Centraal Planbureau

CPB Notitie | 9 november 2015

De discontovoet ontrafeld

Onderzoek uitgevoerd op verzoek van de Deltacommissaris

Centraal Planbureau

CPB Notitie

Centraal Planbureau
Van Stolkweg 14
Postbus 80510
2508 GM Den Haag

T (070)3383 380
I www.cpb.nl

Contactpersoon
Rob Aalbers, Free Huizinga

Aan: Deltacommissaris en Werkgroep Disconto

Datum: 9 november 2015
Betreft: De discontovoet ontrafeld

1 Inleiding

In kosten-batenanalyses van beleid met baten in de verre toekomst is de discontovoet een van de belangrijkste variabelen, zo niet de dominante variabele. De discontovoet wordt door voorstanders van klimaatbeleid wel eens de 'vloek van economen' genoemd. Discontering met 'normale' discontovoeten doet baten in de verre toekomst wegsmelten als sneeuw voor de zon.

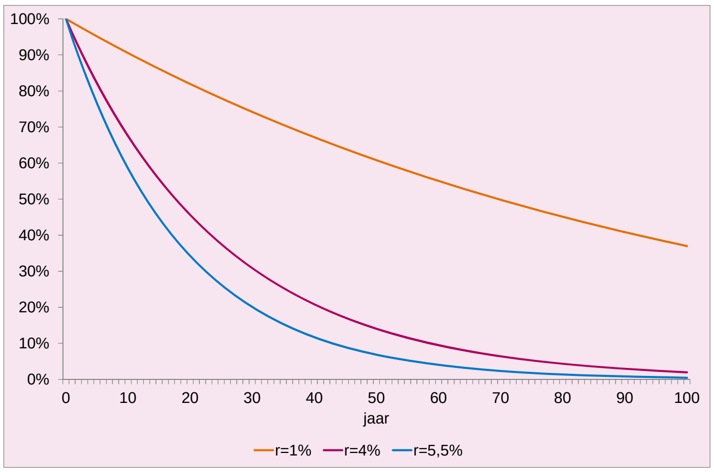
Stel bijvoorbeeld dat een project over honderd jaar een opbrengst van 100 euro genereert. Om de contante waarde ervan te berekenen, moeten we die opbrengst disconteren over een periode van 100 jaar. Volgens de Nederlandse richtlijn uit 2007 is de standaard discontovoet gelijk aan 5,5%.[1] Bij die discontovoet moeten we de toekomstige opbrengst van 100 euro delen door 1,055 tot de macht 100, oftewel 211. De contante waarde is dan maar 47 cent. Bij een discontovoet van 4%, die volgens de huidige Nederlandse richtlijnen voor bepaalde projecteffecten van toepassing is, is de contante waarde 1 euro en 98 cent. En bij een discontovoet van 1 procent, die in sommige klimaatstudies voorkomt, is de contante waarde 36,97 euro. Dit is 79 keer zo veel als bij de standaard discontovoet van 5,5%. De waarde van de discontovoet maakt dus uit.

Het belang van de keuze voor de discontovoet stijgt met de tijdshorizon. Figuur 1.1 illustreert dit voor discontovoeten van 5,5% (de blauwe lijn), 4% (de rode lijn) en 1% (de oranje lijn). Op de horizontale as staat het aantal jaren in de toekomst en op de verticale as de contante waardes uitgedrukt als een percentage van 100 euro. De contante waarde daalt bij alle drie discontovoeten als de tijdshorizon langer wordt. De lijnen voor de discontovoeten van 5,5% en 4% liggen relatief dicht bij elkaar. Dit betekent dat bij een lange tijdshorizon de nu toegestane daling van 5,5% naar 4% bij

[1] Zie http://www.mkba-informatie.nl/mkba-voor-gevorderden/richtlijnen/advies-van-de-werkgroep-actualisatie-discontovoet/.

sommige projecten niet zo veel zoden aan de dijk zet. Als je echt wilt bereiken dat de contante waarde ook bij baten die zo'n 100 jaar in de toekomst liggen, iets voorstelt, is een daling van de discontovoet richting 1% nodig.

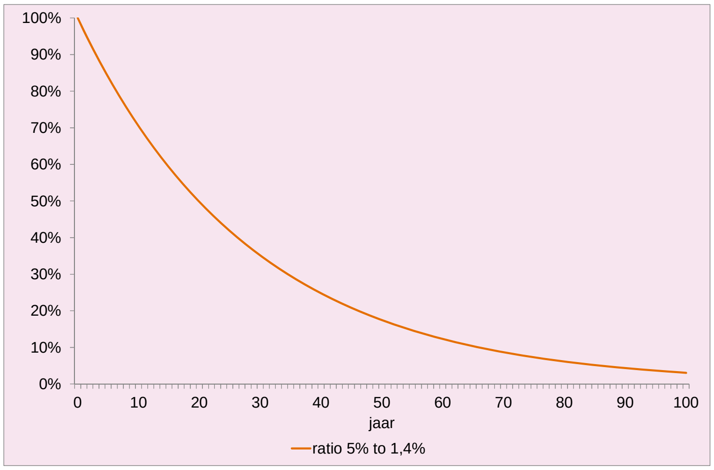
Figuur 1.1 Contante waarde van een opbrengst van 100 euro



Twee toonaangevende klimaatstudies illustreren de implicaties in de praktijk. Nordhaus (2008) zegt dat een discontovoet van 5% maatschappelijk efficiënt is. In een groot en ingewikkeld model berekent hij vervolgens de contante waarde van de toekomstige maatschappelijke schade van 1 ton extra CO_2-uitstoot nu. Die blijkt 8 dollar te zijn. De grote tegenhanger van Nordhaus is Stern (2007). Stern gaat (impliciet) uit van een discontovoet van 1,4%. Volgens hem is de contante waarde van de schade van een ton extra uitstoot van CO_2 nu 85 dollar, ongeveer 10 keer zo veel.

De modellen van Nordhaus en Stern zijn beide zeer complex en ze zijn bovendien zeer verschillend. Maar laten we eens kijken wat het verschil in discontovoeten op zich al doet. Figuur 1.2 geeft de verhouding weer tussen de contante waarden bij 5% ten opzichte van die bij 1,4%. Bij een tijdshorizon van zo'n 65 jaar is die verhouding ongeveer 10%. Dit betekent dat de contante waarde bij de discontovoet van Nordhaus maar 10% is van die bij de discontovoet van Stern. Dit komt vrijwel overeen met het verschil in de uitkomsten tussen de berekende contante waarden van Nordhaus en Stern. 65 jaar is bovendien geen al te vreemde tijdshorizon voor een klimaatstudie. Het verschil in uitkomsten van een factor 10 tussen beide studies kan dus ook al verklaard worden door het verschil in discontovoeten. Gechargeerd gezegd, de andere elementen van de complexe analyses van Nordhaus en Stern, doen er verhoudingsgewijs nauwelijks toe.

Figuur 1.2 Verhouding tussen contante waardes van Nordhaus en Stern



Het doel van deze studie is een overzicht te geven van recente ontwikkelingen op het terrein van de discontovoet, zowel in de theorie als in het beleid. Een goede keuze voor de discontovoet is erg belangrijk in maatschappelijke kosten-batenanalyses (MKBA's). De theorie van MKBA's is diep geworteld in de welvaartstheorie. Alles wordt bekeken vanuit het maatschappelijke belang, de maatschappelijke welvaart, zie bijvoorbeeld de recente MKBA-leidraad (Romijn en Renes, 2013). Daarom neemt ook deze notitie de welvaartstheorie als uitgangspunt.

De opzet van deze notitie is als volgt. Hoofdstuk 2 bespreekt het theoretisch kader achter de discontovoet in een wereld zonder risico. Hoofdstuk 3 introduceert macro-economische onzekerheid en behandelt de vraag hoe onzekerheid de discontovoet beïnvloedt. Hoofdstuk 4 gaat is op de relatie tussen scenarioanalyse en onzekerheid, terwijl in hoofdstuk 5 ethische argumenten aan bod komen. Hoofdstuk 6 gaat in op de relatie tussen de discontovoet en de rente op de kapitaalmarkt. De invloed van projectonzekerheid op de discontovoet is het onderwerp van hoofdstuk 7. Hoofdstuk 8 bespreekt recente keuzes ten aanzien van de discontovoet door het Verenigd Koninkrijk en Frankrijk en recente empirische literatuur over dalende discontovoeten in de tijd. Hoofdstuk 9 concludeert. Tot slot willen we opmerken dat deze notitie niet tot doel heeft stelling te nemen, maar om enerzijds aan te tonen dat de materie ingewikkeld is en anderzijds een denkkader te bieden waarin de argumenten en het debat op een consistente wijze worden weergegeven.

2 De discontovoet in een risicovrije wereld

De discussie over de discontovoet is vaak verwarrend en dat begint al met de definitie ervan. Een heldere definitie is belangrijk, niet alleen voor het verbale debat, (waar hebben we het eigenlijk over?) maar ook voor het theoretische en empirische onderzoek ernaar. Het probleem is echter dat de definitie van de discontovoet zo op het oog niet eenvoudig is. Daarom staan we er uitgebreid bij stil en werken we enkele implicaties uitgebreid uit. De belangrijkste van deze implicaties is de zogenaamde Ramsey-regel, een eenvoudige rekenregel voor het bepalen van de discontovoet.

2.1 Welvaart

In de discussie over de discontovoet is het begrip maatschappelijke welvaart een dominante factor en tevens de bron van veel verwarring. Bij welvaart gaat het in deze notitie om de zogenaamde brede welvaart, waarin alle dingen die mensen belangrijk vinden worden meegenomen. In de theorie achter de discontovoet gebeurt dat via het opstellen van een zogenaamde maatschappelijke welvaarts- of nutsfunctie.

Deze nutsfunctie geeft de relatie weer tussen welvaart en consumptie, waarbij consumptie eveneens breed wordt opgevat, namelijk de consumptie van alle zaken die mensen belangrijk vinden. Deze consumptie omvat bijvoorbeeld het genieten van natuur en consumptie in de toekomst, waaronder die van toekomstige generaties. Daarmee is het begrip duurzaamheid automatisch onderdeel van het welvaartsbegrip. Als ons huidige handelen schade toebrengt aan het klimaat of de biodiversiteit, zal de toekomstige brede consumptie immers dalen, en daarmee het huidige maatschappelijke nut waar die toekomstige brede consumptie onderdeel van uitmaakt.

De maatschappelijke welvaart hangt dus in principe af van de totale consumptie vanaf nu. In een formule schrijven we dit als volgt:

$$U = F(C_0, C_1, C_2, \dots, C_T),$$

waarin U de maatschappelijke welvaart is, C_0 de maatschappelijke consumptie in dit jaar, C_1 de maatschappelijke consumptie volgend jaar, C_2 de maatschappelijke consumptie het jaar daarop en C_T de maatschappelijke consumptie in het laatste jaar van de tijdshorizon waar we rekening mee houden bij de bepaling van het nut. Er is geen a priori reden om dat laatste jaar T op een bepaald aantal jaren vanaf nu te zetten. In principe tellen alle perioden mee tot het einde der tijden, wat dat ook maar is. In de praktijk is het ondoenlijk om een oneindig verre toekomst mee te nemen en dus wordt de tijdshorizon veelal afgekapt bij een paar honderd jaar.

De functie F vertaalt de consumptieniveaus in alle relevante perioden in één begrip, de maatschappelijke welvaart of het maatschappelijke nut. De exacte weging van 'alle zaken die mensen belangrijk vinden' in de term maatschappelijke consumptie (de C's in bovenstaande formule) en de weging van de maatschappelijke consumptie over de tijd vindt plaats in de maatschappelijke nutsfunctie *F.*

Toch is er een aantal veronderstellingen over deze nutsfunctie dat wel breed (maar niet universeel) gedragen wordt. De eerste aanname is dat een hogere consumptie in een bepaalde periode bij gelijkblijvende maatschappelijke consumptie in alle andere perioden tot een hogere welvaart leidt. {Let wel, het gaat hierbij om gelijkblijvende maatschappelijke consumptie in alle andere perioden. Het gaat dus niet over consumptie die schadelijk is voor het milieu, want schade aan het milieu leidt tot lagere maatschappelijke consumptie in de toekomst. Het is alsof die extra consumptie in de betreffende periode zomaar gratis, als manna uit de hemel, tot ons komt.}

De tweede veronderstelling is dat mensen een positieve tijdsvoorkeur hebben. Dit betekent dat ze het als positief ervaren als ze iets eerder in de tijd kunnen consumeren. Deze veronderstelling is gebaseerd op een zekere mate van ongeduld bij de meeste mensen. Het impliceert, ceteris paribus, dat een project maatschappelijk alleen rendeert als de baten in de toekomst groter zijn dan de kosten nu. Het uitstel van huidige consumptie moet immers beloond worden met een grotere hoeveelheid consumptie later.

