

- VAN GREMBERGEN, W. en I. BLOEMEN (1995), "Audit en controle van de informatiesysteemontwikkeling", *Kwartaalschrift Accountancy & Bedrijfskunde*, september, blz. 16-39.
- VAN GREMBERGEN, W. (1995a), "Traditionele systeemplanning: de opmaak tot Business Reengineering", *Informatie*, november, blz. 770-773.
- VAN GREMBERGEN, W. (1995b), "Business Reengineering met IT: herschepping van de systeemplanning", *Informatie*, december, blz. 841-845.
- VAN GREMBERGEN, W. en D. VLOEBERGHIS (1995), "Business Process Reengineering: een holistische benadering van processen, strategieën, structuren, mensen en informatietechnologieën", *Working paper Departement Bedrijfseconomie, UFSIA*, 95-222, december, 32 blz.
- VAN GREMBERGEN, W. en K. MILIS (1996), "Een raamwerk voor de IT-beveiligingsfunctie", in: M. DE SAMBLANX en W. VAN GREMBERGEN, eds., *Interne audit. Interne controle. Informatietechnologie*, Kluwer, juni, aflevering 20.
- VAN GREMBERGEN, W. (1996), "Audit en controle van de uitbesteding van informatica-functies: theorie en praktijk", in: M. DE SAMBLANX en W. VAN GREMBERGEN, eds., *Interne audit. Interne controle. Informatietechnologie*, Kluwer, juni, aflevering 20.
- VAN GREMBERGEN, W. (1996), "Kernpunten in de bedrijfsinformatica: een verklaring voor managers", *Working paper Departement Bedrijfseconomie UFSIA*, 96-228, juni, 32 blz.
- VENKATRAMAN, N. (1994), "IT-Enabled Business Transformation: From Automation to Business Scope Redefinition", *Sloan Management Review*, winter, blz. 74-88.
- WATSON, R. (1989), "Key Issues in Information Systems Management: An Australian Perspective - 1988", *The Australian Computer Journal*, augustus, blz. 118-129.
- WISEMAN, C. (1985), *Strategy and Computers: Information Systems as Competitive Weapons*, Homewood, Ill., Irwin.
- WISEMAN, C. (1988), *Strategic Information Systems*, Homewood, Ill., Irwin.

Abstract

Important Issues in Information Technology: An Analysis for Managers

Over the past fifteen years researchers have periodically surveyed IT and general management to determine the most important issues in information systems management. On the basis of recent publications in this area, this article highlights the most important IT issues and describes them in more detail for the benefit of managers with a non-IT background. The IT issues seem to be very stable over time and are concentrated on the relation between information technology and business strategy, management of data, development of new systems, security of data and information systems, and management of distributed systems.

Danny Cassimon *

Jürgen Vandenbroucke *

Herkennen en waarderen van optiekenmerken in investeringsprojecten

Trefwoorden: investeringen; reële opties

Het doorsnee investeringsproject dat vandaag moet worden geëvalueerd, is complexer van aard en plaats zich in een onzekerder omgeving dan de investeringsbeslissingen in het verleden. Hierdoor verandert ook de manier waarop de investeringsstrategie en -politiek van een onderneming worden beoordeeld. In dit artikel wordt aangegeven hoe technieken uit de optietheorie de huidige investeringscriteria kunnen verrijken. Wegens de irreversibiliteit en onzekerheid over de beschikbare investeringsopportuniteiten, volstaat het niet langer om de investeringsbeslissing louter op basis van een positieve netto contante waarde te verantwoorden. De investeringscriteria dienen eveneens rekening te houden met de opportuniteitskosten van een onmiddellijke investering, namelijk de eventuele waarde van een afwachende houding. In vele gevallen leidt dit inzicht tot andere besluiten dan die welke op basis van de regel van de netto contante waarde worden bekomen. Doorheen de tekst worden, aan de hand van een gestileerd voorbeeld, een drietal methoden toegelicht die deze reële opties waarderen: de binomiale methode, de formule van Black-Scholes en een derde, die we aanduiden als de methode van Dixit-Pindyck.

Inleiding

Recent wordt in de literatuur over investeringsbeleid veel aandacht besteed aan de toepassing van optietheorieën voor de evaluatie van

* Universiteit Antwerpen (UFSIA)

investeringsprojecten. Daarbij wordt geargumenteed dat de traditionele methode van de netto contante waarde, onder bepaalde voorwaarden, onvoldoende rekening houdt met de complexe natuur en de strategische karakteristieken van de beoordeelde projecten, vooral vanwege de optiekenmerken die vervat zitten in deze projecten. Deze vaststelling geeft aanleiding tot een klasse van nieuwe investeringsmodellen, veelal omschreven met de term *reële opties*. Dit artikel tracht een korte inleiding tot deze materie te verschaffen.

In het eerste deel gaan we in op enkele specifieke investeringseigenschappen die bij een reële-optieanalyse expliciet in de eindevaluatie van het project worden opgenomen. Het tweede deel geeft aan hoe, door het herkennen van de optiekarakteristieken, een investeringscriterium kan worden afgeleid met behulp van optietechnieken. Deel drie geeft de analogie aan tussen reële en financiële opties en wijst op de talrijke toepassingen ervan in het kader van investeringsevaluatie. De rest van dit artikel is gewijd aan de verschillende methoden om de waarde van een optie te bepalen. We beschouwen hierbij drie waarderingsmodellen. Deel vier behandelt de binomiale methode, terwijl deel vijf een toepassing verwoordt van de formule van Black-Scholes. In deel zes wordt kort een veralgemeende methode vermeld, de zogenaamde methode van Dixit-Pindyck. We passen deze drie modellen toe op eenzelfde probleem en vergelijken de resultaten. Als afsluiting volgen enkele conclusies.

1. Specificiteit van investeringsprojecten

Het doorsnee investeringsproject dat vandaag moet worden geëvalueerd, is complexer van aard en plaatst zich binnen een onzekerder omgeving dan de investeringsbeslissingen in het verleden. Denken we bijvoorbeeld aan uitgaven voor onderzoek en ontwikkeling, investeringen in hoogtechnologische uitrustingsgoederen of projecten die uit meerdere fasen bestaan.

De literatuur onderscheidt een viertal specifieke karakteristieken die een bijsturing vergen van de traditionele evaluatiemethoden:

- de mate van irreversibiliteit van de investeringsuitgaven (sunk costs);
- de groeiende onzekerheid omtrent de toekomstige kasstromen;
- de strategische waarde van een project (opportunities);

- de mogelijkheid tot uitstel van de investering (flexibiliteit).

In wat volgt beschouwen we kort wat deze elementen inhouden. We geven ook de impact aan van de vermelde factoren op de te hanteren evaluatiemethode en de uiteindelijke investeringsbeslissing.

