

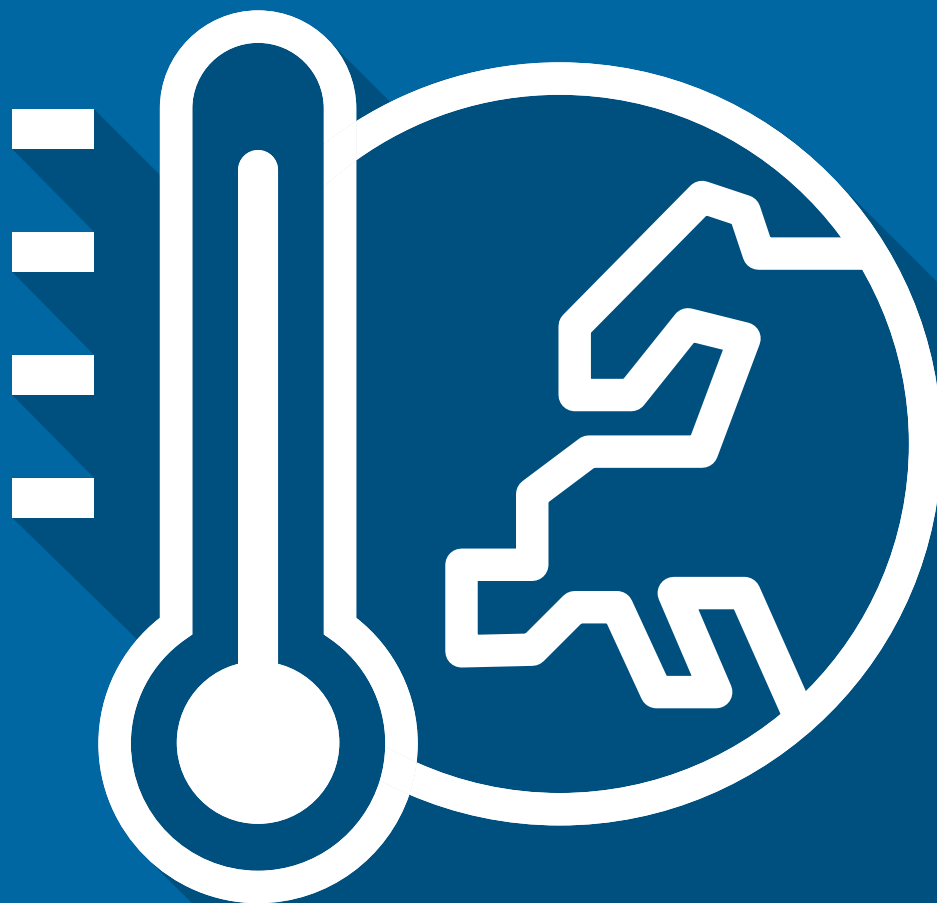
Een Nucleaire Renaissance

Over de ruimtelijke vereisten en kosten van wind- en zonne-energie versus kernenergie

Uitgebreide samenvatting van een peer-reviewed publicatie voor de ECR Group en Renew Europe
'Road to Climate Neutrality By 2050', Brussel



**renew
europe.**



Katinka M. Brouwer, LL.M., Dr. Lucas Bergkamp, redacteur

Brussel, januari 2021

Een Nucleaire Renaissance

Over de ruimtelijke vereisten en kosten van wind- en zonne-energie versus kernenergie

Uitgebreide samenvatting van een peer-reviewed publicatie voor de ECR Group en Renew Europe
'Road to Climate Neutrality By 2050', Brussel



**renew
europe**

Katinka M. Brouwer, LL.M., Dr. Lucas Bergkamp, redacteur

Brussel, januari 2021

Deze publicatie is opgesteld voor de ECR Group en Renew Europe.

- De ECR Group: “Als de EU en haar mondiale partners thema’s zoals klimaatverandering, recycling, afval, emissies en vervuiling, voedselkwaliteit en voedselzekerheid echt willen aanpakken, dan moet de EU verstandige en duurzame maatregelen nemen die geen onnodige en dure lasten met zich meebrengen voor bedrijven en lidstaten. In plaats van onrealistische doelstellingen die nooit zullen worden gehaald of naar behoren zullen worden uitgevoerd, steunt de ECR Group een ambitieuze, stapsgewijze en verstandige aanpak waar alle lidstaten achter kunnen staan.” Zie <https://ecrgroup.eu/> voor meer informatie
- Renew Europe: “We zullen investeren in een duurzaam continent. We hebben geen Planeet B, dus we moeten ervoor zorgen dat we de planeet die we hebben behouden voor toekomstige generaties. In het klimaatakkoord van Parijs uit 2015 werd de roadmap uiteengezet, nu is het tijd om de gemaakte beloftes waar te maken en zelfs verder te gaan.” Zie <https://reneweuropiegroupp.eu/en/> voor meer informatie

Inhoudsopgave

Voorwoord	6
Uitgebreide samenvatting	9
Bijlage I. Afkortingen	44
Bijlage II. Woordenlijst	46

Voorwoord

Geachte lezer,

Do the numbers, do the numbers!

Al geruime tijd resoneren deze woorden in mijn hoofd. Het is namelijk het antwoord dat ik kreeg van commissaris Frans Timmermans toen ik hem een jaar geleden vroeg waarom kernenergie geen optie was in zijn Green Deal. Ik heb zelf een bèta-achtergrond in de energietechniek, dus cijfers zijn mij niet vreemd. Toch is het een aparte gewaardiging als de Eurocommissaris met zijn 33.000 ambtenaren aan jou, als nieuwbakken Europarlementariër van een kleine fractie, de vraag stelt om eigenlijk zijn werk te doen. Maar ik heb de opdracht aangegrepen, en het resultaat ligt voor u.

Ik ben groot voorstander van het continu verbeteren van onze leefomgeving met name op het gebied van natuur en milieu. Juist om die reden ben ik geen fan van de aanpak zoals voorgesteld in de Green Deal, die als doelstelling heeft om in 2050 klimaatneutraal te zijn (d.w.z. netto nul uitstoot van broeikasgassen). Wel wil ik dat we een **realistische en verstandige** energietransitie uitwerken, geen geld over de balk gooien en rekening houden met verstandig ruimtegebruik, Nederland is al zeer dichtbevolkt en ruimte is beperkt.

Al in het begin van mijn mandaat als Europees Parlements lid had ik contact met een Tsjechische collega uit de liberale Renew groep. We werkten samen rond de klimaatresoluties. Daarom vroegen wij samen om een studie uit te voeren waarin drie kwesties worden onderzocht die cruciaal zijn voor die EU-ambities:

- i. Wat is het effect van klimaatneutraliteit in de EU op de gemiddelde atmosferische temperatuur op aarde in 2050 en 2100?
- ii. Wat zijn de ruimtelijke eisen (land en zee) voor wind- en zonne-energie versus kernenergie in Tsjechië en Nederland?
- iii. Wat zijn de kosten van wind- en zonne-energie en van kernenergie voor deze twee landen?

Hoewel we de geïnteresseerde lezer uitnodigen om ook de volledige studie te lezen, bevat deze geïllustreerde uitgebreide samenvatting de hoofdbestanddelen van onze analyse, zodat de lezer inzicht krijgt in bevindingen en redeneringen van de auteurs. Dr. Lucas Bergkamp en Katinka Brouwer LMM werden bijgestaan door een interdisciplinair team van top-experts met academische kwalificaties en professionele ervaring in vakgebieden als energie-economie, modellering, natuurwetenschappen

en natuurlijk ook klimaatwetenschap, recht en beleid.

Elk van de belangrijkste hoofdstukken werd bovendien beoordeeld door ten minste twee reviewers met relevante academische kwalificaties en professionele achtergronden. Op de lijst van reviewers staan onder meer de namen van professor William Nordhaus, Nobelprijswinnaar in de economie 2018, dr. Joeri Rogelj, dr. Fabien Roques en andere vooraanstaande wetenschappers en deskundigen.¹

Op deze manier kan het rapport op zijn merites worden beoordeeld en hoop ik dat het een sleutelrol kan spelen in de beleidsvorming in verband met de energievoorziening in Nederland en de EU.

Zoals deze studie aantoont, is er geen grond voor de bewering dat 'kernenergie buitengewoon duur is', zoals commissaris Timmermans beweert. Maar bovenal bewijst dit rapport dat het met wind- en zonne-energie onmogelijk is om Nederland van energie te voorzien. We zouden (letterlijk) heel Nederland moeten volbouwen om ook maar in de buurt te komen van onze

energiebehoefte, die door de verschuiving naar meer elektrisch alleen maar toe zal nemen.

Nederland en de EU doen er dus goed aan, in het licht van de ruimtelijke en economische effecten van hernieuwbare energie ten opzichte van kernenergie, een programma voor '*Nucleaire renaissance*' te overwegen. Met dit programma zou de EU een gelijk speelveld creëren voor alle technologieën voor elektriciteitsopwekking.

Ik hoop dat de studie door journalisten, beleidsmakers en het brede publiek zal worden gelezen. Naast de energiesector heeft ook het debat over het klimaat een transitie nodig. Namelijk die van ideologie en wensdenken, naar feiten, cijfers en rationaliteit. Laat deze studie daartoe een aanzet zijn.

Veel leesplezier,

Rob ROOS, Lid van het Europees Parlement

Brussel, december 2020

P.S. Commissaris Timmermans, I've done the numbers. Ik kijk ernaar uit u deze studie persoonlijk te overhandigen.

¹ Een lijst van reviewers is als bijlage XIV bij de volledige studie gevoegd.

Uitgebreide samenvatting

De EU streeft naar klimaatneutraliteit (dat wil zeggen netto nul uitstoot van broeikasgassen) tegen 2050. De elektrificatie van het energiesysteem is een belangrijk speerpunt van deze strategie. Dit houdt in dat de elektriciteits- of energievoorziening in de komende drie decennia volledig 'koolstofvrij' moet worden gemaakt.

Deze studie beoordeelt de effectiviteit van de klimaatneutraliteit van de EU en analyseert en vergelijkt twee klimaatneutrale technologieën voor energieopwekking

die, als ze de infrastructuur voor fossiele brandstoffen effectief vervangen, tot een koolstofvrije elektriciteitsvoorziening kunnen leiden – op basis van wind- en zonne-energie en kernenergie. We berekenen de benodigde ruimte voor elke technologie om de vereiste stroom te leveren, en de kosten van de opgewekte stroom. Dit onderzoek werd uitgevoerd voor twee EU-lidstaten: Nederland, dat door zijn ligging aan de Noordzee meer dan voldoende wind heeft, en Tsjechië, dat geheel door land is omgeven en dus geen toegang heeft tot zee en minder wind kent.

Belangrijkste punten

De EU-strategie voor klimaatneutraliteit tegen 2050 houdt een hoog risico van ineffectiviteit in. De verwachte energietransitie kan dit risico ondervangen door 'no regrets'-oplossingen te ontplooiën die bestand zijn tegen klimaatgerelateerde ineffectiviteit. Kernenergie is zo'n oplossing.

Daarnaast biedt kernenergie zowel qua ruimtelijke eisen (benodigde oppervlakte) als qua elektriciteitskosten substantiële voordelen ten opzichte van hernieuwbare energie (gelijk welke combinatie van wind- en zonne-energie). Het kostenvoordeel van kernenergie neemt toe wanneer we ook rekening houden met de systeemkosten, en wordt nog groter bij hogere penetratiegraden van wind- en zonne-energie.

Deze voordelen zijn erkend in Tsjechië, maar (nog) niet door de beleidsmakers op EU-niveau en in Nederland.

Deel I. Effect van EU-klimaatneutraliteit

Als de EU in 2050 klimaatneutraliteit bereikt, zal dit waarschijnlijk slechts voor een zeer kleine daling van de wereldgemiddelde stijging van de atmosferische temperatuur zorgen, die wordt geschat op 0,05 tot 0,15°C in 2100, en slechts 0,02 tot 0,06°C in 2050, ervan uitgaande dat er geen koolstoflekkage optreedt.

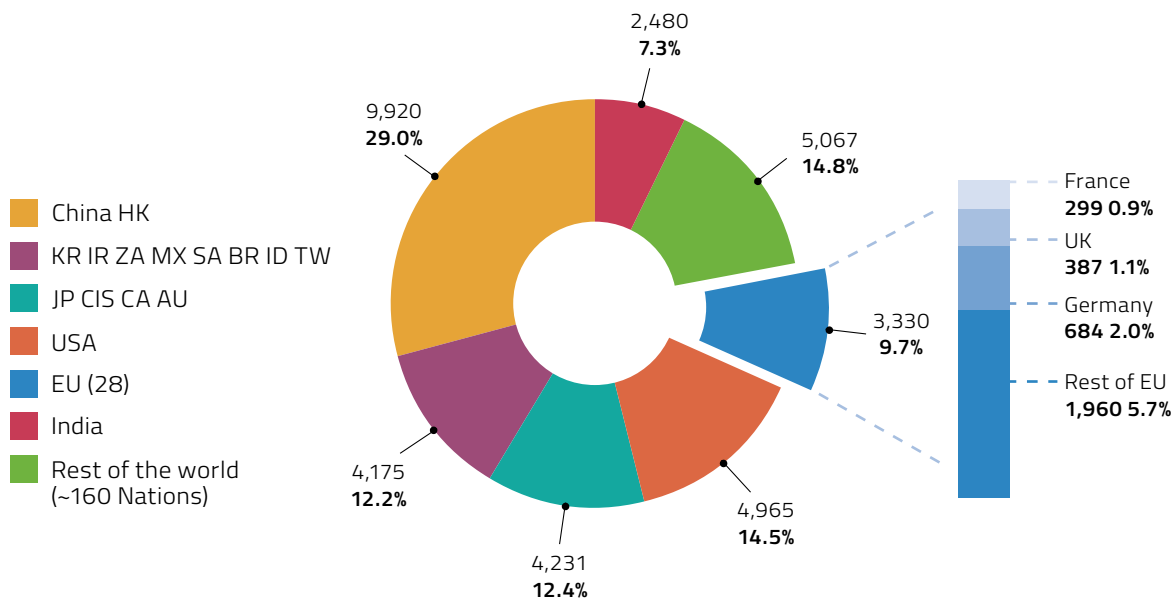
- Zelfs als de beoogde klimaatneutraliteit wordt bereikt, zou de gemiddelde temperatuur op aarde nog steeds met ongeveer 3°C stijgen (ervan uitgaande dat de schattingen kloppen).
- Technologieën voor energieopwekking moeten daarom worden beoordeeld op de mate waarin ze een 'no regrets'-oplossing kunnen vormen.

- a. Het plan van de EU om in 2050 het eerste klimaatneutrale continent te worden, is niet meer dan een ambitie; er is **geen beproefd traject** dat tot dit resultaat zal leiden.³ Veel hangt af van factoren waar de EU geen controle over heeft, zoals technologische doorbraken, de vraag naar energie, de kosten van de overgang naar klimaatneutraliteit, de algemene toestand van de economie (bbp), de bevolkingsgroei enzovoort.
- b. Het **aandeel van de EU in de wereldwijde CO₂-uitstoot** ligt al enkele jaren **onder de 10%**. In 2050 zal het EU-aandeel in de wereldwijde uitstoot verder zijn gedaald als gevolg van een sterke toename van de uitstoot in de rest van de wereld, door de economische groei in die landen (zoals vooropgesteld in de SDG's van de VN) en door de 'outsourcing' van emissies van ontwikkelde landen naar ontwikkelingslanden.

Studie	Temperatuurverlaging in 2050 door EU-klimaatneutraliteit 2050	Temperatuurverlaging in 2100 door EU-klimaatneutraliteit 2050
<i>Lomborg (2016)</i> [6] – nummer afgeleid van de cijfers van de auteur; zie bijlage VII voor de methodologie	0.02°C	0.05°C
<i>Rogelj (2016)</i> [7] – nummer afgeleid van de cijfers van de auteur; zie bijlage VII voor de methodologie	0.06°C	0.15°C

2 Deze schatting is gebaseerd op een aanname over klimaatgevoeligheid die is gemaakt op het moment dat het onderzoek waarop we ons baseren, werd uitgevoerd (2016).

3 Hoewel dit geldt voor veel beleidsmaatregelen van overheden, is het uitgesproken problematisch voor het klimaatbeleid vanwege de omvang, het gebrek aan diversificatie, de omvang van de centrale planning en de vele problemen die erdoor worden veroorzaakt en waarmee geen rekening wordt gehouden.

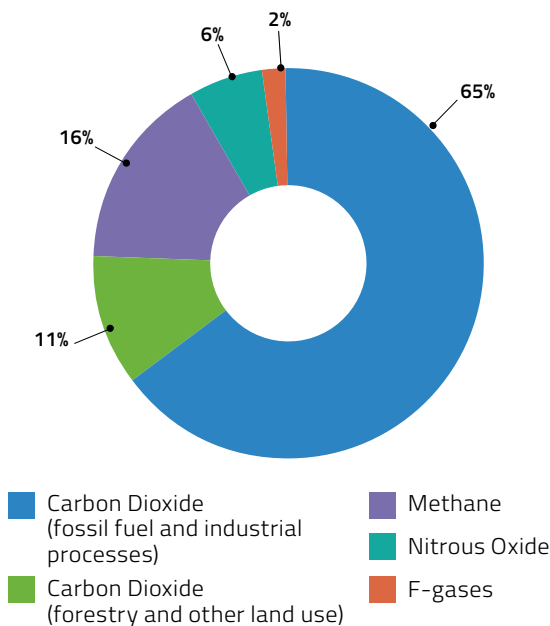


Annual CO₂ emissions 2019: in million tonnes - % global output BP data 2020.

