



Planbureau voor de Leefomgeving

WAT ZIJN RECHTVAARDIGE EN HAALBARE KLIMAATDOELEN VOOR NEDERLAND?

Detlef van Vuuren, Dick van Dam, Mark Dekker, Lucy Oates, Isabela Tagomori, Roel van der Veen, Chantal Würschinger

Maart 2024

PBL

Colofon

Wat zijn rechtvaardige en haalbare klimaatdoelen voor Nederland?

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving
Den Haag, 2024
PBL-publicatienummer: 5439

Contact

detlef.vanvuuren@pbl.nl

Auteurs

Detlef van Vuuren, Dick van Dam, Mark Dekker, Lucy Oates, Isabela Tagomori, Roel van der Veen, Chantal Würschinger

Met dank aan

Het PBL is dank verschuldigd aan de stuurgroep (Martine Uyterlinde, Jaco Stremmer en Marko Hekkert, allen PBL) en Michel den Elzen, Pieter Hammingh, Timo Maas, Katie Minderhout, Martijn van Sebille (allen PBL), Yann Robiou Dupont (UU), Andries Hof (RIVM), Elsenoor Wijlhuizen (UU), Heleen de Coninck (TUE) en Albert Faber (WKR) die conceptversies van dit rapport van commentaar hebben voorzien.

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Eindredactie en productie

Uitgeverij PBL

Toegankelijkheid

Het PBL hecht veel waarde aan de toegankelijkheid van zijn producten. Mocht u problemen ervaren bij het lezen ervan, dan kunt u contact opnemen via info@pbl.nl. Vermeld daarbij s.v.p. de naam van de publicatie en het probleem waar u tegenaan loopt.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Van Vuuren et al. (2024), Wat zijn rechtvaardige en haalbare klimaatdoelen voor Nederland?, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Het PBL doet onderzoek naar de leefomgeving en het leefomgevingsbeleid in Nederland en daarbuiten. Denk aan milieu, natuur en ruimtelijke inrichting. Met onze verkenningen, analyses en evaluaties leveren we strategische kennis voor beleid, politiek, maatschappelijke organisaties en het bredere publiek. We geven daarbij niet alleen feiten en inzichten over het hier en nu, maar kijken ook vooruit naar de nabije en verdere toekomst. We doen ons onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk onderbouwd.

Inhoud

Bevindingen	4
1 Inleiding	7
2 Emissiereducties op mondiale schaal	10
2.1 Het mondiale koolstofbudget	10
2.2 Mondiale emissiepaden	13
2.3 Vergelijking met huidig beleid	16
3 Een rechtvaardige verdeling van emissiedoelen	17
3.1 Introductie	17
3.2 Een overzicht van principes gerelateerd aan rechtvaardigheid	18
3.3 Berekeningen rond rechtvaardige verdeling van mitigatieactie	20
3.3 Bredere overwegingen	24
4 Reductiedoelen voor Nederland in het licht van rechtvaardigheid	26
4.1 Introductie	26
4.2 Reductiedoelen voor Nederland	26
4.3 Vergelijking met andere landen	33
4.4 Onzekerheden en vergelijking met andere publicaties	35
5 Discussie: de haalbaarheid van diepe emissiereducties	38
5.1 Methoden om haalbaarheid te beoordelen	38
5.2 Overwegingen bij geofysische en technische haalbaarheid	39
5.3 Overwegingen bij economische, institutionele en maatschappelijke haalbaarheid	45
5.4 Samenhang haalbaarheidsdimensies en verdeling van emissiereductie tussen sectoren	47
6 Balans tussen mondiale rechtvaardigheid en nationale haalbaarheid	49
Referenties	52

Bevindingen

Nederland heeft zich met het ondertekenen van het Klimaatakkoord van Parijs in 2015 gecommitteerd aan de doelstelling om de mondiale opwarming te beperken tot ruim onder de 2 °C en inspanningen te verrichten om onder de 1,5 °C te blijven. Naar aanleiding van dit Akkoord hebben zowel de Europese Unie als ook Nederland de ambitie uitgesproken om in 2050 klimaatneutraal te zijn, en als tussendoel om in 2030 55% broeikasgassen te reduceren ten opzichte van 1990. De Europese Unie en Nederland hebben tevens aangegeven te streven naar netto negatieve emissies na 2050.

Om een tweetal redenen is de vraag relevant wat emissiereductiedoelen voor Nederland zouden kunnen zijn om aan het Klimaatakkoord van Parijs te voldoen, met name voor 2040. Allereerst heeft de Europese Commissie begin 2024 een voorstel gedaan voor een nieuw tussendoel, namelijk om in 2040 de uitstoot met 90% te reduceren. Daarnaast is recent het huidige klimaatbeleid van alle landen ter wereld geëvalueerd, waaruit blijkt dat de verwachte effecten nog onvoldoende zijn. Bij het vaststellen van nationale reductiedoelen spelen de begrippen mondiale rechtvaardigheid en nationale haalbaarheid een centrale rol. Oftewel: wat is een eerlijke verdeling van de mondiale reductieopgave over de verschillende landen?

Het vaststellen van nationale emissiereductiedoelen consistent met Klimaatakkoord van Parijs is niet alleen een technische vraag; ook politieke en normatieve keuzes spelen een belangrijke rol. Die vertaling van het Parijsakkoord naar emissiereductiedoelen voor individuele landen kan worden gedaan op basis van 1) het vaststellen van hoeveel broeikasgassen mondiaal nog kunnen worden uitgestoten om de temperatuurdoelen van het Parijsakkoord en 2) en het verdelen van deze emissieruimte over de verschillende landen. Deze verdelingsvraag impliceert politieke en normatieve keuzes. Keuzes die te maken hebben met de invulling van het mondiale klimaatdoel, wat beschouwd wordt als een mondiaal rechtvaardige verdeling en wat nationaal als haalbaar wordt geacht.

Het is niet eenvoudig en eenduidig vast te stellen wat rechtvaardige reductiedoelen zijn. Er zijn verschillende rechtvaardigheidsprincipes die een rol spelen bij het beoordelen van een rechtvaardige verdeling van emissiereductiedoelen en er is dan ook een brede range van emissiereductiedoelen die die rechtvaardig kunnen zijn en consistent met de afspraken in het Parijsakkoord. Wat precies een rechtvaardige reductieverdeling is, is dus niet eenduidig vast te stellen, maar afhankelijk van normatieve keuzes. Over het algemeen worden principes als verantwoordelijkheid, gelijkheid, het vermogen om bij te dragen aan reducties en het recht op duurzame ontwikkeling gezien als consistent met het internationaal milieurecht (zie hoofdstuk 3 voor een verdere invulling van deze begrippen). Rekenregels die van deze principes worden afgeleid kunnen helpen begrip te krijgen voor mogelijke rechtvaardige reductiedoelen die consistent zijn met het Parijsakkoord. In dit rapport is gekeken naar een zevental rekenregels en de bijbehorende onzekerheid.

Voor een wereldwijde temperatuurstijging van 1,5 °C met beperkte overschrijding loopt de range van reductiedoelen voor Nederland, consistent met beginselen van internationaal milieurecht, van ongeveer 90% tot ruim over de 100% in 2040 ten opzichte van de emissies in 1990.

Sommige van deze rekenregels leiden niet zonder meer tot uitkomsten die consistent zijn met de beginselen van internationaal milieurecht en houden bijvoorbeeld expliciet huidige emissieongelijkheid in stand. De brede range van mogelijke reductiedoelstellingen voor Nederland die consistent kunnen zijn met het Parijsakkoord en met de beginselen van het internationaal milieurecht begint bij ongeveer 90% broeikasgasreductie voor de 1,5°C-doelstelling (met hooguit een beperkte overschrijding) in 2040 ten opzichte van 1990 maar loopt door tot ver voorbij de 100%. Voor ruim onder de 2°C zijn de reducties in 2040 zo'n 20 procentpunten lager. Uiteindelijk moeten overheden bepalen welke verdeling zij rechtvaardig achten. Een keuze voor minder scherpe doelen voor een land leidt bij hetzelfde temperatuurdoel noodzakelijkerwijs tot scherpere doelen voor een ander land. Overigens heeft ook de interpretatie van de mondiale temperatuurdoelstelling een rechtvaardigheidsdimensie, door de relatie met reductieopgaven en vanwege de ongelijk verdeelde effecten van klimaatverandering.

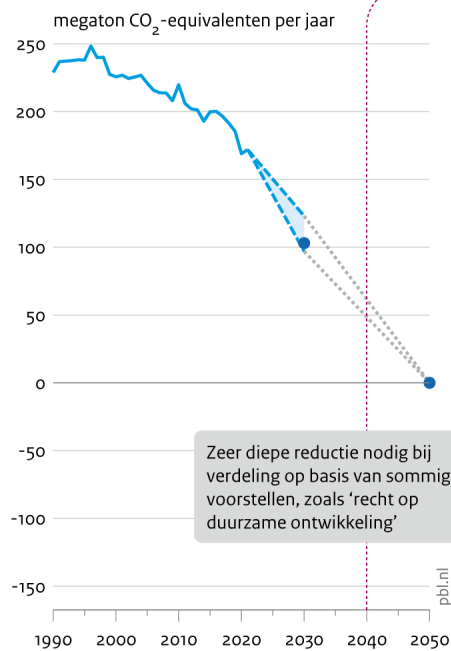
Op basis van de huidige inschattingen van het potentieel is een reductie tot 90% in 2040 waarschijnlijk geofysisch en technisch haalbaar. Bij het bepalen van Nederlandse emissiereductiedoelstellingen is ook haalbaarheid belangrijk. Haalbaarheid wordt bepaald door inschattingen van wat geofysisch, technisch, economisch, institutioneel en maatschappelijk mogelijk is. Op basis van huidige inschattingen van het geofysisch en technisch potentieel zijn reducties in de orde van 80-90% in 2040 waarschijnlijk haalbaar, daarboven komen de grenzen van haalbaarheid in zicht. Er is nog weinig onderzoek gedaan naar de economische, institutionele en maatschappelijke haalbaarheid van ambitieuze nationale reductiedoelen in 2040. Als de samenleving haar levensstijl sterk aanpast, is wellicht een reductie mogelijk van rond de 90% of meer; is echter het maatschappelijk draagvlak klein, bijvoorbeeld door een ongelijke verdeling van de kosten en baten, dan kan het reductiepotentieel ook veel kleiner uitpakken (zie ook figuur B1). Net als bij rechtvaardigheid zijn keuzes daarin normatief, waardoor de maximale haalbaarheid niet exact is vast te stellen. Emissiereductiemaatregelen hebben immers impact op de leefomgeving, economie en burgers, waarvan de belangen tegen elkaar moeten worden afgewogen. Dit alles betekent dat diepe reducties op basis van overwegingen rond rechtvaardigheid vaak aan de rand – of (ver) daarover – liggen van wat haalbaar is. Daarom is het nu noodzakelijk om een nadere analyse van de verschillende dimensies van haalbaarheid te maken bij het bepalen van emissiereductiedoelstellingen, daarbij uitgaande van een brede range aan reductieopties en visies voor een toekomstige inrichting van Nederland.

Nederland kan meer doen dan alleen binnenlandse reducties door ook te investeren in reducties in het buitenland. Op basis van een groot aantal rechtvaardigheidsprincipes zou Nederland meer moeten doen dan waarschijnlijk haalbaar wordt geacht binnen de Nederlandse grenzen. Het is echter ook mogelijk bij te dragen aan reducties elders, zoals via artikel 6 van het Akkoord van Parijs. Via de mechanismes in dat artikel is het ook mogelijk formeel erkenning te krijgen voor reducties die buiten Nederland worden gefinancierd.

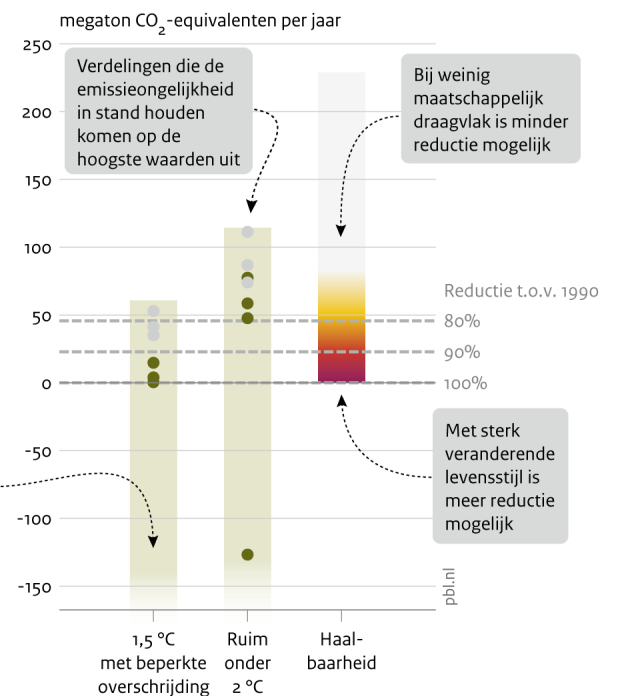
Figuur B1

Reductiedoelen voor Nederland op basis van rechtvaardigheid en haalbaarheid

Realisatie, raming en trend



Rechtvaardigheid en haalbaarheid, 2040



- | | | |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> — Realisatie --- Raming vastgesteld, voorgenomen en geagendeerd beleid Lineaire trend naar nulemissie in 2050 ● Doelen Klimaatwet | <p>Allocatieregels</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Op basis van rechtvaardigheidsprincipes ● (Mogelijk) niet rechtvaardig ■ Spreiding | <p>Haalbaarheid</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Haalbaar ■ Naar verwachting haalbaar ■ Mogelijk haalbaar ■ (Zeer) waarschijnlijk niet haalbaar |
|--|---|---|

Bron: Emissieregistratie, KEV-raming 2023, PBL

Reducties van meer dan 100% in 2040 zijn niet apart beoordeeld maar zeer waarschijnlijk niet haalbaar

1 Inleiding

Nederland heeft zich door het ondertekenen van het Klimaatakkoord van Parijs gecommitteerd aan de doelstelling om de mondiale opwarming te beperken tot ruim onder de 2 °C en te streven naar maximaal 1,5 °C. Alleen door de stijging van de mondiale temperatuur te beperken, kunnen de gevolgen en risico's van klimaatverandering in de hand worden gehouden, zo toonde het meest recente IPCC-rapport opnieuw aan (IPCC, 2023). Van de landen die het Akkoord hebben ondertekend wordt verwacht dat zij beleid formuleren en uitvoeren dat bijdraagt aan het mondiale doel. In de Europese Unie is daarop afgesproken om de broeikasgasemissies te reduceren naar netto nul in 2050, en in 2030 een 55% emissiereductie te behalen ten opzichte van het niveau in 1990. Na 2050 streeft Europa naar netto negatieve emissies.¹ In lijn met dit Europese beleid heeft Nederland vergelijkbare doelen geformuleerd, te weten: 55% reductie in 2030 (en te streven naar 60%) en een 100% reductie in 2050.

Om te toetsen of de gezamenlijke bijdrage van landen voldoende is, is in het Parijsakkoord de zogenaamde Global Stocktake bedacht. Deze stocktake is een proces om te evalueren of het effect van plannen en beleid van landen samen in lijn is met de mondiale doelstelling. De eerste Global Stocktake, afgerond in 2023, liet zien dat de huidige inspanningen onvoldoende zijn. Aan alle landen is dan ook gevraagd te bezien of de huidige bijdrage kan worden aangescherpt. Er zullen in de komende jaren keuzes gemaakt moeten worden rond de nationale doelstellingen in de periode richting het bereiken van het netto nul doel.

Bij discussies rond het vaststellen van nationale reductiedoelen zijn beginselen van mondiale rechtvaardigheid en nationale haalbaarheid cruciaal. Rechtvaardigheid is onder meer belangrijk vanwege de verschillen in de bijdrage die landen hebben gehad bij het veroorzaken van klimaatverandering of nog steeds hebben. Is het bijvoorbeeld rechtvaardig een grote bijdrage te verwachten van landen die in het verleden een kleine rol gespeeld hebben in het veroorzaken van klimaatverandering? Of landen die weinig financiële mogelijkheden hebben bij het reduceren van emissies. Bovendien zijn er grote verschillen in kwetsbaarheid van landen voor klimaatverandering. Rechtvaardigheid is ook een steeds grotere rol gaan spelen in internationale onderhandelingen. Maar natuurlijk moeten doelen ook haalbaar zijn. Het Parijsakkoord vraagt hierbij naar de hoogste mogelijke ambitie.

In 2023 adviseerde de *European Scientific Advisory Board on Climate Change* over de mogelijke emissiereductiedoelen voor Europa in 2040 (*European Scientific Advisory Board on Climate Change 2023*). Ook in dat advies werd ingegaan op rechtvaardigheid en haalbaarheid van doelstellingen. De raad adviseerde een 90-95% reductie in 2040 als maximaal haalbaar reductiedoel op Europese bodem en minimale rechtvaardige reductie. De Europese Commissie heeft dit doel vertaald in een voorstel om in 2040 90% uitstoot te reduceren (*European Commission, 2024*). Het is aan de volgende Commissie (na de Europese verkiezingen) om de 2040-doelstelling in een wetsvoorstel vast te leggen. De Nederlandse Wetenschappelijke Klimaatraad (WKR, 2023) en de Adviesraad Internationale Vraagstukken (AIV) (AIV, 2023) hebben in 2023 aangegeven de aanbevelingen van de *European*

¹ Het woord netto verwijst ernaar dat wordt gekeken naar de som van de emissiebronnen en verwijdering van broeikasgassen uit de atmosfeer (bijvoorbeeld door herbebossing).

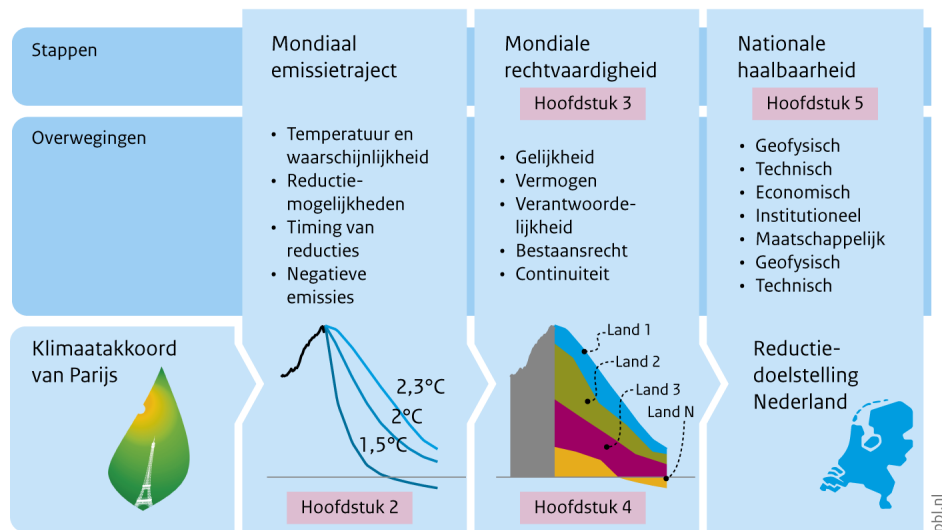
Scientific Advisory Board ook voor Nederland te onderschrijven.

De vraag is dan ook wat de Nederlandse reducties zouden moeten zijn in de komende jaren, en specifiek 2040. Op verzoek van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat bespreken we in deze notitie de vraag wat overwegingen rond mondiale rechtvaardigheid en nationale haalbaarheid kunnen betekenen voor de Nederlandse emissiedoelen. Hierbij gaan we zowel in op het Parijsakkoord zelf als ook op normatieve keuzes en interpretaties die nodig zijn om de klimaatdoelen voor Nederland concreet te maken. We kijken expliciet naar de verdeling van het Europese doel tussen Europese landen. Het doel van de notitie is niet om met een concreet voorstel te komen, maar te laten zien hoe diverse keuzes en inschattingen een rol spelen bij het geven van een definitief antwoord. Beleidsmakers kunnen dit gebruiken bij de keuzes rond de Nederlandse reductiedoelen.

De opbouw van de notitie is als volgt: allereerst gaan we in op de vraag wat de mondiale opgave is (Hoofdstuk 2). Daarna gaan we in op de verschillende aspecten van rechtvaardigheid (Hoofdstuk 3). Op basis hiervan illustreren we de mogelijke consequenties voor kwantitatieve doelen voor Nederland (Hoofdstuk 4). Ten slotte bespreken we hoe ook haalbaarheid een rol speelt bij Nederlandse reductiedoelen (Hoofdstuk 5).

Figuur 1.1

Overwegingen rond de Nederlandse reductiedoelstelling in het kader van het Parijsakkoord



Bron: PBL

Kader 1.1: De Carbon Budget Explorer

De 'Carbon Budget Explorer' (www.carbonbudgetexplorer.eu) is ontwikkeld door het PBL in samenwerking met het Netherlands eScience Center. Het is een open-source webtool die alle landen ter wereld kunnen gebruiken om nationale emissiereductiedoelen af te leiden als functie van keuzes rond mondiale klimaatdoelstellingen en allocatieregels gerelateerd aan het begrip rechtvaardigheid. De tool kan de uitkomsten ook vergelijken met emissieprojecties op basis van huidig beleid en met de beloften die van landen hebben gedaan in het Parijsakkoord (zogenaamde Nationally Determined Contributions, NDC's en netto-nul-emissiebeloften). Dit maakt het dus ook mogelijk om het huidige beleid te evalueren ten opzichte van de mogelijke invulling die landen geven aan de doelen van het Parijsakkoord. Beleidsmakers, onderzoekers en andere geïnteresseerden kunnen zelf op een interactieve manier met de tool kijken naar de effecten van diverse beleidskeuzes. De tool maakt het mogelijk makkelijk toegang te hebben tot beleidsrelevante data. De berekeningen in hoofdstuk 2 en hoofdstuk 4 zijn gebaseerd op deze tool.

2 Emissiereducties op mondiale schaal

2.1 Het mondiale koolstofbudget

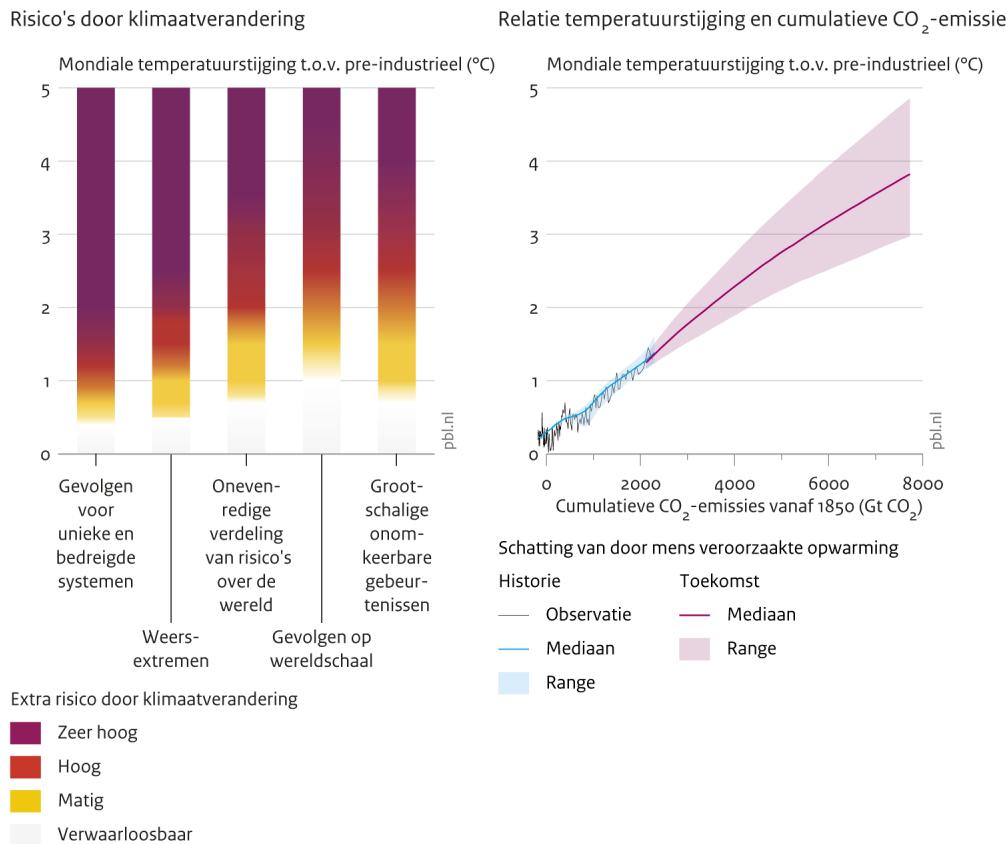
De gemiddelde temperatuur op aarde is sinds de pre-industriële periode fors gestegen als gevolg van broeikasgasemissies. In 2023 was de temperatuur al zo'n 1,45 °C hoger dan het pre-industriële niveau (WMO, 2024) (het langjarige gemiddelde klimaat ligt hier nog wat onder). Wetenschappelijke studies laten zien dat klimaatverandering grote gevolgen kan hebben, variërend van het verlies van soorten tot een grootschalige verstoring van het klimaatsysteem (IPCC, 2023). In IPCC-rapporten worden de risico's van klimaatverandering samengevat als functie van de stijging van de mondiale temperatuur (figuur 2.1).