A. Irreversibiliteit van de investeringsuitgaven (sunk costs)

Onomkeerbaarheid of irreversibiliteit van de investeringskosten wijst op het feit dat een groot deel van deze kosten in geval van mislukking niet gerecupereerd kan worden. Investeringsuitgaven zijn vaak heel project-specifiek, zodat de tweedehandswaarde van de investering te verwaarlozen is.

Ook bepaalde institutionele reglementeringen kunnen de reversibiliteit van projectuitgaven beperken. Investeringskosten in nieuwe werknemers bijvoorbeeld zijn, vanwege de sociale bescherming en de vakbondsdruk in geval van ontslag, in belangrijke mate irreversibel (Pindyck, 1991, blz. 1111).

B. Onzekerheid omtrent de toekomstige kasstromen

Onzekerheid wordt gemeten aan de hand van de standaardafwijking of de variantie van de contante waarde van het project. De onzekerheid waaronder beslissingen genomen moeten worden, is in het huidige (gemonialiseerde) wereldbestel zeker toegenomen. Dat maakt de schatting van de toekomstige kasstromen die door het project gegenereerd zullen worden, tot een hachelijke zaak. Er is dan ook meer dan ooit nood aan een evaluatiemethode die alle risico's onderkent, ze correct kwantificeert en ze daarna opneemt in de investeringsbeslissing.

C. Strategische opportuniteiten

De maximalisatie van de marktwaarde van het aandelenkapitaal, de voornaamste doelstelling van het bedrijfsbeleid, wordt in grote mate bepaald door de kwaliteit van de investeringsprojecten. Met de "kwaliteit" van een project bedoelen we zowel de winstgevendheid (de finan-

ciële waarde) als het genereren van toekomstige groeiopportuniteiten (het strategische aspect). Vooral dat laatste wint recent aan belang.

Investeringsprojecten worden niet langer uitsluitend bekeken vanuit hun onmiddellijke bijdrage tot de nettokasstroom, maar worden geïntegreerd in een investeringsperspectief op lange termijn. Daarbij houdt men rekening met strategische aspecten zoals de reactie of anticipatie van concurrerende bedrijven, de evolutie van belangrijke marktvariabelen of prijzen, enzovoort. Een bepaald project wordt in deze omvattende strategie als een "fase" beschouwd, niet louter als een op zichzelf bestaande investering. In het kader van een strategie op lange termijn vormt de realisatie van een bepaalde fase een noodzakelijke, maar geen voldoende¹ voorwaarde voor de eventuele uitvoering van de investeringsopportunity die daarop volgt. Projecten worden zo interdependent. Bij de evaluatie van de initiële fase dient men daarom rekening te houden met de mogelijkheden die dit biedt voor de toekomst en de potentiële winstgevendheid van de opportuniteiten die worden gecreëerd.

D. Investeringsflexibiliteit

Investeringsprojecten horen meer en meer flexibel te zijn. Ondernemingen geven de voorkeur aan projecten die later eventueel aangepast kunnen worden aan een veranderende marktomgeving. In dit kader wordt vooral gekeken naar de optimale timing van de investering. De financiële evaluatie van het project wordt aangevuld met de strategische vraag: "Wanneer investeren?".

Vooral in de context van grote onzekerheid kan het interessant zijn de investeringsbeslissing een bepaalde periode uit te stellen, in de hoop dat er ondertussen meer informatie vrijkomt. Dit stelt de investeerder in staat te beslissen onder een geringere onzekerheid. De winst, in termen van de gereduceerde onzekerheid die een betere evaluatie mogelijk maakt, kan de gederfde nettokasstroom of het strategische nadeel van het wachten overtreffen. Bij de totale beoordeling van de investering is het raadzaam deze flexibiliteit te waarderen.

1 De eventuele uitvoering van de toekomstige investeringsopportuniteiten is afhankelijk van hun winstgevendheid op dat ogenblik, maar de mogelijkheid om dan tot een positieve investeringsbeslissing te komen wordt nu reeds geschapen.

2. Implicaties voor projectevaluatie

Het traditioneel gehanteerde criterium, waaraan we deze nieuwe elementen toetsen, is dat van de netto contante waarde (NCW). Deze NCW wordt als volgt berekend:

$$NCW = \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+k)^t} - I = V - I$$

waarin: C_t = incrementele kasstroom in jaar t
 I = initiële investeringsuitgave
 k = discontofactor
 N = levensduur van de investering
 V = contante waarde van het project.

Het criterium stelt dat er enkel geïnvesteerd wordt wanneer deze NCW groter dan of gelijk is aan nul.

Op basis van de bovenstaande berekening bekomt men een bepaalde waarde, die wijst op het absolute monetaire voordeel van het project: de contante waarde van de investering nadat het geïnvesteerde kapitaal en de verschuldigde interesten zijn terugbetaald, gecorrigeerd voor risico.

Alhoewel de NCW van een investering eenvoudig te berekenen is, mag niet voorbij worden gegaan aan de basisassumpties waar dit criterium op steunt. Er wordt namelijk verondersteld dat de toekomstige kasstromen (C_t) met zekerheid gekend zijn en dat er *nu* ($NCW \geq 0$) of *nooit* ($NCW < 0$) geïnvesteerd dient te worden. De methode gaat er eveneens van uit dat er, wanneer het project eenmaal geaccepteerd is, geen tussentijdse beslissingen meer (kunnen) worden genomen.

Dit criterium verliest duidelijk zijn relevantie wanneer investeringen beoordeeld worden die in belangrijke mate de elementen bevatten die we in deel 1 hebben geschetst.

1. Risico wordt in de NCW-methode geïncorporeerd via de discontofactor. Deze opportuniteitskosten van het kapitaal worden bijvoorbeeld aan de hand van het *Capital Asset Pricing Model* bepaald en zijn een weergave van het niet-diversifieerbare risico dat aan het project ver-

bonden is. De gewogen gemiddelde kapitaalkosten overeenkomstig de kapitaalstructuur van de onderneming vormen hiervan een goede benadering en worden in de praktijk vaker gebruikt.²

Toch brengt deze werkwijze niet alle vormen van onzekerheid in rekening. Het toekomstige verloop van elke parameter die in de NCW-berekening voorkomt is aan onvoorspelbare fluctuaties onderhevig.³ In de praktijk wordt dit probleem vaak opgelost door het hanteren van een – nogal ad hoc – hogere dan de berekende discountfactor. Op die manier wordt de investering pas uitgevoerd wanneer de NCW een bepaalde positieve grens overschrijdt. Het zou wenselijk zijn deze onzekerheid exact te prijzen.

2. Verhoogde flexibiliteit en/of strategische componenten worden door de NCW-methode niet gewaardeerd. De interdependentie van (gefa-seerde) projecten wordt door het criterium onvoldoende geïntegreerd, aangezien elk project afzonderlijk wordt geëvalueerd. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk dat een bepaald project met een negatieve NCW binnen een strategie op lange termijn toch wenselijk is omdat het groeiopportunities schept die anders gemist worden. Denken we maar aan uitgaven voor onderzoek en ontwikkeling die kunnen leiden tot de lancering van een vernieuwend product.
3. Het NCW-criterium geeft geen informatie over de optimale timing van de uitvoering van een project. Enkel de mogelijkheid om het project nu uit te voeren wordt in overweging genomen.

