

Investerings in energiebesparing in de glastuinbouw: een 'reële optie'-benadering

Paul Diederer
Frank van Tongeren
Hennie van der Veen

Projectcode 61221

Mei 2002

Rapport 2.02.05

LEI, Den Haag

Het LEI beweegt zich op een breed terrein van onderzoek dat in diverse domeinen kan worden opgedeeld. Dit rapport valt binnen het domein:

- Wettelijke en dienstverlenende taken
- Bedrijfsontwikkeling en concurrentiepositie
- Natuurlijke hulpbronnen en milieu
- Ruimte en Economie
- Ketens
- Beleid
- Gamma, instituties, mens en beleving
- Modellen en Data

Investerings in energiebesparing in de glastuinbouw: een 'reële optie'-benadering
Diederer, P.J.M., F.W. van Tongeren en H.B. van der Veen

Den Haag, LEI, 2002

Rapport 2.02.05, ISBN 90-5242-717-8; Prijs € 9,98 (inclusief 6% BTW)

40 p., fig., tab., bijl.

De investeringen in energiebesparende installaties in de Nederlandse glastuinbouw lopen achter op wat volgens gangbare modelberekeningen winstgevend zou zijn. Deze berekeningen zijn echter gebaseerd op traditionele investeringstheorieën. Die theorieën houden geen rekening met de onzekerheid en onomkeerbaarheid waarmee de genoemde investeringen gepaard gaan. In dit onderzoek wordt met behulp van de 'reële optie'-theorie geprobeerd een verklaring te geven voor het verschil tussen de door gangbare modellen voorspelde penetratiegraden van energiebesparende installaties en wat in de praktijk wordt waargenomen.

Bestellingen:

Telefoon: 070-3358330

Telefax: 070-3615624

E-mail: publicatie@lei.wag-ur.nl

Informatie:

Telefoon: 070-3358330

Telefax: 070-3615624

E-mail: informatie@lei.wag-ur.nl

© LEI, 2002

Vermenigvuldiging of overname van gegevens:

- toegestaan mits met duidelijke bronvermelding
- niet toegestaan



Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO-NL) van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Kamer van Koophandel Midden-Gelderland te Arnhem.

Inhoud

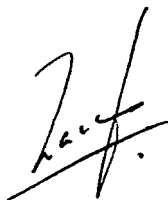
	Blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1. Inleiding	11
2. Basisgedachte 'reële optie'-theorie	14
3. Basismodel van investeringen	17
3.1 Model zonder onzekerheid	17
3.2 Model met onzekerheid	19
4. Operationalisering van de methode	21
4.1 Simulatie van reeksen contante waardes per bedrijf	21
4.2 Vertaling Contante Waardes naar annuïteiten	25
4.3 Schatting van de parameters van het stochastisch proces	25
4.4 Bepaling van de drempelvoeten	26
5. Resultaten	28
6. Conclusies	34
Literatuur	35
Bijlagen	
1 Afleidingen model met onzekerheid	37
2 Bedrijven-Informatienet van het LEI	40

Woord vooraf

Dit onderzoek heeft plaatsgevonden in het kader van programmafinanciering van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, onder het programma Milieu en Technologie. Naast de auteurs hebben ook Nico van der Velden (LEI) en Peter Vermeulen (Proefstation Bloemisterij en Glasgroenten) een bijdrage geleverd aan dit onderzoek. Hun aandeel bestond voornamelijk uit technische kennis omtrent energiebesparing.

Tijdens het congres 'Conference on Sustainable Energy: New challenges for Agriculture and Implication for Land Use' gehouden in Wageningen van 17 tot en met 19 mei 2000, is een paper gepresenteerd die op deze studie is gebaseerd. Opmerkingen van de deelnemers van dit congres zijn in dit rapport verwerkt. De paper getiteld 'Returns on Investments in Energy-saving Technologies under Energy Price Uncertainty in Dutch Greenhouse Horticulture' is vervolgens geaccepteerd voor publicatie in een special issue van *Environmental and Resource Economics*. Ook de opmerkingen van de referees zijn in dit rapport verwerkt.

De directeur,



Prof.dr.ir. L.C. Zachariasse

Samenvatting

De te verwachten penetratiegraden van energiebesparende opties in de Nederlandse glastuinbouw voorspeld op basis van traditionele investeringstheorieën liggen veel hoger dan wat in de praktijk wordt waargenomen. In dit onderzoek wordt geprobeerd een verklaring voor dit verschil te vinden op basis van de 'reële optie'-theorie.

De 'reële optie'-theorie gaat ervan uit dat in het geval van onzekerheid en irreversibiliteit het wachten met het uitvoeren van de investering een bepaalde waarde heeft. Het plegen van de investering vernietigt de waarde van het wachten op een betere gelegenheid; dit is een vorm van kosten die bij de kosten van de investering moeten worden opgeteld. De theorie levert relatief eenvoudige rekenregels op, die net als de traditionele Netto Contante Waarde (NCW)-berekening, gebruikt worden om een oordeel te geven over de winstgevendheid van een project. De verwachte bruto-opbrengst van de investering moet namelijk hoger zijn dan de kosten van het investeringsproject, vermenigvuldigd met de 'hurdle rate' oftewel drempelvoet. De drempelwaarde van een investeringsproject is dan gelijk aan de drempelvoet vermenigvuldigd met het investeringsbedrag.

