

# Kosten en baten van klimaatbeleid

Andries Hof

*Klimaatverandering kan grote gevolgen hebben. Om die het hoofd te bieden kan worden gekozen voor het aanpassen aan die gevolgen (adapteren) en voor het beperken van de klimaatverandering (mitigeren). Timing en onzekerheid spelen een cruciale rol bij de kosten en baten van mitigatie en adaptatie. Dit komt omdat de baten van mitigatie, welke bestaan uit de vermeden schade, decennia na de kosten plaatsvinden en deze veel onzekerder zijn dan de mitigatiekosten. Tevens is de schade ongelijk verdeeld, waarbij in het algemeen de schade in de armste landen het hoogst is. Klimaatmitigatie verlaagt zowel het risico op onzekere, maar potentieel hoge, klimaatschade als de gevolgen van het falen van optimaal adaptatiebeleid.*

## 1 Inleiding

Zoals al aangegeven in de voorgaande artikelen zijn de risico's van klimaatverandering aanzienlijk. Dit is internationaal onderkend door het klimaatverdrag dat in 1994 in werking is getreden en geratificeerd is door alle landen van de Verenigde Naties. Het doel van dit verdrag is het vermijden van een gevaarlijke antropogene invloed op het klimaatsysteem door middel van stabilisatie van de broeikasgasconcentraties in de atmosfeer. In de jaarlijkse Conference of Parties (COPs) overleggen alle partijen over de voortgang van klimaatbeleid onder het klimaatverdrag.

Uit het klimaatverdrag is niet op te maken welk niveau van broeikasgasconcentraties nodig zou zijn om een gevaarlijke menselijke invloed te vermijden. Pas na vele onderhandelingsronden is er in 2009 tijdens de COP15, dus vele jaren na het in werking treden van het klimaatverdrag, een langetermijndoel voor klimaatverandering vastgesteld. Een jaar later tijdens de COP16 in Cancún is dit doel nog iets preciezer geformuleerd: landen moeten urgent actie ondernemen om de stijging van de gemiddelde mondiale temperatuur te beperken tot maximaal 2 graden Celsius ten opzichte van pre-industriële niveaus door hun broeikasgasemissies sterk terug te dringen.

Op het eerste gezicht lijkt een vergelijking van de kosten en baten van het terugdringen van broeikasgasemissies niet meer relevant voor het bepalen van het juiste doel voor klimaatverandering, aangezien dit doel al is afgesproken. Er zijn echter verschillende redenen waarom beter inzicht in de kosten en baten belangrijk is. Ten eerste is er behoorlijk wat onzekerheid in het klimaatsysteem, waardoor

voor iedere broeikasgasconcentratie er alleen een bepaalde kans op het halen van de 2-gradendoelstelling kan worden bepaald. Aangezien nergens is vastgelegd hoe groot de kans moet zijn om het doel te halen is er nog ruimte voor interpretatie wat het uiteindelijke niveau van broeikasgasconcentraties zou moeten zijn. Ten tweede is tijdens de COP16 afgesproken om te evalueren of een langetermijndoelstelling van 1,5 graden in plaats van 2 graden niet beter is. Ten slotte wijzen verschillende studies er op dat het huidige mondiale emissiepad veel hoger is dan emissiepaden die leiden tot een gemiddelde of hoge kans op het halen van het 2-gradendoel. Ook rekening houdend met huidig en gepland klimaatbeleid lijkt het 2-gradendoel nog ver weg. Als er niet snel door vele partijen actie wordt ondernomen om broeikasgasemissies versneld te reduceren wordt het halen van 2 graden een nog lastigere taak dan het al is. Dit maakt de discussie over het optimale doel van klimaatbeleid weer een stuk relevanter.

Er zijn dus genoeg redenen, naast puur wetenschappelijke, om stil te staan bij de kosten en baten van klimaatbeleid. Met klimaatbeleid wordt hierbij bedoeld zowel beleid gericht op het terugdringen van broeikasgasemissies (mitigatie) als beleid gericht op het aanpassen aan (de te verwachten) klimaatverandering (adaptatie). Dit artikel poogt een inzicht te geven in de samenhang tussen de economische kosten en baten van klimaatbeleid en in de belangrijkste thema's op dit gebied.

In dit artikel wordt niet gepoogd om een kosten-batenanalyse voor klimaatbeleid uit te voeren. In plaats van te kijken naar de kosten en baten van specifieke beleidsmaatregelen, gaat dit artikel in op de kosten en baten van mitigatie en adaptatie op mondiaal niveau. Dus de vraag hoe en welk klimaatbeleid zou moeten worden uitgevoerd komt niet aan bod. Wel biedt het artikel inzicht in de aspecten die bepalen hoe sterk we klimaatbeleid zouden moeten implementeren vanuit mondiaal perspectief met als uitgangspunt kosten en baten.

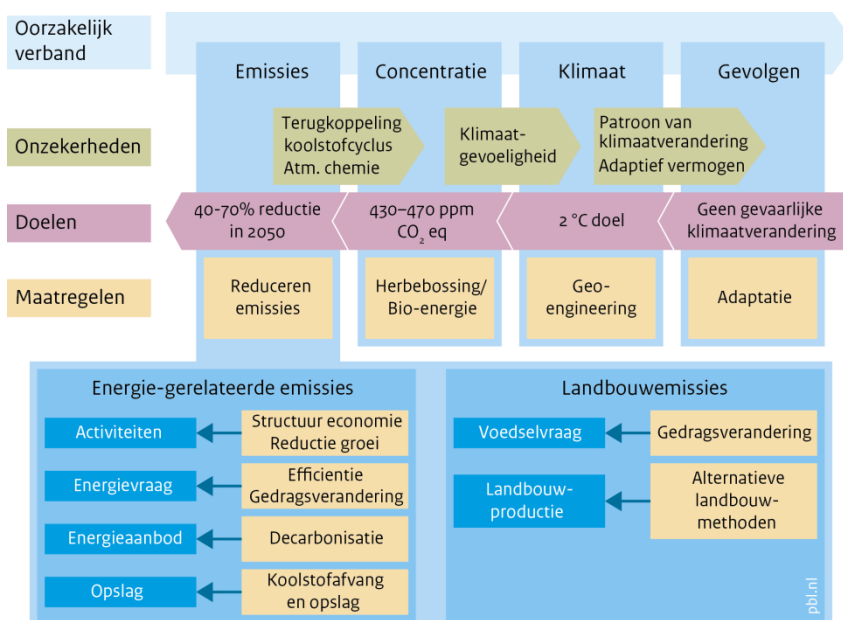
Dit artikel is als volgt opgebouwd. Sectie 2 beschrijft de samenhang tussen mitigatie en adaptatie en geeft derhalve de context voor de rest van het artikel. Sectie 3 gaat in op de kosten en baten van mitigatie en sectie 4 op de kosten en baten van adaptatie. Sectie 5 geeft een synthese van de resultaten en concludeert.