De derde veronderstelling is dat het nut dat mensen ontlenen aan extra consumptie in een bepaalde periode afneemt met de hoeveelheid consumptie die ze in die periode al hebben. Dit principe impliceert dat een bepaalde hoeveelheid consumptie waardevoller is in een periode waarin consumptie laag is dan wanneer die hoog is. Afgezien van de tijdsvoorkeur volgt uit deze veronderstelling dat het maatschappelijk gewenst is om – als dat kosteloos zou kunnen – consumptie over te hevelen van periodes met hoge consumptie naar periodes met lage consumptie.

Voor de waardering van een project betekent dit dat niet alleen de omvang, maar ook de timing van de kosten en baten belangrijk is. Een project dat consumptie onttrekt in een periode van hoogconjunctuur en uitbetaalt in een periode van laagconjunctuur, zal maatschappelijk beter scoren dan een project met dezelfde kosten en baten, maar waarvan de kosten bij laagconjunctuur plaatsvinden en de baten in hoogconjunctuur.

Daarnaast maken we nog een veronderstelling die zeker niet opgaat, maar die wel nodig is om deze notitie behapbaar te houden. We nemen aan dat alle onderdelen van de maatschappelijke consumptie in geld zijn uit te drukken. De totale waarde van de consumptie per periode kan daarmee uitgedrukt worden in euro's. Daarbij gaat het om reële euro's, gecorrigeerd voor inflatie. Het feit dat deze veronderstelling in de praktijk niet opgaat, is vooral een praktisch probleem. Het tast de analyse niet aan.

2.2 Marginaal nut

Bovenstaande drie basisveronderstellingen kunnen zinvol worden uitgedrukt en gecombineerd via het begrip marginaal nut, dat een centrale rol speelt in de economische wetenschap. Het marginale nut van extra consumptie in een bepaalde periode t is gelijk aan de toename van de welvaart als de consumptie in die periode met 1 euro toeneemt.

De eerste basisveronderstelling, dat extra consumptie in een bepaalde periode tot extra welvaart leidt, betekent dat het marginale nut van consumptie positief is. De tweede veronderstelling van een positieve tijdsvoorkeur betekent dat het marginale nut ceteris paribus lager is als de extra consumptie later in de tijd plaatsvindt. De derde veronderstelling, dat het nut dat mensen ontlenen aan extra consumptie in een bepaalde periode afneemt met de hoeveelheid consumptie die ze in die periode al hebben, betekent dat het marginale nut ceteris paribus lager is in een periode waarin consumptie relatief hoog is en vice versa.

Stel nu dat we in staat zijn om consumptie over te hevelen naar de toekomst, bijvoorbeeld via een investeringsproject. Maatschappelijk gezien is dit een goed idee als de totale welvaart U daardoor stijgt.

Stel concreet dat we overwegen om een euro aan consumptie over te hevelen van nu naar 3 jaar later. De ruil is een op een, dus zonder rente of inflatie. Wat is het effect op de totale welvaart? Een euro minder consumptie nu kost het huidige marginale nut aan welvaart. Over 3 jaar krijgen we dezelfde euro aan consumptie terug en dat levert het marginale nut van consumptie over jaar 3 op. Dit schrijven wel als volgt op:

$$\Delta U = -MU_0 + MU_3,$$

waarin het symbool Δ staat voor mutatie en ΔU voor de mutatie in de totale welvaart. De eerste term aan de rechterkant is de daling van het totale nut als gevolg van een euro minder consumptie nu. De tweede term is de stijging van het totale nut als gevolg van een euro extra consumptie over 3 jaar. De totale welvaart stijgt als $MU_3 > MU_0$, dat wil zeggen, als het marginale nut van consumptie over 3 jaar groter is dan het marginale nut van vandaag. Merk op dat de stijging van het marginale nut over 3 jaar MU_3 wel rekening houdt met de tijdsvoorkeur, maar niet met de rente. MU_3 is daarmee de stijging van het marginale nut in termen van vandaag.

Stel nu, meer algemeen, dat we een project overwegen dat nu K euro kost en over 3 jaar B_3 euro aan baten oplevert, waarbij het subscript 3 aangeeft dat de baten over 3 jaar plaatsvinden. In het voorgaande voorbeeld waren K en B_3 gelijk aan een euro. Wat is het effect van dit project op de totale welvaart? Door het uitvoeren van dit project kunnen we nu K euro minder consumeren. Per euro kost dit MU_0 aan welvaart. De daling van de welvaart vanuit de kostenkant is dus $K \cdot MU_0$. Over drie jaar kunnen we B_3 euro meer consumeren. Een euro extra consumptie over 3 jaar levert MU_3 aan extra welvaart op. De batenkant van het project leidt dus tot een welvaartsstijging van $B_3 \cdot MU_3$. Het totale effect op de welvaart is daarmee

$$\Delta U = -K\ MU_0 + B_3\ MU_3.$$

Dit is positief als $\Delta U > 0$, oftewel als

$$\frac{B_3}{K} > \frac{MU_0}{MU_3}.$$

Dit is de centrale conditie in de hele discontovoetdiscussie en de twee breuken zijn daarin de centrale variabelen. Deze conditie gaat alleen op het project relatief klein is ten opzichte van de totale consumptie, dat wil zeggen als K en B relatief klein zijn ten opzichte van C.

De breuk aan de linkerkant $\frac{B_3}{K}$ is de verhouding tussen de baten en kosten van het project en wordt hier verder aangeduid als P_3, het rendement van het project. Het subscript 3 geeft aan dat het gaat om het totale rendement over 3 jaar. Als een project nu 100 euro kost en over 3 jaar 150 euro oplevert in reële termen, is P_3 gelijk aan 1,5.

De breuk $\frac{MU_0}{MU_3}$ geeft de relatieve waardering weer (in termen van welvaart) tussen een euro nu en een euro over 3 jaar. Deze breuk heet de discontofactor tussen nu en over 3 jaar, aangeduid als D_3. Het subscript 3 geeft weer aan dat het gaat om de verhouding tussen nu en over 3 jaar. Hoe groter deze discontofactor, hoe meer we extra huidige consumptie waarderen ten opzichte van extra consumptie over 3 jaar. Bijvoorbeeld, als mensen heel ongeduldig zijn is de breuk erg hoog: het marginale nut van een euro consumptie nu is veel hoger dan het marginale nut over drie jaar. Jonge kinderen hebben vaak een zeer hoge discontofactor. Een lolly vandaag is iets om voor te vechten. De belofte van een lolly over een week maakt weinig indruk.

Het project is maatschappelijk rendabel als $\mathrm{P}_3 > D_3$, dus als het 3-jaars rendement P_3 hoger is dan de 3-jaars discontofactor D_3 en vice versa.

Dit voorbeeld kunnen we eenvoudig uitbreiden naar het algemene geval waarin de kosten nu gelijk zijn aan K, de baten over t jaar gelijk aan B_t, het totale rendement over die t jaar dus gelijk is aan $\mathrm{P}_t = \frac{B_t}{K}$ en de discontofactor over die t jaar gelijk is aan $D_t = \frac{MU_0}{MU_t}$. Als het rendement P_t hoger is dan de discontofactor D_t, is het effect op de welvaart positief en dient het project uitgevoerd te worden. Als het rendement lager is dan de discontofactor is het beter om het project niet uit te voeren. En bij een rendement gelijk aan de discontofactor maakt het voor de welvaart niet uit of het project uitgevoerd wordt.

Hieruit volgt onmiddellijk een alternatieve manier om naar de discontofactor te kijken: als projecten alleen maar worden geaccepteerd als hun rendement hoger is dan de discontofactor, mag je de discontofactor ook interpreteren als een (minimale) rendementseis.

2.3 De discontovoet

Een andere manier om het rendement van een investering te berekenen is als het verschil tussen de baten en de kosten gedeeld door de kosten en uitgedrukt in procenten. Een project met kosten nu van 100 en baten over 3 jaar van 150 heeft dan een rendement van 50%. Om rekening te houden met de looptijd van een project gebruiken we vaak het gemiddelde rendement per jaar gedurende de looptijd van het project. Daarbij wordt rekening gehouden met de samengestelde rente, oftewel het effect van rente op rente. Het gemiddelde rendement per jaar van dit project is 14,5%, immers $1{,}145^3 = 1{,}5$. Het gemiddelde rendement per jaar duiden we aan met ρ_t, waarbij het subscript de looptijd van het project weergeeft. In het algemeen geldt $(1+\rho_t)^t = \mathrm{P}_t$.

Eveneens kunnen we zo de discontofactor vertalen naar een gemiddeld percentage per jaar. Dit gemiddelde percentage per jaar heet de discontovoet, aangeduid als d_t. De relatie tussen de discontovoet en de discontofactor is opnieuw: $(1 + d_t)^t = D_t$.

Als het totale rendement P_t hoger is dan de discontofactor D_t, is het gemiddelde rendement per jaar, ρ_t ook hoger dan de discontovoet d_t, en vice versa. We kunnen de voorwaarde voor het maatschappelijk rendabel zijn van een project dus evengoed in termen van het gemiddelde rendement per jaar en de jaarlijkse discontovoet weergeven.

Opnieuw geldt dat de discontovoet geïnterpreteerd mag worden als een minimum rendementseis, maar nu uitgedrukt als het gemiddelde minimale rendement per jaar gedurende de looptijd van een project.

2.4 De Ramsey-regel

De discontovoet is dus gedefinieerd als de discontofactor in termen van gemiddelde percentages per jaar en heeft dezelfde economische interpretatie. Een hoge tijdsvoorkeur doet de discontofactor en dus ook de discontovoet stijgen. Dit is waarschijnlijk het makkelijkst te zien (en te onthouden) vanuit de interpretatie van de discontovoet als rendementseis. Iemand die ongeduldig is en graag nu consumeert zal niet snel investeren. Investeren is immers het inruilen van huidige consumptie voor (meer) consumptie later. Een ongeduldig iemand zal alleen instemmen met een investering die een zeer hoge compensatie geeft voor het opgeven van huidige consumptie. De rendementseis, en dus de discontovoet van die persoon is dus hoog.

We zagen eveneens dat de waarde in termen van nut van toekomstige consumptie relatief laag is als het niveau van consumptie in die toekomstige periode al hoog is. De rendementseis voor een investering waarvan de kosten plaatsvinden in een periode met relatief lage consumptie, en de baten in een periode met relatief hoge consumptie is dan ook relatief hoog. De mate waarin dit effect optreedt, hangt af van de mate waarin het marginaal nut van consumptie in een bepaalde periode daalt met de omvang van de consumptie in die periode.

Het blijkt dat deze twee principes voor kleine projecten (klein in vergelijking met de totale omvang van de economie) tot de volgende eenvoudige rekenregel leiden voor de discontovoet:

$$d_t = \delta + \gamma g_t$$

waarin d_t de discontovoet is tussen nu en periode t, δ de tijdsvoorkeurvoet (de mate van ongeduld), g_t de gemiddelde groeivoet van de consumptie tussen nu en periode t en γ de mate waarin het marginaal nut van consumptie in een periode daalt met het niveau ervan.

De discontovoet is dus gelijk aan de tijdsvoorkeurvoet δ plus de groeivoet van consumptie g maal de mate waarin die groei van de consumptie het marginale nut beïnvloedt γ. Deze formule heet de Ramsey-regel en vormt de basis voor veel discussies over de hoogte van de discontovoet. Uit de Ramsey-regel volgt dat de discontovoet stijgt als mensen ongeduldiger zijn en als de groeivoet van de macro-consumptie tijdens de looptijd van het project al hoog was.

De coëfficiënten δ en γ worden over het algemeen beschouwd als coëfficiënten van de maatschappelijke nutsfunctie zelf, en zijn daarmee constant in de tijd. Over de specifieke waarden is veel discussie. Hoe dan ook, het enige onderdeel van de Ramsey-regel voor de discontovoet dat varieert in de tijd is g_t, de economische groei tussen nu en periode t.

