Dynamisch investeringsgedrag van de onderneming

Kort, P.M.

Published in:
Schakeringen in de Bedrijfseconometrie

Publication date:
1996

Dynamisch investeringsgedrag van de onderneming

P.M. Kort

1 Inleiding

In het algemeen geldt dat een onderneming eerst kosten moet maken voordat zij in de toekomst opbrengsten tegemoet kan zien. Voorbeelden van zulke investeringsbeslissingen omvatten investeringen in kapitaalgoederen, de installatie van schonere productietechnologieën en investeringen in menselijk kapitaal. De klassieke manier om de winstgevendheid van investeringen te bepalen is het toepassen van de Netto Contante Waarde (NCW) regel. Ter illustratie laten we in het eerste deel van deze bijdrage zien hoe deze regel toegepast kan worden binnen een dynamisch model van een onderneming, die belasting moet betalen over de door haar veroorzaakte milieuvervuiling (paragraaf 2).

In een recente stroming binnen de economische literatuur (zie bijv. Dixit en Pindyck, 1994) wordt betoogd dat het evalueren van investeringsvoorstellen door de NCW regel kan leiden tot geheel verkeerde beslissingen. Een geregeld overziene voorwaarde voor het correct toepassen van de NCW regel is dat *ofwel* de investeringsbeslissing omkeerbaar is, dus dat een investering ongedaan kan worden gemaakt als mocht blijken dat de marktcondities slechter zijn dan verwacht, *ofwel* dat de investeringsbeslissing een 'nu of nooit' karakter heeft indien de beslissing onomkeerbaar is. Echter, de meeste investeringen voldoen niet aan deze condities. De onomkeerbaarheid van de investeringsbeslissing tesamen met de mogelijkheid tot uitstel zijn karakteristiek voor hedendaagse investeringsprojecten.

De reden voor het falen van de NCW regel bij een onomkeerbare investering met mogelijkheid tot uitstel kan als volgt omschreven worden: een onderneming die een investeringsmogelijkheid overweegt, is de bezitter van een optie in die zin dat, analoog aan het bezit van een Amerikaanse financiële call optie, die onderneming het recht heeft, maar niet de verplichting, om een activum te kopen op een toekomstig tijdstip van haar keuze. Op het moment dat de onderneming daadwerkelijk investeert, oefent zij die optie uit. Op dat moment geeft de onderneming de mogelijkheid op om te wachten op nieuwe informatie die invloed kan hebben op de wenselijkheid van de investeringsuitgave (een onomkeerbare investering kan niet meer ongedaan worden gemaakt mocht één en ander tegenvallen). Dit verlies aan flexibiliteit leidt tot een verloren optiewaarde welke bij de investeringskosten inbegrepen zou moeten worden. Dat betekent dat de NCW regel 'investeer wanneer de waarde van een kapitaalgoed tenminste zo groot is als de som van de aankoop-en de installatiekosten' moet worden gewijzigd. De waarde van het kapitaalgoed moet de som van aankoop- en installatiekosten overtreffen met een hoeveelheid die minstens gelijk is aan de waarde van het bezitten van de optie tot investeren.

In het tweede gedeelte van dit artikel passen we deze nieuwe investeringstheorie toe op, ten eerste, een onderneming die investeert in onderzoek en ontwikkeling (paragraaf 3) en, ten tweede, een onderneming die het optimale tijdstip probeert te vinden voor het investeren in een nieuwe technologie (paragraaf 4). Ten slotte zullen we in paragraaf 5 onze bevindingen samenvatten.

2 Optimaal investeringsgedrag van een onderneming onder milieuregulering

Deze paragraaf vormt een samenvatting van Hartl en Kort (1996). In dit artikel wordt een onderneming beschouwd die een hoeveelheid kapitaalgoederen K bezit waarmee zij een productiehoeveelheid Q(K) kan genereren. Er is sprake van afnemende marginale productie zodat geldt dat

$$Q(0) = 0, \; Q'(K) > 0, \; Q''(K) < 0. \tag{2.1}$$

Het productieproces genereert emissies $E = \alpha Q(K)$, waarbij α de hoeveelheid emissies per eenheid product voorstelt. De onderneming heeft de mogelijkheid de waarde van α te verlagen door het doen van milieureinigende uitgaven A. We veronderstellen tevens dat deze uitgaven een afnemend rendement hebben. Dit alles impliceert dat

$$\alpha(A) > 0, \; \alpha'(A) < 0, \; \alpha''(A) > 0. \tag{2.2}$$

Een praktisch voorbeeld van dit soort milieureinigende uitgaven kan gevonden worden in de kolenindustrie. Binnen deze industrie is het mogelijk om zwaveldioxyde emissies te reduceren door goedkope kolen met een hoog zwaveldioxydegehalte te vervangen door dure kolen met een laag zwaveldioxydegehalte. Wil de onderneming haar emissies reduceren onder constant houding van het productieniveau, dan zal zij het percentage kolen met een laag zwaveldioxydegehalte moeten verhogen. De extra betalingen, welke ontstaan door deze substitutie van kolen met een hoog zwaveldioxydegehalte door kolen met een laag zwaveldioxydegehalte, kunnen we zien als milieureinigende uitgaven.