Uit wat volgt zal blijken dat de incorporatie van optiekarakteristieken in de traditionele NCW-methode een oplossing kan bieden voor deze bezwaren.

- 2 Deze benadering is enkel theoretisch correct indien het geëvalueerde project gefinancierd wordt overeenkomstig de huidige samenstelling van de kapitaalstructuur, zodat het ondernemingsrisico niet verandert (Brealey en Myers, 1991, blz. 465-470).
- 3 Ross (1995) bijvoorbeeld bestudeert de invloed op de regel van de netto contante waarde wanneer de geldende interestvoet volgens een bepaald stochastisch proces evolueert. In wat volgt zullen wij ons concentreren op de invloed van onzekerheid over de toekomstige incrementele kasstromen.

3. Toepassing van de optietheorie op de investeringsanalyse

A. Algemene situering

Een coherente methodologie om de relevante factoren nu expliciet bij de investeringsevaluatie te betrekken, wordt verkregen door investeringen te bekijken vanuit de optietheorie. Aldus kunnen we bepaalde componenten van een investering, en vaak ook het investeringsproject op zich, waarderen als een optie.

Een optie kan algemeen gedefinieerd worden als de mogelijkheid (niet de verplichting) om gedurende een welbepaalde periode (Amerikaanse opties) of op een welbepaald tijdstip (Europese opties) een bepaald activum (de onderliggende waarde) aan te kopen (call) of te verkopen (put) tegen een vastgestelde prijs (de uitoefenprijs). Zo bestaan er op de financiële markten opties op aandelen, deviezen, rentevoeten, grondstoffen en/of hun indexen.

Het cruciale inzicht is dat een investeringsproject – of althans bepaalde karakteristieken ervan – naadloos binnen deze algemene definitie past. Het project is een optie waarbij de onderneming tegen een welbepaalde prijs, namelijk de investeringskosten of de meerkosten, recht heeft op alle toekomstige kasstromen of meeropbrengsten die de investering voortbrengt. Men spreekt in deze context van een reële optie.

B. Analogie tussen financiële en reële opties

De analogie tussen financiële en reële opties kan het best uitgewerkt worden aan de hand van de vergelijking met een optie op een aandeel met dividenduitkering. Het verband tussen optie- en investeringstheorie blijkt duidelijk uit tabel 1. De zes relevante factoren bij een aandelenoptie zijn eveneens de relevante factoren van een reële optie.⁴

- 4 Bij financiële opties is de onderliggende waarde in de markt expliciet verhandelbaar. Bij reële opties is dat in de meeste gevallen niet zo. In principe wordt hiermee de basisgedachte van optiewaardering geschonden. Om alsnog de optietheorie te kunnen gebruiken wordt verondersteld dat er op de financiële markt instrumenten bestaan die in staat zijn het kasstroomprofiel van het investeringsproject na te bootsen. Deze veronderstelling is vergelijkbaar met de assumptie in de NCW-methode die stelt dat de verwachte incrementele kasstromen verdisconteerd moeten worden tegen het verwachte rende-

Tabel 1. Analogie tussen financiële en reële opties.

Aandelenoptie	Reële optie
Aandeelkoers (= contante waarde van alle verwachte dividenden)	Contante waarde van alle toekomstige netto operationele kasstromen
Uitoefenprijs	Contante waarde van de investeringskosten
Volatiliteit van de aandelenkoers	Volatiliteit van de contante waarde van alle toekomstige netto operationele kasstromen
Looptijd	Termijn van de reële optie
Risicoloze rente (rendement op een staatslening met dezelfde looptijd als de optie)	Risicoloze rente (rendement op een staatslening met dezelfde looptijd als de optie)
Dividend	Netto operationele kasstroom per periode tot het einde van de termijn van de reële optie

Bron: naar Kemna (1989, blz. 384).

De huidige waarde of koers van het aandeel is equivalent met de contante waarde van de toekomstige kasstroom van de te evalueren beslissing; de uitoefenprijs met de initiële investeringsuitgave; de looptijd met de mogelijke periode waarbinnen de investeringsbeslissing kan worden uitgesteld; en de variabiliteit van de waarde van het aandeel met de onzekerheid omtrent de kasstroom. De geldende risicovrije rentevoet is bij beide opties gelijk.

Er is ook een analogie wat betreft het aandelendividend. Net zoals de houder van de aandelenoptie de dividenduitkeringen verzaakt waar de aandeelhouder recht op heeft, gaat de investeerder voorbij aan de kasstromen die het project genereert door de optie in leven te houden en de investeringsbeslissing verder uit te stellen.

C. Soorten reële opties

De onderstaande opsomming geeft de belangrijkste soorten reële opties weer die in theorie en praktijk kunnen worden onderkend (Kemna, 1989, blz. 358-360; Trigeorgis, 1995, blz. 3-4).

ment van een qua risico vergelijkbaar financieel instrument (Kemna, 1989, blz. 357).

1. Uitstel-optie

Indien de onderneming enige flexibiliteit heeft wat betreft de timing van de investering, rijst de vraag naar het optimale tijdstip van investeren. Is het, met andere woorden, optimaal om nu te investeren of te wachten tot er meer informatie vrijkomt omtrent de bron van onzekerheid? In dergelijke situaties kan het investeringsproject zelf bekeken worden als een call-optie, waarbij de onderneming binnen een bepaalde periode van uitstelbaarheid⁵ het recht heeft zich te verbinden tot de investering tegen een welbepaalde uitoefenprijs, in dit geval de investeringskosten. Door uitoefening van de optie eigent de investeerder zich het recht toe op alle toekomstige netto operationele kasstromen van het project.

Naast de huidige, eventueel positieve, NCW van het project moet rekening gehouden worden met de mogelijkheid dat er zich in de resterende periode van uitstel gunstiger situaties voordoen en de investeringsbeslissing onder geringere onzekerheid kan genomen worden. De uitvoering van het project kan niet louter op basis van een positieve NCW gemotiveerd worden. De NCW dient de opportuniteitskosten van de onmiddellijke uitvoering te overtreffen. Deze opportuniteitskosten worden gekwantificeerd door de waarde van de reële optie (F_t), vaak de "waarde van het wachten" genoemd. De vraag naar de optimale timing van de investering vertaalt zich dan in de vraag naar het optimale tijdstip om de reële optie uit te oefenen.