Bij de huidige stijging zijn de gevolgen al waarneembaar. Zo leidt klimaatverandering de laatste jaren tot gevolgen voor de natuur, stijging van de zeespiegel en verandering in weersextremen (IPCC, 2023). Bij een verdere stijging van de temperatuur nemen de risico's toe (figuur 2.1, links). Als bijvoorbeeld de temperatuur met 4 °C toeneemt, zal de zeespiegel aan het eind van deze eeuw mogelijk met 1,5 meter kunnen stijgen – en in 2300 kan die stijging meer dan 15 meter zijn (IPCC, 2023). De verwachting is ook dat de landbouw het op verschillende plekken op aarde zeer moeilijk zal krijgen, bijvoorbeeld door langere periodes van extreme droogte. Ook zal er wereldwijd sprake zijn van een sterke toename van extreem weer. Er is bovendien het risico van zichzelf versterkende processen. Een voorbeeld hiervan is dat de opwarming van de aarde kan leiden tot het ontdooien van de permafrost. Daarbij kunnen koolstofdioxide (CO₂) en methaan (CH₄) vrijkomen, wat weer bijdraagt aan verdere opwarming. Het KNMI heeft aan de hand van een set scenario's de risico's van klimaatverandering verkend voor Nederland en trekt vergelijkbare conclusies als die in het IPCC-rapport (KNMI 2023). In het recente IPCC-rapport benadrukken de onderzoekers dat de risico's alleen kunnen worden beperkt door verregaande reducties van broeikasgasemissies (IPCC, 2023).

Klimaatverandering wordt veroorzaakt door verschillende broeikasgassen (zie kader 2.1). Op de lange termijn hebben de (cumulatieve) emissies van CO₂ de grootste invloed, door het totale volume en de relatief lange levensduur. Er is een duidelijke relatie tussen cumulatieve CO₂-emissies en de (verwachte) temperatuursverandering, zowel in het verleden als in de toekomst (IPCC, 2023; Meinshausen et al. 2009) (zie ook figuur 2.1, rechts). Het roodgekleurde vlak in figuur 2.1 (rechts) geeft de uitkomst van een groot aantal verschillende klimaatmodellen weer en vormt daarmee een indicatie van de onzekerheid. Dit betekent dat de vraag hoeveel emissies nog uitgestoten mogen worden niet alleen afhangt van het temperatuurdoel, maar ook van de zekerheid waar we dit doel mee willen halen: gaan we uit van de meest gevoelige schattingen van het klimaatsysteem (de bovenkant van het vlak) of nemen we meer risico en kijken we naar de minst gevoelige schattingen (de onderkant van het vlak)?

Figuur 2.1

Relatie tussen klimaatrisico en cumulatieve CO₂-emissies



Bron: IPCC; bewerking PBL

Linker grafiek: effecten van klimaatverandering onder verschillende stijgingen van de mondiale temperatuur.

Rechter grafiek: de relatie tussen mondiale temperatuurstijging en cumulatieve CO₂-emissies.

Op basis van figuur 2.1 is het mogelijk om af te leiden hoeveel CO₂ nog mondiaal mag worden uitgestoten voordat er een bepaalde temperatuurdoelstelling wordt overschreden. Deze hoeveelheid wordt ook wel het 'koolstofbudget' genoemd. Een punt op de mediaanlijn correspondeert met een koolstofbudget (x-as) waarbij de kans ongeveer 50% is om beneden de temperatuurwaarde te blijven (y-as). Punten boven of onder deze lijn hebben dus een grotere of kleinere kans om beneden het temperatuurniveau te blijven. Dat betekent dat het koolstofbudget niet alleen afhankelijk is van het temperatuurdoel dat wordt gesteld, maar ook van het risico dat landen bereid zijn te nemen het doel al dan niet te halen.

In het Parijsakkoord is afgesproken de stijging van de mondiale temperatuur te beperken tot 'ruim onder de 2 °C en inspanning te verrichten om de stijging onder de 1,5 °C te houden'. Deze doelen hebben dus consequenties voor de hoeveelheid CO₂ die nog kan worden uitgestoten, en vragen om nadere keuzes en duidelijkheid.

- Ten eerste is er het doel zelf, waarbij niet één, maar twee temperatuurniveaus worden genoemd voor de maximaal toegestane mondiale temperatuurstijging. Ook wordt er bijvoorbeeld veel discussie gevoerd over of een tijdelijke overschrijding van de gerelateerde CO₂-uitstoot geoorloofd is (zie ook kader 2.2). Wel hebben veel partijen in de afgelopen jaren aangegeven een 1,5 °C-doel na te streven, waaronder de EU en Nederland. Ook bij de

klimaatconferentie van 2021 in Glasgow is gebleken dat partijen vastbesloten zijn om de stijging van de mondiale temperatuur tot 1,5 °C te beperken.

- Ten tweede is er de vraag met welke zekerheid er aan deze mondiale temperatuurdoelen moet worden voldaan. Dit met oog op de onzekerheid in de relatie tussen CO₂-uitstoot en opwarming (zie figuur 2.1, rechts). Momenteel worden zowel de 50%- als 67%-kans vaak gebruikt bij het bepalen van de noodzakelijke reducties (bijvoorbeeld door IPCC).
- Ten derde: zelfs als het temperatuurdoel is vastgesteld en er is afgesproken met welke zekerheid dat doel moet worden gehaald, is het nog lastig om de hoeveelheid toegestane CO₂-emissies te bepalen. Niet-CO₂-broeikasgassen spelen namelijk ook een rol – met name methaan (CH₄), lachgas (N₂O) en aerosolen. Impliciet zijn in de berekening van de bandbreedte emissiepaden van niet-CO₂-gassen aangenomen (figuur 2.1). Maar over die paden is de nodige onzekerheid, en dus ook over de toegestane CO₂-emissies (zie kader 2.1).

Schattingen van het koolstofbudget zijn in de afgelopen jaren regelmatig aangepast. Desondanks is duidelijk dat het overgebleven budget voor het halen van de Parijsdoelen zeer klein is ten opzichte van de huidige emissies (een uitstoot van net boven de 40 Gt CO₂ per jaar (Friedlingstein et al., 2023)).

Tabel 2.1

Koolstofbudgetten vanaf januari 2020, in gigaton, gebaseerd op IPCC AR6-rapporten

Temperatuurdoel	Koolstofbudget 67-33% (50%)	
	IPCC AR6 WGI (Gt CO ₂)	Forster et al. (2023), consistent met IPCC AR6 WGIII (Gt CO ₂)
1,5 °C	400-650 (500)	300-500 (400)
1,7 °C	700-1050 (850)	600-950 (750)
2,0 °C	1150-1700 (1350)	1100-1650 (1300)

NB: Budgetten zijn genoteerd bij kansen op het behalen van het temperatuurdoel tussen 33-67%, en tussen haakjes de mediaanwaarde (50% kans). Getallen zijn afgerond op 50 Gt CO₂. Sinds 2020 is er reeds zo'n 150 Gt CO₂ uitgestoten.

Voor de budgetten in dit rapport hebben we ons gebaseerd op de laatste cijfers uit het IPCC AR6 WGI-rapport (IPCC, 2021) en de recentere bijstelling in het WGIII-rapport (IPCC, 2022; Forster et al., 2023)). De WGIII-rapportbijstelling geeft lagere waardes door hoger ingeschatte emissies van niet-CO₂ (op basis van de scenariodatabase die is gebruikt voor het IPCC WGIII-rapport) (zie ook Foster et al., 2023). Het koolstofbudget om met een kans van 67% de temperatuurstijging te beperken tot 2°C ten opzichte van het pre-industriële niveau ligt daarmee in de orde van grootte van 1100 Gt CO₂ van 2020 (dit budget leidt tot met 50% kans tot een temperatuurstijging tussen de 1,7 en 1,8 °C, en zou dus consistent kunnen zijn met "ruim onder de 2°C). Het koolstofbudget voor het 1,5°C-doel (50% kans) ligt rond 400 Gt CO₂. Budgetten vanaf januari 2024 kunnen hieruit worden herleid door de emissies tussen 2020 en 2023 ervan af te trekken (ruim 150 Gt CO₂). Dat betekent dus dat, wanneer de emissies constant zouden blijven, het koolstofbudget voor 1,5°C al vóór 2030 wordt overschreden; en dat het budget waarmee het 2 °C-doel kan worden gehaald in zo'n 20 jaar is opgebruikt.

Kader 2.1: Broeikasgasemissies

Naast CO₂ dragen ook emissies van andere gassen bij aan de klimaatverandering, waaronder vooral methaan (CH₄), lachgas (N₂O), gehalogeneerde koolwaterstoffen en aerosolen (onder meer rookdeeltjes). Het is niet makkelijk om de bijdrage van al deze stoffen direct te vergelijken, vanwege verschillende atmosferische eigenschappen en levensduur. Desondanks wordt dit vaak toch gedaan in zogenaamde CO₂-equivalente emissies, waarbij echter een keuze moet worden gemaakt over welke periode de evaluatie plaatsvindt. Op basis van de meest gebruikelijke keuze voor een periode van 100 jaar is de bijdrage van CO₂ nu zo'n 70% van de totale emissies. CH₄ vormt qua bijdrage het tweede gas, maar heeft dus een atmosferische levensduur van zo'n 12 jaar. Dit betekent dat voor CH₄, en dus ook voor de som van alle broeikasgassen, een budgetbenadering zoals voor CO₂ weinig zinvol is, omdat binnen enkele decennia het grootste deel van de methaan weer uit de atmosfeer verwijderd is. In plaats daarvan worden emissiereducties dus meestal per jaar bepaald. Terwijl op korte termijn het terugdringen van een deel van de broeikasgasemissies, anders dan CO₂, vaak relatief goedkoop is, is het op lange termijn nog niet mogelijk om alle uitstoot van bijvoorbeeld CH₄ en N₂O te reduceren met alleen technische maatregelen. Veel van deze uitstoot is namelijk onlosmakelijk verbonden met landbouwactiviteiten, en diepere reducties zou dus een verandering in de landbouwproductie zelf (met name de omvang van de veestapel) vereisen.

2.2 Mondiale emissiepaden

Het koolstofbudget gaat over cumulatieve emissies: de hoeveelheid CO₂ die in totaal kan worden uitgestoten tot aan het netto-nuljaar. Voor emissiereductiedoelen is het echter relevant om te weten wat de wereld uit kan stoten in specifieke jaren – bijvoorbeeld 2030 en 2040. Er is een groot aantal paden denkbaar die allemaal consistent zijn met een specifiek koolstofbudget uit tabel 2.1. De vorm van het emissiepad kan namelijk ook afhangen van onder meer de mate waarin emissies kunnen worden gereduceerd (bepaald door bijvoorbeeld de *timing* van beleid) en verwachtingen rond technologische ontwikkeling. In het verleden is de uitstoot van CO₂ in lijn met de omvang van de mondiale economie gestegen. Door gebruik te maken van verschillende scenario's die voldoen aan de doelstellingen in het Parijsakkoord, probeert de wetenschap inzicht te krijgen in hoe die mondiale emissiepaden eruitzien.

Zoals genoemd leveren de klimaatdoelen in het Parijsakkoord in de wetenschappelijke literatuur discussie op vanwege de wat open formulering ('stijging van de mondiale temperatuur beperken tot ruim onder de 2 °C en inspanning verrichten om de stijging binnen 1,5 °C te houden'). Zoals genoemd in paragraaf 2.1 zijn er al enkele belangrijke overwegingen over de interpretatie hiervan te noemen wanneer het gaat over het koolstofbudget, namelijk het temperatuurdoel, de kans op het behalen ervan en aannames betreffende niet-CO₂ emissies.

Kader 2.2: Mondiale emissiepaden en Parijsdoelen

In de literatuur bestaat een grote verscheidenheid aan scenario's, wat recht doet aan de onzekerheden en vele keuzes die kunnen worden gemaakt aangaande bijvoorbeeld niet-CO₂-reducties en koolstofafvang. Een grote vraag is wat consistent is met de Parijsdoelen. Het gaat hierbij zowel over de temperatuurdoelen zelf als ook over de vraag hoe met een tijdelijke overschrijding om te gaan.

Tijdelijke overschrijding

De formulering van het Parijsakkoord zegt niets expliciet over het moment waarop de doelstellingen moeten worden bereikt. Aangezien het mogelijk is om via zogenaamde negatieve emissies de broeikasgasconcentratie in de atmosfeer, en dus de mondiale temperatuur, te verlagen (zie ook hoofdstuk 2), wordt er in de wetenschappelijke literatuur een onderscheid gemaakt tussen de piektemperatuur (hoogste waarde op enig moment in de tijd) en de temperatuur op langere termijn (zoals de verwachte temperatuur in 2100). De vraag dringt zich dan ook op of het toegestaan is de temperatuurdoelen te bereiken na een tijdelijke overschrijding. De meest gebruikelijke interpretatie is om ervan uit te gaan dat een dergelijke overschrijding niet past bij een doel van 'ruim onder de 2 °C'. De wat meer open formulering voor 1,5 °C zou zo'n overschrijding mogelijk wel toestaan – mede omdat het onmogelijk lijkt om zonder beperkte overschrijding aan dit doel te voldoen. Natuurlijk leidt een tijdelijke overschrijding ook tot extra klimaatrisico's, zowel tijdelijk als mogelijk ook op lange termijn bij onomkeerbare processen en het bereiken van zogenaamde *tipping points*.

Invulling van 'ruim onder de 2 °C' en '1,5°C'

Ondanks dat de verdere invulling van het klimaatdoel aan beleidsmakers is, moet het IPCC in zijn assessments wel iets zeggen over paden die mogelijk een invulling van het Parijsakkoord zijn. Hierbij speelt de verwachte temperatuuruitkomst – als ook de kans waarmee dit temperatuurdoel wordt gehaald. Uitgangspunten zijn onder meer de informatie die in de zogenoemde *structural dialogue* in het proces richting het Parijsakkoord door wetenschappers is gepresenteerd (met name het zogenoemde RCP2.6-scenario en later de SSP1-2.6- en SSP1-1.9-scenario's). In het AR6-rapport heeft het IPCC drie categorieën van scenario's gedefinieerd die overeenkomstig het Parijsakkoord kunnen zijn:

C1: Scenario's die een 50%-kans hebben onder 1,5 °C te blijven met geen of een beperkte overschrijding (beperkte overschrijding betreft hier een overschrijding van 0,1 °C).

C2: Scenario's die een 50%-kans hebben onder 1,5 °C te blijven, na een tijdelijke overschrijding.

C3: Scenario's die met 66%-kans onder de 2 °C blijven (en dus met een 50% waarschijnlijkheid rond de 1,7-1,8 °C uitkomen).

In principe kunnen al deze scenario's gezien worden als mogelijke interpretaties van het Parijsakkoord. In de literatuur is hier debat over, maar verdergaande interpretaties zoals die van Schleusner et al. (2022) moeten vooral gezien worden als beleidskeuzes. In dit rapport presenteren we resultaten conform de invulling van het IPCC, dat wil zeggen voor 1,5 °C presenteren we scenario's als '1,5 °C met beperkte overschrijding' conform de definitie van C1 en voor ruim onder de 2 °C volgen we de invulling van C3.

Echter, in de stap van koolstofbudget naar mondiaal emissiepad komen daar nog enkele overwegingen bij. Allereerst is de timing van mitigatie(beleid) van belang: als op mondiaal niveau pas in 2030 sterke emissiereductie in gang gezet wordt, heeft het emissiepad bij hetzelfde

temperatuurdoel een heel andere vorm (eerst minder steil, dan juist veel steiler naar beneden) dan het pad bij directe implementatie. Voor de mondiale emissies in 2030 en 2040 maakt deze afweging veel uit.

Een tweede overweging in het bepalen van mondiale emissiepaden is de mogelijkheid tot afvang en opslag van koolstof en dus zogenoemde negatieve emissies. Aangezien sommige van deze technologieën nog sterk in ontwikkeling zijn, is dit met name relevant voor mondiale emissies in de tweede helft van deze eeuw. Echter, dit hangt samen met de mate waarin het temperatuurdoel tijdelijk kan en mag worden overschreden: immers, deze technologieën bieden de mogelijkheid om na overschrijding van een temperatuurdoel, de temperatuur ook weer naar beneden te brengen (zie kader 2.2 over hoe het IPCC hiermee omgaat).

De technologieën die kunnen leiden tot negatieve emissies bestaan onder meer uit herbebossing, een combinatie van bio-energie en afvang en opslag van CO₂ via zogenoemde *direct-air-capture* (het afvangen van CO₂ uit de lucht) plus opslag, versnelde verwerking (het vastleggen van CO₂ door extra verwerking van mineralen) en het verhogen van de CO₂-vastlegging in landbouwgronden. Wanneer de negatieve emissies groter zijn dan de eventuele overgebleven emissies van fossiele brandstoffen, is er sprake van 'netto negatieve emissies'. Nagenoeg alle scenario's in de literatuur waarbij het mogelijk is de Parijsdoelen te halen, veronderstellen een zekere hoeveelheid aan negatieve emissies in de toekomst. Voor het 1,5 °C-doel is het zo goed als onmogelijk aan het doel te voldoen zonder negatieve emissies (IPCC, 2022). Het doel van netto nul broeikasgasemissies – een Europese en Nederlandse doelstelling – kan ook alleen worden bereikt wanneer gebruik wordt gemaakt van negatieve emissies.

Negatieve emissies kunnen echter niet onbeperkt worden ingezet. De bovengenoemde technieken zijn nog niet op grote schaal toegepast, zijn soms duur en leiden vaak tot meer energiegebruik. Voor bio-energie met CCS en herbebossing geldt dat deze landintensief zijn, en daarmee negatieve gevolgen kunnen hebben voor de voedselvoorziening en biodiversiteit (Smith et al., 2016). Ten slotte is de opslagcapaciteit van CO₂ beperkt. Er is dan ook discussie in de literatuur hoeveel het klimaatbeleid op negatieve emissies moet rekenen (Van Vuuren et al., 2017), maar dat voor de meest ambitieuze temperatuurdoelen negatieve emissies nodig zijn staat zo goed als vast. De netto negatieve emissies in de verschillende scenariostudies variëren tussen de 0 en 350 Gt CO₂ in de tweede helft van de 21^e eeuw (IPCC, 2022). Zelfs bij deze bijdrage van negatieve emissies is de meest omvangrijke opgave om zo snel mogelijk 'positieve' emissies tot nul terug te dringen.

Met andere woorden, niet alleen het koolstofbudget (paragraaf 2.1), maar ook de vorm van het mondiale pad bevat vele onzekerheden en keuzes. Voor temperatuur, niet-CO₂ en kans op behalen van het doel selecteren we twee paden, conform de invulling van het IPCC (zie kader 2.2):

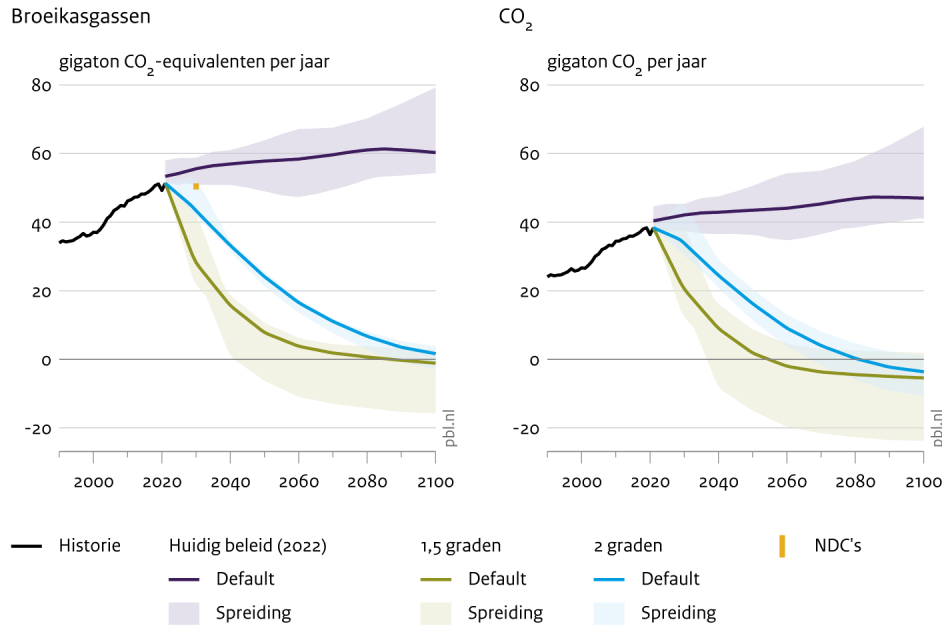
- '1,5 °C met beperkte overschrijding' conform de definitie van C1 door het IPCC. In de berekeningen wordt uitgegaan van een gemiddelde piektemperatuur van 1,56°C (conform de IPCC-categorie);
- Ruim onder 2 °C-pad – hier volgen we de definitie van C3 van het IPCC (>67% kans op 2 °C).

We kijken voor naar het eerste pad, gegeven het feit dat zowel de EU als Nederland aangegeven hebben de doel van Parijsakkoord te interpreteren als een streven onder de 1,5°C te blijven. Voor alle overige factoren variëren we een ruime selectie aan waarden en komen we uit op de mondiale emissiepaden en hun spreiding. In figuur 2.2 is te zien dat het 1,5 °C-doel en het ruim onder de 2 °C-doel allebei snelle en verre gaande mondiale reducties betekenen op de korte termijn. Rond 2050-

2060 zijn de CO₂-emissies in de 1,5 °C-paden nul, waarna de emissies eventueel negatief worden. Voor de ruim onder de 2 °C-paden is dit later: tussen 2070 en 2080. Wat betreft CO₂ zijn de benodigde reducties groter omdat het reductiepotentieel voor andere broeikasgassen beperkt is. In hoofdstuk 4 bespreken we ook kort wat het effect zou zijn van het toestaan van een grotere overschrijding van het 1,5°C doel.

Figuur 2.2

Mondiale emissiepaden



Bron: PBL Carbon Budget Explorer

Mondiale emissiepaden bij huidig beleid, 1,5 °C en ruim onder de 2 °C (gebaseerd op de IPCC-database zoals gebruikt in de PBL Carbon Budget Explorer www.carbonbudgetexplorer.eu). In deze figuur zijn ook modelresultaten van huidig beleid (paars) en doorrekening van Nationally Determined Contributions (NDC's) weergegeven.