## **2 Samenhang tussen mitigatie en adaptatie**

Voor een goed begrip van de kosten en baten van klimaatbeleid is het nodig om de samenhang tussen mitigatie en adaptatie te begrijpen. Figuur 1 geeft hierin een goed inzicht door de oorzakelijk verbanden van het klimaatprobleem weer te geven. Broeikasgasemissies leiden tot een verhoogde concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer, wat leidt tot klimaatverandering, wat gevolgen heeft voor mens en natuur. De concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer worden in het algemeen benoemd in CO<sub>2</sub>-equivalenten (CO<sub>2</sub>eq), een maat waarbij niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen in de atmosfeer uitgedrukt worden in hun CO<sub>2</sub>-equivalent op basis van hun relatieve effect op de forcering ten opzichte van CO<sub>2</sub>.

Bij iedere stap kan klimaatbeleid een rol spelen: emissies kunnen worden verminderd door mitigatiemaatregelen zoals het vergroten van het aandeel hernieuwbare energie, de broeikasgasconcentratie kan direct worden beïnvloed door toepassing van bio-energie of herbebossing (wat in dit artikel ook gezien wordt als een vorm van mitigatie), de relatie tussen broeikasgasconcentraties en klimaatverandering kan worden beïnvloed door geo-engineering, en ten slotte kunnen de gevolgen van een gegeven verandering in klimaat worden verzacht door adaptatiemaatregelen, zoals dijkverhoging of aanpassingen aan infrastructuur. Het huidige artikel gaat niet in op geo-engineering; voor een overzicht van de opties en risico's van geo-engineering zie Clarke et al. (2014), paragraaf 6.9.

**Figuur 1.** Oorzakelijke verbanden van klimaatverandering en doelen en maatregelen voor klimaatverandering. Gebaseerd op Van Vuuren et al. (2014).



### 3 De kosten en baten van mitigatie

Mitigatiekosten zijn de kosten die worden gemaakt om broeikasgasemissies te reduceren; bijvoorbeeld de extra kosten van hernieuwbare energie ten opzichte van fossiele brandstoffen. De baten van mitigatie bestaan uit verminderde schade als gevolg van minder opwarming door mitigatiemaatregelen. Daarnaast kunnen nog positieve neveneffecten optreden, zoals betere luchtkwaliteit en energievoorzieningszekerheid. Deze paragraaf gaat eerst afzonderlijk op de kosten en baten in, op basis van bestaande inschattingen uit de literatuur. Hierna worden de kosten en baten met elkaar vergeleken.

### 3.1 De kosten van mitigatie

Mondiale analyses over de kosten van mitigatie zijn gebaseerd op Integrated Assessment Modellen (IAMs). Deze modellen beschrijven de oorzakelijke verbanden van het klimaatprobleem, zoals weergegeven in Figuur 1. In het algemeen zijn IAMs onder te verdelen in modellen die de directe mitigatiekosten berekenen gebaseerd op gedetailleerde beschrijvingen van het energiesysteem en landgebruik (maar zonder beschrijving van de rest van de economie) en modellen die welvaartsverliezen inschatten door de economie als geheel te modelleren met de interacties die tussen sectoren plaatsvinden (maar met een minder gedetailleerde weergave van het energiesysteem).

In het IPCC WGIII rapport (Clarke et al. 2014) zijn de resultaten van verschillende modelvergelijkingsstudies over de kosten van mitigatie samengevat. Het IPCC concludeert dat de geaggregeerde economische kosten van mitigatie sterk afhankelijk zijn van het type model en de specificatie van scenario's, inclusief technologie-aannames en timing van mitigatie. De inschattingen voor de directe mitigatiekosten voor het stabiliseren van de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer op 430-480 ppm CO<sub>2</sub>eq, overeenkomend met een meer dan gemiddelde kans (>66%) op het halen van het 2-gradendoel, zijn minder dan 1% van het mondiale inkomen tot 2030, maar daarna oplopen tot ca. 2% aan het eind van de eeuw, met een grote onzekerheidsmarge van 0,8% tot 4% (25-75 percentiel range). De directe mitigatiekosten voor het halen van een minder ambitieus doel zijn een stuk lager: stabilisatie van de broeikasgasconcentratie op 530-580 ppm CO<sub>2</sub>eq, overeenkomend met een minder dan waarschijnlijke kans op het halen van 2 graden maar een meer dan gemiddelde kans op het halen van 2,5 graden, zijn ongeveer de helft van bovengenoemde kosten (Clarke et al. 2014; tabel 6.21).

De consumptieverliezen, zoals ingeschat door de economische modellen, worden hoger ingeschat: de centrale 70% van de projecties lopen uiteen van 1% tot 4% in 2030, 2% tot 6% in 2050, en 3% tot 11% in 2100. Dit komt overeen met een vermindering van de jaarlijkse groei van de mondiale consumptie van 0,04% tot 0,14% gedurende de eeuw.