Jaarlijkse CO₂-uitstoot [1]

c. CO₂ is slechts een van de broeikasgassen, maar het is wel het belangrijkste, goed voor ongeveer 75% van het totaal. De broeikasgassen die onder de EU-klimaatwetgeving vallen zijn kooldioxide (CO₂), methaan (CH₄), lachgas (N₂O), zwavelhexafluoride (SF₆), stikstoftrifluoride (NF₃), fluorkoolwaterstoffen (HFK's) en perfluorkoolwaterstoffen (PFK's) (Verordening 2018/1999, bijlage V, deel 2). De potentie, oftewel het **aardopwarmingspotentieel** (GWP - Global warming potential) van broeikasgassen verschilt echter en de meeste broeikasgassen hebben een GWP dat (veel) hoger is dan het GWP van CO₂, dat per definitie op 1 is vastgesteld. **Het CO₂-equivalent** van een broeikasgas wordt gebruikt om zijn GWP om te zetten in dat van CO₂ – de hoeveelheid CO₂ die dezelfde opwarming veroorzaakt als dit broeikasgas.

Wereldwijde uitstoot van broeikasgassen per gas [15]



Wereldwijde uitstoot van broeikasgassen per gas en per bron [14]:

Wereldwijde uitstoot van broeikasgassen per gas en per bron [14]

d. De groei van de wereldwijde BKG-uitstoot (exclusief die van veranderingen in landgebruik) was in 2018 de hoogste sinds 2011, met een stijging van 2,0% tot 51,8 gigaton CO₂-equivalent (GTCO₂ eq), met een gestage toename in de ontwikkelingslanden. [14]

i. In 2018 was de stijging van de wereldwijde BKG-uitstoot met 2,0% (1,0 GTCO₂ eq) voornamelijk te wijten aan een **stijging met 2,0% van de wereldwijde CO₂-uitstoot van fossiele brandstoffen** afkomstig van de verbranding van fossiele brandstoffen en van industriële niet-verbrandingsprocessen, waaronder de productie van cement.

- ii. De wereldwijde uitstoot van **methaan (CH₄)** en **lachgas (N₂O)** nam toe met respectievelijk **1,8%** en **0,8%**. De wereldwijde uitstoot van **gefluoreerde gassen (F-gassen)** is in 2018 met naar schatting **6%** blijven toenemen en draagt daarmee ook bij aan de groei van de totale uitstoot van broeikasgassen met 2,0%.
- iii. **Het wereldwijde verbruik van olieproducten en aardgas bleef stijgen met 1.2% en 5.3% in 2018**, onder impuls van het toegenomen verbruik in China, de VS en Rusland.
- iv. De toename van de wereldwijde uitstoot in 2018 volgde de **trends in de primaire energievraag en in de energiemix**. In 2018 steeg de vraag naar energie met 22 EJ, voor 50% gedekt door fossiele brandstoffen en voor 50% door kernenergie en hernieuwbare energie.

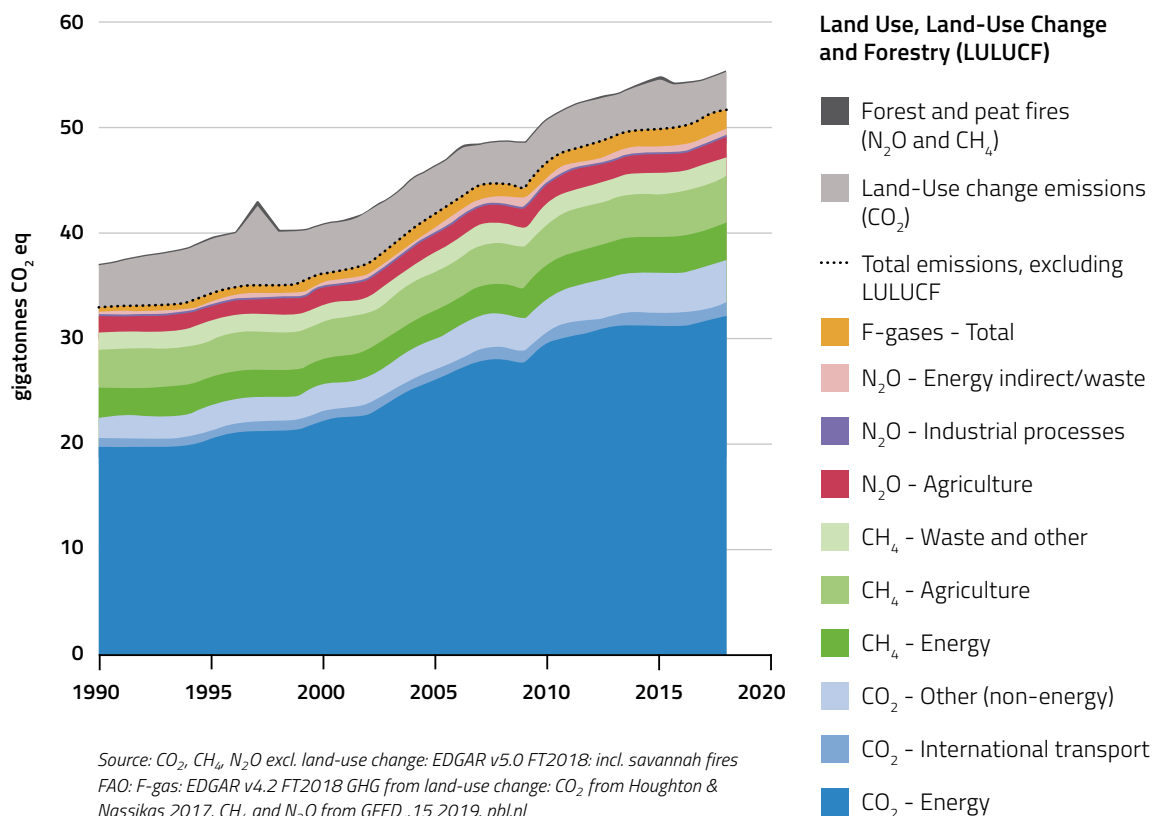
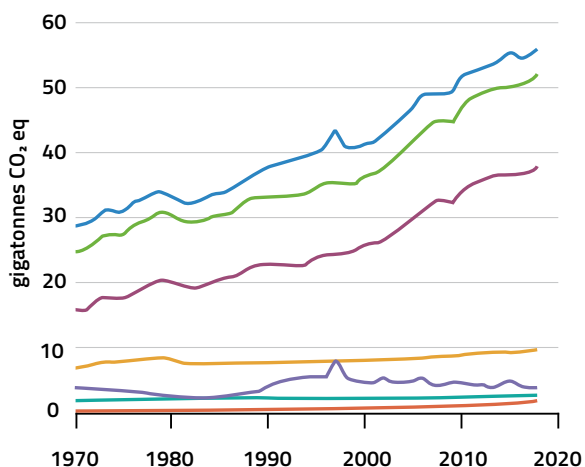
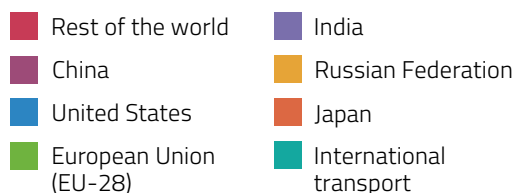
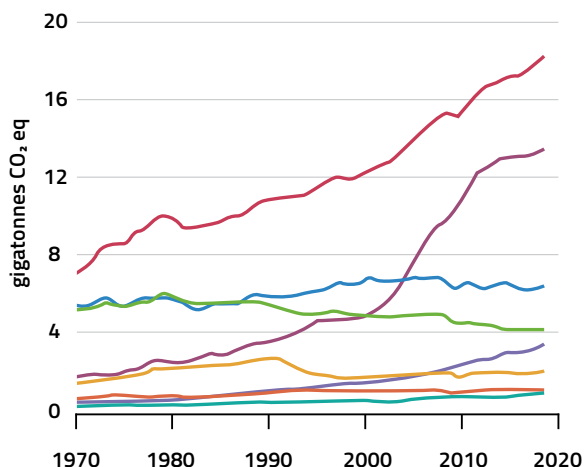


Figure 2.1. Global greenhouse gas emissions, per type of gas and source, including LULUCF.



LUC = Land-use change, GHG = greenhouse gas
 Source: GHG excl. LUC EDGAR v5.0 FT2018
 LUC: Houghton and Nassikas 2017
 pbl.nl

Global greenhouse gas emissions: per type of gas.



Source: EDGAR v5.0 FT2018 (without land-use change), pbl.nl
 both: F-gas: EDGAR v4.2 FT2018: incl. savanna fires.

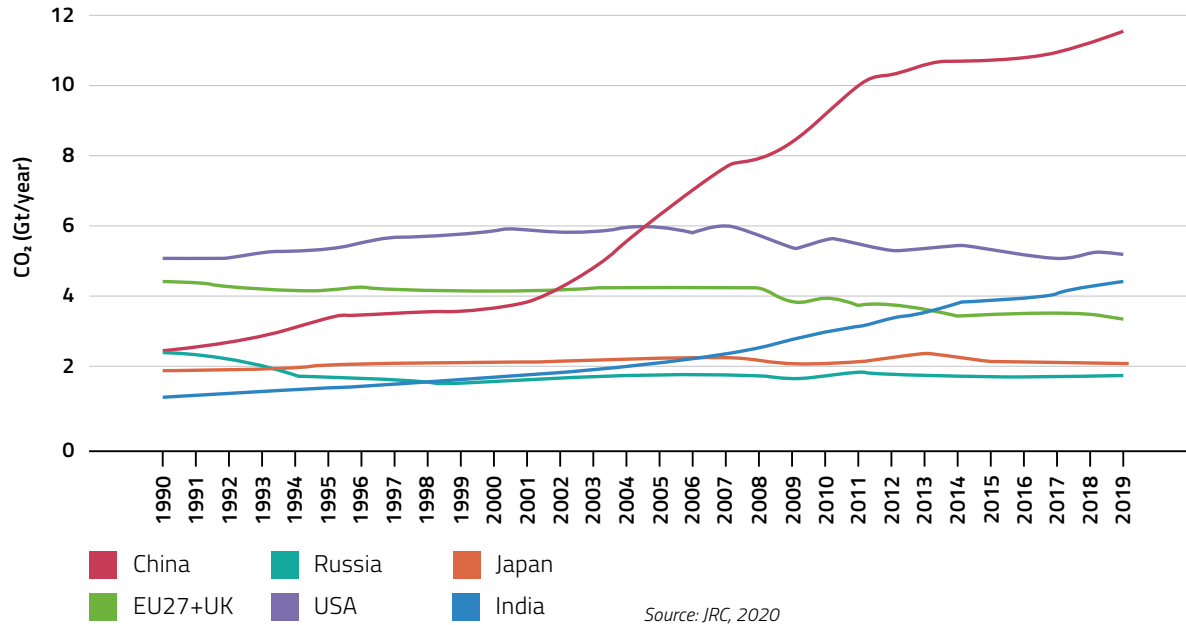
Global greenhouse gas emissions: top emitting countries and the EU.

Wereldwijde BKG-uitstoot per type gas en per land [14]

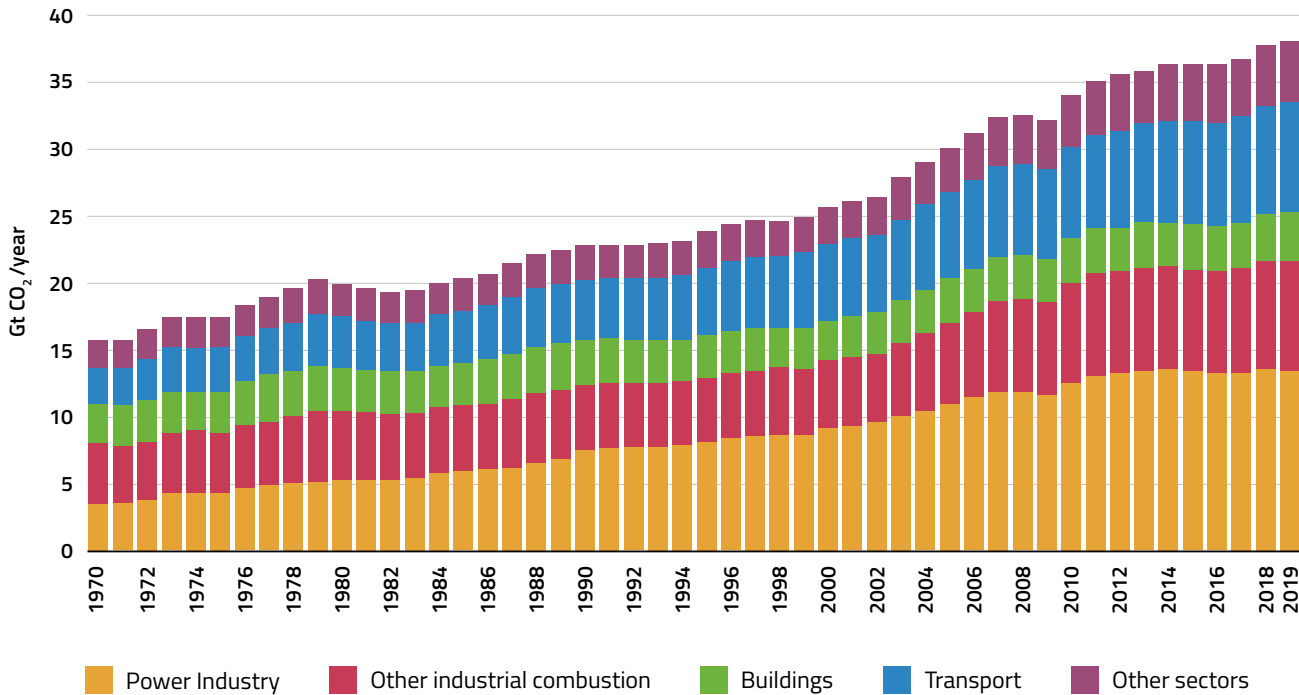
e. In de periode 1990–2019 **verminderde de EU de uitstoot van fossiele brandstoffen met ongeveer 25%**. In feite zijn de EU en Rusland de enige geïndustrialiseerde economieën die hun fossiele CO₂-uitstoot aanzienlijk hebben verminderd ten opzichte van 1990. De VS en Japan lieten sinds 1990 een toename van de CO₂-uitstoot optekenen met respectievelijk 0,8 en 0,4%. De **opkomende economieën van China en India laten een sterke emissiegroei zien**, met respectievelijk 3,8 en 3,3 keer hogere CO₂-emissies in 2019 dan in 1990, door de snelle industrialisatie en ‘outsourcing’. Energieopwekking is de grootste bron van uitstoot.

Fossiele CO₂-uitstoot van de economieën met de grootste uitstoot per sector [13]

f. Het ‘outsourcing’-effect van het Europese klimaatbeleid (ook wel ‘koolstoflekkage’ genoemd) kan worden aangetoond door rekening te houden met zowel de territoriale emissies als de emissies in verband met het binnenlandse verbruik van ingevoerde energie.

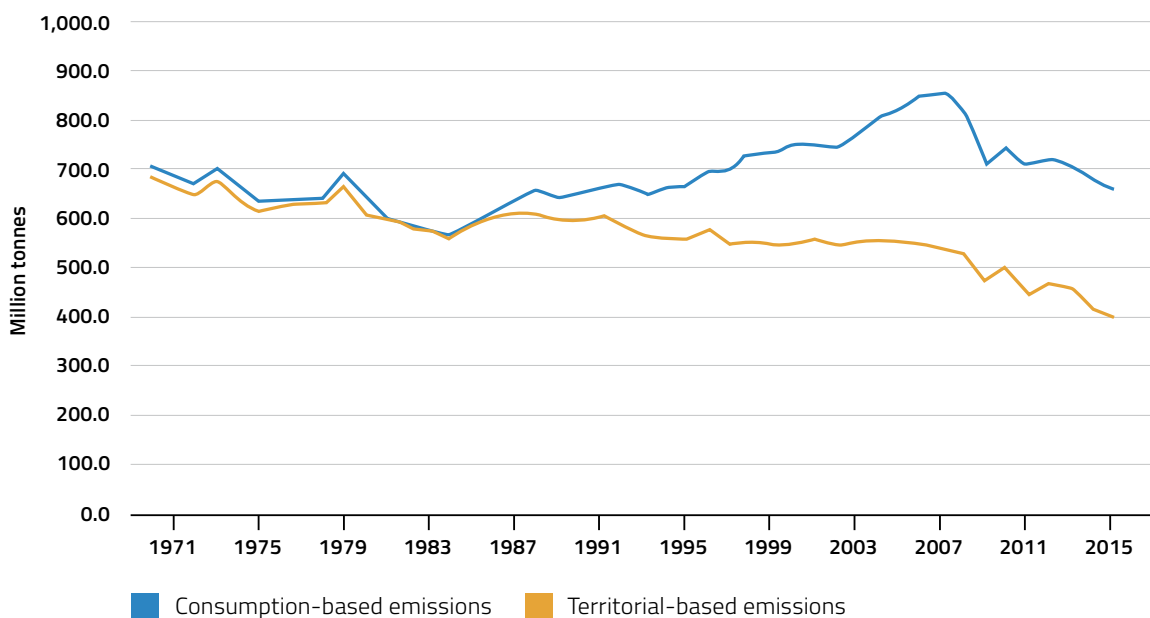


Fossil CO₂ emissions of the major emitting economies.