2.3 Vergelijking met huidig beleid

Als onderdeel van het Klimaatakkoord van Parijs hebben landen de Nationally Determined Contributions (NDC's) ingediend, waarin staat hoe zij broeikasgassen in de komende tien tot vijftien jaar willen terugdringen. Het beleid dat landen formuleren om deze NDC's daadwerkelijk te realiseren wordt bijgehouden in een openbare database. Als onderdeel van verschillende projecten maakt het PBL met andere instituten regelmatig schattingen van de effectiviteit van dit beleid (Dafnomilis et al., 2022; Roelfsema et al., 2020). Zowel de NDC's als de verwachte uitkomst van huidig beleid in 2030 wordt getoond in figuur 2.2. Als wordt aangenomen dat landen dit beleid na 2030 zullen gaan voortzetten, dan blijkt dat zowel de uitvoering van de NDC's (oranje stip) als de voorzetting van dat beleid (paarse lijn) absoluut onvoldoende is om de Parijsdoelen te halen (Dafnomilis et al., 2024). Het is dus noodzakelijk om wereldwijd zowel de NDC's als het huidig beleid aan te scherpen.

3 Een rechtvaardige verdeling van emissiedoelen

3.1 Introductie

Rechtvaardigheid speelt een grote rol bij de verdelingsvragen rond emissiereductie en de gevolgen van klimaatverandering – gegeven de huidige situatie die zich kenmerkt door grote ongelijkheid (zie ook WRR, 2023; AIV, 2023). In het Klimaatakkoord van Parijs is dan ook ruim aandacht voor rechtvaardigheid; er wordt geëist dat beleid wordt uitgevoerd rekening houdend met dit begrip (UNFCCC, 2015) (zie Kader 3.1).

Kader 3.1: Artikelen in het Parijsakkoord gerelateerd aan rechtvaardigheid (UNFCCC, 2015)

Verschillende artikelen in het Parijsakkoord refereren direct aan rechtvaardigheid. We geven hier een paar voorbeelden.

Article 2.2: “This Agreement will be implemented **to reflect equity and the principle of common but differentiated responsibilities and respective capabilities, in the light of different national circumstances.**”

Article 4: **Developed countries** should **continue to take the lead** by undertaking absolute economy-wide reduction targets, while **developing countries should continue enhancing their mitigation efforts**, and are encouraged to move toward economy-wide targets over time in the light of different national circumstances.

Article 4.1: “Parties aim to reach global peaking of GHG 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 GHG in the second half of this century, **on the basis of equity, and in the context of sustainable development and efforts to eradicate poverty**”.

Article 4.3: “Each Party’s successive nationally determined contribution will represent a progression beyond the Party’s then current nationally determined contribution and **reflect its highest possible ambition, reflecting its common but differentiated responsibilities and respective capabilities, in the light of different national circumstances.**”

In de literatuur worden overigens de begrippen rechtvaardigheid (*justice*), billijkheid (*equity*) en eerlijkheid (*fairness*) als vrij overlappende en brede begrippen gebruikt. In dit rapport hebben we ervoor gekozen enkel het woord rechtvaardigheid te gebruiken, en dan met name in relatie tot de nauwere interpretatie rond de verdeling van internationale emissiereducties. Hierbij is rechtvaardigheid overigens niet alleen verbonden met de verdeling van kosten en inspanningen rond het voorkomen van klimaatverandering maar ook met de verdeling van gevolgen van klimaatverandering (landen worden onevenredig geraakt door klimaatverandering – mede omdat de capaciteit tot adaptatie

uiteenloopt). Bovendien gaat rechtvaardigheid niet alleen om de uitkomsten van het proces, maar ook over het proces zelf: het is bijvoorbeeld belangrijk dat alle relevante partijen bij het proces betrokken zijn. In de wetenschappelijke literatuur zijn verschillende pogingen gedaan de begrippen concreter te maken op basis van ethische, juridische en effectiviteitsoverwegingen; dit wordt verder beschreven in paragraaf 3.2.

Een manier om rechtvaardigheidsprincipes operationeel te maken in de context van mitigatie is in de vorm van zogenoemde allocatieregels (ook wel regels rond lastenverdeling genoemd). Deze benaderingen omvatten een breed scala aan voorstellen over hoe de last van mitigatie of het resterende koolstofbudget het beste kan worden verdeeld. Hoewel er geen consensus bestaat over wat een rechtvaardige verdeling is, kan het berekenen van de gevolgen van verschillende principes een manier zijn om te laten zien hoe huidige inspanningen zich verhouden ten opzichte van allerlei rechtvaardigheidsprincipes. Op deze manier zou de ambitie van beleid en internationale samenwerking kunnen worden vergroot.

3.2 Een overzicht van principes gerelateerd aan rechtvaardigheid

Het onderwerp van dit rapport zijn nationale doelstellingen en dus de (mondiale) rechtvaardigheid tussen landen. Rechtvaardigheid speelt echter ook op een andere manier een rol in klimaatbeleid – bijvoorbeeld bij de verdeling van de lasten tussen bevolkingsgroepen, sectoren en zelfs individuen. Ook speelt rechtvaardigheid een belangrijke rol bij de verhouding tussen generaties, en daarmee zowel de timing van emissiereducties als het overall doel.

Een belangrijke reden waarom rechtvaardigheid zo'n belangrijke rol speelt zijn de grote verschillen in de bijdrage aan klimaatveranderingen, de gevolgen van klimaatverandering en in de kwetsbaarheid voor deze gevolgen, het vermogen om bij te dragen aan de oplossing en de betrokkenheid bij besluitvormingsprocessen (figuur 3.1). Daarmee zijn dus zowel verdelingsvraagstukken als ook procedurele elementen verbonden aan de rechtvaardigheidsdiscussie.

In een grote hoeveelheid wetenschappelijke literatuur is gekeken naar de mogelijke rechtvaardigheidsprincipes bij het vaststellen van emissiereductiedoelstellingen (AIV, 2023; O'Neill et al., 2020; Pozo et al., 2020; Robiou Du Pont et al., 2017, Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid, 2023; Höhne et al., 2014). Daarin is een aantal standaardprincipes te herkennen (zie ook tabel 3.1). De principes vullen elkaar in sterke mate aan en benadrukken verschillende aspecten van het verdelingsvraagstuk. Vier van de vijf benaderingen kunnen worden gerelateerd aan beginselen van het internationale milieurecht (Rajamani et al., 2021). Zij voeren terug op de Rio-verdragen uit 1992, waar bijvoorbeeld afspraken zijn gemaakt rond het belang van het milieu voor huidige en toekomstige generaties (intergenerationele rechtvaardigheid), de speciale omstandigheden voor ontwikkelingslanden, het principe dat de vervuiler betaalt, het voorzorgsbeginsel en het belang van armoedebestrijding. Overigens verschilt de status van deze beginselen en zijn ze niet even bindend. In het klimaatverdrag zelf (ook uit 1992) is het principe van 'gemeenschappelijke maar gedifferentieerde verantwoordelijkheden' vastgelegd waarmee wordt aangegeven dat van sommige landen een grotere bijdrage wordt verwacht; dit is gebaseerd op verantwoordelijkheid en vermogen. Dit betekent dus ook dat niet alle principes die in tabel 3.1 staan op een vergelijkbare manier worden ondersteund in internationale afspraken of op dezelfde wijze kunnen worden toegepast.

Figuur 3.1

Ongelijkheden tussen landen en bevolkingsgroepen in de context van klimaatverandering en klimaatbeleid



Bron: Gebaseerd op Fleurbaey et al. 2014; bewerking PBL

Terwijl vermogen, verantwoordelijkheid, recht op ontwikkeling en gelijkheid dus kunnen worden gerelateerd aan beginselen van het internationale milieurecht, geldt dit niet voor het principe van continuïteit (Rajamani et al., 2021). Door de enorme verschillen tussen landen (figuur 3.1) is dit principe niet consistent met rechtvaardigheid en wordt het voornamelijk genoemd in het kader van een overgang naar een meer rechtvaardige situatie (Knight, 2013). In veel overzichten van rechtvaardigheidsprincipes wordt dit principe dan ook niet genoemd of zelfs expliciet uitgesloten.

Tabel 3.1
Principes die worden genoemd in relatie tot rechtvaardigheid

Principe	Gelijkheid (equality)	Vermogen (capability)	Verantwoordelijkheid (responsibility)	Recht op ontwikkeling (right to development)	Continuïteit (sovereignty)
Betekenis	Iedereen heeft gelijke rechten onder gelijke omstandigheden	Diegene met meer mogelijkheden zouden meer moeten doen	Diegene die verantwoordelijk is voor het probleem moet het oplossen	Iedereen heeft recht op een betekenisvol leven	Iedereen kan uitgaan van een gegeven situatie
Interpretatie	Gelijke monniken, gelijke kappen	Sterke schouders eerst	De vervuiler betaalt	Iedereen heeft recht op bestaan	Verworven rechten

Bron: gebaseerd op Dooley et al. (2021), Van den Berg et al. (2020), Höhne et al. (2014)

3.3 Berekeningen rond rechtvaardige verdeling van mitigatieactie

De verschillende rechtvaardigheidsprincipes en interpretaties betekenen dat er ook een veelheid aan allocatiemethoden is ontwikkeld rond klimaatbeleid (Lahn & Sundqvist, 2017; Skeie et al., 2017). Er kan een onderscheid worden gemaakt tussen benaderingen die gericht zijn op het delen van een voorraad (zoals het koolstofbudget) of het delen van een inspanning (Fleurbaey et al., 2014). Verder zijn er methoden op basis van de reductiedoelstelling en op het gelijk verdelen van de gevolgen (Caney, 2014). Het is ook mogelijk rechtvaardigheid direct te koppelen aan bredere internationale doelen van armoedebestrijding en duurzame ontwikkeling (Roy et al., 2018).

Er bestaan verschillende categorieën van allocatieregels zoals 1) verdeling op basis van uitkomsten, 2) verdeling op basis van de timing van netto-nuldoelen en 3) verdeling van emissieopgaven op basis van allocatieregels. Hierbij geldt dat benaderingen verder kunnen worden opgedeeld in verdeling op basis van een emissiereductiedoel of direct op basis van het koolstofbudget. Bij verdeling op basis van (economische) uitkomsten vind allocatie direct zo plaats dat uitkomsten rechtvaardig beschouwd kunnen worden (bijvoorbeeld omdat de impact op de economie overal gelijk is). Andere benaderingen pogen dit meer indirect te doen. Bij allocatie op basis van uitkomsten kan alleen naar mitigatiekosten worden gekeken maar ook naar de som van mitigatiekosten en klimaatschade (De Cian et al., 2016). Het nadeel van dergelijke benaderingen is dat ze sterk afhankelijk zijn van modellen en de bijbehorende aannames. Ook bij het vaststellen van in welk jaar netto nul emissies gehaald worden speelt rechtvaardigheid een rol. Het IPCC heeft laten zien dat paden consistent met het 1,5 °C-doel rond 2050 netto nul emissies bereiken voor CO₂ en rond 2070 voor alle broeikasgassen samen. De keuze van een doelstelling om in 2050 voor alle broeikasgassen samen in 2050 netto nul te bereiken, betekent dus dat de EU ervoor gekozen heeft een strengere doelstelling op zich te nemen. Over het algemeen hebben andere rijke landen er ook voor gekozen netto nul emissies te bereiken voor 2050, en hebben arme landen latere jaartallen gekozen (Dafnomilis et al., 2024; Lang et al., 2024). Een derde methode gebruikt allocatieregels om de rechtvaardigheidsbeginselen te vertalen naar concrete reductievoorstellen). Deze methode is in de literatuur het meest gebruikelijk en wordt hieronder in meer detail besproken.

Verdeling van emissieopgaven op basis van allocatieregels

In tabel 3.2 presenteren we enkele allocatieregels en de mogelijke controverses. Voor al deze methoden geldt dat ze aan de verschillende rechtvaardigheidsprincipes voldoen. In het algemeen is er een reeks aan mogelijke regels (en invullingen hiervan) die passen bij de verschillende rechtvaardigheidsprincipes. Net als de verschillende rechtvaardigheidsprincipes komen de verschillende allocatieregels verschillende landen ten goede. Daarbij speelt niet alleen de allocatieregels zelf – maar ook de parameterkeuze (zie verder). Elke verdeling van de reductieopgave is dan ook intrinsiek een normatieve keuze (Dooley et al., 2021). In hoofdstuk 4 bekijken we zeven allocatieregels in meer detail voor Nederland. De methoden kostenoptimaal en multistadia presenteren we hier niet. De eerste voldoet onvoldoende aan rechtvaardigheidsprincipes (zie kader 3.2) en de tweede methode bestaat vaak uit een combinatie van de overige regels.

Tabel 3.2

Een overzicht van een aantal gebruikelijke allocatieregels en de relatie met de principes uit tabel 3.1

Allocatieregel	Gerelateerd principe	Beschrijving
Gelijke relatieve reductie (*)	Continuïteit	Gelijke relatieve reductiedoelen voor alle landen
Onmiddellijk per capita (*)	Gelijkheid	Onmiddellijke allocatie van emissies op basis van inwonertal
Per capita via budget (*)	Gelijkheid	CO ₂ -budget op basis van huidig inwoneraantal, verbruikt middels lineaire emissietrend naar netto nul.
Per capita convergentie (*)	Gelijkheid en continuïteit	Gelijke verschuiving in allocatie van huidige omstandigheden naar per capita allocatie
Historisch-cumulatief per capita (*)	Verantwoordelijkheid en gelijkheid	Toekenning van emissierechten rekening houdend met historische emissies
Verdeling naar welvaart (*)	Vermogen	Strengere emissiereductiedoelen voor landen met een hoger inkomen
Recht op duurzame ontwikkeling (*)	Verantwoordelijkheid en vermogen	Emissiereductiedoelen van een referentiep pad worden berekend op basis van een verantwoordelijkheid/potentieel-index die onder meer inkomen en inkomensverdeling omvat
Kostenoptimaal	Kosteneffectiviteit	De allocatie wordt gedaan op basis van mitigatiepotentieel. De emissiereductie wordt bepaald door gelijke marginale kosten voor alle landen
Multistadiabenaderingen	Divers	In deze benaderingen worden landen ingedeeld in diverse stadia (meestal op basis van inkomen) met ieder eigen allocatieregels

De allocatieregels met een (*) zijn in dit rapport verder bekeken in hoofdstuk 4.

Bron: Clarke et al. (2014), Robiou Du Pont et al. (2017), Van den Berg et al. (2020), Höhne et al. (2014)

Een korte bespreking van de allocatiemethoden:

1. Een eerste allocatiemethode, gebaseerd op het continuïteitsbeginsel, is *gelijke relatieve reducties* (ook wel *grandfathering*). Daarbij krijgen alle landen hetzelfde reductiepercentage als het wereldgemiddelde. Zoals eerder gemeld, is het continuïteitsbeginsel in het geval van klimaatbeleid niet per se rechtvaardig (Caney, 2014; Dooley et al., 2021), hoewel de *gelijke relatieve reductie*-methode vaak wordt gebruikt als referentie (Pelz et al., 2023; Robiou Du Pont et al., 2017; van den Berg et al., 2020; Vrontisi et al., 2019). Gelijke reductiepercentages gaan voorbij aan de grote verschillen tussen landen wat betreft verantwoordelijkheid, vermogen te reduceren, verwachte groei en ongelijkheid in emissies (zie ook kader 3.2 voor meer discussie rond bestaande kritiek op deze methode).

2. De allocatieregel *gelijke verdeling per capita* is een methode die gebaseerd is op het standpunt dat elke mens gelijke rechten heeft en dus een gelijke aanspraak op emissierechten (Dooley et al., 2021; Robiou Du Pont et al., 2017; van den Berg et al., 2020). Er zijn verschillende manieren om dit naar een concrete regel te vertalen. Bij de genoemde uitwerkingen geldt wel dat dus geen rekening wordt gehouden met andere factoren zoals inkomen, technologie, verschillen in klimaat en economische structuur.
 - a. *Onmiddellijke per capita allocatie*. Een mogelijkheid is om het mondiale emissiepad te vermenigvuldigen met het populatieaandeel van een land en de uitkomst hiervan onmiddellijk in te laten gaan. Dit laatste leidt tot een discontinuïteit tussen de historische emissietrend en de allocatie (waarbij het mogelijk is dat landen voor dit verschil betalen).
 - b. *Per capita via budget*. Een andere mogelijkheid is om het koolstofbudget onmiddellijk te verdelen op basis van de huidige aandelen in de wereldbevolking en deze, per land, over de tijd te verdelen (bijvoorbeeld lineair richting netto nul).
3. Een volgende benadering is *per capita convergentie*. Bij deze benadering wordt langzaam overgegaan van *grandfathering* naar een per-capitaoewijzing (Meyer, 2000; Berk & den Elzen, 2001). Deze benadering biedt een soort overgangperiode voor landen om hun emissies te verminderen, maar zorgt er ook voor dat ontwikkelingslanden op langere termijn een gelijkwaardig koolstofbudget ontvangen (Böhringer & Welsch, 2006). Omdat voor de beginperiode deze benadering vergelijkbaar is met 'gelijke relatieve reductie' geldt dat dezelfde kritische opmerkingen worden gemaakt (Dooley et al., 2021).
4. Bij *historisch cumulatief per capita* worden bij de allocatie ook de historische emissies betrokken. Dit is een invulling van de *historische verantwoordelijkheid*. Deze regel leidt natuurlijk tot sterkere reducties voor rijke landen, die over het algemeen hogere historische emissies hebben. Er wordt ook wel betoogd dat hierbij ook rekening gehouden moet worden met historische relaties, zoals koloniën (zie bijvoorbeeld Carbon Brief, 2023). Bij deze benadering wordt dus bij de gealloceerde emissies rekening gehouden met eerder uitgestoten emissies. Een grote vraag is vanaf wanneer dit moet gebeuren. Hierbij speelt dus de vraag vanaf wanneer landen voldoende kennis konden hebben van het klimaatprobleem en wie geprofiteerd hebben van deze emissies. Een startpunt zou, bijvoorbeeld, 1990 kunnen zijn – de publicatie van het eerste IPCC-rapport waarbij reeds werd aangegeven dat broeikasgasemissies waarschijnlijk verantwoordelijk zijn voor de stijging van de mondiale temperatuur. Wanneer men verder teruggaat in de tijd worden emissies meestal minder zwaar gewogen (onder meer vanwege de natuurlijke verwijdering van CO₂ uit de atmosfeer) (Den Elzen et al., 2013).
5. Het beginsel rond *ability to pay* gaat uit van het vermogen van landen om emissies te reduceren (Jacoby et al., 2008). Wereldwijd wordt vaak inkomen in combinatie met mogelijke kosten gebruikt als een mogelijke invulling, maar er is een range aan mogelijke manieren om dit te berekenen. De benadering zou eventueel kunnen worden gecombineerd met een inkomensniveau waar beneden een land geen emissiereducties hoeft te doen (Baer, 2013).

Kader 3.2: Discussie over allocatieregels

Alle allocatieregels zijn gerelateerd aan normatieve rechtvaardigheidsbeginselen – en hebben daarmee allemaal voor- en tegenstanders. Over enkele regels is er – meer dan bij andere regels – discussie. Dat kan betekenen dat ze minder toepasbaar zijn voor de Nederlandse reductiedoelen.

Gelijke relatieve emissiereductie (grandfathering)

Een van de meest omstreden allocatiebenaderingen is gelijke relatieve emissiereductie (*grandfathering*). In diverse publicaties wordt betoogd dat deze regel niet meegenomen zou moeten worden als rechtvaardigheidsbeginsel, bij een gebrek aan een duidelijke morele onderbouwing (Caney, 2014; Dooley et al., 2021; Rajamani, 2021; Kartha et al., 2018). Andere beschouwen dit beginsel wel en verdedigen het vooral als referentie of in het kader van haalbaarheid (Pelz et al., 2023; Robiou Du Pont et al., 2017; Vrontisi et al., 2019). Knight (2013) geeft aan dat het een methode kan zijn als een tijdelijke overgangsfase naar een langetermijnallocatie gebaseerd op andere rechtvaardigheidsbeginselen (Knight, 2013). Omdat ontwikkelingslanden in de regel een snellere bevolkings- en economische groei kennen, leidt een gelijke relatieve reductie in de regel tot een grotere opgave voor deze landen. Bovendien is in het verdrag al opgenomen dat rijke landen meer moeten doen (*common but differentiated responsibility*). In die zin is duidelijk dat om praktische redenen dit beginsel niet als rechtvaardig beschouwd kan worden. En daarmee vooral nuttig is om een soort ondergrens voor reducties van rijkere landen te bepalen.

Kostenoptimale allocatie

Een kostenoptimale allocatie wereldwijd leidt tot besparing van kosten en linkt aan het beginsel van een goede kosten-batenverhouding zoals opgenomen in artikel 2 van het Klimaatverdrag uit 1992. Het leidt echter ook tot onrechtvaardige uitkomsten (Dooley et al., 2021). Omdat veel ontwikkelingslanden meer reductieopties hebben en een koolstof-intensievere economie, leidt een dergelijke allocatie vaak tot hogere kosten in ontwikkelingslanden. Dit betekent dat de relevantie van deze benadering meer bij de implementatie ligt, dan bij het bepalen van een rechtvaardige allocatie (Rajamani et al., 2021).

Broeikasontwikkelingsrechten

Deze benadering is ontwikkeld door NGO's zoals het Climate Action Network (CAN) op basis van recht op duurzame ontwikkeling voor alle landen. In tegenstelling tot andere benaderingen is deze niet makkelijk te reproduceren vanwege een groot aantal specifieke aannames. De onderliggende *Responsibility/Capability*-index wordt gepubliceerd door CERP en is alleen beschikbaar tot 2030. De factoren binnen deze benadering kunnen over een zeer grote range worden gevarieerd. De keuze in de default-benadering leidt tot vrij extreme uitkomsten voor rijke landen.

6. De *Recht op duurzame ontwikkeling*-allocatiereguleer verdeelt het reductiedoel op basis van de rechtvaardigheidsprincipes verantwoordelijkheid en capaciteit (Baer et al., 2009). Landen die historisch gezien hoge emissies per capita hebben geproduceerd en een hoog inkomen per capita hebben, dragen de grootste last. De benadering maakt het mogelijk voor landen om een waardevolle standaard van duurzame ontwikkeling te bereiken, met name voor landen die die standaard nog niet hebben bereikt (BASIC experts, 2011; Robiou Du Pont et al., 2017; Van den Berg et al., 2020; Winkler et al., 2013). Dit sluit ook deels aan bij het principe van de vervuiler betaalt. Kritiek op deze benadering luidt dat er ingewikkelde regels zijn bij het wegen van capaciteit en

verantwoordelijkheid (Baer, 2013). De uitwerking van dit principe levert echter veel normatieve keuzes op (zie kader 3.2).

7. Er zijn ook benaderingen die uitgaan van fasen om eventueel verschillende rechtvaardigheidsbeginselen met elkaar te verbinden, zoals multistadiabenaderingen. Een voorbeeld is een benadering waarin de armste landen geen doelen krijgen toegewezen, een middengroep van landen doelen krijgt om emissiegroei te beperken en de rijkste landen absolute reductiedoelen krijgen (Den Elzen et al., 2006).
8. In de tabel is ook kostenoptimale reductie opgenomen als een allocatieregel. Die wordt namelijk in de literatuur gebruikt als referentie. Het moet echter worden opgemerkt dat doordat emissiereducties in sommige ontwikkelingslanden goedkoper zijn, de kostenoptimale reductie regel vaak tot uitkomsten leidt waar de kosten in ontwikkelingslanden hoger zijn dan het wereldgemiddelde (zie kader 3.2).

3.3 Bredere overwegingen

De verschillende allocatieregels geven diverse perspectieven op rechtvaardigheid weer – en vullen elkaar dus in bepaalde mate aan. Het is belangrijk te constateren dat niet alle overwegingen rond rechtvaardigheid kunnen worden vertaald in rekenregels en bovendien zijn de onderliggende aannames over wat rechtvaardig is voor alle rekenregels normatief (Rajamani et al., 2021). Duidelijk is dat de verschillende regels in verschillende mate overeenkomstig zijn met beginselen in het nationaal en internationaal recht. De discussies worden ook vervat in het thema *climate justice* dat gaat over een rechtvaardige verdeling van de kosten en gevolgen van klimaatbeleid, gegeven de bijdrage aan klimaatverandering, de mate waarin men wordt getroffen door klimaatverandering en de mate waarin men kan bijdragen aan de oplossing, waaronder ook kwetsbare groepen.

