

Wetenschap voor de verre toekomst

Lieven Decock¹

Abstract – Scientific evidence has become increasingly important in supporting policy decisions. Based on scientific predictions and economic assessments, precise cost-benefit analyses can be developed to guide policymaking. I address the question of whether such analyses remain meaningful for policy decisions with long-term consequences, spanning multiple decades or even centuries. There are significant complications when applying cost-benefit analyses to long-term policy. Standard models allow weighing current costs and benefits against future ones through discounting, but this approach becomes problematic when future generations are involved. Moreover, uncertainties in scientific and economic projections increase over time. As a result, both the normative justification and predictive power of long-term cost-benefit analyses diminish. I illustrate the problems by means of the case study of Integrated Assessment Models (IAMs) in climate policy. I conclude that long-term policymaking cannot rely on cost-benefit analyses solely.



Op basis van wetenschappelijke voorspellingen over de impact van beleidskeuzes en economische overwegingen over de wenselijkheid van verschillende scenario's kunnen precieze kosten-baten analyses opgesteld worden die beleid kunnen ondersteunen.² Deze analyses, waarin de voor- en nadelen van beleidskeuzes gemonetariseerd worden zodat een afweging op basis van financiële doelmatigheid mogelijk wordt, zijn steeds belangrijker geworden in hedendaagse beleidsontwikkeling.³ Ik wil de vraag aan de orde stellen of dergelijke analyses ook zinnig zijn voor beleidsbeslissingen die vooral op de lange termijn, over meerdere decennia

-
1. Lieven Decock is hoogleraar Filosofie van de Wetenschappen aan de Vrije Universiteit Amsterdam en doceert in de opleidingen Filosofie en *Philosophy, Politics and Economics*. Contact: l.b.decock@vu.nl. Dit artikel is vrij beschikbaar volgens de bepalingen van de Creative Commons licentie Naamsvermelding-NietCommercieel-GeenAfgeleideWerken (BY-NC-ND).
 2. Voor een uitgebreide beschrijving van de methodologie van kosten-baten analyses, zie Weimer en Vining 2017, 398-434.
 3. Kosten-baten analyses kregen een rol in het Amerikaanse overheidsbeleid in de jaren 1930, met name in de Flood Control Act, maar oorspronkelijk zijn ze ontwikkeld door Franse transportingenieurs in de eerste helft van de negentiende eeuw (Jiang en Marggraf 2021). Vanaf de jaren 1980 kregen ze een centrale rol in de ontwikkeling van overheidsbeleid (Weimer en Vining 2017, 398-399). Sinds de jaren 1990 is er een gestage toename van het aantal studies waarin gebruik gemaakt wordt van kosten-baten analyses, vooral in de angelsaksische landen en in wetenschappelijk of technologische georiënteerde beleidsdomeinen (Jiang en Marggraf 2021, fig. 1).

of eeuwen, gevolgen hebben. Zelden worden beleidskeuzes genomen op basis van een perspectief langer dan twintig jaar, maar omwille van maatschappelijke problemen met vooral lange-termijn gevolgen, zoals klimaatverandering, verminderde biodiversiteit, of de beperkte beschikbaarheid van grondstoffen, worden nu ook kosten-baten analyses opgesteld met een langere tijdshorizon.

Er zijn specifieke complicaties die optreden bij kosten-baten analyses op langere termijn.⁴ Een eerste complicatie betreft de vergelijking van huidige en toekomstige kosten en baten. In kosten-baten analyses voor de korte of middellange termijn is het redelijk goed mogelijk om de huidige kosten en baten af te wegen tegenover toekomstige kosten en baten. Wanneer de periode langer wordt, is het twijfelachtig of de gebruikelijke aanpak uit economische modellen, *discounting*, bruikbaar blijft, omwille van de onzekerheid over de economische groei in de toekomst en de verantwoordelijkheid ten opzichte van toekomstige generaties. Een tweede complicatie betreft de steeds grotere onzekerheden in de wetenschappelijke modellen en de economische prognoses. Naarmate men verder gaat extrapoleren, worden de onzekerheden in een model groter en is steeds minder duidelijk of het model zelf bruikbaar blijft. Bovendien kan chaosgedrag optreden in complexe systemen. Ik illustreer deze twee complicaties aan de hand van een *case study* met belangrijke maatschappelijke gevolgen, namelijk de *Integrated Assessment Models* (IAM's). IAM's zijn complexe kosten-baten analyses die gebruikt worden voor de evaluatie van klimaatbeleid. In de conclusie stel ik dat verantwoord lange-termijn beleid niet enkel op kosten-baten analyses kan gebaseerd zijn en formuleer ik kort enkele alternatieven.⁵

1. De vergelijking van huidige en toekomstige kosten en baten

1.1 De methode van *discounting*

In veel beleidsdomeinen is de kosten-baten analyse een onmisbaar onderdeel van beleidsontwikkeling geworden. Een belangrijke vraag die naar voren kwam tijdens de ontwikkeling van deze analyses betreft de vergelijking van huidige en toekomstige kosten en baten. Zeker bij beleid met een tijdshorizon van meerdere

-
4. In mijn analyse laat ik meer algemene kritieken op kosten-baten analyses grotendeels buiten beschouwing. Beprijzing van kosten en baten reflecteert niet noodzakelijk de subjectieve preferenties van alle belanghebbenden. Sommige factoren of waarden, zoals bijvoorbeeld biodiversiteit, zijn mogelijk helemaal niet in monetaire waarde uit te drukken. In de analyse ga ik ook uit van een duidelijk onderscheid tussen wetenschap en waarden. Constructivistische opvattingen over wetenschap die de grens tussen wetenschap en beleid vervagen via de claim dat wetenschappelijke theorieën altijd sociaal gedetermineerd zijn blijven buiten beschouwing.
 5. In dit artikel ligt de focus op de grenzen van epistemisch en ethisch verantwoorde lange-termijn beleidsontwikkeling. De empirische realiteit van suboptimale beleidsontwikkeling op basis van gebrekkige informatie, ideologie, of particuliere belangen is hierbij minder belangrijk.

decennia, zoals bij de bouw van kerncentrales of de organisatie van een pensioenstelsel, moeten de huidige kosten en baten kunnen vergeleken worden met de kosten en baten op elk ogenblik in de toekomst.