Natuurlijk zijn milieureinigende uitgaven altijd niet-negatief, dus

$$A \geq 0. \tag{2.3}$$

De onderneming moet belasting betalen over de door haar veroorzaakte uitstoot aan emissies. Indien $\tau > 0$ de belasting per eenheid emissies is, dan is de totale hoeveelheid te betalen milieubelasting door de onderneming per tijdseenheid gelijk aan

$$\tau\alpha(A)Q(K). \tag{2.4}$$

De kapitaalgoederenvoorraad kan vergroot worden door het doen van investeringen I, waarbij de investeringskosten gelijk zijn aan C(I) waarvoor we veronderstellen dat

$$C(0) = 0,\ C'(I) > 0,\ C''(I) > 0. \tag{2.5}$$

Investeringskosten bestaan uit de aankoopkosten plus interne aanpassingskosten. De laatste kosten kunnen ontstaan door, bijvoorbeeld, het stoppen van het productieproces om nieuwe machines te installeren, of door de druk uitgeoefend op de leidinggevende en de administratieve bekwaamheden van de bestaande staf veroorzaakt door veranderingen in het productieproces.

Kapitaalgoederen worden afgeschreven met een constante graad a.

Verder veronderstellen we dat de onderneming dusdanig klein is dat de prijs van de eindproducten, p, voor haar gegeven is, en dat milieureinigende uitgaven te maken hebben met een horizontale aanbodcurve zodat ook hun aankoopprijs, v, constant is.

De onderneming wil haar beleid zodanig formuleren dat de gedisconteerde kasstroom over een oneindige planperiode wordt gemaximaliseerd. Stellen we de disconteringsvoet gelijk aan r, dan resulteert bovenstaande in het volgende dynamische ondernemingsmodel:

$$\underset{I(t)A(t)}{\text{maximaliseer}} \int_0^\infty e^{-rt}\{pQ(K(t)) - vA(t) - C(I(t)) - \tau\alpha(A(t))Q(K(t))\}dt \tag{2.6}$$

onder de voorwaarde dat

$$\dot{K}(t) = \frac{dK(t)}{dt} = I(t) - aK(t),\ K(0) = K_0, \tag{2.7}$$

$$A(t) \geq 0. \tag{2.8}$$

In Hartl and Kort (1996) wordt dit model opgelost met behulp van een twee-stapsprocedure en Pontryagin's maximumprincipe (zie bijv. Feichtinger en Hartl, 1986). De oplossing leert ons dat het optimale niveau van de milieureinigende uitgaven gegeven wordt door

$$A = A(K(t)) = \begin{cases} 0 & \text{voor } K(t) \leq \tilde{K} \\ A_\tau(K(t)) & \text{voor } K(t) > \tilde{K}, \end{cases} \tag{2.9}$$

waarbij $A_\tau(K(t))$ een impliciete functie is die voldoet aan

$$-\tau\alpha'(A(t))Q(K(t)) = v. \tag{2.10}$$

Dus de belastingreductie ten gevolge van één eenheid extra A is gelijk aan de aankoopprijs van A. $\tilde{K}$ is de grootste waarde van de kapitaalgoederenvoorraad zodanig dat het optimaal is om geen milieureinigende uitgaven te hebben:

$$-\tau\alpha'(0)Q(\tilde{K}) = v, \text{ dus } \tilde{K} = Q^{-1}(-v/\tau\alpha'(0)). \tag{2.11}$$

Uit (2.9) leiden we af dat er geen milieureinigende uitgaven plaatsvinden indien er sprake is van een kleine kapitaalgoederenvoorraad. Dit is logisch, omdat dan een verlaging in de vervuiling door een reductie van α gering is (zie (2.4)), hetgeen impliceert dat milieureinigende uitgaven niet leiden tot een fikse verlaging van de door de onderneming te betalen milieubelasting. Door middel van vergelijking (2.10) kunnen we concluderen dat milieureinigende uitgaven dalen als hun prijs v stijgt, terwijl ze stijgen indien de belastingvoet stijgt.

Op ieder willekeurig tijdstip t voldoen de investeringen I(t) aan de volgende gelijkheid:

$$\int_t^\infty e^{-(r+a)(s-t)}(p - \tau\alpha(A(K(s)))\, Q'(K(s))ds - C'(I(t)) = 0, \tag{2.12}$$

waarbij de linkerkant gelijk is aan de Netto Contante Waarde van de Marginale Investering. Om te begrijpen waarom, beschouw de verwerving van een extra kapitaalgoed op tijdstip t. Het aantrekken hiervan leidt tot het maken van extra investeringskosten C'. Maar dit extra kapitaalgoed verhoogt de productie met Q' en genereert daarom vanaf tijdstip t ook een opbrengstenstroom pQ', alsmede een milieubelastingstroom $\tau\alpha Q'$. Deze geldstromen worden in (2.12) gecorrigeerd voor afschrijvingen door de vermenigvuldiging met $e^{-a(s-t)}$, en ze worden contant gemaakt naar tijdstip t door de vermenigvuldiging met $e^{-r(s-t)}$. Wij concluderen dat vergelijking (2.12) impliceert dat optimaal investeringsgedrag van de onderneming leidt tot een Netto Contante Waarde van de Marginale Investering die gelijk is aan nul.