2. Groei-optie

Wanneer een bepaald investeringsproject in wezen het "proefproject" vormt van een meeromvattend project, dan heeft deze eerste fase optiekarakteristieken die verrekend moeten worden in de waardebepaling. De uitvoering van deze initiële fase verleent het bedrijf immers een call-optie op latere projecten. Het is niet denkbeeldig dat het proefproject op zich verworpen zou worden op basis van de NCW-methode omdat deze toekomstige opportuniteiten niet naar waarde worden geschat. De investeringskosten en de toekomstige kasstromen van eventuele latere

⁵ De duur van deze periode van uitstelbaarheid is afhankelijk van de organisatie en structuur van de markt waarin de investerende onderneming opereert, zie bijvoorbeeld Kemna (1993) en Smit en Ankum (1993). In wat volgt veronderstellen we deze factor als constant en gegeven.

fasen vormen in dit geval respectievelijk de uitoefenprijs en de onderliggende waarde van de huidige reële optie vervat in het proefproject.

Een variante op dit thema is de zogenaamde *sequentieel-optie*, waarbij meerdere fasen elkaar sequentieel opvolgen en de realisatie van een voorgaande fase een noodzakelijke, maar niet voldoende voorwaarde is voor de mogelijkheid van een volgende stap. Het kan aangetoond worden dat men dit probleem als een samengestelde of *compound* optie dient te waarderen. Deze zienswijze wint aan relevantie zodra investeringsprojecten niet onafhankelijk maar interdependent en binnen een coherente strategie op lange termijn bekeken worden.

3. Schaal-optie

Binnen een bepaald investeringsproject kan de mogelijkheid bestaan om het project op een verschillende schaal uit te voeren. Naast een minimumschaal kan ook overwogen worden om de investering, tegen meerkosten, ineens op een grotere schaal uit te voeren. Zo kan men bij de bouw van een nieuwe productieafdeling beslissen om een grotere productiecapaciteit te plannen dan eigenlijk nodig is. Bij een eventueel gunstige marktontwikkeling, bijvoorbeeld een onverhoopt grote vraag naar het product in kwestie, kan men dan snel en zonder aanpassingskosten op die situatie inspelen. Ook deze ingebouwde mogelijkheid tot snelle schaalvergroting kan als een *call*-optie gewaardeerd worden. De vraag die bij de investeringsbeslissing rijst is of deze schaalflexibiliteit opweegt tegen de huidige meerkosten. Het antwoord is in grote mate afhankelijk van de onzekerheid omtrent de toekomstige marktontwikkeling, die door de optie expliciet wordt gekwantificeerd.

4. Switch-optie

Wanneer binnen een bepaald investeringsproject, tegen meerkosten, de flexibiliteit wordt ingebouwd om het productieproces eventueel om te schakelen naar andere inputs en/of een ander eindproduct, dan moet die mogelijkheid herkend en gewaardeerd worden als een *call*-optie. Het standaardvoorbeeld hierbij is een elektriciteitscentrale, waarbij tegen geringe kosten de technische mogelijkheid is ingebouwd om van energiebron te wisselen (kolen of gas) naar aanleiding van marktverschuivingen inzake de vraag of de relatieve inputprijzen. Ook hier dient men de opbrengst of besparing van de mogelijkheid tot overschakeling af te wegen tegen de huidige meerkosten.

5. Tijdelijke-stop-optie

Eenzelfde redenering geldt wanneer het investeringsproject in kwestie de mogelijkheid inhoudt om, eveneens tegen bepaalde meerkosten, de productie tijdelijk te onderbreken, bijvoorbeeld indien de productie enkel winstgevend is in geval van een voldoende hoge marktprijs. De bovengeschetste afweging, die nu afhankelijk is van het toekomstige prijsverloop, is hier eveneens van toepassing.

6. Permanente-stop-optie of afstoot-optie

Ook de mogelijkheid om een (bestaand) project definitief te stoppen kan via optietechnieken in het beslissingsproces opgenomen worden. Het betreft hier vaak een verouderde technologie die op dit moment weinig of geen NCW oplevert en waarbij de onderneming de keuze heeft: de productie stopzetten en het project verkopen tegen de tweedehandsprijs, of verder produceren in de hoop dat een plotse prijsopstoot of opverende vraag naar het product toch nog substantiële positieve kasstromen oplevert. Dit is een typisch voorbeeld van een *put*-optie, waarbij de uitoefenprijs gelijk is aan de tweedehandswaarde van het project.⁶

Het is evident dat binnen eenzelfde investeringsproject verschillende soorten opties kunnen voorkomen. Denken we maar aan de keuze om een bestaand project uit te breiden, te stoppen of de beslissing voorlopig uit te stellen en tegen de huidige capaciteit verder te produceren. Het belangrijkste is dat men bepaalde investeringskarakteristieken in termen van opties herkent en die vervolgens in de waardering opneemt.

D. Waarderingsmodellen voor reële opties

Dat bepaalde karakteristieken van investeringsbeslissingen aangeduid worden met termen die ontleend zijn aan de traditionele optietheorie, wijst erop dat men financiële optiemodellen kan toepassen om de waarde van een reële optie te bepalen.

Tabel 2 geeft een classificatie van de besproken optiemodellen aan de hand van twee criteria: enerzijds de discrete of continue tijdmodellering

⁶ Waarbij we veronderstellen dat deze restwaarde constant blijft in de tijd – een simplificerende assumptie.

en anderzijds of de gebruikte methode enkel de optiewaarde weergeeft of eveneens de kritieke waarde berekent van de onderliggende onzekere variabele die de onmiddellijke uitvoering van de investering verantwoordt.

Tabel 2. Classificatie van de beschouwde optiemodellen.

	Optiewaarde	Optimale uitoefening
Discrete tijd	Binomiaal	Binomiaal
Continue tijd	Black-Scholes	Dixit-Pindyck

In wat volgt wordt eerst de binomiale methode uitgebreid besproken, omdat we aan de hand daarvan duidelijk kunnen maken welke aanpassingen zich opdringen wanneer optiekarakteristieken aan het traditionele criterium van de NCW worden toegevoegd. Tevens is het via deze methode mogelijk om de kritieke waarde te berekenen van de onderliggende onzekere variabele die een onmiddellijke uitvoering van de investering verantwoordt.

Aanvankelijk wordt in het binomiale model één mogelijke prijswijziging beschouwd ($n=1$). Door de periode van mogelijk uitstel in steeds kleinere intervallen in te delen of meer prijswijzigingen toe te laten, bekomt men in de limiet de continue equivalent, namelijk de formule van Black-Scholes. In dit kader wordt de evolutie van de stochastische variabele beschreven als een geometrische Brown'se beweging. Bij een geometrische Brown'se beweging zijn de procentuele prijswijzigingen⁷ normaal verdeeld met een verwachte wijziging α en een standaardafwijking σ . Bovendien zijn de wijzigingen van opeenvolgende periodes ongecorrleerd en wordt de onzekerheid, in de vorm van σ^2 , iedere periode gecumuleerd. Op die manier wordt rekening gehouden met het feit dat de onzekerheid toeneemt naarmate men verder in de toekomst kijkt.