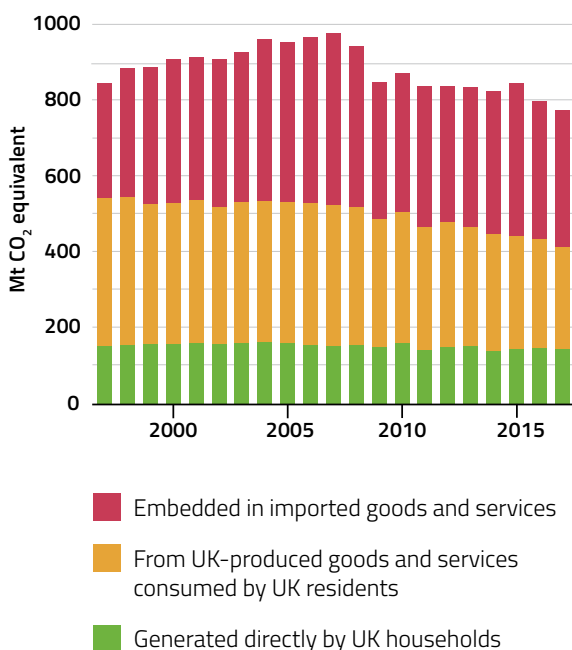


Total global annual emissions of fossil CO₂ in Gt CO₂/yr by sector. Fossil CO₂ emissions include sources from fossil fuel use, industrial processes and product use (combustion, flaring, cement, steel, chemicals and urea).

De ont koppeling van het bbp per inwoner en de CO₂-uitstoot lijkt ten koste te zijn gegaan van de outsourcing van de productie [2]



Different measures of CO₂ emissions, 1970 to 2015, UK.



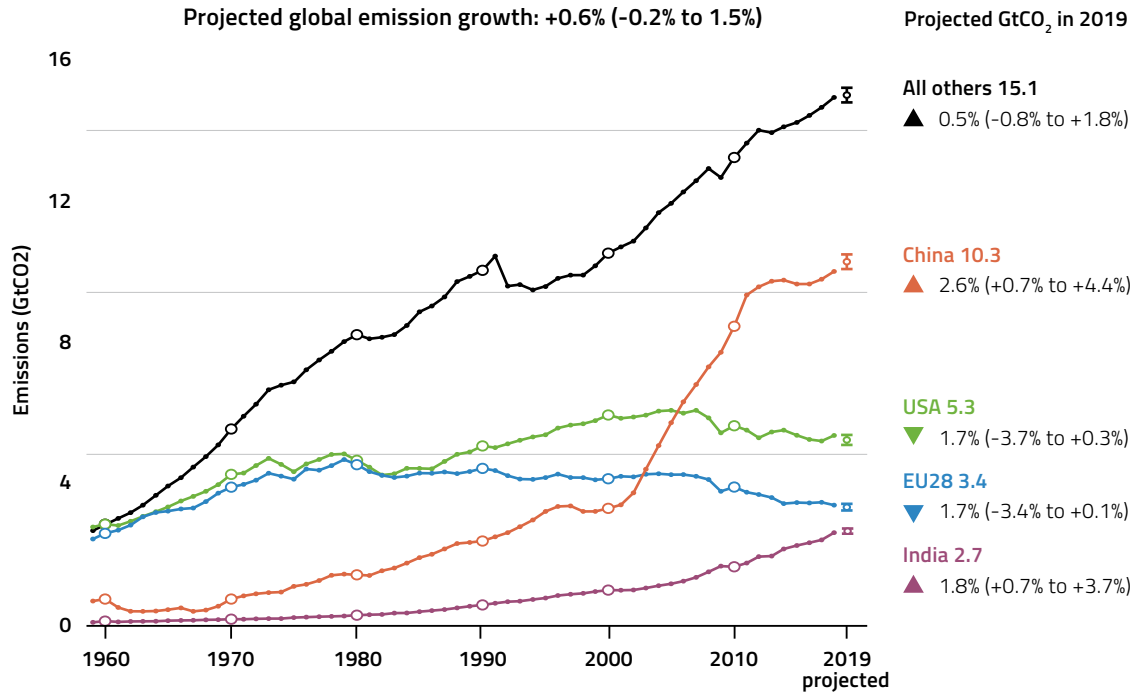
Total greenhouse gas emissions associated with UK consumption (DEFRA).

Totale BKG-uitstoot als gevolg van verbruik in het VK [3]

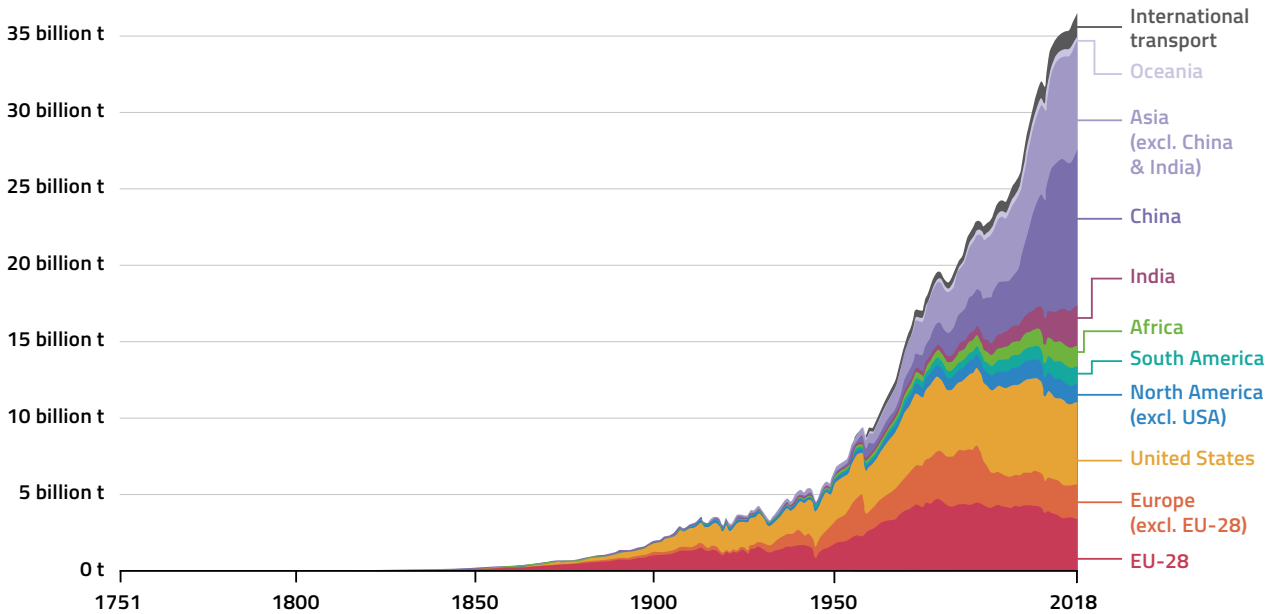
g In 2019 steeg de wereldwijde koolstofuitstoot als gevolg van energieverbruik met **ten minste 0,5%**, ondanks een daling in de EU.⁴ Volgens het JRC zette de wereldwijde emissiegroei zich in 2019 door, waarbij de **wereldwijde antropogene fossiele CO₂-uitstoot met 0,9%** toenam ten opzichte van 2018 en 38,0 Gt CO₂ bereikte. [13] De stijging werd aangewakkerd door de sterke emissiestijging in China (2,6%) en, in mindere mate, in India (1,8%); het JRC spreekt van een nog hogere stijging voor China, namelijk 3,4%. [13]

⁴ We spreken ons niet uit over het jaar 2020 dat door de coronacrisis een uitzonderlijke situatie kent.

Jaarlijkse fossiele CO₂-uitstoot in 2019 [4]



Jaarlijkse totale CO₂-uitstoot [8]

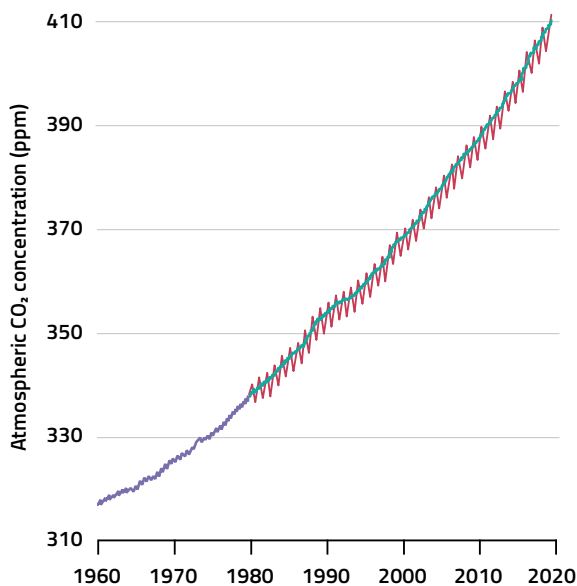


Source: Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC); Global Carbon Project (GCP)
 Note: 'Statistical differences' included in the GCP dataset is not included here.
 OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions - CC BY

Annual total CO₂ emissions, by world region

h. De **atmosferische concentratie van kooldioxide blijft stijgen**. Er is geen piekconcentratie bereikt en het CO₂-gehalte vertoont geen tekenen van piek. Dit is van **cruciaal** belang, want volgens de conventionele klimaatwetenschap is het de concentratie van kooldioxide in de atmosfeer die de opwarming van de aarde en de klimaatverandering aanjaagt, en dat is wat de EU hoopt te verhelpen met haar beleid inzake klimaatneutraliteit.⁵

Atmosferische CO₂-concentratie [5]



Seasonally corrected trend:

- Scripps Institution of Oceanography (Keeling et al., 1976)
- NOAA/ESRL (Dlugokencky and Tans, 2019)

Monthly mean:

- NOAA/ESRL

- i. De klimaatneutraliteit van de EU zal alleen een gunstig effect hebben op de beoogde vermindering van de gemiddelde stijging van de wereldwijde atmosferische temperatuur **als er geen 'koolstoflekkage' (of outsourcing) plaatsvindt, wat tot nu toe consequent is gebeurd**. Koolstoflekkage is immers de reden waarom de wereldwijde emissies ondanks de aanzienlijke (en dure) reducties in de EU blijven stijgen.
- ii. Zelfs als de EU in staat is om koolstoflekkage en outsourcing te voorkomen, zal ze in 2050 bij het bereiken van koolstofneutraliteit toch nog moeten vaststellen dat haar inspanningen tevergeefs waren, omdat de uitstoot van andere landen zal zijn toegenomen. Zoals hieronder wordt besproken, ligt een effectieve manier om deze slechte uitkomst te voorkomen (dat wil zeggen het opkopen van alle fossiele brandstoffen) buiten het bereik van de EU. Gezien deze stand van zaken moet de **EU zich indekken tegen het risico dat haar inspanningen niet het gewenste effect bereiken en de voorrang geven aan 'no regret'-oplossingen**.

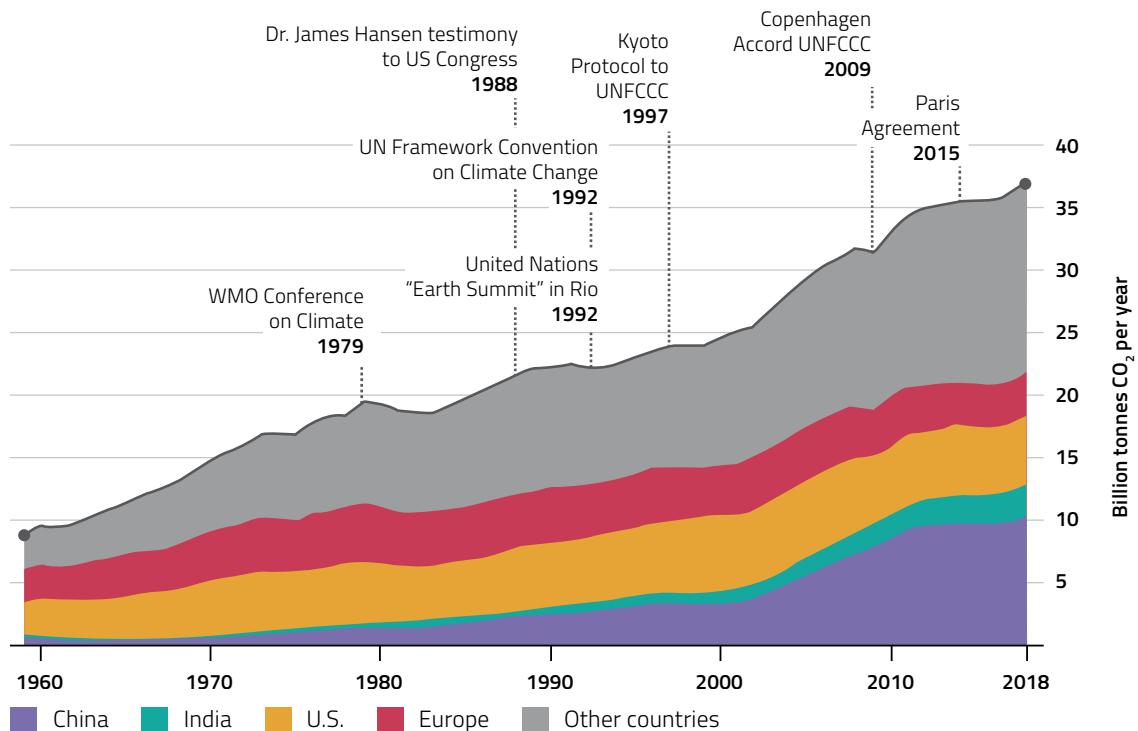
- i. Dit suggereert dat zelfs als de **klimaatneutraliteit in de EU** wordt bereikt, ze mogelijk **zeer weinig effect zal hebben op de gemiddelde wereldwijde temperatuurstijging**. Andere, niet-EU-landen, inclusief ontwikkelingslanden, hebben zichzelf geen verplichting opgelegd om hun uitstoot te verminderen, en de EU kan hen niet dwingen dit te doen. De inspanningen van de EU zijn dus kwetsbaar en vatbaar voor mislukking.
- i. Aangezien de EU weinig of geen controle heeft over de uitstoot van niet-EU-landen, kan zij alleen **via diplomatieke weg en economische**

⁵ De landen die goed zijn voor een substantieel deel van de wereldwijde uitstoot hebben zich dan wel geëngageerd tot klimaatneutraliteit, maar de vraag is hoe sterk deze verplichtingen zijn. Als het verleden representatief is voor de toekomst, moeten de verwachtingen worden getemperd. Het internationale klimaatbeleid sinds 1990 heeft niet geleid tot een vermindering van de wereldwijde uitstoot of van de CO₂-concentratie in de atmosfeer.

- prikkels** deze landen ertoe aanzetten hun beleid te wijzigen. Zo kan de EU bijvoorbeeld aanbieden te betalen voor de reductie-inspanningen van niet-EU-landen of kan zij CO₂-taksen opleggen op de invoer in de EU. Gezien de waarde van de fossiele brandstofreserves in de wereld (zie hieronder), zullen diplomatie en economische prikkels door de EU niet meer dan een **verwaarloosbare impact** hebben.
- ii. Het beleid van de EU en van de lidstaten heeft tot nu toe geleid tot een bescheiden vermindering van de koolstofuitstoot, terwijl de uitstoot in de rest van de wereld blijft toenemen, **zonder dat er duidelijke tekenen zijn van een piek, laat staan van de noodzakelijke vermindering.**⁶

- Het risico is dus groot dat de inspanningen van de EU, ook al zijn ze succesvol, niet het gewenste effect zullen hebben.
- iii. Het internationale klimaatbeleid tot nog toe heeft geen vruchten afgeworpen. Sinds de goedkeuring van het UNFCCC in 1992 is de wereldwijde CO₂-uitstoot gestaag toegenomen, ondanks het Protocol van Kyoto en het Akkoord van Parijs. In werkelijkheid hebben de internationale mitigerende inspanningen **niet geleid tot een daling** van de wereldwijde uitstoot. **Waarom zouden we een verbetering mogen verwachten in de toekomst, als we zien hoe de inspanningen in het verleden telkens zijn mislukt?**

Wereldwijde CO₂-uitstoot en internationaal klimaatbeleid [10]



Global Carbon Emissions

Source: Global Carbon Budget 2018 ■ Get the data

6 Onderzoek van Burgess et al. suggereert dat 2019 een piek was, maar het is nog te vroeg om het als zodanig te beschouwen. Cf. Burgess, Matthew G., Justin Ritchie, John Shapland en Roger Pielke Jr., 'IPCC baseline scenarios have over-projected CO₂ emissions and economic growth', Environmental Research Letters (ERL, te verschijnen), beschikbaar op <https://osf.io/preprints/socarxiv/ahsxw/>

Zelfs als de klimaatneutraliteit van de EU wordt bereikt, zal ze mogelijk zeer weinig effect hebben op de gemiddelde wereldwijde temperatuurstijging. Andere landen buiten de EU zijn niet verplicht hun emissies te verminderen, en de EU kan hen daartoe niet dwingen. Ontwikkelingslanden hebben het recht om hun economie te ontwikkelen. De inspanningen van de EU lopen dus een aanzienlijk risico hun doel niet te bereiken.