3 Optimaal R&D investeringsgedrag van de onderneming

Deze paragraaf geeft een samengevatte weergave van Kort (1996). In dit artikel wordt een willekeurig onderzoeks- en ontwikkelingsproject beschouwd. In het algemeen geldt voor zo'n project dat het totaal aan investeringen in onderzoek en ontwikkeling dat benodigd is om het project succesvol te volbrengen, negatief gecorreleerd is met de huidige en toekomstige progressie die geboekt wordt bij de uitvoering van het project. Daar de mate van deze progressie moeilijk te voorspellen is, zijn de totale uitgaven van een onderzoeks- en ontwikkelingsproject in het algemeen onbekend. Met investeringen in onderzoek en ontwikkeling, ofwel R&D investeringen, bedoelen wij hier het totaal aan uitgaven dat gedaan moet worden om een R&D project te voltooien, dus bijv. lonen van ingenieurs, bouwen van laboratoria, kopen van machines, materialen etc.).

Normaal gesproken is er een bepaalde tijdsperiode benodigd om een R&D project succesvol te volbrengen, en bestaat er dus onzekerheid over de hoeveelheid tijd, inspanning en materialen die gebruikt moeten worden ter completering van het project. Dit soort onzekerheid wordt in Pindyck (1993) technische onzekerheid genoemd. Deze onzekerheid neemt af naarmate er meer in het project geïnvesteerd wordt. Mocht er, gebaseerd op de nieuwe informatie die vrijkomt na een recente R&D investering, geconcludeerd worden dat er teveel geïnvesteerd moet worden om het project te voltooien, dan kunnen de werkzaamheden aan het project gestaakt worden voordat het afgerond is. Verder geldt dat het project geen cash flow genereert zolang het niet afgerond is.

Definieer $\tilde{K}(t)$ als het werkelijke totaal aan R&D investeringen die nog gepleegd moeten worden vanaf tijdstip t om het R&D project succesvol te voltooien. Vanwege de technische onzekerheid is $\tilde{K}$ een stochastische variabele waarvan de waarde onbekend is op tijdstip t. Wat wel bekend is op dit tijdstip is de verwachting die de onderneming heeft betreffende het totaal aan R&D investeringen die nog gedaan moeten worden ter verkrijging van de innovatie. Deze is gelijk aan $K(t) = E(\tilde{K}(t))$. Om het model niet nog meer te compliceren wordt de waarde van een succesvolle innovatie, P, constant en bekend verondersteld.

In Pindyck (1993) wordt technische onzekerheid op de volgende manier gemodelleerd:

$$dK(t) = -I(t)dt + \gamma(I(t))^{\frac{1}{2}}(K(t))^{\frac{1}{2}}dw(t), \tag{3.1}$$

waarin I(t) de investering op tijdstip t voorstelt, γ een parameter die constant is gedurende de tijd, en dw(t) een aangroeiing van een Wiener process is. (Dit impliceert dat dw(t) normaal verdeeld is met gemiddelde 0 en variantie dt, terwijl de aangroeiingen op verschillende tijdstippen onafhankelijk van elkaar zijn.)
De project manager schat de verwachte uitgaven in die nog gemaakt moeten worden om het project te voltooien, maar vanwege het stochastische gedeelte in (3.1) moet deze schatting bijgesteld worden naarmate de tijd vordert. Deze bijstelling is gebaseerd op ondervindingen die plaatsvinden terwijl er aan het project gewerkt wordt. Daarom kan K alleen veranderen op momenten dat de onderneming investeert in het project. Want zolang een onderneming niet investeert in het project, komt er geen extra informatie over dit project beschikbaar, hetgeen impliceert dat er geen verandering optreedt in de verwachting die de onderneming heeft aangaande toekomstige uitgaven.

Op het moment dat de onderneming investeert, is de verwachte verandering in K over een interval Δt gelijk aan $-I\Delta t$, maar de werkelijke verandering kan groter of kleiner zijn. Het kan zelfs gebeuren dat K stijgt. Dus, terwijl er aan het project gewerkt wordt kan de geboekte progressie groter of kleiner zijn dan verwacht. De variantie van $\tilde{K}$ daalt als K afneemt, maar het werkelijke totaal aan investeringen wordt pas na voltooiing van het project bekend.