Naast een vertaling van rechtvaardigheid in emissiereductiedoelen kan er ook gekeken worden naar financiële overdrachten; die kunnen gericht zijn op het financieren van reducties elders en op het compenseren van de mogelijke schade van klimaatverandering (zie ook hoofdstuk 6). Dergelijke overdrachten zouden zowel kunnen bijdragen aan de binnenlandse emissiereductiedoelstellingen als ook sterkere reducties in ontwikkelingslanden mogelijk kunnen maken (Taconet et al., 2020), zolang als eventueel negatieve gevolgen van emissiereductieprojecten worden verzacht (zoals voor lokale bestaanszekerheid, biodiversiteit, voedsel- en waterzekerheid, en de rechten van bepaalde groepen, met name inheemse volken).

Bij de onderhandelingen is ook afgesproken dat rijke landen ambitieuze emissiereductie moeten koppelen aan financiële steun voor mitigatie en aanpassing in ontwikkelingslanden (Oxfam International, 2023). Op de COP16 in 2010 hebben de rijke landen een gezamenlijke toezegging gedaan om vanaf 2020 US\$100 miljard per jaar te verstrekken voor aanpassings- en mitigatieacties in ontwikkelingslanden. Dit doel is herhaald in het Parijsakkoord en verlengd tot 2025. Tot nu toe hebben ontwikkelde landen het bedrag nog niet bij elkaar gebracht. Bovendien was de \$100 miljard bedoeld om ‘nieuw en aanvullend’ te zijn, maar bij gebrek aan een duidelijke definitie is het mogelijk dat ook bestaande gelden bedoeld voor ontwikkelings samenwerking (ODA) gebruikt kunnen worden als klimaatfinanciering (Pauw et al., 2022). Nederland behoort tot een selecte groep landen waarvan is berekend dat het tot nu toe zijn aandeel heeft geleverd van de \$100 miljard-toezegging (Colenbrander et al., 2022), dat wil zeggen 1,4 miljard euro in 2022 en een ambitie om dit te verhogen tot 1,8 miljard euro in 2025 (Adviesraad Internationale Vraagstukken, 2023). Daarnaast bestaat

er ook de mogelijkheid financiering te doen in het kader van artikel 6 van het Parijsakkoord.

Er bestaat een uitgebreide hoeveelheid literatuur over hoe landen een rechtvaardig aandeel in mitigatieacties kunnen berekenen. Er is echter geen consensus hoe rechtvaardigheid in internationaal klimaatbeleid moet worden vormgegeven en wat ze betekent voor de emissiereductiedoelen. De verschillende interpretaties van rechtvaardigheid en de hiermee samenhangende belangen spelen ook een belangrijke rol bij de moeizame klimaatonderhandelingen. Het uitstellen van de actie kan echter ook leiden tot ernstige gevolgen van klimaatverandering met daarmee samenhangende consequenties rond rechtvaardigheid. Zeer strenge reducties op basis van internationale rechtvaardigheid kunnen het ook moeilijker maken om in eigen land een rechtvaardige implementatie voor alle bevolkingsgroepen en sectoren voor elkaar te krijgen. Het verkennen van de consequenties van allocatieregels kan beleidsmakers helpen de verschillende keuzes beter te begrijpen en expliciet te maken.

4 Reductiedoelen voor Nederland in het licht van rechtvaardigheid

4.1 Introductie

Waar hoofdstuk 2 en 3 over mondiale klimaatdoelen en rechtvaardigheidsprincipes gaan, maken we in dit hoofdstuk de vertaling naar Nederland. De huidige doelstellingen voor Nederland zijn een broeikasgasreductie van 55% in 2030 (met een streven van 60%) en van 100% reductie in 2050. Aangezien het naar nul reduceren van niet-CO₂-emissies (zoals methaan en lachgas) in veel sectoren moeilijker is dan het reduceren van CO₂-emissies, impliceert het 2050-doel dat CO₂-emissies in 2050 dus negatief moeten zijn en dat we dus al vóór 2050 netto geen CO₂-emissies meer zouden uitstoten. Het Nederlandse 2050-doel is gebaseerd op de Europese Klimaatwet, waarin is vastgelegd dat de EU als geheel in 2050 klimaatneutraal moet zijn.

In de komende tijd zullen nieuwe doelstellingen voor de periode na 2030 moeten worden vastgesteld. Opnieuw zullen hierbij overwegingen rond rechtvaardigheid en haalbaarheid moeten worden meegenomen. In het afgelopen jaar hebben al enkele adviesorganen zich over doelstellingen uitgesproken. Op basis van het advies van de Europese Wetenschappelijke Adviesraad rond Klimaatverandering (90-95% reductie in 2040 als maximaal haalbaar reductiedoel op Europese bodem en minimale rechtvaardige reductie (ESABCC, 2023), heeft de Nederlandse Wetenschappelijke Klimaatraad aangegeven deze doelstelling ook voor Nederland te onderschrijven (WKR, 2023). De Adviesraad Internationale Vraagstukken (AIV) heeft in 2023 aangegeven dat bij afwegingen rond het Nederlandse klimaatdoel ook de geloofwaardigheid van de Nederlandse positie in de klimaatonderhandelingen moet worden meegewogen, ook hier leidend tot een mogelijke bevestiging van het voorgestelde Europese doel (AIV, 2023). Ook het Expertteam Energiesysteem 2050 gaat in op Nederlandse doelen op de langere termijn en geeft aan dat Nederland rond 2040-2045 CO₂-neutraal moet zijn (Expertteam Energiesysteem 2050, 2023).

Bij de vertaling van mondiale klimaatdoelen naar Nederlandse reductiedoelen kunnen allerlei afwegingen een rol spelen, waaronder de kwetsbaarheid van Nederland voor klimaatverandering, de historische verantwoordelijkheid, maar ook de sociale en economische mogelijkheid om emissies te reduceren. In dit hoofdstuk illustreren we hoe uit de mondiale doelstellingen uit hoofdstuk 2 en de rechtvaardigheidsprincipes uit hoofdstuk 3, een range van reductiedoelen voor Nederland kan worden afgeleid.

4.2 Reductiedoelen voor Nederland

Bij het berekenen van een 'rechtvaardige doelstelling' voor Nederland zijn we dus begonnen bij het mondiale emissiepad (hoofdstuk 2). Immers, als er mondiaal nog veel kan worden uitgestoten, dan is er veel te verdelen en beïnvloedt dat ook het Nederlandse doel. Zoals besproken in hoofdstuk 2 zijn belangrijke factoren en keuzes hierin het temperatuurdoel, maar ook de kans op het halen van dat doel, aannames over niet-CO₂- en negatieve emissies en de timing van beleid. Op basis van allocatieregels (zie hoofdstuk 3) kunnen deze mondiale emissiepaden verdeeld worden over landen

in de wereld, waaronder Nederland. Daarin volgen we de beschrijvingen van klimaatdoelstellingen in het Parijsakkoord: we kijken naar mondiale paden die temperatuurstijging beperken tot 1,5 °C met een beperkte overschrijding, en paden die ruim onder de 2 °C blijven (zie ook kader 2.2 en figuur 2.2). Zoals in hoofdstuk 2 genoemd zijn deze paden gekalibreerd op mondiaal kosteneffectieve modellen. Later in dit hoofdstuk laten we ook resultaten zien voor andere temperatuurdoelen en bijbehorende mondiale emissiepaden. Bij de berekeningen kijken we dus naar Nederland in een mondiaal perspectief en gaan we niet in op een verdeling van de Europese doelstelling over landen binnen de EU.

Bij alle berekeningen is steeds uitgegaan van CO₂-emissies van fossiele brandstoffen, landgebruik en landgebruiksverandering en niet-CO₂-emissies. Al deze emissiebronnen dragen bij aan klimaatverandering (zie kader 2.1). Het is echter belangrijk te realiseren dat veel studies die kijken naar nationale reductiedoelen op basis van allocatieregels slechts een deel van deze bronnen meeneemt. Overwegingen die hierbij een rol kunnen spelen zijn de kwaliteit van de data (landgebruiksemisies zijn meer onzeker), de verschillen in de mogelijkheden de emissies uit verschillende bronnen te reduceren en ten slotte overwegingen rond de samenhang met rechtvaardigheidsprincipes bij verschillende bronnen.

Het spectrum van rechtvaardige reductiedoelen

Voor de verdeling van mondiale emissies over de landen volgen we het raamwerk dat is beschreven in tabel 3.1 in het vorige hoofdstuk. De kwalitatieve, meer abstracte principes van rechtvaardigheid – gelijkheid, capabiliteit en verantwoordelijkheid, met als referentie ook continuïteit – worden uitgedrukt in kwantitatieve vergelijkingen om een beeld te krijgen van wat ze concreet voor consequenties hebben. Die kwantificeringsmethoden noemen we ‘allocatieregels’ (zie ook tabel 3.2). De resultaten van de allocatieregels voor zowel de 1,5 °C als de ruim onder de 2,0 °C mondiale emissiepaden staan in tabel 4.1 en figuur 4.1. Hierbij zijn qua onzekerheid bij het mondiale emissietraject slechts onzekerheden ten aanzien van negatieve emissies en timing van mitigatiebeleid tot aan 2030 meegenomen, maar niet-CO₂-reductie, het piektemperatuurdoel en de kans op halen daarvan staan vast. De timing van mitigatiebeleid tot aan 2030 is een grote factor voor 2030-reductiedoelen, maar speelt een kleinere rol voor 2040, waar de onzekerheden per allocatieregels sterk domineren.

Alvorens op de resultaten in te gaan is het belangrijk om bewust te zijn van de grote spreiding in deze tabel en figuur. Binnen elke allocatieregels is er spreiding doordat het mondiale emissiepad onzeker is (zie hoofdstuk 2), maar ook omdat er keuzes gemaakt worden in hoe iets berekend wordt (zie laatste kolom tabel 4.1). Dit is een van de redenen waarom deze waarden kunnen verschillen tussen verschillende bronnen. Deze onzekerheden zijn niet allemaal van dezelfde aard. Sommige van deze factoren hebben betrekking op politieke en normatieve keuzes, andere zijn fysische of economische onzekerheden. Om recht te doen aan zowel objectieve als normatieve onzekerheid, is in dit rapport een zo breed mogelijk palet aan (in literatuur genoemde) potentiële waarden van deze factoren meegenomen in de spreiding.

Tabel 4.1

Broeikasgasreductiedoelen in 2030 en 2040 voor Nederland, als percentage van de emissies in 1990, conform de zeven allocatieregels

	2030 (%)		2040* (%)		Belangrijkste onzekerheden en keuzes naast die in het mondiale pad (zie ook paragraaf 2.1, 2.2 en 4.4)
	1,5°C	2,0°C	1,5°C	2,0°C	
Huidig en geagendeerd beleid	46-57		-		
Europese doelen	55		90 (voorgesteld)		
Reductiedoelen per allocatieregel	1,5°C	2,0°C	1,5°C	2,0°C	
Gelijke relatieve reductie	40-68	25-38	73-98	50-54	
Per capita convergentie	42-73	28-48	76-98	54-69	Bevolkingsgroei (SSP1-5, SSP2) Convergentiejaar (2040-2100, 2050)
Onmiddellijk per capita	60-79	50-59	82-98	67-69	Bevolkingsgroei (SSP1-5, SSP2)
Per capita via budget	57-90	45-47	84-95	62-70	Bevolkingsgroei (SSP1-5, SSP2) Vorm CO ₂ pad (<i>lineair tot netto nul</i>) Vorm niet-CO ₂ pad (<i>analoog aan per capita convergentie</i>) Convergentiejaar niet-CO ₂ (2040)
Historisch-cumulatief per capita	51-104	38-81	89-147	69-114	Bevolkingsgroei (SSP1-5, SSP2) Startjaar historische emissies (1850, 1950, 1990) Emissie verdiscontering (0%, 1,6%, 2,0%, 2,8%) Methode om budget te matchen (
Verdeling naar welvaart	61-90	45-59	93-118	73-78	Economische groei (SSP1-5, SSP2) Bevolkingsgroei (SSP1-5, SSP2) Mitigatiekosten (<i>stijlistisch exponentiële MAC, regionaal identiek</i>) Referentiepads-emissies (SSP1-5, SSP2; IMAGE model) Downscalingmethodiek (van wereld naar nationaal)
Recht op duurzame ontwikkeling	72-276	48-141	129-406	94-227	Economische groei (SSP1-5, SSP2) Bevolkingsgroei (SSP1-5, SSP2) Weging en indexering verantwoordelijkheid en vermogen (<i>RCI aldus Climate Equity Reference</i>) Inkomensgrens t.b.v. ontwikkeling alvorens mitigatie (Geen, \$7500/cap, \$7500/cap met additionele condities) Basispads-emissies (SSP1-5, SSP2; IMAGE model) Downscalingmethodiek Post-2030 methodiek (<i>convergentie naar 'Verdeling naar welvaart' in 2100</i>)

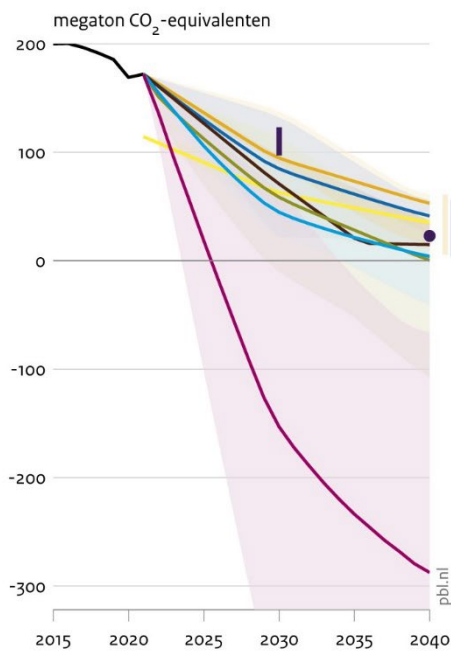
Cijfers afgerond op hele procenten. Minima en maxima zijn gerapporteerd, onder variatie van de genoemde onzekerheden in de laatste kolom (tussen haakjes staan de gebruikte waarden in de spreiding, schuingedrukt de standaardwaarden). Doelen zijn berekend voor de in hoofdstuk 2 besproken mondiale paden die temperatuurstijging beperken tot 1,5 °C en ruim onder de 2,0 °C.

*Merk op dat 2040-reductiedoelen altijd in de context staan van 2030-doelen. Als de 2030-doelen niet behaald worden, zullen de 2040-reducties groter moeten zijn om aan dezelfde klimaatdoelen te voldoen.

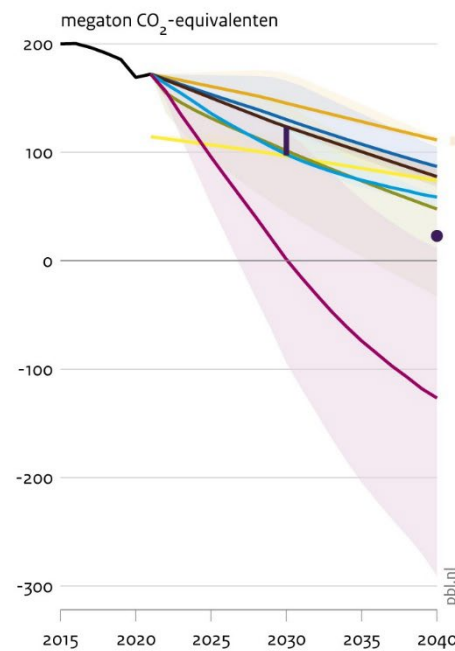
Figuur 4.1

Broeikasgasemissies voor Nederland per allocatieregel

1,5 °C met beperkte overschrijding



Ruim onder 2 °C



- Historie
- Default
 - Gelijke relatieve reductie
 - Per capita convergentie
 - Onmiddellijk per capita
 - Per capita via budget
 - Historisch-cumulatief per capita
 - Reductie naar welvaart
 - Recht op duurzame ontwikkeling
- Spreiding
- Raming vastgesteld, voorgenomen en geagendeerd beleid
- Voorgesteld Europees doel

Bron: PBL

De emissieallocaties zijn berekend met de zeven allocatieregels uit tabel 4.1: een selectie ('default'; op basis van standaardwaarden in tabel 4.1) van de keuzes in deze regels is weergegeven in dikke lijnen. De spreiding laat de opgenomen keuzes en onzekerheden zien (zie tabel 4.1, laatste kolom). Links: emissieallocaties voor Nederland behorend bij een mondiaal pad consistent met 1,5 °C temperatuurstijging met beperkte overschrijding. Rechts: idem voor ruim onder de 2,0 °C. De koers van huidig vastgesteld, voorgenomen en geagendeerd beleid in 2030 (bron: KEV 2023) en het aangekondigde doel van de Europese Commissie van 90% reductie in 2040 zijn aangegeven. Zie ook tabel 4.2. Balkjes aan de rechterkant van de figuren laten de spreiding in 2040 zien.

Zoals te zien in tabel 4.1 en figuur 4.1 brengt dit bij sommige regels een grote spreiding met zich mee. Om een voorbeeld te noemen: de allocatieregel op basis van *Historisch-cumulatief per capita* (groen in figuur 4.1 en gebaseerd op het verantwoordelijkheidsprincipe) kwantificeert mede de hoeveelheid historische emissies van landen. Als landen al veel hebben uitgestoten in het verleden, drukt dat hun rechtmatige emissies in de toekomst in deze allocatieregel. Maar het maakt natuurlijk uit of we hierbij kijken vanaf 1990 of vanaf bijvoorbeeld 1950 of 1850, toen nog minder bekend was over klimaatverandering in het publieke domein. Een deel van de emissies is zelfs al uit de atmosfeer verwijderd. Vandaar dat een factor gebruikt kan worden emissies uit het ver verleden minder zwaar te wegen; de keuze van de precieze waarde (is in elk geval deels normatief en moet dus worden gevarieerd in deze exercitie. Van den Berg et al. (2020) suggereert 1,6, 2,0 of 2,8% per jaar

op basis van eerdere literatuur (0-2.0% aldus BASICS experts, 2011 en Den Elzen et al., 2013) en voegen 0.8% toe als zijnde de natuurlijke verwijdering van CO₂ uit de lucht. Wij voegen ter vergelijking ook 0% toe aan de spreiding, zonder deze correctie. Voor een uitgebreidere uiteenzetting van de onzekerheden en de spreiding in deze berekeningen, zie hoofdstuk 2 en paragraaf 4.4.

Zowel in tabel 4.1 als in figuur 4.1 zien we een ordening van de allocatieregels in termen van reductiedoelen. Voor alle regels is dus een range aangegeven. Op de korte termijn (2030) wordt deze range bepaald door de timing van klimaatbeleid (dus de ambitie op mondiaal niveau). De laagste 2030-reductiedoelen voor elk regime impliceren zeer strenge 2040-reductiedoelen. Dit heeft te maken met mondiale paden waarin reductie op korte termijn wordt uitgesteld, maar wat dus moet worden ingehaald om aan hetzelfde mondiale doel te voldoen. Oftewel, de reductiedoelen van 2030 en 2040 zijn nooit los van elkaar te lezen.

Als wordt uitgegaan van het principe van continuïteit, leidt dit tot een minder streng reductiedoel voor Nederland. De *Gelijke relatieve reductie*-regel (oranje), is een directe reflectie van continuïteit en beschouwt emissiereductie relatief aan de huidige emissieverdeling. Deze regel laat voor Nederland altijd de minste reductie zien, voor welk temperatuurdoel dan ook. De regel komt neer op een doel van 40-68% reductie in 2030 om onder de 1,5°C te blijven, een reductie die redelijk in lijn is met huidig Nederlands vastgesteld, voorgenomen en geagendeerd beleid (aldus de KEV 2023) en 73-98% reductie in 2040, rond de recent voorgestelde 90% door de Europese Commissie. Zoals aangegeven in hoofdstuk 3 is dit strijdig met allerlei rechtvaardigheidsprincipes, waaronder verantwoordelijkheid en het vermogen te reduceren. Het kan echter wel mogelijk zijn om te kijken naar een bepaalde overgangperiode – zoals ook in andere allocatieregels wordt meegenomen. Bovendien, als mitigatiebeleid uitblijft en men in de toekomst deze berekeningen opnieuw doet met een later startjaar, drukt dit principe in feite een extra stempel op de resultaten. De controverse van dit principe is in meer detail besproken in kader 3.2. Het is belangrijk op te merken dat wanneer het klimaatbeleid mondiaal niet wordt aangescherpt voor 2030, zelfs deze allocatieregul tot meer dan 95% reductie leidt in 2040 voor Nederland.

Het principe van continuïteit speelt ook een rol in de *Per capita convergentie*-allocatieregul (donkerblauw), waarbij gestart wordt met huidige emissies, maar naar een gelijke per-capita-verdeling wordt toegewerkt. Aangezien Nederland gemiddeld per hoofd meer uitstoot dan het mondiale gemiddelde, daalt deze lijn sterker dan de oranje lijn, uitkomend op 42-73% in 2030 en 76-98% in 2040. Deze regul convergeert langzaam naar de gele lijn, die een *Onmiddellijk per capita* allocatie weergeeft en zich volledig baseert op het gelijkheidsprincipe: ieder persoon op aarde dezelfde hoeveelheid emissies. Deze regul is discontinu – dat wil zeggen dat de gele lijn niet aansluit op de historische emissies (zwart) in 2021 (i.e., het startjaar van deze analyse). De reden is dat het rechtvaardig gevonden kan worden om een principe (in dit geval 'gelijkheid') meteen, en dus discontinu toe te passen. Alhoewel dergelijke discontinue reductie tot extreme reductiedoelen in een kort tijdsbestek kunnen leiden, wordt in de literatuur gesuggereerd dat dit zou kunnen worden gerealiseerd middels het reduceren van emissies in het buitenland (bijvoorbeeld via Artikel 6 van het klimaatverdrag). Anderzijds kan men het ook juist rechtvaardiger vinden dat er een transitieperiode is (zoals in de *Per capita convergentie* regul). Robiou du Pont (2023) merken op dat de keuze voor een transitieperiode heel expliciet moet worden gemaakt, dat die in wezen ook normatief is en behoorlijk uitmaakt voor de uitkomsten van korte-termijnallocaties (zie ook Kartha et al., 2018 en Knight, 2013). In 2040 is *Onmiddellijk per capita* niet de meest strenge regul voor Nederland (82-98% reductie in 2040 bij 1,5°C), wat misschien weinig-intuïtief lijkt. Dit is echter het gevolg van de hele forse reducties op de korte termijn (55% voor 2025).

Zonder emissiesprong wordt het alloceren van emissie naar het principe van gelijkheid vaak middels een budget gedaan. Het mondiale CO₂-budget wordt verdeeld naar inwoneraantal en dan wordt dat vanaf huidige emissies in een lineaire trend naar CO₂-neutraal per land over de tijd uitgesmeerd. Nederland zou dan tussen 2030 en 2035 CO₂-neutraal zijn (afhankelijk van aannames rond niet-CO₂, wat het CO₂-budget sterk beïnvloedt). Dit is in lijn met Fekete et al. (2022), al gebruiken zij een iets strenger mondiaal temperatuurdoel (1,5°C, 67% kans), wat hun reductiedoelen voor Nederland iets strenger maakt. Als we niet-CO₂-emissies (naargelang een *Per capita convergentie* methode) bij deze lineair trend zouden optellen, krijgen we de allocatieregels *Per capita via budget* (bruin in figuur 4.1), met 57-90% reductie in 2030 en 84-95% reductie in 2040 (voor 1,5 °C).

Wanneer men kijkt naar allocatieregels die gebaseerd zijn op de principes van verantwoordelijkheid en vermogen tot reductie, dan worden de reductiedoelen strenger, met name in 2040. De allocatieregels *Reductie naar welvaart* (lichtblauw) is grotendeels gebaseerd op het bruto nationaal product per capita: landen die vermogender zijn zouden meer moeten reduceren. In 2030 zijn de verschillen tussen *Reductie naar welvaart* en *Onmiddellijk per capita* (geel) nog relatief klein, maar met name bij een klimaatdoel van 1,5°C gaan deze vermogensverschillen tussen landen zwaarder wegen op Nederland: 93-118% reductie in 2040, dus rond of ruim voorbij netto nul.