In dit rapport is met behulp van het investeringsselectiemodel van Nico van der Velden (1992) een schatting gemaakt van de drempelwaarde voor te verwachten opbrengsten van de investeringen in warmteopslag en de condensor in geval van onzekerheid met betrekking tot gasprijzen en het beleid met betrekking tot de energieheffing. Bij de traditionele NCW-berekening is een investering rendabel indien de bruto contante waarde van de te verwachten opbrengsten groter is dan de investeringskosten. Met andere woorden, de netto contante waarde is groter dan 0. De drempelwaarde is in dat geval dus gelijk aan het investeringsbedrag. Bij de berekeningen op basis van de 'reële optie'-theorie worden voor de condensor en warmteopslag drempelvoeten gevonden van 1,76. In geval van onzekerheid en irreversibiliteit moet de bruto contante waarde van de te verwachten opbrengsten dus 76% hoger liggen dan bij de traditionele NCW-methode, wil de investering rendabel zijn.

Verder is er getoetst in hoeverre de 'reële optie'-theorie in staat is het investeringgedrag te voorspellen. Op basis van de berekende drempelvoeten en rentabiliteit van de investering is voorspeld welke bedrijven wel en welke bedrijven niet zullen investeren. De uitkomsten hiervan zijn bemoedigend, aangezien statistische tests aangeven dat hogere drempelvoeten de penetratiegraad verminderen.

1. Inleiding

De Nederlandse glastuinbouwsector, vertegenwoordigd door het Landbouwschap en de Nederlandse overheid, heeft begin 1993 een MeerJarenAfspraak-Energie ondertekend met als doelstelling een verbetering van de energie-efficiëntie met 50% in de periode 1980-2000 (Van der Velden et al., 1993). Door verbetering van de energie-efficiëntie wordt ernaar gestreefd een bijdrage te leveren aan de landelijke reductie van de CO₂-emissie. Er worden door de glastuinbouwbedrijven verschillende energiebesparende installaties en technieken ingezet om dit doel te bereiken. Te denken valt aan energieschermen, klimaatcontrole, warmteopslag en condensoren. Dit onderzoek gaat over de laatste twee soorten installaties.

De condensoren koelen de uitlaatgassen van de verwarmingsketels in de kassen af. De opgevangen warmte wordt dan weer hergebruikt. Er worden momenteel 3 soorten condensoren gebruikt: de enkelvoudige condensor, de enkelvoudige op een apart net en een meervoudige condensor. Het gebruik van een enkelvoudige condensor leidt tot een besparing van 4 tot 5%, een meervoudige tot 10%. De warmteopslagtank wordt gebruikt om warmte op te slaan wanneer er gas verbrand wordt voor CO₂-dosering. Dat laatste vindt meestal overdag plaats, wanneer er niet altijd warmte nodig is. De warmte die dan wordt geproduceerd, wordt opgeslagen in een warmteopslagtank en 's nachts gebruikt, wanneer er wel warmte-, maar geen CO₂-behoefte is.

Op het gebied van de energiebesparing in de glastuinbouw door middel van investeringen in energiezuinige installaties is tot nu toe langs twee lijnen onderzoek verricht. Ten eerste is onderzocht wat de maximaal technisch haalbare energiebesparing is. Ten tweede is onderzocht wat de potentiële economische penetratiegraad van dergelijke installaties is. Hierbij is ervan uitgegaan dat de penetratiegraad bepaald wordt door het bedrijfseconomisch rendement (vastgesteld door middel van kosten-batenanalyse) van de installaties. Op bedrijfsniveau is berekend welke combinaties van energiebesparende technieken een positief rendement opleveren, en dus in principe een zinvolle investering zijn.

De penetratiegraad van de genoemde energiebesparende opties is echter aanzienlijk lager dan op grond van de Netto Contante Waarde (NCW)-methode verwacht mocht worden. In 1997 is een condensor aanwezig op 69% van de bedrijven en een warmteopslagtank op 16% van de bedrijven. Echter, de NCW-berekeningen suggereren dat voor 83% van de bedrijven de condensor interessant is en voor 34% van de bedrijven een warmteopslag. Ondanks de aangetoonde positieve rendementen blijven de investeringen in energiebesparende installaties, en daarmee de gewenste reductie in energieverbruik, dus achter bij de verwachtingen.

Het aanzienlijke verschil tussen de potentiële en werkelijke penetratiegraad, berekend op basis van de NCW-berekeningen is ook gevonden in andere landen en sectoren. Van Soest en Bulte (2001) geven het voorbeeld van de 'long nip press' in de Nederlandse papierindustrie. Hoewel deze machine zou leiden tot een energiebesparing van 22% met een terugverdienperiode van 7 jaar, wordt deze investering weinig toegepast. Op nationaal niveau verwijzen van Soest en Bulte naar een studie van de Amerikaanse National Academy of Sciences (1991) waarin bewijs wordt geleverd dat een vermindering van 37% in de uitstoot van koolstofhou-

dende gassen op een rendabele manier kan worden bereikt. Zij verwijzen vervolgens ook nog naar een studie van Bruce et al. (1996) waarin staat vermeld dat een besparing van 10-35% op de uitstoot van koolstofhoudende gassen kan worden bereikt op een rendabele manier.