Tenslotte verwijzen we kort naar een "veralgemeende" methode (Dixit-Pindyck), die op dezelfde stochastische assumptie gebaseerd is. Naast de waarde van de optie op zich, kan men met deze methode echter ook

⁷ Het stochastische proces kan ook andere onzekerheden incorporeren. Wij zullen onze aandacht echter vooral toespitsen op wijzigingen in de prijs waartegen de geproduceerde output kan worden verkocht.

de kritieke prijs bepalen die een onmiddellijke uitvoering van de investering verantwoordt.

Hierna worden de behandelde theoretische inzichten toegelicht aan de hand van eenzelfde uitgewerkt voorbeeld. We hanteren hierbij het geval van een uitstel-optie. Bewust is het voorbeeld zo gestileerd mogelijk opgesteld, zodat de nadruk kan liggen op de duidelijke voorstelling en op een vergelijking van de resultaten die de verschillende methoden opleveren.⁸

Invesbel NV

De onderneming Invesbel NV bestudeert op dit ogenblik een investeringsproject dat haar jaarlijks gedurende de volgende vijftien jaar één eenheid output bezorgt. De huidige jaarlijkse prijs waartegen deze eenheid kan worden verkocht, is gelijk aan 120. De initiële investeringsuitgave (I) bedraagt 800. Er geldt momenteel een vlakke termijnstructuur met een risicovrije rentevoet (i) van 10%.

De onderneming is onzeker over de toekomstige prijsevolutie. De procentuele prijswijzigingen volgen een geometrische Brown'se beweging met een verwachte wijziging (α) van 0,01 en een standaardafwijking (σ) 0,5.

De onderneming heeft de mogelijkheid om de investeringsbeslissing indien nodig één jaar uit te stellen ($t=1$). De vraag rijst of het beter is te wachten, dan wel om de investering nu reeds op te starten.

4. Evaluatie van reële-optieanalyse via de binomiale methode

A. Toepassing op het investeringsvoorbeeld⁹

Stel dat we voor de keuze staan om in een machine te investeren met de vermelde gegevens. Het is mogelijk om nu te investeren of de be-

⁸ Andere uitgewerkte voorbeelden van reële opties aan de hand van Black-Scholes vindt men in Lund en Oksendal (1991), Lint (1992), Kemna (1993) en Lint en Pennings (1995).

⁹ In het voorbeeld wordt abstractie gemaakt van productiekosten, waardoor de onzekere

slissing een jaar uit te stellen, waardoor we de mogelijkheid krijgen om de toekomstige prijsinformatie te evalueren. Uit de gegevens blijkt dat de producten nu verkocht kunnen worden tegen een prijs $P_0 = 120$. Deze prijs kan dalen of stijgen. Voor $n=1$ bedragen de mogelijke prijzen op het einde van volgend jaar respectievelijk $P_1 = dP_0$ met

$$d = e^{-\sigma\sqrt{t/n}} \cong 0,61 \text{ of } P_1 = uP_0 \text{ met } u = e^{+\sigma\sqrt{t/n}} \cong 1,65^{10}. \text{ We nemen aan}$$

dat, wanneer de prijs eenmaal veranderd is, deze waarde dezelfde blijft over de verdere looptijd van het project.

Op basis van deze gegevens kan de NCW berekend worden. Indien we het project nu opstarten, krijgen we:

$$NCW_0 = \sum_{t=1}^{15} \frac{120}{(1,1)^t} - 800 \cong 113$$

Wachten we de prijsevolutie af, dan vinden we een negatieve NCW in geval van een prijsdaling, waardoor het project niet zal worden uitgevoerd:

$$NCW_1^d = \sum_{t=1}^{15} \frac{120d}{(1,1)^t} - 800 \cong -246$$

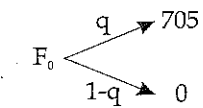
Er is echter ook kans op een prijsstijging, wat aanleiding geeft tot de volgende NCW:

$$NCW_1^u = \sum_{t=1}^{15} \frac{120u}{(1,1)^t} - 800 \cong 705$$

variabele bepaald wordt door de prijs van de output. Is dat niet het geval, dan moet P geïnterpreteerd worden als de *margin*. Bovendien wordt verondersteld dat de output slechts uit één eenheid bestaat. De jaarlijkse netto operationele kasstroom van het project bestaat, met andere woorden, uit de prijs die de markt voor die eenheid betaalt.

10 De waarde van u en d wordt zodanig bepaald dat het binomiale model in de limiet de geometrische Brown'se beweging benadert (zie Hull, 1993, blz. 343).

De optiewaarde in de huidige periode wordt bepaald als de verwachte winstwaarde van de mogelijke investeringsbeslissingen:



Binnen een traditionele investeringsevaluatie wordt de verwachte waarde bepaald op basis van de verwachte kasstromen, verdisconteerd tegen een discontovoet aangepast voor risico. Net als Black en Scholes (1973) tonen Cox, Ross en Rubinstein (1979) met een arbitragemodel aan dat de waarde van een optie onafhankelijk is van de risicohouding van de investeerder. De optiewaarde wordt dan ook afgeleid onder de eenvoudige assumptie van risiconutraliteit. Dit impliceert dat het verwachte rendement gelijk is aan de risicovrije interest en dat de verwachte opbrengsten tegen de risicovrije rentevoet verdisconteerd kunnen worden (Hull, 1993, blz. 335).

Naar analogie van de waardering van een *call*-optie op een aandeel met dividenduitkering wordt bij de bepaling van het verwachte rendement rekening gehouden met de "dividend yield". In verband met reële opties spreekt men van de "convenience yield (δ)", waarmee het voordeel wordt bedoeld dat men haalt uit het aanhouden van de output (bijvoorbeeld een betere timing van de productie). De "convenience yield" is, met andere woorden, het deel van het rendement op de output dat niet tot uiting komt in de waardeverhoging van het project (Ingersoll, 1981, blz. 540). Aan dit rendement wordt voorbijgegaan zolang men de investeringsbeslissing uitstelt en de optie levend houdt.

$$qu + (1-q)d = e^{(i-\delta)t/n}$$

$$\Leftrightarrow q = \frac{e^{(i-\delta)t/n} - d}{u - d} \text{ en } (1-q) = \frac{u - e^{(i-\delta)t/n}}{u - d}$$

Om arbitrageverrichtingen te voorkomen moet eveneens gelden dat $u > 1+i > d$ (Cox, Ross en Rubinstein, 1979, blz. 232). In algemene termen wordt de waarde van de optie dan bepaald als:

$$F_0 = e^{-it} \left[q \text{MAX} \left(0, NCW_1^u \right) + (1-q) \text{MAX} \left(0, NCW_1^d \right) \right]$$

Stellen we in ons voorbeeld $\delta=0,09$ dan vinden we voor $q=0,39$. Als waarde voor de ingebouwde flexibiliteit in het investeringsproject krijgen we $F_0=247$. Daar deze optiewaarde groter is dan de huidige NCW van het project, wordt de investering nog een periode uitgesteld. Het project wordt in de volgende periode enkel opgestart indien de prijs van de output gunstig evolueert.