Een allocatieregels die de rechtvaardigheidsprincipes van verantwoordelijkheid en gelijkheid combineert, is *Historisch-cumulatief per capita* (groen), die het historische en toekomstige aandeel in de wereldemissies kwantificeert door te kijken naar cumulatieve populatie, en vervolgens bekijkt wat het land in het verleden al heeft uitgestoten. Voor sommige landen is dit dus een negatief getal: het land heeft al verbruikt waar het volgens deze regel recht op had. Opnieuw zien we een sterk dalende grafiek, leidend tot 89-147% reductie in 2040. Die bandbreedte is groot vanwege de eerder genoemde keuzes in het meenemen van historische emissies.

Een laatste allocatieregels wordt *Recht op duurzame ontwikkeling* (Engels: *Greenhouse development rights*) genoemd en is een uitschieter in deze analyse, leidend tot diep negatieve emissies (>100% emissie reducties) al in 2030. De regels is gebaseerd op de *Responsibility-Capability Index (RCI)*, gepubliceerd door EcoEquity en het Stockholm Environment Institute, waarin, zoals de naam suggereert, verantwoordelijkheid en vermogen om te mitigeren worden gecombineerd – twee principes die de reductiedoelen groots aanscherpen.

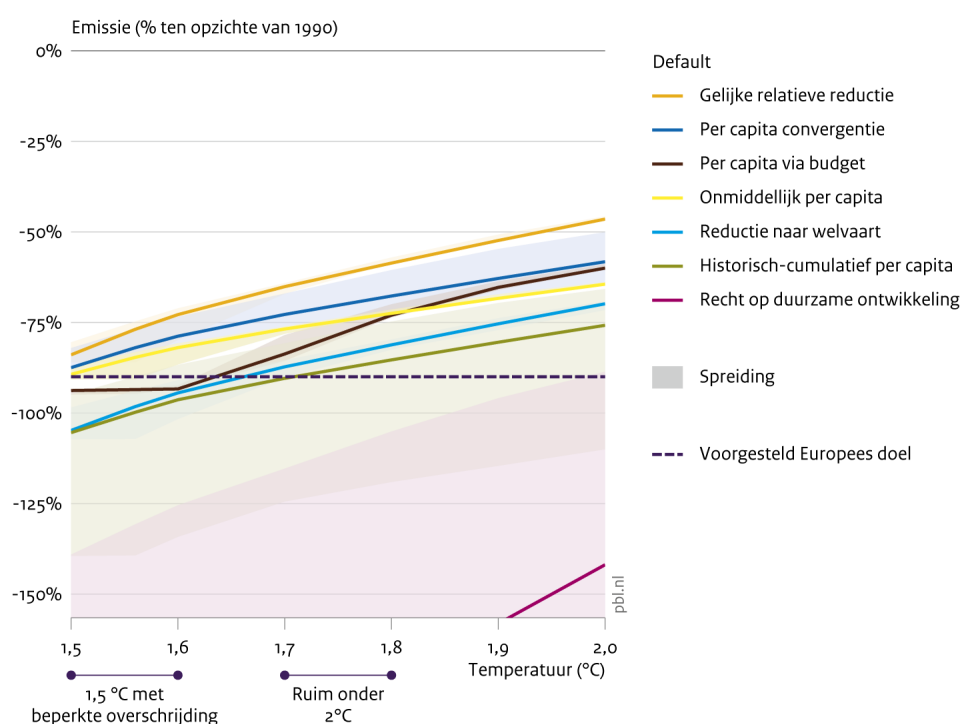
Concluderend is er dus niet één rechtvaardig reductiedoel voor Nederland. De rechtvaardigheidsprincipes (hoofdstuk 3) leiden bij kwantificering tot een breed spectrum aan reductiedoelen met bijbehorende onzekerheden. Primair is dit afhankelijk van wat men als ‘rechtvaardig’ beschouwt, maar van belang is ook de interpretatie van de Parijsdoelen voor de mondiale emissietrend. Gesteld kan worden dat diepere emissiereducties ertoe leiden dat aan steeds meer rechtvaardigheidsprincipes kan worden voldaan. Voor het 1,5 °C-doel specifiek geldt dat de allocatieregels die leiden tot minder dan 90% emissiereductie, als snel in strijd zijn met rechtvaardigheidsprincipes. Dit geldt zeker voor de *gelijke relatieve reducties*, maar bij de *onmiddellijke per capita-regels* geldt als extra voorwaarde dat op korte termijn geïnvesteerd moet worden in veel emissiereductie in het buitenland en bij de *per capita convergentie-regels* geldt dat dit mogelijk op korte termijn tot oneerlijke uitkomsten leidt.

Vergelijking van allocaties en huidige doelstellingen

In figuur 4.1 hebben we al laten zien dat de uitkomst van de allocatieregels ook afhangt van de mondiale ambitie van klimaatbeleid. Figuur 4.2 vat dit samen en laat zien hoe de reductiedoelen uit de allocatieregels afhangen van keuzes van de mondiale temperatuur (voor allerlei mondiale doelen tussen 1,5°C en 2,0°C). De algemene trend is intuïtief: hoe strenger het mondiale temperatuurdoel (horizontaal naar links), hoe dieper de benodigde reductie voor Nederland in 2040 (verticaal naar beneden). Ter illustratie staat hier 90% reductie in een stippellijn gemarkeerd als het Europese doel voor 2040.

Figuur 4.2

Verandering van broeikasgasemissies in Nederland per allocatieregule voor verschillende klimaatdoelen, 2040



Bron: PBL

Broeikasgasreductiedoelen in 2040 voor Nederland, berekend via de zeven allocatieregels. Default-waarden en onzekerheidsmarges als in figuur 4.1. Reducties zijn getoond voor verschillende piektemperatuurdoelen (elk met 50% risico van overschrijding) op de horizontale as: een hoger temperatuurdoel impliceert minder diepe reducties in de allocatieregels. Ter illustratie is 90% emissiereductie voor Nederland gemarkeerd als 'vertaling' van het Europese voorgestelde doel. De mondiale paden die gebruikt zijn in veel plekken in dit rapport, naargelang '1,5°C met beperkte overschrijding' en 'Ruim onder 2,0°C' staan op de horizontale as aangegeven.

Elke allocatieregule voor Nederland wordt minder streng als het mondiale klimaatdoel schuift richting de 2,0 °C. Terwijl bij sommige allocatieregels een 90% reductie in Nederland (stippellijn) voldoende is, geldt dat voor de meeste andere regels meer dan 90% reductie nodig is voor de laagste temperatuurdoelen (helemaal links). Merk op dat de *Per capita via budget* regel vrijwel vlak is rond 1,5-1,6°C, wat komt doordat de regel dan al CO₂ neutraal is, en geen negatieve CO₂ emissies worden

gealloceerd in deze regel (en er dus slechts een positief niet-CO₂ deel overblijft). De *Recht op duurzame ontwikkeling* regel leidt tot zeer diepe emissie reducties voor Nederland.

4.3 Vergelijking met andere landen

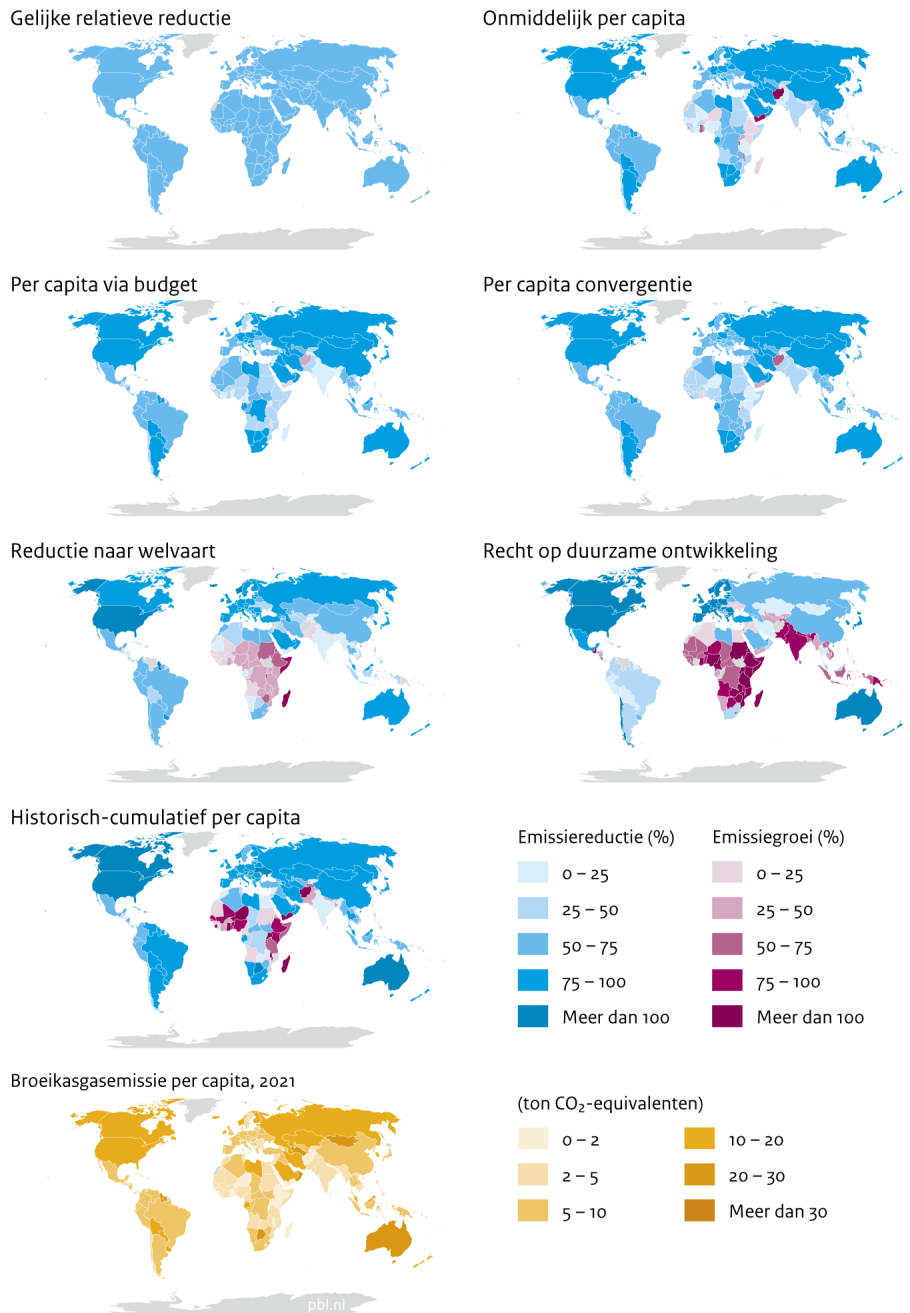
De allocatieregels hebben per definitie een mondiale context. Niet alleen omdat ze afhankelijk zijn van doelen die op mondiaal niveau uitwerken (zie figuur 4.2), maar ook omdat ze redeneren vanuit een distributieoogpunt: als Nederland minder hoeft te reduceren, moeten anderen landen meer doen (bij een gegeven temperatuurdoel). De implicaties van elke regel in andere landen is dan ook iets om mee te nemen in de beleidsafweging van het Nederlandse reductiedoel. Alhoewel in hoofdstuk 5 de haalbaarheidsvraag slechts op Nederland is gefocust, speelt die natuurlijk in de internationale context ook een rol: bij zeer diepe reducties in Nederland geldt dat dit mogelijk voorbijgaat aan het haalbare (binnenlandse) reductiepotentieel maar bij beperkte reductie in rijke landen, zoals Nederland, geldt dit bij arme landen dus juist andersom.

De implicaties van de allocatieregels in 2040 zijn weergegeven in figuur 4.3 (als verandering ten opzichte van 2021-emissies). Alhoewel de temperatuurafhankelijkheid van de reductiedoelen universeel is (figuur 4.2) – dat wil zeggen, voor elk land worden reductiedoelen strenger bij een ambitieuzer interpretatie van het Parijsakkoord – is de ordening (bijv. de meest gunstige) die we zien in de allocatieregels en daarmee rechtvaardigheidsprincipes dat niet. Voor Nederland zagen we dat de allocatieregels die hoorden bij de principes van continuïteit een relatief mild reductiedoel stelden, terwijl allocatieregels over verantwoordelijkheid en vermogen veel diepere reducties impliceerden. Allocatieregels op basis van gelijkheid zaten daar tussenin. Voor veel landen in Afrika is dat ongeveer gespiegeld, en India heeft vooral veel baat bij regels op een *per capita*-basis door het hoge bevolkingsaantal in India. Merk op dat figuur 4.3 nog veel landen bevat die emissiegroei in plaats van reductie hebben naar 2040 toe. Ook is zichtbaar dat landen in Europa en Noord-Amerika in geen van de allocatieregels hun emissies kunnen laten groeien tot 2040.

Het is belangrijk vast te stellen dat verschillende landen dus baat hebben bij andere allocatieregels. In internationale onderhandelingen is rechtvaardigheid bij het vaststellen van nationale ambities dan ook een cruciaal punt. Dit speelde in sterke mate bij eerdere pogingen om bindende doelen af te spreken, maar ook nog steeds bij de nationale bijdragen aan het Parijsakkoord. Hoewel het Parijsakkoord dus stelt dat landen zelf hun bijdrage kunnen bepalen, verwacht het akkoord ook dat landen bijdragen aan het mondiale doel en rekening houden met rechtvaardigheid. Zeker nu de gezamenlijke reducties nog onvoldoende zijn, zijn discussies over de verdeling dus cruciaal. De concepten van vermogen (of welvaart, ‘*capability*’) en verantwoordelijkheid (‘*responsibility*’) zijn internationaal aanvaarde concepten die in deze context richting kunnen bieden. Maar over de details – zoals welke allocatieregels dan gebruikt zouden moeten worden, en over de invulling van bijbehorende keuzes en onzekerheden – is geen consensus (zie ook 4.4 over hoe voor dezelfde rechtvaardigheidsprincipes verschillende methodieken kunnen worden toegepast). Aangezien landen dus een voorkeur zullen hebben voor tegengestelde verdelingsprincipes, zal een compromis mogelijk een reden zijn om meer te reduceren dan op basis van de eerste voorkeur.

Figuur 4.3

Emissieverandering broeikasgassen per allocatieregels voor 1,5 °C met beperkte overschrijding, 2021 – 2040



Bron: PRIMAP database, PBL

De kaart laat zien wat de allocatieregels impliceren in de gehele wereld, in 2040: paars wijst op een emissiegroei tussen 2021 en 2040; blauw een emissiereductie. Alle cijfers zijn voor het default 1,5 °C-pad (zie hoofdstuk 2) en de default allocatieregeloptyes (zie tabel 4.1).

4.4 Onzekerheden en vergelijking met andere publicaties

In dit rapport is getracht een breed scala aan keuzes, onzekerheden, allocatieregels en mondiale emissiepaden mee te nemen, om daarmee de bandbreedte te illustreren waarbinnen de discussie over rechtvaardige reductiedoelen zich kan bevinden. We hebben hierbij getracht zo min mogelijk ‘eigen keuzes’ te maken, al zijn bepaalde keuzes in methodiek onvermijdelijk. Het gevolg van het brede palet is dat de berekeningen van andere rapporten en wetenschappelijke publicaties over hetzelfde onderwerp meestal binnen de in dit rapport beschreven bandbreedten vallen. Ook betekent dit brede palet dat de spreiding soms groot is (zie figuur 4.1), maar dit is illustratief voor de verscheidenheid aan perspectieven (zowel normatieve en fysisch/economische) in de context van reductiedoelen en rechtvaardigheid. Daarnaast zijn er ook een aantal methodologische verschillen aan te wijzen die verklaren waarom studies rond emissiedoelen voor Nederland en Europa van elkaar verschillen. In deze paragraaf gaan we in op de drie belangrijkste methodologische verschillen die er bestaan bij dit onderwerp – ook in relatie tot enkele bekende publicaties in dit veld.

Mondiale emissiepaden

De eerste factor waar methodologische verschillen ontstaan is de constructie van het mondiale emissiepad. Dat heeft grote invloed op Nederlandse reductiedoelen – immers, hoe meer de wereld moet reduceren, hoe meer Nederland dat ook moet doen (zoals ook beschreven in Hoofdstuk 2). In ons rapport hebben we ervoor gekozen om niet alleen CO₂, maar ook niet-CO₂-emissies mee te nemen (zoals ook gebeurt in de Klimaat- en Energieverkenning), inclusief landgebruik. De keuze om ook niet-CO₂ mee te nemen maakt de analyse vollediger, maar ook complexer: er moeten mondiale emissiepaden voor deze gassen worden geconstrueerd, die een stuk onzekerder zijn, met name als landgebruik wordt toegevoegd. Ook is voor een land als Nederland, waar niet-CO₂-emissies van groot belang zijn voor het totaal, een reductie puur in CO₂-emissies van een andere orde dan wanneer men ook niet-CO₂ meeneemt. Merk ook op dat er impliciet altijd naar niet-CO₂ gekeken moet worden: als niet-CO₂-emissies hoog blijven de komende decennia, krimpt het koolstofbudget sterk. Deze variatie hebben wij meegenomen, maar niet alle studies zijn expliciet over hun aannames rondom niet-CO₂ of maken hierin andere keuzes, wat dus leidt tot een ander koolstofbudget.

Naast de keuze van welke gassen te beschouwen, is er de precieze invulling van de Parijsdoelen. In hoofdstuk 2 worden de verschillen tussen berekeningen van koolstofbudgetten uitgelegd. Welke budgetten precies gebruikt worden kan dus per studie verschillen. In dit rapport sluiten we aan bij het IPCC WGIII-rapport, zowel in termen van niet-CO₂ als in de CO₂-budgetten. Maar dan nog zijn verschillende paden over de tijd mogelijk. Sommige studies trekken bijvoorbeeld een lineaire lijn naar beneden vanaf de huidige emissies naar het netto-nul-CO₂-jaar, waarbij cumulatief het geheel netjes sommeert tot het te spenderen koolstofbudget. Het rapport uit 2021 van het NewClimate instituut (Fekete et al. 2022) over Nederland doet dit bijvoorbeeld, en telt hier vervolgens een statisch niet-CO₂-pad bij op. Wij doen dit voor de *Per capita via budget*-regel. Maar andere allocatieregels, maar ook het recente rapport van de ESABCC (2023) en wetenschappelijke literatuur (Robiou du Pont et al., 2017; Holz et al., 2018; Pan et al., 2017; Van den Berg et al., 2020), maken gebruik van bestaande paden gebaseerd op mitigatiescenario's uit IPCC AR6 WGIII, wat geen rechte lijn naar beneden is, maar, door het dunder worden van mitigatie naarmate netto-nul dichterbij komt, juist een curve heeft. De vorm van deze curve is dan vaak gebaseerd op kostenoptimale (socio-)economische modellen. Ook deze keuze is van invloed op de 2030- en 2040-doelen.

Een ander aspect in de mondiale emissiepaden dat kan verschillen is vanaf wanneer het 'rechtvaardig' alloceren van emissies start. Sommige studies refereren naar het Parijsakkoord (2015) als het startpunt vanwaar dit soort berekeningen moeten plaatsvinden (European Scientific Advisory Board on Climate Climate). Andere studies zijn simpelweg ouder en hebben daarom een eerder startjaar (2010 in Van den Berg et al. 2020). Andere zelfs vanaf 1990, het jaar van het eerste IPCC-rapport (FAR, 1990). Dit is dan ook deels een normatieve keuze, maar een eerder startpunt levert doorgaans wel strengere reductiedoelen op voor Nederland. Wij hebben in dit rapport gekozen voor 2021, wat gezien de beschikbaarheid van de benodigde databronnen het meest recente jaar mogelijk is. Gerelateerd hieraan is of allocaties moeten starten bij huidige emissieniveaus, of dat er een 'sprong' in emissies mogelijk is – zoals geïllustreerd in de *Onmiddellijk per capita*-regel en bediscussieerd in Robiou du Pont et al. (2023).

Als laatste, wat ook al geïllustreerd is in figuur 4.2, is er een sterke temperatuurafhankelijkheid van al deze berekeningen: de precieze invulling van het klimaatdoel maakt uit. Studies gaan hier ook verschillend mee om. Wij laten in ons 1,5°C-emissiepad een beperkte overschrijding toe – dit is niet zozeer een aanbeveling maar slechts een manier om consistent te zijn met de in IPCC gebruikte emissiepaden – wat resulteert in een piektemperatuur van 1,56°C (gemiddelde van IPCC AR6 WGIII categorie C1 scenario's). Andere studies, zoals Fekete et al. (2022) en Van den Berg et al. (2020), doen dit niet en gebruiken lagere koolstofbudgetten (1,5°C bij 67%-kans) – wat de reductiedoelen in 2030 en 2040 drukt. Het ESABCC bepaalt het globale pad op basis van een selectie van IPCC WGIII-scenario's, wat in de praktijk vrijwel overeenkomt met, of net iets strenger is, dan wat in dit rapport is gedaan.

Kader 4.1: Effect van keuzes rond timing van mondiale emissie reductie

In de analyse hebben we gekeken naar twee emissiepaden: een die overeenkomt met een piektemperatuur van 1,5°C met een kleine tijdelijke overschrijding, en een die ruim onder de 2°C blijft. De nationale doelen hangen direct samen met het mondiale doel zoals getoond in figuur 4.2. Het huidige mondiale beleid is niet consistent met deze doelen – en zonder een spoedige aanscherping is dus sprake van een overschrijding van de doelen. Hier bespreken we kort de gevolgen van het accepteren van een vertraging van klimaatbeleid wereldwijd voor rechtvaardige doelen in Nederland. Wanneer de huidige doelen voor 2030 maar beperkt worden aangescherpt en nog steeds wordt gestreefd naar '1,5°C- met een kleine tijdelijke overschrijding' is in 2040 een veel diepere reductie nodig. In dat geval zou zelfs bij gelijke relatieve reducties het emissiereductiedoel meer dan 95% zijn. Wanneer een grotere overschrijding wordt toegestaan (zie hoofdstuk 2) zou de reductie in 2040 minder zijn en schuift ook de rechtvaardige range voor Nederland naar iets minder diepe reducties (ongeveer 15% wereldwijd). Echter, in dat geval zijn aanzienlijk meer negatieve emissies nodig op de lange termijn – en is sprake van ernstigere klimaateffecten.

Allocatieregels

Uiteraard is een dominant verschil tussen studies de keuze in allocatieregels die worden toegepast. In tabel 4.2 staat een overzicht van welke allocatieregels zijn toegepast in verschillende studies. Wij hebben een breed palet meegenomen en daarin Van den Berg et al. gevolgd (op enkele uitbreidingen en updates na), maar niet alle publicaties maken dezelfde keuzes daarin. Merk ook op dat wij ervoor gekozen hebben om *Gelijke relatieve reductie* ook door te rekenen en, met de context over diens controversie, naast de andere allocatieregels te zetten. De andere genoemde publicaties doen dit meestal niet om de redenen genoemd in Kader 3.2. Rajamani et al. (2021) start met een

overzicht van het volledige literatuurspectrum, en maakt vervolgens een inschatting van welk deel van dit spectrum consistent is met beginselen van het internationale milieurecht en het Parijsakkoord wat enkele doorrekeningen, bijvoorbeeld op basis van continuïteit, afstreept. De ESABCC onderscheidt ‘Equality’, ‘Polluter pays’ en ‘Ability to pay’, die qua principes overeenkomen met enkele van onze methoden, maar op heel andere manieren zijn bepaald. Het NewClimate-rapport over Nederland uit 2022 herrapporteert de bevindingen van Rajamani (hun zgn. ‘full fair share’-methode), en voegen ook een eigen methode toe vanuit een per-capita-perspectief, analoog aan hoe ESABCC die berekent.