Bovenstaande getallen moeten met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd. Ten eerste zijn de kosten berekend onder de aanname van optimaal mitigatiebeleid (alle landen en sectoren doen met onmiddellijke ingang mee, geen beperkingen ten aanzien van de technologiemix). Met beperkte of vertraagde deelname van landen of beperkte inzet van bepaalde mitigatietechnologieën zullen de kosten hoger uitvallen. Zo laten Kriegler et al. (2014) zien dat als koolstofafvang- en opslag als mitigatiemaatregel wordt uitgesloten de kosten 1,5 tot 3,5 keer hoger kunnen uitvallen, of dat het 2-gradendoel zelfs niet meer kan worden gehaald. Ten tweede zijn er ook modellen waarin het mitigatiepotentieel te beperkt is om het 2-gradendoel te halen. Deze rapporteren dus ook geen kosten, wat kan resulteren in een te lage inschatting van de gemiddelde kosten (Tavoni en Tol 2010). Hiertegenover staat dat bovengenoemde kosteninschattingen geen rekening houden met de co-benefits van klimaatbeleid, zoals verbeterde luchtkwaliteit en energievoorzieningszekerheid. Deze co-benefits kunnen aanzienlijk zijn: voor

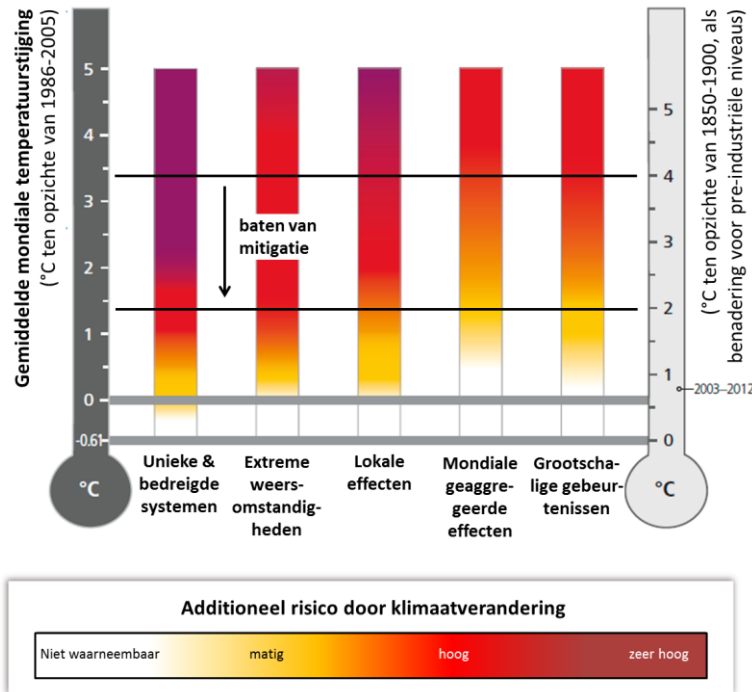
ambitieuze mitigatiepaden kunnen de co-benefits oplopen tot 40% van de mitigatiekosten (GEA 2012; McCollum et al. 2013). Ook houden de modellen die mitigatiekosten berekenen geen rekening met gedragsveranderingen, zoals veranderingen in dieet, wat de mitigatiekosten ook aanzienlijk kan verminderen (Stehfest et al. 2009).

### 3.2 De baten van mitigatie

Nog meer dan bij de kosten van mitigatie speelt bij de baten van mitigatie (dus de vermeden schade) onzekerheid een cruciale rol. Zoals aangegeven in Figuur 1 zijn er tussen de oorzakelijke verbanden van het klimaatprobleem belangrijke onzekerheden, met name in het klimaatsysteem. Dit systeem is dermate complex dat de precieze invloed van broeikasgasemissies op het klimaat niet met zekerheid is vast te stellen, zeker niet op regionaal niveau wat van belang is om de gevolgen van klimaatverandering goed in te schatten. En zelfs als we met zekerheid zouden weten hoe het klimaat verandert, is het heel moeilijk in te schatten wat het effect is van een bepaalde verandering van het klimaat, helemaal uitgedrukt in monetaire eenheden of inkomensverlies. Daarom wordt in het IPCC-rapport de impact van klimaatverandering ook uitgedrukt in risico's. Figuur 2 illustreert de baten in termen van verminderd risico van het halen van het 2-gradendoel ten opzichte van een scenario zonder klimaatbeleid waarin klimaatverandering ongeveer 4 graden is aan het eind van de eeuw.

Om Figuur 2 te vertalen naar schade uitgedrukt in monetaire eenheden wordt ofwel gebruik gemaakt van de enumeratieve methode (schade-inschatting op basis van de te verwachten fysieke gevolgen van klimaatverandering) ofwel van statistische relaties tussen klimaatverandering en welvaart op basis van empirische data (Tol 2009). Het aantal studies met mondiale inschattingen van de schade van klimaatverandering, die nodig zijn om de baten van mitigatie te bepalen, is beperkt ten opzichte van het aantal studies dat de kosten van mitigatie in kaart probeert te brengen. In Tol (2014) worden deze studies samengevat. Van de 21 studies is er maar eentje die een inschatting maakt van de schade van meer dan 3 graden temperatuurstijging. De overgrote meerderheid (17 van de 21) van de studies betreffen inschattingen van de schade van 2,5 of 3 graden, waarbij de inschattingen uiteenlopen van bijna geen schade tot meer dan 10% welvaartsverlies. Dit betreffen mondiale inschattingen; de schade van individuele landen kan hoger of lager uitvallen. Over het algemeen is de inschatting dat de schade in ontwikkelingslanden (veel) hoger is dan in ontwikkelde landen.

**Figuur 2** De baten van mitigatie geïllustreerd aan de hand van de risico's van klimaatverandering. Gebaseerd op Figuur van IPCC (2014)



Aangezien er geen of nauwelijks studies beschikbaar zijn voor temperatuurstijgingen van minder dan 2,5 of meer dan 3 graden, kan hier alleen een grove inschatting voor worden gemaakt door extrapolatie of door expert judgement over het risico op bepaalde tipping points, zoals het smelten van het West-Antarctische ijskap, de ontsnapping van methaan door ontdooien van permafrost, of verstoring van de warme golfstroom. Op basis van de 21 bestaande studies komt Tol (2014) tot een waarschijnlijkheidsrange van de inschatting van de economische schade van 4 graden temperatuurstijging welke varieert van 1,5% tot 12% van het mondiaal inkomen. Om 4 graden in perspectief te zien: scenario's zonder klimaatbeleid met relatief hoge emissies gedurende de eeuw laten aan het einde van de eeuw een gemiddelde temperatuurstijging van 3,2 tot 5,4 graden zien (IPCC 2013; Tabel SPM.2). Deze inschattingen houden er rekening mee dat er in ieder geval enige adaptatie aan klimaatverandering plaatsvindt.