Intuïtief valt makkelijk te begrijpen dat een hogere inschatting van de "convenience yield" aanleiding geeft tot een snellere opstarting van het project. Bovendien geldt naar analogie van financiële opties dat een positieve "convenience yield" noodzakelijk is voor een mogelijke investeringsbeslissing vóór het einde van de wachttijd (Teisberg, 1995, blz. 39). Stellen we dat $\delta \rightarrow \infty$, dan valt het investeringscriterium van de reële-optieanalyse samen met dat van de NCW.

Opmerkingen

- Indien we de beslissing kunnen uitstellen is het raadzaam om inderdaad nog één periode af te wachten en enkel te investeren indien de prijs gunstig evolueert. Hebben we deze bewegingsvrijheid niet, dan voeren we de investering onmiddellijk uit, want de NCW was positief: 113.
- Bijkomende informatie stelt ons in staat om de mogelijke toekomstige prijzen op de grenzen van een smaller interval te plaatsen. De onzekerheid wordt zo gereduceerd, waardoor ook de optiewaarde daalt. In de limiet beschikt men op die manier over perfecte informatie¹¹, zodat de regel van de NCW en de reële-optieanalyse leiden tot eenzelfde investeringsbeslissing.

B. Bepaling van de kritieke prijs

De bovenstaande redenering is een weergave van de basisfilosofie van reële-optieanalyse. Om een optimale investeringspolitiek te verzekeren zou men de berekening elke periode moeten uitvoeren, telkens op basis van de recentste gegevens en toekomstverwachtingen. Het is echter

¹¹ Onder perfecte informatie zijn boven- en ondergrens van het interval gelijk aan de toekomstige prijs, zodat het interval slechts één waarde bevat.

duidelijk dat deze procedure niet haalbaar is, vooral indien de toegestane uitsteltijd een groot aantal perioden omvat.

Het is daarom interessant om te bepalen vanaf welk prijsniveau men de investering moet uitvoeren. De vraag is dus niet langer "Wanneer is investeren raadzaam?", maar wel "Vanaf welke outputprijs is het interessant om de productie op te starten?". Beide vragen leiden natuurlijk tot hetzelfde antwoord, maar onder de tweede formulering volstaat één berekening.

Om die berekening uit te voeren is het noodzakelijk om zowel de NCW als de waarde van de optie als functie van de prijs te formuleren. Voor de NCW krijgen we:

$$NCW = \sum_{t=1}^{15} \frac{P}{(1,1)^t} - 800 \cong 7,6P - 800$$

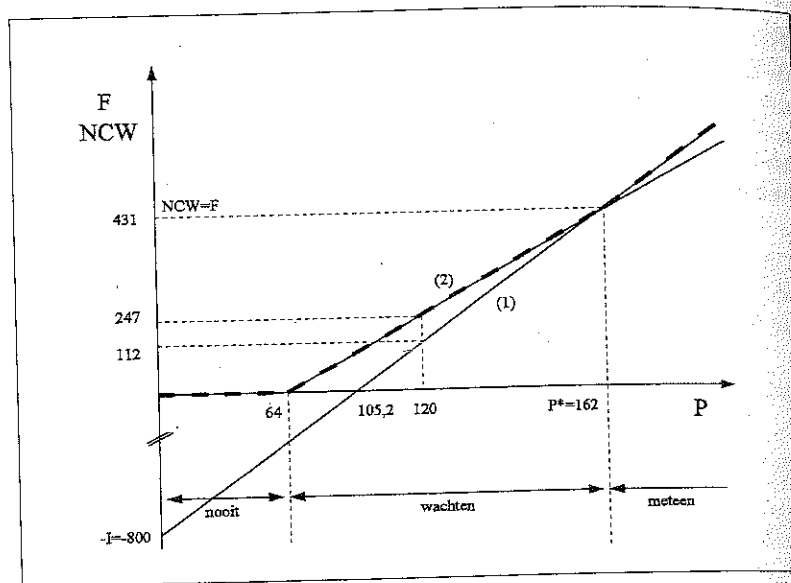
en voor de optiewaarde:

$$F = e^{-0,1} [0,39 \text{MAX}(0, NCW(uP)) + 0,61 \text{MAX}(0, NCW(dP))] \cong 4,39P - 280$$

De resultaten worden grafisch weergegeven in figuur 1, waarin de NCW (1) en de optiewaarde (2) uitgedrukt worden in functie van de huidige prijs.¹² Zoals aangegeven kunnen voor dit binomiale model drie prijsintervallen bepaald worden, waar telkens een optimale investeringsbeslissing mee samengaat.

¹² Met de "huidige" prijs P_0 wordt de prijs bedoeld die zich realiseert op het ogenblik dat de investering wordt geëvalueerd.

Figuur 1. Grafische weergave van de investeringswaardering via het binomiale model.



Eerst en vooral merken we op dat er nooit geïnvesteerd wordt zolang $P_0 < 64$. De optie is wel groter dan de NCW, maar de optiewaarde zelf is nul.

Als $64 < P_0 < 162$ dan is de optiewaarde op het project strikt positief. Die waarde is echter te groot ten opzichte van de NCW om reeds tot investeren over te gaan. Het is raadzaam de optie nog een jaar in leven te houden, dus nog niet te investeren, en het project pas volgend jaar op te starten indien de prijsevolutie gunstig blijkt. We kwamen in de oorspronkelijke formulering ook tot dit besluit, aangezien we stelden dat $P_0 = 120$.

Indien $P_0 > 162$ dan wordt de investering meteen uitgevoerd. De gederfde ontvangsten, in geval van verder uitstel, zouden namelijk de waarde van het wachten overtreffen.

De impact en de relevantie van de bovenstaande strategie worden duidelijk wanneer we in figuur 1 de beslissing op basis van de traditionele NCW vergelijken met de strategie van de reële-optieanalyse.

We zien dat de NCW gelijk is aan nul voor een prijs 105,2. Vanaf dit niveau gaat men op basis van de NCW meteen over tot de investering. Baseert men zich op een reële-optieanalyse, dan neemt men deze beslissing pas vanaf een prijsniveau 162. Doordat men rekening houdt met de onzekerheid omtrent de toekomstige kasstromen, wordt de investeringsneiging dus duidelijk afgeremd. Bovendien stelt men zich bloot aan onnodige risico's indien meteen geïnvesteerd wordt in het interval [64;162]. De verwachte kasstromen van het project zijn er namelijk ontoereikend om de kosten van de investering en de opportuniteit te dekken.