2.5 Disconteren en contante waarde

Uit het voorgaande blijkt dat de waarde in termen van welvaart van een euro nu over het algemeen niet gelijk is aan die van een euro in de toekomst. Om die waarden toch zinvol te kunnen vergelijken is er het begrip contante waarde. De contante waarde van een som geld in de toekomst is gelijk aan het aantal euro's nu dat dezelfde welvaart(-swinst) oplevert. Het maakt voor de welvaart niet uit of die som geld in de toekomst verkregen wordt of de contante waarde ervan nu.

Laten we de contante waarde van 100 euro over 3 jaar aanduiden als CW. Het maakt voor de welvaart niet uit of we nu die CW krijgen of 100 euro over 3 jaar. In het eerste geval stijgt het nut met CW maal het marginale nut van een huidige euro en in het tweede geval met 100 maal het marginale nut van een euro over drie jaar. Deze twee opties hebben dezelfde waarde, dus

$$CW * \ MU_0 = 100 * MU_3.$$

Delen door MU_0 geeft

$$CW = 100 * \frac{MU_3}{MU_0}.$$

In het voorgaande bleek dat de breuk $\frac{MU_3}{MU_0}$ gelijk is aan 1 gedeeld door de discontofactor D_3. Substitutie geeft

$$CW = \frac{100}{D_3}.$$

De contante waarde van 100 euro over 3 jaar is dus gelijk aan die 100 euro gedeeld door de discontofactor voor 3 jaar.

Voor een kostenpost geldt dezelfde redenering. De contante waarde van een kostenpost van 100 euro over 3 jaar is gelijk aan het aantal euro's nu dat hetzelfde welvaartsverlies oplevert. Contante waarden van toekomstige baten zijn positief en van toekomstige kosten negatief. De contante waarde van de kostenpost is dus -$100/D_3$ euro. Het berekenen van de contante waarde heet disconteren en de contante waarde wordt ook wel de verdisconteerde waarde genoemd. Dit disconteren kunnen we doen voor alle toekomstige kosten en baten die voortvloeien uit een bepaald project. Daarmee worden die toekomstige kosten en baten weergeven in termen van hun waarde-equivalenten in huidige euro's. Ze zijn daarmee direct op te tellen. De contante waarde van kosten of baten die nu plaatsvinden zijn gelijk aan die kosten of baten. Die zijn immers al uitgedrukt in euro's van nu.

De optelsom van de contante waarden van alle kosten en baten van een project is de contante waarde van het hele project. Als die contante waarde positief is, draagt het positief bij aan de welvaart en vice versa. Het is dan maatschappelijk rendabel.

Rente op rente

Om rekening te houden met de looptijd van een project gebruiken we vaak het gemiddelde rendement per jaar gedurende de looptijd van het project. Daarbij wordt rekening gehouden met de samengestelde rente oftewel het effect van rente op rente. Bijvoorbeeld een tweejarig project met een rendement van 6% per jaar levert na twee jaar een rendement op van 12,36%. Hiervan is 0,36% het rente-op-rente effect, dat wil zeggen het rendement van 6% in het tweede jaar op het rendement van 6% dat in het eerste jaar behaald is

Het rente-op-rente effect hoeft niet op jaarbasis plaats te vinden, maar zou bijvoorbeeld ook op maandbasis kunnen gebeuren. Dit lijkt onschuldig maar maakt toch uit. Zo lijkt op het eerste gezicht een rendement van 6% op jaarbasis gelijk aan een rendement van 0,5% op maandbasis, want 12 maal 0,5 is 6. Echter een rendement van 0,5% per maand levert met rente-op-rente na 2 jaar een eindrendement van 12,72% op, 0,36% meer dan 2 jaar 6% per jaar. De intuïtie is dat hoe vaker er rendement wordt uitgekeerd, hoe eerder een deel van dat rendement extra rendement oplevert. Zo kunnen we verder gaan en rente-op-rente op dag- of uur- of secondebasis samenstellen, etc. We spreken dan van een rendement van 6% per jaar samengesteld op jaar-, maand-, dag-, uur- of secondebasis.

De extreme vorm hiervan is rendementen waarbij het rente-op-rente effect continu plaatsvindt. Hierbij worden rendementen continu uitgekeerd en leveren ze vervolgens ook onmiddellijk rente-op-rente op. Bij voortzetting van het voorbeeld in deze alinea naar samenstelling op continu-basis, wordt het eindrendement na twee jaar 12,75%, nog weer 0,03% hoger dan bij samenstelling op maandbasis. Deze vorm lijkt vreemd en is in de praktijk onwerkbaar, maar blijkt bij theoretisch onderzoek bijzonder handig. In die literatuur en in de appendix wordt de discontovoet dan ook meestal uitgedrukt in continue samengestelde percentages per jaar.

De formule voor de relatie tussen het totale rendement over de looptijd van een project is iets anders dan bij rendementen op jaarbasis. De formule voor het totale rendement in het geval van 6% per jaar is 1,06x1,06=1,1236. De formule in het geval van een continu-rendement van 6% gedurende twee jaar is $\exp(0{,}06 \cdot 2) = 1{,}1275$, waarbij $\exp(\cdot)$ de exponent functie is. Zoals gezegd maakt dit voor de intuïtie niet zoveel uit.

3 Onzekerheid

Tot nu toe veronderstelden we dat er geen enkele onzekerheid in de economie aanwezig was. De economische ontwikkeling en vooral de groei van de macro-economische consumptie werden bekend verondersteld evenals het rendement van de projecten. In de praktijk zijn echter zowel de groei van de consumptie als het rendement van veel projecten onzeker, in ieder geval in reële termen. In deze notitie zullen we beide vormen van onzekerheid behandelen. In deze paragraaf beginnen we met de onzekerheid over de groei van de consumptie. Onzekerheid over het rendement van projecten komt aan de orde in paragraaf 7.

Conceptueel verandert er niet zoveel in de analyse. De maatschappelijke welvaart hangt nog steeds af van de totale consumptie vanaf nu:

$$U = F(C_0, C_1, C_2, \dots, C_T),$$

Het enige verschil is dat toekomstige consumptieniveaus, dus $C_1, C_2, \dots, C_T$, onzeker zijn. De maatschappelijke welvaart U is daarmee ook onzeker. Het zou kunnen dat door snelle technologische ontwikkeling de economische groei en daarmee de groei van consumptie hoog is, maar het kan ook tegenvallen.

We weten al dat het marginale nut van consumptie in een bepaalde periode afneemt met de hoeveelheid consumptie in die periode. Hoe hoger de groeivoet van de consumptie in de tijd, hoe meer het marginale nut van consumptie daalt in de tijd. Echter, omdat we niet weten hoe hoog de consumptie in de toekomst is, weten we ook niet hoe hoog het marginale nut van consumptie in de toekomst is. Wel kunnen we veronderstellingen maken over de mate van onzekerheid en daarmee een verwachte waarde van consumptie in de toekomst berekenen en daarmee ook de verwachte waarde van het marginale nut van die consumptie. Vervolgens blijft de rest van de analyse grotendeels onveranderd. Het enige wat we moeten doen is de term 'het marginale nut van consumptie in een bepaalde periode' vervangen door 'het verwachte marginale nut van consumptie in een bepaalde periode'.

Om dit te illustreren, gebruiken we weer het voorbeeld uit de vorige paragraaf. Stel dat we een project overwegen dat nu K euro kost en over 3 jaar met zekerheid B_3 euro aan baten oplevert, waarbij het subscript 3 aangeeft dat de baten over 3 jaar plaatsvinden. Zoals gezegd, gaan we er in deze paragraaf vanuit dat het projectrendement nog steeds zeker is, zodat de baten over drie jaar B_3 bekend zijn.

Wat is het effect van dit project op de totale welvaart? Omdat het marginale nut over 3 jaar onzeker is, is het effect van het project op de welvaart ook onzeker, maar we kunnen er wel een verwachting over uitspreken. Door het uitvoeren van dit project kunnen we nu K euro minder consumeren. Per euro kost dit MU_0 aan welvaart. De daling van de welvaart vanuit de kostenkant is dus $K\,MU_0$. Hierover bestaat geen onzekerheid. Over drie jaar kunnen we B_3 meer consumeren. Een euro extra consumptie over 3 jaar levert zeker extra welvaart op, maar we weten niet hoeveel. Het marginale nut over 3 jaar is namelijk onzeker. Wel kunnen we de verwachte waarde ervan berekenen. Die noemen we het verwachte marginale nut over 3 jaar, aangeduid als $E(MU_3)$. De hoofdletter E staat voor de verwachte waarde. De batenkant van het project leidt dus tot een welvaartsstijging van B_3 maal dat verwachte marginale nut. Het verwachte effect op de welvaart is daarmee

$$E\Delta U = -K\,MU_0 + B_3\,E(MU_3),$$

waarin $E\Delta U$ de verwachte verandering van de welvaart is. Het project heeft naar verwachting een positief effect of de welvaart als $E\Delta U > 0$, oftewel als

$$\frac{B_3}{K} > \frac{MU_0}{E(MU_3)}.$$

Deze conditie is dezelfde als voorheen, behalve dat het voorheen niet onzekere marginale nut van consumptie over 3 jaar, MU_3 vervangen is door de verwachting ervan, $E(MU_3)$.

Het totale rendement van het project P_3 is nog steeds gelijk aan de totale baten gedeeld door de totale kosten: $P_3 = \frac{B_3}{K}$. De breuk $\frac{MU_0}{E(MU_3)}$ geeft nu de verwachte relatieve waardering weer (in termen van welvaart) tussen een euro nu en een euro over 3 jaar. We noemen deze breuk nog steeds de discontofactor tussen nu en over 3 jaar, aangeduid als D_3. En nog steeds geldt dat hoe groter deze discontofactor, hoe meer we extra huidige consumptie waarderen ten opzichte van extra consumptie over 3 jaar.

Het project is maatschappelijk rendabel als $P_3 > D_3$, dus als het 3-jaars rendement P_3 hoger is dan de 3-jaars discontofactor D_3 en vice versa.

Dit voorbeeld kunnen we weer eenvoudig uitbreiden naar het algemene geval waarin de kosten nu gelijk zijn aan K, de baten over t jaar gelijk aan B_t, het totale rendement over die t jaar dus gelijk is aan $P_t = \frac{B_t}{K}$ en de discontofactor over die t jaar gelijk is aan $D_t = \frac{MU_0}{E(MU_t)}$.

De interpretatie is hetzelfde als in het geval van zekerheid: de discontofactor D_t is nog steeds een minimale rendementseis, waaraan projecten moeten voldoen. En opnieuw is de discontovoet d_t de minimale rendementseis per jaar gedurende de looptijd van het project.

Hoewel de analyse conceptueel dus nauwelijks verandert, kunnen de implicaties voor de hoogte van de discontovoet toch fors zijn. Hierbij draait het om het verschil tussen het marginale nut van consumptie bij een zekere toekomst en het verwachte marginale nut van consumptie als de toekomst onzeker is.

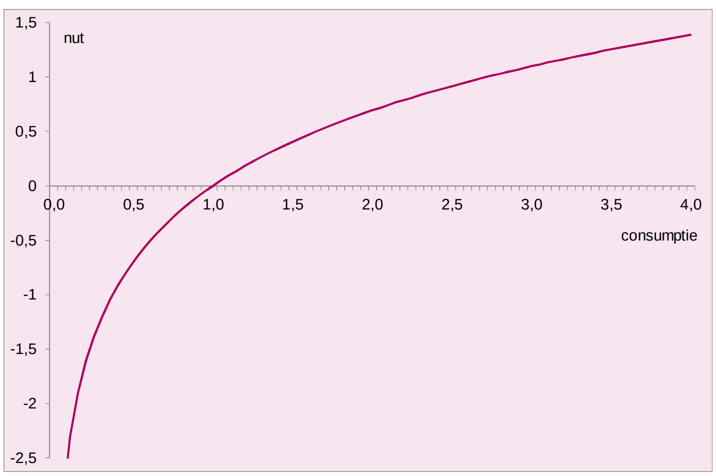
Om dit te illustreren tekenen we in figuur 3.1 een eenvoudige nutsfunctie die slechts afhangt van consumptie in één enkele periode. In deze figuur staat op de horizontale as het niveau van de consumptie en op de verticale as het nut van die consumptie. De grafiek stijgt overal: meer consumptie geeft meer nut. Echter de grafiek wordt steeds minder steil: de toename van het nut met een extra euro consumptie daalt naarmate het niveau van de consumptie hoger is. Oftewel, het marginale nut van consumptie daalt naarmate het niveau van de consumptie hoger is.