Bovenstaande inschattingen maken duidelijk dat er nog veel onbekend is over de schade van klimaatverandering (Pindyck 2013). Niet voor niets concludeert het IPCC dat de onzekerheden over de toekomstige kwetsbaarheid van menselijke en natuurlijke systemen groot zijn. Hoewel de absolute baten dus erg onzeker zijn, lijken de baten in relatieve termen (het aandeel van de schade die wordt voorkomen) redelijk robuust. Arnell et al. (2013) laten zien dat onder verschillende aannames een 2-gradenscenario 20% tot 65% van de schade in 2100 vermijdt ten

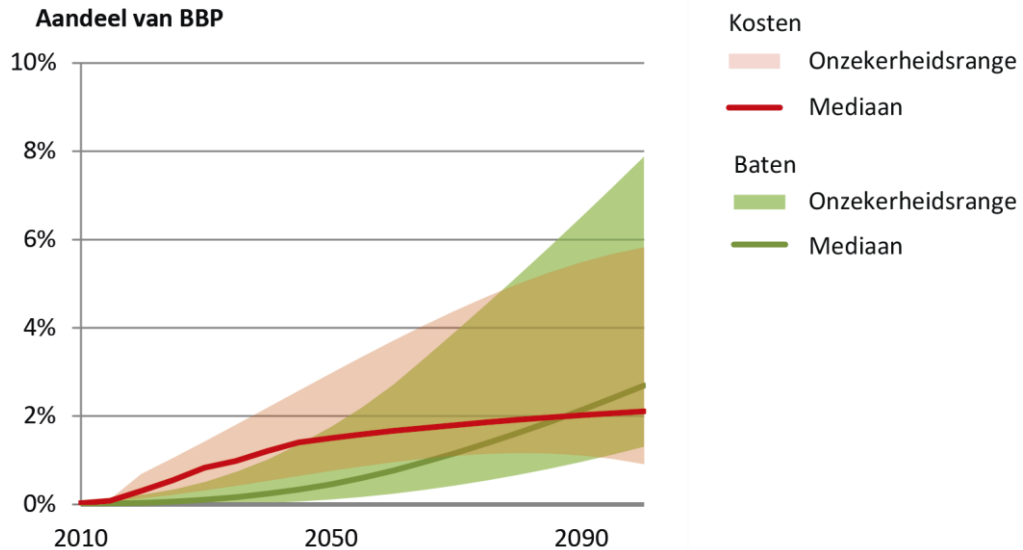
opzichte van een scenario met een temperatuurstijging van 4 graden aan het eind van de eeuw.

Naast de bovengenoemde directe baten van mitigatie als gevolg van vermeden schade door minder opwarming hebben veel mitigatiemaatregelen positieve neveneffecten. Deze bestaan voornamelijk uit verbetering van luchtkwaliteit en energievoorzieningszekerheid vanwege lagere invoer van fossiele brandstoffen. Het is niet eenvoudig om deze positieve neveneffecten in geld uit te drukken, maar voorzichtige inschattingen (McCollum et al. 2013; Riahi et al. 2012) zijn dat dergelijke positieve neveneffecten ongeveer 40% van de mitigatiekosten bedragen. Hiertegenover staat wel dat veel mitigatiemaatregelen negatieve neveneffecten met zich meebrengen, zoals landschapsvervuiling door windmolens en mogelijk biodiversiteitsverlies door het telen van biomassa.

### 3.3 Synthese van de kosten en baten van mitigatie en de rol van discontering

Figuur 3 vat de kosten en baten van een 2-gradenscenario over de tijd samen op basis van de hierboven gegeven inschattingen. De kosten en baten zijn weergegeven ten opzichte van een referentiescenario zonder klimaatbeleid waarin de mondiale temperatuurstijging 3,5 graden in 2100 en 5,4 graden in 2200 is. Dit figuur laat duidelijk het belang van timing en onzekerheid zien. Ten aanzien van timing is duidelijk dat de baten van mitigatie pas na enige decennia, ongeveer vanaf 2040, zichtbaar zijn. Dit komt door de traagheid van het klimaatsysteem: huidige emissiereductie heeft pas over een decennia of drie duidelijk effect op de temperatuur. Derhalve zijn aan het begin van de eeuw de kosten van mitigatie hoger dan de baten. Op de lange termijn zien we het omgekeerde: de baten van mitigatie overstijgen de kosten ervan met een factor die varieert van 2 tot 40 in 2200.

Het inzicht dat de kosten en baten van mitigatie in verschillende periodes plaatsvinden toont het belang van discontering. Discontering wordt gebruikt om de toekomstige baten van klimaatbeleid te vergelijken met de kosten die op korte termijn worden gemaakt. Waardes die voor de discontovoet worden gehanteerd voor het evalueren van klimaatmitigatie variëren van circa 1% (Stern 2007) tot circa 6% (Dasgupta 2008; Nordhaus 2008; Weitzman 2012). De contante waarde van 100 euro over 30 jaar is 74 euro met een discontovoet van 1% en 17 euro met een discontovoet van 6%. Over 100 jaar zijn de contante waarden respectievelijk 37 euro en 3 eurocent. Dus bij lage waardes van de discontovoet tellen toekomstige baten zwaarder mee. Dit maakt duidelijk dat de discontovoet een cruciale rol speelt bij de bepaling van de contante waarde van de baten van mitigatie, waarvan de grootste baten ver (tientallen tot meer dan honderd jaar) in de toekomst liggen.