De huidige waarde van 100€ is niet dezelfde als de waarde van 100€ in de toekomst. Wanneer bijvoorbeeld 100€ geïnvesteerd wordt met een verwachte opbrengst van 7% op jaarbasis, is het geïnvesteerde bedrag na vijftig jaar 2946€ waard, zodat een kost van 100€ vandaag veel zwaarder weegt dan een kost van 100€ over vijftig jaar.⁶ Economen hebben een methode ontwikkeld, *discounting*, om economische waardes op verschillende tijdstippen te vergelijken. De *discount rate* geeft aan hoe de verhouding tussen de waarde van goederen of diensten vandaag en hun waarde in de toekomst exponentieel in de tijd afneemt. Met een *discount rate* van 7% per jaar staat tegenover een kost van 100€ over vijftig jaar een huidige waarde van 3.4€. Het is gebruikelijk om de *discount rate* gelijk te stellen aan de marktrente. Een economisch model ontwikkeld door Frank Ramsey (1928) verklaart waarom dit kan. Op basis van de *Ramsey rule*⁷ wordt de *discount factor* bepaald door economische groei, ongeduld bij consumptie, en een verschil in waardering van consumptie vandaag in vergelijking met consumptie later. Economische groei is belangrijk voor de opportuiniteitskosten; als het geld geïnvesteerd wordt in plaats van geconsumeerd, is de economische groei bepalend voor het bedrag dat in de toekomst beschikbaar zal zijn. Ongeduld is het psychologische gegeven dat mensen niet altijd weerstand kunnen bieden aan consumptie in het heden, terwijl duidelijk is dat de waarde van toekomstige consumptie hoger is. Ongeduld is niet rationeel en leidt meestal tot spijt. Het is evenwel ook mogelijk dat consumptie in het heden anders gewaardeerd wordt dan consumptie in de toekomst. Men kan zich voorstellen dat men harder kan lijden om een vermogen te verwerven wanneer men jong is. Anderzijds is het genot van feestvieren mogelijk groter als men jong is. Ramsey's model is onproblematisch bij particuliere beleidsbeslissingen op korte en middellange termijn. Op tijdschalen van meerdere decennia of eeuwen wordt *discounting* wel problematisch.

1.2 Epistemische problemen met *discounting*

De marktrente weerspiegelt de huidige economische verwachtingen voor economische groei. Echter, lange termijn marktrentes hebben slechts een looptijd van hooguit tien jaar. Het is niet vanzelfsprekend dat deze geschikt zijn voor beslissin-

6. Inflatie is een extra complicerende factor die in deze analyse buiten beschouwing is gelaten. De normatieve conclusie over *discounting* verandert niet wanneer inflatie wordt verrekend. De epistemische conclusie wordt enkel versterkt, omdat een extra factor van onzekerheid wordt ingebracht.

7. Voor een formele uitwerking en technische analyse, zie Stern 2015, 177-180 en Gardiner 2011, 270-280.

gen met gevolgen over meerdere decennia of eeuwen. Het lijkt logisch om een historisch gemiddelde van de marktrente te hanteren, maar ook hier rijst de vraag of historische groeipercentages op langere termijn bruikbaar blijven. Er zijn redenen om te denken dat dit niet zo is. Een typische economische groeicurve is exponentieel; de economie groeit elk jaar met enkele procenten. Echter, op basis van Vaclav Smils (2019) recente empirische analyse van allerlei groeicurves van biologische organismes, technologische ontwikkelingen, en culturele systemen, kan men concluderen dat exponentiële groei in de natuur niet voorkomt. Groeicurves hebben typisch een S-vorm; ze beginnen met exponentiële groei, die daarna afzwakt, een plateau bereikt en soms zelfs weer afneemt. Er is geen reden om aan te nemen dat economische groeicurves hierop een uitzondering vormen.

Economische groei hangt samen met de bevolkingsgroei en het energieverbruik. De grenzen aan de groei komen hiervoor al in zicht. De jaarlijkse bevolkingsgroei bereikte een piek van 2.3% in 1963, is sindsdien gestaag gedaald tot 0.9% in 2023, en zal voor het einde van de eeuw negatief worden (Roser en Ritchie 2023). Een krimpende en vergrijsde bevolking zal de economische groei afremmen. Ook het energiegebruik is positief gecorreleerd met economische groei. Op dit ogenblik groeit het mondiaal energieverbruik met ongeveer 1-2% per jaar (Ritchie et al. 2020). Voor het huidige mondiale energieverbruik zou het inzetten van 0,5% van het aardoppervlak voor zonne-energie volstaan, maar als de toekomstige wereldbevolking van 10 miljard mensen hetzelfde energieniveau van de gemiddelde Amerikaan zou bereiken is al een verviervoudiging van het energieverbruik nodig. Bij verdere continue exponentiële groei zal op enig ogenblik in de komende decennia of eeuwen het hele aardoppervlak met zonnepanelen overdekt zijn. Ook voor andere energievormen zijn er fysieke grenzen. Het is weliswaar denkbaar dat economische groei mogelijk is zonder groei van het energieverbruik, – de correlatie tussen economische groei en energieverbruik daalt al jaren en is nu negatief in enkele geïndustrialiseerde landen (Ritchie et al. 2020) - maar het is erg onwaarschijnlijk dat een daling eindeloos kan doorgaan. Dit zou immers betekenen dat het aandeel van de industriële productie in de economie verwaarloosbaar klein wordt.

Deze observaties zijn niet bedoeld als voorspellingen van afnemende economische groei. Het is bijzonder moeilijk om in te schatten wanneer groeicurves gaan afnemen. Malthus' conclusie dat exponentiële bevolkingsgroei zou afgeremd worden door een schaarste aan middelen lijkt nu bewaarheid te worden, maar pas na twee eeuwen explosieve bevolkingsgroei. Evenmin is het mijn bedoeling te pleiten voor *degrowth*. Aanhangers van de *degrowth*-gedachte maken een sterke normatieve claim, namelijk dat een utilitaristische, economische calculus gericht op optimalisatie onwenselijk is. De *degrowth*-gedachte houdt meteen de verwerping van beleidsoptimalisatie via een kosten-baten analyse in, maar zou een meer uitgebreide

filosofische motivering vereisen die buiten het kader van de hier gepresenteerde analyse valt. De belangrijkste conclusie is dat de markttrente of de gemiddelde historische groei geen betrouwbare indicatoren zijn om een correcte *discount factor* te bepalen die in kosten-baten analyses op lange termijn kan gebruikt worden.

1.3 Normatieve problemen met discounting

Een tweede reden waarom de markttrente onbruikbaar is als *discount factor* is van normatieve aard. Naast de economische groei is de afweging van huidige consumptie tegenover toekomstige consumptie bepalend voor de markttrente. Economische analyses van de markttrente tonen aan dat toekomstige consumptie systematisch lager gewaardeerd wordt dan huidige consumptie, een fenomeen dat bekend staat als *pure discounting*. Zoals eerder aangegeven, zijn de redenen hiervoor dat consumenten ongeduldig zijn of toekomstige consumptie minder belangrijk vinden dan consumptie in het heden. Als de huidige groep consumenten nauwelijks verschilt van de toekomstige groep consumenten, wat het geval is bij kosten-baten analyses met een beperkte tijdshorizon, is *pure discounting* vrij onproblematisch. De huidige keuzes van consumenten bepalen hun eigen toekomst. Wanneer men *pure discounting* gaat toepassen op langere tijdschalen, ontstaat een asymmetrie tussen huidige en toekomstige generaties. Bij *pure discounting* wordt toekomstige consumptie minder waardevol geacht dan huidige consumptie, wat betekent dat de huidige generatie meer zal consumeren dan toekomstige generaties.

Er zijn argumenten naar voren geschoven om *pure discounting* te rechtvaardigen, maar met één uitzondering zijn ze allen problematisch. Het enige niet-controversiële argument is gebaseerd op de mogelijkheid van extinctie van de menselijke soort. Dit argument is analoog aan het argument voor *pure discounting* op basis van de kans op vroegtijdig sterven van een individueel persoon. Ook wanneer jongeren oordelen dat consumptie op tachtigjarige leeftijd even waardevol is als consumptie op twintigjarige leeftijd, blijft het zinvol *pure discounting* toe te passen, omdat er een reële kans is dat zij niet langer in leven zijn op tachtigjarige leeftijd. Omwille van het risico op vroegtijdig sterven is het verwachte nut op tachtigjarige leeftijd lager. Eenzelfde argument geldt voor de kans op de extinctie van de menselijke soort. Omdat er een kans is dat de menselijke soort in de komende decennia of eeuwen uitsterft, is *pure discounting* op basis van deze kans verantwoord. Echter, de wetenschappelijke consensus is dat deze kans erg klein is, en nauwelijks mee zal wegen in de *discount factor*.