Verskillende hypothesen zijn opgeworpen in de literatuur om dit verschijnsel te verklaren. Ten eerste wordt verwezen naar marktimperfecties of organisatorische en institutionele drempels (DeCanio, 1998). Ten tweede wordt ook wel aangegeven dat op de markt voor nieuwe technologieën hoge transactiekosten bestaan, aangezien het gaat om complexe technologieën, weinig transparantie, begrensde rationaliteit en beperkte managementvaardigheden aan de kant van de potentiële gebruikers van de technologie (Fagundes de Almeida, 1998). De derde categorie verwijst naar de onzekere toekomst. Die onzekerheid kan slaan op de onzekerheid omtrent toekomstige technologische ontwikkelingen maar ook op de onzekerheid omtrent de winstgevendheid van de technologie.

Voor de verklaring van het verschil tussen de potentiële en werkelijke penetratiegraden van de energiebesparende opties in de Nederlandse glastuinbouw kunnen factoren worden aangevoerd als onbekendheid met de beschikbare besparingsalternatieven, tijdshorizon van de bedrijfseigenaar en andere bedrijfsspecifieke omstandigheden. Een andere belangrijke factor is onzekerheid omtrent toekomstige ontwikkelingen, en daar gaat dit onderzoek met name over. Onzekerheid bestaat in de glastuinbouw onder andere met betrekking tot:

- toekomstige kosten van energiebesparende installaties;
- toekomstige verkoopprijzen;
- toekomstige inputprijzen, met name de energieprijzen.

Onomkeerbaarheid (irreversibiliteit) van de investeringen is een weerslag van het gegeven dat de waarde van alternatieve toepassingen van dergelijke installaties erg laag zijn. Indien de investering is gepleegd, zit men eraan vast en kan niet (of slechts met een groot verlies) de investering weer ongedaan maken. Dat wil zeggen dat de investeringen in grote mate verzonken (sunk) zijn.

We beperken ons in dit onderzoek tot investeringen in de condensor en warmteopslag en richten ons op de hypothese dat een deel van de kloof tussen het percentage bedrijven waarvoor een optie rendabel is en het percentage bedrijven dat de optie heeft toegepast, kan worden verklaard door de factor onzekerheid. We gebruiken de 'reële optie'-benadering om investeringsbeslissingen onder onzekerheid en irreversibiliteit te analyseren. De methode levert uiteindelijk relatief eenvoudige beslisregels op die, net als de conventionele Netto Contante Waarde, gebruikt worden om een oordeel over de wenselijkheid van investeringsprojecten te geven. In het bijzonder wordt per bedrijf een drempelvoet voor het rendement van de investering berekend. De stelling hierbij is dat pas indien het rendement (bruto contante waarde gedeeld door het investeringsbedrag) boven de drempelvoet uitkomt, het aantrekkelijk is om te investeren. Deze drempelvoet is afhankelijk van het kansproces dat de onzekerheid van de opbrengsten van de investering beïnvloedt. We gebruiken in dit onderzoek een stochastische simulatie om per steekproefbedrijf de onzekerheid rond de investeringen en de nodige parameters te schatten. Die simulatie sluit aan bij de benadering van Purvis et al. (1995).

Na het inleidende hoofdstuk wordt in hoofdstuk 2 ingegaan op de basisgedachte van de 'reële optie'-theorie. In hoofdstuk 3 wordt vervolgens het model zonder en met onzekerheid beschreven. De gehanteerde operationalisatie van de methode wordt in hoofdstuk 4 gegeven

waarna de gevonden resultaten in hoofdstuk 5 staan beschreven. Het rapport wordt afgesloten met de conclusies in hoofdstuk 6.

2. Basisgedachte 'reële optie'-theorie

Vanuit recente ontwikkelingen in de investeringsbeslissingstheorie (Dixit en Pindyck, 1994), worden aspecten van onzekerheid en onomkeerbaarheid van investeringsbeslissingen op elegante wijze vertaald naar optimale beslissingsregels. De basisgedachte achter deze recente benadering is dat investeren het uitoefenen van een optie is. Investeren nu betekent het opofferen van de optie te wachten. In geval van onzekerheid en irreversibiliteit kleeft er een positieve waarde aan de optie te wachten totdat meer informatie beschikbaar komt. Door te wachten kan door het vrijkomen van informatie uiteindelijk afgezien worden van de investering als de investering toch niet rendabel blijkt te zijn. De kosten van het wachten zijn gelijk aan het rendement wat misgelopen wordt tijdens het wachten.