De getekende figuur is de veelgebruikte log-functie: het nut is gelijk aan de natuurlijke logaritme van de consumptie. Stel dat het huidige consumptieniveau gelijk is aan 1. Het nut is dan nul. Dit getal nul heeft geen betekenis op zich, maar is een ijkpunt. Als de consumptie stijgt naar 1,25 stijgt het nut naar 0,22. Als de consumptie daalt naar 0,75 daalt het nut naar -0,29.

Stel nu dat mensen mogen kiezen tussen twee opties, ofwel met zekerheid consumptie gelijk aan 1 ofwel met 50% kans consumptieniveau 0,75 en met 50% kans consumptieniveau 1,25. In beide opties is het gemiddelde of verwachte niveau van consumptie hetzelfde, namelijk 1. In het eerste geval is het nut met zekerheid gelijk aan nul. In het tweede geval is het gemiddelde of verwachte nut gelijk aan $\frac{1}{2} * (-0{,}29) + \frac{1}{2} * 0{,}22 = -0{,}035$. Door de onzekerheid daalt het nut dus met 0,035. De kans op verlies domineert daarmee de even grote kans op een even grote winst. Mensen zijn risico-avers.[2] Naarmate de onzekerheid toeneemt, daalt het verwachte nut verder. Als de consumptie met 50% kans 0,5 is en met 50% kans 1,5, is het verwachte nut gedaald tot -0,14. Als de onzekerheid nog groter wordt, gaat het verwachte nut steeds sneller naar beneden. Bij consumptie gelijk aan 0,1 of 1,9 is het verwachte nut -0,83 en bij consumptie gelijk aan 0,01 of 1,99 is het verwachte nut -1,96.

In het extreme geval van consumptie gelijk aan 0 of 2 is het verwachte nut min oneindig. Dit extreme geval correspondeert bijvoorbeeld met een situatie waarin de aarde mogelijk onbewoonbaar wordt, in de zin dat er geen consumptie en dus geen leven meer mogelijk is.

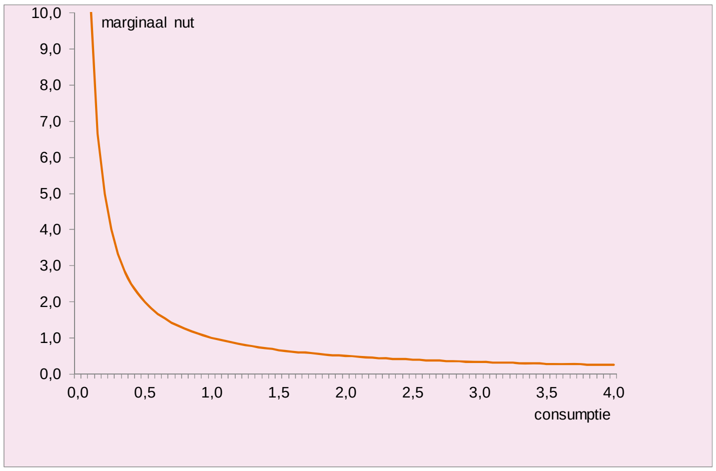
Figuur 3.1 Nut als functie van consumptie



[2] Dit is het principe achter de markt voor verzekeren.

Een andere manier om hier tegenaan te kijken is via het marginale nut. De afnemende steilheid van de grafiek van het nut impliceert dat het marginale nut daalt als het consumptieniveaus stijgt. In het onderhavige geval is het marginale nut gelijk aan $1/c$. Dit is weergegeven in figuur 3.2.

Figuur 3.2 Marginaal nut als functie van consumptie



Bij consumptieniveau van 1 is het marginale nut gelijk aan 1. Bij consumptie gelijk aan ofwel 0,75 ofwel 1,25 is het verwachte marginale nut gelijk aan $\frac{1}{2} * 1{,}33 + \frac{1}{2} * 0{,}8 = 1{,}07$. Het verwachte marginale nut van consumptie stijgt dus door onzekerheid. Als we niet weten wat de consumptie morgen is, is een zekere extra euro aan consumptie extra waardevol. Het zou immers kunnen dat de situatie morgen slecht uitpakt. Dan zou het erg fijn zijn als we in ieder geval die zekere extra euro hebben.

Ook vanuit dit perspectief is te zien dat het effect van onzekerheid op het marginale nut toeneemt als de onzekerheid groter wordt. Bij consumptie gelijk aan 0,5 of 1,5 is het verwachte marginale nut 1,33 en bij consumptie van 0,01 of 1,99 is het verwachte marginale nut 50,25. En in het extreme geval van consumptie gelijk aan 0 of 2 is het verwachte marginale nut oneindig groot. Dit betekent dat het nut van een extra eenheid zekere consumptie in die periode zo groot is dat kosten noch moeite gespaard dienen te worden om die garantie van 1 euro consumptie te verwezenlijken. Dit idee wordt direct weergegeven via de discontofactor. De discontofactor tussen nu en een periode t in de toekomst is gelijk aan:

$$D_t = \frac{marginale\ nut\ van\ consumptie\ nu}{verwachte\ marginale\ nut\ van\ consumptie\ in\ periode\ t},$$

Door onzekerheid over de consumptie in een toekomstige periode stijgt het verwachte marginale nut van consumptie in die periode. De bijbehorende discontofactor daalt dus. Dit betekent dat de rendementseis voor projecten daalt naarmate de toekomst onzekerder is (maar het project niet). In het extreme geval waarin de consumptie in periode t (in het basispad) gelijk is aan nul, is de discontofactor gelijk aan nul. Dit betekent dat elk project met een positief totaal rendement P_t rendabel is. De formule voor P_t is:

$$\mathrm{P}_t = \frac{baten\ in\ periode\ t}{kosten\ nu},$$

De eis dat P_t positief is, betekent dus dat de baten in periode t positief moeten zijn. Dit betekent dat alle projecten met enige baten in periode t rendabel zijn ongeacht te kosten. Met andere woorden, kosten noch moeite dienen te worden gespaard om in periode t een positieve consumptie te hebben.

Het blijkt dat de Ramsey-regel onder bepaalde voorwaarden eenvoudig uit te breiden is om het effect van onzekerheid mee te nemen. Stel dat de groeivoet van de consumptie gemiddeld μ% per jaar is met een variantie van σ^2 in elk jaar. Stel tevens dat de onverwachte schokken in consumptie onafhankelijk van elkaar zijn in de tijd. Dan is de uitgebreide Ramsey-regel gelijk aan

$$d = \delta + \gamma\mu - \frac{1}{2}\gamma(\gamma + 1)\sigma^2.$$

De eerste twee componenten van deze formule zijn dezelfde als voorheen, alleen in plaats van de zekere groeivoet g staat er nu de groei van de verwachte consumptie μ. δ is nog steeds de tijdsvoorkeurvoet en γ de mate waarin het marginale nut van consumptie in een periode daalt met het niveau ervan. Naast deze interpretatie is γ, als er sprake is van onzekerheid, ook te interpreteren als de mate van risico-aversie. De derde term geeft het effect van onzekerheid weer. Hoe hoger de variantie σ^2, hoe onzekerder de toekomstige consumptie en hoe lager de discontovoet d. Ook geldt dat hoe hoger γ, de risicoaversie-parameter, des te lager de discontovoet. Dat klopt met onze intuïtie: voor een meer risico-avers persoon telt de toekomst zwaarder mee.

3.1 De termijnstructuur van de discontovoet

In deze paragraaf gaan we dieper in op de relatie tussen de discontovoet en de discontofactor en de relatie tussen beide en de tijdshorizon. De discontofactor met tijdshorizon t, D_t, is

$$D_t = \frac{marginale\ nut\ van\ consumptie\ nu}{verwachte\ marginale\ nut\ van\ consumptie\ in\ jaar\ t}.$$

Deze discontofactor geeft aan hoe we extra huidige consumptie waarderen ten opzichte van extra consumptie in jaar t. Voor de bijbehorende discontovoet geldt dat de discontovoet d_t de gemiddelde groei per jaar van de waardering van extra consumptie is als we die extra consumptie in de tijd naar voren halen van jaar t naar nu:

$$(1 + d_t)^t = D_t.$$

In beide gevallen is de huidige periode het referentiepunt. Dit is meestal logisch, maar niet per se nodig. We zouden ook een andere periode als referentiepunt kunnen kiezen. Van speciaal belang is de situatie waarin we een bepaald jaar vergelijken met het volgende jaar.
Bijvoorbeeld,

$$D_{2,3} = \frac{marginale\ nut\ van\ consumptie\ in\ jaar\ 2}{verwachte\ marginale\ nut\ van\ consumptie\ in\ jaar\ 3}.$$

$D_{2,3}$ geeft aan hoe we extra consumptie in jaar 2 waarderen ten opzichte van extra consumptie in jaar daarop. Bijvoorbeeld als $D_{2,3}$ gelijk is aan 1,05, betekent dit dat een euro extra consumptie in jaar 2 1,05 keer zo veel waard is in termen van welvaart als een euro extra consumptie in jaar 3.

Als we alle toekomstige discontofactoren, zoals $D_{t,t+1}$, mogen vervangen door de bijbehorende verwachte waarde $E_0(D_{t,t+1})$, dan valt eenvoudig aan te tonen dat de discontofactor met tijdshorizon t en het heden als referentiepunt gelijk is aan het product van alle verwachte eenjarige discontofactoren tussen nu en die tijdshorizon t.[3] Bijvoorbeeld

$$D_3 = D_{0,1} * E_0(D_{1,2}) * E_0(D_{2,3}),$$

waarin E_0 aangeeft dat de verwachting op tijdstip 0 wordt genomen. Evenzo kunnen we de discontovoet met tijdshorizon t ontbinden in discontovoeten die slechts een jaar omvatten. Voor de discontovoet tussen jaar 2 en jaar 3, aangeduid als $d_{2,3}$ geldt:

$$1 + d_{2,3} = D_{2,3}$$

De discontovoet is de groei van het marginale nut van extra consumptie als we die extra consumptie naar voren halen van jaar 3 naar jaar 2. Als $D_{2,3}$ gelijk is aan 1,05 is $d_{2,3}$ gelijk aan 0,05 oftewel 5%. De interpretatie is dat een euro extra consumptie in jaar 2 5% meer waard is in termen van welvaart dan 1 euro extra consumptie in jaar 3.

[3] Deze conditie staat in de literatuur bekend als de 'Unbiased Expectations Hypothesis', zie blz. 796 van Cox et al. (1981). Als deze conditie opgaat, bevatten lange rentes geen risicopremie en zijn de (impliciete) forward rates een zuivere schatter van de toekomstige rente.

Uit de formule $D_3 = D_{0,1} * E_0(D_{1,2}) * E_0(D_{2,3})$ volgt dat

$$(1 + d_3)^3 = (1 + d_{0,1})(1 + E_0(d_{1,2}))(1 + E_0(d_{2,3}))$$

Een goede benadering voor deze formule bij kleine discontovoeten is

$$d_3 = \frac{d_{0,1} + E_0(d_{1,2}) + E_0(d_{2,3})}{3},$$

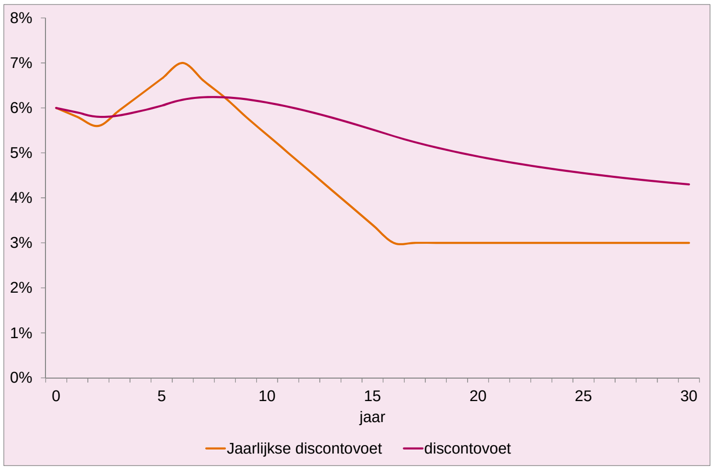
De discontovoet tussen nu en jaar 3 is dus ongeveer gelijk aan het gemiddelde van de eenjarige discontovoeten tussen nu en jaar 3.