Omdat de variantie van dw(t) gelijk is aan dt, kunnen we uit vergelijking (3.1) afleiden dat

$$\mathrm{var}\left(\frac{dK}{K}\right) = \gamma\frac{I}{K}\,dt. \tag{3.2}$$

De variantie van dK/K stijgt dus lineair met I/K. Dit houdt in dat, indien voor verschillende waarden van K een vast gedeelte van het verwachte totaal aan nog te plegen investeringen wordt gedaan (m.a.w. I/K is constant), dan is de onzekerheid betreffende de werkelijke reductie van het totaal aan nog te plegen investeringen ook constant. Hieruit concluderen we dat onder vergelijking (3.1) de technische onzekerheid voor verschillende fasen van het project hetzelfde is.

Een R&D project heeft echter in het algemeen als eigenschap dat er veel meer onzekerheid heerst gedurende de beginfasen van een project; dan is het meestal in het geheel niet duidelijk hoeveel tijd, inspanning en materiaal er nodig is om de innovatie te ontwikkelen, terwijl het aan het eind wel min of meer vast ligt wat er nog gedaan moet worden. Dit impliceert dat de technische onzekerheid groter moet zijn wanneer K groot is. Dus om vergelijking (3.1) geschikt te maken voor het modelleren van R&D investeringen, moeten we haar zodanig veranderen dat de variantie van dK/K stijgt met K indien een vast gedeelte van het verwachte totaal aan nog te plegen investeringen wordt gedaan. Daarom vervangen we vergelijking (3.1) door

$$dK(t) = -I(t)dt + \gamma(K(t))^{\delta}\,(I(t))^{\frac{1}{2}}(K(t))^{\frac{1}{2}}dw(t), \tag{3.3}$$

waarbij δ een positieve constante is. Middels deze formulering geldt dat de technische onzekerheid veel groter is gedurende de beginfasen van het project (m.a.w. als K groot is) indien δ groot is.

Uit empirische studies (zie bijvoorbeeld Guerard, Bean en Andrews (1987)) blijkt dat R&D investeringen voornamelijk uit eigen middelen gefinancierd worden. Redenen hiervoor zijn dat, ten eerste, buitenstaanders niet graag geld uitlenen ten behoeve van projecten waarvan de opbrengsten erg onzeker zijn. Daarom zal bij financiering met geleend geld de onderneming hele hoge rente moeten betalen ter compensatie van deze onzekerheid, hetgeen het financieren met vreemd vermogen onaantrekkelijk maakt. Ten tweede wil de onderneming geen informatie over het R&D project laten uitlekken naar de buitenwereld, en dit is nauwelijks te vermijden in het geval van externe financiering (Kamien en Schwartz (1982)). Verder geldt dat R&D investeringen in het algemeen onomkeerbaar zijn. Indien we R ($R > 0$ en constant) definiëren als de hoeveelheid ingehouden winst van het bedrijf, dan leidt bovenstaande tot de volgende restrictie voor R&D investeringen:

$$0 \le I(t) \le R. \tag{3.4}$$

Stellen we de disconteringsvoet gelijk aan r, en duiden we met $\tilde{T}$ het (stochastische) tijdstip aan dat het project voltooid is, dan bestaat het probleem uit het zodanig vaststellen van de R&D investeringen over de tijd dat de waarde van het R&D project gegeven door

$$F(K(t)) = \underset{I(t)}{\text{maximaliseer}}\ E\left[Pe^{-r\tilde{T}} - \int_0^{\tilde{T}} I(t)e^{-rt}dt\right], \qquad (3.5)$$

gemaximaliseerd wordt, onder voorwaarde dat de vergelijkingen (3.3), (3.4) en $K(\tilde{T}) = 0$ gelden.

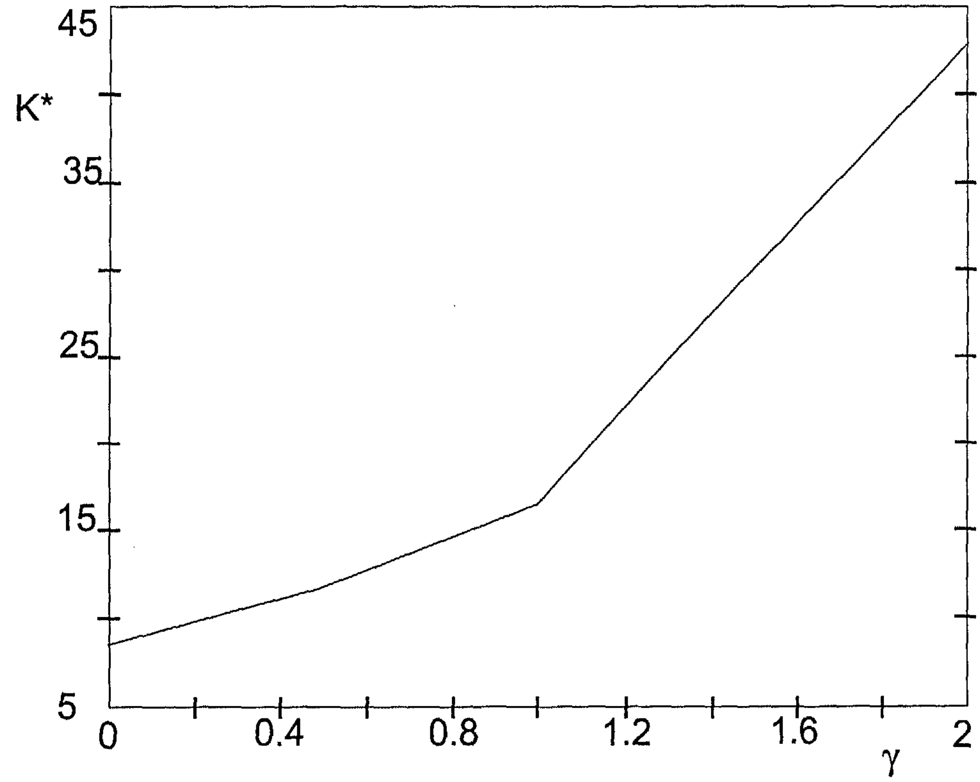
In Kort (1996) wordt dit probleem met behulp van dynamisch programmeren opgelost. Het blijkt dat het optimaal R&D investeringsgedrag wordt gegeven door