**Figuur 3** De mitigatiekosten en -baten van een 2-graden scenario<sup>1</sup>

Vrijwel alle studies over kosten en baten van mitigatie maken gebruik van de maatschappelijke tijdsvoorkersvoet om de discontovoet te bepalen (Arrow et al. 2013; Hope 2011; Nordhaus 2008; Tol 2009). Dit is de waarde die de maatschappij hecht aan huidige consumptie ten opzichte van toekomstige consumptie (Guo et al. 2006). De maatschappelijke tijdsvoorkersvoet ( $d$ ) is een functie van de pure tijdsvoorker ( $\rho$ ) plus de negatieve inkomenselasticiteit van het marginaal nut ( $\mu$ ) maal de groeivoet van per capita consumptie ( $g$ ):

$$(1) d = \rho + \mu g$$

De eerste term  $\rho$  reflecteert de discontovoet die wordt toegepast als de welvaart van toekomstige generaties gelijk zou zijn aan die van de huidige generatie. Er bestaat veel discussie over de waarde die  $\rho$  zou moeten hebben. Stern (2007), Cline (1992) en Weitzman (2012) hanteren een waarde van bijna nul, op basis van het argument dat het ethisch onverdedigbaar is om de huidige generatie als belangrijker te zien als toekomstige generaties. Dit is in overeenstemming met de argumenten die reeds naar voren zijn gebracht door Ramsey (1928), Harrod (1948) en Solow (1974). Andere studies hanteren een hogere waarde voor  $\rho$ , op basis van het

<sup>1</sup> Bijgewerkte versie van Figuur 2.1 van Hof et al. (2014). De baten van mitigatie zijn gebaseerd op de gecorrigeerde en bijgewerkte schadefuncties zoals weergegeven in Tabel 2 en Figuur 2 van Tol (2014). De kosten van mitigatie zijn gebaseerd op Figuur 6.21 van Clarke et al. (2014). De onzekerheidsrange van de baten van mitigatie houdt alleen rekening met onzekerheid in schade-inschattingen gegeven een bepaalde verandering van klimaat, niet met onzekerheid in klimaatverandering zelf. In het onderliggende scenario zonder klimaatbeleid is de mondiale temperatuurstijging 4,6 graden in 2100 ten opzichte van het pre-industriële niveau.



argument dat een lage  $\rho$ , indien gecombineerd met een lage  $\mu$ , niet in overeenstemming is met de rentevoeten die we in de praktijk zien (Nordhaus, 2008).

De tweede term  $\mu g$  is de welvaartscomponent en reflecteert de aanname dat een extra euro meer waard is voor een arm dan voor een rijk persoon. De geschatte waarden voor  $\mu$  lopen uiteen van -1% tot -4% (Dasgupta, 2008; Hall, 1988; Weitzman, 2012). Hoge waarden duiden op een hoge risico-aversie (want de negatieve waardering van een euro verlies is dan veel hoger dan de positieve waardering van een euro winst), alsmede een groter maatschappelijke aversie tegen inkomensongelijkheid. De inkomenselasticiteit heeft niet alleen effect op de waardering van schade tussen generaties, maar ook binnen generaties: een hogere waarde van de inkomenselasticiteit betekent dat de schade in arme landen hoger wordt gewaardeerd dan de schade in rijke landen.

Overigens kunnen verschillende meningen over de waarde van  $\rho$  en  $\mu$  leiden tot vrijwel dezelfde discontovoeten. Zo hanteert Nordhaus (2008) de waarden  $\rho \approx 1.5\%$ ,  $\mu = 2$ ,  $g \approx 2\%$  wat leidt tot een discontovoet van  $\approx 5.5\%$ , terwijl Weitzman (2012) de waarden  $\rho \approx 0$ ,  $\mu = 3$ ,  $g \approx 2\%$  hanteert wat leidt tot een discontovoet van  $\approx 6\%$ . Indien voor zowel de inkomenselasticiteit van het marginaal nut als de pure tijdsvoorkeur relatief lage of hoge waarden worden gekozen zal de discontovoet afwijken van wat als “normale” waarden kan worden beschouwd. Zo hanteert Stern (2007)  $\rho = 0.1$ ,  $\mu = 1$ ,  $g = 1.3\%$ , wat leidt tot een relatief lage discontovoet van 1.4%.

Aangezien de discontovoet mede afhankelijk is van de groei van consumptie, welke weer beïnvloed kan worden door schade ten gevolge van klimaatverandering, is onzekerheid in de schadeprojecties sterk verweven met de discussie over de discontovoet. Immers, indien de werkelijke schade van klimaatverandering in de buurt ligt van de hoogste inschattingen zal dit de consumptie dusdanig beïnvloeden dat de discontovoet over tijd daalt en zelfs negatief kan worden (Arrow et al. 2013; Arrow et al. 2014). Dit betekent dat indien rekening gehouden wordt met potentieel hoge schade van klimaatverandering de netto contante waarde van mitigatie al snel positief is, door enerzijds de hoge schade zelf en anderzijds de lagere discontovoet die dit met zich meebrengt.

#### 4 De kosten en baten van adaptatie

Adaptatiekosten zijn de kosten voor het aanpassen aan (toekomstige) klimaatverandering bijvoorbeeld via de constructie van klimaatbestendige gebouwen of het ophogen van dijken. Bij de baten van adaptatie gaat het om verminderde schade doordat de omgeving is aangepast aan klimaatverandering. Vergeleken met de kosten en baten van mitigatie is er veel minder bekend over de kosten en baten van adaptatie, zeker op mondiaal niveau. Een belangrijke reden is dat adaptatie veel diverser is en meer afhangt van lokale omstandigheden dan mitigatie: voor de baten van mitigatie maakt het niet uit waar emissies worden

gereduceerd, maar voor adaptatie is dit vanzelfsprekend wel belangrijk. Ook wordt er niet altijd dezelfde definitie van adaptatie gebruikt: sommige studies beschouwen adaptatiemaatregelen als de additionele maatregelen die nodig zijn om de effecten van klimaatverandering te beperken, terwijl andere studies alle maatregelen die tot doel hebben om de kwetsbaarheid door klimaatvariabiliteit te verminderen als adaptatie kenmerken (Dupuis en Biesbroek, 2013).

