terug te vinden welke uitstoot van CO₂ we mondiaal nog kunnen toestaan als we de door menselijk handelen veroorzaakte stijging van de temperatuur op aarde willen beperken tot 2 dan wel 1,5 graad Celsius. Berekend is hoeveel jaar we de huidige uitstoot van CO₂ nog kunnen handhaven voordat die nul moet zijn. Figuur 1, gemaakt door Carbon Brief, geeft daarvan een beeld. In de figuur is als referentie ook de toelaatbare uitstoot bij een maximum stijging met 3 graad Celsius opgenomen.

In het maatschappelijke debat over het te voeren klimaatbeleid wordt er doorgaans vanuit gegaan dat de kans tenminste 66% moet zijn dat de stijging van de gemiddelde temperatuur op aarde tot minder dan 2 graad wordt beperkt. De figuur laat zien dat handhaving van de CO₂-emissie op het niveau van 2014 zou betekenen dat dan, gerekend vanaf 2014, na 21 jaar het nog beschikbare emissiebudget is verbruikt. Beperking van de temperatuurstijging tot maximaal 1,5 graad met

⁵ W.C. Turkenburg, 2003: *Nuclear Energy and Sustainable Development*, Proc. Internat. Conf. on Innovative Technologies for Nuclear Fuel Cycles and Nuclear Power, IAEA, Vienna, Austria.

⁶ A.S. Brouwer et al., 2016: *Least-cost options for integrating intermittent renewables in low-carbon power systems*, Applied Energy, Vol. 161, pp. 48-74

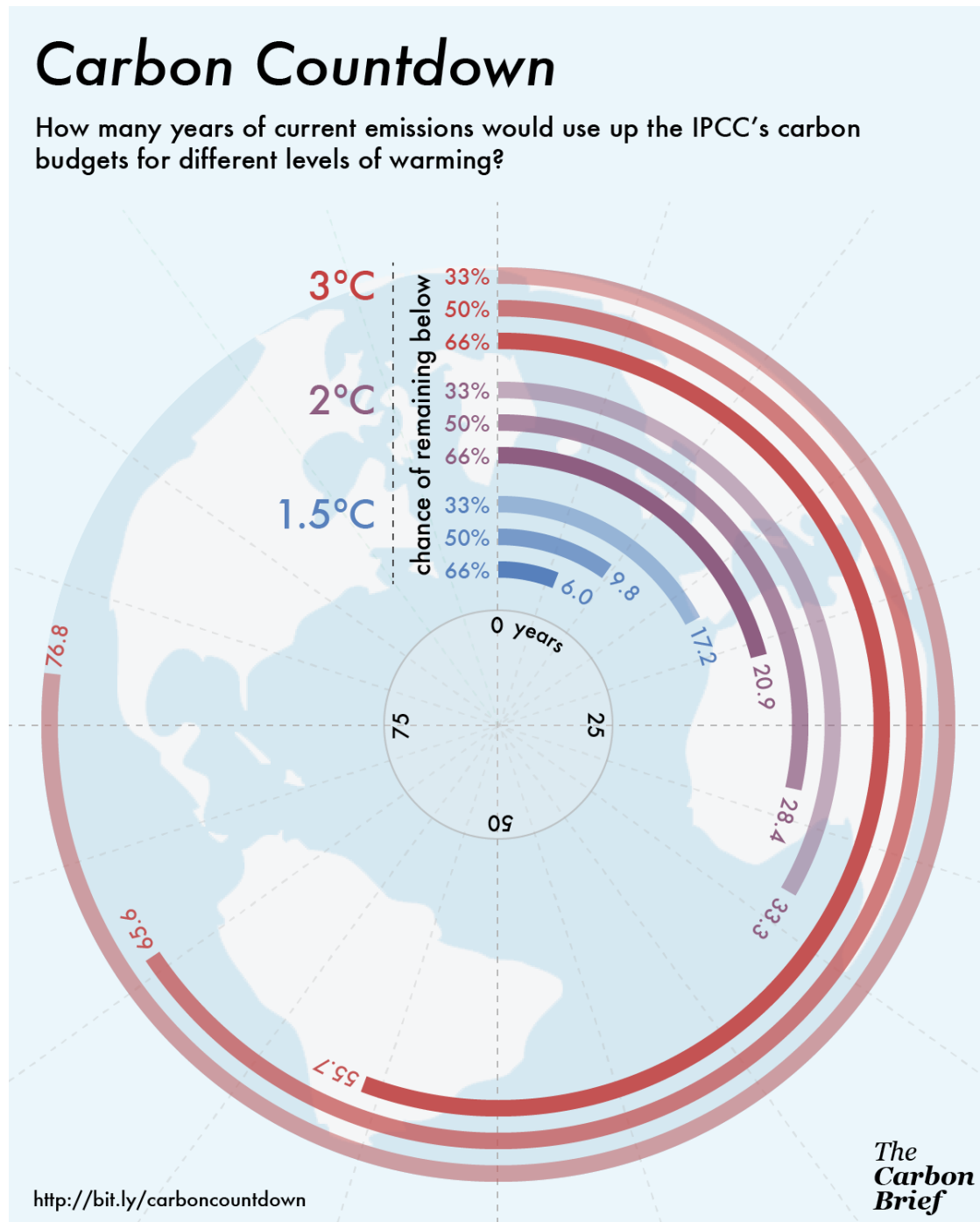
⁷ GEA, 2012: *Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future*, Cambridge Univ. Press and IIASA, Laxenburg, Austria.

⁸ Zie : UNEP, 2015: *The Emissions Gap Report 2015*, dat een evaluatie maakte van alle gepubliceerde schattingen; de schatting van 2,7°C van IEA in het rapport *Energy and Climate Change - WEO Special Briefing for COP21 (2015)* en *Climate Action Tracker* (zie: <http://www.climateactiontracker.org/>) zijn gebaseerd op een kans van 50% om onder het betreffende temperatuurniveau te blijven; voor een >66% kans – die in het UNEP rapport wordt aangehouden – schuift de 2,7°C op naar 3°C.

⁹ Zie: <http://www.carbonbrief.org/six-years-worth-of-current-emissions-would-blow-the-carbon-budget-for-1-5-degrees> en <http://bit.ly/carboncountdown>.

eveneens een kans van 66% impliceert dat al na circa 6 jaar (dus in het jaar 2020) het resterende emissiebudget is verbruikt. Voor een 50% kans om onder de 1,5 graad stijging te blijven is dat circa 10 jaar. Deze periodes kunnen worden opgerekt door forse emissiereducties en door het verwijderen van CO₂ uit de atmosfeer.

Wel moet worden opgemerkt dat onzekerheid in de berekening aanzienlijk is; de genoemde periodes kunnen zowel een onderschatting als een overschatting zijn.¹⁰



Figuur 1: In hoeveel jaren is naar schatting het nog beschikbare koolstofbudget verbruikt? Bron: Carbon Brief, 2015.

¹⁰ J. Rogelj et al., 2016: *Differences between carbon budget estimates unravelled*, *Nature Climate Change*, Vol. 6, pp. 245-252.