$$I = \begin{Bmatrix} R \\ 0 \end{Bmatrix} \text{ indien } K \begin{Bmatrix} \leq \\ > \end{Bmatrix} K^*. \qquad (3.6)$$

We concluderen dat de onderneming alleen in het project investeert indien de verwachte uitgaven tot de voltooiing voldoende laag zijn. Het optimale R&D investeringsgedrag is dus volledig bepaald door de kritieke waarde K^*. Een hoge K^* duidt aan dat het optimaal is om veel in R&D te investeren. Dus om te bekijken welk effect bepaalde parameterwaarden hebben op R&D investeringen, is het voldoende om het verband weer te geven tussen K^* en deze parameters.

We analyseren eerst het effect van de mate van onzekerheid op R&D investeringen. Uit vergelijking (3.3) leiden we af dat de mate van onzekerheid bepaald wordt door de parameter γ. In Figuur 1 hebben we het verband weergegeven tussen K^* en γ, waarbij de waarden van de overige parameters gelijk zijn aan $\delta = 0.1$, $r = 0.05$, $R = 2$ en $P = 10$. We zien dat K^* de laagste waarde heeft als er geen onzekerheid in het model zit, dus wanneer $\gamma = 0$. Nagegaan kan worden dat deze waarde van K^* overeenkomt met het toepassen van de klassieke NCW regel. Op het moment dat er sprake is van onzekerheid stijgt K^*, hetgeen impliceert dat voor iedere $\gamma > 0$ een interval van K-waarden bestaat waarvoor geldt dat de klassieke NCW regel voorschrijft om niet te investeren, terwijl het in feite optimaal is om dat wel te doen. Uit andere recente bijdragen aan de economische literatuur blijkt dat de NCW regel faalt in verscheidene stochastische investeringsmodellen. Een belangrijke exponent van deze literatuur is Dixit en Pindyck (1994). De uitkomst van deze modellen is meestal dat investeringen dalen als de onzekerheid stijgt, omdat de aanwezigheid van veel onzekerheid het meer waardevol maakt om te wachten op nieuwe informatie aangaande, bijvoorbeeld, de verkoopprijs van de eindproducten, voordat men zich vastlegt op een hoger niveau van de kapitaalgoederenvoorraad.
Uit dit laatste kunnen we concluderen dat gewoonlijk de investeringen dalen bij stijgende onzekerheid, maar uit Figuur 1 blijkt dat voor ons model precies het omgekeerde geldt. De reden is dat in ons probleem sprake is van technische onzekerheid in plaats van onzekerheid aangaande prijzen en reguleringen. Daarom is er, in de eerste plaats, geen reden om te wachten met investeren omdat we alleen maar nieuwe informatie over het project krijgen op het moment dat we daadwerkelijk investeren. Ten tweede, indien er sprake is van veel onzekerheid dan is er nog heel veel onbekend over het project. Deze onbekendheid kan weggenomen worden door in het project te investeren. Met andere woorden, door middel van investeren in R&D leert de onderneming