Andere redenen zijn niet overtuigend. Een aangevoerde reden om toekomstige generaties niet mee te nemen in afwegingen over de toekomst is gebaseerd op het onderscheid actueel/niet-actueel. Dit argument, in veel juridische systemen een

basisaanname, stelt dat enkel actuele mensen rechten hebben, zodat het geoorloofd is potentiële toekomstige generaties niet in rekening te nemen bij beleidsbeslissingen. Parfits meer subtiele *non-identity problem* (1984, 351-379) toont aan dat mensen uit toekomstige generaties niet geschaad kunnen worden door de beslissingen van de huidige generatie. Immers, de beslissingen van de huidige mensen bepalen wie in de toekomst zal leven. Een minieme verandering in het gedrag van mensen kan tot gevolg hebben dat andere mensen geboren worden. Bijgevolg kunnen we individuele mensen uit toekomstige generaties geen schade toebrengen omdat zij zonder onze handelingen niet geboren zouden zijn. Een nog ander principe wordt toegeschreven aan Hume (Stern 2015, 163f), hoewel deze het eerder als een kenmerk van menselijk gedrag dan als normatief principe opvatte. Hume had beschreven hoe we mensen minder waarderen naarmate ze verder van ons af staan; we waarderen familie het meest, daarna vrienden, burens, landgenoten, en het minst vreemdelingen. Eenzelfde afname in waardering is mogelijk in temporele zin; we waarderen het meest onze eigen generatie, en naarmate we verder in de toekomst kijken waarderen we deze generaties steeds minder. De econoom Nordhaus (2013, 193f) geeft hierbij het numerieke voorbeeld van een gewicht 1 toe te kennen aan onze eigen generatie, een gewicht $\frac{1}{2}$ aan onze kinderen, $\frac{1}{4}$ aan onze kleinkinderen, enz. Een laatste argument is gebaseerd op het numeriek gewicht van toekomstige generaties. Indien we elk van de toekomstige generaties als evenwaardig als de onze moeten beschouwen, wordt het aandeel van toekomstige generaties in de verdeling van middelen enorm groot, zodat weinig overblijft voor de huidige generatie. Dit probleem komt naar voren in de vorm van wiskundige oneindigheden in economische modellen met *pure discounting*.

We kunnen concluderen dat *pure discounting* niet verantwoord is, indien men mensen uit verschillende generaties als gelijkwaardig beschouwt. Frank Ramsey, die het principe van *discounting* introduceerde (1928), ging al uit van temporele onpartijdigheid, en de meeste hedendaagse ethici onderschrijven dit (Broome 2012, 148), alsook belangrijke hedendaagse economen als Solow, Mirrlees, en Sen (Stern 2015, 170). Het gevolg van temporele onpartijdigheid is wel dat de *discount factor* gevoelig lager wordt.

1.4 Het belang van de onzekerheid over de discount factor

We kunnen concluderen dat de waarde van de *discount factor* voor kosten-baten analyses op lange termijn niet makkelijk kan bepaald worden. Enerzijds is er onzekerheid over de ontwikkeling van de economische groei in de verre toekomst, en anderzijds is er een kwestie rondom intergenerationele rechtvaardigheid. Het belang van de waarde van deze factor voor kosten-baten analyses voor de verre toekomst mag niet onderschat worden. Een rekenkundig voorbeeld kan illustre-

ren hoe groot het verschil tussen een lage en hoge *discount factor* is. Een *discount factor* van 1% associeert met een toekomstige waarde van 100€ over honderd jaar een huidige waarde van 37€, terwijl een *discount factor* van 7% aan dezelfde 100€ slechts een huidige waarde van 11 eurocent toekent. Het voorbeeld geeft helder aan dat bij een hogere *discount factor* het belang van toekomstige kosten en baten veel sneller verwaarloosbaar wordt.

2. Onzekerheden in natuurwetenschappelijke en economische modellen

Wetenschappelijke onzekerheid lijkt op het eerste gezicht een probleem voor kosten-baten analyses, maar hoeft dit niet te zijn. Er is een rationele manier om met onzekerheid om te gaan door het verwachte nut te vergelijken met het verwachte nadeel van een welbepaalde keuze. Zowel natuurwetenschappelijke als economische modellen hebben meestal niet één welbepaalde uitkomst; meestal hebben verschillende uitkomsten een bepaalde waarschijnlijkheid. Bijvoorbeeld, als men een aandeel koopt weet men niet hoe de koers in de toekomst zal bewegen, maar de belegger heeft wel een inschatting van de waarschijnlijkheden van bepaalde koersbewegingen. Op basis van de waarschijnlijkheden van de verschillende koersbewegingen en de gerelateerde winst of verlies kan een verwachte opbrengst bepaald worden, en op basis hiervan wordt een beslissing tot aankoop al dan niet genomen. Hetzelfde geldt voor wetenschappelijke modellen in verschillende disciplines. Zo kan bijvoorbeeld op basis van een medische diagnose de slaagkans van verschillende behandelingen bepaald worden, zodat voor een bepaalde therapie kan gekozen worden. Meer algemeen kunnen in een kosten-baten analyse de verwachte kosten en baten bepaald worden op basis van de waarschijnlijkheden van de verschillende uitkomsten en hun respectievelijke (verwachte) kosten en baten. Echter, voor kosten-baten analyses op lange termijn doen zich wel problemen voor die minder makkelijk verrekend kunnen worden.

Een eerste probleem betreft de stabiliteit van de wetenschappelijke modellen. In een breed scala van wetenschappen zijn de modellen generalisaties op basis van een veelheid van observaties. Wetenschapsgebieden waarin onveranderlijke natuurwetten ontdekt of afgeleid kunnen worden zijn zeldzaam. Enkel in deelgebieden van de natuurkunde en de scheikunde kunnen algemeen geldende voorspellingen afgeleid worden op basis van onderliggende theorieën. In de meeste wetenschapsgebieden maakt men gebruik van wiskundige modellen die in overeenstemming zijn met waarnemingen en een grote voorspellende waarde hebben. Deze modellen hebben alle *ceteris paribus* clausules; ze nemen alle aan dat de context waarin de voorspellingen gedaan wordt niet wezenlijk afwijkt van de context waarin de modellen zijn opgesteld. Zeker in de sociale wetenschappen kan

deze context doorheen de tijd grondig veranderen, zodat het gebruik van het model in een veranderende sociale, culturele, economische, of politieke context, niet langer onproblematisch is. Maar ook in andere wetenschapsgebieden, zelfs de natuurkunde, is de toepasbaarheid van een model meestal beperkt. Zo beschrijft de wet van Hagen-Poiseuille nauwkeurig de stroming van een vloeistof door een cilindrische buis. Bij hogere stroomsnelheden treedt turbulentie op, waardoor deze wet van de vloeistofmechanica niet langer toepasbaar is. Het valt te verwachten dat allerlei natuurwetenschappelijke modellen op langere tijdschalen ook hun toepasbaarheid kunnen verliezen door geologische processen, afname in biodiversiteit, milieuvervuiling, of klimaatverandering.