Tabel 4.2: Allocatieregels meegenomen in enkele geselecteerde studies, vergeleken met de regels in dit rapport

Allocatieregels	Dit rapport	Van den Berg et al. (2020)	ESABCC (2023)	Rajamani et al. (2021)	Fekete et al. (2022); NewClimate
Onmiddellijk per capita	X	X		X*	
Per capita via budget	X		X*	X*	X
Per capita convergentie	X	X			
Gelijke relatieve reductie	X	X			
Verdeling naar welvaart	X	X	X*	X*	
Historisch-cumulatief per capita	X	X	X*	X*	
Recht op duurzame ontwikkeling	X	X		X*	

Cellen met een asterisk (*) markeren allocatieregels die in een andere vorm, maar met dezelfde principes zijn toegepast. De selectie van studies hier is niet volledig.

Standaardwaarden en overige onzekerheden

Zelfs als twee studies dezelfde allocatieregels gebruiken, kunnen er grote verschillen ontstaan door de variatie in databronnen. Bijvoorbeeld in welke socio-economische scenario's worden gebruikt voor populatieprojecties en toekomstige baseline-emissies. In dit rapport variëren we langs alle Shared-Socioeconomic Pathways (SSPs), maar in Van den Berg et al. (2020) wordt bijvoorbeeld alleen SSP2 beschouwd. Zelfs historische emissies verschillen. Zo hebben wij historische emissies voor Nederland geharmoniseerd met de Klimaat- en Energieverkenning (KEV 2023), maar waren duidelijke verschillen zichtbaar met internationaal gebruikte emissiedatabases zoals de PRIMAhist-dataset (gebruikt hier voor andere landen en ook door o.a. Rajamani et al. 2022). Standaardwaarden binnen allocatieregels, ook soms normatief, zijn ook een bron van verschillen tussen studies (zoals bijvoorbeeld het startjaar bij historische verantwoordelijkheid). Er zijn meer voorbeelden van dergelijke ‘standaardwaarden’ binnen allocatieregels die kunnen verschillen.

5 Discussie: de haalbaarheid van diepe emissiereducties

5.1 Methoden om haalbaarheid te beoordelen

De Parijsdoelen vereisen forse emissiereducties. Voor rijke landen kunnen de overwegingen rond rechtvaardigheid zelfs leiden tot reductiedoelen van meer dan 100 procent. Nationale invulling van dergelijke doelen betekent netto vastlegging van emissies, bijvoorbeeld door aangroei van bos of het permanent opslaan van uit de lucht gehaalde CO₂ in de ondergrond. Een alternatieve invulling is het financieren van emissiereductie in andere landen, zoals besproken wordt in hoofdstuk 6. De vraag dringt zich op in hoeverre dergelijke diepe emissiereducties op Nederlands grondgebied haalbaar zijn binnen een termijn van slechts vijf tot 25 jaar. Wetenschappers pogen dit systematisch te beoordelen. Het gaat hierbij onder meer om de vraag of reducties technisch te verwezenlijken zijn. Bijvoorbeeld: bestaat de technologie om deze reductie mogelijk te maken al, of is het aannemelijk dat deze op afzienbare termijn ontwikkeld wordt? Maar ook gaat het bijvoorbeeld om de vraag of er voldoende bio-energie beschikbaar is, of speciale metalen en mineralen die noodzakelijk zijn voor hernieuwbare technologieën (de geofysische dimensie). Er zijn ook economische grenzen aan haalbaarheid, bijvoorbeeld wanneer de kosten van reducties te hoog worden. En er spelen vragen rond de mate waarin een samenleving veranderingsprocessen kan implementeren (institutionele dimensie) en of er sprake is van voldoende maatschappelijke steun (maatschappelijke dimensie). Of een bepaald emissiereductiedoel haalbaar is, hangt dus af van een reeks van factoren.

Tabel 5.1
Dimensies van haalbaarheid

Dimensie	Definitie
Geofysisch	De geofysische dimensie omvat de beschikbaarheid van hulpbronnen voor de vereiste transformaties. Het gaat dan bijvoorbeeld om oppervlakte van land en zee, hoogteverschillen en beschikbaarheid van grondstoffen zoals metalen.
Technisch	De technische dimensie geeft aan of er voldoende technische mogelijkheden zijn om aan de transformatiedoelstelling te voldoen, bijvoorbeeld of de benodigde technologie al is ontwikkeld.
Economisch	De economische dimensie geeft weer of economische omstandigheden de maatschappelijke veranderingen ondersteunen of begrenzen. Hierbij gaat het om de kosten van mitigatie en de investeringsbehoeften, maar ook om de arbeidsmarkt.
Institutioneel	De institutionele dimensie weerspiegelt de capaciteit van een samenleving om de transformatie bestuurlijk vorm te geven.
Maatschappelijk	De maatschappelijke dimensie (ook wel sociale of sociaal-culturele dimensie) geeft weer in welke mate er sprake is van maatschappelijk draagvlak. Dit hangt vaak nauw samen met de perceptie van de eerlijkheid van maatregelen. Als bepaalde reducties als oneerlijk of niet haalbaar worden gezien, zal het draagvlak snel afnemen.

Gebaseerd op IPCC (2018), Brutschin et al. (2021) en Steg et al. (2022).

In de volgende paragraaf presenteren we een aantal overwegingen gerelateerd aan de bovenstaande haalbaarheidsdimensies, specifiek voor emissiereducties in Nederland.

5.2 Overwegingen bij geofysische en technische haalbaarheid

In deze paragraaf bekijken we reductiepaden in lijn met huidige ambities van het beleid in vergelijking met snellere reductiepaden. We bespreken we vervolgens de haalbaarheid van dergelijke snellere reducties. We gaan nu eerst in op de technische en geofysische dimensies van haalbaarheid.

In deze analyse nemen we aan dat de transitie in Nederland niet ten koste mag gaan van de transitie in andere landen. Dat betekent dat Nederland een evenredige bijdrage levert aan de mondiale emissiereductie, zonder een onevenredig groot beslag te leggen op het internationale aanbod van bijvoorbeeld biograndstoffen, waterstof of arbeid. Tegelijk veronderstellen we dat Europa (en in mindere mate de rest van de wereld) een vergelijkbaar reductiepad doorloopt als Nederland. Met name de economische, institutionele en maatschappelijke dimensies van haalbaarheid worden sterk beïnvloed door interacties met de omliggende landen.

Klimaatdoelen voor 2030 en 2050 lijken geofysisch en technisch haalbaar

Het 2030-doel van het kabinet Rutte-IV (inmiddels in de Klimaatwet vastgelegd als ten minste 55 procent emissiereductie in 2030 ten opzichte van 1990) is door het PBL eerder gekwalificeerd als grenzend aan ‘wat praktisch maximaal te realiseren is’. Hierbij wordt uitgegaan van min of meer gelijkblijvende economische structuur (PBL 2021). Hoewel er in principe voldoende beleidsplannen zijn om in 2030 de 55 procent reductie te halen, moet een belangrijk deel van deze plannen nog concreet worden uitgewerkt. Bovendien moeten allerlei onzekere factoren zodanig uitvallen dat ze tot maximale emissiereductie leiden (PBL et al. 2023).

Uit nieuw PBL-onderzoek, dat in april 2024 verschijnt, concluderen we dat een lineair reductiepad van 55 procent emissiereductie in 2030 ten opzichte van 1990 naar klimaatneutraliteit in 2050 – onder een aantal belangrijke randvoorwaarden – waarschijnlijk geofysisch en technisch gerealiseerd kan worden, zelfs inclusief het Nederlandse deel van de internationale lucht- en scheepvaart (PBL 2024). Gedrag- en consumptiepatronen kunnen daarbij grotendeels gelijk blijven en de impact op het nationaal inkomen zal naar verwachting beperkt zijn. De uitvoeringsopgave is echter wel zeer groot, bijvoorbeeld als het gaat om CO₂-vrije elektriciteitsproductie, energie-infrastructuur en de gebouwde omgeving. Ook vereist dit lineaire reductiepad ingrijpende toenames van CO₂-opslagcapaciteit en van de productie van biograndstoffen en groene waterstof.

Deze bevindingen zijn op de meeste punten consistent met de resultaten van eerdere scenariostudies over het Nederlandse energiesysteem in 2050, die een CO₂-neutraal of klimaatneutraal energiesysteem in 2050 beschrijven (TNO 2022; NBNL 2023; Expertteam Energiesysteem 2022). Deze sterk verschillende studies, die op hun beurt weer uit meerdere scenario's bestaan, laten zien dat er verschillende routes zijn die naar klimaatneutraliteit leiden.

Kader 5.1: Haalbaarheid klimaatneutraliteit o.b.v. studies uit andere landen

Meer dan honderd landen, waaronder de meeste EU-landen, hebben zich gecommitteerd aan het behalen van klimaatneutraliteit – vaak in of rond het jaar 2050. In verschillende landen zijn ook scenariostudies uitgevoerd om te onderzoeken hoe klimaatneutraliteit gerealiseerd kan worden. Gezamenlijk geven deze studies daarmee een inkijkje in de haalbaarheid van klimaatneutraliteit in 2050 of zelfs eerder. Vooral de geofysische en technische haalbaarheid wordt in deze studies beschouwd.

Het valt op dat aannames over onder meer de energievraag, geïnstalleerd hernieuwbaar of CO₂-vrij energieproductie vermogen en de beschikbaarheid van grondstoffen sterk uiteenlopen. Toch blijkt onder al deze voorwaarden een route naar klimaatneutraliteit mogelijk te zijn. Welke route uiteindelijk gevolgd wordt heeft consequenties voor burger, economie en leefomgeving. ‘Trajecten met beperkingen op het gebied van consumentengedrag, landgebruik, gebruik van biomassa en technologische keuzes (bijvoorbeeld geen kernenergie) voldeden aan de doelstelling, maar tegen hogere kosten,’ concluderen Williams et al. (2021) in een scenariostudie voor de VS. Een Franse studie benoemt dat de druk op natuurlijke hulpbronnen aanzienlijk verschilt per scenario (ADEME 2022). Verder zijn er diverse studies bekend voor klimaatneutraliteit in 2050 voor de EU (Europese Commissie 2018; Europese Commissie 2020; Europese Commissie 2024). In Duitsland bestaan studies naar klimaatneutraliteit richting 2045 (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut 2021; Fraunhofer ISE 2021; Forschungszentrum Jülich 2023) inclusief een bredere meta-analyse van verschillende scenario’s (Wiese et al. 2021). Tot slot kent ook het Verenigd Koninkrijk een gezaghebbende studie naar klimaatneutraliteit in 2050 (CCC 2020).

Nederland heeft voor- en nadelen ten opzichte van deze landen. Als nadelen gelden dat Nederland dichtbevolkt is (ongunstig voor de verhouding van hernieuwbare energie tot de energievraag), weinig bosareaal heeft en forse emissies heeft die niet CO₂ zijn, gerelateerd aan de grote landbouwsector. Maar Nederland heeft ook voordelen ten opzichte van andere landen: het beschikt over een groot oppervlak aan ondiepe zee en toegang tot een groot volume aan lege gasvelden. Vooralsnog nemen we hier aan dat Nederland niet in een uitgesproken gunstige of ongunstige positie verkeert ten opzichte van andere landen. We leiden uit deze veelheid aan studies dan ook af dat voor Nederland waarschijnlijk vele routes naar klimaatneutraliteit in of rond 2050 in technologisch en geofysisch opzicht mogelijk zijn.

Geofysische en technische grenzen van haalbaarheid komen in zicht

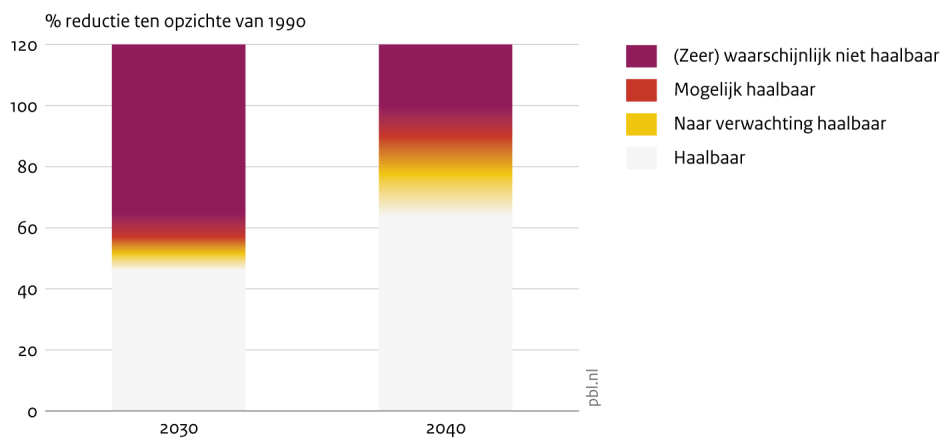
Het PBL heeft nog geen gerichte scenariostudie gedaan naar verdere versnelling ten opzichte van het lineaire pad van 55 procent reductie in 2030 naar klimaatneutraliteit in 2050. Mogelijke aanscherpingen van het beleid leiden tot beperkte extra reductie in 2030, maar risico’s van *carbon leakage* worden dan wel groter (PBL, 2023a). Voorlopige modeluitkomsten van na 2030 suggereren dat met een versneld reductiepad tot 90 procent emissiereductie² in 2040 mogelijk zou kunnen

² 90% emissiereductie in 2040 ten opzichte van 1990 correspondeert met een restemissie van 23 megaton CO₂-equivalenten in 2040.

zijn. Een dergelijk reductiepad benadert echter in vrijwel alle opzichten de technologische en geofysische grenzen in Nederland. In Figuur 5.1 is de technische en geofysische haalbaarheid van verdergaande emissiereducties indicatief weergegeven. Dit is gebaseerd op PBL et al. (2022; 2023) en PBL (2023a; 2024). De haalbaarheid is in 2040 minder zeker dan in 2030. In figuur 5.1 is dit te zien doordat de omvang van de emissiereductie die ‘naar verwachting haalbaar’ is of ‘mogelijk haalbaar’ is, in 2040 een stuk groter is dan in 2030. We benadrukken dat dit gaat om de geofysische en technische haalbaarheid van reducties, nog zonder te kijken naar de economische, institutionele en maatschappelijke dimensies .

Figuur 5.1

Geofysische en technische haalbaarheid van emissiereductie



Bron: PBL

Indicatieve weergave van geofysische en technische haalbaarheid van emissiereducties in 2030 en 2040.

Kader 5.2: Haalbaarheid klimaatneutraliteit Duitsland in 2045

Omdat Duitsland zijn doelstelling voor klimaatneutraliteit naar voren heeft gehaald van 2050 naar 2045 zijn er ook studies beschikbaar die de gevolgen van een dergelijke versnelling van de transitie hebben geanalyseerd (Fraunhofer-ISE 2021; Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut 2021; Forschungszentrum Jülich 2023). Hoewel de nieuwe doelstelling in Duitsland volgens deze onderzoeken haalbaar wordt geacht, lijken de grenzen van haalbaarheid ook daar in zicht te komen. De afhankelijkheid van verschillende randvoorwaarden wordt door de versnelling nog groter (Fraunhofer-ISE 2021), oftewel 'alles moet op zijn plek vallen'. Een voorwaarde is bovendien dat er voldoende maatschappelijk draagvlak is (Forschungszentrum Jülich 2023).

- 'Klimaatneutraal Duitsland 2045' laat zien dat een versnelde en alomvattende inzet van klimaatvriendelijke technologieën in combinatie met een krachtig klimaatbeleid ervoor zal zorgen dat Duitsland al in 2045 een klimaatneutrale economie kan realiseren en kan bijdragen aan internationale klimaatactie via netto negatieve emissies vanaf 2045. Om dit te realiseren is het niet nodig om de technologiepaden aan te passen voor nul-emissies in 2050. De transformatie van het energiesysteem moet alleen sneller plaatsvinden. Het zal met name nodig zijn om het tijdschema voor de vervanging van bepaalde machines en installaties te versnellen' (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut 2021).

- 'Op basis van onze analyse van de berekeningen die voor 2050 zijn uitgevoerd, zullen aanvullende emissiereducties op het gebied van landbouw en afval vrijwel onmogelijk zijn. Bovendien lijkt in zowel de transport- als de bouwsector slechts 5 miljoen ton extra reductie haalbaar. Wij zijn daarentegen van mening dat het mogelijk is om grotere e/extra besparingen te realiseren in de industrie- en energiesector – respectievelijk 17 en 77 Mt CO₂eq.' (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut 2021).

- 'De transformatie van het Duitse energiesysteem naar broeikasgasneutraliteit in 2045 is technisch en systemisch haalbaar. Het vereist echter snelheid op alle niveaus en voortaan vrijwel uitsluitend investeringen in doelcompatibele technologieën. Modelgebaseerde berekeningen van het Duitse energiesysteem laten ook zien dat de aangepaste klimaatdoelstellingen van de federale overheid haalbaar zijn. Volgens deze doelen resteren er nog 24 jaar om broeikasgasneutraliteit te bereiken. De verschillende berekeningen laten zien dat de weg naar broeikasgasneutraliteit nog meer beïnvloed wordt door gunstige of beperkende randvoorwaarden, doordat er kortere tijd is om het energiesysteem om te bouwen' (Fraunhofer-ISE 2021).

- 'Een fundamentele herstructurering van de Duitse energievoorziening is in alle sectoren nodig om te voldoen aan de strengere doelstellingen voor de reductie van broeikasgassen en om broeikasgasneutraliteit te bereiken. Mits alle belanghebbenden bereid zijn om actie te ondernemen en er sprake is van acceptatie, kan het vereiste transformatieproces als haalbaar worden beschouwd vanuit technisch en economisch oogpunt.' (Jülich 2023)

Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de situatie in Duitsland niet zonder meer te vergelijken is met Nederland. Duitsland heeft bijvoorbeeld al sterkere broeikasgasemissiereducties gerealiseerd (ruim 40 procent ten opzichte van 1990) dan Nederland (ruim 30 procent ten opzichte van 1990) (Europese Commissie, 2023). Daar staat echter tegenover dat kernenergie en CCS in Duitsland erg gevoelig liggen, waardoor ze respectievelijk geen en een kleine rol spelen in de Duitse toekomstscenario's. In scenario's voor Nederland kan voor kernenergie en CCS een grotere rol voorzien worden.

Versnelling van emissiereductie vraagt om loslaten van gebruikelijke aannames

De vaststelling dat 90 procent reductie in 2040 in Nederland nog net mogelijk lijkt op basis van technische maatregelen, maar dat de grenzen van haalbaarheid in zicht komen, betekent dat voor een verdere versnelling dus ook andere maatregelen overwogen moeten worden. We bespreken hier twee opties voor versnelling van emissiereductie, die allebei bijdragen aan het vergroten van de geofysische en technische haalbaarheid van diepe reducties. Dit betreft andere consumptiepatronen en het nóg sneller en verder opschalen van nationale en Europese emissiereductietechnologie.

Verandering in consumptiepatronen

Ander gedrag en/of een ander consumptieniveau door vooral welvarende burgers³ in zowel Nederland als daarbuiten kunnen bijdragen aan versnelde emissiereductie (zie bijvoorbeeld PBL (2023) en het LIFE-scenario in Europese Commissie (2024)). Bijvoorbeeld door:

- Sneller de transitie te maken van dierlijk naar plantaardig voedsel (dit leidt tot lagere emissies van landbouw én tot meer ruimte voor bosbouw en biograndstofproductie).
- Veel minder nieuwe spullen te kopen en/of veel langer met de spullen te doen, in lijn met circulaire economiebeleid. (Dit beperkt de energie- en grondstofvraag van met name industrie en transport.)
- Een snellere omslag naar andere vormen van transport (openbaar vervoer en fiets in plaats van auto en korte-afstandsvluchten) en minder transport (met name minder langeafstandsvluchten).
- Efficiënter ruimtegebruik in gebouwen (dit beperkt de vraag naar grondstoffen en energie voor verwarming).

Nationale emissiedoelen kunnen ook worden bereikt door productie te verminderen, hoewel dit wel gepaard gaat met economische en maatschappelijke gevolgen. Productievermindering heeft op zichzelf echter geen klimaateffect, omdat dit dan wordt overgenomen door fabrieken in het buitenland. Dit verkleint weliswaar de Nederlandse emissiereductieopgave, maar vergroot tegelijkertijd de opgave voor andere landen. Tegelijkertijd heeft ander gedrag of een ander consumptieniveau wel impact op mondiale emissies, maar niet noodzakelijkerwijs op de emissies in Nederland (PBL 2022).

Sneller en verder opschalen van nationale en Europese emissiereductietechnologie

Het is nodig nationale en Europese energieproductie en emissiereductietechnologie sneller en verder op te schalen dan in de huidige plannen. Het gaat dan om bijvoorbeeld wind op zee, wind op land, kernenergie, energie-opslag, biobrandstoffen, biograndstoffen, warmtenetten, elektrolyzers en CCS (inclusief negatieve emissies). Waarschijnlijk leidt dit tot hogere kosten, omdat duurdere opties moeten worden ingezet. Het kan ook leiden tot snellere kostendaling door technologische ontwikkeling (Europese Commissie 2024). Verder de versnelling tot een groter beroep op uitvoeringskracht, zowel wanneer het gaat om beleidsmakers, ambtelijke en juridische procedures, als wanneer het de arbeidsmarkt (uitvoerders), ruimtelijke keuzes en economie betreft. Kortom, een grootschalige herallocatie van publieke middelen. Het kan ook betekenen dat bezwaar- en beroepsprocedures voor vergunningen aanzienlijk moeten worden ingekort en dat de overheid hierover veel meer regie zal moeten voeren. Daarmee komen ook andere dimensies van haalbaarheid

³ Die hebben verreweg de grootste CO₂-voetafdruk, zie bijvoorbeeld Ecorys (2022)

in zicht dan de technische en geofysische.

Mogelijk kan emissiereductie worden versneld door technische ontwikkelingen en kostendalingen die op dit moment nog niet voorzien zijn. In het verleden is dit gebeurd voor onder andere zonnepanelen, windenergie en batterijen (zie bijvoorbeeld Way et al. 2022). Doorbraken kunnen worden gestimuleerd door beleid dat doorbraaktechnologie de kans te geeft conventionele technologie te verdringen. Ook kunnen forse investeringen gedaan worden in diverse veelbelovende technieken die lang niet altijd zullen renderen.

Een versneld emissiereductiepad heeft ook positieve neveneffecten. Versnellen van elektrificatie en de genoemde gedrag- en consumptieveranderingen hebben sterke positieve effecten voor onder andere luchtkwaliteit en natuurkwaliteit. De verschillende opties leiden tot een versnelde afname van de afhankelijkheid van landen die veel fossiele energie leveren. Overigens gaat dit wel weer ten koste van meer import van energietechnologie en grondstoffen uit andere landen. Versnelling kan ook leiden tot technologische leereffecten en kostendalingen. Tot slot kunnen Nederlandse investeringen in nieuwe technologie voor emissiereductie ook leiden tot meer nationaal verdienvermogen wanneer Nederlandse bedrijven daarvan kunnen profiteren. Wanneer versnelling van nationaal beleid ook gepaard gaat met de gewenste versnelling van mondiaal beleid, wordt ook klimaatschade beperkt.

Zoals eerder aangegeven is begin 2024 een versnelling voorgesteld door de Europese Commissie (Europese Commissie 2024). Dit betreft een emissiereductie van 90 procent in 2040 ten opzichte van 1990. In het bijbehorende *impact assessment* wordt een scenario beschreven dat op 92 procent emissiereductie uitkomt in 2040. Tabel 5.2 bevat een overzicht van de consequenties van een dergelijke versnelling per sector. Deze consequenties zullen ook indicatief zijn voor Nederland.

Tabel 5.2

Indicatieve beschrijving van een Europees scenario richting 92 procent emissiereductie in 2040, ten opzichte van 1990, afgezet tegen een scenario met 78 procent emissiereductie (lineair traject tussen de bestaande doelen van 2030 en 2050) (Europese Commissie 2024a).