5. Evaluatie van reële opties met de formule van Black-Scholes

In het binomiale model werd verondersteld dat de prijs slechts één keer verandert binnen de voorziene periode van mogelijk uitstel. Om de mogelijkheid van meerdere prijsevoluties in de analyse op te nemen, kan de periode ingedeeld worden in kleinere deelintervallen. Steeds wordt de optiewaarde dan bepaald als de som van de mogelijke toestanden op het einde van de periode van uitstel, vermenigvuldigd met de respectieve risicovrije kansen, en verdisconteerd tegen de risicovrije rentevoet. Door het aantal deelperioden naar oneindig te laten evolueren, bekomt men de waardingsformule van Black en Scholes (1973) voor call-opties op aandelen met dividenduitkering.¹³ Uit tabel 1 bleek namelijk dat dit soort financiële opties het best aansluit bij de uitstel-optie uit ons voorbeeld.

¹³ De formule van Black-Scholes geldt strikt genomen enkel voor Europese opties. In de praktijk worden de vermelde reële opties echter vaak door deze formule benaderd, vooral indien de voorziene periode van uitstel relatief beperkt is (Lint, 1992, blz. 257-264 of Kemna, 1993, blz. 259-270). Amerikaanse opties worden het best geëvalueerd door in het binomiale model de optiewaarde en de netto contante waarde aan elk knooppunt met elkaar te vergelijken.

$$F = Ve^{-\delta t}N(d_1) - Ie^{-it}N(d_2)$$

met

$$d_1 = \frac{\ln \frac{V}{I} + (i - \delta + \frac{1}{2}\sigma^2)t}{\sigma\sqrt{t}}$$

$$d_2 = \frac{\ln \frac{V}{I} + (i - \delta - \frac{1}{2}\sigma^2)t}{\sigma\sqrt{t}}$$

Hierna wijzen we op de invloed van de relevante factoren uit tabel 1 op de waarde van de reële optie. Om de impact te achterhalen op de uiteindelijke investeringsbeslissing, moet men steeds het gepaste criterium voor ogen houden: onmiddellijk investeren is enkel verantwoord indien de contante waarde van de toekomstige kasstromen volstaat om de initiële investeringsuitgave en de waarde van het wachten te vergoeden.

1. Contante waarde van alle toekomstige netto operationele kasstromen

Tijdens de periode van uitstel heeft de investeerder de mogelijkheid om het recht te verwerven op de contante waarde van de toekomstige kasstromen tegen een uitoefenprijs ten belope van de initiële investeringsuitgave. De waarde van deze mogelijkheid, die gelijk is aan de optiewaarde, is groter naarmate de contante waarde van de toekomstige kasstromen toeneemt.¹⁴

2. Initiële investeringsuitgave

Uit de voorgaande redenering blijkt dat de optiewaarde daalt naarmate de uitoefenprijs of de initiële investeringsuitgave groter is.

14 Om de invloed op de investeringsbeslissing te achterhalen, dient men zich te realiseren dat een hogere contante waarde van de toekomstige kasstromen eveneens leidt tot een hogere NCW. De uiteindelijke investeringsbeslissing komt tot stand door beide (gewijzigde) waarden met elkaar te vergelijken, zoals aangegeven in figuur 1.

3. Volatiliteit van de contante waarde van alle toekomstige netto kasstromen

Een grotere volatiliteit biedt meer kansen op een hoge contante waarde en verhoogt dus de waarde van de optie. Grotere onzekerheid remt de investeringsneiging af omdat de opportunitetskosten, d.i. de waarde van het wachten, toenemen.

4. Termijn van de reële optie

Aangezien de uitstel-optie van het Amerikaanse type is, kan de investering op elk moment binnen de periode van uitstel opgestart worden. Een langere uitstelperiode, na het verval van een optie met een kortere levensduur, biedt evenwel nog kans op hogere kasstromen. Vandaar: hoe langer de periode van uitstel, hoe hoger de optiewaarde. Deze relatie dient evenwel genuanceerd te worden en is afhankelijk van de factor die in punt 6 wordt besproken.

5. Risicovrije rentevoet

De invloed van de rentevoet kan worden achterhaald door een optie te bekijken als een toelating tot uitstel van betaling. De houder van de optie kan nu reeds besloten hebben om te investeren, maar stelt voor alle zekerheid de daadwerkelijke beslissing nog even uit. Vooral indien voor de investering leningen aangegaan moeten worden, is het duidelijk dat dit uitstel van betaling waardevol is in geval van hoge rentevoeten.

6. Netto operationele kasstroom per periode tot aan het einde van de termijn van de reële optie

Hoge netto operationele kasstromen per periode leiden tot een lagere optiewaarde en geven aan dat het waardevoller wordt om de investering te bezitten, niet de optie. De NCW gaat de optiewaarde overstijgen.

Passen we de formule van Black-Scholes toe op ons voorbeeld, dan bekomen we met de huidige prijs $P_0=120$ een optiewaarde van 215. Onder deze voorwaarden wordt de investeringsbeslissing uitgesteld tot de prijs tot boven het niveau $P^*=173$ evolueert. In tabel 3 vergelijken we deze resultaten met het binomiale model bij steeds kleinere deelintervallen.

Tabel 3. Convergentie van waardering van binomiaal naar Black-Scholes.

Binomiaal	Optiewaarde (P=120)	Kritieke prijs
n = 1	247	162
n = 5	217	175
n = 10	218	174
n = 25	215	172
n = 50	215	173
Black-Scholes		
n → ∞	215	173

6. Evaluatie van reële opties via de methode van Dixit-Pindyck

De twee methoden die we tot nu hebben besproken, geven weer dat niet enkel de kwantitatieve maar ook de kwalitatieve eigenschappen de uitvoering van een investering kunnen rechtvaardigen. Het is echter duidelijk dat elk van de behandelde procedures slechts binnen een specifieke context makkelijk toepasbaar is. Zeer recent is in de literatuur dan ook een beweging op gang gekomen waarin gezocht wordt naar een nieuwe investeringstheorie die een ruimer kader schept voor projectevaluatie. In de bibliografie worden enkele basiswerken vermeld die deze zoektocht in een stroomversnelling hebben gebracht.

Met de methode van Dixit-Pindyck wordt gepoogd een concrete formulering af te leiden voor de kritieke prijs P^* bij een continue tijdmodellering. Hiertoe worden, naar analogie van het binomiale model, zowel de optiewaarde als de NCW uitgedrukt in functie van de prijs. Basis-hypothese blijft dat het prijsverloop kan worden benaderd door een geometrische Brown'se beweging.

De functie voor de optiewaarde wordt echter niet afgeleid binnen hetzelfde theoretische kader als bij Black-Scholes. Er wordt namelijk verondersteld dat de looptijd van de optie geen invloed uitoefent op de waarde van het wachten. Dixit en Pindyck (1994) komen dan ook tot een eenvoudige formule voor de optiewaarde, namelijk $F = AV^{\beta}$. Hierin is de exponent β een functie van de risicovrije rentevoet, de onzekerheid en de "convenience yield". De constante A is afhankelijk van β en de initiële investeringsuitgave.