Economische modellering is in het bijzonder kwetsbaar. In recente decennia is de hoop op een sterke theoretische onderbouwing van economische modellen steeds verder uit beeld verdwenen, en heeft de ontwikkeling van praktisch toepasbare modellen aan prestige gewonnen. (Backhouse 2023, 398). Deze modellen zijn voor specifieke contexten bedoeld, en opgesteld aan de hand van empirische studies van de effecten van economische ingrepen, of op basis van analyses van *big data*. De vraag hoe ver buiten de onderzochte empirische condities de modellen bruikbaar blijven, is niet makkelijk te beantwoorden. Economische modellen bevatten wiskundige functies en parameters, en beide kunnen in principe veranderen doorheen de tijd. In de vorige sectie gaf ik het voorbeeld van de economische groei. Zowel de numerieke waarde van gemiddelde economische groei als de vorm van de exponentiële groefunctie kunnen veranderen. De numerieke parameters in economische modellen worden meestal op basis van historische data of grote hedendaagse datasets bepaald. Door maatschappelijke of technologische ontwikkelingen kunnen deze parameters fundamenteel veranderen. De correlatie tussen economische groei en energieverbruik is in recente decennia afgenomen, naar men kan aannemen door politieke regelgeving. De verkoop van wagens is gekenmerkt door een vrij lage prijselasticiteit, maar mogelijk verandert dit als zelfrijdende taxi's het privébezit van wagens minder noodzakelijk maken. Ook de wiskundige functies die verbanden weergeven kunnen veranderen. De keuze voor een wiskundige functie om economische waardes en verbanden weer te geven is gebaseerd op basis van statistische modellen en technieken om maximale overeenstemming met de data te bereiken wanneer het verband sterk empirisch onderbouwd is, of op basis van wiskundige elegantie en eenvoud, wanneer een meer a priori theoretisch model wordt opgesteld. Opnieuw, er is weinig reden om aan te nemen dat deze wiskundige functies bruikbaar blijven over langere tijdspannes waarin de maatschappelijke en economische context grondig verandert. Wanneer een model door de tijd heen steeds minder een adequate representatie blijft van de werkelijkheid worden de voorspellingen op basis van het model steeds minder accuraat, terwijl ze heel precies blijven.

Een tweede moeilijkheid die kan optreden bij het gebruik van wiskundige modellen over langere tijdspannes betreft chaotisch gedrag. Chaostheorie is een tak van de wiskunde die complexe systemen bestudeert, waarbij minieme variaties in de beginsituatie kunnen leiden tot heel verschillend gedrag van het systeem doorheen de tijd. Niet alle wiskundige modellen vertonen chaosgedrag; het hangt erg af van de vorm van de wiskundige vergelijkingen of een systeem al dan niet chaosgedrag gaat vertonen. Het belang van chaotisch gedrag voor wiskundige computermodellen die het gedrag van complexe systemen narekenen werd duidelijk na Edward Lorenz' lezing in 1972 voor de *American Association for the Advancement of Science* met de titel "Does the flap of a butterfly's wings in Brazil set off a tornado in Texas?". Lorenz had in een computermodel voor weervoorspellingen dezelfde dataset opnieuw ingevoerd, maar zonder het laatste cijfer na de komma. Het gevolg was dat de twee voorspellingen van het model snel uiteenliepen. Het gegeven dat de gedragingen van complexe systemen met een verwante beginsituatie snel kunnen divergeren leidt tot een verlies aan voorspelbaarheid. Dicht bij de beginsituatie vertonen de twee systemen nog enige tijd verwant gedrag, maar naarmate men verder in de tijd gaat, verliest het model zijn voorspellende waarde.

Ook economische modellen kunnen chaosgedrag vertonen, maar slechts een kleine groep economen lijkt geïnteresseerd in onvoorspelbaar chaotisch gedrag van markten. Léon Walras, Stanley Jevons, en Irving Fisher, de economen die een sterke impuls gaven aan de mathematisering van de economische wetenschap vanaf de tweede helft van de negentiende eeuw, waren sterk geïnspireerd door de natuurkundige ontwikkelingen in hun tijd, met name de studie van de evolutie naar natuurkundige evenwichten. Hun economische modellen beoogden eveneens de continue evolutie naar een marktevenwicht te beschrijven, waarbij plotse transities van één toestand naar een andere niet hoorden voor te komen. Illustratief is het motto "Natura non facit saltum" op de titelpagina van Alfred Marshalls *Principles of Economics* (1890). Wellicht het hoogtepunt van deze evolutie is het Arrow-Debreu-McKenzie model uit 1954 dat aantoonde dat een marktevenwicht bestaat voor de gehele markt. Echter, het is niet duidelijk dat dit evenwicht stabiel is. Er bestaat een marktevenwicht maar een graduele evolutie naar het evenwicht is niet gegarandeerd. Mits enkele aannames waarop het evenwichtsmodel gebaseerd is versoepeld worden, en zo meer realistisch worden, kan ook chaosgedrag optreden. Het spreekt voor zich dat chaosgedrag in economische modellen ook de betrouwbaarheid van kosten-baten analyses aantasten, zeker voor projecties op lange termijn.

3. Case study: integrated assessment models

In de voorbije decennia hebben kosten-baten analyses op lange termijn hebben een belangrijke rol gespeeld in het klimaatbeleid. Historici situeren het ogenblik

dat klimaatopwarming op de politieke agenda kwam in de zomer van 1988, toen de klimaatwetenschapper James Hansen in een hoorzitting van het Amerikaans Congres verklaarde dat het klimaat opwarmt door menselijk toedoen (Weart 2008, 150). Dit leidde snel tot meer internationaal wetenschappelijk onderzoek naar klimaatopwarming en de oprichting van het Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC). De ontwikkeling van klimaatmodellen nam een hoge vlucht. Minder bekend is dat economen zogenaamde *integrated assessment models* (IAM's) gingen ontwikkelen, hoewel deze misschien nog belangrijker waren voor de klimaatpolitiek in de volgende decennia. De eerste IAM's, modellen die klimaatmodellen en economische modellen integreren, werden in het begin van de jaren 90 ontwikkeld door William Nordhaus (1991a, 1991b) en William Cline (1992). Bekende modellen die later zijn gebruikt door het Environmental Protection Agency in de Verenigde Staten zijn het door Nordhaus ontwikkeld DICE-model (Dynamic Integrated Climate-Economy Model), het PAGE-model (Policy Analysis of the Greenhouse Effect) en het FUND-model (Climate Framework for Uncertainty, Distribution, and Negotiation).

