

Reële opties in investeringsprojecten

Mw. Dr. A. G. Z. Kemna

1 Inleiding*

In dit artikel wordt een nieuwe benadering besproken die kan worden gebruikt voor de waardebepaling van investeringsprojecten. De benadering houdt in een combinatie van de traditionele Netto Contante Waarde (NCW) methode met een methode om opties te waarderen. Bij investeringsprojecten kunnen we twee aspecten onderscheiden die extra waarde opleveren en die onvoldoende kunnen worden geanalyseerd met behulp van de NCW-methode. Ten eerste de zogenaamde operationele flexibiliteit die beschikbaar is in één enkel project: dit zijn mogelijkheden voor het management om in de toekomst beslissingen ten aanzien van het project te nemen of te herzien. Ten tweede de zogenaamde strategische waarde van een project die volgt uit de interdependentie met toekomstige projecten. De belangstelling voor de optie als beleggingsinstrument is, behoudens de tijdelijke terugval gedurende de oktober krach in 1987, nog steeds groeiende. De hausse in de aandelenmarkt tot aan oktober 1987 en de toegenomen renteschommelingen zijn hier deels de oorzaak van. Niet alleen professionele beleggers en grote ondernemingen voegen opties toe aan hun beleggingsportefeuille, maar ook particuliere beleggers, al dan niet in verenigingsverband, zien opties als een interessant beleggingsalternatief. Voor de professionele belegger en de grote onderneming zullen rendementsverhoging en risicodekking de voornaamste motieven vormen. Voor de kleine belegger vormt het hefboomeffect, dat is met weinig inzet potentieel veel verdienen, een belangrijke reden.

De grotere bekendheid met de optie als financieel instrument heeft er toe bijgedragen dat de optie ook zijn intrede heeft gedaan in de reële sfeer.

Met de reële sfeer bedoelen we dan de investeringen van een onderneming. Pionier op dit gebied is Myers, die reeds in 1977 de onderneming beschrijft als een verzameling van aanwezige projecten en van groei-opties (Myers, 1977). Dit idee is in de loop van de tijd verder uitgewerkt en omvat nu een heel scala van soorten investeringsprojecten, die als reële opties te beschrijven en te waarderen zijn. Hieronder vallen zowel de projecten, die zelf als opties op toekomstige expansie kunnen worden opgevat, als projecten, waarbij sprake is van één of meerdere optionele kenmerken (zie Kemna en Van Vliet, 1984 en Mason en Merton, 1985 voor een overzicht).

In paragraaf 2 zal worden uiteengezet in hoeverre reële opties een aanvulling betekenen op de NCW-methode. Vervolgens wordt in paragraaf 3 aangegeven hoe reële opties kunnen worden gewaardeerd en welke gegevens nodig zijn voor de waardering. In paragraaf 4 worden de belangrijkste soorten reële opties aan de hand van een aantal korte voorbeelden besproken. Daarna volgt in paragraaf 5 een uitgebreide beschrijving van een case-studie, die betrekking heeft op een sequentieel investeringsproject. Dit gestyleerde praktijkgeval zal in termen van opties worden gedefinieerd (zie Kemna, 1988 voor een kwantitatieve uitwerking). Tot slot wordt in paragraaf 6 een rekenvoorbeeld van een investeringsbeslissings-

* Mijn dank gaat uit naar H. Berkman voor zijn kritische opmerkingen op een eerdere versie.

Mw. Dr. A. G. Z. Kemna studeerde bedrijfseconometrie en promoveerde in 1988 aan de Erasmus Universiteit Rotterdam; is thans aldaar universitair hoofddocent, vakgroep Financiering en Belegging. Haar proefschrift 'Options in Real and Financial Markets' is bekroond met een prijs van de Europese Investerings Bank.

proces in een onderneming aan de hand van het binomiale model uitgewerkt. Het binomiale model is in de appendix opgenomen.

2 Netto contante waarde en reële opties

Een van de karakteristieken van de NCW-methode is dat er van uit wordt gegaan dat, als het project eenmaal is geaccepteerd, er geen tussentijdse beslissingen meer worden genomen. Dit geldt zowel voor een direct te starten project als voor een project dat in de toekomst is gepland, maar waarover nu reeds een beslissing wordt genomen. Er wordt geen rekening gehouden met de mogelijkheid die het management heeft om in te grijpen bij tussentijds veranderende situaties. Bijvoorbeeld zal bij een sterke daling in de olieprijs het management besluiten om – daar waar mogelijk is – de bouw van offshore platforms (tijdelijk) te onderbreken, afhankelijk van de kosten en de toekomstig te verwachten olieprijs. Door dergelijke projecten te analyseren en te waarderen als reële opties kan wel expliciet rekening worden gehouden met het feit dat het management bij een veranderde situatie een andere beslissing kan nemen.

De nieuwe benadering, die gebaseerd is op de prijsvorming van financiële opties, herkent expliciet de scheefheid in de verdeling van de waarde van een project. Beschouw bijvoorbeeld de mogelijkheid tot investeren van 120 mln. gulden (eigen vermogen) om een fabriek te bouwen. Stel dat de toekomstig verwachte waarde van de fabriek na één jaar of 180 mln. of 60 mln. gulden is met gelijke kans. De verwachte waarde na één jaar is dan gelijk aan 120 mln. gulden. Veronderstel verder voor de eenvoud dat de fabriek continu opereert met een constant omzetpercentage en dat er geen verdere investeringen zijn vereist. Om de disconteringsvoet te vinden zoeken we een op de markt aanwezig financieel contract met dezelfde risicokarakteristieken als de te bouwen fabriek. Stel dat dit contract een verwacht rendement van 20% op jaarbasis heeft (waarvan 8% de risicovrije voet). Dan is de NCW van de fabriek gelijk aan $120/1,2 - 120 = -20$ mln. gulden, hetgeen betekent dat de fabriek niet meteen zal worden gebouwd.