Er kan aangetoond worden dat β strikt groter is dan één indien de "convenience yield" strikt positief is. Geldt dit niet, dan wordt nooit geïnvesteerd vóór het einde van de wachttijd. Dit impliceert eveneens dat de optiewaarde meer dan proportioneel toeneemt met de contante waarde van het project. De invloed van de overige variabelen op de waarde van de optie is analoog als bij Black-Scholes. Enkel de looptijd van de reële optie wordt niet bij de waardebepaling betrokken.

Dit heeft als gevolg dat de onzekerheid die in het investeringscriterium is opgenomen over een oneindige horizon wordt gecumuleerd, zodat ook de waarde van het wachten hoger wordt ingeschat. De beslissing om de investering op te starten stelt men onnodig lang uit.

Op basis van de gegevens uit het oorspronkelijke investeringsprobleem vinden we dan ook een optiewaarde $F=1715$ met een bijbehorende kritieke prijs $P^* = 331$.

Besluit

Bij de evaluatie van bepaalde investeringsprojecten schiet de klassieke regel van de netto contante waarde tekort. De flexibiliteit en/of de strategische karakteristieken die in de projecten vervat zitten, worden niet in de evaluatie opgenomen. Het cruciale inzicht is dat deze specifieke kenmerken optiekarakteristieken vertonen en als zodanig opgenomen moeten worden in de investeringsbeslissing.

Belangrijk in dit kader is enerzijds dat de relevante optiekarakteristieken van een investering op een correcte manier dienen herkend en gewaardeerd te worden, en anderzijds dat dit enkel mogelijk is wanneer de relevante bronnen van onzekerheid op een verantwoorde wijze worden gemodelleerd.

We hebben drie methoden voorgesteld die de bovenstaande intuïtie trachten te vatten in een investeringscriterium. De respectieve methoden werden telkens toegepast op het voorbeeld van een uitstel-optie.

De binomiale methode geeft het best weer waarom en in welke mate de nieuwe kijk op investeringen een uitbreiding is van de klassieke criteria. Bij continue wijzigingen in de onderliggende waarde van de

optie wordt gebruik gemaakt van de formule van Black-Scholes. Telkens komt tot uitdrukking dat er, naast de initiële investeringsuitgave, ook belangrijke opportuiniteitskosten verbonden zijn aan de onmiddellijke uitvoering van een project. Een eventuele afwachtende houding dient dus niet enkel verklaard te worden in financiële termen, maar ook in strategische. Investeerders wachten, gegeven de evolutie van de kasstromen, het optimale moment af om het project op te starten.

De methode van Dixit-Pindyck poogt het optimale investeringstijdstip bij continue prijswijzigingen analytisch te bepalen. Er wordt echter abstractie gemaakt van de invloed van de wachttijd op de waarde van de reële optie, zodat de investeringsbeslissing langer wordt uitgesteld.

Bibliografie

- BLACK, F. en M. SCHOLLES (1973), "The pricing of options and corporate liabilities", *Journal of Political Economy*, blz. 637-659.
- COX, J., S. ROSS en M. RUBINSTEIN (1979), "Option pricing: a simplified approach", *Journal of Financial Economics*, jg. 7 nr. 3, blz. 229-263.
- DEMERS, M. (1991), "Investment under uncertainty, irreversibility and the arrival of information over time", *Review of Economic Studies*, jg. 58, blz. 333-350.
- DIXIT, A. (1992), "Investment and hysteresis", *Journal of Economic Perspectives*, jg. 6 nr. 1, blz. 107-132.
- DIXIT, A. en R. PINDYCK (1994), *Investment under uncertainty*, New York, Princeton Press, 468 blz.
- DIXIT, A. en R. PINDYCK (1995), "The options approach to capital investment", *Harvard Business Review*, blz. 105-115.
- INGERSOLL, J. (1981), "The pricing of commodity-linked bonds: Discussion", *Journal of Finance*, jg. 37, nr. 2, blz. 540-541.
- INGERSOLL, J. en S. ROSS (1992), "Waiting to invest: investment and uncertainty", *Journal of Business*, jg. 65, nr. 1, blz. 1-29.
- KEMNA, A. (1989), "Reële opties in investeringsprojecten", *Maandblad voor Accountancy en Bedrijfseconomie*, september, blz. 355-364.
- KEMNA, A. (1993), "Case studies on real options", *Financial Management*, jg. 22, nr. 3, blz. 259-270.
- LINT, O. (1992), "De investeringsanalyse van geavanceerde flexibele productietechnologieën", *Economisch en Sociaal Tijdschrift*, juni, blz. 185-221.
- LINT, O. en E. PENNINGNS (1995), "Optie-management bij investeringen in nieuwe technologie", *Holland Management Review* nr. 44, blz. 44-51.
- LUND, D. en B. OKSENDAL, eds. (1991), *Stochastic Models and Option Values: Applications to Resources, Environment and Investment Problems*, New York, North-Holland, 301 blz.

- MCDONALD, R. en D. SIEGEL (1986), "The value of waiting to invest", *The Quarterly Journal of Economics*, blz. 707-728.
- PINDYCK, R. (1991), "Irreversibility, uncertainty and investment", *Journal of Economic Literature*, jg. 29, blz. 1110-1148.
- PINDYCK, R. (1993), "Investments of uncertain cost", *Journal of Financial Economics*, jg. 34, blz. 53-76.
- ROSS, S. (1995), "Uses, abuses and alternatives to the net present value rule", *Financial Management*, jg. 24, nr. 3, blz. 96-102.
- SMIT, H. en L. ANKUM (1993), "A real options and game-theoretic approach to corporate investment strategy under competition", *Financial Management*, blz. 241-250.
- TEISBERG, E. (1994), "An option valuation analysis of investment choices by a regulated firm", *Management Science*, jg. 40, nr. 4, blz. 535-548.
- TEISBERG, E. (1995), "Methods for evaluating capital investment decisions under uncertainty", in: L. TRIGEORGIS, ed., *Real options in capital investment*, Westport, Praeger Publishers, 361 blz.
- TRIGEORGIS, L. (1995), "Real options: An overview", in: L. TRIGEORGIS, ed., *Real options in capital investment*, Westport, Praeger Publishers, 361 blz.

Abstract

The Search for and Valuation of Option Characteristics in Investment Projects: An Introduction to Real Option Analysis

In today's world the economic environment is much more unstable and uncertain than it used to be. This forces us to change the way we think about a firm's strategy and investment policy. In this article we discuss how option theory can enrich and improve the evaluation of investments. Because of the uncertainty the firm faces and the ability to delay an investment, a traditional positive net present value can no longer justify the decision to invest. One has to consider the value of waiting, an opportunity cost associated with the decision of immediate investment. Mostly, this thought leads to different conclusions compared to decisions made on the basis of the net present value rule. A simplified example is used to illustrate how these real options can be valued: via the binomial method, the Black-Scholes formula, or a new theory we call the Dixit-Pindyck method.