Een IAM gaat uit van economische wetmatigheden en een typisch klimaatmodel en beschrijft de wederzijdse invloed van economische ontwikkelingen en klimaatverandering. Het model beschrijft zo een circulaire beweging: economische groei leidt tot koolstofemissies; een stijgende CO₂-concentratie leidt tot klimaatverandering; klimaatverandering heeft economische gevolgen (lagere landbouwopbrengsten, materiële schade in kustgebieden, problemen met de volksgezondheid, ...); klimaatpolitiek leidt tot reductie van koolstofemissies (door belastingen, regelgeving, emissiehandel, ...); klimaatmaatregelen hebben een impact op de economische groei. Deze verschillende relaties worden in een wiskundig model aan elkaar gekoppeld. Over de jaren heen zijn de modellen steeds complexer geworden door toevoeging van extra variabelen en hun wederzijdse wisselwerkingen. Zo is onder meer de impact van klimaatmaatregelen op technologische ontwikkelingen belangrijk gebleken. Op basis van de IAM's wordt het vervolgens mogelijk om de gevolgen van een beleidsmaatregel na te rekenen. Zowel de impact op het klimaat als de socio-economische kosten van een maatregelen kunnen zo bepaald worden. Het model fungeert als een complexe kosten-baten analyse die beleidsoptimalisatie toelaat. Zo kan bijvoorbeeld in het geval van een koolstofbelasting via een IAM de optimale hoogte van de belasting berekend worden. Het model laat ook zien welke mitigatiekosten gepaard gaan met deze koolstofbelasting, en welke reductie van koolstofemissies en bijhorende schadekosten zullen gerealiseerd worden.

Bij zijn lezing ter aanvaarding van zijn Nobelprijs voor de Economie stelde William Nordhaus (2018) op basis van berekeningen van zijn DICE-model voor een periode die loopt tot 2150 dat in een optimaal scenario de opwarming van de Aarde 4 gra-

den Celsius⁸ zou bedragen en dat de CO₂-uitstoot tot 2050 licht kan stijgen tot 40 gigaton per jaar. Alle andere scenario's zijn volgens het DICE-model duurder. Dit leidt wel tot een beleidsaanbeveling om economische maatregelen te nemen om de uitstoot te beperken; in het scenario waarin geen maatregelen genomen worden zou de temperatuur stijgen met 6 graden Celsius, en zouden de kosten veel sneller oplopen. Toch valt op dat de beleidsaanbevelingen van deze kosten-baten analyse over een periode van meer dan honderd jaar grondig afwijken van het streefdoel in het Klimaatakkoord van Parijs van 2015 om de temperatuurstijging tot minder dan anderhalve graad te beperken. Het wijkt ook af van het beleidsstreefdoel om *net zero*-emissies te bereiken in 2050. Hoewel de ontwikkeling van IAM's geavanceerd economisch onderzoek betreft, zoals blijkt uit de toekenning van de Nobelprijs aan Nordhaus, is het gebruik ervan steeds meer controversieel geworden. Meerdere economen, filosofen, en wetenschappers, hebben de voorspellende kracht van IAM's in vraag gesteld. De verschillende problemen met lange-termijn kosten-baten analyses komen duidelijk naar voren in hun kritiek.

3.1 De discount factor in IAM's

Een eerste controverse betreft de waarde van de *discount factor* die moet gebruikt worden in klimaatmodellen. In de eerste IAM's werd een marktrente van 7% gebruikt, met als gevolg dat toekomstige gevolgen van klimaatverandering bijna irrelevant werden. Daarenboven werden kosten voor mitigatie hoog ingeschat omdat weinig goedkope alternatieven bestonden voor fossiele energie. Het gevolg was dat beleidsadviezen van klimaateconomen negatief oordeelden over verre gaande mitigatie van CO₂-emissies. Deze beleidsadviezen hebben onmiskenbaar doortastend klimaatbeleid afgeremd, maar wellicht waren deze adviezen toch de meest eerlijke rechtvaardiging voor terughoudendheid in het reduceren van fossiele brandstoffen in de jaren 90 en 00, want ze waren gebaseerd op gangbare economische theorieën. Economen hebben later de *discount rate* wel bijgesteld naar beneden, maar in Nordhaus' *A Question of Balance* (2008) wordt nog steeds een *discount rate* van 5.5% gebruikt.

De consensus onder economen werd in vraag gesteld door Nicholas Stern (2007). Stern analyseerde met een team van economen in opdracht van de regering Blair de gevolgen van klimaatverandering. Het *Stern Review Report* argumenteerde dat economen de gevolgen van klimaatverandering sterk onderschatten. In dit rapport werd een *discount rate* van 1.4% voorgesteld, met als gevolg dat het gewicht van toekomstige klimaatschade enorm toenam, zodat mitigatie veel belangrijker werd. Sterns redenen voor deze lagere *discount rate* zijn gerelateerd aan economi-

8. De referentiewaarde voor de globale temperatuurstijgingen vermeld in dit artikel is de gebruikelijke preindustriële referentiewaarde (1850-1900).

sche groei en intergenerationele rechtvaardigheid. Stern argumenteert dat het gebruik van de huidige markttrente niet verantwoord is, omdat deze gebaseerd is op de huidige verwachtingen van economische groei, terwijl men kan aannemen dat de grote negatieve gevolgen van klimaatverandering de economische groei in de toekomst structureel zullen doen afnemen. Door deze structurele afname van de economische groei zal de markttrente in de toekomst dalen. De markttrente is ook problematisch omdat hierin een component *pure discounting* in verrekend is. Echter, klimaatverandering heeft grote gevolgen op lange termijn, ook voor toekomstige generaties. De huidige markttrente geeft slechts weer hoe de huidige generatie de toekomst waardeert, en duidelijk is dat de belangen van toekomstige generaties daarbij minder belangrijk geacht worden.

Sterns kritiek op *pure discounting* heeft geleid tot een interessant debat onder economen en filosofen dat raakt aan de fundamenteën van de economische wetenschappen. De twee kampen in het debat worden gevormd door een descriptieve stroming, die van oordeel is dat de economie een beschrijvende wetenschap is, terwijl de prescriptieve stroming stelt dat normatieve, ethische principes moeten meegewogen worden in economische analyses. Descriptivisme is wijd verbreid onder economen. De meeste handboeken in de economische wetenschappen schuiven het ideaal van de ‘economische naturalist’ naar voren. De economische naturalist beschrijft zoals andere naturalisten natuurverschijnselen, waarbij zij zich richt op markten en economische transacties. Normatieve principes horen daarbij geen rol te spelen. De basisgegevens voor de economische analyses zijn de gebleken voorkeuren (*revealed preferences*) van economische actoren. Elke actor heeft een eigen verzameling van voorkeuren waarop haar gedrag is gebaseerd, en is niemand een uitleg verschuldigd over deze voorkeuren. Ook de *discount rate* in de markt wordt bepaald door deze voorkeuren. Individuen nemen economische beslissingen op basis van afwegingen over consumptie in het heden versus consumptie in de toekomst. De voorkeuren waarop deze beslissingen gebaseerd zijn, worden weerspiegeld in de markttrente. Volgens de descriptieve stroming is het niet aan economen om hierover een oordeel te vellen. Zoals de klimaateconoom Martin Weitzman schrijft in een kritiek op het *Stern Report*:

An enormously important part of the “discipline” of economics is supposed to be that economists understand the difference between their own personal preferences for apples over oranges and the preferences of others for apples over oranges. Inferring society’s revealed-preference [of the discount rate] is not an easy task [...] but at least a good-faith effort at such inference might have gone some way toward convincing the public that the economists doing the studies are not drawing conclusions primarily from imposing their own value judgments on the rest of the world. (Weitzman 2007, 712)