Als het management echter de mogelijkheid heeft om één jaar te wachten met de bouw, dan kan zij de toestand over een jaar opnieuw bezien. De prijs waartegen de fabriek over een jaar zal worden gebouwd is gelijk aan de huidige investeringsuitgaven \times de risicovrije voet, ofwel $120 \cdot 1,08 = 129,6$ mln. gulden. Met de NCW-methode zou ook één jaar wachten niet lonen, omdat de NCW over één jaar ook negatief is, te weten $120 - 129,6 = -9,6$ mln. gulden. Bij deze analyse wordt echter genegeerd dat, als de toekomstige waarde gelijk is aan 60 mln. gulden, het management de fabriek niet zal bouwen.

Door de mogelijkheid tot wachten te zien als een call-optie op de contante waarde van de fabriek wordt hiermee wel expliciet rekening gehouden. Een call-optie zal immers alleen worden uitgeoefend na één jaar indien de contante waarde van de fabriek na een jaar hoger is dan de investeringsuitgaven. De prijs van de call-optie na een jaar is gelijk aan het maximum van 0 en de contante waarde van de fabriek minus de investeringsuitgaven. Met behulp van het binomiale model uit de appendix volgt dat in deze situatie de huidige call-optieprijs gelijk is aan 27,1 mln. gulden. Dat impliceert dat als de huidige kosten van één jaar wachten lager zijn dan 27,1 mln. gulden, het voor het management loont om de mogelijkheid tot het bouwen van de fabriek na één jaar open te houden.

In figuur 1 is de waarde van de call-optie en de NCW na één jaar weergegeven. Op de horizontale as staat de contante waarde van de fabriek (dat wil zeggen zonder aftrek van de investeringsuitgaven). Hier blijkt het verschil tussen de NCW en de optie. De NCW kan negatief worden, terwijl bij de optie wordt onderkend, dat in die situatie het management het project niet zal uitvoeren.

De strategische mogelijkheden van een project zijn vaak te beschrijven in termen van opties, die we dan, omdat ze betrekking hebben op reële goederen, reële opties noemen. Een belangrijk voordeel van de beschrijving van bepaalde strategische mogelijkheden in termen van opties is, dat het daarmee mogelijk is geworden de waarde ervan te bepalen, zodat projecten ook kwantita-

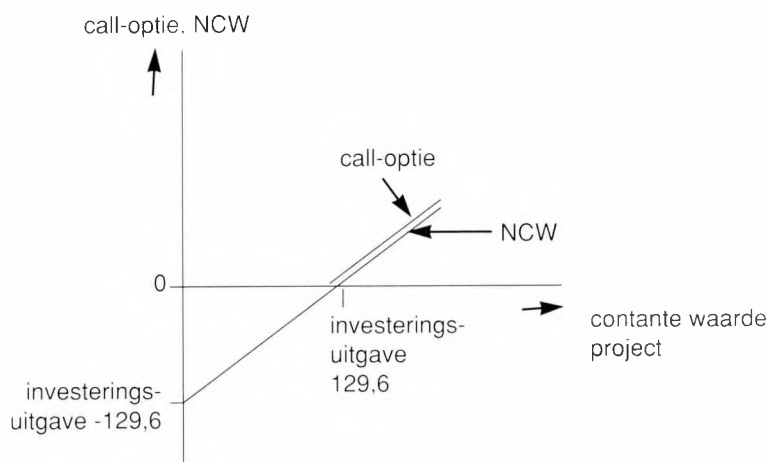
tief met elkaar vergeleken kunnen worden (zie hiervoor ook Myers, 1984 en Kester, 1984).

Is het tot nu toe dan niet mogelijk geweest om de waarde van strategische mogelijkheden met de NCW-methode te bepalen? Misschien is het mogelijk een redelijke benadering te verkrijgen indien de analyses zeer zorgvuldig worden uitgevoerd. Maar men zal dit niet vaak doen. Niet alleen vanwege de ingewikkelde en ondoorzichtige berekeningen die ermee gepaard gaan, maar juist

3 De waardering van reële opties

De basis van het optiewaarderingsmodel van Black en Scholes (1973) is het arbitrage-principe. De auteurs tonen aan dat de waarde van een optie gelijk is aan de waarde van een (continu aangepaste) portefeuille bestaande uit de onderliggende waarde en een lening. In geval van afwijkende prijzen zorgen arbitrageanten in de markt ervoor dat de prijzen weer in evenwicht komen.

Figuur 1: Call-optie en NCW na één jaar



vanwege het feit dat er niet op deze manier tegen het investeringsproject wordt aangekeken. De formulering van de reële opties die in een investeringsproject aanwezig zijn dwingt het management om expliciet aan te geven welke strategische voordelen aan een project verbonden zijn.