Sector	Beschrijving
Elektriciteit	Elektriciteitsproductie volledig emissievrij in 2040; grotendeels hernieuwbaar.
Industrie	Grootschaliger inzet van CCS, bijvoorbeeld in chemie; grotere inzet van elektriciteit en groene waterstof.
Mobiliteit	Toename van passagiers- en vrachtmobiliteit gebeurt voornamelijk per trein; vanaf 2035 alleen emissievrije nieuwe auto's en licht wegtransport, vanaf 2040 alleen emissievrij nieuw zwaar transport.
Luchtvaart en zeevaart	Groter aandeel hernieuwbare brandstof.
Gebouwde omgeving	Grootschalige inzet van warmtepompen, versnelling van renovatietempo tot 2040.
Landbouw	Volledige inzet van technische maatregelen om emissies te reduceren.
Landgebruik	Meer bos, moerasland en akkerbouw, minder grasland.

Niet-technologische gevolgen van versnelling van emissiereductie zijn zeer relevant

Er lijkt op basis van de literatuur enige ruimte te bestaan binnen de technische en geofysische grenzen voor verdere versnelling van de emissiereductie., ten opzichte van een lineair pad tussen 55% reductie in 2030 en 100% reductie in 2050. Dit vraagt wel om keuzes die in het algemeen steeds ingrijpender worden naarmate het reductietempo toeneemt. Het Expertteam Energiesysteem 2050 (2022) merkt hierbij op dat kwantitatieve scenario's vooral technische mogelijkheden schetsen, 'die niet per definitie compatibel zijn met een maatschappelijk haalbaar transitiepad'.

5.3 Overwegingen bij economische, institutionele en maatschappelijke haalbaarheid

Bij de haalbaarheidsdiscussie hierboven is alleen gekeken naar de geofysische en technologische dimensies van haalbaarheid. Wanneer we de economische dimensie, maatschappelijke acceptatie en institutionele capaciteit meenemen, is het aannemelijk dat de maximaal haalbare reductie lager uitvalt (zie ook ESABCC 2023). Hoewel er uitgebreide scenariostudies zijn uitgevoerd naar de technische en geofysische implicaties van diepe emissiereductie en een klimaatneutrale samenleving, is er een opvallend gebrek aan ondersteunende wetenschappelijke literatuur over niet-technologische aspecten van de transitie naar klimaatneutraliteit (Ulpiani & Vetter 2023).

Economische dimensie van haalbaarheid

Hoewel de investeringskosten op de korte termijn hoger zijn, heeft de keuze voor een versneld reductiepad nauwelijks directe invloed op privéconsumptie of het nationaal inkomen in de periode 2031-2050 (Europese Commissie 2024). Dit staat nog los van indirecte effecten, zoals mondiale versnelling van emissiereductie en bijbehorende beperking van klimaatverandering. De meeste studies verwachten een impact op het nationaal inkomen die, exclusief de vermeden kosten van klimaatverandering, neutraal is of licht positief (EPRS 2022). De energietransitie is vanuit economisch oogpunt een gigantische investering die zich terugbetaalt door het afbouwen van de fossiele afhankelijkheid. Een versnelling van de transitie vergroot de voordelen door vermeden import van fossiele brandstoffen en de voordelen van technologische leereffecten (Way et al., 2022). Op korte termijn leidt een versnelling echter tot een grotere impact op investeringen, werkgelegenheid en inflatie, een situatie die volgens Jacques et al. doet denken aan een oorlogseconomie (Jacques et al. 2023).

Bij veel EU-klimaatbeleid ontbreekt het aan ex-ante evaluaties van de mogelijke sociaal-economische gevolgen. Dit terwijl veel klimaatbeleidsinstrumenten, zowel regelgevend (bijvoorbeeld normen) als beprijzend (bijvoorbeeld CO₂-belastingen), het risico met zich mee brengen dat huishoudens met lagere inkomens en kwetsbare groepen worden benadeeld (ESABCC 2024; SCP 2021).

Institutionele dimensie van haalbaarheid

De institutionele dimensie van haalbaarheid betreft draagvlak en consensus in de politiek en bij beleidsmakers. Maar ook gaat het hier om capaciteit en expertise van beleidsmakers, de wetgever en uitvoerende en handhavende instanties. De totstandkoming en uitvoering van klimaatbeleid vergt onderlinge afstemming tussen overheden, markt en samenleving, tussen uiteenlopende sectoren, tussen verschillende departementen op rijksniveau en tussen Rijk en medeoverheden. Daarnaast moet het klimaatbeleid ook steeds adaptief en responsief blijven; het probleem 'beweegt', dus

moet het beleid dat ook. Het hiervoor benodigde transformerend vermogen is in het Nederlandse klimaatbeleid ondanks het heldere lange termijn-doel beperkt, want de beleidsinzet en governance worden gekenmerkt door sectorale werkprocessen, een korte termijn-oriëntatie en een sterke scheiding tussen beleid en samenleving. De samenwerking tussen sectoren en tussen beleid en samenleving moet worden verbeterd. Beleid kan/moet meer worden doorgedacht met een lange termijn-/oriëntatie op de benodigde systeemveranderingen (PBL, 2023d).

Het versnellen van de aanleg van energieproductie en -infrastructuur stuit nu al op diverse institutionele hindernissen, onder meer tekorten op de arbeidsmarkt (Weterings et al., 2023), lange procedures en moeizame vergunningverlening (zie o.a. SER, 2024). Ook de beperkte voortgang bij de reductie van de stikstofuitstoot bemoeilijkt versnelling van de energietransitie. De energiecrisis van 2022 liet zien dat een substantiële versnelling van de energietransitie vraagt om versnelde vergunningsprocedures, waarbij hernieuwbare energie projecten worden aangemerkt als overstijgend publiek belang. Een dergelijke prioritering van klimaatmaatregelen kan nodig zijn voor versnelling, maar draagt ook het risico in zich dat het draagvlak vermindert.

Maatschappelijke dimensie van haalbaarheid

Het risico van een versneld transitiepad is dat de te nemen maatregelen het maatschappelijk draagvlak kunnen ondermijnen. Voor klimaatmaatregelen is in Nederland draagvlak, mits dat het leven niet onnodig duur of minder comfortabel maakt (Milieu Centraal, 2023). Volgens TNO (2023) blijkt uit literatuuronderzoek dat burgers beleid met name aanvaardbaar vinden wanneer zij het 1) zien als effectief om problemen aan te pakken, 2) zien als eerlijk voor iedereen, en 3) wanneer het beperkte (negatieve) impact heeft op het leven van burgers. Tegelijkertijd geeft ruim een kwart van de mensen aan zich in enige mate 'boos te maken over alle aandacht voor klimaat, terwijl er belangrijker problemen zijn' die aandacht vragen (SCP, 2021). De haalbaarheid van een scherpe klimaatdoelstelling staat of valt met voldoende draagvlak onder burgers en daarmee met het voldoen aan deze drie voorwaarden.

Burgers zijn in grotere mate voorstander van beleid dat hen minder direct raakt (Dreijerink en Peuchen, 2020). Bij de vraag wie klimaatmaatregelen moet nemen, wijst 73% vooral naar de industrie en de luchtvaart (CBS, 2023). Over de eigen rol en verantwoordelijkheid is men meer verdeeld, hoewel een kleine meerderheid een eigen rol en verantwoordelijkheid ziet (SCP, 2021). Ongeveer driekwart van de mensen is op zijn minst een beetje, en ruim een derde zelfs uiterst, bezorgd dat klimaatmaatregelen hun leven duurder zullen maken en ongeveer de helft is in enige mate bezorgd over de gevolgen van klimaatmaatregelen voor hun manier van leven. Circa 40% van de mensen lijkt zich bovendien nu al in zekere mate in hun vrijheden beperkt te voelen door de discussies over milieu en klimaat (SCP, 2021). Volgens onderzoek van Bruegel (2023) zou slechts 36% van de West-Europeanen de klimaatdoelstellingen blijven steunen, wanneer dit leidt tot persoonlijk inkomensverlies. Voor Italië hebben Colantone et al. (2023) laten zien dat inkomensverliezen als gevolg van groen beleid de kans vergroten dat er op partijen wordt gestemd die groen beleid juist tegengaan. Volgens een meta-studie naar literatuur over maatschappelijke acceptatie van klimaatbeleid zijn kostenoverwegingen dan ook de meest genoemde reden om klimaatbeleid niet te steunen (Fairbrother, 2022).

Tegelijk blijkt uit recent onderzoek dat in vrijwel ieder land een meerderheid bereid is tot beperkte teruggang in inkomen ten behoeve van klimaatbeleid. In ieder land dat is onderzocht onderschatten burgers bovendien deze bereidheid van hun medeburgers (Andre et al., 2024). Dat geeft aan dat er brede steun is voor een rechtvaardige verdeling van lusten en lasten tussen verschillende

groepen burgers en bedrijven. Het gaat dan niet alleen om financiële lusten en lasten, maar ook om de invloed op de lokale leefomgeving en betrokkenheid (zie ook EZK, 2023).

Ook wordt een wenkend perspectief in toenemende mate onderkend als een belangrijke voorwaarde voor gedragen beleidskeuzes. Alleen met een gezamenlijke toekomstvisie voor Nederland in 2050 kan het tegengaan van klimaatverandering voldoende tempo krijgen, stelt de Wetenschappelijke Klimaatraad (Wetenschappelijke Klimaatraad, 2023). Het SCP (2021) laat echter zien dat het wenkende vooruitzicht van een win-winsituatie rond de klimaataanpak nog niet op alle vlakken even breed gedeeld is in de samenleving.

5.4 Samenhang haalbaarheidsdimensies en verdeling van emissiereductie tussen sectoren

De impact van het versnellen van het emissiereductiepad is niet alleen afhankelijk van de mate van versnelling, maar ook van de invulling ervan. De haalbaarheid van aanvullende reducties hangt af van in welke sectoren extra emissiereducties moeten plaatsvinden.

- *Industrie:* Wordt extra emissiereductie gevraagd bij de industrie, dan is de haalbaarheid vooral afhankelijk van de techniek (inclusief energie-infrastructuur) en de economische omstandigheden. Dit geldt bijvoorbeeld voor CCS, toepassing van biograndstoffen en elektrificatie. Infrastructuuraanleg raakt aan de belangen van omwonenden, en de wenselijkheid van gebruik van biograndstoffen en het toepassen van CCS zijn regelmatig onderwerp van discussie geweest (De Gemeyn & MSG Strategies, 2020; Akerboom et al., 2021), maar institutioneel lijkt het haalbaar en het aantal mensen dat direct te maken heeft met de ontwikkeling is beperkt. Internationale concurrentie is hierbij wel een belangrijk aandachtspunt: wanneer bedrijven hun productie staken, kan dat leiden tot afname van maatschappelijke haalbaarheid.
- *Energieproductie:* Voor nog meer productie van CO₂-arme energie, zoals elektriciteit of warmte, geldt ook dat technische en economische dimensies van haalbaarheid van belang zijn. Voor de opwekking van elektriciteit speelt nadrukkelijk ook de maatschappelijke dimensie, omdat het de lokale leefomgeving verandert. Daarnaast worden ook geofysische aspecten zoals de ruimtelijke inpassing van bijvoorbeeld windenergie en zonne-energie en het elektriciteitsnet steeds meer knellend (NBNL, 2023).
- *Transportsector:* In de transportsector speelt zowel de technische, de economische als de maatschappelijke dimensie van haalbaarheid. Het gaat bijvoorbeeld om de vraag hoe klimaatneutrale alternatieven voor personenvervoer voor iedereen toegankelijk worden gemaakt en over de uitrol van energie-infrastructuur. De levensduur van het wagenpark en ook van schepen en vrachtauto's beperkt substantiële versnelling ten opzichte van het huidige pad (PBL & TNO, 2024). Verschuiving naar andere vormen van transport kan ook een bijdrage leveren (Europese Commissie, 2024a). Verder is de verduurzaming van de transportsector sterk verweven met die van de rest van Europa.
- *Gebouwde omgeving.* Bij de gebouwde omgeving zijn zowel de technische, economische, institutionele als maatschappelijke haalbaarheidsdimensies relevant. Emissiereductie in de gebouwde omgeving gaat gepaard met aanpassingen aan vrijwel alle gebouwen, die vaak verschillende eigendomsvormen kennen (PBL, 2023a).
- *Landbouw/landgebruik:* Voor extra emissiereductie bij de landbouw of landgebruik spelen vooral de economische, institutionele en maatschappelijke dimensies. Voor zover technische maatregelen worden ingezet, zijn vooral economische en institutionele dimensies

relevant. Wanneer emissiereductie samenhangt met de omvang van de veestapel, heeft dit impact op de vraag of en hoe bedrijven hun activiteiten kunnen voortzetten. Door verplaatsing is het klimaateffect verwaarloosbaar wanneer de consumptie van dierlijke producten niet in gelijke mate minder wordt (PBL, 2023a). Ook de technische dimensie van haalbaarheid als het gaat om alternatieven voor dierlijke eiwitten is een aandachtspunt.

- *Consumptieverandering*: Beleid gericht op het beperken van consumptie heeft minder direct verband met de emissies binnen Nederlands grondgebied (PBL, 2022). Daarbij lijkt de haalbaarheid voornamelijk te worden beperkt door de institutionele en maatschappelijke dimensies. Beleidsinstrumentatie is complex (PBL, 2023b) en dergelijk beleid wordt onder verschillende maatschappelijke groepen zeer verschillend gepercipieerd (PBL, 2023c; Milieu Centraal, 2023). Beleid op dit gebied moet dus rechtvaardig, gericht en doelmatig zijn.

Of scherpere emissiedoelen haalbaar zijn op grond van bijvoorbeeld de technische of maatschappelijke dimensies, hangt niet alleen af van de hoogte van de doelen. De hoogte van een emissiedoel is net zo goed relevant als de sectorale en maatschappelijke verdeling, de wijze van implementatie en instrumentatie ervan. Bij de wijze van implementatie is ook rechtvaardigheid tussen verschillende groepen in Nederland en inspraak van belang. Net als bij de mondiale opgave geldt hierbij dat de vraag wat rechtvaardig is deels normatief van aard is. Verschillende rechtvaardigheidsprincipes zoals vermogen, gelijkheid en verantwoordelijkheid spelen hierbij een rol (zie ook hoofdstuk 2 en 3).

Tot slot is ook het langetermijnperspectief relevant. Snel emissies reduceren kan, afhankelijk van de gekozen invulling, op gespannen voet staan met het toewerken naar een maatschappij binnen planetaire grenzen (Europese Commissie, 2024a). Het kan bijvoorbeeld leiden tot grotere inzet van biomassa voor niet-hoogwaardige toepassingen (zie ook SER, 2020). Ook bij versnelde opschaling van de extractie van kritieke materialen voor de energietransitie is het van belang om leefomgevingsaspecten mee te wegen (PBL, 2024a).

6 Balans tussen mondiale rechtvaardigheid en nationale haalbaarheid

In dit rapport bespreken we de overwegingen die een rol spelen bij het vaststellen van emissiereductiedoelen voor Nederland, in de context van Kimaatakkoord van Parijs. Mondiale rechtvaardigheid en nationale haalbaarheid zijn hierbij cruciale concepten. In het rapport laten we zien dat een zeer uiteenlopend spectrum van emissiereductiedoelen mogelijk is, die allen consistent zijn met het Parijsakkoord. Onzekerheid en beleidskeuzes hebben hier invloed op.

Rechtvaardigheidsprincipes impliceren forse reductiedoelen voor Nederlandse emissies. Uit de resultaten komt een brede spreiding van reductiedoelen naar voren, die te maken heeft met de keuze van het mondiale doel, de kans het te behalen en de interpretatie van wat een rechtvaardige verdeling is. Naarmate reducties groter worden, wordt er aan meer rechtvaardigheidsprincipes voldaan. Daarbij moet worden aangetekend dat niet alle principes in dit rapport ook echt rechtvaardig zijn. Het principe van gelijke relatieve emissiereducties in alle landen leidt bijvoorbeeld in ontwikkelingslanden sneller tot hogere kosten dan in ontwikkelde landen, als gevolg van de snellere economische en bevolkingsgroei. Daarmee functioneert dit principe voornamelijk als referentie. De range van reducties voor 1,5°C met beperkte overschrijding en consistent met beginselen van internationaal milieurecht begint voor Nederland bij ongeveer 90 procent reductie in 2040. Verschillende principes leiden echter tot reducties ver boven de 100 procent.

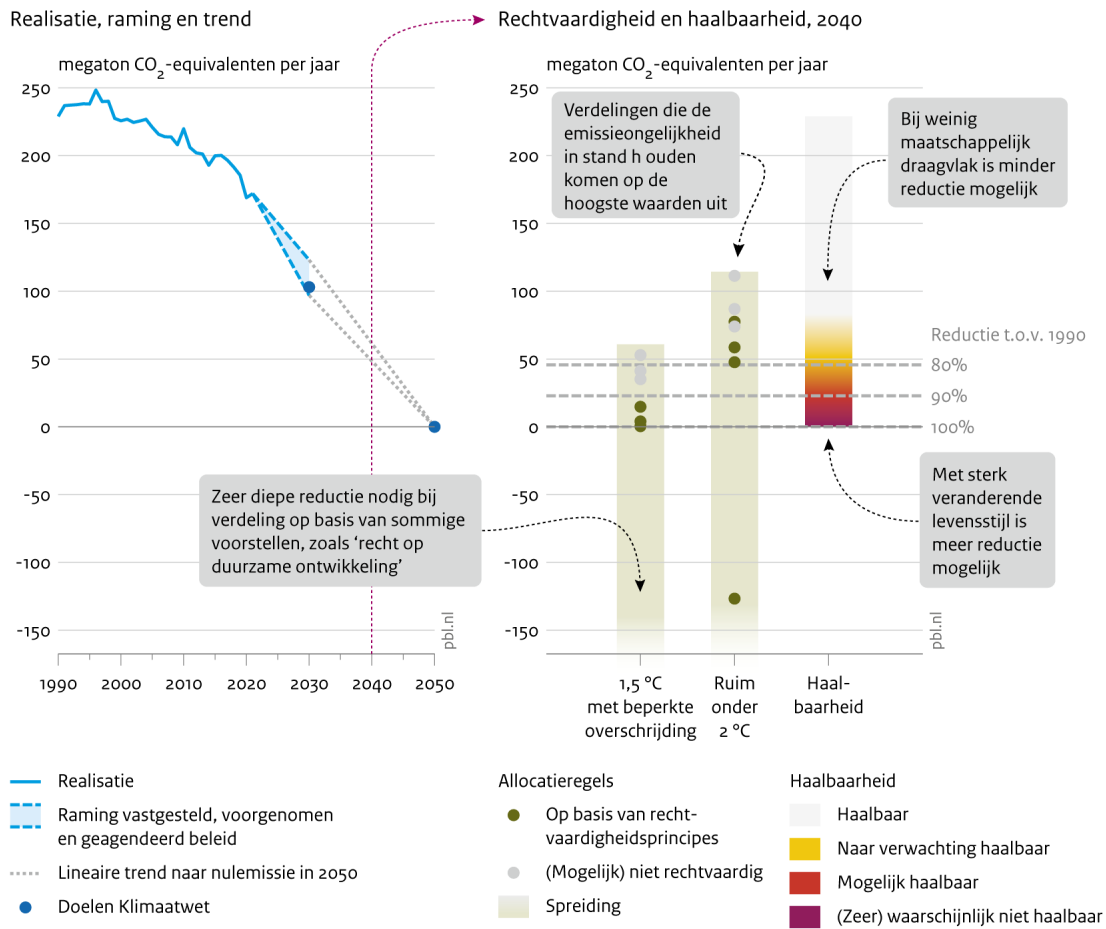
Vergelijking van haalbaarheid met rechtvaardigheidsprincipes

De diepe reducties conform mondiale rechtvaardigheidsprincipes kunnen tegen de grenzen van nationale haalbaarheid aanlopen. Als de benodigde veranderingen tijdig in gang worden gezet, is in 2040 de emissiereductie technisch haalbaar conform een lineair pad tussen de huidige doelen van 2030 en 2050. De inschattingen in hoofdstuk 5 laten een voorlopige conclusie zien: een reductie van 90 procent in 2040 kan geofysisch en technisch waarschijnlijk haalbaar zijn in Nederland, mits Europa vergelijkbare stappen zet. Met verregaande gedragsverandering en maximaal gebruik van alle opties kan technisch zelfs nog iets meer worden bereikt dan de genoemde percentages. Maatschappelijke haalbaarheid kan echter leiden tot een vermindering van het volledige reductiepotentieel. Dit is afhankelijk van de uitvoering van het beleid en de mate waarin deze als 'eerlijk' wordt ervaren.

Sommige allocatieregels leiden netto tot negatieve emissies in 2040 voor 1,5°C met beperkte overschrijding. Dit is vrijwel zeker niet haalbaar in Nederland zelf. Naast de eerder beschreven verregaande veranderingen die dit met zich meebrengt, komt ook de geofysische grens rond negatieve emissies in zicht. Dit komt vooral door het beperkte potentieel van negatieve emissies in Nederland. Volgens PBL (2018) is zo'n 13-34 miljoen ton CO₂ aan negatieve emissies per jaar in 2050 realistisch, terwijl CE Delft (2023) het op maximaal 39 miljoen ton CO₂ per jaar houdt. Zelfs in het onwaarschijnlijke geval dat deze hoeveelheid in 2040 al zou worden bereikt, blijven er naar verwachting restemissies over.

Figuur 6.1

Reductiedoelen voor Nederland op basis van rechtvaardigheid en haalbaarheid



Bron: Emissieregistratie, KEV-raming 2023, PBL

Reducties van meer dan 100% in 2040 zijn niet apart beoordeeld maar zeer waarschijnlijk niet haalbaar

Zoeken naar een balans

Beleidsmakers zullen dus moeten zoeken naar een balans. Aan de ene kant hiervan staan rechtvaardigheidsprincipes zoals mondiale gelijkheid, historische verantwoordelijkheid en vermogen. Aan de andere kant staan haalbaarheid, afhankelijk van geofysische, technologische, economische, institutionele en maatschappelijke dimensies. Deze dimensies hangen sterk met elkaar samen. Keuzes binnen de ene dimensie kunnen de ruimte voor versnelling binnen de andere dimensies vergroten of verkleinen. Het streven naar maximale snelheid van reductie op basis van een geofysisch en technologisch optimum zal bijvoorbeeld zijn weerslag vinden in de institutionele en maatschappelijke dimensies. Dit kan het beoogde resultaat ondermijnen. Windmolens dichtbij steden plaatsen is technisch relatief eenvoudig en economisch gunstig, maar het ligt maatschappelijk moeilijk en is dus niet altijd de meest optimale oplossing. Elektrificatie, bijvoorbeeld in de industrie, lijkt maatschappelijk goed haalbaar, maar loopt soms tegen technische of economische haalbaarheidsgrenzen aan. Het vinden van balans tussen de verschillende dimensies is dan ook een normatieve en politieke afweging. Haalbaarheid blijkt ook veranderlijk onder invloed van externe factoren, zo bleek bijvoorbeeld tijdens de coronaepidemie en de energiecrisis ten gevolge van de

Russische inval in Oekraïne. Deze gebeurtenissen hebben geleid tot snelle en vergaande acties van zowel beleidsmakers als de maatschappij.

Reducties mogelijk buiten Nederland

Naast binnenlandse reducties zou Nederland ook kunnen bijdragen aan emissiereducties in het buitenland. Dit sluit ook aan op bestaand beleid van Nederland – zoals de internationale klimaatstrategie en beleid rond het Global Biodiversity Framework. Hoewel de regels binnen het Parijsakkoord nog verder moeten worden vastgesteld, zouden dergelijke investeringen nu reeds plaats kunnen vinden – aanvullend op reducties binnen Nederland zelf. Er zijn hiervoor diverse mechanismen binnen het Parijsakkoord – via het Klimaatfonds, afspraken tussen landen en reducties op projectniveau. Het is hierbij wel belangrijk rekening te houden met de ontwikkelingsprioriteiten van de landen waar mogelijk mee wordt samengewerkt (om de indruk te voorkomen dat sprake is van afkopen van de verantwoordelijkheid).