- j. Een andere manier om de ambitie van de EU-klimaatneutraliteit te beoordelen, is de vraag: **aan welk tempo moet hernieuwbare energie worden ingezet** om in 2050 een nuluitstoot te bereiken in de EU en wereldwijd? Uitgaande van het gemiddelde tempo van ontplooiing van hernieuwbare energie in de afgelopen twaalf jaar, en van een lineair traject, zou aan de volgende eisen moeten worden voldaan:
 - i. Om wereldwijd een **verlaging van 45% te realiseren tegen 2030**, moet de jaarlijkse toename van hernieuwbare energiebronnen stijgen met een **factor 16**.
 - ii. Om wereldwijd een verlaging van 45% te realiseren tegen 2050, moet de jaarlijkse toename van hernieuwbare energiebronnen stijgen met een factor 10.
 - iii. Wil de EU tegen 2050 nuluitstoot bereiken, dan moet zij de jaarlijkse groei van hernieuwbare energiebronnen met een factor 4 verhogen, ervan uitgaande dat de vraag naar energie jaarlijks met 0,7% daalt.
 - iv. Wil de **EU tegen 2050 nuluitstoot** bereiken, dan moet zij de **jaarlijkse groei van hernieuwbare energiebronnen met een factor 7 verhogen**, ervan uitgaande dat de vraag naar energie jaarlijks met 1,2% stijgt.
- k. Dit is een enorme berg die moet worden beklommen. Maar wellicht is de uitbreiding van het hernieuwbare energiesysteem niet eens de grootste uitdaging. Het grootste probleem zal waarschijnlijk zijn om **fossiele brandstoffen binnen hetzelfde tijdsbestek buiten bedrijf te stellen, ook in de EU zelf**, vooral als de intermitterende hernieuwbare energie blijft groeien en kernenergie afneemt. De hoge kosten die gepaard gaan met het opkopen van de wereldwijde reserves aan fossiele brandstoffen tonen aan dat de EU-klimaatneutraliteit waarschijnlijk niet effectief is.
 - i. Tot nu toe hebben de inspanningen van de EU op het gebied van uitstootvermindering niet geleid tot een overeenkomstige daling van de wereldwijde uitstoot, omdat het **gebruik van fossiele brandstoffen in grote delen van de wereld** (en in mindere mate binnen de EU) onverminderd doorgaat. In de EU staat de noodzakelijke back-up voor intermitterende hernieuwbare elektriciteitsopwekking, in combinatie met een afkeer van kernenergie, in de weg van een snelle afbouw van de opwekking van elektriciteit uit fossiele brandstoffen.
 - ii. Nu de vraag naar fossiele brandstoffen in de westerse wereld afneemt, zullen de prijzen op de wereldmarkten waarschijnlijk dalen (als andere

- factoren ongewijzigd blijven) en zullen fossiele brandstoffen goedkoper worden voor ontwikkelingslanden. Dit zal hen in staat stellen om meer fossiele brandstoffen te verbruiken en hun economie te laten groeien, zoals voorgeschreven door de SDG's van de VN, die op hun beurt de vraag naar fossiele brandstoffen zullen aanzwengelen.⁷
- iii. Om de CO₂-uitstoot in de rest van de wereld met een hoge mate van zekerheid te voorkomen,⁸ zou de EU tussen nu en 2050 **alle fossiele brandstoffen (olie, gas, steenkool/bruinkool) kunnen opkopen en definitief buiten bedrijf stellen**.
 - iv. Als er geen andere fossiele brandstoffen zijn dan de momenteel bekende reserves, zullen de totale kosten van dit aankoopprogramma, tegen de huidige marktprijs, **ten minste € 109.000.000.000.000** bedragen, ongeveer **7 keer het totale jaarlijkse bbp van de EU**, a rato van € 560.000 per huishouden in de EU.⁹
 - v. Uitgaande van een lineaire aankoop over een periode van 30 jaar, zou de **EU elk jaar ongeveer een kwart van haar bbp moeten besteden aan de aankoop van fossiele brandstoffen, meer dan 20 keer zoveel als de EU-begroting van 2019 (165 miljard euro), en dit elk jaar, van 2021 tot 2050**.
 - vi. Deze cijfers geven ons niet alleen een idee van de **economische waarde van fossiele brandstoffen**, maar tonen ook aan dat er geen duidelijke, beproefde manier bestaat om te voorkomen dat de inspanningen van de EU op het gebied van klimaatneutraliteit zinloos zijn. Anders gezegd, de enorme kosten voor het opkopen van alle fossiele brandstoffen zetten de haalbaarheid van het EU-beleid inzake klimaatneutraliteit op de helling. De kans is dus groot dat de **klimaatneutraliteit van de EU niet het gewenste effect zal hebben**.
 - vii. Maar zelfs als een dergelijk programma haalbaar zou zijn, zou het tot grote bezorgdheid leiden bij de **ontwikkelingslanden**. De Duurzame Ontwikkelingsdoelstellingen (SDG's) van de Verenigde Naties houden een aantal beloftes in aan de ontwikkelingslanden: **een einde maken aan armoede en honger, 'toegang tot betaalbare, betrouwbare, duurzame en moderne energie voor iedereen'**¹⁰ en **industrialisatie**.¹¹ Al deze doelstellingen hebben voorrang op de strijd tegen klimaatverandering.¹²
 - viii. Het internationale rechtskader (UNFCCC, Akkoord van Parijs) erkent het **recht van naties, met name de opkomende economieën, om hun eigen hulpbronnen te exploiteren en hun economieën te ontwikkelen**, en vereist niet dat ze emissiereducties nastreven (dit wordt ook wel aangeduid met de term 'gedifferentieerde verantwoordelijkheden').
 - ix. Gezien het recht van de ontwikkelingslanden om zich te ontwikkelen en de immense opportuniteitskosten van het afzien van ontwikkeling, is het onwaarschijnlijk dat zij zich daarvan zullen

7 Cf. Sinn, Hans-Werner, *The Green Paradox: A Supply-Side Approach to Global Warming*, MIT Press, 2012.

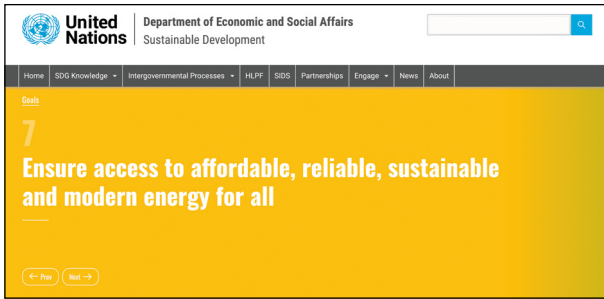
8 Er kunnen nadelige substitutie-effecten optreden als in plaats van fossiele brandstoffen, hout en andere biomassa wordt verbrand voor energie. Als dit tot ontbossing leidt, komt er nog meer koolstofdioxide in de atmosfeer die daarna niet wordt verwijderd.

9 De EU telt ongeveer 195 miljoen huishoudens. Eurostat, Household composition statistics, beschikbaar op https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Household_composition_statistics. Aangezien de EU ongeveer 450 miljoen burgers telt, komt dit neer op een uitgave van ongeveer € 250.000 per burger. Wereldbank, <https://data.worldbank.org/region/european-union>, bevolkingsstatistieken van 2019.

10 Verenigde Naties, SDG nummer 7, beschikbaar op <https://www.sdgs.be/nl/sdgs/7-betaalbare-en-duurzame-energie> – VN SDG 1 is 'Geen armoede'; SDG 2 is 'Geen honger'.

11 Verenigde Naties, SDG nummer 9, beschikbaar op <https://www.sdgs.be/nl/sdgs/9-industrie-innovatie-en-infrastructuur> ('Bouw veerkrachtige infrastructuur, bevorder inclusieve en duurzame industrialisatie en stimuleer innovatie').

12 Verenigde Naties, SDG nummer 13, beschikbaar op <https://www.sdgs.be/nl/sdgs/13-klimaatactie>



Raamverdrag van de Verenigde Naties inzake klimaatverandering [9]

Recalling also that States have, in accordance with the Charter of the United Nations and the principles of international law, **the sovereign right to exploit their own resources** pursuant to their own environmental and developmental policies, and the responsibility to ensure that activities within their jurisdiction or control do not cause damage to the environment of other States or of areas beyond the limits of national jurisdiction,

Uit Nature Climate Change, januari 2020 [4]

Carbon dioxide emissions continue to grow amidst slowly emerging climate policies

A failure to recognize the factors behind continued emissions growth could limit the world's ability to shift to a pathway consistent with 1.5 °C or 2 °C of global warming. Continued support for low-carbon technologies needs to be combined with policies directed at phasing out the use of fossil fuels.

G. P. Peters, R. M. Andrew, J. G. Canadell, P. Friedlingstein, R. B. Jackson, J. I. Korsbakken, C. Le Quéré and A. Peregón

Global fossil CO₂ emissions grew at 0.9% per year in the 1990s and accelerated to 3.0% per year in the 2000s, but have returned to a slower growth rate of 0.9% per year since 2010, with a more pronounced slowdown from 2014 to 2016.

Despite modest declines in emissions in the United States and the European Union (EU) over the past decade, the growth in emissions in China, India and most developing countries has dominated global emission trends over the past 20 years. The Global

Carbon Budget projection¹ suggests that global fossil CO₂ emissions will grow by 0.6% (range -0.2% to 1.5%) in 2019, with emissions projected to decline in the United States and the EU28, but projected to increase in China, India and the rest of the world (Fig. 1a).

NATURE CLIMATE CHANGE | VOL 10 | JANUARY 2020 | 2-10 | www.nature.com/natureclimatechange

3

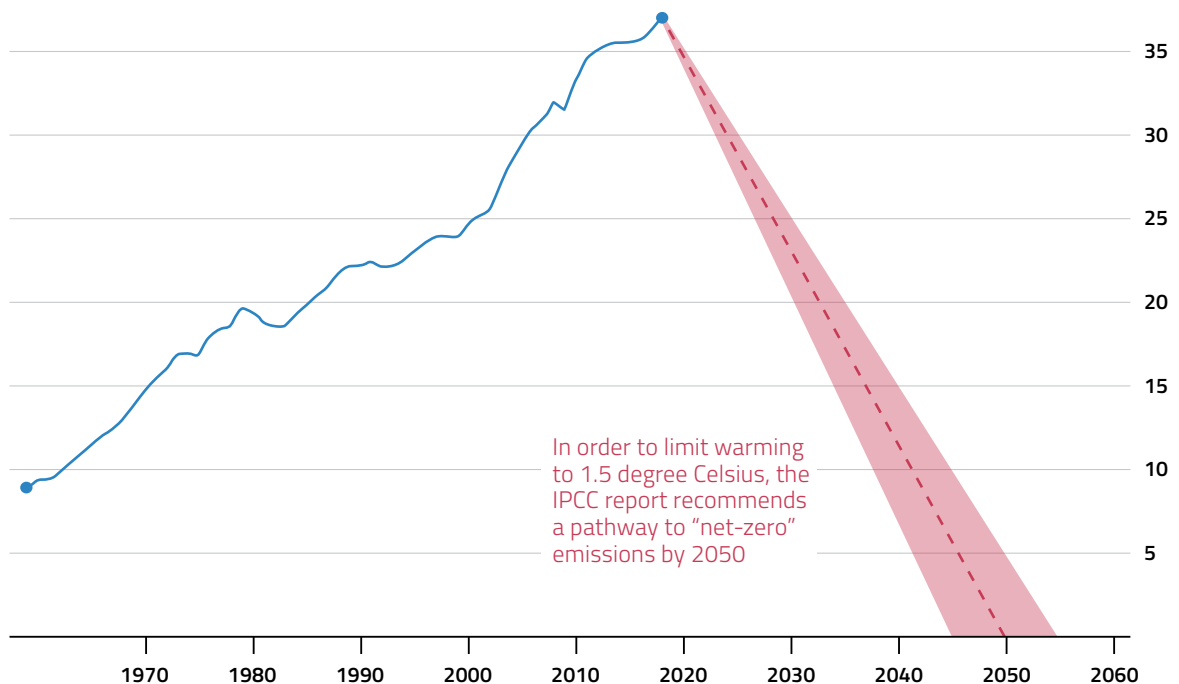
- onthouden, of dat de ontwikkelde landen hen anderszins kunnen overtuigen of verhinderen dit te doen.
- x. Dus zelfs als de lidstaten van de EU tegen 2050 een nuluitstoot kunnen bereiken, bestaat er een **aanzienlijk risico dat de uitstoot van andere landen de reducties van de EU meer dan compenseert en dat er geen positief effect zal zijn op het klimaat wereldwijd.**
 - xi. In een tussentijds speciaal rapport van 2018 in het kader van het Akkoord van Parijs over de klimaatverandering heeft het IPCC een traject uitgestippeld om de temperatuurstijging in 2100 tot 1,5 °C te beperken. [17]
 - Dit traject, waarin kernenergie expliciet als optie is opgenomen, vereist dat **de hele wereld rond 2050 klimaatneutraal** wordt.
 - Om de opwarming te beperken tot 1,5 graden is een **drastische vermindering van de uitstoot** nodig tegen 2030 en **koolstofneutraliteit** tegen

2050. Dit zou **ongekende transformaties van de energie-, land-, stedelijke en industriële systemen** met zich meebrengen, met inbegrip van maatregelen om 'negatieve emissies' te bereiken door het verwijderen van koolstof uit de atmosfeer.

- Er is echter **geen plausibel, haalbaar plan of traject** om tegen 2050 wereldwijde mondiale klimaatneutraliteit te bereiken. Het is slechts een streven.

IPCC-koolstofemissietraject om de opwarming te beperken tot 1,5 graden

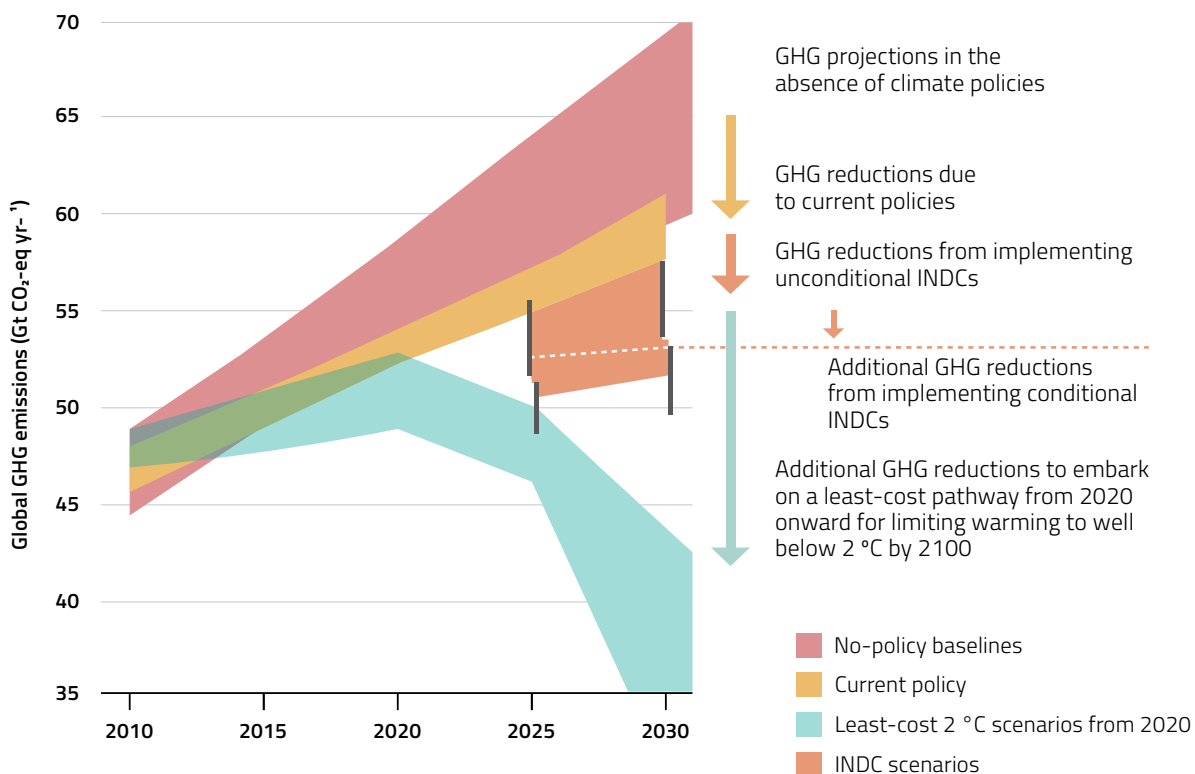
- xii. Als we kijken waar het beleid nu staat, **zouden de veranderingen onrealistisch radicaal moeten zijn.** Zelfs voor de meer bescheiden doelstelling van 2°C lijken de vereiste beleidswijzigingen **niet realistisch.**



IPCC carbon emission pathway to limit warming to 1.5 degrees

Billion tonnes CO₂ per year
Source: Global Carbon Budget 2018 • Get the data

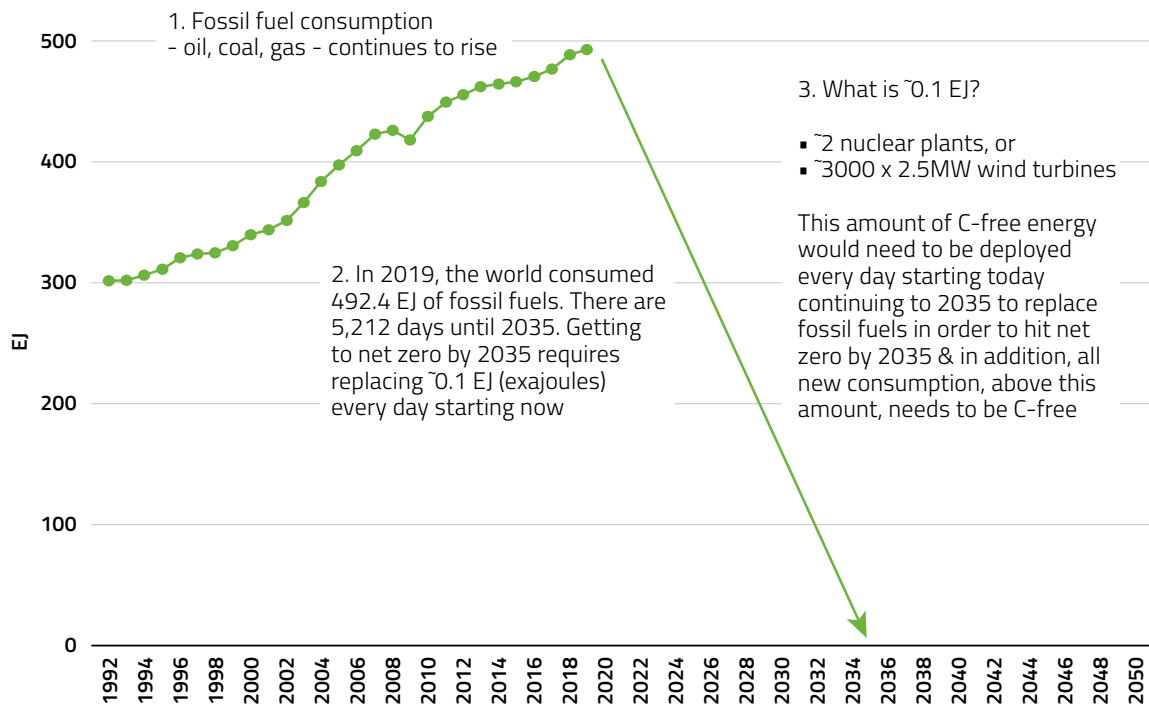
Speciaal IPCC-rapport - Het beperken van de opwarming tot 1,5°C vereist drastische emissiereducties tegen 2030 en koolstofneutraliteit rond 2050. Dit zou ongekende transformaties van de energie-, land-, stedelijke en industriële systemen met zich meebrengen, met inbegrip van maatregelen om 'negatieve emissies' te bereiken door het verwijderen van koolstof uit de atmosfeer.