Bij de discontofactoren $D_{t,t+1}$ en de discontovoeten $d_{t,t+1}$kijken we dus steeds 1 jaar vooruit. Er is a priori geen reden waarom de jaarlijkse discontovoeten constant zijn naarmate we verder in de toekomst kijken. Het lijkt bijvoorbeeld logisch dat ze op en neergaan met de conjunctuur omdat het marginale nut van consumptie hoog is als consumptie laag is en vice versa.

We kunnen het verband tussen de discontovoeten en de tijdshorizon weergeven in een grafiek. We kunnen daarbij een grafiek maken van het verloop van de standaard discontovoet met tijdshorizon tussen nu en jaar t of van de jaarlijkse discontovoeten, waarbij de standaard discontovoet ruwweg gelijk is aan het gemiddelde van de jaarlijkse discontovoeten. Beide grafieken beginnen bij hetzelfde punt, want zowel de standaard discontovoet met tijdshorizon van 1 jaar is gelijk aan de jaarlijkse discontovoet tussen nu en volgend jaar: $d_1 = d_{0,1}$.

De grafiek zou er bijvoorbeeld uit kunnen zien als in figuur 3.3. De gele lijn is de jaarlijkse discontovoet. In dit voorbeeld daalt hij eerst van 6% naar 5,6%, stijgt vervolgens naar 7%, daalt weer naar 3% en blijft daarna constant. De standaard discontovoet met tijdshorizon t is de gemiddelde jaarlijkse discontovoet tot jaar t. Hij is voor dit voorbeeld weergegeven met de rode lijn. Als de gele lijn onder de rode lijn ligt, daalt de rode lijn en vice versa.

Figuur 3.3 Jaarlijkse en standaard discontovoet

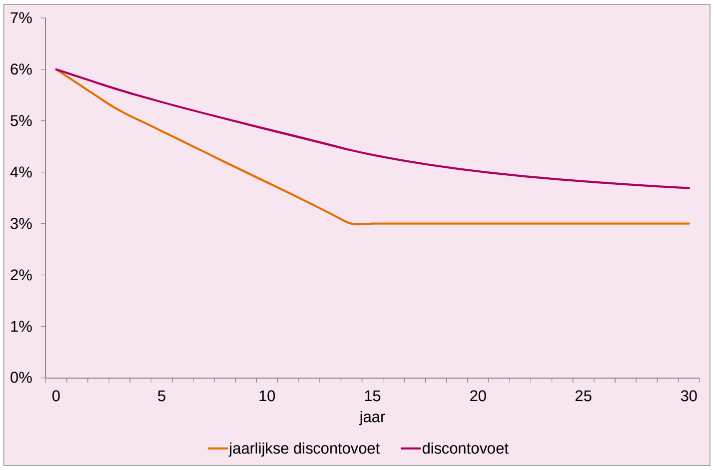


Deze figuur heet de termijnstructuur van de discontovoet. Omdat beide lijnen dezelfde informatie bevatten is het om het even welke we presenteren. Meestal wordt echter met de termijnstructuur alleen de rode lijn bedoeld, dus de standaard discontovoet als functie van de tijdshorizon en met het begrip discontovoet de standaard discontovoet. Dat zullen we in het vervolg ook doen. Als we het hebben over de jaarlijkse discontovoet, zullen we dat ook zo benoemen.

Een veelgehoorde bewering is dat de termijnstructuur van de discontovoet daalt in de tijd. Hoe langer de tijdshorizon des te lager de discontovoet. Dit betekent dat de jaarlijkse discontovoet onder de standaard discontovoet moet liggen. Omdat de grafiek van de jaarlijkse discontovoet op hetzelfde punt begint als de standaard discontovoet, moet de jaarlijkse discontovoet dus ook dalen in de tijd. Figuur 3.4 geeft een voorbeeld.

Het standaardargument voor een dalende discontovoet in de tijd is het feit dat de onzekerheid over het niveau van de consumptie groeit in de tijd. Het consumptieniveau voor volgend jaar zal waarschijnlijk redelijk dicht in de buurt van die van dit jaar liggen. Echter over de consumptie over 10 jaar zijn we veel minder zeker, laat staan over de consumptie over bijvoorbeeld 100 jaar. We weten dat de discontovoet daalt door hogere onzekerheid. Dus de conclusie dat de discontovoet daalt met de tijdshorizon lijkt logisch.

Figuur 3.4 Dalende discontovoet in de tijd



Toch is deze redenering niet correct. De discontovoet daalt in de tijd als de jaarlijkse discontovoeten dalen in de tijd. Deze jaarlijkse discontovoeten kijken steeds slechts een jaar vooruit en hebben dan ook alleen maar te maken met de onzekerheid binnen dat jaar. De vraag daarbij is: stel dat we aangeland zijn bij het begin van het jaar in kwestie. Hoe groot is de onzekerheid voor het komende jaar?

Stel dat de verwachte groei van de consumptie en de onzekerheid daarvan van jaar op jaar steeds constant is. Elk jaar weer is de groei van de verwachte consumptie gelijk aan g en de variantie van die groei gelijk aan σ^2. Dan is elk jaar de jaarlijkse discontovoet even groot. De standaard discontovoet met tijdshorizon t is gelijk aan het gemiddelde van de jaarlijkse discontovoeten tot jaar. Omdat de jaarlijkse discontovoet hetzelfde is voor alle jaren, is het gemiddelde ervan ook gelijk aan die jaarlijkse discontovoet. De standaard discontovoet is dus gelijk voor elke tijdshorizon. In termen van figuur 3.4 zijn zowel de gele als de rode lijn volledig plat.

We zagen eerder dat de jaarlijkse (en dus ook de standaard) discontovoet in dit geval gelijk is aan

$$d = \delta + \gamma\mu - \frac{1}{2}\gamma(\gamma + 1)\sigma^2$$

Een stijging van de onzekerheid op jaarbasis, σ^2, leidt dus wel tot een lagere jaarlijkse discontovoet, maar hij is wel constant in de tijd.

Hoewel de onzekerheid op jaarbasis constant is, neemt de onzekerheid wel degelijk toe in de tijd. De variantie van de groei van de consumptie een jaar vooruit is weliswaar steeds gelijk aan σ^2, over een periode van twee jaar vooruit is die $2\sigma^2$, en over een periode van t jaar vooruit $t\sigma^2$. De onzekerheid over de groei neemt dus lineair toe met de tijd. Dit betekent dat de onzekerheid over het niveau van de consumptie t perioden in de toekomst exponentieel stijgt met de tijdshorizon. En toch is er geen effect op de discontovoet. De meest eenvoudig intuïtie is wellicht dat disconteren alles wat in de toekomst ligt minder relevant maakt voor nu. Hoe verder de toekomst is hoe sterker hij wordt gedisconteerd. Disconteren werkt exponentieel. Een exponentieel stijgende onzekerheid kan dus worden tenietgedaan door een eveneens exponentiële discontering.

Voor een dalende discontovoet in de tijd moet de onzekerheid dus sneller toenemen dan in de situatie waarin de verwachte groei van de consumptie steeds weer gelijk is aan g, met constantie variantie σ^2, ongeacht wat er voorheen gebeurde. Zo'n proces noemen we een random walk. De onzekerheid moet dus sneller toenemen dan bij een random walk.

Toch is het wel degelijk mogelijk dat dit het geval is. De meest eenvoudige aanname is dat de variantie van de groei van consumptie op jaarbasis, σ^2 stijgt in de tijd. Dit betekent dat we verwachten dat we over zeg 50 jaar onzekerder zijn over de groei van de consumptie in het dan komende jaar dan nu. De economie wordt dus instabieler op jaarbasis. Dat zou kunnen, maar het tegenovergestelde zou evengoed kunnen. Er is a priori geen reden om te veronderstellen dat de economie in de toekomst meer of minder stabiel is dan de economie van vandaag.

De tweede mogelijkheid voor een sterker stijgende onzekerheid met de tijd is een positieve correlatie tussen de groeivoet van consumptie in de tijd. Dit betekent dat een hogere groeivoet nu de verwachte groeivoet voor de toekomst ook verhoogt. Een positieve schok in de groeivoet ijlt dan nog enige of zelfs lange tijd na. Dit maakt de economie minder stabiel.

Er zijn allerlei mogelijkheden voor zo'n propagatiemechanisme. De economisch meest rechttoe rechtaan mogelijkheid is dat de groeivoet van consumptie positief gecorreleerd is in de tijd vanwege technologische ontwikkeling. Zo kan een doorbraaktechnologie, zoals elektriciteit, er bijvoorbeeld voor zorgen dat de economie langdurig op een hoger groeipad komt te liggen. Zo'n technologie opent namelijk gedurende lange tijd allerlei nieuwe mogelijkheden om productiever te worden. Dit valt empirisch te testen. Het blijkt echter moeilijk om een empirische onderbouwing te vinden voor de hypothese dat de groeivoet voldoende gecorreleerd is in de tijd om een substantieel effect op de discontovoet te hebben.

Er zijn echter ook statistische redenen die de facto zorgen voor zo'n propagatiemechanisme. Een belangrijk reden is dat niet alleen de groeivoet van de consumptie onzeker is, maar ook de kansverdeling van de groeivoet. Als die kansverdeling op basis van nieuwe informatie telkens wordt aangepast, schuift de nieuwe kansverdeling op in de richting van de geobserveerde groeivoet. Daarmee ontstaat een positieve afhankelijkheid tussen de verwachte groeivoeten en daalt de discontovoet met de tijdshorizon.

Een extreme vorm hiervan is een bepaalde vorm van het werken met scenario's. Deze aanpak is geïntroduceerd door Weitzman en wordt nu zo vaak gebruikt dat we hier in de volgende paragraaf speciaal aandacht aan geven.

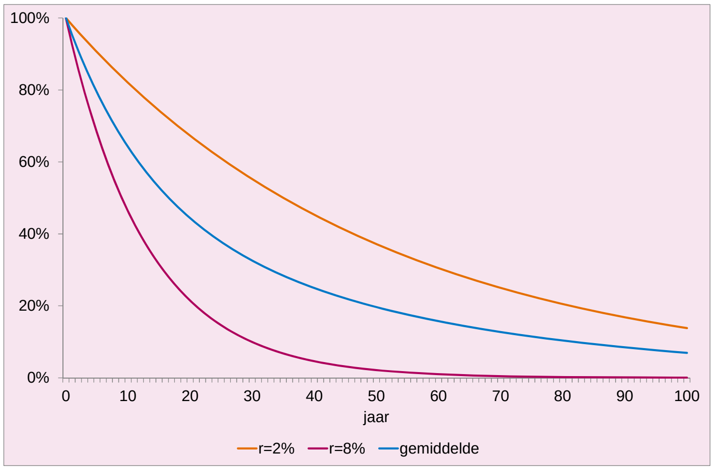
4 Scenario's

Een methode om onzekerheid in kaart te brengen is via scenario's. De scenario's kunnen op allerlei manieren en op allerlei aspecten van elkaar verschillen. Weitzman (2001) stelde voor om scenario's te gebruiken die maar één variabele bevatten, namelijk de discontovoet. Hij stelt verder voor de gevoeligheid van de contante waarde van een project voor de discontovoet te laten zien door de contante waarde bij ieder van de scenario's, dat wil zeggen bij ieder van de discontovoeten te berekenen.

Dit levert meerdere mogelijke waarden voor de contante waarde op. Om toch tot een enkel getal te komen stelt Weitzman voor om een kansverdeling aan die scenario's toe te wijzen en vervolgens de verwachte contante waarde te berekenen. We geven een eenvoudig voorbeeld. Stel dat we met zekerheid over 10 jaar 1 euro krijgen. Stel verder dat de discontovoet met 50% kans 2% is en met 50% kans 8%. Bij een discontovoet van 2% is de contante waarde van deze 1 euro gelijk aan $(1{,}02)^{-10} = 0{,}82$ en bij een discontovoet van 8% aan $(1{,}08)^{-10} = 0{,}46$. De verwachte contante waarde is $(0{,}82 + 0{,}46)/2 = 0{,}64$.

De grafieken van de contante waardes bij discontovoeten van 2% en 8% en van de verwachte contante waarde voor tijdshorizonnen tussen 1 en 100 jaar zijn weergegeven in figuur 4.1. De grafiek voor de verwachte contante waarde ligt keurig midden tussen de andere twee in.