Referenties

- ADEME (2022). Transition(s) 2050. Decide now. Act 4 climate.
- Adviesraad Internationale Vraagstukken (2023). Klimaatrechtvaardigheid als noodzaak—Publicatie—Adviesraad Internationale Vraagstukken [Publicatie]. Adviesraad Internationale Vraagstukken. <https://doi.org/10/26/klimaatrechtvaardigheid-als-noodzaak>.
- Akerboom, S., Waldmann, S., Mukherjee, A., Agaton, C., Sanders, M., & Kramer, G. J. (2021). Different This Time? The Prospects of CCS in the Netherlands in the 2020s. *Frontiers in Energy Research*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.644796>
- Andre, P., Boneva, T., Chopra, F., & Falk, A. (2024). Globally representative evidence on the actual and perceived support for climate action. *Nature Climate Change*, 14(3), 253–259. <https://doi.org/10.1038/s41558-024-01925-3>
- Baer, P. (2013). The greenhouse development rights framework for global burden sharing: Reflection on principles and prospects. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 4(1), 61–71. Scopus. <https://doi.org/10.1002/wcc.201>
- Baer, P., Kartha, S., Athanasiou, T., & Kemp-Benedict, E. (2009). The Greenhouse Development Rights Framework: Drawing Attention to Inequality within Nations in the Global Climate Policy Debate. *Development and Change*, 40(6), 1121–1138. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7660.2009.01614.x>
- BASIC experts (2011). *Equitable access to sustainable development: Contribution to the body of scientific knowledge*. BASIC expert group.
- Berk, M. M., & den Elzen, M. G. J. (2001). Options for differentiation of future commitments in climate policy: How to realise timely participation to meet stringent climate goals? *Climate Policy*, 1(4), 465–480. [https://doi.org/10.1016/S1469-3062\(01\)00037-7](https://doi.org/10.1016/S1469-3062(01)00037-7)
- Böhringer, C., & Welsch, H. (2006). Burden sharing in a greenhouse: Egalitarianism and sovereignty reconciled. *Applied Economics*, 38(9), 981–996. <https://doi.org/10.1080/00036840500399453>
- Bruegel (2023). How sensitive are Europeans to income losses related to climate policies? Publishing date: 19 December 2023. Authors: David Van der Duin, Francesco Nicoli, Brian Burgoon
- Brutschin, E., Pianta, S., Tavoni, M., Riahi, K., Bosetti, V., Marangoni, G., & Ruijven, B. J. van. (2021). A multidimensional feasibility evaluation of low-carbon scenarios. *Environmental Research Letters*, 16(6), 064069. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abfoce>
- Caney, S. (2014). Two Kinds of Climate Justice: Avoiding Harm and Sharing Burdens. *Journal of Political Philosophy*, 22(2), 125–149. <https://doi.org/10.1111/jopp.12030>
- Carbon Brief (2023). How colonial rule radically shifts historical responsibility for climate change. Carbon Brief. <https://www.carbonbrief.org/revealed-how-colonial-rule-radically-shifts-historical-responsibility-for-climate-change/>
- CBS (2023) Klimaatverandering en energietransitie: opvattingen en gedrag van Nederlanders in 2023. Centraal Bureau voor de Statistiek. Leidschendam
- CCC (2020). The Sixth Carbon Budget - The UK's path to Net Zero. Committee on Climate Change.
- CE Delft (2023). Koolstofverwijdering voor klimaatbeleid. Analyse van behoefte, aanbod en beleid voor negatieve emissies in Nederland. Delft
- Clarke, L., Jiang, K., Akimoto, K., Babiker, M., Blanford, G., Fisher-Vanden, K., Hourcade, J.-C., Krey, V., Kriegler, E., Löschel, A., McCollum, D., Paltsev, S., Rose, S., Shukla, P. R., Tavoni, M., van der Zwaan, B., & van Vuuren, D. P. (2014). Chapter 6—Assessing transformation pathways.

Cambridge University Press. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter6.pdf

- Colantone, I., L. Di Leonardo, Y. Margalit and M. Percoco (2023) 'The Political Consequences of Green Policies: Evidence from Italy', *American Political Science Review*, <https://doi.org/10.1017/S0003055423000308>
- Colenbrander, S., Pettinotti, L., & Cao, Y. (2022, June 26). A fair share of climate finance? An appraisal of past performance, future pledges and prospective contributors. ODI: Think Change. <https://odi.org/en/publications/a-fair-share-of-climate-finance-an-appraisal-of-past-performance-future-pledges-and-prospective-contributors/>
- Dafnomilis, I., Chen, H. H., den Elzen, M., Fragkos, P., Chewprecha, U., van Soest, H., Fragkiadakis, K., Karkatsoulis, P., Paroussos, L., de Boer, H. S., Daioglou, V., Edelenbosch, O., Kiss-Dobronyi, B., & van Vuuren, D. P. (2022). Targeted Green Recovery Measures in a Post-COVID-19 World Enable the Energy Transition [Article]. *Frontiers in Climate*, 4, Article 840933. <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.840933>
- Dafnomilis, I., den Elzen, M., & van Vuuren, D. (2024). Paris targets within reach by aligning, broadening and strengthening net-zero pledges [Article]. *Communications Earth and Environment*, 5(1), Article 48. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01184-8>
- De Cian, E., Hof, A. F., Marangoni, G., Tavoni, M., & Van Vuuren, D. P. (2016). Alleviating inequality in climate policy costs: An integrated perspective on mitigation, damage and adaptation [Article]. *Environmental Research Letters*, 11(7), Article 074015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074015>
- De Gemeynt & MSC Strategies (2020). Biomassa in perspectief. Joint fact-finding biomassa – een zoektocht naar feiten in een verhitte discussie.
- Den Elzen, M. G., Berk, M., Lucas, P., Criqui, P., & Kitous, A. (2006). Multi-Stage: A Rule-Based Evolution of Future Commitments under the Climate Change Convention. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 6(1), 1–28. <https://doi.org/10.1007/s10784-004-5645-3>
- Den Elzen, M. G., Olivier, J. G., Höhne, N., & Janssens-Maenhout, G. (2013). Countries' contributions to climate change: effect of accounting for all greenhouse gases, recent trends, basic needs and technological progress. *Climatic Change*, 121, 397–412.
- Dooley, K., Holz, C., Kartha, S., Klinsky, S., Roberts, J. T., Shue, H., Winkler, H., Athanasiou, T., Caney, S., Cripps, E., Dubash, N. K., Hall, G., Harris, P. G., Lahn, B., Moellendorf, D., Müller, B., Sagar, A., & Singer, P. (2021). Ethical choices behind quantifications of fair contributions under the Paris Agreement. *Nature Climate Change*, 11(4), 300–305. Scopus. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01015-8>
- Dreijerink, L. J. M., & Peuchen, R. A. (2020). Maatschappelijk draagvlak voor klimaat- en energiebeleid. Resultaten van een vragenlijstonderzoek. Amsterdam: TNO.
- Ecorys (2022). Onderzoek Nederlandse inkomens en CO₂ voetafdruk.
- EPRS (2022). Economic impacts of the green transition. Briefing of the European Parliamentary Research Service. Authors: Gregor Erbach and Martin Höflmayr, with Nela Foukalová. Members' Research Service. PE 733.623 – September 2022
- European Commission (2024). *Securing our future—Europe's 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society*. https://climate.ec.europa.eu/document/download/2ccd7710-5fc3-420f-aeb8-9a3af271f970_en

- European Scientific Advisory Board on Climate Change (2024). Towards EU climate neutrality: progress, policy gaps and opportunities. ESABCC.
- European Scientific Advisory Board on Climate Change (2023). *Scientific advice for the determination of an EU-wide 2040 climate target and a greenhouse gas budget for 2030-2050*. ESABCC. <https://doi.org/10.2800/609405>
- Europese Commissie (2024a). Europe's 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society. COM(2024) 63 final.
- Europese Commissie (2024). Impact Assessment Europe's 2040 climate target. SWD(2024) 63 final.
- Europese Commissie (2023). EU Climate Action Progress Report 2023. COM(2023) 653 final.
- Europese Commissie (2020). Impact Assessment Climate Target Plan.
- Europese Commissie (2018). A Clean Planet for all.
- Expertteam Energiesysteem 2050 (2022). Notitie energiesysteembeelden 2050. <https://www.etes2050.nl/publicaties/documenten/handlerdownloadfiles.ashx?idnv=2342353>
- Expertteam Energiesysteem 2050 (2023). *Energie door perspectief: Rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050* [Outlook Energiesysteem 2050]. Expertteam Energiesysteem 2050. <https://www.etes2050.nl/publicaties/outlookenergiesysteem2050/default.aspx>
- EZK (2023). Nationaal Plan Energiesysteem. Verdiepingsdocument D – Maatschappelijke kant van het energiesysteem.
- Fairbrother, M. (2022). Public opinion about climate policies: A review and call for more studies of what people want. *PLOS Clim* 1(5): e0000030. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000030>
- FAR (1990). *Climate Change—The IPCC Scientific Assessment*. IPCC. https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_first_assessment_1990_wg1.shtml
- Fekete, H., Höhne, N., & Smit, S. (2022). *What is a fair emissions budget for the Netherlands?* New Climate Institute. https://newclimate.org/sites/default/files/2023-05/AFairShareForTheNetherlands_NewClimate_20220829_update.pdf
- Fleurbaey, M., Kartha, S., Bolwig, S., Chee, Y. L., Chen, Y., Corbera, E., Lecocq, F., Lutz, W., Muylaert, M. S., Okereke, C., Sagar, A., Baer, P., Brown, D. A., Francisco, J., Hauschild, M. Z., Jakob, M., Schroeder, H., Thøgersen, J., Urama, K., ... Sathaye, J. (2014). Chapter 4 - Sustainable Development and Equity. 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*. Cambridge University Press. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter4.pdf
- Forschungszentrum Jülich (2023). New Targets Using Old Pathways? Strategies for a greenhouse gas-neutral supply by 2045.
- Forster, P. M., Smith, C. J., Walsh, T., Lamb, W. F., Lamboll, R., Hauser, M., Ribes, A., Rosen, D., Gillett, N., Palmer, M. D., Rogelj, J., von Schuckmann, K., Seneviratne, S. I., Trewin, B., Zhang, X., Allen, M., Andrew, R., Birt, A., Borger, A., ... Zhai, P. (2023). Indicators of Global Climate Change 2022: annual update of large-scale indicators of the state of the climate system and human influence. *Earth Syst. Sci. Data*, 15(6), 2295-2327. <https://doi.org/10.5194/essd-15-2295-2023>
- Fraunhofer-ISE (2021). Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem – Update Klimaneutralität 2045.
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Bakker, D. C. E., Hauck, J., Landschützer, P., Le Quéré, C., Luijkx, I. T., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Schwingshackl, C.,

- Sitch, S., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S. R., Anthoni, P., . . . Zheng, B. (2023). Global Carbon Budget 2023. *Earth Syst. Sci. Data*, 15(12), 5301–5369. <https://doi.org/10.5194/essd-15-5301-2023>
- Höhne, N., den Elzen, M., & Escalante, D. (2014). Regional GHG reduction targets based on effort sharing: A comparison of studies. *Climate Policy*, 14(1), 122–147. <https://doi.org/10.1080/14693062.2014.849452>
- Holz, C., Kartha, S., & Athanasiou, T. (2018). Fairly sharing 1.5: National fair shares of a 1.5 °C-compliant global mitigation effort. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 18(1), 117–134. <https://doi.org/10.1007/s10784-017-9371-z>
- IPCC (2023). AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- IPCC (2022). Climate change - Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2021). Climate Change 2021 - The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2018). Special report: Global warming of 1.5 °C. Chapter 4.
- Jacoby, H. D., Babiker, M. H., Paltsev, S., & Reilly, J. M. (2008). *Sharing the burden of GHG reductions* (Report Series 167). MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511813207.025>
- Jacques, P., Louis Delannoy, Baptiste Andrieu, Devrim Yilmaz, Hervé Jeanmart, Antoine Godin (2023). Assessing the economic consequences of an energy transition through a biophysical stock-flow consistent model, *Ecological Economics*, Volume 209, 2023, 107832, ISSN 0921-8009, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107832>.
- Kartha, S., Athanasiou, T., Caney, S., Cripps, E., Dooley, K., Dubash, N. K., Fei, T., Harris, P. G., Holz, C., Lahn, B., Moellendorf, D., Müller, B., Roberts, J. T., Sagar, A., Shue, H., Singer, P., & Winkler, H. (2018). Cascading biases against poorer countries. *Nature Climate Change*, 8(5), 348–349. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0152-7>
- Knight, C. (2013). What is grandfathering? *Environmental Politics*, 22(3), 410–427. <https://doi.org/10.1080/09644016.2012.740937>
- KNMI (2023). *KNMI'23 Klimaatscenario's voor Nederland* (KNMI-Publicatie 23–03). KNMI.
- Lahn, B., & Sundqvist, G. (2017). Science as a “fixed point”? Quantification and boundary objects in international climate politics. *Environmental Science & Policy*, 67, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.11.001>
- Lang, J., Hyslop, C., Lutz, N., Black, R., Chalkley, P., Hale, T., Hans, F., Hay, N., Höhne, N., Hsu, A., Kuramochi, T., Mooldijk, S., & Smith, S. (2024). *Net Zero Tracker*. Energy and Climate Intelligence Unit, Data-Driven EnviroLab, NewClimate Institute, Oxford Net Zero. <https://zerotracker.net/>
- Meinshausen, M., Meinshausen, N., Hare, W., Raper, S. C. B., Frieler, K., Knutti, R., Frame, D. J., & Allen, M. R. (2009). Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C [Article]. *Nature*, 458(7242), 1158–1162. <https://doi.org/10.1038/nature08017>
- Meyer, A. (2000). *Contraction & convergence: The global solution to climate change*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:152683268>
- Milieu Centraal (2023). Consumentenonderzoek - Nederland over milieu- en klimaatissues en de rol van de overheid, de burger en het bedrijfsleven.
- NBNL (2023). *Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050*. Netbeheer Nederland.
- O'Neill, B. C., Carter, T. R., Ebi, K., Harrison, P. A., Kemp-Benedict, E., Kok, K., Kriegler, E., Preston, B. L., Riahi, K., Sillmann, J., van Ruijven, B. J., van Vuuren, D., Carlisle, D., Conde, C.,

- Fuglestad, J., Green, C., Hasegawa, T., Leininger, J., Monteith, S., & Pichs-Madruga, R. (2020). Achievements and needs for the climate change scenario framework. *Nature Climate Change*, 10(12), Article 12. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00952-0>
- Oxfam International (2023). Are G20 Countries Doing Their Fair Share of Global Climate Mitigation?: Comparing ambition and fair shares assessments of G20 countries' Nationally Determined Contributions (NDCs). Oxfam GB. <https://oxfamlibrary.openrepository.com/bitstream/handle/10546/621540/dp-are-g20-countries-doing-their-fair-share-of-global-climate-mitigation-070923-en.pdf?sequence=7>
- Pan, X., Elzen, M. den, Höhne, N., Teng, F., & Wang, L. (2017). Exploring fair and ambitious mitigation contributions under the Paris Agreement goals. *Environmental Science and Policy*, 74(March), 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.04.020>
- Pauw, W. P., Moslener, U., Zamarioli, L. H., Amerasinghe, N., Atela, J., Affana, J. P. B., Buchner, B., Klein, R. J. T., Mbeva, K. L., Puri, J., Roberts, J. T., Shawoo, Z., Watson, C., & Weikmans, R. (2022). Post-2025 climate finance target: How much more and how much better? *Climate Policy*, 22(9–10), 1241–1251. <https://doi.org/10.1080/14693062.2022.2114985>
- PBL & TNO (2024). Klimaatneutrale mobiliteit 2050. Een verkenning van beelden en paden daarnaartoe. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving en TNO. In afrondende fase.
- PBL et al. (2022). Klimaat- en Energieverkenning 2022. Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2024a). Environmental impacts of extraction and processing of raw materials for the energy transition, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2024). Trajectverkenning Klimaatneutraal Nederland 2050. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving. In afrondende fase.
- PBL (2023a). Analyse Leefomgevingseffecten Verkiezingsprogramma's. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2023b). Integrale Circulaire Economie Rapportage. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2023c). Hoe 'circulair' zijn Nederlandse consumenten? Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2023d). Aan de slag met transformerend klimaatbeleid. Eerste bevindingen uit de Lerende Evaluatie Klimaatbeleid. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2023). Mitigating greenhouse gas emissions in hard-to-abate sectors. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2022). Hoe kan circulaire-economiebeleid bijdragen aan de klimaatdoelstelling? Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2021). Reflectie leefomgevingsthema's coalitieakkoord. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2018). Negatieve emissies - Technisch potentieel, realistisch potentieel en kosten voor Nederland, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL et al. (2023). Klimaat- en Energieverkenning 2023. Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving.
- Pelz, S., Rogelj, J., & Riahi, K. (2023). Evaluating equity in European climate change mitigation pathways for the EU Scientific Advisory Board on Climate Change. IIASA. <https://pure.iiasa.ac.at/18830>

- Pozo, C., Galán-Martín, Á., Reiner, D. M., Mac Dowell, N., & Guillén-Gosálbez, G. (2020). Equity in allocating carbon dioxide removal quotas. *Nature Climate Change*, 10(7), Article 7. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0802-4>
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2021). Towards a Climate-Neutral Germany by 2045.
- Rajamani, L., Jeffery, L., Höhne, N., Hans, F., Glass, A., Ganti, G., & Geiges, A. (2021). National 'fair shares' in reducing greenhouse gas emissions within the principled framework of international environmental law. *Climate Policy*, 21(8), 983–1004. <https://doi.org/10.1080/14693062.2021.1970504>
- Robiou Du Pont, Y., Dekker, M.M., Schaeffer, M. & Van Vuuren, D. (2023). Effects of emissions allocations and ambition assessments immediately based on equity. Under Review, preprint on Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3050295/v1>
- Robiou Du Pont, Y., Jeffery, M. L., Gütschow, J., Rogelj, J., Christoff, P., & Meinshausen, M. (2017). Equitable mitigation to achieve the Paris Agreement goals. *Nature Climate Change*, 7(1), 38–43. <https://doi.org/10.1038/nclimate3186>
- Roelfsema, M., van Soest, H. L., Harmsen, M., van Vuuren, D. P., Bertram, C., den Elzen, M., Höhne, N., Iacobuta, G., Krey, V., Kriegler, E., Luderer, G., Riahi, K., Ueckerdt, F., Després, J., Drouet, L., Emmerling, J., Frank, S., Fricko, O., Gidden, M., . . . Vishwanathan, S. S. (2020). Taking stock of national climate policies to evaluate implementation of the Paris Agreement [Article]. *Nature Communications*, 11(1), Article 2096. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15414-6>
- Roy, J., Tschakert, P., Waisman, H., Halim, S., Antwi-Agyei, P., Dasgupta, P., Hayward, B., Kanninen, M., Liverman, D., Okereke, C., Pinho, P., Riahi, K., Rodriguez, A., Aragón – Durand, F., Babiker, M., Bangalore, M., Bertoldi, P., Choudhary, B., Cartwright, A., ... The Paris Climate Agreement indicates that equity and fairness are critical concepts in implementation (UNFCCC, 2015).
- SCP (2021). Klimaataanpak: toekomstbepalende keuzes voor onze samenleving. De energietransitie vanuit burgerperspectief. Sociaal-cultureel planbureau. Den Haag.
- SER (2024). Verduurzaming maakindustrie. Sociaal-economische Raad. Den Haag.
- SER (2020). Biomassa in balans. Sociaal-economische Raad. Den Haag.
- Skeie, R. B., Fuglestedt, J., Berntsen, T., Peters, G. P., Andrew, R., Allen, M., & Kallbekken, S. (2017). Perspective has a strong effect on the calculation of historical contributions to global warming. *Environmental Research Letters*, 12(2), 024022. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5boa>
- Smith, P., Davis, S. J., Creutzig, F., Fuss, S., Minx, J., Gabrielle, B., Kato, E., Jackson, R. B., Cowie, A., Kriegler, E., Van Vuuren, D. P., Rogelj, J., Ciais, P., Milne, J., Canadell, J. G., McCollum, D., Peters, G., Andrew, R., Krey, V., . . . Yongsung, C. (2016). Biophysical and economic limits to negative CO₂ emissions [Review]. *Nature Climate Change*, 6(1), 42-50. <https://doi.org/10.1038/nclimate2870>
- Steg, L., et al. (2022). A method to identify barriers to and enablers of implementing climate change mitigation options. *One Earth* 5, 1216-1227. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.10.007>
- Taconet, N., Méjean, A., & Guivarch, C. (2020). Influence of climate change impacts and mitigation costs on inequality between countries. *Climatic Change*, 160. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02637-w>
- TNO (2023). Aanpak en literatuurlijst gedrags- en draagvlakanalyse IBO Klimaat. TNO 2023 P10383.
- TNO (2022). Naar een duurzaam energiesysteem voor Nederland in 2050.

- Ulpiani, G. & Vettors, N. (2023). On the risks associated with transitioning to climate neutrality in Europe: A city perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 183 (113448). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113448>
- UNFCCC (2015). *Adoption of the Paris agreement* (pp. 1–25). UNFCCC. <https://unfccc.int/documents/37107>
- van den Berg, N. J., van Soest, H. L., Hof, A. F., den Elzen, M. G. J., van Vuuren, D. P., Chen, W., Drouet, L., Emmerling, J., Fujimori, S., Höhne, N., Köberle, A. C., McCollum, D., Schaeffer, R., Shekhar, S., Vishwanathan, S. S., Vrontisi, Z., & Blok, K. (2020). Implications of various effort-sharing approaches for national carbon budgets and emission pathways. *Climatic Change*, 162(4), 1805–1822. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02368-y>
- Van Vuuren, D. P., Hof, A. F., Van Sluisveld, M. A. E., & Riahi, K. (2017). Open discussion of negative emissions is urgently needed [Review]. *Nature Energy*, 2(12), 902–904. <https://doi.org/10.1038/s41560-017-0055-2>
- Vrontisi, Z., Florou, A., & Govorukha, K. (2019). *Exploring National and Global Actions to reduce Greenhouse gas Emissions (ENGAGE)*. <https://iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/Energy/Research/ENGAGE.html>
- Way, R., Matthew C. Ives, Penny Mealy, J. Doynne Farmer (2022) Empirically grounded technology forecasts and the energy transition, *Joule*, Volume 6, Issue 9, 2022, Pages 2057–2082, ISSN 2542-4351, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.08.009>.
- Wetenschappelijke Klimaatraad. (2023). *Met iedereen de transities in. Richtinggevende keuzes voor een klimaatneutraal en klimaatbestendig Nederland* (WKR-Rapport 001). WKR. <https://www.wkr.nl/documenten/rapporten/2023/12/15/adviesrapport-met-iedereen-de-transities-in>
- Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid. (2023). *Rechtvaardigheid in klimaatbeleid. Over de verdeling van klimaatkosten* (WRR-Rapport 106). WRR. <https://www.wrr.nl/publicaties/rapporten/2023/02/16/rechtvaardigheid-in-klimaatbeleid>
- Weterings, A. et al. (2023). Tekort aan technici voor de energietransitie vergt prioritering in investeringen. *ESB*, 108(4821), 222–225.
- Wiese, Frauke & Thema, Johannes & Cordroch, Luisa. (2021). Strategies for climate neutrality. Lessons from a meta-analysis of German energy scenarios. *Renewable and Sustainable Energy Transition*. 2. 100015. 10.1016/j.rset.2021.100015.
- Williams et al. (2021). Carbon-Neutral Pathways for the United States. *AGU Advances*. <https://doi.org/10.1029/2020AV000284>.
- Winkler, H., Letete, T., & Marquard, A. (2013). Equitable access to sustainable development: Operationalizing key criteria. *Climate Policy*, 13(4), 411–432. <https://doi.org/10.1080/14693062.2013.777610>
- WMO (2024). WMO confirms that 2023 smashes global temperature record.