Bron: Joeri Rogelj et al., Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C, *Nature*, volume 534, pp. 631–639 (2016)

Wereldwijde uitstoot van broeikasgassen volgens INDC's in vergelijking met de uitgangssituatie zonder beleid, het huidige beleid en de 2°C-scenario's [7]

xiii. Als we kijken naar alle emissies door energiegebruik (niet alleen elektriciteit), wordt duidelijk dat het bereiken van een netto nuluitstoot in enkele decennia niet haalbaar is met de momenteel beschikbare technologieën.



Global Fossil Fuel Consumption - Bron: BP 2020, R. Pielke Jr., 24 Sept 2020

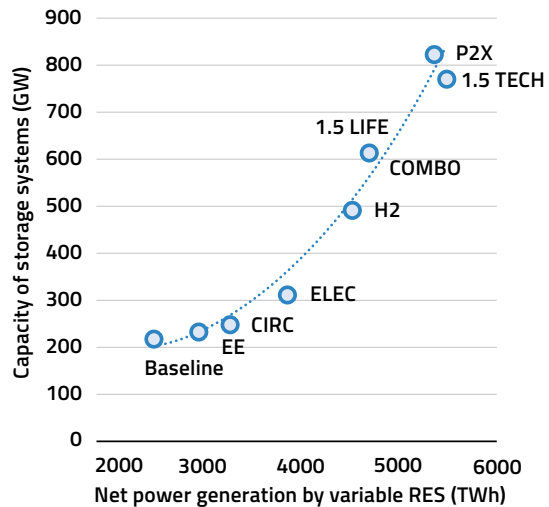
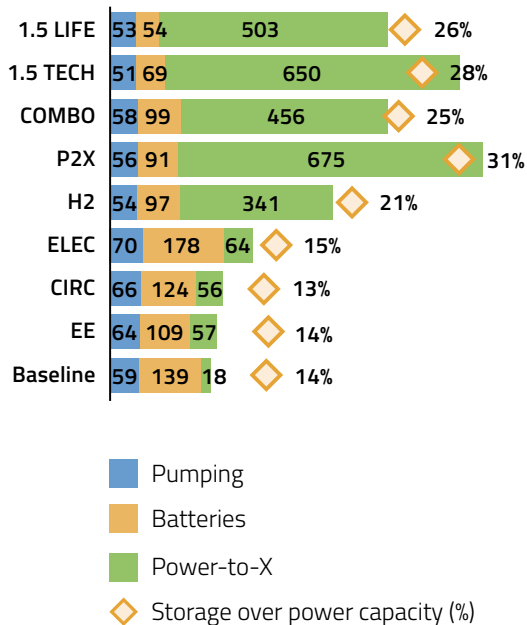
Source: BP 2020, R. Pielke Jr., 24 Sept 2020

Er is berekend dat om in 2035 tot een netto nuluitstoot te komen **elke dag ongeveer 0,1 EJ (exajoule) aan fossiele energie moet worden vervangen door hernieuwbare energie**, te beginnen vanaf nu. [16] Dit komt overeen met ongeveer **2 kerncentrales of 3.000 windturbines van 2,5 MW**. Daarbij zou elke dag een overeenkomstige hoeveelheid fossiele brandstoffen buiten gebruik moeten worden gesteld. **Alle nieuwe, extra energieverbruik zou koolstofvrij moeten zijn**. De werkelijkheid staat volledig haaks op deze eisen.

xiv. Het lijkt dus **weinig waarschijnlijk dat de EU tegen 2050 klimaatneutraliteit kan bereiken**. Er is geen vastomlijnd plan om dit te bereiken. Er is geen kosten-batenanalyse uitgevoerd van alternatieve beleidsopties; niet alle beleidsopties werden overwogen; sommige haalbare opties, met name kernenergie, komen zelfs niet aan bod; en de EU kan het

zich niet veroorloven om alle fossiele brandstofreserves in de wereld of een aanzienlijk deel daarvan op te kopen en kan de toename van de wereldwijde uitstoot ook niet op een andere manier voorkomen.

Het klimaatbeleid van de EU wordt gestuurd door de **wens om klimaatneutraal te worden, zonder dat er een rationele strategie en routekaart is** om de lidstaten tot dit resultaat te leiden. De ambitieuze strategieën en plannen van de EU streven allemaal **afgeleide doelstellingen** na, zoals quota voor hernieuwbare energie, en zijn **onvoldoende en evenmin noodzakelijk** om klimaatneutraliteit te bereiken. De Green Deal gaat ervan uit dat de EU doorgaat met het versterken van reeds bestaand beleid, zoals energie-efficiëntie en hernieuwbare energie, en daarnaast **inzet op technologische doorbraken** op het vlak van waterstoftech-



Source: PRIMES model. In deze grafieken verwijzen de afkortingen 'P2X', '1.5TECH', '1.5LIFE', 'COMBO', etc. naar scenario's van energiemixen met een afnemend percentage variabele hernieuwbare energie.

Fig. 6. EU storage systems capacity (GW), share of total power capacity and correlation of power storage with variable RES generation

nologie, energieopslag en systeemintegratie. Intussen wordt het klimaatbeleid van de EU vooral bepaald door de door beleidsmakers vastgestelde doelstellingen voor hernieuwbare energie en emissiereducties, en door de financiële stimulansen voor onderzoek en ontwikkeling, die **niets doen aan de onderliggende oorzaak van de wereldwijde toename van de uitstoot**.

- xv. Kortom, de **kans op mislukking is groot**, omdat ofwel (i) de EU geen klimaatneutraliteit zal bereiken, doordat de noodzakelijke technologieën niet klaar zijn voor grootschalige toepassing of doordat de kosten te hoog blijken te zijn (de systeemgerelateerde kosten van hernieuwbare energie nemen immers toe met de penetratiegraad ervan), ofwel omdat (ii) de rest van de wereld zijn emissies niet zal beperken, zodat de offers van de EU tevergeefs zijn.

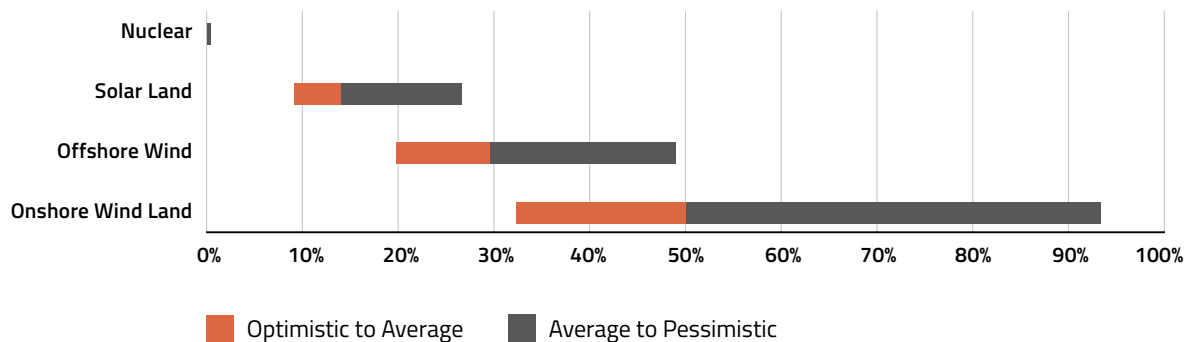
Is de klimaatneutraliteit in 2050 in de EU levensvatbaar en duurzaam op de lange termijn? [11]

Developing a power system with a high share of variable RES requires the development of storage technologies, demand response, mesh grids and an efficient multi-country integrated system and market, to share the resources that would enable the cost-effective balancing of variable RES generation. Large-scale storage of electricity (Fig. 6) with versatile features and seasonal cycles such as large-scale batteries, power-to-H₂ for chemical storage and compressed air electricity storage, depends on the technology readiness levels (TRL) of those technologies that currently remain at a demonstration stage. Without the synergy between chemical storage and the production of hydrogen and synthetic fuels, the huge increase of the power system size, projected in the climate-neutral scenarios, would have been unmanageable. The non-linear increase of storage as a function of the volume of total generation can be depicted in the right-hand side chart shown in Fig. 6.

- xvi. Dit versterkt de nood aan **'no regrets'-oplossingen**, d.w.z. **beleid dat voordelen oplevert en geen negatieve effecten en externaliteiten veroorzaakt, ongeacht de eventuele positieve effecten die het heeft op het probleem van de klimaatverandering.**
- xvii. **Energieopwekkende technologieën moeten worden beoordeeld op de mate waarin zij 'no regrets'-oplossingen** zijn, wat momenteel niet gebeurt in de EU. Ondanks de evidente noodzaak heeft de EU geen kosten-batenanalyse uitgevoerd van alternatieve technologieën voor de opwekking van elektriciteit en elektriciteitssystemen. Deze analyse, die het 'no regrets'-gehalte moet beoordelen, naar analogie met het voorzorgsbeginsel, zou **alle voordelen en kosten van alternatieve energieopwekkingstechnologieën** moeten beoordelen, zoals die vermeld in bijlage IX bij het rapport.
- xviii. **Twee belangrijke kenmerken van energieopwekkende technologieën** die in de Europese en nationale beleidsvorming weinig aandacht hebben gekregen, zijn (i) **het land en de ruimte die een technologie nodig heeft**, en (ii) de **kosten** ervan. Zodra deze kenmerken correct worden weerspiegeld in de beleidsvorming, lijkt **kernenergie een aantrekkelijke en ruimte- en kostenefficiënte optie.**

Deel II. Ruimtelijke vereisten van technologieën voor energieopwekking

1. Als elektriciteit in Nederland en Tsjechië uitsluitend of voornamelijk wordt geleverd door windturbines en zonnepanelen, zullen deze hernieuwbare energie-technologieën erg veel land in beslag nemen. Dit komt door de **lage vermogensdichtheid** van **wind- en zonne-energie**, die gemiddeld ongeveer **150 tot 500 keer lager** is dan die van kernenergie (zie verder).
 - a. Afhankelijk van variabelen zoals de vraag naar elektriciteit en de capaciteit is er in realistische scenario's **niet genoeg land om aan alle vraag naar elektriciteit te voldoen** als Tsjechië en Nederland alleen of hoofdzakelijk op wind- en zonne-energie zouden zijn aangewezen. In het geval van Tsjechië is het zelfs **uitgesloten** dat de beschikbare grond volstaat om aan de volledige vraag naar elektriciteit te voldoen.
 - b. Hoe dan ook is de ruimtelijke impact van een hoge penetratie van wind- en zonne-energie in het elektriciteitssysteem zeer groot en zal ze toenemen naargelang het percentage wind- en zonne-energie in de energiemix toeneemt.
 - i. In Nederland kan **offshore windenergie de druk op het land enigszins verlichten**, maar daartegenover staan de gevolgen voor het mariene milieu, de kosten (zie hieronder) enzovoort.
 - ii. Naarmate de penetratie van wind- en zonne-energie toeneemt, zullen **andere vormen van landgebruik, landschapsbescherming en natuurbescherming** steeds meer onder druk komen te staan, met als gevolg stijgende grondprijzen en een verslechtering van de leefomgeving.



Nederland - Vereist gebied als elke bron jaarlijks 500 PJ aan energie levert (als percentage van beschikbaar land)

		% of Energy Demand Supplied by Renewables								
		10%	15%	25%	35%	45%	50%	55%	75%	100%
Energy Demand (PJ)	1,500	10.8%	16.2%	27.0%	37.7%	48.5%	53.9%	59.3%	80.9%	107.8%
	1,750	12.6%	18.9%	31.4%	44.0%	56.6%	62.9%	69.2%	94.3%	125.8%
	2,000	14.4%	21.6%	35.9%	50.3%	64.7%	71.9%	79.1%	107.8%	143.8%
	2,250	16.2%	24.3%	40.4%	56.6%	72.8%	80.9%	88.9%	121.3%	161.7%
	2,500	18.0%	27.0%	44.9%	62.9%	80.9%	89.8%	98.8%	134.8%	179.7%
	2,750	19.8%	29.6%	49.4%	69.2%	88.9%	98.8%	108.7%	148.2%	197.7%
	3,000	21.6%	32.3%	53.9%	75.5%	97.0%	107.8%	118.6%	161.7%	215.6%
	3,250	23.4%	35.0%	58.4%	81.8%	105.1%	116.8%	128.5%	175.2%	233.6%
	3,500	25.2%	37.7%	62.9%	88.1%	113.2%	125.8%	138.4%	188.7%	251.6%
	3,750	27.0%	40.4%	67.4%	94.3%	121.3%	134.8%	148.2%	202.2%	269.5%
4,000	28.8%	43.1%	71.9%	100.6%	129.4%	143.8%	158.1%	215.6%	287.5%	

Nederland - Percentage beschikbare grond dat wordt bezet in scenario met 100% hernieuwbare energiebronnen . Het huidige jaarlijkse energieverbruik in Nederland is ongeveer 3100 PJ (zie <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0052-energieverbruik-per-sector>).

		% of Energy Demand Supplied by Renewables								
		10%	15%	20%	25%	30%	40%	60%	75%	100%
Energy Demand (PJ)	1,000	29.0%	43.5%	58.0%	72.5%	87.0%	116.0%	174.1%	217.6%	290.1%
	1,200	34.8%	52.2%	69.6%	87.0%	104.4%	139.3%	208.9%	261.1%	348.1%
	1,400	40.6%	60.9%	81.2%	101.5%	121.8%	162.5%	243.7%	304.6%	406.2%
	1,600	46.4%	69.6%	92.8%	116.0%	139.3%	185.7%	278.5%	348.1%	464.2%
	1,800	52.2%	78.3%	104.4%	130.5%	156.7%	208.9%	313.3%	391.6%	522.2%
	2,000	58.0%	87.0%	116.0%	145.1%	174.1%	232.1%	348.1%	435.2%	580.2%
	2,200	63.8%	95.7%	127.6%	159.6%	191.5%	255.3%	382.9%	478.7%	638.2%
	2,400	69.6%	104.4%	139.3%	174.1%	208.9%	278.5%	417.8%	522.2%	696.3%
	2,600	75.4%	113.1%	150.9%	188.6%	226.3%	301.7%	452.6%	565.7%	754.3%
	2,800	81.2%	121.8%	162.5%	203.1%	243.7%	324.9%	487.4%	609.2%	812.3%
3,000	87.0%	130.5%	174.1%	217.6%	261.1%	348.1%	522.2%	652.7%	870.3%	

Tsjechië - Percentage beschikbare grond dat wordt bezet in scenario met 100% hernieuwbare energiebronnen. Het huidige jaarlijkse energieverbruik in Tsjechië is ongeveer 1800 PJ.

- iii. Als in Tsjechië nog maar **30% van de stroom wordt opgewekt door hernieuwbare energiebronnen**, dan wordt reeds al het beschikbare land bezet door wind- en zonne-energie, bij een stroomvraag van slechts 1.000 PJ.
2. Als de stroom in Nederland en Tsjechië uitsluitend of voornamelijk wordt geleverd door kernenergie, dan **nemen kerncentrales slechts een minieme fractie in van het land en de ruimte die nodig zijn voor wind- en zonne-energie**. Dit is te danken aan de zeer hoge **vermogensdichtheid** van kernenergie, die **minstens 150 tot meer dan 500 keer hoger** is dan die van wind- en zonne-energie.

	Gemiddelde GWh/km ²		Geïndexeerd naar kernenergie (d.w.z. dat kernenergie x maal meer elektriciteit per km ² produceert)	
	NL	CZ	NL	CZ
Onshore wind op land	13	13	534	534
Onshore wind op water	14	n.v.t.	506	n.v.t.
Offshore windenergie	26	n.v.t.	266	n.v.t.
Zonne-energie dak	136	163	51	43
Zonne-energie op land	47	65	148	108
Kernenergie	6.982	6.982	1	1

- a. Kerncentrales kunnen op dezelfde locaties worden gevestigd als de centrales die op fossiele brandstoffen werken, en hebben ongeveer dezelfde oppervlakte nodig als dergelijke centrales, wat **besparingen oplevert op het vlak van infrastructuur** voor de aansluiting op het netwerk.
 - b. Deze eigenschappen **verminderen de druk op het beschikbare land en op landschaps- en natuurbescherming aanzienlijk**, wat een groot voordeel is, vooral nu de concurrentie om land toeneemt.
3. Vergeleken met wind- en zonne-energie **produceert kernenergie ongeveer 500 respectievelijk 150 keer meer elektriciteit per vierkante kilometer**.
 4. Deze cijfers **houden geen rekening met de extra vraag naar land en ruimte opgelegd door hernieuwbare energie**, die exponentieel toeneemt naarmate de hernieuwbare energie toeneemt en een groter deel van de energiemix uitmaakt. Dit extra grondgebied is nodig voor de **bijkomende infrastructuur** die nodig is voor de integratie van duurzame energie in het elektriciteitssysteem, zoals de **voorzieningen voor energieopslag en -conversie**.

Deel III. Kosten van energieopwekkende technologieën en systeemkosten

1. In vrijwel alle realistische scenario's is kernenergie goedkoper dan wind- en zonne-energie in termen van € per MWh, zowel in Tsjechië als in Nederland, en zowel tegen marktconforme rentetarieven als tegen een nultarief.¹³ Deze schattingen zijn gebaseerd op de gerealiseerde kosten voor elke technologie en houden geen rekening met toekomstige kostenverlagingen.