Het is denkbaar dat in een project meerdere opties zitten. Veelal zijn er maar een paar echt waardevol. Het blijkt in de praktijk een nuttige exercitie te zijn om alleen de meest waardevolle optie(s) te selecteren. Het proces van probleemformulering en selectie heeft uiteraard alleen kans van slagen als er voldoende kennis aanwezig is over de karakteristieken van put- en call-opties. De ervaring leert bovendien dat, hoewel de kennis van een prijsformule niet echt noodzakelijk is, het binomiale optieprijmodel (Cox, Ross en Rubinstein, 1979) een handzaam instrument is om het investeringsproject te beschrijven.

Bij financiële opties is de onderliggende waarde veelal in de markt expliciet verhandelbaar. Bij reële opties in investeringsprojecten is dit in de meeste gevallen niet het geval. In principe wordt hiermee de basisgedachte van de optiewaardering geschonden. Om alsnog de optietheorie te kunnen gebruiken voor het waarderen van reële opties wordt verondersteld dat er op de financiële markt instrumenten bestaan die – alleen of in combinatie – in staat zijn het cashflowprofiel van het investeringsproject na te bootsen. Dit is vergelijkbaar met de veronderstelling, die bij de NCW-methode wordt gehanteerd, dat de verwachte cashflows van het investeringsproject worden verdisconteerd met het verwachte rendementspercentage van een qua risico vergelijkbaar financieel instrument.

De waarde van een reële optie is vergelijkbaar met de waarde van een financiële optie op een dividend betalend aandeel. Een aandeelhouder

ontvangt zowel de vermogenswinst als de dividendbetalingen. De optiebezitter profiteert alleen van de vermogenswinst. Bij reële opties kan dit met het volgende voorbeeld worden geïllustreerd. Een onroerend-goedbezitter zal voor een verhuurd huis zowel de jaarlijkse huur ontvangen (vergelijkbaar met de dividendbetalingen) als profiteren van een eventuele waardeverhoging van het huis bij verkoop. Iemand met een optie op dit huis (een reële optie) ontvangt niet de jaarlijkse huur, maar profiteert wel van een eventuele waardeverhoging.

In tabel 1 zijn de variabelen die de prijs van een financiële optie bepalen weergegeven, alsmede de daarmee corresponderende variabelen van een reële optie. Net zoals bij de financiële opties geldt dat een reële optie meer waard is als de contante waarde van alle toekomstige netto cashflows stijgt en de investeringsuitgave daalt. Dit is geen verrassend resultaat en geldt eveneens bij de NCW-methode. Meer essentieel is de eigenschap dat risico, gemeten door de standaarddeviatie van de contante waarde van het project, een positieve bijdrage levert tot de waarde van de optie. Immers, een hogere standaarddeviatie betekent zowel een grotere kans op hogere cashflows, als op lagere cashflows. Maar het management profiteert bij een gunstige ontwikkeling (hoge cashflows) en lijdt geen verlies bij lagere cashflows, want in die situatie wordt afgezien van de investering (zie ook het voorbeeld in paragraaf 2).

De waarde van een optie op een riskant project wordt nog groter als de tijd die het management heeft om de toekomstige ontwikkelingen af te wachten groter wordt, ofwel als de looptijd van de optie langer is. De tijd die het management heeft om de toekomst af te wachten hangt mede af van de inschatting hoelang men de concurrentie voor kan blijven (zie Kester, 1984).

Zowel vanwege het punt van de verhandelbaarheid van de onderliggende waarde (in dit geval een project), als vanwege de beschikbaarheid van marktprijzen voor de berekening van de volatilititeit zijn vrijwel alle cases die in de literatuur behandeld worden (onder anderen Ekern, 1988, Paddock, Siegel en Smith, 1979 en Pindyck,

Tabel 1: Overzicht financiële en reële optievariabelen

Financiële optie	Reële optie
– Aandeelkoers	– Contante waarde van alle toekomstige netto operationele cashflows
– Uitoefenprijs	– Contante waarde van de investeringsuitgaven
– Volatilititeit	– Standaarddeviatie van de contante waarde van alle toekomstige netto cashflows
– Looptijd	– Termijn van de reële optie
– Rente	– Rendement op een staatslening met dezelfde looptijd als de optie
– Dividend	– Netto operationele cashflow per periode tot aan de aflooptdatum van de optie

1988) gebaseerd op energie-gerelateerde goederen.

4 Soorten reële opties

De volgende reële opties zijn de belangrijkste die in theorie en praktijk zijn ontwikkeld:

- uitstel van de investering,
- aanpassing van de grootte en levensduur van het project,
- sequentieel investeren,
- switchen van grondstoffen en/of eindproducten,
- tijdelijk stoppen van de productie,
- afstoten van het project.