Het IPCC heeft in haar laatste assessment rapport¹¹ onder meer gekeken naar alle energie-en-klimaat scenario's die zijn gemaakt met behulp van integrated assessment modellen en die leiden tot een mondiale temperatuurstijging van maximaal 2 graad. Corrigerend voor scenario's die al voor het jaar 2020 mondiale reducties laten zien (hetgeen niet meer conform de realiteit is) en voor scenario's die een kans van minder dan 66% hebben om onder de 2 graad te blijven, blijken er slechts tien scenario's te bestaan die dit mogelijk maken. Voor zover wij hebben kunnen nagaan, maken al deze scenario's gebruik van CO₂ afvang en opslag en van biomassa als energiebron. Ook maken ze gebruik van CO₂ verwijdering uit de atmosfeer ('negatieve emissies'), zie het UNEP Emissions Gap Report 2015.¹² Deze tweegradenscenario's verlengen de periode tot aan "netto nul" emissies van CO₂ van 21 jaar tot 45 à 60 jaar. Voor 1,5 graad is dit tot circa 35 jaar. Maar in al deze scenario's is er vrijwel geen mogelijkheid meer keuzes te maken tussen wenselijke en onwenselijke opties. Daarvoor moet er al op korte termijn te veel gebeuren.

Soortgelijke scenario's voor het realiseren van een temperatuurstijging van maximaal 1,5 graad zijn nog maar heel beperkt ontwikkeld. Door COP21 in Parijs is aan onderzoeksinstellingen de oproep gedaan hieraan te werken. Van verkenningen die tot in 2015 zijn uitgevoerd wordt een beeld gegeven in een overzichtsartikel dat in juni 2015 in het tijdschrift Nature Climate Change werd gepubliceerd.¹³ De verkenningen laten het volgende zien:

- Er zijn nog maar heel weinig vrijheidsgraden in het te voeren energiebeleid als we de temperatuurstijging tot 1,5 graad willen beperken.
- Er zal nog harder op energiebesparing en het toepassen van 'low carbon technologies', met name ook CCS, moeten worden ingezet.
- Zonder het toepassen van technieken om CO₂ uit de lucht te halen zal het niet lukken de temperatuurstijging tot 1,5 graad Celsius te beperken. Tussen 2010 en 2100 kan het hierbij gaan om in totaal 450 tot 1.000 Gt CO₂ (voor 2 graden scenario's zijn deze hoeveelheden kleiner).
- Na 2050 zal de netto uitstoot van CO₂ mondiaal negatief moeten zijn om het teveel aan uitstoot tussen 2010 en 2050 ongedaan te maken (voor 2 graden scenario's ligt dit moment tussen 2060 en 2075).
- De totale mitigatiekosten in een 1,5 graad Celsius scenario zijn waarschijnlijk tenminste twee keer zo hoog als in een 2 graad Celsius scenario. Uiteraard staan hier baten tegenover door een minder ingrijpende klimaatverandering.

Gaan we uit van een kans van 66% op een maximum van 2 graad Celsius temperatuurstijging, dan volgt uit de genoemde studies dat de "netto" mondiale CO₂-uitstoot – dus het verschil tussen uitstoot van CO₂ naar de atmosfeer en verwijdering van CO₂ uit de atmosfeer – na 2020 moet dalen en tussen 2060 en 2075 nul moet zijn. Voor 1,5 graad moet de daling na 2020 veel scherper zijn zodanig dat de netto uitstoot mondiaal omstreeks 2050 nul is. De in Parijs gepresenteerde en inmiddels vastgelegde nationale bijdragen - de NDC's - laten daarentegen tot in het jaar 2030 een toename van de mondiale CO₂-uitstoot zien. Dit leidt tot de conclusie dat volledige afbouw het gebruik van fossiele energiebronnen en tegelijk opbouw van een volledig vervangend energiesysteem dat betrouwbaar functioneert en voornamelijk uit (variabel) zon- en windvermogen

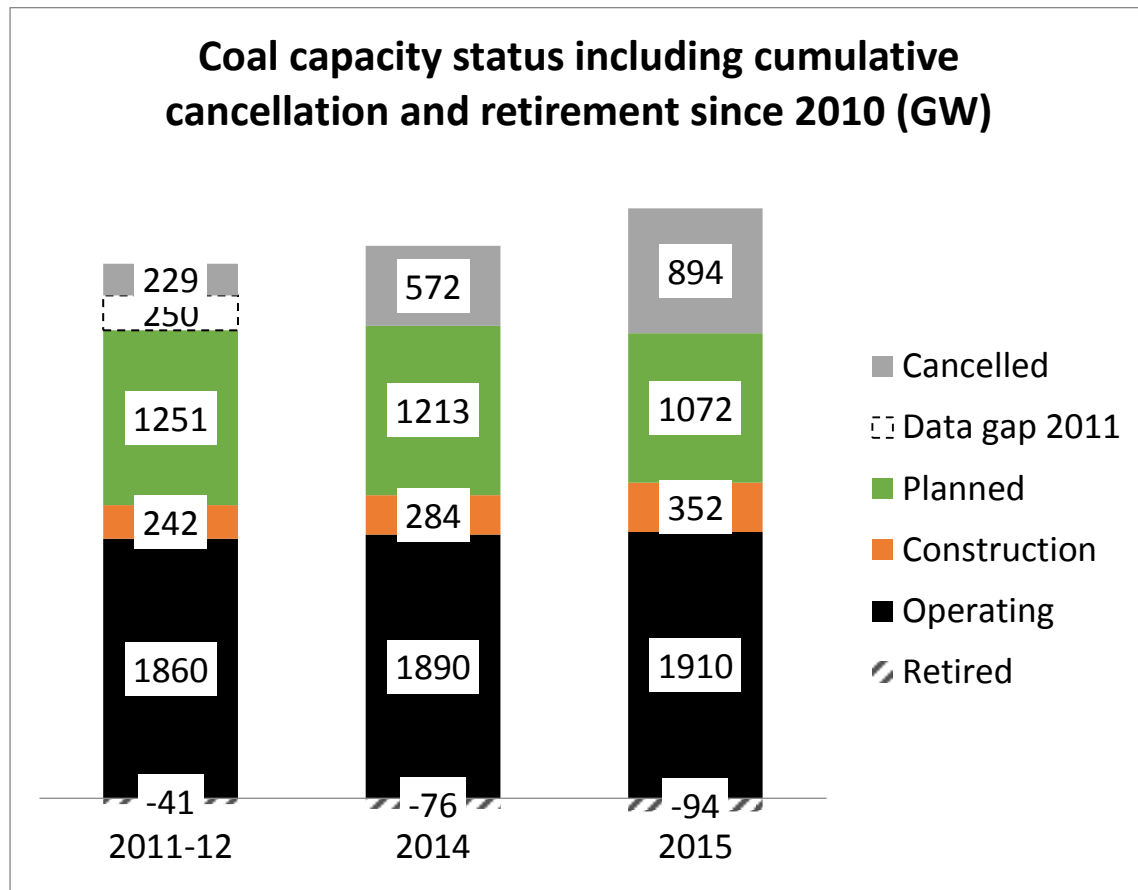
¹¹ IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds)], IPCC, Geneva, Switzerland - zie tabel 3.1 p. 83; IPCC, 2014: *Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report*, [O. Edenhofer et al. (eds)], Cambridge University Press.

¹² Zie: <http://uneplive.unep.org/theme/index/13#indcs>.