Figuur 4.1 Contante waarde van 1 euro



We kunnen de figuur echter ook op een andere manier lezen. De grafiek voor de contante waarde bij de discontovoet van 8% gaat veel sneller naar nul dan die voor de discontovoet van 2%. Vanaf periode 50 is de contante waarde bij de discontovoet van 8% ongeveer nul. Dit betekent dat de bijdrage van die contante waarde aan de verwachte contante waarde ook nul is. We kunnen vanaf dat moment dus net zo goed zeggen dat de verwachte contante waarde gelijk is aan de contante waarde in het scenario met de lage discontovoet maal de kans dat dat scenario zich voordoet. Het scenario met de hoge discontovoet doet er namelijk niet meer toe. De hoge discontovoet in dat scenario heeft dat scenario irrelevant gemaakt.

De vraag die Weitzman zich vervolgens stelt is wat de impliciete discontovoet is bij de verwachte contante waardes. Voor t = 10 is de verwachte contante waarde gelijk aan 0,64. De vraag is nu welke discontovoet 1 euro in periode 10 rechtstreeks disconteert naar deze contante waarde. Voor deze discontovoet d geldt

$$(1 + \mathrm{d}_{10})^{-10} = 0{,}64.$$

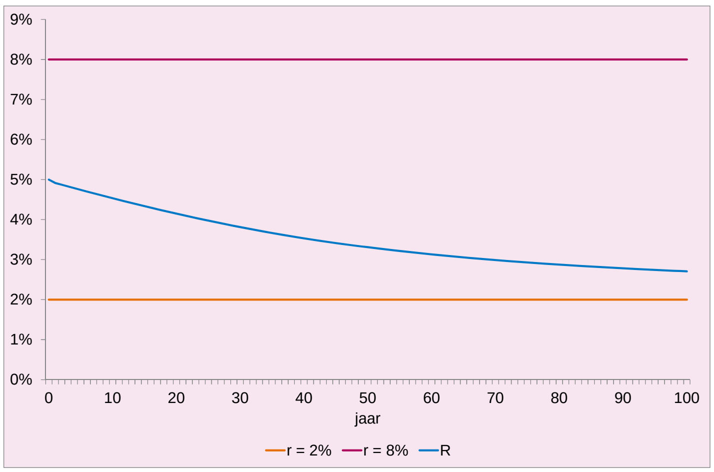
De oplossing is d_{10}= 4,5%, ietwat lager dan het gemiddelde van de oorspronkelijke discontovoeten 2% en 8%. Weitzman noemt deze discontovoet de zekerheidsequivalente discontovoet omdat het de discontovoet is die een zekere opbrengst van 1 euro in periode 10 disconteert naar een contante waarde van 0,64 euro.

Stel nu dat we dezelfde analyse doen bij een tijdshorizon van 100 jaar. De contante waarde van 1 euro over 100 jaar bij een discontovoet van 2% is 14 cent en bij 8% 0,05 cent. De verwachte contante waarde is dus 6,92 cent en is ongeveer gelijk aan de contante waarde bij de lage discontovoet maal de kans dat die discontovoet zich voordoet. De zekerheidsequivalente discontovoet in dit geval is de oplossing van

$$(1 + \mathrm{d}_{100})^{-100} = 0{,}0692$$

en gelijk aan 2,7%. De grafiek voor d_t voor t tussen 1 en 100 is getekend in figuur 4.2.

Figuur 4.2 Discontovoeten



We zien dat de impliciete of zekerheidsequivalente discontovoet begint bij het met de betreffende kansen gewogen rekenkundige gemiddelde, $(2\% + 8\%)/2 = 5\%$, van de afzonderlijke discontovoeten en daalt in de tijd. Dit volgt eigenlijk al uit het bovenstaande verhaal voor de verwachte contante waarde: op termijn telt alleen het scenario met de lage discontovoet nog mee. De impliciete of zekerheidsequivalente discontovoet is dus in de limiet gelijk aan de discontovoet in dat scenario.

4.1 Kritiek op Weitzman

Hoewel de wiskunde in bovenstaande analyse correct is, is er kritiek mogelijk op de aanpak van Weitzman. Een concreet punt van kritiek is bijvoorbeeld dat de onzekerheid in een scenarioanalyse à la Weitzman op een wel zeer vreemde manier vorm krijgt. Zo is de discontovoet (of in een meer algemeen model de ontwikkeling daarvan) binnen elk scenario een gegeven. De enige onzekerheid is welk scenario gerealiseerd wordt. Dus vlak voor we dat weten is de onzekerheid zoals hierboven geschetst, maar *at the moment of truth* is de hele toekomst bekend. De onzekerheid is volledig geconcentreerd op het moment dat geopenbaard wordt in welke scenario we zitten. Dit heeft niets te maken met de werkelijkheid waarin de onzekerheid altijd een *fact of life* blijft. Dit is overigens inherent aan de scenarioaanpak en is dus een punt van kritiek op elke studie die kansen aan scenario's toekent en daar vervolgens een verwachte waarde uit destilleert.

Overigens laat Gollier (2014) voor het meer algemene geval waarin onzekerheid een *fact of life* is en de groeivoet van consumptie positief gecorreleerd is over de tijd zien dat de zekerheidsequivalente discontovoet zelfs nog onder de discontovoet van Weitzman kan liggen. Theoretisch is het trouwens ook mogelijk dat de zekerheidsequivalente discontovoet juist hoger is (zie bijvoorbeeld Cox et al., 1981). Kortom, op basis van de theorie valt geen eenduidige conclusie te trekken over de termijnstructuur van de discontovoet.

Een tweede probleem dat zich voordoet binnen een scenariogerichte aanpak is dat (de keuze voor) de laagst mogelijke discontovoet en daarmee de uiteindelijk enige relevante discontovoet cruciaal is. Daarmee wordt bijvoorbeeld het aantal scenario's belangrijk. Als we er twee kiezen ligt het voor de hand dat beide een discontovoet hebben die nog redelijk in het midden ligt van de 'bandbreedte'. Hoe meer we er kiezen hoe lager de discontovoet in het laagste scenario. Dit maakt de waarde van de zekerheidsequivalente discontovoet afhankelijk van het aantal scenario's dat we gebruiken om de onzekerheid te verkennen.

5 Ethiek

5.1 Intergenerationele aspecten

In deze notitie wordt impliciet uitgegaan van homogene individuen die zeer lang leven, lang genoeg om zelf de kosten en baten te ondergaan en dus een afweging daartussen te kunnen maken op basis van puur eigenbelang. Voor zover een overheid de beslissingen neemt zal die de toekomst ook meenemen in het belang van diezelfde individuen en hopelijk tot dezelfde afwegingen komen.

In werkelijkheid zal een deel van de mensen die nu leven een deel van de baten van (potentiële) huidige projecten niet meer meemaken, omdat ze voor die tijd overlijden. Het is redelijk om de vraag te stellen hoe die mensen de baten die ze niet zelf meer zullen meemaken waarderen. Als zij die baten helemaal niet zouden waarderen, zouden de baten die relevant zijn voor de nu levende mensen kleiner zijn dan de totale baten. Dit effect zou sterker gelden naarmate de baten verder in de toekomst liggen. Baten die bijvoorbeeld honderd jaar in de toekomst liggen zouden helemaal niet meetellen, ongeacht de discontovoet.

Aan de andere kant zou het ook mogelijk zijn dat mensen baten die na hun dood optreden wel volledig meetellen, bijvoorbeeld omdat ze baten die aan hun kinderen toevallen volledig meetellen. Vervolgens zullen die kinderen de belangen van hun kinderen volledig mee laten tellen, enzovoorts. Het valt aan te tonen dat het in dit geval rationeel is voor mensen die nu leven, alle kosten en baten van alle generaties in de toekomst mee te tellen, alsof ze die kosten en baten zelf ondervinden. Het is dan rationeel voor mensen om te handelen alsof ze het eeuwige leven hebben. Daarmee zouden ze handelen zoals in deze notitie.

Dit betekent niet dat projecten met grote baten ver in de toekomst automatisch rendabel geacht worden. Zelfs eeuwig levende mensen disconteren immers en bij normale discontovoeten blijft er in termen van contante waarde niet veel over van grote baten ver in de toekomst. Dit is de vloek van de discontovoet waar deze notitie mee begon.

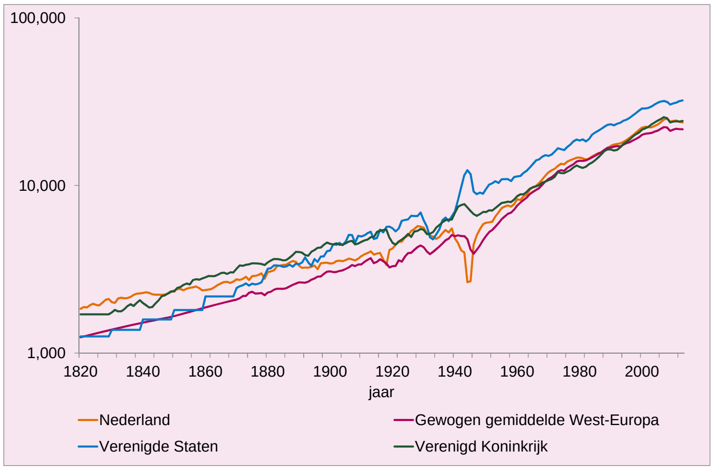
Sommigen stellen daarom het disconteren op zich ter discussie en vinden het hele concept onethisch. Disconteren leidt in hun ideeën tot kortetermijndenken en heeft geen oog voor de noodzaak van duurzame ontwikkeling. De enige oplossing is het idee van disconteren vanaf een bepaald moment in de toekomst weg te gooien door de jaarlijkse discontovoeten vanaf dat moment op nul te zetten.

Soms wordt dit idee ondersteund door de gedachte dat in een democratie alle mensen gelijk zijn, ongeacht welke factor dan ook, en daarmee ook ongeacht het moment waarop ze leven. Mensen die over 200 jaar leven zouden dan evenveel stemrecht moeten hebben als mensen nu. Voor die mensen is 200 jaar in de toekomst hun 'heden', hun 'nu'. De baten die hen over 200 jaar toevallen zouden dus even zwaar moeten meetellen als baten die de huidige generatie nu plaatsvinden. Baten die nu plaatsvinden worden überhaupt niet verdisconteerd. Het gevolg is dat ook de baten die over 200 jaar plaatsvinden niet verdisconteerd zouden moeten worden. Hiermee is het hele concept van de discontovoet overboord gezet. Het is niet moeilijk aan te tonen dat helemaal niet disconteren tot een zeer inefficiënte economie leidt, zeker voor mensen die de baten en kosten van een project zelf nog meemaken. Als tussenvorm wordt daarom soms voorgesteld om voor de komende 30 jaar de jaarlijkse discontovoeten te hanteren conform deze notitie en daarna de jaarlijkse discontovoeten op nul te zetten.

5.2 Economische groei

De angst van degenen die een lage discontovoet bepleiten is dat we vanwege het kortetermijndenken dat het gevolg is van disconteren te weinig zouden achterlaten voor toekomstige generaties. Het is echter niet duidelijk of deze redenering automatisch hout snijdt. Ter illustratie geven we in figuur 5.1 de ontwikkeling van het bbp per hoofd van de bevolking weer voor Nederland, het Verenigd Koninkrijk, twaalf landen in West-Europa en de Verenigde Staten. De figuur toont een zeer gestage stijging met als enige majeure verstoring van dat patroon de Tweede Wereldoorlog. Die oorlog werkte bovendien voor de VS economisch gezien juist positief uit. Als we het gemiddelde van alle vier lijntjes zouden nemen, zou ook het effect van die oorlog nauwelijks meer zichtbaar zijn en zouden we dus enkel een gestage stijging zien.

Figuur 5.1 Ontwikkeling van inkomen per hoofd, 1820-2013



Die groei van het inkomen per hoofd kwam niet zomaar uit de lucht vallen. Die was het gevolg van concrete inspanningen van de achtereenvolgende generaties met als gevolg dat we nu 50 keer rijker zijn dan 200 jaar geleden. De afgelopen generaties hebben dus zeer goed voor ons gezorgd. Dit wil niet zeggen dat ze dat deden omdat ze begaan waren met ons lot. Het is waarschijnlijker dat de kennisaccumulatie die aan deze gestage economische groei ten grondslag lag grotendeel uit eigenbelang van de toenmalige generaties tot stand kwam. En kennis verdwijnt niet als de ontwikkelaar ervan overlijdt. Kennis wordt doorgegeven naar de volgende generaties of dat nu de bedoeling is of niet.