Indien een bedrijf een irreversibele investeringsuitgave maakt, oefent het de investeringsoptie uit, de optie wordt 'ge-killed'. Door de investering wordt de mogelijkheid opgegeven te wachten op meer informatie die wellicht het tijdstip van investeren of de schaalgrootte van de investering zou kunnen beïnvloeden. Vanwege de irreversibiliteit kan het bedrijf niet desinvesteren indien de omstandigheden zich nadelig ontwikkelen. De opgeofferde optiewaarde is een opportunity-cost (alternatieve opbrengst) waarmee rekening moet worden gehouden naast de gebruikelijke kostencomponenten in de kosten-batenanalyse.

Een aspect van deze benadering is dat het drempelwaarden oplevert voor de Bruto Contante Waarde van investeringsprojecten. Bij de traditionele investeringstheorieën is de investering rendabel indien de Bruto Contante Waarde hoger is dan de drempelwaarde, in dit geval de investeringskosten. Bij de 'reële optie'-theorie ligt de drempelwaarde hoger en is gelijk aan de drempelvoet vermenigvuldigd met het investeringsbedrag. De drempelvoet is een functie van de parameters van de onderliggende kansprocessen die de onzekerheid genereren. Uit de moderne 'reële optie'-analyse (of: 'contingent claims'-analyse) volgt een gemodificeerd criterium: 'investeren indien de $BCW \geq \pi$ ', waarbij de drempelwaarde π afhankelijk is van de mate van onzekerheid en irreversibiliteit van een investeringsproject.

Deze theorie kan duidelijk een bijdrage leveren aan de verklaring van achterblijvende investeringen in energiebesparende installaties. Wanneer de drempelwaarde voor investeringen inderdaad naar boven gecorrigeerd moet worden, dan zijn de op de traditionele theorie gestoelde verwachtingen te optimistisch.

Ter illustratie van de optiegedachte volgt hier een eenvoudig voorbeeld. In dit cijfervoorbeeld is sprake van onzekerheid met betrekking tot de toekomstige energieprij. Met een kans van 1/2 stijgt de energieprij vanaf de volgende periode tot een bepaald niveau boven de huidige prijs, met een kans van 1/2 blijft de energieprij op het huidige niveau. Indien de energieprij stijgt, is de kostenreductie van de investering in energiebesparing gelijk aan 400 euro per jaar, indien de energieprij gelijk blijft is de kostenreductie slechts 200 euro per jaar. De investering wordt onmiddellijk operationeel en vergt een eenmalige uitgave ter grootte van $I = 3.000$ euro. Voor de eenvoud nemen we aan dat de investering een oneindige levensduur heeft, en veronderstellen een discontovoet van 10% per jaar. Onderstaand schema brengt de gegevens in kaart:

Kostenreductie					
t=0		t=1	t=2
200	→ 1/2	400	400
	→ 1/2	200	200

De verwachte NCW van onmiddellijk investeren is gelijk aan:

$$NCW_0 = -3000 + 200 + 0.5 \sum_{t=1}^{\infty} \frac{200}{1.1^t} + 0.5 \sum_{t=1}^{\infty} \frac{400}{1.1^t} = -2800 + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{300}{1.1^t} = -2800 + \frac{300}{0.1} = 200 \quad (1)$$

De NCW van de investering is positief. Volgens de traditionele zienswijze is het dus aan te raden om inderdaad onmiddellijk in energiebesparing te investeren. Dit criterium houdt echter geen rekening met de 'opportunity cost' van onmiddellijk investeren in plaats van te wachten totdat zich de werkelijke prijsontwikkeling openbaart. Investeren nu betekent het opgeven van de optie te wachten en de waarde van die optie valt te berekenen. Het alternatief ten opzichte van onmiddellijk investeren is pas te investeren wanneer in t=1 de energieprijzen omhoog gaat. Omdat de prijs met een kans van 1/2 stijgt, en er anders geen investeringen en dus ook geen kostenreductie, plaats vindt, wordt de NCW:

$$NCW_1 = 0.5 \left(\frac{-3000}{1.1} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{400}{1.1^t} \right) = \frac{-1500}{1.1} + \frac{200}{0.1} = 636 \quad (2)$$

De NCW van de latere investering is in dit geval ruim drie keer groter dan de NCW van onmiddellijk investeren. Het is dus beter om even te wachten. Merk op dat er twee ingrediënten nodig zijn om een positieve waarde voor wachten te genereren: onzekerheid en irreversibiliteit. Indien het mogelijk zou zijn om in periode 1, nadat de werkelijke prijzen bekend zijn, de investering weer ongedaan te maken (tweedehandsmarkt), dan zou onmiddellijk investeren wel het beste alternatief zijn. De onzekerheid moet verder wel dusdanig invloed hebben op de NCW dat de investeringsbeslissing in de situatie met onzekerheid anders uit kan vallen als in een situatie zonder onzekerheid. Met andere woorden, er moet sprake zijn van 'downside risk'. Als ondanks de onzekerheid altijd op hetzelfde tijdstip geïnvesteerd zou worden, omdat het altijd een rendabele investering is, dan heeft de onzekerheid geen invloed op de keuze om wel of niet te investeren.