¹³ J. Rogelj et al., 2015: *Energy system transformations for limiting end-of-century warming to below 1.5°C*, Nature Climate Change, Vol. 5, pp. 519-527.

bestaat - en geen gebruik maakt van CCS en het verwijderen van CO₂ uit de atmosfeer - binnen de genoemde termijnen niet reëel is.¹⁴

Dat het met de snelle afbouw van het gebruik van fossiele brandstoffen niet goed gaat wordt ook geïllustreerd door het feit dat het opgestelde vermogen aan kolengestookte elektriciteitscentrales nog steeds toeneemt, zie figuur 2, terwijl een tweegradenscenario vereist dat kolengebruik zonder CCS ('*unabated coal*') vanaf nu afneemt.¹⁵



Figuur 2: Mondiale ontwikkeling van kolengestookt vermogen in de periode 2011-2015. Bron: European Climate Foundation, 2015.¹⁶

De conclusie is dat CCS, bio-energie én het verwijderen en vastleggen van CO₂ uit de atmosfeer essentiële onderdelen zijn van de transitie naar een klimaatneutrale energievoorziening als we die binnen zo'n 30 jaar (voor maximaal 1,5 graad) tot 50 jaar (voor maximaal 2 graad) willen realiseren.

Een soortgelijke conclusie is te vinden in een rapport van de Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice (SBSTA) dat op 4 mei 2015 door het UNFCCC werd gepubliceerd (SBSTA, 2015).¹⁷ Zo schrijft de SBSTA:

¹⁴ Zie ook: M. Schaeffer et al., 2013: *Adequacy and feasibility of the 1.5°C long-term global limit*, Climate Action Network Europe, Brussels, Belgium.

¹⁵ Zie: Statement by Leading Climate and Energy Scientists, 2013: *New unabated coal is not compatible with keeping global warming below 2°C*, ECF, Brussels.

¹⁶ ECF, 2015: *Status of global coal capacity, showing plants announced since 2010 - a compilation of data from Coalswarm, WRI and Platts*.

“In terms of feasibility, costs and risks of the 1.5 °C scenarios, the IPCC indicated that overshooting is a typical feature of low-emission scenarios, with its related risks.In general, pathways limiting warming to below 1.5 °C by the end of the century are similar to those limiting warming to 2 °C, but call for more immediate mitigation action and an additional scaling-up of the challenging features of the 2 °C scenarios, such as the scaling-up of CO₂ removal technologies and of the full set of low-carbon technologies.”

Er zijn ook mondiale scenario's gepubliceerd die tot een energievoorziening leiden die in 2050 voor een overgroot deel op zon, wind en duurzame biomassa draait. Deze scenario's zijn echter niet doorgerekend met een integrated assessment model (IAM), en in ieder geval niet meegenomen in het assessment rapport dat het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in 2014 heeft gepubliceerd. Derhalve zijn ze niet gecheckt op technische en economische haalbaarheid en op interne consistentie. Een voorbeeld is het scenario dat in het 'WWF 2050 Energy Report' staat en in hoge mate door bureau Ecofys is ontwikkeld.¹⁸ De WWF studie neemt aan dat een forse groei van de mondiale economie gecombineerd kan worden met een energievraag die in 2050 ruim onder het niveau van 2010 ligt dankzij rigoureuze energiebesparing in de industrie, de gebouwde omgeving en het transport. Ook wordt een zeer sterke elektrificatie van de energievoorziening voorzien en zeer hoge groeiselheden voor het gebruik van zonne- en windenergie. Het scenario gaat voor het jaar 2050 ook uit van nog maar een zeer beperkte bijdrage van fossiele bronnen en een forse inzet van biomassa, maar niet van verwijdering van CO₂ uit de atmosfeer en ook niet van CO₂ -afvang en opslag.

Het Greenpeace Advanced Energy Revolution scenario¹⁹ gebruikt vergelijkbare aannamen en leidt tot vergelijkbare uitkomsten met betrekking tot het gebruik van biomassa, maar heeft in 2050 geen inzet meer van fossiele energiebronnen.

Een recent rapport van Greenpeace Duitsland, gebaseerd op een analyse van het NewClimate Instituut²⁰, laat zien dat bij uitsluiting van CCS en CO₂ verwijdering uit de atmosfeer draconische maatregelen nodig zijn om binnen het door Duitsland te leveren aandeel in "streven naar maximaal 1,5 graad en ruim beneden 2 graden" te blijven. Het rapport komt op: netto nul CO₂ uitstoot in 2035, 100% duurzame energie (elektriciteit, warmte, transport) in 2035, uitfasering van kolen en bruinkool omstreeks 2025, alle auto's elektrisch in 2035, verschuiving van autogebruik naar openbaar vervoer van 10% per decade, jaarlijks 5% van de bestaande gebouwen energieneutraal maken en alle nieuwe gebouwen energieneutraal.

Geen van de door het IPCC bekeken IAM scenario's bevatten aannamen die vergelijkbaar zijn met de veronderstellingen die aan deze scenario's ten grondslag liggen. Dat betreft vooral de extreme aannamen wat betreft de verbetering van de energie-efficiency die mondiaal, jaar in jaar uit, realiseerbaar wordt geacht. Ook de grote snelheid waarmee een zeer diepe penetratie van zon- en windvermogen wordt gerealiseerd – voor het bereiken van een energievoorziening die zowel duurzaam ('sustainable'), betrouwbaar, kosteneffectief als toegankelijk voor iedereen is – wordt in de IAM scenario's niet teruggevonden.

¹⁷ Zie: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/sb/eng/inf01.pdf>

¹⁸ Zie: http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/101223_energy_report_final_print_2.pdf

¹⁹ Zie: <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2015/Energy-Revolution-2015-Full.pdf>

²⁰ N. Höhne et al., 2016: *Was bedeutet das Pariser Abkommen für den Klimaschutz in Deutschland?*, NewClimate Institute, Germany, <http://newclimate.org/2016/02/23/what-does-the-paris-agreement-mean-for-climate-protection-in-germany/>

Overigens is een bijkomend vraagstuk in welke mate een land beschikt over mogelijkheden om energie-efficiency jaar in jaar uit drastisch te verbeteren en ook eigen hernieuwbare energiebronnen in te zetten. Wat betreft dit laatste is voor de EU een antwoord te vinden in een studie van de International Renewable Energy Agency (IRENA), gepubliceerd in 2013.²¹ De studie laat zien dat Nederland binnen de EU tot het groepje landen behoort dat het minst over hernieuwbare energiebronnen beschikt. Dit maakt het voor Nederland aanzienlijk moeilijker (c.q. kostbaarder) dan voor heel veel andere landen om de energievoorziening voor een overgroot deel op inheemse hernieuwbare energiebronnen te baseren. De bron waar Nederland volgens IRENA het meest over kan beschikken is windenergie op zee. Tegelijk is dit een van de duurder bronnen. Daar komt nog bij dat Nederland het op één na dichtstbevolkte land van Europa is. Daarom mag worden verwacht dat Nederland bij het toepassen van hernieuwbare energiebronnen achter zal blijven lopen bij wat de meeste andere landen in Europa weten te realiseren.

2. Het tempo van energiebesparing

Stimulering van energiebesparing levert heel veel voordelen.²² Energiebesparing kan worden bereikt door verschuivingen in het consumptiepatroon en daarmee ook in de economie. Energiebesparing kan ook worden bereikt door het energiegebruik per eenheid product te verminderen.

Het tempo van energiebesparing is het belangrijkste verschil tussen business-as-usual scenario's en tweegradenscenario's. Gangbare business-as-usual scenario's gaan doorgaans uit van circa 1,2% autonome verbetering van de energie-intensiteit van de economie (primaire energiegebruik per eenheid van BNP) per jaar. Shell gaat in haar energiescenario's 'Mountains' en 'Oceans' van 2013 uit van 1,4% per jaar.²³ Tussen 1990 en 2013 was de verbetering mondiaal gemiddeld 1,25% per jaar.²⁴ Tussen 2003 en 2013 was dit getal gemiddeld 1,4% per jaar, waarvan 0,3% door economische structuurverandering en 1,1% door efficiencyverbetering.²⁵ Dit leidt in veel scenario's tot de verwachting dat het mondiale energiegebruik tussen de jaren 2000 en 2050 tenminste verdubbelt als gevolg van groei van de wereldbevolking en groei van de mondiale economie.