Twee studies die op mondiaal niveau een inschatting hebben gemaakt van de adaptatiekosten komen uit op 50 tot 170 miljard dollar in 2030 (UNFCCC, 2007) en een jaarlijks gemiddelde van 70 tot 100 miljard dollar tussen nu en 2050 (World Bank, 2010), afhankelijk van de mate van klimaatverandering. De laatste studie heeft een meer gedetailleerde omschrijving van aanpassingen aan infrastructuur, wat heeft geleid tot een kleinere onzekerheidsmarge. Naast deze studies zijn er nog enkele studies die de totale adaptatiekosten in ontwikkelingslanden hebben ingeschat. Deze komen tot jaarlijkse adaptatiekosten variërend van 9-41 miljard dollar (World Bank 2006), 50 miljard dollar of hoger (Oxfam 2007), tot 86 miljard dollar (UNDP 2007).

Al met al lijkt de voorzichtige conclusie dat de kosten van adaptatie wereldwijd om en nabij de 100 miljard dollar per jaar liggen. Dit is ongeveer 0,13% van het huidige mondiale inkomen en dus een fractie van kosten van mitigatie. Gezien het geringe aantal studies over de kosten van adaptatie is de onzekerheid echter groot en er zijn studies die beargumenteren dat de werkelijke kosten wel een factor 2 of 3 hoger zijn (Parry et al., 2009). Sectorale studies laten ook zien dat adaptatiekosten hoger kunnen uitvallen dan bovenstaande studies suggereren. Markandya en Chiabai (2009), bijvoorbeeld, komen op basis van empirische data uit op 3,3 tot 10,7 miljard dollar aan jaarlijkse adaptatiekosten in de gezondheidssector – vergeleken met 2 miljard dollar van de studie van de World Bank (2010).

Over de baten van adaptatie op mondiaal niveau is nauwelijks literatuur beschikbaar. Waarschijnlijk komt dit doordat adaptatiemaatregelen lokaal en zeer divers zijn. De studies over de kosten van adaptatie doen geen uitspraken over de baten ervan, maar veronderstellen dat bepaalde gevolgen van klimaatverandering vermeden zouden moeten worden. De paar studies die wel iets zeggen over de mondiale baten van adaptatie schatten in dat de baten grofweg vier keer zo hoog zijn als de kosten, onder de aanname van optimaal adaptatiebeleid (de Bruin et al. 2009; Hof et al. 2009).

## 5 Synthese en conclusies

De interactie tussen de kosten en baten van mitigatie en adaptatie is schematisch weergegeven in Figuur 4. De figuur laat voor verschillende mitigatiescenario's de restschade zien (schade die overblijft na adaptatie en mitigatie), alsmede de mitigatiekosten, adaptatiekosten en de extra schade als er geen adaptatie plaatsvindt. Gezien de grote onzekerheden gaat het hierbij niet om exacte getallen (zowel voor de kosten als baten van adaptatie en mitigatie zijn de getallen in Figuur

4 dichtbij de onderkant van de onzekerheidsrange), maar om de relatieve verhoudingen tussen de kosten en baten van mitigatie en adaptatie in de verschillende scenario's. De baten van mitigatie kunnen worden afgeleid door te kijken naar het verschil in restschade tussen de scenario's, en de baten van adaptatie door te kijken naar de extra schade die plaatsvindt zonder adaptatie.

De figuur laat duidelijk zien dat vanwege de traagheid in het klimaatsysteem de restschade in alle scenario's tot ongeveer 2040 hetzelfde is. Op de lange termijn zijn er wel grote verschillen in restschade tussen bijvoorbeeld het twee gradenscenario en het scenario met 5,5 graad temperatuurstijging. Aan het eind van de eeuw is bij alle scenario's, inclusief het 2-gradenscenario, de restschade groter dan de som van mitigatie- en adaptatiekosten. De mondiale adaptatiekosten zijn in het twee gradenscenario ongeveer vijf keer zo hoog als in het scenario zonder mitigatie aan het eind van de eeuw. Het belang van adaptatie is ook veel groter in een scenario zonder mitigatie: indien optimaal adaptatiebeleid faalt zal de extra schade veel hoger zijn in een scenario zonder mitigatie. Dit betekent dat op mondiaal niveau mitigatie kan worden gezien als een strategie om risico's te verkleinen: mitigatie verlaagt zowel het risico op onzekere, maar potentieel hoge, klimaatschade als op het falen van optimaal adaptatiebeleid.