Hoeveel zou een ondernemer bereid zijn te betalen voor een ruil van het inflexibele alternatief (onmiddellijk investeren) voor een flexibel investeringsalternatief (investeren alleen indien de energieprijzen omhoog gaat)? De waarde van de 'flexibiliteitsoptie' is in ons voorbeeld eenvoudig te bepalen, namelijk als het verschil in de NCW's: $636 - 200 = 436$.

Tot slot is nuttig te vermelden dat dit 'reële-optie'-raamwerk niet is beperkt tot de analyse van prijs en kosten onzekerheid. Een ander belangrijk flexibiliteitsaspect met betrekking tot energiebesparende investeringen is de keuze van een grootschalige installatie, versus sequentiële investeringen in meerdere kleine installaties (wellicht met hogere operationele kosten). Dit

kan met name nuttig zijn in verband met de voorgenomen liberalisatie van de Nederlandse gasmarkt, waarbij het aftoppen van piekbelasting voor de tuinder interessant wordt (Van der Velden 1999). Op dit aspect van de 'reële optie'-theorie gaan we in dit onderzoek niet in.

3. Basismodel van investeringen

In deze paragraaf houden wij ons bezig met de volgende vraag: op welk moment is het optimaal een eenmalige en onomkeerbare (sunk) uitgave ter grootte I te doen voor een project waarvan de waarde V is? De waarde V kan worden opgevat als de geldopbrengst van het project. Wij bestuderen eerst het geval van geen onzekerheid, en concentreren ons louter op het aspect van irreversibiliteit. Vervolgens introduceren we onzekerheid door ontwikkeling van V in de tijd te modelleren volgens een bepaald stochastisch proces, een geometrische Browniaanse beweging.

We zullen de waarde van de investeringsmogelijkheid weergeven met $F(V)$: de waarde van de optie te investeren. We zijn op zoek naar een investeringsregel die deze waarde maximaliseert. De waarde van het project indien op tijdstip t wordt geïnvesteerd is gelijk aan V_t . De opbrengst (pay-off) van de investering op tijdstip t is: $V_t - I$, en onze beslissingsregel maximaliseert de verwachte contante waarde door keuze van het investeringstijdstip T :

$$F(V) = \max E[(V_T - I) e^{-\rho T}] \quad (3)$$

waarbij E de verwachtingsoperator is, T het onbekende toekomstige tijdstip van investeren en ρ de discontovoet.

3.1 Model zonder onzekerheid

In algemene termen kan de ontwikkeling van de waarde van het investeringsproject als volgt worden weergegeven:

$$dV = \alpha V dt \quad (4)$$

waarbij dV de verandering van de waarde van het project gedurende een (oneindig) klein tijdsinterval dt , en α de constante groeivoet weergeeft. De oplossing van deze differentiaalvergelijking geeft de waarde van het project op elk moment t : $V(t) = V e^{\alpha t}$, met $V = V(0)$, V is dus de opbrengst van het project op het tijdstip 'nu'. In afwezigheid van onzekerheid wordt de waarde van de investeringsoptie op tijdstip T gegeven door:

$$F(V) = (V e^{\alpha T} - I) e^{-\rho T} \quad (5)$$

Deze uitdrukking geeft de gediscoteerde waarde van de investeringsoptie. De vraag is op welk moment T de investering gepleegd zou moeten worden, gegeven dat de huidige waar-

de (geldopbrengst) van het project gelijk is aan V . $F(V)$ dient te worden gemaximaliseerd door keuze van T . Het optimale investeringsmoment hangt af van de waarde van de groeiparameter α . Indien V constant is of een negatieve groei toont $\alpha \leq 0$, dan is het zeker optimaal om onmiddellijk te investeren indien $V > I$, en helemaal niet te investeren indien $V \leq I$.

Teneinde het optimale investeringsmoment te bepalen voor het meer interessante geval van $0 < \alpha < \rho$, differentiëren we $F(V)$ naar T , en verkrijgen de eersteordevoorwaarden waaraan op het optimale investeringsmoment T^* voldaan moet zijn:

$$\frac{dF(V)}{dT} = (\alpha - \rho)Ve^{(\alpha-\rho)T} + \rho I e^{-\rho T} = 0 \quad (6)$$

Dus

$$T^* = \frac{1}{\alpha} \ln \left[\frac{\rho I}{V(\rho - \alpha)} \right] \quad T^* \geq 0 \quad (7)$$