In het kader van de Global Energy Assessment zijn drie typen energiepaden uitgewerkt.²⁶ Een type is gericht op bevordering van een klimaatneutraal aanbod van energie, uitgaande van een verbetering van de energie-intensiteit van de economie met 1,5% per jaar. In het tweede type is er heel veel nadruk op het bevorderen van energie-efficiency. Het derde type zit daartussenin. Voorbeelden van de typen paden staan weergegeven in figuur 3. De efficiency-scenario's gaan uit van een maximaal haalbare verlaging van de energie-intensiteit met 2,2% per jaar, wereldgemiddeld. De stijging van het energieverbruik tussen 2010 en 2050 blijft daardoor beperkt tot ongeveer 50%.

De scenario's van Greenpeace en het World Wildlife Fund gaan uit van circa 4% efficiëntieverbetering per jaar, gemiddeld tot aan 2050, met als gevolg dat het mondiale energieverbruik in hun scenario's in 2050 zo'n 20% lager ligt dan in 2000. Dergelijke

²¹ IRENA, 2013: *'Renewable Energy Country Profiles – European Union'*.

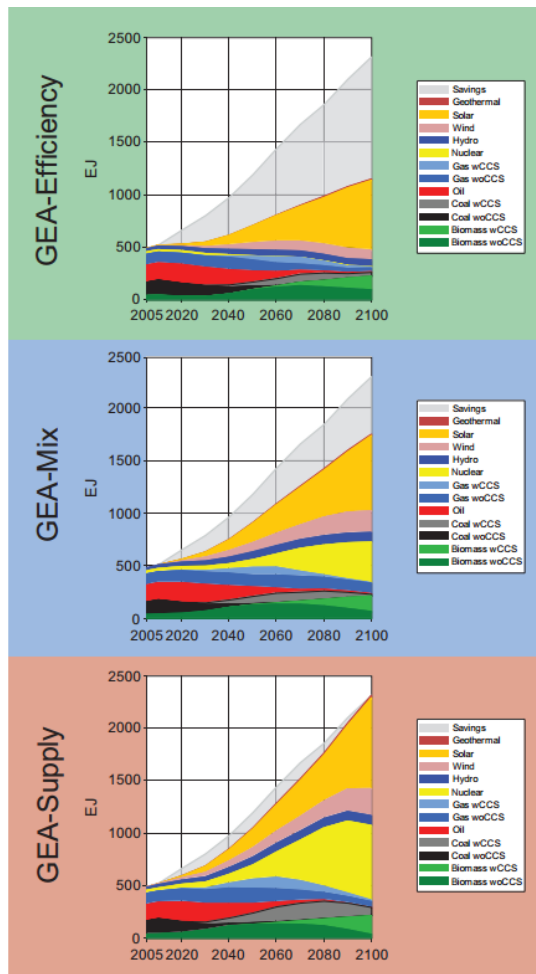
²² IEA, 2015: *Capturing the multiple benefits of energy efficiency*

²³ Shell, 2013: *New LENS scenarios – a shift in perspective for a world in transition*.

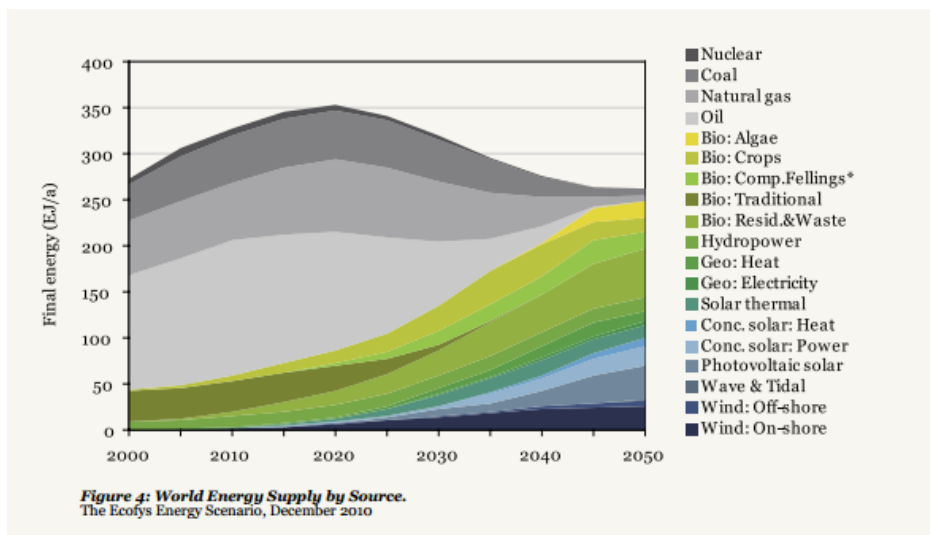
²⁴ UN Cronicle, Dec. 2015: *The Impact of Renewable Energy Technologies on Global Energy Intensity*

²⁵ Zie IEA, 2015: *Medium Term Energy Efficiency Market Report*; voor de OECD landen lag dit percentage in 2014 op 2,3%.

²⁶ GEA, 2012: *'Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future'*, Cambridge University Press, UK.



Figuur 3: Voorbeelden van de drie typen energiepaden zoals gepubliceerd in de Global Energy Assessment (GEA, 2012) die leiden tot een duurzame ('sustainable') ontwikkeling van de energievoorziening passend bij een twee-graden-maximaal scenario.



Figuur 4: De mondiale ontwikkeling van de finale energievraag in het WWF scenario tussen de jaren 2000 en 2050 en de inzet van energiebronnen hierbij. Bron: WWF, 2011.

besparingsscenario's maken het volgens WWF en Greenpeace mogelijk het mondiale energieverbruik in 2050 geheel, of vrijwel geheel, met energie uit hernieuwbare energiebronnen (met name biomassa, zon en wind) te dekken, zie als voorbeeld figuur 4.

Hoewel verregaande efficiëntieverbetering algemeen wordt gezien als de CO₂-reductiemaatregel met verreweg het grootste potentieel, is er in de praktijk opvallend weinig aandacht voor – laat staan overeenstemming over – het antwoord op de vraag hoe een versnelde realisatie van dit potentieel moet worden geïnstrumenteerd. Illustratief hiervoor is dat op dit terrein in Nederland weinig is bereikt binnen de onderhandelingen die tot het thans geldende Energieakkoord hebben geleid, ondanks het feit dat binnen de EU was afgesproken dat de efficiency van ons energiegebruik jaarlijks met 1,5% zal worden verbeterd.

Ook moet worden opgemerkt dat het voor landen moeilijker kan zijn hoge besparingspercentages te realiseren als zij in het verleden al veel aan het verbeteren van de energie-efficiency hebben gedaan. Zo liep Nederland voorop in de jaren tachtig en negentig van de vorige eeuw. Vervolgens formuleerde Nederland als doelstelling een verbetering van de efficiency van ons energiegebruik met 2% per jaar. In de praktijk werd toen echter niet veel meer dan het autonome besparingstempo van circa 1% per jaar gerealiseerd.