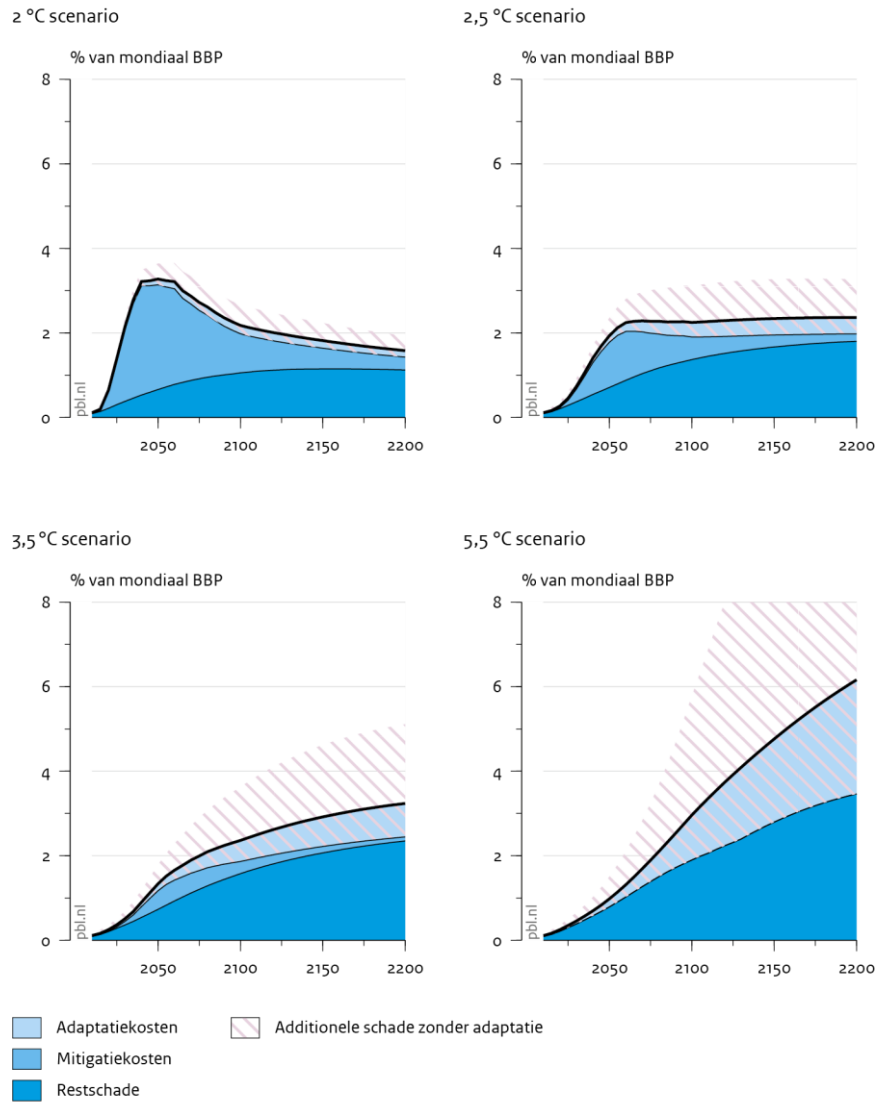
Een van de belangrijkste conclusies is dat timing en onzekerheid een cruciale rol spelen bij inschattingen van de kosten en baten van mitigatie. De baten van mitigatie vinden niet alleen pas decennia na de kosten ervan plaats, maar de baten zijn ook veel onzekerder dan de kosten. Met andere woorden, de schade van klimaatverandering is onzekerder dan de kosten van mitigatie. De schade is ook ongelijk verdeeld: in de armste landen is de schade het hoogst, terwijl de rijkere landen historisch het meest verantwoordelijk voor klimaatverandering zijn. Op de lange termijn worden de baten van mitigatie hoger ingeschat dan de kosten. In de tweede helft van de eeuw stijgen naar verwachting zowel de klimaatschade als de adaptatiekosten sterk als er geen mitigatie plaatsvindt.

Er zijn nog weinig studies over de kosten en baten van adaptatie. Dit ligt deels aan het hanteren van verschillende definities van de term adaptatie. Wel concluderen verschillende studies dat adaptatie maar tot op zekere hoogte de schade kan voorkomen. Dit betekent dat een deel van de schade alleen met mitigatie kan worden voorkomen, hoewel ook hier geldt dat een bepaalde mate van klimaatverandering – en daarmee klimaatschade – onvermijdelijk is.

Gezien de grote onzekerheden kunnen er geen eenduidige conclusies worden getrokken over de optimale mix van adaptatie en mitigatie. Indien een groot belang wordt gehecht aan de welvaart van toekomstige generaties of aan het vermijden van risico's ligt ambitieus mitigatiebeleid voor de hand. In een dergelijk scenario zal er echter nog steeds aandacht aan adaptatie moeten worden gegeven, omdat een deel van de gevolgen van klimaatverandering niet meer met mitigatie kan worden vermeden. Indien gekozen wordt voor een minder ambitieus mitigatiebeleid is adaptatie cruciaal om de ergste gevolgen van klimaatverandering te verzachten. Het adaptief vermogen lijkt echter beperkt, zodat in een dergelijk scenario rekening

gehouden moet worden met flinke restschade van klimaatverandering, vooral in armere landen – wat ook zijn neerslag kan hebben op de rest van de wereld.

**Figuur 4** Schematische weergave van de interactie tussen de kosten en baten van mitigatie en adaptatie over tijd<sup>2</sup>



<sup>2</sup> Restschade is gedefinieerd als de schade van klimaatverandering na adaptatie en mitigatie. Het 5,5-gradensscenario is een scenario zonder mitigatie. Onzekerheid is niet weergegeven; de getoonde kosten en baten zijn schattingen die dichtbij de onderkant van de onzekerheidsrange liggen. Bron: Hof et al. (2009)

**Auteur**

Andries Hof ([andries.hof@pbl.nl](mailto:andries.hof@pbl.nl)) is als wetenschappelijk medewerker werkzaam bij de sector Klimaat, Lucht en Energie van het PBL (Planbureau voor de Leefomgeving)

**Literatuur**

- Arnell, N.W., J.A. Lowe, S. Brown, S.N. Gosling, P. Gottschalk, J. Hinkel, B. Lloyd-Hughes, R.J. Nicholls, T.J. Osborn, T.M. Osborne, G.A. Rose, P. Smith en R.F. Warren, 2013, A global assessment of the effects of climate policy on the impacts of climate change. *Nature Climatic Change*, vol. 3(5): 512-519.
- Arrow, K., M. Cropper, C. Gollier, B. Groom, G. Heal, R. Newell, W. Nordhaus, R. Pindyck, W. Pizer, P. Portney, T. Sterner, R.S.J. Tol en M. Weitzman, 2013, Determining benefits and costs for future generations. *Science*, vol. 341(6144): 349-350.
- Arrow, K.J., M.L. Cropper, C. Gollier, B. Groom, G.M. Heal, R.G. Newell, W.D. Nordhaus, R.S. Pindyck, W.A. Pizer, P.R. Portney, T. Sterner, R.S.J. Tol en M.L. Weitzman, 2014, Should governments use a declining discount rate in project analysis? *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 8(2): 145-163.
- Clarke, L., K. Jiang, K. Akimoto, M. Babiker, G. Blanford, K. Fisher-Vanden, J.-C. Hourcade, V. Krey, E. Kriegler, A. Löschel, D. McCollum, S. Paltsev, S. Rose, P.R. Shukla, M. Tavoni, B.C.C.v.d. Zwaan en D.P.v. Vuuren, 2014, Assessing Transformation Pathways, In: Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., Stechow, C.v., Zwickel, T. en Minx, J.C., eds., *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, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Cline, W.R., 1992, The economics of global warming. Institute for International Economics.
- Dasgupta, P., 2008, Discounting climate change. *Journal of Risk and Uncertainty*, vol. 37(2-3): 141-169.
- de Bruin, K.C., R.B. Dellink en S. Agrawala, 2009, Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Integrated Assessment Modelling of Adaptation Costs and Benefits. OECD Environment Working Papers No. 6. OECD, Paris.
- Dupuis, J. en R. Biesbroek, 2013, Comparing apples and oranges: The dependent variable problem in comparing and evaluating climate change adaptation policies. *Global Environmental Change*, vol. 23(6): 1476-1487.
- GEA, 2012, Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future. Cambridge University Press, Cambridge UK and New York, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- Guo, J., C.J. Hepburn, R.S.J. Tol en D. Anthoff, 2006, Discounting and the social cost of carbon: a closer look at uncertainty. *Environ. Sci. Policy*, vol. 9(3): 205-216.