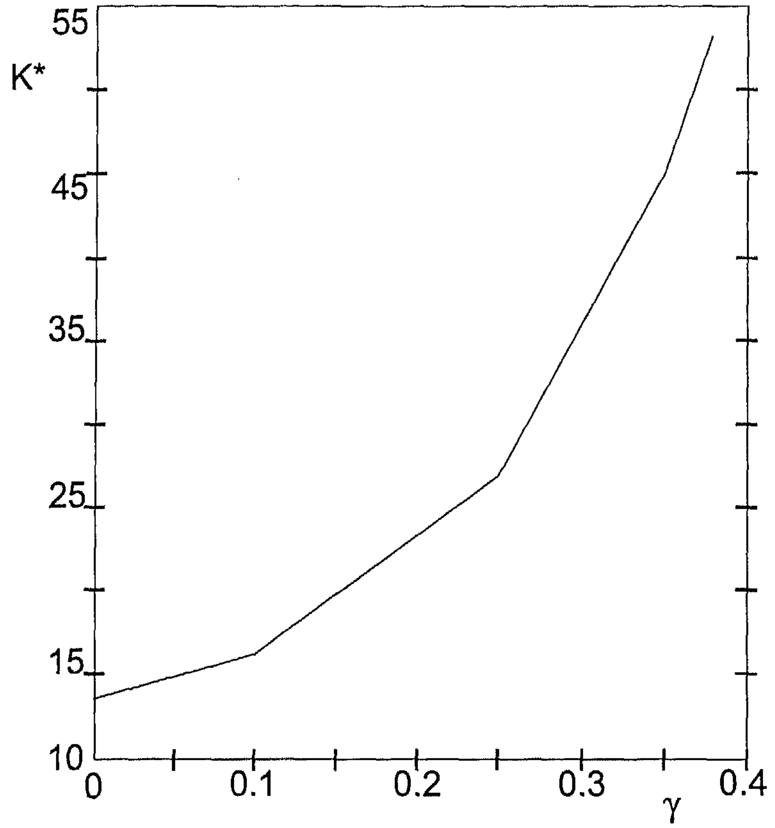
Figuur 1: De kritieke waarde K^* als functie van γ met als parameterwaarden $\delta = 0.1$, $r = 0.05$, $R = 2$ en $P = 10$



hoeveel materialen, manuren etc. er benodigd zijn om het project te voltooien. Hoe onzekerder de onderneming is over deze hoeveelheden, des te meer is er te leren. Verkrijging van deze informatie geeft een extra waarde aan het investeren in R&D, welke opgeteld kan worden bij de directe bijdrage die een investering geeft aan het completeren van een project. In een deterministische omgeving is deze extra waarde gelijk aan nul, omdat dan alles al bekend is. Maar hoe groter de onzekerheid is, des te groter zal de extra waarde zijn, en des te meer zal de onderneming investeren in R&D.

Zoals al eerder opgemerkt is, is de technische onzekerheid binnen een R&D project groter als het project nog in de beginfasen van haar ontwikkeling verkeert. In ons model is dit gemodelleerd door de introductie van de term K^δ in de toestandsvergelijking (3.3). Dus hoe groter δ is, des te groter is de technische onzekerheid voor beginfasen van het project. Figuur 2 geeft het verband weer tussen K^* en δ.

Figuur 2: De kritieke waarde K^* als functie van δ met als parameterwaarden $\gamma = 1$, $r = 0.05$, $R = 2$ en $P = 10$



Figuur 2 laat zien dat R&D investeringen stijgen met δ. De reden is dezelfde als bij het verband tussen γ en K^*: indien er sprake is van veel onzekerheid, dan leidt het plegen van R&D investeringen tot een grote reductie van die onzekerheid en dit geeft een grote extra waarde aan het doen van R&D investeringen. Uit Figuur 2 leiden we af dat de parameter δ een enorm effect heeft op R&D investeringen: dit effect is veel groter dan het effect van γ. Daarom zal het negeren van δ leiden tot een grove onderschatting van K^*, hetgeen tot gevolg heeft dat er te weinig R&D investeringen gepleegd zullen worden.

We concluderen dat het in het algemeen optimaal zal zijn om enige middelen te besteden aan het onderzoeken van mogelijke innovaties die voor de onderneming geheel nieuw zijn en dus een grote technische onzekerheid hebben. Gebaseerd op deze eerste exploratiefase kan de onderneming dan beslissen om door te gaan of te stoppen met het project. Op deze manier kan de onderneming die projecten ontdekken die veel winstgevender zijn dan dat ze op het eerste gezicht lijken. In sommige gevallen kan het veel gemakkelijker zijn om een R&D project te voltooien dan dat de verwachting is. Als het tegendeel waar is, dan kan de onderneming gewoon stoppen met het project voordat er teveel uitgaven gemaakt worden. Merk op dat een hoge waarde van δ impliceert dat veel onzekerheid weggenomen kan worden gedurende een eerste onderzoeksfase. Dit in tegenstelling tot een situatie waar γ groot is, omdat dan de onzekerheid groot blijft gedurende de opeenvolgende fasen van een project.

4 De optimale technologie-investering van de onderneming

Deze paragraaf vormt een samengevatte weergave van Farzin, Huisman en Kort (1996). In dit artikel wordt het optimale moment bepaald waarop een onderneming over moet gaan op een nieuwe technologie waarmee zij efficiënter kan produceren. Eén extreme mogelijkheid is om over te gaan op een nieuwe technologie op elk moment dat zo'n nieuwe technologie beschikbaar komt, maar dit leidt waarschijnlijk tot een onaanvaardbaar hoog totaalbedrag aan investeringen. Een andere extreme mogelijkheid is om nooit over te gaan op een nieuwe technologie. Het nadeel is nu dat de onderneming op een ouderwetse inefficiënte manier blijft produceren.