€/MWh	Kern-energie	Zonne-energie	Onshore windenergie	Offshore windenergie
0% WACC	35	72	47	59
3% WACC	19	65	41	49

Nederland

€/MWh	Kern-energie	Zonne-energie	Onshore windenergie	Offshore windenergie
0% WACC	30	43	31	n.v.t.
4.2% WACC	16	41	29	n.v.t.

Tsjechië

a. Terwijl in bovenstaande tabel alleen de **kosten voor het opwekken van de elektriciteit** worden vermeld, omvatten de kosten van het *elektriciteitssysteem* zowel de (i) kosten van de elektriciteitsopwekking (LCOE) als de (ii)

kosten van transmissie, distributie, opslag en conversie (integratie- en systeemgerelateerde kosten). De integratie- en systeemgerelateerde kosten zijn veel lager voor kernenergie dan voor intermitterende hernieuwbare energie, en deze kosten nemen exponentieel toe naarmate de penetratiegraad van hernieuwbare energie toeneemt.

b. Elke elektriciteitsopwekkende technologie (wind, zon, kernenergie) brengt **beide soorten kosten** met zich mee, en die zijn in belangrijke mate afhankelijk van (i) de mate waarin een technologie in een systeem wordt ingezet (de energiemix), en van (ii) de reeds bestaande infrastructuur.

2. De **belangrijkste factoren van de LCOE voor zowel wind- en zonne-energie als kernenergie** zijn, in volgorde van belangrijkheid:

- i. gewogen gemiddelde kapitaalkosten (WACC);
- ii. capaciteit;
- iii. kapitaalkosten;
- iv. vaste O&M-kosten.

De **WACC is de belangrijkste**, maar ook de meest controversiële factor. Op basis van een grondige analyse van dit debat, schatten we de WACC voor beleidsmakers door de **overheidsrisico's**

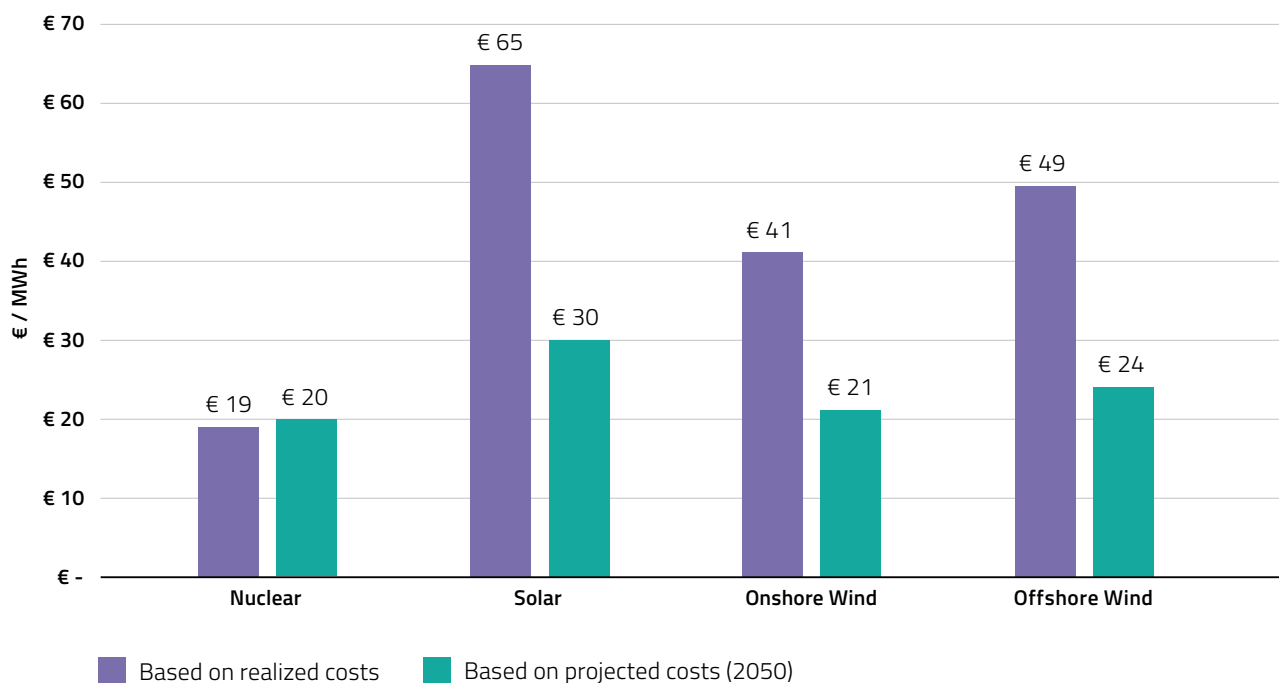
13 Deze schattingen houden geen rekening met de geproduceerde energie om de intermittentie of het tijdstip van opwekking weer te geven. Dit is de standaard werkwijze in de uitgebreide samenvatting, tenzij anders vermeld.

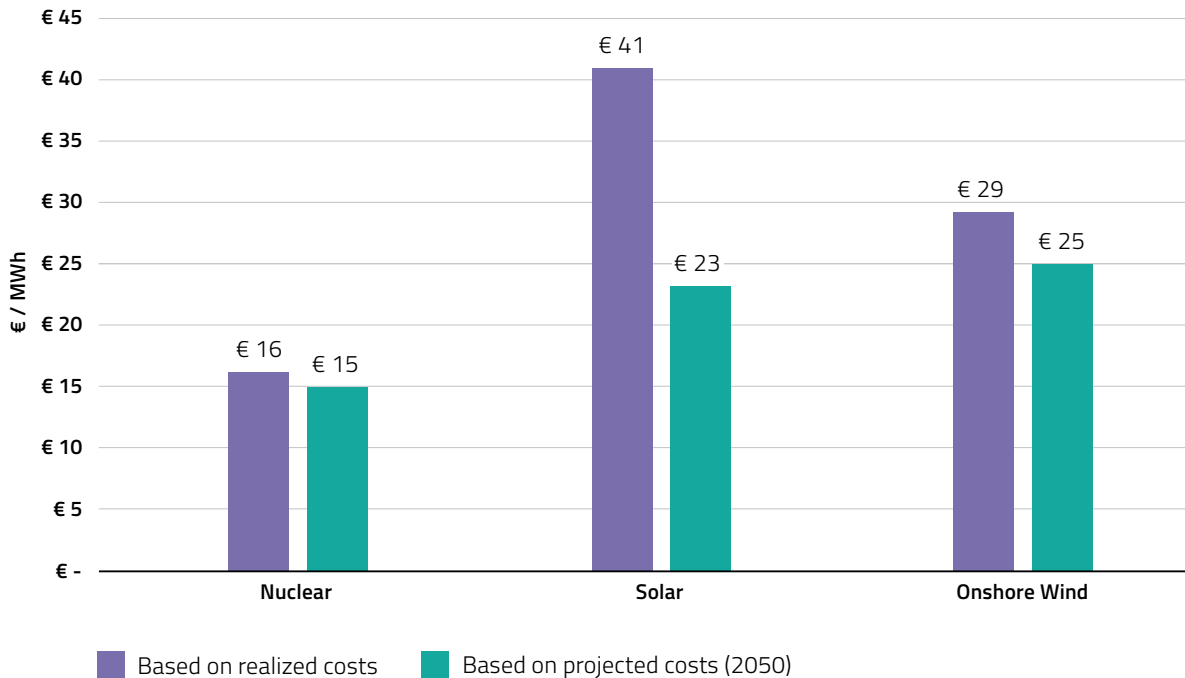
(die beleidsmakers controleren) te scheiden van **project-risico's** (die de operatoren in hoge mate controleren). In standard LCOE berekeningen wordt niet-intermitterende nucleaire elektriciteit zwaarder gekort dan intermitterende hernieuwbare elektriciteit, hoewel elektriciteit generiek is en intermitterende elektriciteit een lagere economische waarde heeft. Onze methode vermijdt deze praktijk, maar kort hernieuwbare energie niet teneinde de lagere economische waarde te verdisconteren.

3. Ten dele omdat de WACC ook als discount rate geldt, is de WACC die in planning wordt gebruikt, geen gegeven voor beleidsmakers. De keuze van de WACC/discount rate houdt tevens een waardeoordeel in en behelst niet uitsluitend een technisch oordeel. De beantwoording van de vraag welke discount rate gepast is voor beleidsdoel-einden vereist een politiek en moreel debat, net zoals het economische en technische analyse vergt. Aangezien beleid de WACC direct kan beïnvloeden, behoren beleidsmakers de WACCs die

gebruikt worden voor LCOEs te doorgronden. Op basis van een **beleidsneutrale WACC van 3% voor Nederland en 4,2% voor Tsjechië** stellen we vast dat **kernenergie in de meeste plausibele scenario's goedkoper is dan alle soorten duurzame energie (offshore of onshore windenergie of zonne-energie)** of combinaties daarvan, en dit zowel in Tsjechië als in Nederland.

- a. Alleen als alle of de meeste variabelen in het voordeel zouden zijn van hernieuwbare energie en tegen kernenergie zouden pleiten, kan sommige hernieuwbare energie een lagere LCOE hebben, maar niet noodzakelijkerwijs lagere totale kosten.
- b. We benadrukken dat deze kostenvergelijking louter op de LCOE is gebaseerd en dus geen rekening houdt met de **integratie- en systeemgerelateerde kosten**, die veel **hoger zijn voor hernieuwbare energie** dan voor kernenergie (zie verder).
- c. **In de meest plausibele scenario's is kernenergie goedkoper dan alle soorten**





Tsjechië: Analyse van de LCOE

hernieuwbare energie (offshore of onshore windenergie, zonne-energie) in zowel Tsjechië als Nederland, zelfs zonder de integratie- en systeemgerelateerde kosten mee te rekenen, die veel hoger zijn voor hernieuwbare energiebronnen (zie verder).

- d. Evenzo wordt in deze analyse geen rekening gehouden met de ruimtelijke vereisten (zie hierboven).

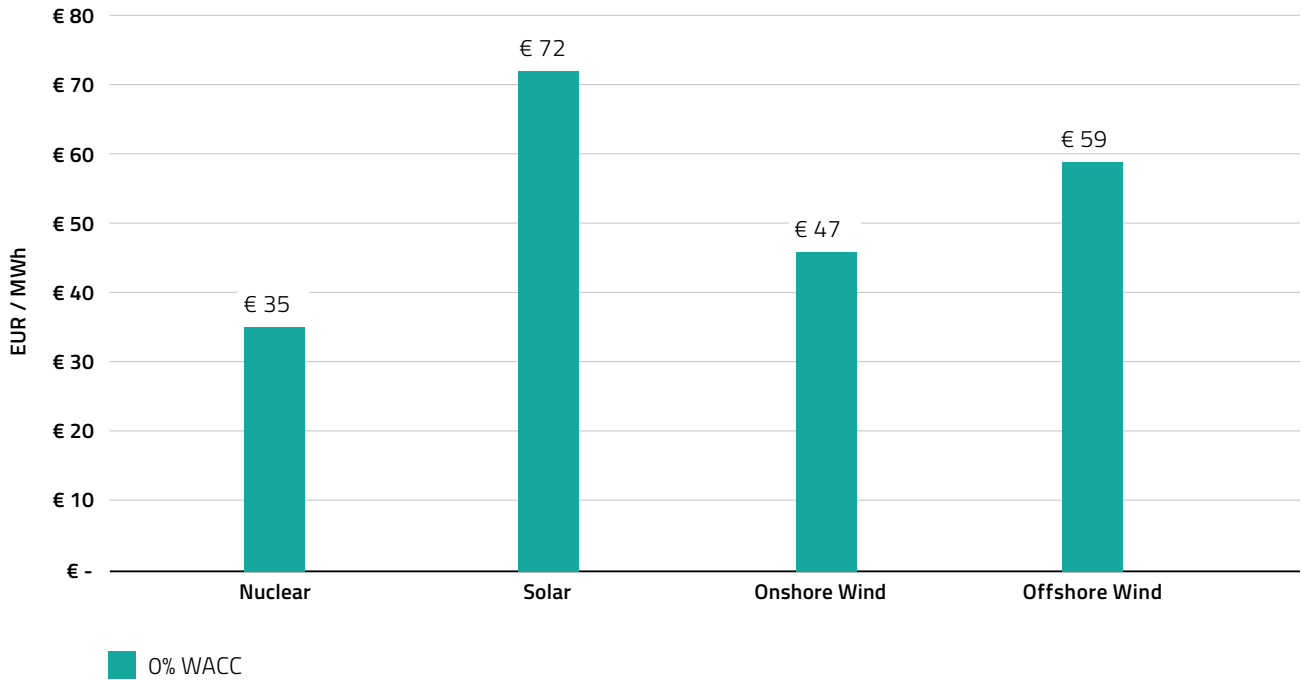
periode te voldoen, zelfs voordat de integratie- en systeemgerelateerde kosten zijn meegerekend.

- a. Zoals verwacht neemt het kostenvoordeel van kernenergie echter af naarmate de WACC toeneemt.
- b. Dit resultaat is onafhankelijk van het vereiste vermogen. Het is ook onafhankelijk van de tijdsperiode waarin de analyse wordt uitgevoerd, ervan uitgaande dat de hele levensduur van de technologie wordt opgebruikt.

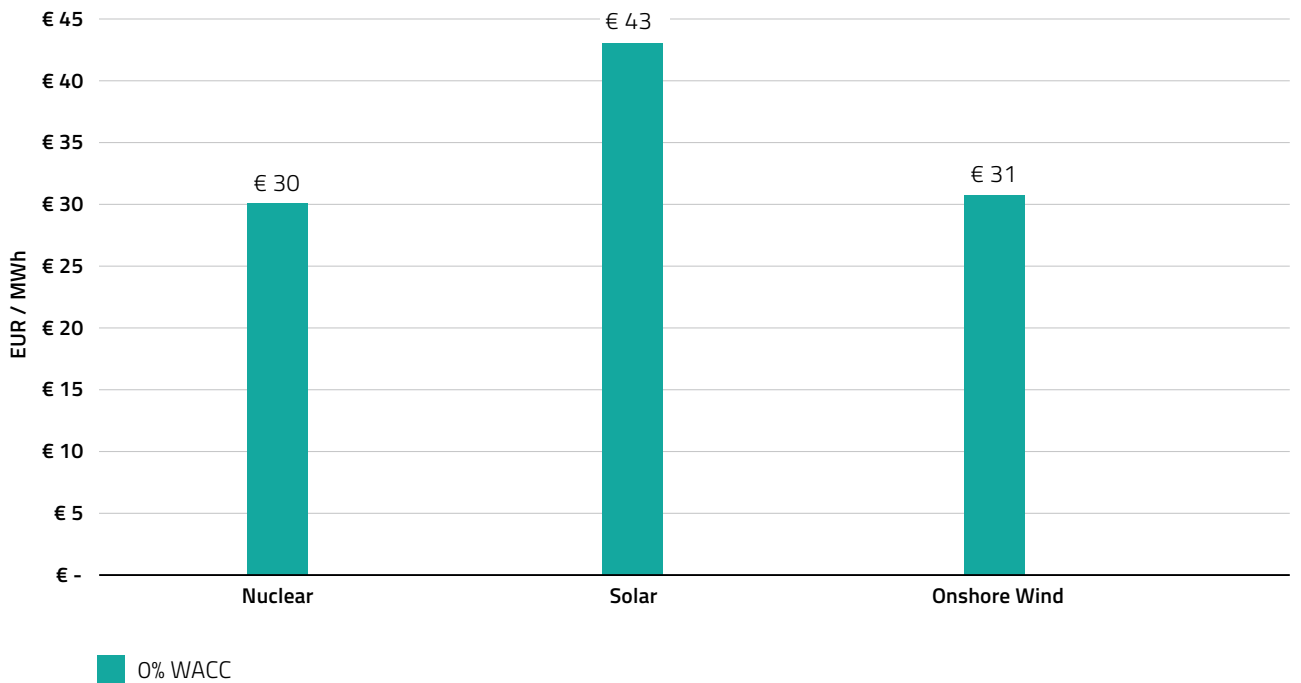
4. We hebben de LCOE-methode aangepast door als extra referentiepunt een gesynchroniseerde levensduuranalyse te ontwikkelen. Een gesynchroniseerde levensduuranalyse is de beste manier om verschillende energieopwekkende technologieën te vergelijken, omdat zij de versturende effecten van het verdisconteren van projecten met een verschillende levensduur en productieschema's vermijdt. Deze methode bevestigt dat kernenergie een kostenefficiëntere oplossing is om aan welbepaalde niveaus van elektriciteitsproductie gedurende een bepaalde

	Kern-energie	Zonne-energie	Onshore wind-energie	Offshore wind-energie
Huidige waarde van opwekkingskosten bij 0% WACC, in verhouding tot kernenergie	1,0 x	2,0 x	1,3 x	1,7 x
Huidige waarde van opwekkingskosten bij 3% WACC, in verhouding tot kernenergie	1,0 x	1,9 x	1,2 x	1,5 x

Nederland - Gesynchroniseerde levensduuranalyse



Nederland - Gesynchroniseerde levensduuranalyse (op basis van gerealiseerde kosten van gelijke elektriciteitsproductie en geen discounting).



Tsjechië - Gesynchroniseerde levensduuranalyse (op basis van gerealiseerde kosten van gelijke elektriciteitsproductie en geen discounting).

Opmerking: De beschouwde tijdsperioden voor Nederland en Tsjechië zijn verschillend vanwege de verschillende technische levensduur van de technologieën voor hernieuwbare energie.