We zullen deze opties aan de hand van voorbeelden beschrijven.

ad a In paragraaf 2 is ter illustratie van het verschil tussen de NCW-methode en de optiebenadering een voorbeeld gegeven van de optie tot *uitstel van investering* (in Kemna en Vorst, 1987 wordt de uitsteloptie theoretisch uitgewerkt). Een vergelijkbaar voorbeeld betreft de acquisitie van een project dat in de toekomst wordt gepland, maar waarover nu reeds een beslissing wordt genomen. Het verkrijgen van het project is analoog aan

de aankoop van een call-optie op het project. Immers, het project zal in de toekomst alleen worden ontwikkeld als de NCW op dat moment positief is. De tijdsperiode waarover een project kan worden uitgesteld is de looptijd van de call-optie.

ad b Een voorbeeld waarbij de *schaal* waarop een investeringsproject wordt uitgevoerd is gemoeid is de volgende (zie ook Kemna en Van Vliet, 1984). De bouwlocatie voor een nieuw fabriekscomplex biedt de mogelijkheid om een bepaalde hoeveelheid halruimte te realiseren. De helft ervan is voor de start van het project voldoende. De aannemer geeft echter in overweging om de volle halruimte te realiseren. Latere uitvoering zal met name in verband met de fundering aanzienlijk meer gaan kosten. In een dergelijk geval zou men kunnen beslissen om voor de totale ruimte de fundering te leggen en voor de helft de zaak te bebouwen. Daarmee wordt in ruil voor de extra funderingskosten de mogelijkheid verkregen om in de toekomst bij een toenemende vraag snel de hal uit te breiden tegen aanzienlijke lagere kosten. Met behulp van de NCW-methode is het denkbaar dat de extra fundering niet door gaat omdat dit extra uitgaven vormen waar in eerste instantie geen opbrengsten tegenover staan.

ad c In strategische projecten kan een serie van potentiële investeringen, waarmee het management een nieuwe markt kan penetreren, worden gezien als een serie reële opties, of *compound* opties, die aan elkaar zijn gerelateerd. Is eenmaal de waarde van deze serie bekend, dan geeft dat het antwoord op de vraag of het de moeite waard is een nieuwe markt te penetreren. In paragraaf 5 wordt een sequentieel investeringsproject in optietermen uiteengezet.

ad d De optie om van *grondstof en/of eindproduct te switchen* kan waardevol zijn als de grondstoffen en/of eindproducten sterk in prijs fluctueren. Als voorbeeld kan dienen een elektriciteitscentrale, die qua energievoorziening eerst op kolen draaide, vervolgens werd omgebouwd om op gas te kunnen draaien, om tenslotte weer van kolen afhankelijk te worden. In dit geval zijn er twee investeringsalternatieven. De bouw van een

centrale, die in principe maar op één energiebron draait, en waarvan het omschakelen op een andere bron een kostbare zaak is. Of de bouw van een centrale, waarin tegen een hoger investeringsbedrag de technische mogelijkheid wordt ingebouwd om tegen geringe kosten van energiebron te switchen. Het is dan de vraag of de hogere investeringskosten opwegen tegen de opbrengsten die verkregen worden door de optie te switchen.

ad e Een voorbeeld van een optie om de *productie tijdelijk te stoppen* betreft een fabriek waar een van olie afgeleid produkt wordt geproduceerd. Dit produkt wordt op de markt tegen een bepaalde prijs verkocht. Voor de eenvoud wordt verondersteld dat de fluctuaties in de operationele marge (dit is het verschil tussen de grondstof- en de eindproductprijs) alleen afhangen van de marktprijs van het eindprodukt. De fabriek is operationeel in 1990 en heeft een verwachte levensduur van tien jaar. De fabriek is in principe zo ontworpen, dat er continu wordt geproduceerd, ofwel er is geen 'off-switch'. Dit project is recht toe recht aan te waarderen met de NCW-methode. Neem nu eens aan dat tegen extra kosten het wel mogelijk is een 'off-switch' in te bouwen. Dit geeft de mogelijkheid om te produceren als de marktprijs hoog genoeg is en niet te produceren bij een lage marktprijs. De vraag is dan of de opbrengst van een 'off-switch' opweegt tegen de kosten van het inbouwen.

ad f In paragraaf 6 wordt de optie om een project *af te stoten* meegenomen in het investeringsbeslissingsproces. In veel gevallen zal de optie om af te stoten alleen worden berekend als men niet zeker weet of het project inderdaad nu moet worden afgestoten of dat er toch nog mee moet worden gewacht. Een voorbeeld is het afstoten van een verouderde installatie bij een raffinaderij, die uitsluitend nog wordt gebruikt voor productie als andere machines in onderhoud zijn. De winstmarge die behaald wordt op de installatie is nagenoeg gelijk aan nul en er is een aanzienlijke investering nodig om de installatie in stand te houden. In dit geval levert meteen afstoten de bespaarde investeringsuitgaven op, hetgeen ten koste gaat

van de toekomstige cashinflows. Het is duidelijk dat deze put-optie alleen waarde heeft als de winstmarge sterk aan fluctuatie onderhevig is, hetgeen tevens impliceert dat alleen dan uitstel van het afstoten gerechtvaardigd is.

5 Een sequentieel investeringsproject: een case-studie

In deze paragraaf wordt het beslissingsproces van een sequentieel investeringsproces in optietermen besproken (zie Kemna, 1988). Het management wil een proefproject uitgerust met een nieuwe technologie starten om daarmee de mogelijkheid te verkrijgen deze technologie te gebruiken in toekomstige projecten. Dit is een typisch voorbeeld van de door Myers (1977) geïntroduceerde groei-opties. Het project in kwestie is een op zichzelf staand onrendabel project met een negatieve NCW. Het project is echter vanuit een strategisch oogpunt belangrijk. Bij een succesvolle implementatie wordt immers de mogelijkheid verkregen vergelijkbare grootschalige projecten op te zetten, die naar verwachting wel rendabel zijn. Met de start van het proefproject wordt een groei-optie verkregen op toekomstige projecten. Er moet dus worden uitgerekend of de waarde van die optie opweegt tegen de negatieve NCW van het proefproject zelf.