We beschouwen een onderneming die een homogeen goed produceert en die opereert op een productmarkt onder volledige mededinging. De productiefunctie is (in de notatie laten we de factor tijd weg zolang er geen verwarring kan ontstaan. Dus, bijvoorbeeld v i.p.v. v(t))

$$h(v,\theta) = \theta v^{a}, \tag{4.1}$$

waar v de variabele input is, a ($0 < a < 1$) is de constante output elasticiteit, en θ is een technologie-efficiëntie parameter waarvan de waarde stochastisch is. (hoe die bepaald wordt leggen we zo meteen uit). De verkoopprijs van het eindproduct is p ($p > 0$ en constant), terwijl w gelijk is aan de kosten per eenheid variabele input ($w > 0$ en constant).

We analyseren een dynamisch model met een oneindige planperiode. Op het tijdstip $t = 0$ produceert de onderneming met een technologie die we aanduiden met $\theta = \theta_0$. Na verloop van tijd komen nieuwe technologieën beschikbaar, en de onderneming heeft de mogelijkheid om over te gaan op zo'n nieuwe technologie. In tegenstelling tot de vorige paragraaf waar de onderneming zich zelf met het uitvinden van nieuwe vindingen bezighield, veronderstellen we hier dat de onderneming zelf geen invloed heeft op het proces van de technologische evolutie. Naarmate de tijd vordert worden technologieën meer en meer efficiënt, en hoe efficiënter de technologie hoe groter de daarbij behorende parameter θ. Echter, de precieze ontwikkeling van het efficiëntie niveau is een stochastisch proces. Op ieder moment dat een nieuwe technologie beschikbaar komt stijgt θ, maar noch de verschijningsdatum van de nieuwe technologie, noch de bijbehorende stijging van θ is van te voren bekend.

Gebaseerd op bovenstaande veronderstellen we dat de parameter θ zich ontwikkelt volgens een sprongproces zodanig dat

$$d\theta = dq, \; \theta(0) = \theta_0, \tag{4.2}$$

waarbij

$$dq = \begin{cases} u \text{ met waarschijnlijkheid } \lambda dt, \\ 0 \text{ met waarschijnlijkheid } 1-\lambda dt. \end{cases}$$

Zoals reeds vermeld is de grootte van de sprong onzeker. We veronderstellen dat u uniform verdeeld is over het interval $(0,\bar{u})$ zodat de verwachte waarde van u gelijk is aan $\frac{1}{2}\bar{u}$.

We veronderstellen verder dat de onderneming haar stroom toekomstige winsten disconteert tegen een constante disconteringsvoet r. Op het moment dat de onderneming overgaat op een nieuwe technologie moet zij een investeringsbedrag I betalen, welke constant is. Deze investering is onomkeerbaar hetgeen betekent dat er, vanwege het 'lemons' probleem (zie Akerlof, 1970), geen noemenswaardige tweedehandsmarkt voor machines bestaat. Verder veronderstellen we dat de onderneming ook na de adoptie van een nieuwe technologie blijft opereren op een markt onder volledige mededinging zodat de verkoopprijs p niet verandert.

Zoals reeds eerder vermeld is nu het probleem voor de onderneming om te bepalen op welke momenten zij moet overgaan op het produceren met nieuwe technologieën. We zullen hier alleen het minder moeilijke geval beschouwen waar de onderneming hoogstens één keer kan investeren in een nieuwe technologie. Dit betekent dat de nieuwe technologie voor altijd gebruikt zal worden vanaf het moment dat die geïnstalleerd is. Voor de bestudering van een scenario waar meerdere investeringen mogelijk zijn verwijzen we naar Farzin, Huisman en Kort (1996).

Het probleem waar de onderneming zich nu voor gesteld ziet kan beschouwd worden als een 'optimal stopping' probleem (zie bijv. Dixit en Pindyck, 1994), waarbij doorgaan optimaal is voor θ voldoende klein (m.a.w. de onderneming investeert nog niet) en stoppen optimaal is voor θ voldoende groot (m.a.w. de onderneming investeert). Dit suggereert dat er een kritieke waarde θ^* moet bestaan zodanig dat het optimaal voor de onderneming is om te investeren voor $\theta > \theta^*$, terwijl ze moet afzien van investeren zolang $\theta < \theta^*$.

In Farzin, Huisman en Kort (1996) wordt dit probleem opgelost met behulp van dynamisch programmeren. De uitkomst is dat de kritieke waarde θ^* impliciet bepaald wordt door de volgende gelijkheid:

$$\frac{\lambda\vartheta}{\bar{u}r(b+1)}\{(\theta^*+\bar{u})^{b+1} - (\theta^*)^{b+1})\} - \frac{(r+\lambda)\vartheta}{r}(\theta^*)^b + \vartheta\theta_0^b + rI = 0, \tag{4.3}$$

waarbij

$$\vartheta = (1-a)\left(\frac{a}{w}\right)^{\frac{a}{1-a}} p^{\frac{1}{1-a}}, \tag{4.4}$$