- Hall, R.E., 1988, Intertemporal Substitution in Consumption. *Journal of Political Economy*, vol. 96(2): 339-357.
- Harrod, R.F., 1948, Towards a dynamic economics. Macmillan, London
- Hof, A., P. Boot, D. van Vuuren en J. van Minnen, 2014, Costs and benefits of climate change adaptation and mitigation: An assessment on different regional scales. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague.
- Hof, A.F., K.C. de Bruin, R.B. Dellink, M.G.J. den Elzen en D.P. van Vuuren, 2009, The effect of different mitigation strategies on international financing of adaptation. *Environ. Sci. Policy*, vol. 12(7): 832-843.
- Hope, C., 2011, The Social Cost of CO2 from the PAGE09 Model. *Economics Discussion Papers*, vol. 2011(39).
- IPCC, 2013, Summary for Policymakers, In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. en Midgley, P.M., eds., *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2014, Summary for policymakers, In: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R. en White, L.L., eds., *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.
- Kriegler, E., J.P. Weyant, G.J. Blanford, V. Krey, L. Clarke, J. Edmonds, A. Fawcett, G. Luderer, K. Riahi, R. Richels, S.K. Rose, M. Tavoni en D.P. van Vuuren, 2014, The role of technology for achieving climate policy objectives: Overview of the EMF 27 study on global technology and climate policy strategies. *Climatic Change*, vol. 123(3-4): 353-367.
- Markandya, A. en A. Chiabai, 2009, Valuing climate change impacts on human health: Empirical evidence from the literature. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 6(2): 759-786.
- McCollum, D.L., V. Krey, K. Riahi, P. Kolp, A. Grubler, M. Makowski en N. Nakicenovic, 2013, Climate policies can help resolve energy security and air pollution challenges. *Climatic Change*, vol. 119(2): 479-494.
- Nordhaus, W.D., 2008, A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies. Yale University, New Haven.
- Oxfam, 2007, Adapting to climate change – What’s needed in poor countries, and who should pay. Oxfam, Washington.
- Parry, M., N. Arnell, P. Berry, D. Dodman, S. Fankhauser, C. Hope, S. Kovats, R. Nicholls, D. Satterthwaite, R. Tiffin en T. Wheeler, 2009, Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates. International Institute for Environment and Development and the Grantham Institute for Climate Change, Imperial College, London.
- Pindyck, R.S., 2013, Climate change policy: What do the models tell us?, *Journal of Economic Literature*, vol. 51(3): 860-872.
- Ramsey, F.P., 1928, A Mathematical Theory of Saving. *Economic Journal*, vol. 38: 543-559.
- Riahi, K., F. Dentener, D. Gielen, A. Grubler, J. Jewell, Z. Klimont, V. Krey, D. McCollum, S. Pachauri en S. Rao, 2012, Energy pathways for sustainable development, In: Johansson, T., Nakicenovic, N., Patwardhan, A. en Gomez-Echeverri,

- L., eds., *Global energy assessment: Toward a Sustainable future*, Cambridge University Press, Cambridge UK and New York, USA en International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- Solow, R.M., 1974, The economics of resources or the resources of economics. *American Economic Review*, vol. 64(2): 1-14.
- Stehfest, E., L. Bouwman, D.P. Van Vuuren, M.G.J. Den Elzen, B. Eickhout en P. Kabat, 2009, Climate benefits of changing diet. *Climatic Change*, vol. 95(1-2): 83-102.
- Stern, N., 2007, *The Economics of Climate Change*, The Stern Review. Cambridge University press, Cambridge, UK.
- Tavoni, M. en R.J. Tol, 2010, Counting only the hits? The risk of underestimating the costs of stringent climate policy. *Climatic Change*, vol. 100(3-4): 769-778.
- Tol, R.S.J., 2009, The Economic Effects of Climate Change. *Journal of Economic Perspectives*, vol. 23(2): 29-51.
- Tol, R.S.J., 2014, Correction and update: The economic effects of climate change. *Journal of Economic Perspectives*, vol. 28(2): 221-226.
- UNDP, 2007, *Human Development Report 2007/2008*. UNDP, New York.
- UNFCCC, 2007, *Investment and Financial Flows to Address Climate Change*, Bonn.
- van Vuuren, D., M. den Elzen, A. Hof, M. Roelfsema, P. Lucas, M. van Sluisveld, D. Gernaat, S. Otto, M. van den Berg, M. Harmsen, M. Schaeffer en A. Admiraal, 2014, *Long-term climate policy targets and implications for 2030*. The Hague, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Weitzman, M.L., 2012, GHG Targets as Insurance Against Catastrophic Climate Damages. *Journal of Public Economic Theory*, vol. 14(2): 221-244.
- World Bank, 2006, *Clean energy and development: Towards an investment framework*.
- World Bank, 2010, *The economics of adaptation to climate change - a synthesis report*. The World Bank Group, Washington, D.C.