Dit sterke descriptivisme lijkt echter zichzelf te ondermijnen. Economische analyses hebben altijd een epistemische normativiteit; ze bieden analyses die *rationeel* handelen op basis van subjectieve voorkeuren mogelijk maken. Bovendien maken ze gewag van een falende markt wanneer niet de *optimale* oplossing bereikt wordt. Optimalisatie is zelf een normatief principe uit de utilitaristische traditie. De prescriptieve stroming, met Stern en Broome als belangrijke vertegenwoordigers, stelt dat normatieve principes wel een rol spelen. De keuze tussen een *discount rate* van 1.4% of 5.5% is niet vergelijkbaar met de keuze tussen sinaasappelen en appels. Aan de keuze ligt een normatief principe ten grondslag, namelijk of de belangen en subjectieve voorkeuren van toekomstige generaties meegenomen moeten worden in de IAM's. Dit principe van temporele onpartijdigheid, zo kan men argumenteren, verschilt als basisaannamen in economische modellen niet wezenlijk van andere normatieve basisaannames zoals rationaliteit en nuts optimalisatie. De prescriptieve stroming omarmt het principe van temporele onpartijdigheid. Het gevolg is dat *pure discounting* onaanvaardbaar is, en dat de *discount rate* in IAM's gevoelig lager zal zijn dan de marktrente.

3.2 Onzekerheden in IAM's

IAM's werden ook omwille van epistemische redenen ter discussie gesteld. Klimaatmodellen bevatten immers verschillende onzekerheden. Hoewel klimaatontkenners ongelijk hebben - zij ontkennen, vaak gesteund door bedrijven uit de fossiele industrie, het bestaan van door de mens veroorzaakte klimaatverandering (Oreskes en Conway 2011) - betekent dat niet dat de huidige klimaatmodellen precieze voorspellingen kunnen doen over de omvang en impact van klimaatverandering.⁹ Het verzamelen en kalibreren van meetgegevens is niet altijd eenvoudig, en dit geldt in het bijzonder voor historische klimaatreconstructies in de paleoklimatologie. Maar zelfs bij ogenschijnlijk eenvoudige metingen kunnen fouten optreden. Zo bleef de opwarming van de oceanen achter bij de voorspellingen in klimaatmodellen totdat ontdekt werd dat historische temperatuurmetingen van de oceanen onbetrouwbaar waren. De emmers waarmee oceanewater in het verleden werd gemeten, gaven metingen die 1 graad hoger uitvielen dan wat tegenwoordig wordt gemeten (Winsberg 2018, 8). Ook computersimulaties van de fysische gevolgen van het toevoegen van broeikasgassen aan de atmosfeer kennen diverse onzekerheden. In de loop der jaren zijn heel veel klimaatmodellen ontworpen, die enigszins uiteenlopende voorspellingen opleveren. Het doorrekenen van de klimaatverandering over meerdere decennia vergt veel rekenkracht en tijd, waardoor modelontwikkelaars een afweging moeten

9. Voor uitgebreidere en vlot leesbare beschrijvingen van de verschillende types onzekerheid in de klimaatwetenschap verwijs ik de lezer naar Winsberg 2018, Stainforth 2023 en Pindyck 2022, 37-74. Meer technische overzichten van de onzekerheden in klimaatmodellen zijn te vinden in IPCC 2021.

maken tussen de fijnmazigheid van het model en de complexiteit van de natuurkundige vergelijkingen. Bovendien zijn sommige natuurkundige processen lastig te modelleren. Zo blijft de modellering van wolkenvorming een hardnekkig probleem met grote gevolgen, omdat wolken, afhankelijk van hun vorm, zowel opwarming als afkoeling tot gevolg kunnen hebben. Tot slot vertoont het klimaatsysteem chaotisch gedrag; het wordt omschreven als een “*erratic beast*” (Weart 2008, 114). Het klimaatsysteem bevat tal van natuurkundige terugkoppelingsmechanismen die chaotisch gedrag kunnen veroorzaken, en het klimaat over kantelpunten naar een nieuwe toestand kunnen tillen, waarbij een terugkeer naar de oude toestand niet meer mogelijk is. Een duidelijk voorbeeld zijn de terugkoppelingsmechanismen bij het smelten van de ijskappen. Naarmate de ijskap smelt, wordt deze donkerder en neemt daardoor meer warmte op. Bovendien komt de smeltlaag steeds lager te liggen, waardoor ze in warmere luchtlagen terecht komt. Het smeltwater zorgt er aan de onderkant van de ijskap voor dat haar gletsjers sneller gaan stromen, waardoor meer ijs afkalft. Het warmere oceanwater gaat bovendien de gletsjers van onderuit dunner maken, en kan in het geval van de West-Antarctische ijskap een onomkeerbaar smeltproces in gang zetten. Ook bij neerslagpatronen, oceanstromingen, of ecologische systemen, zijn dergelijke oncontroleerbare terugkoppelingen mogelijk.

Deze onzekerheden tasten de geloofwaardigheid van de klimaatwetenschap niet echt aan; ze zijn eerder een aansporing tot verder onderzoek. Voor IAM's zijn deze onzekerheden wel een fundamentele bedreiging. Voor een kosten-baten analyse zijn precieze en accurate voorspellingen noodzakelijk. Pindyck betoogt dat het verwaarlozen van de onzekerheden in klimaatmodellen tot een systematische onderschatting van de kosten heeft geleid. IAM's gingen uit van een gemiddelde klimaatgevoeligheid, een verhoging van de gemiddelde temperatuur op Aarde met drie graden bij een verdubbeling van de CO₂-concentratie in de atmosfeer. Echter, er is grote onzekerheid over de precieze klimaatgevoeligheid. Op basis van 131 klimaatstudies biedt Pindyck (2022, 61-63) een overzicht van schattingen van de klimaatgevoeligheid. De minimumschattingen variëren 0.5 tot 4 graden Celsius, terwijl de maximumschattingen variëren van 3 tot 7 graden, met 13 hogere schattingen, waaronder 7 schattingen tussen 10 en 15 graden. De bandbreedte is in recente jaren wel kleiner geworden; het recente *Sixth Assessment Report* van het IPCC gaat uit van een klimaatgevoeligheid van 2.5-4 graden (ibid., 64). Het gevolg hiervan is dat de verwachte schade van klimaatverandering hoger zal uitvallen dan de schade in een model met de gemiddelde klimaatsensitiviteit, wanneer, zoals aannemelijk is, de schadefunctie sneller dan lineair stijgt met de temperatuur.¹⁰ We beschikken bovendien niet over een precieze waarschijnlijkheidsverdeling van de klimaatgevoeligheid. De spreiding van de uitkomsten van

10. Zie Pindyck 2022, 83-86 voor enkele rekenvoorbeelden.

de huidige klimaatmodellen is niet noodzakelijk de waarschijnlijkheidsverdeling van de klimaatgevoeligheid, wat kan leiden tot sterk verschillende schattingen van de verwachte schade (Stainforth 2023, 295). We kunnen concluderen dat onzekerheden in klimaatmodellen de betrouwbaarheid van IAM's aantasten.