$$b = \frac{1}{1-a}. \tag{4.5}$$

Voor dit model hebben we het volgende numerieke voorbeeld doorgerekend. We veronderstellen dat de outputelasticiteit gelijk is aan $a = 0.5$ (implicerend dat de productiefunctie gegeven wordt door $h(v) = \theta v^{\frac{1}{2}}$), de verkoopprijs van het eindproduct is $p = 200$, en de kosten per eenheid variabele input is $w = 50$. Op het moment produceert de onderneming met een technologie waarvan de efficiëntie parameter gelijk is aan $\theta_0 = 1$. De parameters van het sprongproces volgens welke de technologie evolueert stellen we op $\lambda = 1$, hetgeen betekent dat gemiddeld eens per jaar een nieuwe technologie zich aandient, en $\bar{u} = 0.2$. De disconteringsvoet is $r = 0.10$ terwijl het onomkeerbare investeringsgedrag in een nieuwe technologie gelijk is aan $I = 1600$. Substitutie van deze parameterwaarden in (4.3) leidt tot een kritieke waarde van $\theta^* = 2.7127$. Met behulp van simulatie konden we uitrekenen dat het gemiddeld langer dan 17 jaar duurt, om precies te zijn $t^* = 17.79$, voordat θ deze waarde bereikt. Dus ingeval van maximaal één investering is het optimaal om gemiddeld zo'n 17 jaar te wachten met investeren in een nieuwe technologie.

Het is interessant om dit resultaat te vergelijken met de uitkomst die verkregen zou zijn als het bedrijf de Netto Contante Waarde methode had toegepast. In dat geval had de onderneming reeds geïnvesteerd op het moment dat θ de waarde van 1.3416 te boven gaat, en deze waarde wordt gemiddeld genomen binnen zo'n 4.08 jaar bereikt.

Bij toepassing van de NCW regel wordt er dus meer dan 13 jaar te vroeg geïnvesteerd. De reden is dat de NCW regel geen rekening houdt met de optiewaarde die verloren gaat bij het daadwerkelijk plegen van de investering. Als men in ons model op een bepaald tijdstip, zeg t_0, de technologieinvestering uitstelt, dan is er een kans dat de onderneming later kan investeren in een technologie met een hoger efficiëntieniveau dan als zij had geïnvesteerd op tijdstip t_0. Dit houdt in dat de optie om het aantrekken van een nieuwe technologie uit te stellen een positieve waarde heeft, waaruit volgt dat de optimale investering op een later tijdstip zal plaatsvinden dan onder de NCW methode.

5 Conclusies

In deze bijdrage hebben we binnen diverse cases onderzocht hoe de onderneming optimaal moet investeren. De klassieke manier is om uitsluitend de cash flows in beschouwing te nemen en die te disconteren, hetgeen gedaan wordt binnen de Netto Contante Waarde methode. Uit een recente stroming binnen de economische literatuur blijkt dat dit tot geheel verkeerde uitkomsten kan leiden indien een investering onomkeerbaar is en op meerdere momenten kan plaatsvinden. In zo'n geval zijn er, analoog aan de theorie van de financiële markten, optiewaarden in het spel waarmee de NCW methode geen rekening houdt. Meestal betekent dit dat het, in geval de Netto Contante Waarde van een project positief is, toch optimaal kan zijn om de investering uit te stellen teneinde te wachten op nieuwe informatie betreffende de uitkomst van onzekere factoren binnen de economische omgeving van de onderneming. Een perfecte illustratie biedt de technologie-investering uit paragraaf 4. Echter, het meenemen van dergelijke optiewaarden werkt niet altijd dezelfde kant uit. Neem bijvoorbeeld het R&D investeringsproject uit paragraaf 3, waar een leereffect een extra waarde geeft aan investeren zodanig dat het optimaal kan zijn om toch te investeren terwijl de Netto Contante Waarde negatief is.

Literatuur

Akerlof, G.A. (1970), The market for lemons: qualitative uncertainty and the market mechanism, *Quarterly Journal of Economics*, 84, pp. 488-500.

Dixit, A.K., Pindyck, R.S. (1994), *Investment under Uncertainty*, Princeton University Press, Princeton.

Farzin, Y.H., Huisman, K.J.M., Kort, P.M. (1996), *Optimal timing of technology adoption*, CentER discussion paper, no. 9672, Tilburg University.

Feichtinger, G., Hartl, R.F. (1986), *Optimale Kontrolle Oekonomischer Prozesse,* De Gruyter, Berlin.

Guerard, J.B., Bean, A.S., Andrews, S. (1987), R&D management and corporate financial policy, *Management Science*, 33, pp. 1419-1427.

Hartl, R.F., Kort, P.M. (1996), Capital accumulation of a firm facing an emissions tax, *Journal of Economics*, 63, pp. 1-23.

Kamien, M.I., Schwartz, N.L. (1982), *Market Structure and Innovation,* Cambridge University Press, Cambridge.

Kort, P.M. (1996), *Optimal R&D investments of the firm,* CentER Discussion paper No. 9647, Tilburg University.

Pindyck, R.S. (1993), Investments of uncertain cost, *Journal of Financial Economics,* 34, pp. 53-76.