	Kern-energie	Zonne-energie	Onshore windenergie
Huidige waarde van opwekkingskosten bij 0% WACC, in verhouding tot kernenergie	1,0 x	1,4 x	1,0 x
Huidige waarde van opwekkingskosten bij 4.2% WACC, in verhouding tot kernenergie	1,0 x	1,0 x	0,7 x

Tsjechië - Gesynchroniseerde levensduuranalyse

5. Als de **integratie- en systeemgerelateerde kosten** (profielkosten, aansluitkosten, balanceringskosten, netkosten) worden meegenomen in de analyse, **neemt het kostenvoordeel van kernenergie ten opzichte van wind- en zonne-energie verder toe**. Dit is vooral het geval wanneer wind- en zonne-energie een hoge penetratiegraad bereiken.

- a. **De integratie- en systeemgerelateerde kosten zijn laag voor kernenergie omdat kerncentrales een constante output leveren (geen intermittentie) en de energieproductie tot op zekere hoogte kunnen aanpassen aan de vraag (flexibiliteit)**. Bovendien kunnen ze worden geplaatst op de huidige locaties van elektriciteitscentrales op fossiele brandstoffen of vergelijkbare, relatief kleine locaties, dicht bij de elektriciteitsinfrastructuur en waar elektriciteit het meest nodig is.
- b. **De integratie- en systeemgerelateerde kosten zijn hoog voor wind- en zonne-energie, onder meer omdat hun vermogen intermitterend is (geen constante output) en deze energiebronnen geen stroom op aanvraag kunnen produceren (stochastisch, geen flexibiliteit)**. Met het vervangen van conventionele door hernieuwbare energiebronnen stijgen de integratie- en systeemgerelateerde kosten exponentieel omdat het probleem van de intermittentie toeneemt, waardoor er meer backup-, opslag- en conversiefaciliteiten nodig zijn. Bovendien bevinden de locaties voor wind- en zonne-installaties zich vaak in relatief afgelegen gebieden, ver weg van de stroominfrastructuur en van waar elektriciteit het meest nodig is. Dit leidt tot hogere integratiekosten aangezien er

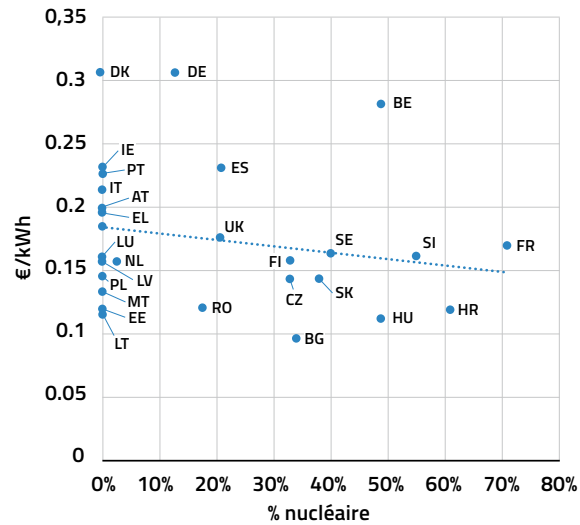
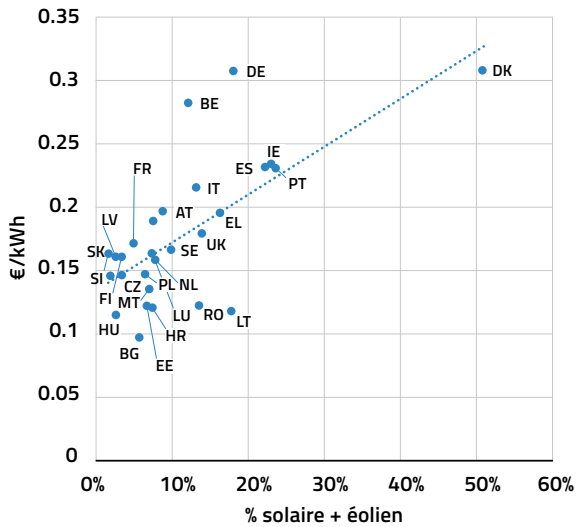
24 Jan 2020, 14:00 | Ellen Thalman, Benjamin Wehrmann

What German households pay for power

#Cost & Prices



Power prices in Germany are among the highest in Europe, not least due to the costs arising from the launch of renewable energy sources – but many customers continue to support the country's energy transition regardless. While wholesale electricity prices on average have been in decline in recent years, surcharges, taxes, and grid fees raise the bill for Germany's private households and small businesses. However, market observers say that power costs are often not even high enough for customers to look for cheaper alternatives. [UPDATES lates 2019 BDEW figures; 2020 renewables surcharge]



Prijs van elektriciteit (huishoudens)

Uit: Prof. Samuel Furfari, Université Libre de Bruxelles, 2019.

Source: Eurostat (Dec 2018)

infrastructuur moet worden gebouwd om deze faciliteiten op het bestaande net aan te sluiten en anderzijds wind en zon conventionele opwekking niet 1 op 1 kunnen vervangen.

- c. Op basis van het ETM-model kunnen de **totale energiesysteemkosten voor Nederland met maar liefst 18% worden verlaagd door hernieuwbare energie te vervangen door kernenergie**. De kostenbesparingen zijn groter voor de scenario's die aanvankelijk meer hernieuwbare energiebronnen in de energiemix hadden. Belangrijk is dat de **kosten voor aansluiting op het net – die slechts een deel uitmaken van de integratiekosten – in een bepaald scenario met meer dan 60% daalden**, waardoor de Nederlandse overheid jaarlijks bijna 10 miljard euro zou besparen.
- d. Verder bewijs voor het **prijsverhogende effect van hernieuwbare energie** vinden we in Duitsland, waar de elektriciteitsprijzen voor huishoudens de afgelopen jaren boven de grens van **30 cent per kWh** kwamen. Deze hoge

prijzen staan in contrast met die in Frankrijk, dat veel meer kernenergie gebruikt en waar de gemiddelde elektriciteitsprijs voor huishoudens in 2019 **18 cent per kWh** bedroeg. Interessante vaststelling: in de analyse voor Frankrijk zijn de scenario's met **60% hernieuwbare energie 55 miljard euro duurder** dan het scenario waarin de kernenergiecapaciteit constant blijft en de hernieuwbare energie op 35%.

- e. Belangrijk is dat **naarmate de penetratiegraad van wind- en zonne-energie toeneemt, de integratie- en systeemgerelateerde kosten exponentieel toenemen**, waardoor de kloof tussen de lage kosten van kernenergie en de hoge kosten van hernieuwbare energie nog groter wordt.
- f. Zoals de bovenstaande figuren tonen, is een **hogere penetratiegraad voor hernieuwbare energie positief gecorreleerd met hogere elektriciteitsprijzen voor huishoudens**, terwijl een **hoger aandeel kernenergie positief gecorreleerd is met lagere elektriciteitsprijzen**.

Deel IV. Beleidsaanbevelingen

Omdat het huidige EU-beleid de voorkeur geeft aan hernieuwbare energie boven kernenergie, sturen analyses van de relatieve kosten van beide technologieën vaak aan op een status quo van het beleid, in plaats van zich te richten op de technologieën zelf. Er is al massaal geïnvesteerd in de ontwikkeling en inzet van wind- en zonne-energie. Dit heeft geleid tot een verlaging van de prijs van hernieuwbare energie, maar heeft de kosten van kernenergie en de inzet ervan in de EU ook opgeblazen.

Gezien de voordelen van kernenergie vanuit ruimtelijk en economisch oogpunt, zullen de regeringen van de lidstaten waarschijnlijk kernenergie aan hun energiemix moeten toevoegen om op schema te blijven in hun streven om de EU-doelstelling inzake klimaatneutraliteit te halen.

1. Onder het huidige beleid van de EU en de lidstaten worden de volgende voordelen toegekend aan hernieuwbare energie, voordelen die niet (of in veel beperktere mate) beschikbaar zijn voor kernenergie:
 - a. **Directe subsidies voor onderzoek en ontwikkeling** van hernieuwbare energietechnologieën, onder meer voor wind- en zonne-energie;
 - b. **Directe subsidies (investeringspremies, leninggaranties, zachte leningen) voor duurzame energieprojecten**, onder meer voor wind- en zonne-energie;
 - c. **Indirecte subsidies, door infrastructuur** die specifiek vereist is voor projecten voor hernieuwbare energie te bekostigen uit de algemene begroting, belastinginkomsten of heffingen;
 - d. **Verplichte, gegarandeerde minimaandelen voor hernieuwbare energie** in de energiemix, opgelegd door middel van minimumdoelstellingen voor hernieuwbare energie, waarbij hernieuwbare energie zo wordt gedefinieerd dat concurrerende koolstofarme technologieën worden uitgesloten;

- e. **Prioritaire en geprivilegieerde toegang tot de energiemarkt** via prioritaire levering, feed-intarieven (FiT) en feed-inpremies (FiP), ten nadele van concurrerende – ook koolstofarme – elektriciteitsproducenten;
 - f. **Quotumverplichtingen met verhandelbare groenestroomcertificaten** en soortgelijke minimumafnamevereisten voor hernieuwbare elektriciteit;
 - g. **Fiscale stimuleringsmaatregelen** die alleen beschikbaar zijn voor hernieuwbare energie, niet voor andere koolstofarme technologieën voor energieopwekking;
 - h. **Aanbestedingsregelingen** die hernieuwbare elektriciteitsproducenten bevoordelen ten opzichte van andere koolstofarme elektriciteitsproducenten;
 - i. **Gunstige vergunnings- en regelgevingsprocedures** die de risico's voor hernieuwbare energieprojecten verminderen, maar die niet beschikbaar zijn voor andere koolstofarme energieprojecten;
 - j. **Procedures en regels inzake de toegang tot het net en de operationele kant** die de producenten van hernieuwbare energie bevoorrechten of andere energieproducenten benadelen;
 - k. **Andere aspecten van de energiemarkt (ontwerp, structuur en werking)** die duurzame energieprojecten begunstigen;
 - l. **Landgerelateerde beleidsmaatregelen die de prijs van landgebruik voor duurzame energieprojecten laag houden**, inclusief, maar niet beperkt tot, landbouwbeleid;
 - m. **Gebrek aan verplichtingen voor producenten van hernieuwbare energie om eigenaren van onroerend goed te vergoeden als ze schade lijden** (bijvoorbeeld verminderde waarde van het onroerend goed) als gevolg van de locatie van de hernieuwbare energiecentrales;
 - n. **Geen internalisering van negatieve externaliteiten** (bv. negatieve milieueffecten) in de prijs van hernieuwbare energieopwekking;
 - o. **Freeriding op andere technologieën die het stroomsysteem stabiel en flexibel houden**, zoals basislastgeneratoren en flexibiliteitsleveranciers.
2. Om aan de publieke vraag naar kernenergie te voldoen, moet de EU hernieuwbare energie en kernenergie op gelijke voet plaatsen en een programma voor *'Nucleaire renaissance'* onderschrijven. Dit programma zou twaalf sleutelelementen bevatten:
- a. **Gelijke behandeling:** Alle technologieën voor het opwekken van koolstofarme energie (windenergie, zonne-energie, kernenergie) worden door de EU en de regeringen van de lidstaten gelijk behandeld.
 - b. **'De generator betaalt'-principe:** Op basis van de principes van kosteninternalisatie en 'de vervuiler betaalt', waakt het EU-beleid erover dat zowel voor hernieuwbare als voor kernenergie de volledig belaste kosten in aanmerking worden genomen bij de beleidsvorming, inclusief de integratie- en systeemgerelateerde kosten en de relevante externaliteiten.
 - c. **Geen discriminerende subsidies:** Alle open en verborgen subsidies, direct en indirect, in geld of in natura, en andere voordelen voor hernieuwbare energie (bv. targets, prioriteitsregels, hogere of gegarandeerde feed-intarieven, gesubsidieerde infrastructuur voor offshore windenergie, verlaagde prijzen voor grondgebruik enzovoort) worden geëlimineerd, zodat kernenergie kan concurreren op een gelijk speelveld. Andere EU-beleidsmaatregelen worden niet aangepast om voordelen te bieden aan hernieuwbare energie.

- d. **Regels voor totale systeemkosten:** De elektriciteitsmarkt wordt geherstructureerd, zodat koolstofneutrale investeringen worden gebaseerd op de totale systeemkosten in plaats van op de marginale kost van gesubsidieerde energietechnologieën.
- e. **Gedifferentieerde elektriciteitsproducten:** Op basis van het idee dat ongelijke zaken niet op dezelfde manier worden behandeld, wordt het concept 'alleen energie' niet langer geïnterpreteerd in het voordeel van de marginale kost van stochastische, niet-flexibele elektriciteitsopwekking, maar wordt rekening gehouden met het fundamenteel verschillende karakter van constante, 'on-demand' stroomvoorziening enerzijds, en intermitterende stroomvoorziening anderzijds.
- f. **Holistische beoordeling:** De beleidsvorming op EU- en lidstaatniveau gebeurt op basis van het bepalen en objectief beoordelen van de mate waarin technologie voor elektriciteitsopwekking, of het nu gaat om wind-, zonne- of kernenergie, gunstige of ongunstige effecten heeft op andere EU-belangen en -beleidsmaatregelen (zoals de bescherming van habitats en soorten, gifvrij milieu, landbouwbeleid, energiebeleid enz.) en andere externaliteiten veroorzaakt.
- g. **Gunstige regelgevingsprocedures:** Net als hernieuwbare energie heeft ook kernenergie baat bij vlotte en efficiënte vergunnings- en regelgevingsprocedures, en de EU eist van de lidstaten dat ze in hun administratieve procedures geen voorkeursbehandeling geven aan een bepaalde technologie voor energieopwekking.
- h. **Rechts- en beleidszekerheid:** Om investeringen in de beste energieopwekkingstechnologie aan te moedigen en de financieringskosten laag te houden, is juridische en beleidszekerheid gegarandeerd voor zowel hernieuwbare als kernenergie.
- i. **Gepaste schadevergoedingen:** De EU eist dat de lidstaten een redelijke vergoeding toekennen aan EU-onderdanen die schade of nadeel ondervinden, of anderszins worden benadeeld door vestigingsbesluiten met betrekking tot faciliteiten voor elektriciteitsproductie en transmissielijnen.
- j. **Toegang tot financiering op basis van verdienste:** De toegang tot private en publieke financiering gebeurt op basis van de verdiensten van de energieopwekkingstechnologieën. Er wordt komaf gemaakt met privileges en discriminatie op dit gebied.
- k. **EU-regelgeving inzake kernenergie voor het nieuwe tijdperk:** De EU-regelgeving op het gebied van kernenergie wordt herzien en bijgewerkt om ze af te stemmen op het doel en het nieuwe tijdperk van de elektriciteitsopwekking. De regelgeving inzake kernenergie is effectief en efficiënt.
- l. **EU-programma voor nucleaire aansprakelijkheid en schadevergoeding:** De EU stelt een EU-verordening inzake nucleaire aansprakelijkheid vast om ervoor te zorgen dat er extra prikkels voor preventie zijn en dat er een schadevergoeding beschikbaar is in het geval van een nucleair ongeval.

Conclusies

1. De EU strategie om in 2050 klimaatneutraliteit te bereiken, is niet realistisch en zal waarschijnlijk tot teleurstellingen leiden. Om het risico op teleurstellingen zoveel mogelijk te beperken en toch de emissies terug te dringen, zijn 'no regrets' oplossingen nodig. Kernenergie is zo'n oplossing.
2. Zowel wat betreft de ruimtelijke eisen als de kosten biedt kernenergie aanzienlijke voordelen ten opzichte van hernieuwbare energie (wind, zon). Deze voordelen zijn erkend in Tsjechië, maar (nog) niet door de beleidsmakers op EU-niveau en in Nederland.