Voor welke combinaties van V en I is het optimaal om onmiddellijk te investeren? Om deze vraag te beantwoorden zetten we T^* gelijk aan nul en vinden de kritieke waarde voor V :

$$V^* = I \frac{\rho}{\rho - \alpha} \quad (8)$$

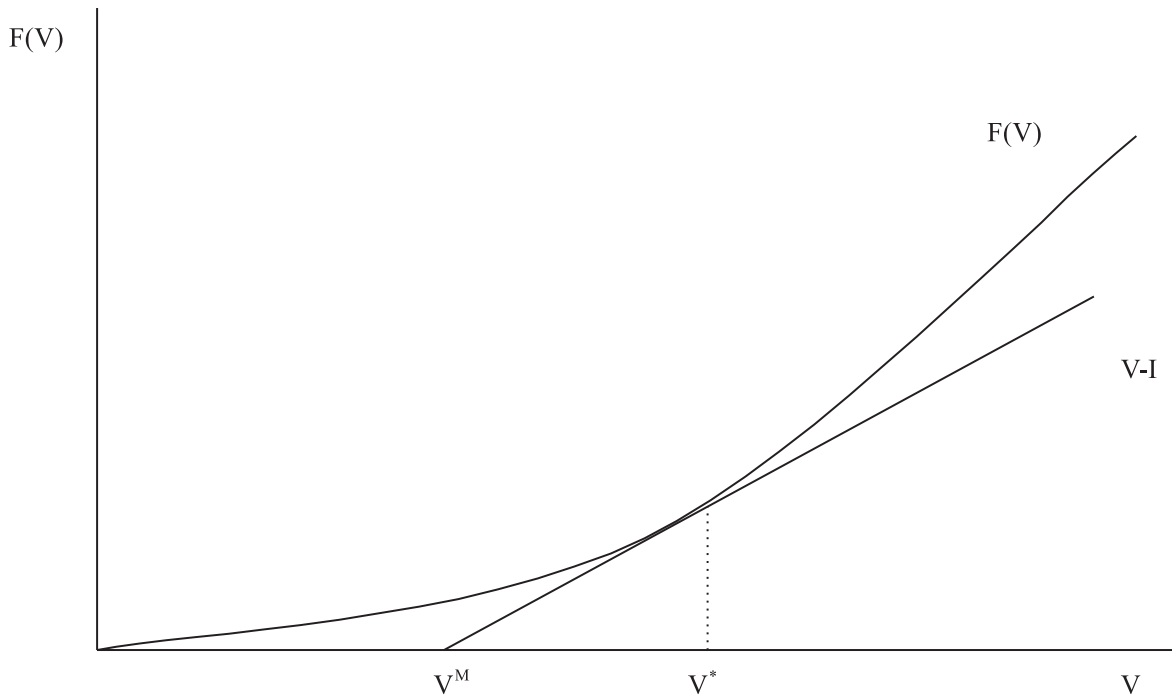
Ons eenvoudig model heeft aldus een gemodificeerde beslisregel opgeleverd. Onze beslisregel zegt dat onmiddellijke investering optimaal is indien de waarde van het project de investeringsuitgaven met een factor $\rho / (\rho - \alpha) > 1$ overtreft. Door substitutie van T^* in $F(V)$ verkrijgen we de waarde van de investeringsoptie voor alle waarden van V :

$$F(V) = \begin{cases} \left(\frac{\alpha I}{\rho - \alpha} \right) \cdot \left(\frac{(\rho - \alpha)V}{\rho I} \right)^{\frac{\rho}{\alpha}} & V \leq V^* \\ V - I & V > V^* \end{cases} \quad (9)$$

Indien $V \leq V^*$ is $T^* > 0$, is er dus een positieve waarde van wachten. Voor $V > V^*$ is onmiddellijke investering het aangewezen recept. Figuur 3.1 geeft de samenhang tussen V en $F(V)$, waarbij het raakpunt van de kromme met de rechte lijn $V - I$ de kritieke waarde $V^* = I\rho/(\rho - \alpha)$ oplevert. Volgens het klassieke NCW-beslissingscriterium zou in dit geval bij een waarde van V gelijk aan VM (de 'Marshallian trigger') worden geïnvesteerd. Bij deze waarde van V is immers de opbrengst even groot als de investering: $NCW = 0$. Merk op dat een verhoging van de groeiparameter (α) $F(V)$ verhoogt, dat wil zeggen dat bij een hogere groeivoet van de waarde van het project (bijvoorbeeld de geldopbrengsten) de waarde van wachten toeneemt.¹ In de tekening zou de $F(V)$ -kromme naar links en boven draaien.

¹ Vergelijk dit principe met het optimale economische tijdstip van slachten van vee of het kappen van bomen. In dergelijke problemen zal men 'oogsten' indien de groeivoet gelijk is aan de rentestand. Bij een groeivoet groter dan de rentestand levert wachten immers meer op dan de verkoopopbrengsten op de bank te zetten.

Een stijging van de discontovoet heeft het omgekeerde effect. Meer ongeduld (hogere ρ) vermindert de waarde van wachten.



Figuur 3.1 Waarde van een investeringsoptie
Bron: Dixit en Pindyck (1994).