Het proefproject is een project met hoge verwachte investeringsuitgaven, die over meerdere jaren lopen, en met relatief lage netto cashinflows. De hoge investeringsuitgaven worden veroorzaakt door het R&D karakter van het project. De relatief lage cashinflows zijn het gevolg van het feit dat verwacht wordt dat er gedurende de eerste drie jaar van de productiefase technische aanloopmoeilijkheden zijn. Dientengevolge zal pas na drie jaar het produktieniveau op 100% liggen. Voor de toekomstige commerciële projecten worden zowel efficiëntieverbeteringen als wel grootschaligheidsvoordelen verwacht.

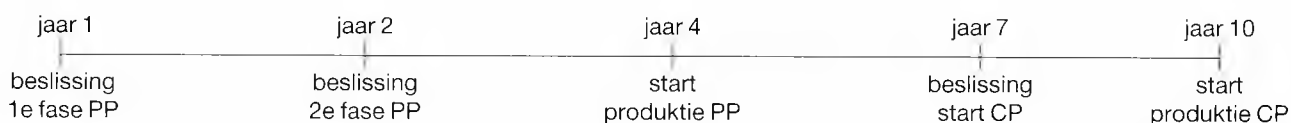
Gedurende de ontwikkeling van het proefproject bestaat na één jaar nog de mogelijkheid de investering stop te zetten en het project af te stoten. Dit betekent dat het management meer beslissingsmomenten heeft, hetgeen een grotere flexibiliteit met zich meebrengt. Het management hoeft op dit moment alleen te beslissen over het eerste jaar. Gaat men door, dan staat men na het eerste jaar hernieuwd voor de beslissing om het proefproject te voltooien of af te stoten. De planningsituatie voor het proefproject (PP) plus één commercieel project (CP) is in figuur 2 weergegeven, er van uitgaande dat zowel het PP als het CP doorgaat.

Zoals uit de planning is te zien duurt de bouw van het PP en het CP drie jaar. Er zal pas na drie jaar productie van het PP worden besloten of er al dan niet een CP zal worden gebouwd, omdat dan naar verwachting de technische problemen zijn opgelost. We zullen de beslissingsmomenten voor het management van achteren naar voren in de tijd behandelen, omdat op die manier bij de huidige beslissing rekening wordt gehouden met eventuele toekomstige mogelijkheden.

De beslissing die aan het begin van jaar 7 genomen moet worden is relatief eenvoudig. Omdat op dit moment (jaar 1) wordt aangenomen dat bij de beslissing het commerciële project te starten (jaar 7) geen interventies van het management mogelijk zijn, zijn er op dat moment geen opties meer aanwezig. Het project wordt dientengevolge gestart bij een positieve NCW en verworpen bij een negatieve NCW. In figuur 3 is dit in een beslissingsboom weergegeven. Deze beslissingsregel is exact gelijk aan de beslissingsregel voor de uitoefening van een call-optie aan het eind van de looptijd van het optiecontract.

Aan het begin van het tweede jaar moet worden besloten of de 2e fase van het proefproject doorgaat. Bij een positieve beslissing wordt een call-optie verkregen op het commerciële project. De

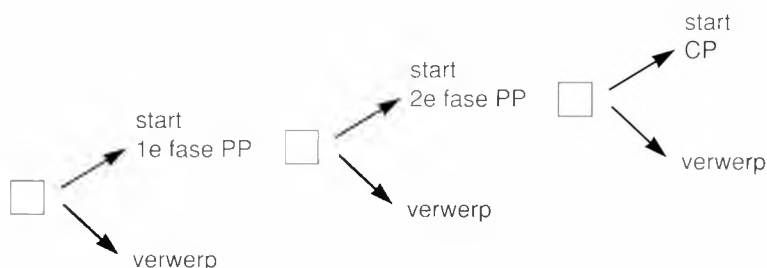
Figuur 2: Planningssituatie



call-optie op het CP heeft een looptijd van vijf jaar. Dat betekent dat de beslissing om door te gaan positief zal uitvallen als de resterende contante waarde van het proefproject en de call-optie op het commerciële project positief zijn. De onderliggende waarde van de call-optie is gelijk aan de contante waarde van de netto cashinflows van het CP en de uitoefenprijs is gelijk aan de investeringsuitgave die nodig is om het CP te bouwen.

gevende producten een bepaald produktieniveau te handhaven of de productie ervan geheel te stoppen en over te doen aan derden. Het handhaven van een bepaald produktieniveau biedt het management de gelegenheid om, in geval de concurrentie besluit te stoppen, het produktieniveau mogelijk nog uit te breiden. Voor de eenvoud wordt verondersteld dat het management in staat is voortdurend de productie op een bepaald

Figuur 3: Beslissingsboom



Tot slot zal aan het begin van het eerste jaar, het huidige beslissingsmoment, besloten moeten worden om al dan niet de 1e fase van het PP te starten. In geval de 1e fase wordt gestart levert dit enerzijds een negatieve NCW op (er wordt immers in jaar één alleen maar gebouwd) waar anderzijds een call-optie op het vervolg van het project tegenover staat. Deze call-optie heeft een looptijd van één jaar. De onderliggende waarde van deze call-optie is de waarde van de vervolgoptie op het CP en de uitoefenprijs is gelijk aan de kosten om die vervolgoptie te verkrijgen. Dat is in dit geval gelijk aan de negatieve netto contante waarde van de 2e fase van het proefproject. De beslissing om het proefproject te starten hangt af van het antwoord op de vraag of deze call-optie voldoende waarde is om de negatieve NCW van de 1e fase te compenseren.