Bronnen:

1. BP Statistical Review of World Energy 2019, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
2. UK Office for National Statistics, The decoupling of economic growth from carbon emissions: UK evidence, <https://www.ons.gov.uk/economy/nationalaccounts/uksectoraccounts/compendium/economicreview/october2019/thedecouplingofeconomicgrowthfromcarbonemissionsukevidence>
3. UK Defra, UK's Carbon Footprint 1997-2017, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/918325/Consumption_emissions_March_20_fullycompatible.pdf
4. G.P. Peters et al., Carbon dioxide emissions continue to grow amidst slowly emerging climate policies, *Nature Climate Change*, Vol. 10, Januari 2020, pp. 2–10.
5. Pierre Friedlingstein et al., Global Carbon Budget 2019, *Earth Syst. Sci. Data*, 11, 2019, pp. 1783–1838.
6. Bjorn Lomborg, Impact of Current Climate Proposals, *Global Policy*, Volume 7, Nr. 1, Februari 2016, pp. 109–116.
7. Joeri Rogelj, Michel den Elzen, Niklas Höhne, Taryn Fransen, Hanna Fekete, Harald Winkler, Roberto Schaeffer, Fu Sha, Keywan Riahi & Malte Meinshausen, Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C, *Nature*, volume 534, pp. 631–639 (2016).
8. Global emissions have not yet peaked, *Our World in Data*, <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
9. Raamverdrag van de Verenigde Naties inzake klimaatverandering, [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/HTML/?uri=CELEX:21994A0207\(02\)&qid=1607591341575&from=NL](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/HTML/?uri=CELEX:21994A0207(02)&qid=1607591341575&from=NL)
10. Corinne Le Quééré et al., Global Carbon Budget 2018, *Earth Syst. Sci. Data*, 10, 2141–2194, 2018, <https://doi.org/10.5194/essd-10-2141-2018>
11. Pantelis Capros, Georgios Zazias, Stavroula Evangelopoulou, Maria Kannavou, Theofano Fotiou, Pelopidas Siskos, Alessia De Vita, Konstantinos Sakellaris, Energy-system modelling of the EU strategy towards climate-neutrality, *Energy Policy* 134 (2019) 110960.
12. Sepulveda, N.A. (2016), Decarbonization of Power Systems: Analyzing Different technological Pathways, Master Degree Thesis, Massachusetts, Institute of Technology (MIT).
13. Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Solazzo, E., Monforti-Ferrario, F., Olivier, J.G.J., Vignati, E., Fossil CO₂ emissions of all world countries - 2020 Report, EUR 30358 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-21515-8, doi:10.2760/143674, JRC121460.
14. J.G.J. Olivier & J.A.H.W. Peters, TRENDS IN GLOBAL CO₂ AND TOTAL GREENHOUSE GAS EMISSIONS -- 2019 Report, PBL, Mei 2020.
15. IPCC (2014) (gebaseerd op wereldwijde emissies 2010), bijdrage van werkgroep III aan het vijfde beoordelingsrapport (AR) van het IPCC.
16. Pielke, R. (2019) "The World Is Not Going To Halve Carbon Emissions By 2030, So Now What?" <https://www.forbes.com/sites/rogerpielke/2019/10/27/the-world-is-not-going-to-reduce-carbon-dioxide-emissions-by-50-by-2030-now-what/#5679ccc33794>
17. IPCC, Special Report 1.5, 2019, beschikbaar op https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf



Bijlagen

Bijlage I. Afkortingen

°C	Celsius	EURATOM	Europese Gemeenschap voor Atoomenergie
Cf.	confer (zie)	Eurostat	Europees Bureau voor de Statistiek
CH ₄	methaan	F-gassen	gefluoreerde gassen
CO ₂	koolstofdioxide	bbp	Bruto Binnenlands Product
DED	Decarbonized Energy Directive (Richtlijn koolstofarme energie)	GEN	Generation
DEFRA	Department for Environment, Food and Rural Affairs (UK)	BKG	Broeikasgas
DSO	Distribution System Operator	GT	Gigaton
ECR Group	European Conservatives and Reformists Group (Fractie van Europese Conservatieven en Hervormers)	GTC	Miljard ton koolstof
Eds.	Editors (uitgevers)	GW	GigaWatt
EGR	Emissions Gap Report	GWh	GigaWattuur
EJ	Exajoule (gelijk aan 10 ¹⁸ joule, eenheid van energie)	GWP	Global Warming Potential (aardopwarmingspotentieel)
et al.	et alia (en anderen)	H ₂	Waterstof
etc.	et cetera (enzovoort)	HFK's	fluorkoolwaterstoffen
ETM	Energietransitiemodel	INDC	(Intended Nationally Determined Contributions) Nationaal vastgestelde klimaatdoelstellingen
EU	Europese Unie	IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Intergouvernementele Werkgroep inzake Klimaatverandering)
EUR	Euro		

JRC	Joint Research Centre	WACC	Gewogen gemiddelde kapitaalkosten
kWh	kiloWattuur		
LCOE	Levelized Cost of Electricity (genivelleerde energiekosten)		
MW	MegaWatt		
MWh	MegaWattuur		
NDCs	Nationally Determined Contributions (Nationaal vastgestelde klimaatdoelstellingen)		
NECP	Nationaal Energie- en Klimaatplan		
NF ₃	stikstoftrifluoride		
O&M-kosten	Operationele en onderhoudskosten		
PFK's	perfluorkoolwaterstoffen		
PJ	PetaJoule (gelijk aan 10 ¹⁵ joule, eenheid van energie)		
SDG's	Duurzame Ontwikkelingsdoelstellingen (VN)		
SF ₆	zwavelhexafluoride		
SPM	Samenvatting voor beleidsmakers (IPCC)		
UNFCCC	Raamverdrag van de Verenigde Naties inzake klimaatverandering		

Bijlage II. Woordenlijst

Aardopwarmingspotentieel (GWP):

Concept dat het mogelijk maakt om de effecten van verschillende gassen op de opwarming van de aarde te vergelijken. Het GWP van een gas verwijst naar de totale bijdrage aan de opwarming van de aarde als gevolg van de emissie van één eenheid van dat gas ten opzichte van één eenheid van het referentiegas, CO₂, waaraan een waarde van 1 wordt toegekend.

Balanceringskosten:

Kosten in verband met het handhaven van een evenwicht tussen het elektriciteitsaanbod en het elektriciteitsverbruik (vraag). De balanceringskosten nemen toe bij een intermitterende (niet kunnen inspelen op de vraag) en onzekere stroomvoorziening.

Belastingsfactor:

Zie capaciteitsfactor

Betere regelgeving:

Een initiatief van de EU met als doel om de kwaliteit van de EU-interventies te verbeteren door EU-beleidsmaatregelen en -wetten te ontwerpen en te evalueren op transparante wijze, gestaafd met bewijsmateriaal en afgetoetst aan de standpunten van burgers en belanghebbenden.

Broeikasgassen (BKG):

Gassen die het 'broeikaseffect' en de opwarming van de aarde veroorzaken, waaronder kooldioxide (CO₂), methaan (CH₄), lachgas (N₂O), zwavelhexafluoride (SF₆), stikstoftrifluoride (NF₃), fluorkoolwaterstoffen (HFK's) en perfluorkoolwaterstoffen (PFK's). Waterdamp (H₂O) is ook een broeikasgas, maar wordt voor beleidsdoeleinden niet als zodanig beschouwd.

Capaciteitsfactor (of belastingsfactor):

De verhouding tussen het werkelijke vermogen van een installatie voor energieopwekking over een bepaalde periode en het maximaal mogelijke vermogen over die periode, d.w.z. het werkelijke vermogen ten opzichte van het maximaal vermogen.

Capaciteitskosten:

Kosten die voortvloeien uit het feit dat de output van installaties voor elektriciteitsopwekking onzeker en intermitterend is (niet kan inspelen op de vraag), en op sommige momenten mogelijk niet in staat is om aan de vraag naar elektriciteit te voldoen, met name tijdens piekmomenten, zonder aanvullende compenserende faciliteiten.

'De generator betaalt'-principe:

Beleidsprincipe waarbij alle kosten (inclusief negatieve externaliteiten) in verband met een technologie voor elektriciteitsproductie (of een specifieke faciliteit voor elektriciteitsproductie) worden geïnternaliseerd in de kostenbasis ervan, zodat de geproduceerde elektriciteit wordt berekend tegen de volledige maatschappelijke kosten.

Energiecentrale:

Voorziening die elektriciteit opwekt voor het openbare elektriciteitsnet.

Energieopwekkingstechnologie:

Technologie die wordt gebruikt om elektriciteit op te wekken, waaronder windturbines, zonnepanelen en kernenergie, door omzetting van primaire energiebronnen in elektriciteit.

Energietransitiemodel (ETM):

Een open-source energiemodel dat kan worden gebruikt om de totale systeemkosten te schatten, d.w.z. alle kosten in verband met de productie en distributie van energie (bv. elektriciteit, warmte, brandstoffen zoals waterstof enzovoort). Het ETM kan worden gebruikt om een grote verscheidenheid aan energiemixen te modelleren, waaronder wind- en zonne-energie en kernenergie. Het ETM wordt verondersteld 'onafhankelijk, exhaustief en op feiten gebaseerd' te zijn en wordt in Nederland gebruikt om energietoekomstscenario's voor de overheid te modelleren. In deze studie wordt het ETM gebruikt om de integratiekosten van hernieuwbare elektriciteit ten opzichte van kernenergie te schatten.

Externaliteiten:

Er zijn negatieve en positieve externaliteiten. Negatieve externaliteiten zijn de niet-gecompenseerde kosten of schade die derden maken als gevolg van een economische activiteit of transactie waaraan zij niet deelnemen. Deze kosten moeten worden onderscheiden van de particuliere kosten die door de partijen of begunstigen van een activiteit worden gedragen. Positieve externaliteiten treden op wanneer derden voordeel halen uit een activiteit (zie ook 'freeriding').

Freeriding:

Wanneer men van iets profiteert zonder er moeite voor te doen of voor te betalen. Het standaardvoorbeeld is dat van de passagier die niet betaalt voor het openbaar vervoer. In de context van de stroomopwekking rijdt een intermitterende stroomopwekkingsinstallatie als het ware gratis mee op de capaciteit (en stroomvoorziening) van andere niet-intermitterende bronnen.

Gesynchroniseerde levensduuranalyse:

De methode die in deze studie is gebruikt om de kosten van verschillende technologieën voor energieopwekking te vergelijken, om een vertekend beeld te vermijden als energieprojecten met een verschillende levensduur of looptijd worden verrekend.

Gewogen gemiddelde kapitaalkosten (WACC):

De gewogen gemiddelde kapitaalkosten, die het gewogen gemiddelde vertegenwoordigen van de verwachte rendementen voor alle investeerders die in een project hebben geïnvesteerd (doorgaans een combinatie van eigen vermogen en schulden). De WACC wordt bepaald door drie componenten: de kosten van het eigen vermogen, de kosten van schulden na belasting (aangezien rentebetalingen de belastbare winst in de meeste rechtsgebieden verlagen), en de kapitaalstructuur (d.w.z. de niveaus van schulden en eigen vermogen in het project).

Hernieuwbare energie:

Energie uit hernieuwbare niet-fossiele bronnen, namelijk windenergie, zonne-energie (thermisch en fotovoltaïsch) en geothermische energie, omgevingsenergie, getijden-, golf- en andere oceaanenergie, waterkracht, biomassa, stortgas, gas van rioolzuiveringsinstallaties en biogas. Hernieuwbare energie omvat geen kernenergie.

Integratiekosten:

De kosten voor het integreren van elektriciteitsopwekkingsinstallaties en de elektriciteit die ze produceren in het elektriciteitssysteem en het net. De integratiekosten omvatten de volgende vier kostencategorieën (i) balanceringskosten; (ii) netkosten; (iii) capaciteitskosten; en (iv) profielkosten.

Intermittentie van hernieuwbare energie:

Een eigenschap van variabele hernieuwbare energie (inclusief wind- en zonne-energie) die ertoe leidt dat elektriciteit slechts gedurende een deel van de tijd (met name wanneer de wind waait of de zon schijnt) in voldoende hoeveelheden beschikbaar is, en op andere momenten niet, ongeacht de vraag. Bijgevolg is intermitterende hernieuwbare energie, in tegenstelling tot conventionele en kernenergie, niet continu beschikbaar voor omzetting in elektriciteit en kan het gebeuren dat er te veel, te weinig of geen elektriciteit aan het net wordt geleverd, wat leidt tot mismatches

tussen de opwekking van elektriciteit en de vraag van energieverbruikers, d.w.z. dat er geen rekening wordt gehouden met de vraag. Om het intermitterende karakter van hernieuwbare energie op te vangen is een back-upstroomvoorziening nodig, of andere oplossingen zoals opslag en conversie/reconversie. Dat is zeker het geval als de penetratiegraad van hernieuwbare energie toeneemt.

Kernenergie (of atoomkracht):

De energie die vrijkomt bij kernsplijting (of fusie) en die wordt gebruikt in kerncentrales om elektriciteit op te wekken. De hoeveelheid energie die vrijkomt bij kernsplijting van een bepaalde massa uranium is meer dan een miljoen keer groter dan de energie die vrijkomt bij de verbranding van een gelijke massa koolstof.

Klimaatneutraliteit:

Een toestand waarin de uitstoot en verwijdering van broeikasgassen (BKG's) een netto nulresultaat oplevert, d.w.z. dat er evenveel BKG's worden uitgestoten als verwijderd, zodat er geen (verder) temperatuurverhogend effect optreedt als gevolg van extra BKG's. Er is een vertraging tussen de toevoeging van BKG's aan de atmosfeer en het resulterende broeikaseffect (temperatuurverhoging).

Koolstof:

CO₂ of kooldioxide.

Koolstoflekkage:

De overdracht van CO₂-uitstotende productie- en andere faciliteiten naar andere landen met minder CO₂-uitstootbeperkingen, een fenomeen dat zich kan voordoen als de kosten die worden opgelegd door het klimaatbeleid een dergelijke overdracht aantrekkelijk maken vanuit financieel of zakelijk oogpunt.

Koolstofneutraliteit:

Een balans tussen de uitstoot van CO₂ uit antropogene bronnen en de (netto) verwijdering of absorptie

van CO₂ uit de atmosfeer (vaak exclusief absorptie door koolstofputten, zoals de bodem, bossen en oceanen).

Marginale kost:

De bijkomende kosten voor de productie van één extra eenheid van een product of dienst (deltakosten ten opzichte van de deltahoeveelheid). Marginale kosten ontstaan wanneer er variabele kosten zijn. De marginale kosten van faciliteiten voor het opwekken van hernieuwbare energie (zoals wind- en zonne-energie) zijn laag.

Mitigatie:

Een maatregel die tot doel heeft de uitstoot van antropogene broeikasgassen in de atmosfeer te verminderen om de opwarming van de aarde te voorkomen.

Nationaal vastgestelde klimaatdoelstellingen (NDC):

De bijdragen aan de klimaatdoelstelling zoals bepaald in het Klimaatakkoord van Parijs, beloofd door de staten die er partij bij zijn. NDC's zijn nationale klimaatactieplannen en het belangrijkste middel waarmee de Parijse doelstelling van niet meer dan 2 of zelfs 1,5°C stijging van de gemiddelde mondiale atmosferische temperatuur tegen 2100 wordt nagestreefd.

No regrets-oplossing:

Een maatregel die de moeite waard is, zelfs als het risico dat de maatregel moest verhelpen, zich niet voordoet. In de context van klimaatverandering zijn no regrets-oplossingen beleidsmaatregelen die voordelen opleveren en geen negatieve effecten en externaliteiten hebben, ongeacht de eventuele positieve effecten die ze kunnen hebben op het probleem van de klimaatverandering. Met andere woorden, beleid dat economische, ecologische en andere voordelen biedt, ongeacht het gunstige effect ervan op het beperken van de opwarming van de aarde of het voorkomen of verhelpen van de klimaatverandering.

Opwekkingscapaciteit:

Dit is het maximale vermogen wanneer een stroomgenerator op volle kracht draait, gemeten in watt, meestal megawatt (MW). Dit concept is relevant voor het vermogen van een generator om pieken op te vangen. Geen enkele stroomgenerator kan evenwel over een lange periode constant op volle snelheid draaien; er is onderhoud nodig, soms ook herstellingen enzovoort. Het gevolg is dat het werkelijke vermogen afwijkt van de opwekkingscapaciteit (zie ook capaciteitsfactor).

Outsourcing van emissies:

De emissies gerelateerd aan geïmporteerde goederen en diensten. Wanneer deze importgerelateerde emissies worden genegeerd, worden de binnenlandse emissies van een land te laag ingeschat. Zo kunnen ontwikkelde landen een lage uitstoot hebben omdat de uitstoot die samenhangt met de goederen die zij importeren en consumeren, plaatsvindt in de ontwikkelingslanden die naar hen exporteren.

Penetratiegraad:

Het percentage van de totale energieopwekkingscapaciteit dat wordt geleverd door een bepaalde technologie voor energieopwekking. Als de penetratiegraad van windenergie bijvoorbeeld 20% is, betekent dit dat de capaciteit voor de opwekking van windenergie 20% uitmaakt van de totale capaciteit voor elektriciteitsopwekking.

Profielkosten:

Indirecte kosten, vaak niet meegenomen in de integratiekosten, die door het elektriciteitssysteem worden gemaakt als gevolg van de specifieke kenmerken van stroomopwekkingsinstallaties. Profielkosten zijn vooral gerelateerd aan de intermitterende elektriciteitsproductie door hernieuwbare energiebronnen.

Ruimtelijke behoefte:

De oppervlakte die nodig is voor een energieopwekkingstechnologie om een bepaalde hoeveelheid elektriciteit te produceren.

Staatssteun:

Alle voordelen die door de nationale overheden op selectieve basis aan ondernemingen worden toegekend, met inbegrip van directe subsidies, belastingvrijstellingen, gunstige regelgeving enzovoort. Bepaalde vormen van staatssteun zijn toegestaan op grond van het recht van de Europese Unie, andere niet.

Stroomkosten:

De gemiddelde kosten voor het opwekken van een bepaalde hoeveelheid elektriciteit gedurende een bepaalde periode met behulp van een specifieke technologie voor elektriciteitsopwekking (of een combinatie daarvan), die volledig kunnen worden belast, inclusief subsidies en quasi-subsidies en de kapitaalkosten (bepaald op basis van over het gewogen gemiddeld kapitaal, zie ook WACC).

Technologische neutraliteit:

Het idee dat wet- en regelgeving geen specifieke technologieën bevordert of discrimineert, maar objectieve prestaties of resultaatgerichte eisen (zoals koolstof- of klimaatneutraliteit) vastlegt, zodat de markt kan beslissen welke technologieën het best aan dergelijke eisen voldoen. Met andere woorden, dezelfde regelgevingsprincipes zijn van toepassing, ongeacht de gebruikte technologie. Dit concept stelt EU-lidstaten in staat om verschillende energietechnologieën op hun grondgebied in te zetten.

Totale systeemkosten:

Indien gebruikt in verband met energie of elektriciteit, het totaal van alle kosten in verband met de productie en distributie van energie (bv. elektriciteit, gas, waterstof enzovoort) of alleen elektriciteit.

Transmissiesysteembeheerder (TSO):

De exploitant die verantwoordelijk is voor het systeem dat de elektrische energie van de opwekkingscentrales via het elektriciteitsnet naar de regionale of lokale netbeheerders transporteert. De TSO is

ook verantwoordelijk voor het waarborgen van de leveringszekerheid met een hoog niveau van betrouwbaarheid en kwaliteit.

Variabele hernieuwbare energie:

Intermitterende hernieuwbare energiebronnen die variabele hoeveelheden elektriciteit produceren die niet aan de vraag beantwoorden en door hun fluctuerend karakter kosten veroorzaken voor het elektriciteitssysteem, zoals wind- en zonne-energie.

Vermogensdichtheid:

De hoeveelheid elektriciteit die door een elektriciteitscentrale wordt geproduceerd in verhouding tot de gebruikte oppervlakte, uitgedrukt in GWh/km².