3.2 Model met onzekerheid

We introduceren onzekerheid in het model door aan de groeivergelijking van V een stochastische term toe te voegen:

$$dV = \alpha V dt + \sigma V dz \quad (10)$$

waarbij dz de verandering van een Wiener-proces is (dit is een Random walk in continue tijd). Deze vergelijking is een geometrische Browniaanse beweging met drift. De parameter α is de driftparameter (of trend) en de parameter σ is de variantieparameter, voor de eigenschappen van het Wiener-proces en de wiskundige afleidingen zie bijlage 1. De te maximaliseren verwachte waarde van de investeringsoptie is nog steeds:

$$F(V) = \max E[(V_T - I) e^{-\rho T}] \quad (11)$$

Dit probleem kan worden opgelost door middel van de Bellman-vergelijking, en toepassing van Ito's lemma. Uiteindelijk resulteert de volgende uitdrukking voor de waarde V^* waarvoor het optimaal is om te investeren:

$$V^* = \frac{\beta_1}{\beta_1 - 1} I \quad (12)$$

waarbij β_1 een oplossing is van de fundamentele (vierkants)vergelijking:

$$\frac{1}{2} \sigma^2 \beta^2 + \beta \left(\alpha - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) - \rho = 0 \quad (13)$$

Deze vierkantsvergelijking heeft twee wortels, waarvan er slechts een positief is, en dus een geoorloofde oplossing:

$$\beta_1 = \frac{1}{2} - \frac{\alpha}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{\alpha}{\sigma^2} - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{2\rho}{\sigma^2}} \quad (14)$$

$$\beta_1 > 1$$

De optimale beslisregel blijkt verrassend eenvoudig te zijn. De waarde V^* waarvoor het optimaal is om te investeren is wederom gelijk aan een constante vermenigvuldigd met het investeringsbedrag, net als in het model zonder onzekerheid. Omdat $\beta_1 > 1$ (vanwege de aanname dat $\alpha < \rho$, zie pagina 17) hebben we ook $\beta_1 / (\beta_1 - 1) > 1$, dus de geldopbrengst V moet het initiële investeringsbedrag overstijgen, wil de investeringsoptie aantrekkelijk zijn. De traditionele NCW-beslisregel is dus onjuist! Onzekerheid en onomkeerbaarheid drijven een positieve wig tussen de kritieke waarde van V^* en het investeringsbedrag. Merk op dat we dit resultaat hebben verkregen zonder enige veronderstelling ten aanzien van de risicohouding van de beslisser te maken. Een grafische weergave van de resultaten is analoog aan figuur 3.1.

4. Operationalisering van de methode

De drempelvoeten zijn uiteraard niet observeerbaar, ze kunnen echter worden geschat met behulp van het investeringsselectiemodel (Van der Velden, 1992). Dit model wordt gebruikt om reeksen van contante waardes te genereren. Aan dit model zijn stochastische elementen met betrekking tot de gasprijsontwikkeling en een energieheffing toegevoegd. De gegenereerde reeksen 'waarnemingen' worden vervolgens gebruikt om de drempelvoeten per bedrijf te berekenen. Voor de berekeningen moeten de volgende 5 stappen worden genomen.¹

- simulatie van reeksen contante waardes per investering per bedrijf. De contante waarde van de investering hangt af van de aanwezige bedrijfsuitrusting (b), de energieprijzen (e) en het energiebeleid (p). De laatste twee zijn onzeker. De contante waarde van investeren op tijdstip t is:

$$CW_t = f(b_t, e_t, p_t)$$

waarbij $f(\cdot)$ een verkorte weergave van het investeringsselectiemodel is.

de CW van een periode later investeren is²:

$$CW_{t+1} = f(b_{t+1}, e_{t+1}, p_{t+1})$$

Het model wordt gebruikt om voor elk van de N bedrijven in de steekproef K reeksen van NCW_t en NCW_{t+1} te genereren, waarbij e en p uit kansverdelingen getrokken worden;

- vertaling contante waardes naar annuïteiten;
- schatting van de parameters van het stochastisch proces;
- bepaling van de drempelvoeten;
- econometrische analyse van de resultaten.

4.1 Simulatie van reeksen contante waardes per bedrijf

Met behulp van het energie-investeringsselectiemodel van Nico van den Velden (1992) kunnen de belangrijkste energiebesparingsopties en alternatieve energiebronnen bedrijfseconomisch worden doorgerekend. Daartoe wordt onder andere de netto contante waarde en het investeringsbedrag uitgerekend. Ook combinaties van opties kunnen worden doorgerekend, maar dit is binnen dit onderzoek niet gebeurd. Bij het bepalen van de netto contante waarde worden de jaarlijks te verwachten saldi van baten (gasbesparing) en lasten (brandstofverbruik alternatieve bron, elektriciteitsverbruik, onderhoud, arbeid) vergelijkbaar gemaakt.

¹ Deze opzet volgt in grote lijnen: Purvis et al. (1995). We gaan hier echter verder dan deze auteurs, omdat we (a) individuele bedrijven kunnen doorrekenen (zij gebruiken een 'gemiddeld' bedrijf), en (b) ook ex-post toetsen.

² Onze benadering wijkt enigszins af van de benadering van Purvis et al. (1995). Zij veronderstellen dat de gerealiseerde waarde van CW op tijdstip $t=1$ gelijk is aan de trekking van deze waarde op tijdstip 0. Wij gaan ervan uit dat zij hierbij een fout maken en menen dat dit niet gelijk hoeft te zijn en maken op tijdstip $t=1$ een nieuwe trekking voor de stochasten waarna een nieuwe CW voor $t=1$ wordt berekend.