Toegespitst op Nederland moet de conclusie zijn dat het realiseren van 2% efficiencyverbetering per jaar - jaar in jaar uit - een geweldige krachtsinspanning zal vergen. Lukt dat, maar groeit ondertussen de economie in ons land met gemiddeld ruwweg 2% per jaar, dan blijft de vraag naar energie in ons land de komende decaden min of meer constant. Voor de wereld als geheel zal bij 2% efficiencyverbetering per jaar het mondiale energiegebruik naar verwachting nog aanzienlijk toenemen, gezien de toename in welvaart die in ontwikkelingslanden en opkomende economieën nodig is. De ontwikkelingen in China in de laatste dertig jaar zijn hiervoor illustratief.

3. Biomassa als energiebron

Biomassa speelt een belangrijke rol in vrijwel alle duurzaamheidsscenario's. In het WWF-scenario gaat het om een aandeel van circa 100 EJ in het jaar 2050, en in het Advanced Revolution scenario van Greenpeace om circa 80 EJ in 2050. In beide scenario's wordt hiermee de (lage) mondiale energievraag voor 40% of meer gedekt. In het Urgenda scenario²⁷, dat op het realiseren van een volledig hernieuwbare energievoorziening in Nederland in het jaar 2030 is gericht, is de bijdrage van bioenergie zelfs 60%. De belangrijkste reden hiervoor is dat biomassa op een vergelijkbare manier kan worden ingezet als fossiele brandstoffen, met name in het transport, de elektriciteitssector en de productie van hitte in de industrie. Het is zeer lastig daarvoor alternatieven te vinden die binnen enkele decaden grootschalig kunnen worden toegepast, zowel mondiaal als in Nederland.

Dit beeld sluit aan bij analyses van de Global Energy Assessment. In de duurzame ('sustainable') energiepaden die GEA in beeld heeft gebracht, uitgaande van een maximaal toelaatbare temperatuurstijging van 2 graad, loopt de bijdrage van biomassa aan de mondiale energievraag op van ongeveer 55 EJ in 2010 tot 80-140 EJ in 2050. Tevens staat in GEA aangegeven dat die bijdrage wellicht verder kan oplopen tot circa 200 EJ aan het eind van de eeuw, mits dit duurzaam kan worden gerealiseerd. In veel GEA energiepaden wordt de helft of meer van het biomassaverbruik gekoppeld aan het afvangen en opslaan van CO₂ (CCS), om aldus CO₂ uit de atmosfeer te verwijderen en daarmee binnen de tweegradendoelstelling te blijven (zie verder onder vraag 5).

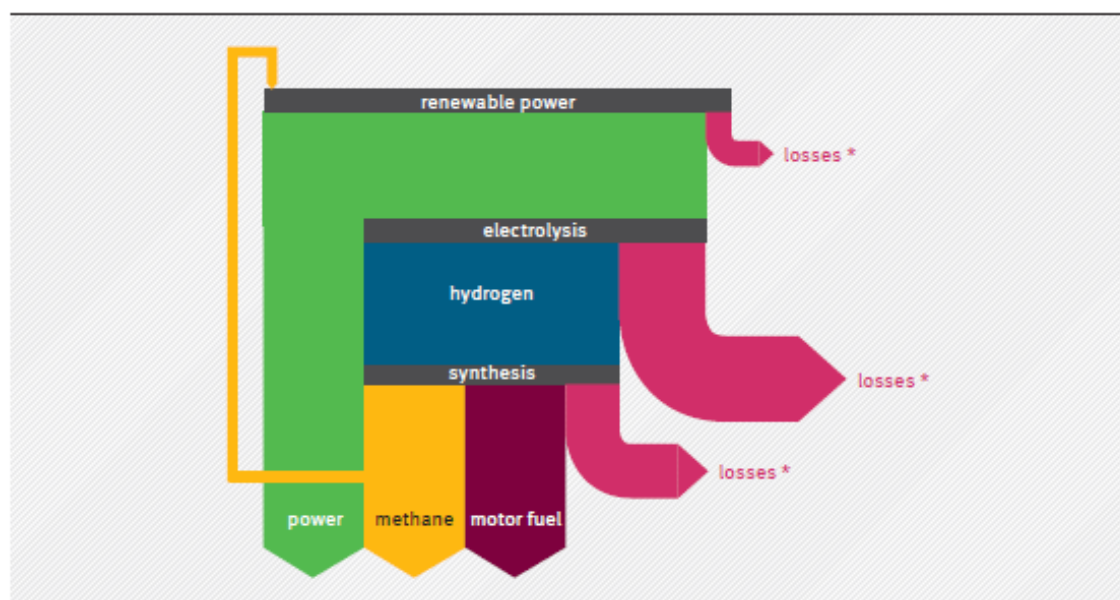
²⁷ Zie: <http://www.urgenda.nl/visie/rapport-2030/>

Grootschalige toepassing van biomassa als brandstof kan, indien onzorgvuldig tot ontwikkeling gebracht, ook negatieve effecten hebben zoals competitie met voedselvoorziening, ontbossing en vermindering van biodiversiteit. Maar deze effecten zijn naar verwachting te vermijden met zorgvuldige toepassing van biomassa als grondstof en als energiedrager en met introductie en handhaving van duurzaamheidscriteria.^{28,29} Toepassing van bio-energie kan aldus substantieel bijdragen aan het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen.

In het kader van de Duitse Energiewende heeft het Duitse Ministerie van Milieu één energiescenario ontwikkeld dat geen gebruik maakt van biomassa en vrijwel volledig is gebaseerd op inzet van energie uit zon en wind.³⁰ Kern hiervan is een zeer grootschalige productie van methaan en van motorbrandstoffen uit waterstof dat via elektrolyse met behulp van elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen wordt gemaakt; zie het schema zoals afgedrukt in figuur 5.

Figure 2:

Qualitative representation of the energy flow in the UBA THGND 2050 Scenario,^{1,2} own graphics.



Figuur 5: Energiestromen in 2050 in Duitsland in een verkennend scenario waarbinnen de benodigde energie vrijwel geheel door alleen zonne- en windenergie wordt geleverd. Bron: *Germany in 2050 – a greenhouse gas neutral country*, Umwelt Bundesamt 07/2014.

Bij dit scenario zijn kritische vragen te stellen, bijvoorbeeld over de (maatschappelijke) realiseerbaarheid, de betrouwbaarheid van het geschetste energiesysteem, de grote hoeveelheden CO₂ die duurzaam beschikbaar moeten worden gemaakt om productie en gebruik van methaan mogelijk te maken zonder klimaatverandering te veroorzaken, en de kosten van het geschetste energiesysteem.

²⁸ Zie onder meer: P. Smith et al., 2014: *Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)*. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [O. Edenhofer et al. (eds)]. Cambridge University Press, zie 11.13 Appendix Bioenergy p. 870 e.v.

²⁹ Commissie Duurzaamheidsvraagstukken Biomassa, 2016: *Advies Duurzaamheidscriteria Post-2020*.

³⁰ K. Purr et al. (eds), 2014: *Germany in 2050 – A greenhouse gas neutral country*, Umwelt Bundesamt 07/2014.

Maar stel dat we dit scenario zouden toepassen op Nederland en daarbij uitgaan van een bijdrage in het jaar 2050 van 50% wind en 50% zon aan het dekken van het huidige secundaire energiegebruik in ons land van circa 2200 PJ per jaar. Zelfs als we voorbij gaan aan de energieverliezen die in zo'n systeem optreden - vanwege de noodzaak om allerlei vormen van energieopslag toe te passen wat met zeer aanzienlijke conversieverliezen gepaard gaat - dan zou dit vereisen dan een ordegrootte van een miljard zonnepanelen met een totaal vermogen van 400.000 MW nodig zijn en 110.000 MW wind.