6 Afstoten, uitbreiden of wachten: een rekenvoorbeeld

Om een illustratie te geven van de kwantificering van het investeringsbeslissingsproces wordt de volgende situatie geschetst. Het management van een onderneming, die opereert in een sterk concurrerende markt, staat continu voor de beslissing om voor een aantal nauwelijks winst-

niveau te houden en dat uitbreiding of stoppen alleen de komende twee jaar mogelijk is. De waarde van het productieproces bij handhaving van een bepaald produktieniveau is gelijk aan de som van de verdisconteerde toekomstige netto cashinflows van het fabricageproces. We noemen deze waarde $S(t)$. Het is duidelijk dat deze contante waarde afneemt met de waarde van de cashinflows die in een jaar zijn gerealiseerd. We veronderstellen dat de waarde in de tijd afneemt met een bepaald percentage van de contante waarde van de cashinflows. Dit resulteert in een waarde voor $S(t)$ die afhangt van $S(t-1)$ als volgt:

$$S(t) = S(t-1) \cdot (1-c) \text{ met } c \text{ een percentage per jaar}$$

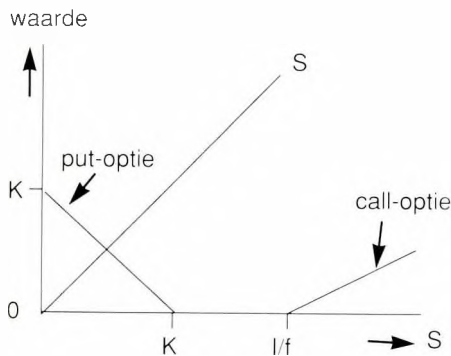
Naast handhaving van het produktieniveau heeft het management de mogelijkheid de zaak op te doeken, waarmee de toekomstige cashinflows worden opgegeven in ruil voor een tweedehands prijs. Dit is gelijk aan een put-optie P op $S(t)$, waarbij we veronderstellen dat de tweedehands waarde een vaste waarde K heeft (meestal is dit ook een afnemende functie van de tijd). Tot slot heeft het management de mogelijkheid de zaak uit te breiden waardoor meer cashinflows worden gegenereerd. De uitbreiding is mogelijk voor een

fractie f van het bestaande produktieniveau, de kosten van de uitbreiding zijn gelijk aan I . Dit is gelijk aan een call-optie C op $S(t)$ met als uitoefenprijs I .

In totaal bezit het management de onderliggende waarde (het productieproces) plus een put-optie met uitoefenprijs K en een call-optie op een fractie f van de onderliggende waarde met uitoefenprijs I . Omdat beide opties elk moment kunnen worden uitgeoefend zijn het zogeheten Amerikaanse opties. In het geval beide nog niet zijn uitgeoefend aan het eind van de looptijd is aan het eind van de looptijd van het project de waarde van het gehele project in figuur 5 weergegeven. In figuur 4 zijn eerst de afzonderlijke waarde van $S(t)$, de put- en de call-optie getekend. Sommatie van deze drie figuren levert figuur 5 op.

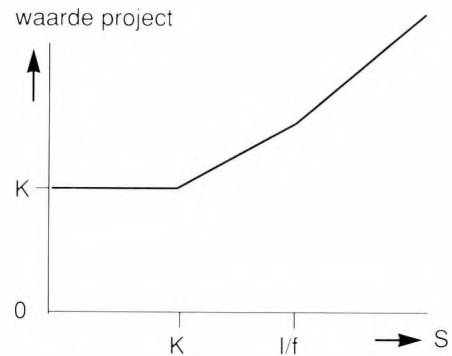
De totale projectwaarde na twee jaar is gelijk aan $S + W(S)$, waarbij $W(S)$ de waarde van de put en call representeert, ofwel $W(S) = \text{Max}(0, K-S, S \cdot f - I)$. Het is voor het management interessant om na te gaan of en op welk moment gedurende die twee jaar uitgebreid of gestopt moet worden. Met behulp van een binomiale boom kunnen we nagaan hoeveel deze opties nu waard zijn en of het gedurende de looptijd voordelig is om uit te breiden, te stoppen of nog te wachten.

Figuur 4: Produktieproces plus opties na twee jaar



We gaan er in dit voorbeeld van uit dat de waarde van het bestaande productieproces momenteel 80.000 gulden is en met 20% per jaar in waarde zal afnemen. De waarde in de tweedehands markt

Figuur 5: Totale projectwaarde na twee jaar



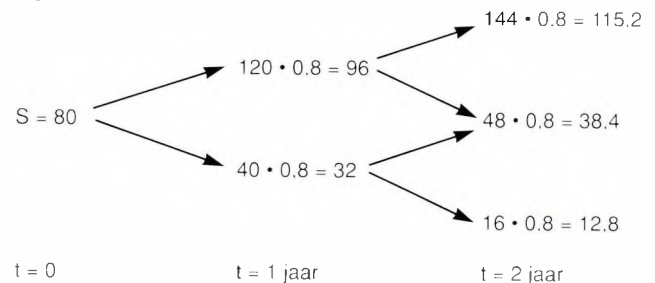
bedraagt 50.000 gulden. De uitbreidingsmogelijkheid is 50% van het huidige proces en kost 27.000 gulden. In de rest van het voorbeeld zal worden gewerkt met bedragen gedeeld door 1.000 gulden.