Als we onszelf nu de puur theoretische, ethische en filosofische vraag stellen of het niet eerlijker zou zijn om een deel van onze huidige rijkdom terug te geven aan onze voorouders zodat hun vaak miserabele omstandigheden wat verlicht zouden worden (afgezien van het feit dat dit helemaal niet kan), is het antwoord waarschijnlijk ja.

Vanuit dit perspectief zou je de stelling kunnen onderbouwen dat voorgaande generaties veel te goed voor ons, dat wil zeggen voor hun toekomstige generaties, hebben gezorgd. Als de ontwikkeling van het inkomen per hoofd van de afgelopen 200 jaar zich zou doorzetten naar de komende 200 jaar, zou dat impliceren dat we mogelijk op een pad zitten waarop ook wij juist te goed zorgen voor onze toekomstige generaties.

Dit argument pleit juist voor het gebruik van een hogere discontovoet in plaats van een lagere discontovoet. De vraag is dan natuurlijk wel of het bbp een goede maatstaf is van de welvaart. Daarbij speelt met name de vraag in hoeverre het gebruik van natuurlijke hulpbronnen, zoals fossiele brandstoffen en klimaat, goed in het bbp verwerkt is.

6 Relatie met marktrentes

6.1 De kapitaalmarkt

Stel nu dat er een financiële kapitaalmarkt bestaat waarin iedereen kan sparen en lenen tegen een reële rente van r_t. Welke rente r_t zal de markt aanbieden? Als we aannemen dat alle huidige en toekomstige markten goed werken, dan zorgt arbitrage tussen de kapitaalmarkt en fysiek investeren (het uitvoeren van projecten) ervoor dat de rendementen in beide activiteiten in elke periode t gelijk zijn, dus

$$r_t = \rho_t.$$

De consument heeft nu de mogelijkheid om consumptie in de tijd te verschuiven via de kapitaalmarkt in plaats van via het uitvoeren van projecten. Dit verandert echter niets aan de zaak. De consument zal sparen als het rendement op de kapitaalmarkt, r_t, hoger is dan zijn discontovoet voor die periode, d_t; hij zal juist geld lenen als het rendement op de kapitaalmarkt lager is dan zijn discontovoet. Als het rendement op de kapitaalmarkt gelijk is aan zijn discontovoet, dan spaart of leent de consument niet.

Als het rendement op de kapitaalmarkt, r_t, hoger is dan de discontovoet van de consument, d_t, lenen consumenten middelen uit aan de kapitaalmarkt. Bedrijven zullen die middelen investeren in projecten met rendement $\rho_t = r_t$. Daardoor daalt het rendement op fysiek kapitaal. Dit gaat door tot dat rendement en daarmee de rente r_t gedaald is tot d_t. Evenzo, als het rendement op de kapitaalmarkt, r_t, lager is dan zijn discontovoet van de consument, d_t, onttrekken consumenten middelen uit de kapitaalmarkt, waardoor het rendement op fysiek kapitaal stijgt tot het eveneens gelijk is aan d_t. Dus in evenwicht zijn de rendementen op de financieel en fysieke kapitaalmarkt gelijk aan de discontovoet:

$$r_t = \rho_t = d_t.$$

In evenwicht is de reële rente op de kapitaal markt daarmee een perfecte proxy voor de discontovoet. Kapitaalmarktrentes zijn continu beschikbaar en daarmee zou het probleem van het meten of berekenen van de discontovoet dus niet mogen bestaan? Waarom doet men er dan toch zo moeilijk over?

Er zijn verschillende problemen met het gebruik van de rente op de kapitaalmarkt als proxy voor de discontovoet. Zo willen we de reële, risicovrije rente weten. Die rente is gelijk aan het vereiste, reële rendement op een risicoloze lening. Deze zijn in de praktijk echter nauwelijks beschikbaar. Overheidsschuldpapier werd lange tijd gezien als vrijwel risicoloos, maar dat geldt niet meer. Daarnaast zijn – vrijwel – alle gepubliceerde rentevoeten in de Eurozone nominaal. Deze dienen dus nog gecorrigeerd te worden voor de verwachte inflatie en deze is, zeker op de zeer lange termijn, onbekend.

Voor de korte termijn zijn deze problemen nog wel te overzien. Maar voor de lange termijn wordt de informatie uit de financiële markten steeds minder betrouwbaar. Het voorspellen van de inflatie voor de komende 15 jaar is geen sinecure. En er bestaan nauwelijks financiële markten voor perioden langer dan 30 jaar.

7 Projectrisico

Tot nu toe was de veronderstelling dat alle projecten risicoloos zijn, dat wil zeggen dat hun kosten en baten volledig zeker en bekend zijn. Dit is in de praktijk vrijwel nooit het geval. De aanpassing van de theorie voor het geval van projectrisico is conceptueel heel eenvoudig en bestaat uit twee stappen.

De eerste stap is het berekenen van het zekerheidsequivalent van de onzekere projectbate in de toekomst, zoals periode t. Dit is de omvang van een zekere projectbate in periode t die in termen van nut evenveel waard is als de onzekere projectbate in periode t. Deze vraag heeft niets met disconteren te maken. De oplossing van deze vraag is een apart onderdeel van de financiële theorie. Het zekerheidsequivalent van de onzekere projectbate in jaar t blijkt gelijk te zijn aan de verwachte projectbate in die periode waarbij de verwachting niet wordt bepaald door de mogelijke projectbaten te vermenigvuldigen met de kansen dat die projectbaten optreden maar met de naar marginaal nut herwogen kansen. Hierbij wordt rekening gehouden dat als een projectbate hoog is juist als het marginaal nut hoog is, die projectbate extra gewaardeerd wordt. Men spreekt dan van een positieve correlatie tussen de projectbaten en het marginale nut. Omdat het marginale nut negatief afhangt van het niveau van consumptie kun je in dit geval even goed spreken van een negatieve correlatie tussen de projectbaten en het niveau van de consumptie. De opbrengst van een project telt dus relatief zwaar mee als de bestaande consumptie laag is en vice versa.

Wiskundig-theoretisch is deze berekening meestal eenvoudig. In de praktijk is het bepalen van de correlatie tussen de projectbate en consumptie echter meestal niet eenvoudig. Het dient bovendien voor elk project afzonderlijk te gebeuren.

Als het zekerheidsequivalent van de projectbate in periode t eenmaal bekend is, breekt de tweede stap aan. In die tweede stap bepalen we de huidige waarde van het zojuist bepaalde zekerheidsequivalent. We zijn nu terug in de wereld van risicoloze projecten. De vraag “Wat is 1 zekere euro in periode t vandaag waard?” zijn we namelijk tegen gekomen in hoofdstuk 3. Met behulp van de zogenaamde Ramsey-formule waren we in staat om een zekere opbrengst in periode t om te rekenen naar de waarde nu, zelfs als er onzekerheid was over de ontwikkeling van de macro-economische consumptie.

Zo te zien zijn projectrisico en disconteren twee aparte, los van elkaar staande zaken. Onder bepaalde omstandigheden kunnen deze twee zaken echter geïntegreerd worden. Dan is de hierboven beschreven methode equivalent aan een methode waarin de discontovoet aangepast wordt voor het risicoprofiel van het project. Ook hier geldt dat een negatieve correlatie tussen de baten van het project en de consumptie op dat moment positief gewaardeerd wordt. Dit slaat neer in een lagere discontovoet. De manier waarop dit gebeurt, is volgens het 'Consumption Capital Asset Pricing Model' (CCAPM). De formule hiervoor is:

$$d_c = d + \gamma\beta\sigma^2,$$

waarin d_c de discontovoet volgens het CCAPM model is, d de standaard, risicovrije discontovoet, β de correlatie tussen de opbrengst van het project en de macro-consumptie en σ^2 de variantie van die opbrengst. γ is net als voorheen de mate waarin het marginale nut afhangt van het niveau van consumptie. De term $\gamma\beta\sigma^2$ wordt ook wel de risicopremie genoemd. Deze is positief bij $\beta > 0$, negatief bij $\beta < 0$ en nul bij $\beta = 0$.

Om de intuïtie van deze formule te doorgronden bekijken we een aantal 'typische' projecten. Het eerste 'typische' project is een project dat even risicovol als de economie zelf: de projectbaten correleren dus perfect met de macro-economische consumptie, dat wil zeggen $\beta = 1$. De discontovoet van dat project is dan ook gelijk aan de discontovoet van de hele economie:

$$d_c = d + \gamma\sigma^2 = \delta + \gamma\mu - \frac{1}{2}\gamma(\gamma - 1)\sigma^2,$$

waarbij we gebruik hebben gemaakt van de in hoofdstuk 3 afgeleide Ramsey-formule.

Het tweede typische project is een project zonder risico. Voor zo'n project zijn de baten niet gecorreleerd met de economie, dat wil zeggen $\beta = 0$. De discontovoet van een risicoloos project is dus gelijk aan d, de risicovrije discontovoet. Het derde en laatste 'typische' project is ene project dat je 'verzekert' tegen slechte uitkomsten: als het slecht gaat in de economie heeft dit project een hoge opbrengst en vice versa. Daarmee heeft het een negatieve beta en ligt zijn discontovoet onder de risicovrije rente.

Deze formule lijkt een eenvoudige methode om het projectrisico in de discontovoet te verwerken. Het praktische probleem is weer het bepalen van de correlatie tussen de baten van het project en de macro-consumptie. Daarnaast geldt net als bij de eerste methode dat de standaard discontovoet voor risicovrije projecten de basis vormt.

Daarmee blijven alle aspecten van deze notitie overeind, en vooral de vraag of die discontovoet moet dalen in de tijd of niet.

8 Toepassingen

8.1 In analyses van het klimaatprobleem

De eenvoudige Ramsey-regel is veel toegepast in de economische theorie van klimaatanalyses. Zoals we zagen is de discontovoet in een omgeving waarin de economie gestaag groeit met groeivoet g gelijk aan $d = \delta + \gamma g$, met δ de tijdsvoorkeurvoet en γ de mate waarin het marginale nut van consumptie in een periode daalt met het niveau ervan.

Bijvoorbeeld, Weitzman (2007) stelde een trio van tweeën voor: $\delta = g = 2\%$ en $\gamma = 2$, zodat de discontovoet d gelijk is aan 6%. Nordhaus (2008) maakt een vrijwel gelijke keuze als Weitzman. Het enige verschil is dat hij voorstelt om $\delta = 1{,}5\%$ te nemen, zodat de discontovoet d gelijk is aan 5,5%.

Stern (2007) komt daarentegen met een discontovoet van 1,4% veel lager uit. Hij veronderstelt dat $\delta = 0{,}1\%$, g =1,3% en $\gamma = 1$. De keuze voor een zeer lage tijdsvoorkeurvoet komt voort uit een moreel oordeel dat toekomstige generaties even belangrijk zijn als de huidige. Hieruit volgt dat de tijdsvoorkeurvoet δ van een individu om de eigen huidige en toekomstige consumptie te wegen niet gebruikt mag worden als de tijdsvoorkeurvoet van de overheid bij het wegen van het nut van huidige en toekomstige generaties. Die tijdsvoorkeurvoet van de overheid zou eigenlijk gelijk moeten zijn aan nul, maar vanwege de kleine kans dat de mensheid door een ramp ophoudt te bestaan hanteert Stern toch een kleine tijdsvoorkeurvoet van 0,1%.

8.2 Het Verenigd Koninkrijk

In het Verenigd Koninkrijk geeft het ministerie van financiën (HM Treasury) bindende regels voor de discontovoet in alle kosten-batenanalyses. Deze regels zijn beschreven in het zogenaamde Green Book. Deze publicatie wordt stelselmatig bijgewerkt. De laatste versie dateert van juli 2011. De laatste belangrijkste wijziging in de voorschriften voor de discontovoet vond plaats in 2003, toen het VK overging van een in de tijd constante discontovoet naar een dalende, conform tabel 8.1.