Ter vergelijking moet worden opgemerkt dat thans het streven van Nederland is om in 2023 over 10.000 MW wind te kunnen beschikken. Tenminste tien keer deze hoeveelheid zou er in dit scenario dus bij moeten komen, in 35 jaar tijd.

Eind 2014 leverde zon-PV op allerlei daken in Nederland, bij zonnig weer, een totaal vermogen van 1.000 MW. Denkbaar is dat in 2023 in ons land 10.000 MW zonnecelvermogen zal zijn geïnstalleerd. Dit moet in 35 jaar dus tenminste veertig keer zoveel worden.

Wat betreft de hoeveelheid zon-PV vermogen dat op de daken van huizen en gebouwen in Nederland een plaats zou kunnen krijgen, kwam het PBL tezamen met DNV.GL in 2014 op een schatting van 66 GW; daarmee zou jaarlijks 50 TWh (180 PJ) aan elektriciteit kunnen worden geproduceerd.³¹ Voor realisatie van het genoemde scenario zou het opgestelde zon-PV vermogen in 2050 in ons land meer dan zes keer groter moeten zijn, tenzij grootschalige import van zonne-energie een optie wordt.

De Duitse studie gaat er vanuit dat het overgrote deel van de benodigde zonne-energie inderdaad in landen met veel zon zal worden geproduceerd, dus wordt geïmporteerd. Het lijkt onwaarschijnlijk dat dit op de benodigde schaal binnen 35 jaar kan worden gerealiseerd, mede omdat deze landen eerst in de eigen energiebehoeften zullen willen voorzien. Ook vormen de kosten en de benodigde infrastructuur een groot vraagstuk. Daarnaast speelt de vraag of de voorzieningszekerheid nationaal voldoende kan worden gegarandeerd. Suggesties van sommigen dat we in 2030 de gehele energievraag van Nederland met zonne-energie kunnen dekken zijn derhalve niet serieus te nemen.

Bij de discussie over noodzaak en wenselijkheid van biomassa als energiebron is het van belang dat we ons realiseren dat alle hierboven behandelde mondiale energiescenario's twee-graden scenario's zijn. Om de temperatuurstijging te beperken tot maximaal 1,5 °C zal in veel van deze scenario's een hogere inzet van biomassa in de energievoorziening nodig zijn teneinde het in voldoende mate mogelijk te maken om door koppeling met CCS de CO₂-concentratie in de atmosfeer te verlagen. (Zie verder onder vraag 5).

Er zijn veel studies gedaan naar de mogelijkheden die bio-energie biedt wanneer als randvoorwaarde wordt gesteld dat de winning en toepassing van deze energie geen afbreuk mag doen aan het streven naar een duurzame ('sustainable') ontwikkeling van de samenleving en het klimaatneutraal en zelfs emissie-negatief maken van ons energie- en grondstoffengebruik.^{32,33} Uit deze studies kan worden geconcludeerd dat dit potentieel in het jaar 2050 op ruwweg 100 EJ kan worden geschat, terwijl de tijd moet leren of dit potentieel kan toenemen tot bijvoorbeeld 200 EJ in het jaar 2100. Voor een duurzame ('sustainable') inzet van biomassa in de energievoorziening staan

³¹ PBL & DNV.GL, 2014: *'Het potentieel van zonnestroom in de gebouwde omgeving van Nederland'*

³² Zie bijvoorbeeld: SCOPE, 2015: *Bioenergy and Sustainability: Bridging the gaps* (report 72), met name de hoofdstukken 1, 2, 3, 5, 6 en 7 en daarnaast informatie uit de hoofdstukken 8, 12, 16, 17 en 18, samen met de *policy brief* – te vinden op <http://bioenfapesp.org/scopebioenergy/index.php>

³³ Zie in Nederland ook studies en rapportages van de Commissie Duurzaamheidsvraagstukken Biomassa (Commissie Corbey): <http://www.corbey.nl/>

in principe vele routes ter beschikking. Ter illustratie kan worden verwezen naar een recente rapportage in deze van het Energy Technologies Institute in het Verenigd Koninkrijk (ETI, 2016).³⁴ Voor Nederland staat de mogelijke inzet van biomassa beschreven in het rapport 'Biomassa 2030', dat eind 2015 door het ministerie van Economische Zaken is gepubliceerd.³⁵

4. Afvang en opslag van CO₂ (CCS)

CCS kan worden gezien als een internationaal bewezen technologie, die het mogelijk maakt om energie met fossiele brandstoffen (en andere koolwaterstoffen) op te wekken, terwijl de CO₂ die hierbij wordt gevormd geheel of voor een overgroot deel wordt afgevangen en opgeslagen dan wel langdurig (voor vele decaden) wordt vastgelegd in nuttige producten. Aldus kan de uitstoot van CO₂, ook bij niet volledig afbouwen van fossiel energiegebruik, drastisch worden beperkt. In alle hierboven genoemde scenario's voor een 2 graden limiet die door het IPCC zijn geëvalueerd is de conclusie dat CCS een technologie is die – naast energiebesparing en het benutten van hernieuwbare energiebronnen - nodig is om de tweegradendoelstelling te halen.

De INDC's zoals door betrokken landen gepresenteerd op COP21 in Parijs, bevestigen deze conclusie. Ze leiden tot een te hoge CO₂-uitstoot. In deze gepresenteerde plannen speelt CCS echter nog nauwelijks een rol.³⁶ Het recente MILES rapport³⁷, geschreven door een groot aantal onderzoeksgroepen uit diverse landen, komt dan ook tot de conclusie dat CCS een *must* is als we de doelstelling van maximaal-2-graden-erbij in zicht willen brengen.

De wenselijkheid van CCS komt ook voor in het meest gedetailleerde groene energiescenario van de Nederlandse milieuorganisaties, getiteld 'Green4sure', dat in 2007 is gepubliceerd.³⁸ Dit scenario mikt voor Nederland op 50% broeikasgasemissiereductie in 2030 ten opzichte van 1990. In het Green4Sure scenario wordt de CO₂-uitstoot in Nederland gereduceerd van 161 Mton in 1990 tot 105 Mton in 2030. De gewenste reductie van 50% broeikasgassen wordt gehaald door een hogere reductie van de overige broeikasgassen en 20 Mton inkoop van emissierechten. CCS in de industrie is binnen dit scenario verantwoordelijk voor 26 Mton reductie. Dit is de lage CCS variant. De studie noemt ook nog een hoge CCS variant. Deze zorgt voor 31 Mton extra CO₂-reductie (in industrie en elektriciteitssector).

Ook in het Energierapport dat op 18 januari 2016 door het Ministerie van Economische Zaken werd gepubliceerd³⁹ speelt CCS een grote rol. EZ concludeert dat deze technologie zowel in de industrie als in de elektriciteitssector onmisbaar is als we onze klimaatdoelstellingen willen halen. In de elektriciteitssector gaat het dan om toepassing bij zowel bestaande kolencentrales als bestaande en nieuwe gascentrales.⁴⁰ Met name de inzet van deze laatste centrales (NGCC's), uitgerust met CCS, wordt noodzakelijk geacht voor balancerend, dus voor het garanderen van een betrouwbare elektriciteitsvoorziening op uren en dagen dat zon- en windvermogen onvoldoende beschikbaar zijn.