Om de waarde van de opties, $W(S)$, te berekenen gaan we uit van het binomiale model (zie appendix A voor de formule). Hierin wordt verondersteld dat de contante waarde van het productieproces per jaar kan stijgen of kan dalen met een bepaald percentage (afgezien van de permanente daling van S met 20% per jaar, ofwel $c = 0,2$). Het stijgingspercentage u wordt gelijk gesteld aan 1,5 per jaar, het dalingspercentage d is 0,5. De rente op staatspapier r_f is gelijk aan 10%, ofwel $r = 1,1$. Uit het binomiale optiemodel volgt dan dat de optieprijs met een resterende looptijd van één jaar gelijk is aan:

$$W(S) = \{p \cdot W_u + (1-p) \cdot W_d\} / r$$

met $p = (r-d)/(u-d)$ en W_u en W_d de optiewaarden één periode later.

Figuur 6: Binomiale boom voor S



Gegeven de waarden van u, d en c is het mogelijk de volgende boom voor S weer te geven (figuur 6):

Aan het eind van het tweede jaar is de waarde van $W(S)$ gelijk aan het maximum van $(0, K-S$ en $S \cdot f-I)$. Voor bijvoorbeeld $S = 115,2$ is dit maximum gelijk aan:

$$\max \{0, 50-115,2 \text{ en } 115,2 \cdot 0,5 - 27\} = 115,2 \cdot 0,5 - 27 = 30,6$$

In dit geval is uitbreiden de optimale oplossing (merk op dat voor uitbreiding de kritische bovengrens voor S gelijk is aan 54). Voor S gelijk aan 38,4 en 12,8 is de waarde van $W(S)$ gelijk aan resp. 11,6 en 37,2 gulden en is afstoten de beste strategie (merk op dat voor afstoting de kritische ondergrens voor S gelijk is aan 50). In dit voorbeeld zal alleen als S na twee jaar tussen de 50 en 54 ligt het bestaande produktieniveau worden gehandhaafd. In figuur 7 is de binomiale beslissingsboom voor $W(S)$ weergegeven.

Aan het eind van het eerste jaar is S gelijk aan 96 of 32. De waarde van het aanhouden van de opties bij een waarde van S van 96 is gelijk aan:

$$W(S) = \{p \cdot W_u + (1-p) \cdot W_d\} / r$$

Invullen levert op:

$$W(S) = \{0,6 \cdot 30,6 + 0,4 \cdot 11,6\} / 1,1 = 20,9$$

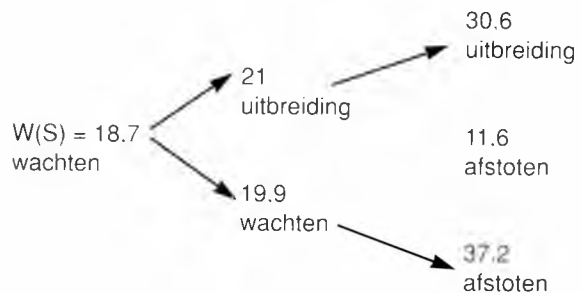
Echter, uitbreiden is gelijk aan $96 \cdot 0,5 - 27 = 21$, ofwel in dat geval is uitbreiden de beste oplossing. Voor S gelijk aan 32 blijkt wachten wel het best te zijn ($W(S)=19,9$) want afstoten op dat moment levert slechts 18 op.

Aan het begin van het eerste jaar levert wachten op:

$$W(S) = \{0,6 \cdot 21 + 0,4 \cdot 19,9\} / 1,1 = 18,7$$

terwijl uitbreiden 13 en afstoten -30 oplevert. Dit impliceert dat aan het begin van het eerste jaar ($t=0$) een waarde van $W(S)$ resulteert van 18,7 en dat wachten de beste oplossing is. Op dit moment is de totale waarde van het project gelijk

Figuur 7: Binomiale boom van $W(S)$



aan 98.700 gulden en is de beste strategie nog even te wachten met de uitbreiding of het afstoten.

7 Conclusie

De bijdrage van optie-theorie in investeringsbeslissingen is tweëerlei.

Ten eerste is het management beter in staat om het investeringsprobleem te structureren door de opties expliciet te definiëren. Ten tweede kunnen sommige strategische overwegingen kwantitatief worden geëvalueerd, waardoor de waarde van die flexibiliteit in de waarde van het investeringsproject is terug te vinden. In toenemende mate is de theorie gevorderd in het ontdekken en waarderen van allerlei opties in investeringsprojecten. Er is echter een gat ontstaan tussen de theorie en de praktijk. Mijn ervaring is dat er in de praktijk oog is voor de techniek, omdat enerzijds de NCW-methode onvoldoende functioneert en anderzijds de optiegedachte aansluiting vindt bij een aantal strategische overwegingen om een project te starten. Gezien de mathematische voetangels zal er echter nog wel enige tijd overheen gaan voordat deze nieuwe techniek volledig zal zijn ingeburgerd.