Tabel 8.1 Dalende discontovoet in het VK

Periode (in jaren)	0-30	31-75	76-125	126-200	201-300	301+
Discontovoet	3,5%	3,0%	2,5%	2,0%	1,5%	1,0%

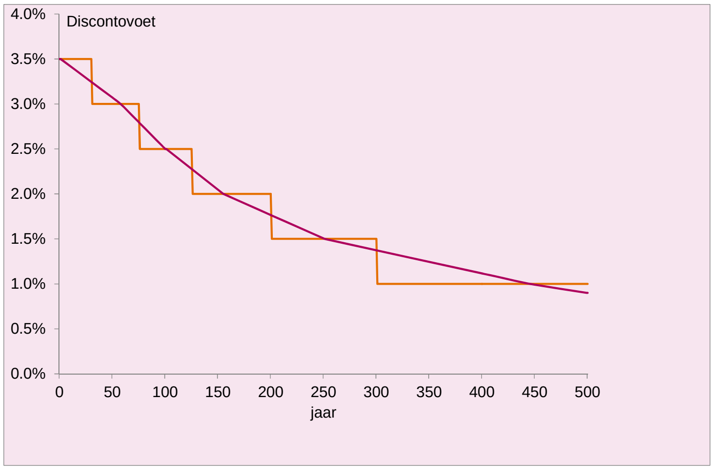
De onderbouwing hiervan bestaat uit twee delen, namelijk de 3,5% voor de eerste 30 jaar en de daling daarna. Voor de eerste 30 jaar is de discontovoet opgebouwd via de Ramsey-regel

$$d = \delta + \gamma g,$$

waarin d de discontovoet is, δ de tijdsvoorkeurvoet, γ de mate van risicoaversie en g de groeivoet van consumptie. Op basis van empirische schattingen is gekozen voor $\delta = 1{,}5\%$, $\gamma = 1$, en $g = 2\%$, zodat de discontovoet d uitkomt op 3,5% (HM Treasury, 2011, p. 98). Voor een tijdshorizon langer dan 30 jaar wordt gebruik gemaakt van onderzoek van Newell en Pizer (2003). Zij construeren een maatstaf voor de reële rente als proxy voor de risicovrije rente en daarmee voor de discontovoet. Alleen de rentes na 1950 zijn daarbij - vanwege gebrekkige data in de periode daarvoor - gecorrigeerd voor verwachte inflatie. Ze schatten vervolgens een model voor de ontwikkeling van de rente voor de periode 1798 tot 1999. Met Monte Carlosimulaties creëren ze 100.000 toekomstpaden voor de toekomstige rente tot 400 jaar vooruit. Deze toekomstpaden beschouwen ze als mogelijke scenario's voor de toekomstige renteontwikkeling. Vervolgens bepalen ze via de Weitzman-methode de zekerheidsequivalente rente. De discontovoet voor de toekomst zetten ze ten slotte gelijk aan die zekerheidsequivalente rente.

Zowel de discontovoet in het Verenigd Koninkrijk als de onderbouwing op basis van Newell en Pizer zijn weergegeven in figuur 8.1. De continue lijn is het zekerheidsequivalent van de discontovoet als functie van de tijdshorizon. De stapfunctie geeft de voorgeschreven discontovoeten per tijdshorizoninterval weer.

Figuur 8.1 Dalende discontovoet in het VK en de daarop gebaseerde stapfunctie.



Bron: Oxera, 2002, figuur 6.1, p. 35

8.3 Frankrijk

Ook Frankrijk kent een wettelijk dalende discontovoet. Voor een tijdshorizon tot 30 jaar geldt een discontovoet van 4%. Daarna daalt hij geleidelijk. Na 100 jaar is hij ongeveer 3% en in de limiet daalt hij tot 2%.

In Frankrijk worden de regels voor de discontovoet voorbereid door het Commissariat Général du Plan. De onderbouwing voor de huidige regels zijn beschreven in Lebègue (2005). Dit rapport is interessant omdat het expliciet weergeeft dat de uitkomst een compromis was tussen de opvattingen van de afzonderlijke leden en hoe die opvattingen via theoretische en empirische overwegingen en gevoelsmatige afwegingen tot stand zijn gekomen. Daardoor komt het rapport minder gedegen over dan de onderbouwing van de voorschriften in het Verenigd Koninkrijk, maar doet het toch beter recht aan de onzekerheid en de ethische kwesties die inherent zijn aan een discussie over dit onderwerp.

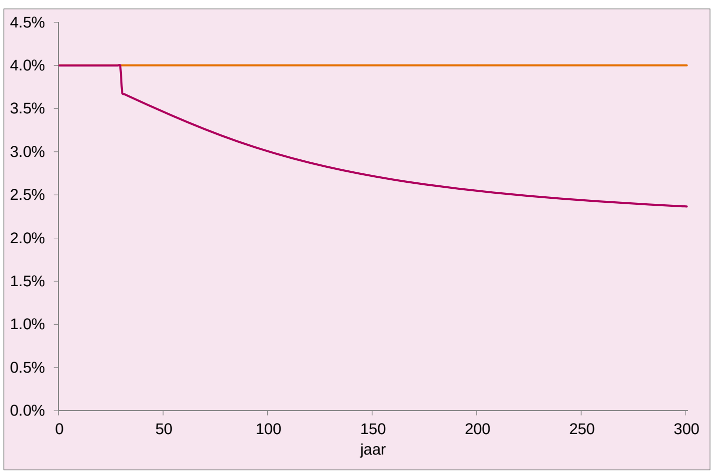
De onderbouwing van de Franse regels komt uiteindelijk hierop neer. Het uitgangspunt is de Ramsey-regel

$$d = \delta + \gamma g$$

Na discussie van de empirische literatuur is besloten om de tijdsvoorkeurparameter δ op 1% te zetten, met de aantekening dat dit een compromis is tussen de hogere waarden die in de literatuur gevonden worden en een lagere waarde die uit ethische overwegingen zou kunnen resulteren. De mate van risicoaversie γ is voornamelijk op empirische gronden op 2 gezet en de groeivoet van de consumptie (bbp per hoofd) op 2%. Hieruit volgt dat de discontovoet 5% zou moeten zijn. Echter, in de algemene beschouwing aan het eind vonden veel leden van de commissie 5% toch wat hoog en is uiteindelijk gekozen voor 4%, "een compromis dat voor bijna alle leden van de commissie acceptabel was." (Lebègue (2005), p. 101).

Vervolgens ging de discussie over de lange termijn, meer dan 30 jaar vooruit. Hier paste de commissie de Weitzman-methode van verschillende scenario's toe. In het hoge groeiscenario met kans 2/3 bedraagt de economische groei per capita 5% per jaar. In het lage groeiscenario met kans 1/3 bedraagt de economische groei per capita 2% per jaar (Lebègue (2005), p. 102). Figuur 8.2 geeft de resulterende (zekerheidsequivalente) discontovoet weer. De horizontale lijn geeft de 4% weer waar de commissie via de Ramsey-regel op uitkwam. De dalende lijn is de zekerheidsequivalente discontovoet volgens de Weitzman-methode. Deze lijn begint bij een tijdshorizon van 30 jaar. Tot 30 jaar telt de horizontale lijn en daarna de dalende lijn. De dalende lijn daalt in de limiet tot 2%, de laagste van de twee afzonderlijke discontovoeten in de scenarioanalyse.

Figuur 8.2 Discontovoet in Frankrijk.



8.4 Een dalende termijnstructuur?

In de voorgaande paragrafen hebben we gezien dat de discontovoet zowel in het Verenigd Koninkrijk als Frankrijk daalt met de tijdshorizon. In beide landen heeft de theorie van Weitzman (2001) een belangrijke rol gespeeld bij de motivering van een dalende termijnstructuur. Omdat op de lange termijn de zekerheidsequivalente discontovoet in de aanpak van Weitzman daalt naar de laagst mogelijk waarde van de discontovoet, komt daarmee de vraag naar voren hoe (on)zeker de discontovoet nu eigenlijk is.

Zoals we hebben gezien waren Newell en Pizer (2003) de eerste die deze vraag probeerden te beantwoorden op basis van een dataset van rentes in de Verenigde

Staten over 200 jaar. Zij komen op basis van twee geschatte modellen tot de conclusie dat schokken in de rente een hoge mate van persistentie hebben en maar heel langzaam uitdoven. Het gevolg daarvan is dat de zekerheidsequivalente rente over de tijd langzaam daalt van 4% nu naar tussen de 0,5% en 1% over 400 jaar. Hoewel Newell en Pizer wel een redelijk robuuste conclusie kunnen trekken voor de heel lange termijn (400 jaar) geven de door hun gebruikte twee modellen veel minder uitsluitsel over de kortere termijn. De bandbreedte voor de zekerheidsequivalente discontovoet over 200 jaar is namelijk gelijk aan 1% tot 3%.

Groom et al. (2007) bevestigen dat er sprake is van persistentie in de rentes, maar laten tevens zien dat de rentes in de Verenigde Staten heen en weer gaan tussen twee regimes. In het eerste regime zijn de rentes relatief hoog en stabiel, terwijl ze in het tweede regime relatief laag en instabiel zijn. Als zij hiermee rekening houden in hun schattingen, dan blijkt dat hun model veel beter presteert dat het model van Newell en Pizer (2003). Op basis van dit model laten ze zien dat de zekerheidsequivalente discontovoet snel daalt van 4% nu tot 2% over 100 jaar om daarna vrijwel constant te blijven.

Mag je nu op basis van deze literatuur de conclusie trekken dat we ook in de toekomst te maken zullen hebben met een dalende termijnstructuur? En moeten we dan bij kosten-batenanalyses rekening houden met het feit dat de toekomstige rentes lager zullen zijn dan de rentes van vandaag? Het antwoord op die vraag is dat deze literatuur daar geen uitsluitsel over geeft. Hoewel de literatuur tot de conclusie komt dat er de afgelopen tweehonderd jaar sprake was van een dalende termijnstructuur, mag je daaruit niet zondermeer de conclusie trekken dat er ook in de toekomst sprake zal zijn van een dalende termijnstructuur. Resultaten uit het verleden bieden immers geen garantie voor de toekomst. Het punt is dat zowel Newell en Pizer (2003) als Groom et al. (2007) niet hebben gekeken naar de vraag waarom de zekerheidsequivalente discontovoet daalt over de tijd. Daarmee is niet duidelijk is welke mate hun resultaten relevant zijn voor klimaatstudies, zoals die van Stern (2007) en Nordhaus (2008).[4] Specifiek gaat het dan om de vraag in welke mate onzekerheden uit het verleden vergelijkbaar zijn met toekomstige onzekerheden, zoals de onzekerheid met betrekking tot klimaatverandering.

9 Conclusie

Het is theoretisch mogelijk om een dalende discontovoet te onderbouwen. Of deze onderbouwing empirisch hout snijdt is lastiger in te schatten. De dalende discontovoeten in het Verenigd Koninkrijk en Frankrijk hebben daarmee wel een

[4] Overigens zijn de auteurs van beide studies zich hiervan terdege bewust. Zo stellen Groom et al. (2007, blz. 653): “we also assume that the past is informative about the future and therefore characterizing the past as accurately as possible can assist us in forecasting the future”.

zekere theoretische fundering, maar over de empirische hardheid ervan en de kwantitatieve invulling valt nog weinig te zeggen.

Referenties

Cox, J.C., J.E. Ingersoll en S.A. Ross, 1981, A Re-Examination of Traditional Hypotheses about the Term Structure of Interest Rates, *The Journal of Finance*, vol. 36(4): 769-799.

Gollier, C., 2014, Gamma Discounters are Short-Termist, Working Paper.

Groom, B., P. Koundouri, E. Panopoulou, en T. Pantelidis, 2007, Discounting theDistant Future: How Much does Model Selection affect the certainty Equivalent Rate, *Journal of Applied Econometrics*, vol. 22(3): 641-656.

HM Treasury, 2011, The Green Book, Appraisal and Evaluation in Central Government, http://www.hm-treasury.gov.uk/greenbook.

Lebègue, D., 2005, Révision du taux d'actulisation des investissements publiques, Commissariat Général du Plan, http://catalogue.polytechnique.fr/site.php?id=324&fileid=2389.

Newell, R. G., and W. A. Pizer, 2003, Discounting the Distant Future: How Much do Uncertain Rates increase Valuations?, *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 46(1):52-71.

Nordhaus, W. D., 2008, *A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies*, New Haven and London, Yale University Press.

OXERA, 2002, A Social Time Preference Rate for Use in Long-term Discounting.

Romijn, G. en G. Renes, 2013, *Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyse*, CPB Boek 10.

Stern, N.H., 2007, *The economics of climate change: the Stern review*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Weitzman M.L., 2001, Gamma Discounting, *American Economic Review*, vol. 91(1):260-271.

Weitzman, M.L., 2007, 'A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change', *Journal of Economic Literature*, vol. 45(3): 703-724.

Dit is een uitgave van:

Centraal Planbureau
Van Stolkweg 14
Postbus 80510 | 2508 GM Den Haag
T (070) 3383 380

info@cpb.nl | www.cpb.nl

November 2015