³⁴ ETI, 2016: 'Bioenergy – Delivering GHG emission savings through UK bioenergy value chains'.

³⁵ Ministerie van Economische Zaken, 2015: *Biomassa 2030 – Strategische visie voor de inzet van biomassa op weg naar 2030*.

³⁶ Zie: UNFCCC, 2015: *Synthesis Report on INDCs*

³⁷ IDDRI, 2015: 'Beyond the numbers: understanding the transformation induced by INDCs - A Report of the MILES Project Consortium'.

³⁸ CE Delft, 2007: 'Green4Sure – Het Groene Energieplan'. De getallen over CCS zijn te vinden op blz. 47 en 48 van het Hoofdrapport.

³⁹ Ministerie van Economische Zaken, 2016: 'Energierapport – Transitie naar Duurzaam'.

⁴⁰ In het Energierapport wordt ook geconcludeerd dat er in Nederland geen plaats is voor nieuwe kolengestookte centrales.

Een zeer recente studie van de Universiteit Utrecht⁴¹ laat zien dat, gekoppeld met veel zon-PV en windvermogen, gascentrales (NGCC's) met CCS in West-Europa inderdaad een zeer belangrijke rol kunnen spelen om tegen zo laag mogelijke kosten tot een klimaatvriendelijke en betrouwbare elektriciteitsvoorziening te komen. Het is betreurenswaardig dat in ons land deze optie tot op heden nauwelijks aandacht van de gas- en elektriciteitsbedrijven krijgt.

Mondiaal wordt het potentieel om CO₂ veilig en verantwoord in de ondergrond op te slaan voorlopig op ruwweg 2.000 Gt CO₂ geschat.⁴² Het potentieel van opslag in lege Nederlandse gas- en olievelden wordt geschat op 1 tot 2 Gt CO₂ onshore en 1,2 Gt CO₂ offshore.⁴³ Bij een gelijkmatige verdeling daarvan over 50 jaar kan in Nederland jaarlijks 24 megaton CO₂ (alleen op zee) tot 44 megaton CO₂ (zee en land) worden opgeslagen. Dit is zonder het Groningen-gasveld met een theoretische capaciteit van naar schatting 9 gigaton. Het potentieel van diep gelegen aquifers (waterdragende lagen) in ons land is onzeker en wordt nu geschat op 0,07-0,15 Gt CO₂. Het potentieel van aquifers in de niet-Nederlandse delen van de Noordzee is daar nog een veelvoud van. Nederland zou er waarschijnlijk toegang toe kunnen krijgen door met landen als Noorwegen samen te werken.

Aan opslag van CO₂ kleven – zoals aan iedere technologie – ook minpunten. Er is wel ervaring met alle componenten, bijvoorbeeld bij de winning van fossiele brandstof en bij raffinaderijen, maar nog heel beperkt bij elektriciteitscentrales. Voor grootschalige toepassingen moet operationele veiligheid van afvang, transport en opslag kunnen worden gegarandeerd. Ook zijn er strikte regels nodig voor korte-en lange termijn verantwoordelijkheden voor veilige opslag.⁴⁴ Publieke acceptatie zal ook veel aandacht vragen, zoals blijkt uit de maatschappelijke weerstand in Nederland tegen eerdere plannen om CO₂ op land op te slaan. Het ROAD project, dat beoogt CO₂ af te vangen bij een recent gebouwde kolencentrale op de Maasvlakte, voorziet in opslag in (vrijwel) lege gasvelden in de Noordzee, waarmee het vraagstuk van publieke acceptatie beter kan worden beheerst.⁴⁵

Het ministerie van Economische Zaken stelt dat de technologie van het afvangen en opslaan van CO₂ bij centrales en andere industrieën zich nog in de demonstratiefase bevindt, al wordt deze wel al geruime tijd wordt toegepast in de olie- en gaswinningsindustrie. Binnen de CCS-wereld wordt de technologie echter bewezen geacht. Toepassing ervan op grote schaal is technisch mogelijk, zij het dat het van belang is de kosten te reduceren.

Toepassing op grote schaal kan in Europa marktconform van de grond komen wanneer de CO₂-prijs op de markt ruwweg 50 Euro per ton CO₂ bedraagt; thans is deze 5-7 Euro per ton. Een andere mogelijkheid om de toepassing van CCS van de grond te krijgen is het stellen van strenge CO₂-emissienormen; onder meer de USA en de UK werken met CO₂-emissienormen bij energiecentrales die gaandeweg steeds strenger zullen worden. Deze aanpak heeft als voordeel dat overheidssubsidies in de implementatiefase overbodig worden.

⁴¹ A.S. Brouwer et al., 2016: 'Least-cost options for integrating intermittent renewables in low-carbon power systems', Applied Energy, Vol. 161, pp. 48-74.

⁴² Zie: B. Metz et al. (eds.), 2005: *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*, Cambridge University Press; S. Benson et al., 2012: *Carbon Capture and Storage*, Global Energy Assessment, chapter 12; H. de Coninck and S. Benson, 2014: *Carbon Dioxide Capture and Storage: Issues and Prospects*, Annu. Review Environ. Resour., Vol. 39, pp. 243-270; <http://www.globalccsinstitute.com/content/how-ccs-works-storage>.

⁴³ Ministerie van Economische Zaken, 2016: 'Energierapport – Transitie naar Duurzaam'.

⁴⁴ T. Bruckner et al., 2014: *Energy Systems*. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer et al. (eds)], Cambridge University Press.

⁴⁵ Zie: www.road2020.nl. Zie ook: Kernteam VIR/M, 2016: *Samen werken aan een cluster in transitie*.

Door grootschalige toepassing van CCS zal de kostprijs ervan naar beneden gaan. Grootschalige toepassing van CCS betekent anderzijds dat stroomopwekking met fossiele brandstoffen duurder zal worden. Dit verbetert de concurrentiepositie van energiebesparing en hernieuwbare energiebronnen.

Internationaal pleit een aantal milieuorganisaties uit Australië, de VS, Canada en Noorwegen voor een verantwoorde toepassing van CCS. Ze zijn verenigd in het 'ENGO network on CCS'. Dit netwerk concludeert dat CCS onmisbaar is in de industrie, in de elektriciteitssector, en ook als technologie om CO₂ uit de atmosfeer te halen. Daarom zetten deze milieuorganisaties zich in voor een milieukundig verantwoorde grootschalige introductie van de CCS technologie.⁴⁶

Grootschalige ontwikkeling en toepassing van CCS vergt een routekaart. In Nederland ontbreekt die. Voor China is deze op hoofdlijnen onlangs gepubliceerd door de Asian Development Bank in samenwerking met de National Development Reform Commission (NDRC) van China.⁴⁷ In CCS kringen wordt deze Roadmap als een mogelijke *Game Changer* gezien, zowel voor de ontwikkeling en toepassing van CCS als voor het oplossen van het klimaatvraagstuk.⁴⁸

5. CO₂-verwijdering uit de atmosfeer ('negatieve emissies')

Zoals hierboven besproken kan CCS ook een belangrijke rol spelen bij het uit de atmosfeer verwijderen van CO₂, door de CCS technologie te combineren met toepassing van biomassa (BECCS). Ook het ministerie van Economische Zaken wijst in haar Energierapport (2016) op de combinatie van CCS met het verstoken van biomassa (dus bio-CCS) en concludeert dat de inzet van bio-CCS (BECCS) op de lange termijn in een mondiale context noodzakelijk wordt geacht, omdat de wereld na 2050 het CO₂-gehalte in de atmosfeer actief zal moeten verminderen om de opwarming blijvend tot 2°C te beperken. Vele studies bevestigen dit beeld.