Onzekerheden in economische modellen zorgen voor nog grotere problemen. Naast de eerder vermelde problemen met economische modellering op langere termijn, waaronder de verwachting van de economische groei die een directe impact heeft op de *discount rate*, is vooral de wiskundige modellering van klimaat-schade sterk bekritiseerd. Het is moeilijk de kosten van klimaatverandering te bepalen, omdat er weinig empirische gegevens zijn waarop men schattingen kan baseren. Er zijn weliswaar studies van de veranderingen in landbouwopbrengsten bij verschillende temperaturen, maar het is onduidelijk of deze erg relevant zijn bij wijzigingen van het gehele klimaatpatroon (Pindyck 2022, 67). Men kan ook de waarde van de materiële infrastructuur die door zeespiegelstijging bedreigd wordt evalueren, maar kustlijnen kunnen beschermd worden, terwijl de kosten van deze klimaatadaptie minder nauwkeurig te bepalen zijn. Toekomstige gevolgen van klimaatverandering worden ook vaak onderschat. Weinigen hadden enkele jaren geleden de verwoestende gevolgen voorzien van de waterbom boven de Ardennen en de Eifel in 2021, of van de overstromingen in Pakistan in 2022, of van recente bosbranden in Canada en Siberië.¹¹

Toch zijn precieze schadefuncties nodig om via een IAM precieze voorspellingen doen. Economen hebben uiteenlopende impactfuncties ingebouwd in hun IAM's, die het verlies in BNP¹² weergeven in relatie tot de temperatuurverandering. Deze functie is afhankelijk van het model lineair, kwadratisch, hyperbolisch, exponentieel, of van een nog andere wiskundige vorm (Tol 2024). Parameters in deze functies worden bepaald op basis van huidige schade onder beperkte klimaatverandering en schattingen van schade in de nabije toekomst. Er is echter geen enkele economische theorie die kan motiveren waarom extrapolatie naar hogere waarden van temperatuurverandering mogelijk zou zijn. Het gevolg is dat de verschillende schadefuncties erg uiteenlopende resultaten opleveren bij hogere temperatuurstijgingen. Volgens een veelgebruikt model van Nordhaus krimpt de

-
11. Ook verzekeringsmaatschappijen kunnen geen goede schattingen van klimaatschade op langere termijn aanleveren, wat voor hen echter niet problematisch is, zie Linden 2023, 111-120; 174-178; 238-242.
 12. Winsberg (2018, 127) geeft aan dat BNP niet noodzakelijk een goede maat is voor welvaart. De monetaire waarde van kosten en baten zijn een *proxy* voor welvaart, geluk, of nut, maar kunnen hiervan verschillen. Waarden zijn mogelijk ook 'incommensurabel', wat betekent dat het niet mogelijk is een gemeenschappelijke maat voor deze waarden te bepalen. Monetaire waarde, verlies aan mensenlevens, en verlies aan biodiversiteit, zijn mogelijk drie incommensurabele waarden. Ik heb ervoor geopteerd om dit probleem niet uitgebreid te bespreken omdat dit niet enkel relevant is voor kosten-baten analyses op lange termijn, maar ook voor deze op korte of middellange termijn.

wereldeconomie met 19% bij een temperatuurstijging van 10 graden, terwijl in een model van Weitzman deze stijging 95% van de wereldeconomie wegveegt (Stainforth 2023, 285).

3.3 De maatschappelijke kosten van koolstof

IAM's laten toe de maatschappelijke kosten van koolstof (SCC), de kosten van een additionele emissie van één ton CO₂, te bepalen. Economen beschouwen deze kosten als richtinggevend voor klimaatbeleid. De SCC bepaalt de grens van kosteneffectieve maatregelen. De kost van een geplande uitstootreductie van een ton CO₂ die boven de SCC uitkomt wordt niet langer verantwoord geacht. In het licht van alle onzekerheden is het niet verbazingwekkend dat de modellen uiteenlopende waardes opleveren, variërend van negatief, waarbij toenemende emissies van fossiele brandstoffen per saldo positieve economische gevolgen hebben, tot waardes van meer dan 500\$ (Tol 2024). Op basis van de uiteenlopende prognoses ging de regering onder Obama uit van een SCC van 43\$, de regering onder Trump van een SCC tussen 3\$ en 5\$, en de regering onder Biden van een SCC van 51\$. Een meer conservatieve inschatting van het Amerikaanse Environmental Protection Agency (EPA 2023) gaat uit van een SCC van 190\$.

De grote spreiding van waardes voor de SCC laat zien dat IAM's nauwelijks bruikbaar zijn voor klimaatbeleid. Tegengestelde politieke opties kunnen ondersteund worden door specifieke keuzes van parameters in het model, zoals de *discount rate* en de schadefunctie, terwijl er geen objectieve motivatie van de keuzes mogelijk is. Bovendien is de situatie nog ernstiger omdat de modellen uitgaan van geleidelijke ontwikkelingen en gemiddelde klimaatmodellen. De IAM's geven de verwachte waardes van klimaatverandering en economische ontwikkeling, maar catastrofale scenario's blijven mogelijk, ook op korte termijn. Het is een belangrijke beleidsvraag of het risico op catastrofale situaties apart beleid vereist (Pindyck 2022, 71; Broome 2012, 178). Ook onderschatten de modellen mogelijk zelfversterkende terugkoppingsmechanismen in de economie. Gebaseerd op inzichten uit de chaostheorie, spreekt Sharpe (2023, 281) over een cascade van *tip-ping points* waarmee mogelijk versneld alternatieven voor fossiele brandstoffen kunnen ontwikkeld worden, als padafhankelijke factoren van het huidige energiesysteem doorbroken worden. Ook zijn extra negatieve terugkoppingsmechanismen mogelijk, wanneer economische achteruitgang leidt tot sociale spanningen of zelfs oorlogen, met een sterke extra krimp van de economie tot gevolg. Tot slot is ook het verwaarlozen van toekomstige generaties problematisch. Wanneer we uitgaan van een stabiel mondiaal BNP op het huidige niveau van 100 biljoen euro en een *discount rate* van 2%, is makkelijk na te rekenen dat volgens een kostenbaten analyse de maximaal verantwoorde uitgave om de extinctie van de mens-

heid over precies 1500 jaar te voorkomen 630€ zou zijn. In het licht van al deze onzekerheden is het vreemd dat IAM's een reële impact hadden op het klimaatbeleid.

4. Wetenschappelijk onderbouwd beleid voor de verre toekomst

Op basis van deze kritische analyse van het gebruik van kosten-baten analyses op lange termijn kan het vreemd lijken dat deze aangewend worden als ondersteuning van beleid. Een belangrijke reden om deze te gebruiken is het gebrek aan goede alternatieven. Voor beleidsvorming zijn precieze adviezen noodzakelijk, en hierbij is het zelfs verdedigbaar dat precisie belangrijker geacht wordt dan accuraatheid, omdat gebrek aan precisie tot besluiteloosheid kan leiden, die mogelijk erger is dan actie op basis van minder accurate adviezen. Verantwoordelijk overheidsbeleid wordt meestal ondersteund door precieze socio-economische prognoses aangeleverd door wetenschappelijke medewerkers in adviesorganen, maar nooit zijn deze prognoses helemaal accuraat. Vooral van belang is dat de meest betrouwbare prognoses gebruikt worden. Echter, wanneer deze prognoses en de daarop gebaseerde kosten-baten analyses steeds minder betrouwbaar worden, verliezen deze op enig moment elke geloofwaardigheid. Volgens sommige criteria van rationaliteit blijft het rationeel deze analyses te blijven gebruiken,¹³ maar volgens de meeste criteria van rationaliteit is het gebruik van onbetrouwbare modellen onverantwoord. Sharpe (2023, 83) argumenteert dat het gebruik van onbetrouwbare modellen “worse than useless” is, omdat het gebruik van deze informatie tot een misplaatst gevoel van vertrouwen kan leiden. Het gevolg is dan dat kosten-baten analyses hun bruikbaarheid in rationele besluitvorming verliezen naarmate ze steeds verder in de toekomst projecties maken. De moeilijkheid is vervolgens te bepalen wanneer kosten-baten analyses hun relevantie verliezen. Er lijkt een metaonzekerheid op te treden. Door de diepe onzekerheden over de houdbaarheid van modellen, is niet goed te bepalen wat de maximale termijn van zinnige kosten-baten analyses is. In het licht van deze metaonzekerheid is het belangrijk om voor beleidsvorming met effecten op langere termijn naast de kosten-baten analyses ook andere beleidsprincipes te gebruiken.