Literatuur

- Black, F. en M. Scholes, The Pricing of Options and Corporate Liabilities, *Journal of Political Economics* 81, 1973, pp. 637-659.
- Cox, J., Ross, S. A. en M. Rubinstein, Option Pricing: A simplified Approach, *Journal of Financial Economics* 7, 1979, 229-263.

Ekern, S., An Option Pricing Approach to Evaluating Petroleum Projects, *Energy Economics* 10, 1988, pp. 91-99.

Kemna, A. G. Z. en J. K. van Vliet, Onzekerheid en flexibiliteit: 'als' heeft zijn prijs, in A. C. C. Herst e.a., red., *Vermogen en onzekerheid*. Kluwer Deventer, 1984, pp. 153-164.

Kemna, A. G. Z. and A. C. F. Vorst, Options and Optimal Investment Timing, in W. G. Hallerbach e.a., eds., *Finance and Investment: State of the Art 1987*, vol. 10, Erasmus University Rotterdam, 1987, pp. 107-122.

Kemna, A. G. Z., *Options in Real and Financial Markets*, Dissertatie Erasmus Universiteit Rotterdam, februari 1988.

Kester, W. C., Today's Options for Tomorrow's Growth, *Harvard Business Review*, March-April, 1984, pp. 153-160.

Mason, S. P. and R. C. Merton. The Role of Contingent Claims Analysis in Corporate Finance, in E. I. Altman e.a., eds., *Recent Advances in Corporate Finance*, Dow-Jones, Irwin, 1985, pp. 7-54.

Myers, S. C., Determinants of Corporate Borrowing, *Journal of Financial Economics* 5, 1977, 147-175.

Myers, S. C., Finance Theory and Financial Strategy, *Interfaces* 14, 1984, pp. 126-137.

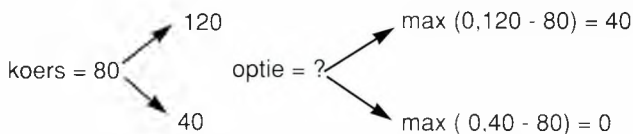
Paddock, J. L., Siegel, D. R. en J. L. Smith, Option Valuation of Claims on Real Assets: The case of Offshore Petroleum Leases, *MIT Energy Lab Workingpaper* 83-005WP, 1984.

Pindyck, R. S., Options, Flexibility and Investment Decisions, paper gepresenteerd op de *Workshop on New Methods for Project Evaluation*, Center for Energy Policy Research, MIT, March, 1988.

Appendix A: Het binomiale model

In het binomiale model wordt uitgegaan van de veronderstelling dat de koers van de onderliggende waarde S ($= 80$) gedurende één periode kan stijgen of dalen. Veronderstel dat de stijgingsfactor u ('up') gelijk is aan 1,5 en de dalingsfactor d ('down') gelijk is aan 0,5. Verder bedraagt de risicovrije rente r_f 25% per periode (dan is $r = 1 + r_f = 1,25$).

We willen de prijs bepalen van een call-optie op dit aandeel met een uitoefenprijs van 80 gulden en een looptijd van één periode. De waarde van het aandeel en de waarde van de optie kunnen als volgt in een binomiale boom worden weergegeven:



De waarde van de call-optie op afloopdatum is bekend, namelijk óf 40 óf 0 gulden. Om de waarde van de optie op de aankoopdatum af te leiden wordt een portefeuille geconstrueerd met dezelfde waarde als de call-optie op de afloopdatum. Op grond van de veronderstelling dat het niet mogelijk is risicoloos geld te verdienen (arbitrage-winst) moet gelden dat de aanschafwaarde van een dergelijke portefeuille gelijk is aan de prijs van de call-optie. Zou immers de aanschafwaarde van de

portefeuille lager zijn dan de prijs van de call-optie, dan kan risicoloos geld worden verdiend door de portefeuille aan te schaffen en de call-optie te schrijven (=verkopen). Het verschil in waarde kan op de bank worden gezet. Aan het eind van de periode zal de waarde van de portefeuille precies voldoende zijn om aan de verplichtingen van de geschreven call-optie te kunnen voldoen.

Het blijkt dat de portefeuille die de waarde van de call-optie kan nabootsen bestaat uit een hoeveelheid van het aandeel gefinancierd met een kortlopende lening. We construeren een portefeuille die bestaat uit een hoeveelheid δ aan aandelen en een bedrag B aan lening, ofwel $\delta \cdot S - B$. Om de call-optie te kunnen nabootsen moet dan gelden:

$$\delta \cdot 120 - 1,25 \cdot B = 40$$

$$\delta \cdot 40 - 1,25 \cdot B = 0$$

Oplossen van dit stelsel van twee vergelijkingen met twee onbekenden levert op dat $\delta = 1/2$ en $B = 16$, waardoor de call-optie gelijk is aan $C = 1/2 \cdot 80 - 16 = 24$ gulden.

Bovenstaand resultaat kan worden herschreven in termen van de optiewaarden na één periode. Als we de optiewaarden na één periode definiëren als C_u (in geval van een koersstijging) en C_d (in geval van een koersdaling) en we stellen $p = (r-d)/(u-d)$, dan geldt:

$$C = \{p \cdot C_u + (1-p) \cdot C_d\} / r$$

Invullen levert op:

$$C = \{0,75 \cdot 40 + 0,25 \cdot 0\} / 1,25 = 24$$

Bovenstaande formule is de binomiale optieformule voor call-opties met een looptijd van één periode.