Zoals eerder aangegeven is de toepassing van bio-CCS op nog veel grotere schaal onontkoombaar als we de temperatuurstijging door menselijk handelen tot maximaal 1,5°C willen beperken. Een recent rapport van de House of Commons van het Verenigd Koninkrijk bevestigt dit beeld.⁴⁹

Er kleven risico's aan grootschalige toepassing van biomassa en CCS, maar deze zijn hanteerbaar door scherpe eisen te stellen aan de duurzaamheid van biomassa en het ondergronds opslaan van CO₂. Deels zijn ze ook vermijdbaar, zeker wanneer de andere elementen van het reductiebeleid (energiebesparing en hernieuwbare energiebronnen) maximaal worden ingezet. De risico's en ook de kosten moeten bovendien worden gezien in het licht van de risico's en kosten die het overschrijden van de 1,5 of 2 graden temperatuurgrenzen met zich meebrengt.

Het eerder genoemde ROAD project zou een interessante mogelijkheid kunnen bieden ervaring met BECCS op te doen, door de betreffende kolencentrale geleidelijk om te bouwen tot een biomassa centrale en de geproduceerde CO₂ af te vangen en op te slaan of duurzaam te gebruiken. Invoering van een emissienorm voor bestaande centrales zou dat kunnen bevorderen evenals een sterk verhoogde prijs voor de uitstoot van CO₂.

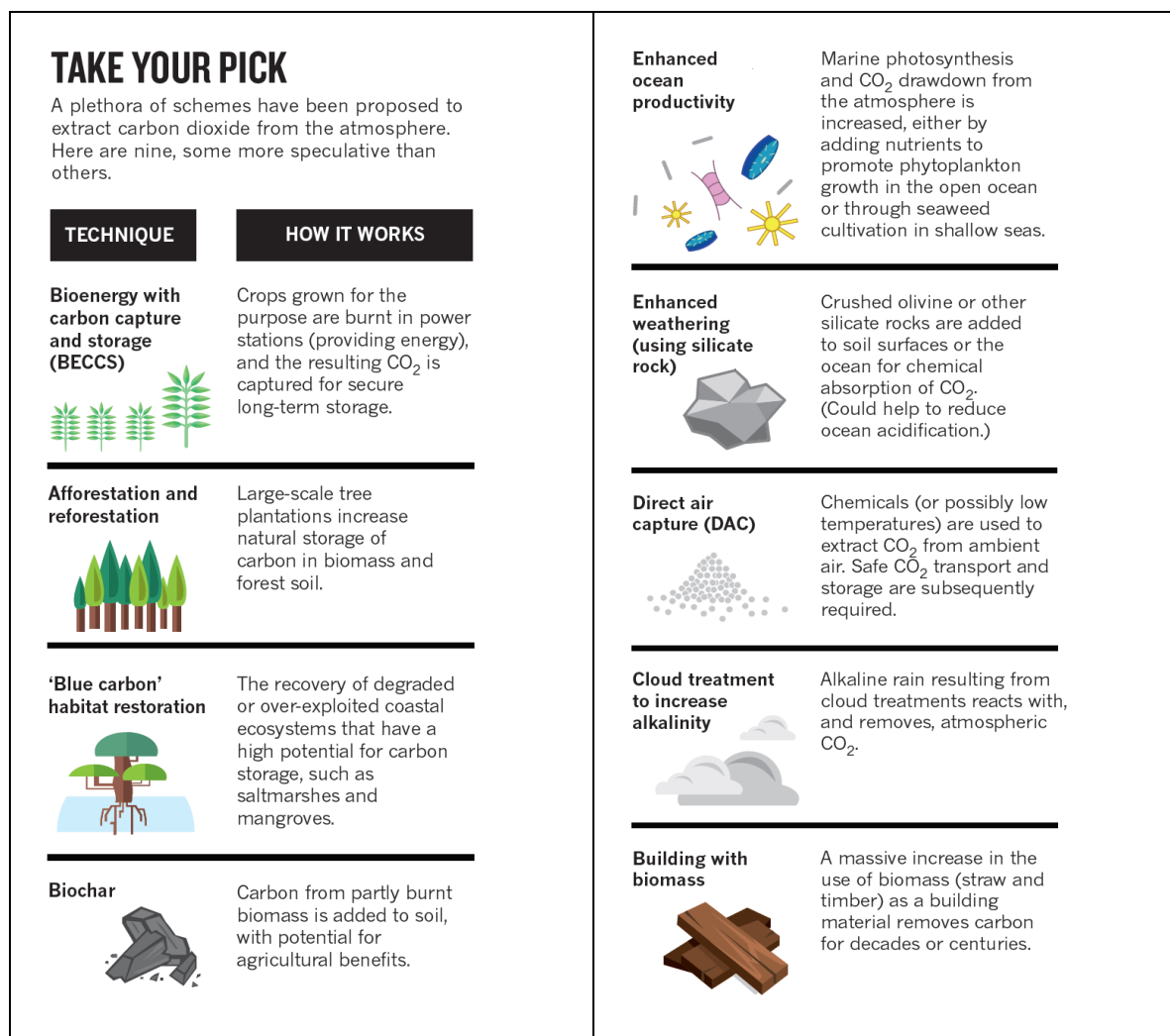
⁴⁶ ENGO network on CCS, Dec. 2015: 'Closing the Gap on Climate – Why CCS is a vital part of the solution'.

⁴⁷ ADB, Nov. 2015: 'Roadmap for CCS demonstration and deployment in the People's Republic of China'.

⁴⁸ Zie: <http://www.globalccsinstitute.com/insights/authors/TonyWood/2015/12/03/roadmap-ccs-demonstration-and-deployment-china-possible-game-changer?author=NDU0NzM4>.

⁴⁹ House of Commons Energy and Climate Change Committee, 2016: *Future of Carbon Capture and Storage in the UK*.

Er zijn ook andere mogelijkheden om tot verwijdering en vastlegging van CO₂ uit de atmosfeer te komen. Figuur 6 geeft een overzicht. De belangrijkste zijn waarschijnlijk: grootschalige (her)bebossing, mineralisatie van CO₂ door versnelde verwerking van gesteenten zoals olivijn, en het kunstmatig afvangen van CO₂ uit de lucht met behulp van grootschalig te installeren apparatuur.



Figuur 6: Negen routes die in principe tot netto verwijdering van CO₂ uit de atmosfeer kunnen leiden, de ene meer speculatief dan de andere. Bron: P. Williamson, *Nature*, 11 februari 2016.

Al deze mogelijkheden zullen, zij het wellicht beperkt, kunnen bijdragen aan de te bereiken reductie van de CO₂-concentratie in de lucht. Daarom moeten deze opties snel verder worden onderzocht en, indien zinvol, op grote schaal worden toegepast.⁵⁰ Eerste verkenningen laten zien dat mondiaal hier zeker mogelijkheden liggen, maar dat deze opties vooralsnog niet in de plaats kunnen komen van BECCS. Het is wenselijk ook in Nederland, via onderzoek en ontwikkeling, aandacht aan deze opties te geven gezien de ernst van het klimaatvraagstuk en de impact van klimaatverandering op Nederland.

⁵⁰ P. Williamson, 2016: *Scrutinize CO₂ removal methods*, *Nature*, Vol. 530, pp. 153-155.