Om af te ronden wil ik kort enkele alternatieve beleidsprincipes aanstippen die al gebruikt worden bij klimaatbeleid, maar meer algemeen toepasbaar zijn voor beleid op langere termijn. Een eerste is het gebruik van meerdere scenario's in plaats van het meest waarschijnlijke scenario. Dit principe wordt gebruikt door de IPCC-werkgroep die de gevolgen van klimaatverandering beschouwt. In hun rapporten wordt gebruik gemaakt van verschillende scenario's van koolstofemissies

13. Nordhaus (2013, 217-219) stelt dat, ondanks alle bezwaren, en ook bij grote onzekerheden, de kosten-baten analyse het meest rationele beleidsprincipe blijft.

en van verschillende socio-economische trajecten. Een tweede principe is het voorzorgsprincipe. Dit principe wordt al vermeld in het Kyoto Protocol. Hierbij wordt grotere waarde toegekend aan het vermijden van catastrofale uitkomsten dan in een kosten-baten analyse het geval zou zijn, en leidt dus tot voorzichtiger beleid. Een derde principe, het doorbreken van padafhankelijkheid, is net minder voorzichtig en gaat uit van het feit dat een socio-economisch systeem een chaos-systeem kan zijn, en zichzelf versterkende terugkoppelingsmechanismen kan bevatten (Kupers 2020). Beleidsmaatregelen, bijvoorbeeld subsidies, gericht op systeemverandering via het doorbreken van padafhankelijkheid, kunnen zinnig zijn, ook al lijken ze op basis van een kosten-baten analyse op het eerste gezicht onrendabel. De nieuwe situatie kan superieur zijn aan de oude situatie, terwijl via normale marktwerking geen spontane evolutie naar de nieuwe situatie mogelijk is. Een goed voorbeeld zijn de *feed-in* tarieven voor alternatieve energie in Duitsland, die geleid hebben tot technologische doorbraken in fotonvoltaïsche zonne-energie, met als gevolg dat zonne-energie nu voor de laagste totale kosten (LCOE) kan geproduceerd worden (Gross 2023, 299f).

Geen van deze principes kan echter gelden als direct alternatief voor de kosten-baten analyse. Elk van deze principes bevat diepe onzekerheden: voor het eerste principe is het niet duidelijk welk van de scenario's het meest waarschijnlijk is; voor het tweede principe is het niet duidelijk hoe groot de kans op een catastrofe echt is; en voor het derde principe is het niet duidelijk of het doorbreken van een padafhankelijkheid daadwerkelijk naar een gunstiger socio-economische toestand zal leiden. Omwille van deze onzekerheden is het verstandig lange-termijn beleid vanuit verschillende beleidsprincipes te evalueren.¹⁴

Bibliografie

- Backhouse, Roger E. 2023. *The Penguin History of Economics*. Penguin.
- Broome, John. 2012. *Climate Matters*. Norton.
- Cline, William R. 1992. *The Economics of Global Warming*. Peterson Institute Press.
- EPA 2023. "Report on the Social Cost of Greenhouse Gases: Estimates Incorporating Recent Scientific Advances." Geraadpleegd op 7 oktober 2024. https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-12/epa_scghg_2023_report_final.pdf
- Gardiner, Stephen M. 2011. *A Perfect Moral Storm*. Oxford University Press.
- Gross, Stephen G. 2023. *Energy and Power*. Oxford University Press.
- IPCC 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. doi:10.1017/9781009157896.

14. Dank aan Jelle de Boer, Govert Buijs, en twee anonieme referenten voor nuttige feedback.

- Jiang, Wei, en Rainer Marggraf. 2021. "The Origin of Cost-benefit Analysis: A Comparative View of France and the United States." *Cost Effectiveness and Resource Allocation* 19:74.
- Kupers, Roland. 2020. *A Climate Policy Revolution*. Harvard University Press.
- Linden, Eugene. 2023. *Fire & Flood*. Penguin.
- Marshall, Alfred. 1890. *Principles of Economics*. Macmillan.
- Nordhaus, William. 1991a. "A Sketch of the Economics of the Greenhouse Effect." *American Economic Review* 81:146-150.
- Nordhaus, William. 1991b. "To Slow or Not to Slow. The Economics of the Greenhouse Effect." *Economic Journal* 101:920-937.
- Nordhaus, William. 2008. *A Question of Balance*, Yale University Press.
- Nordhaus, William. 2013. *The Climate Casino*. MIT Press.
- Nordhaus, William. 2018. "Climate Change: The Ultimate Challenge for Economics." Geraadpleegd op 7 oktober 2024. <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2018/nordhaus/lecture/>
- Oreskes, Naomi, en Erik M. Conway. 2011. *Merchants of Doubt*. Bloomsbury Press.
- Parfit, Derek. 1984. *Reasons and Persons*. Oxford University Press.
- Pindyck, Robert S. 2022. *Climate Future*. Oxford University Press.
- Ramsey, Frank P. 1928. "A Mathematical Theory of Saving." *Economic Journal* 38:543-559.
- Ritchie, Hannah, Pablo Rosado, en Max Roser 2020. "Energy Production and Consumption." Geraadpleegd op 7 oktober 2024. <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption>
- Roser, Max, en Hannah Ritchie. 2023. "How has World Population Growth Changed over Time?" Geraadpleegd op 7 oktober 2024. <https://ourworldindata.org/population-growth-over-time>
- Sharpe, Simon. 2023. *Five Times Faster*. Cambridge University Press.
- Smil, Vaclav. 2019. *Growth*. MIT Press.
- Stainforth, David. 2023. *Predicting Our Climate Future*. Oxford University Press.
- Stern, Nicholas. 2007. *The Economics of Climate Change. The Stern Review*. Cambridge University Press.
- Stern, Nicholas. 2015. *Why Are We Waiting?* MIT Press.
- Tol, Richard S.J. 2024. "A Meta-analysis of the Total Economic Impact of Climate Change." *Energy Policy* 185:113922.
- Weart, Spencer R. 2008. *The Discovery of Global Warming*. Harvard University Press.
- Weimer, David L., en Aidan R. Vining. 2017. *Policy Analysis. Concepts and Practice (6de ed.)*. Routledge.
- Weitzman, Martin L. 2007. "A review of The Stern Review of the Economics of Climate Change." *Journal of Economic Literature* 55:703-724.
- Winsberg, Eric. 2018. *Philosophy and Climate Science*. Cambridge University Press.