De investering in warmteopslag heeft als achtergrond dat extra CO₂ kan worden gegeven in perioden wanneer er overdag geen warmtevraag is. Door een buffer kan de geproduceerde warmte voor een groot deel gebruikt worden in de nacht. Doordat hierdoor de CO₂ relatief goedkoper wordt, zal er meer CO₂ gedoseerd worden, waardoor de productie toeneemt. Het productie- (en opbrengsten)effect nemen we in deze studie niet mee, waardoor de berekende drempelvoeten als een bovengrens beschouwd kunnen worden. De besparing van de warmtebuffer wordt bepaald door te berekenen hoeveel gas het gekost zou hebben om zonder warmtebuffer hetzelfde CO₂-niveau te bereiken.

Het model berekent de netto contante waarde van de verschillende opties via een aantal stappen. Als eerste wordt voor elk bedrijf variabelen omtrent de bedrijfssituatie opgevraagd. Hierbij valt te denken aan bijvoorbeeld oppervlakte glas, brandstofintensiteit (uitgedrukt in m³ gas/m²), gebruiksrendement gasketel, aanwezige bedrijfsuitrusting. Op basis hiervan wordt in eerste instantie bepaald of een bedrijf een bepaalde optie al heeft en of een optie eventueel technisch haalbaar is. Aan de hand van de overige uitgangspunten, zowel technische (bijvoorbeeld besparingspercentages) als economische (bijvoorbeeld gasprijzen), wordt vervolgens de CW van een investering bepaald.

We gebruiken in dit onderzoek een stochastische simulatie om per steekproefbedrijf uit het Bedrijven-Informatienet van het LEI¹ de onzekerheid rond de investeringen te schatten en de nodige parameters te schatten. In het Informatienet worden ongeveer 1.500 land- en tuinbouwbedrijven vertegenwoordigd. Van die bedrijven worden technische en economische gegevens bijgehouden. Voor dit onderzoek hebben we alleen gebruikgemaakt van de glastuinbouwbedrijven in het Informatienet (in 1996 248 bedrijven en in 1997 243). Voor die bedrijven geldt dat ze zowel met betrekking tot investeringen in condensoren als tot de investeringen in warmteopslag in 3 groepen ingedeeld kunnen worden:

- de investering is technisch niet mogelijk of de brandstofintensiteit (m³ aardgasequivalenten/m²) is dusdanig laag dat de investering niet interessant is. Deze bedrijven worden bij de verdere berekeningen niet meer meegenomen;
- de investering is nog niet gedaan en is technisch mogelijk en kan rendabel zijn;
- de investering is al gedaan.

Onderstaande tabellen geven de indeling van de bedrijven in de 3 genoemde groepen en de kenmerken van de bedrijven in de verschillende groepen. Uit de onderstaande tabellen blijkt dat met name de grotere en meer intensieve bedrijven, uitgedrukt in brandstofintensiteit per m², al geïnvesteerd hebben in warmteopslag en condensor. Er zijn in totaal 107 bedrijven met betrekking tot investeringen in warmteopslag onderzocht, waarvan 63 bedrijven 2 keer voorkwamen en 44 bedrijven 1 keer. Er was niet een bedrijf dat in het ene jaar nog niet had geïnvesteerd en in het andere jaar wel. Met betrekking tot de condensor zijn er 264 bedrijven in de analyse meegenomen, waarvan 167 bedrijven in beide jaren voorkwamen in de dataset en 95 bedrijven maar 1 jaar.

¹ Zie bijlage 2.

Tabel 4.1 Indeling steekproefbedrijven met betrekking tot investeringen in warmteopslag

Warmteopslag	1996	1997	Totaal
Niet mogelijk (a)	159	161	320
Nog mogelijk (b)	51	42	93
Al gedaan (c)	38	40	78
Totaal	248	243	491

Tabel 4.2 Kenmerken steekproefbedrijven ingedeeld naar mogelijkheid tot warmteopslag investering (1996 en 1997 samen)

Warmteopslag	Gemiddelde brandstofintensiteit (m ³ gas /m ²)	Gemiddelde bedrijfsgrootte (m ²)
Niet mogelijk (a)	35,62	10.600
Nog mogelijk (b)	54,19	13.300
Al gedaan (c)	57,44	20.400
Totaal	42,60	12.700

Tabel 4.3 Indeling steekproefbedrijven met betrekking tot investeringen in condensor

Condensor	1996	1997	Totaal
Niet mogelijk (a)	26	28	54
Nog mogelijk (b)	57	47	104
Al gedaan (c)	165	168	333
Totaal	248	243	491

Tabel 4.4 Kenmerken steekproefbedrijven ingedeeld naar mogelijkheid tot warmteopslag investering (1996 en 1997 samen)

Condensor	Gemiddelde brandstofintensiteit (m ³ gas /m ²)	Gemiddelde bedrijfsgrootte
Niet mogelijk (a)	13,80	8.700
Nog mogelijk (b)	37,91	10.600
Al gedaan (c)	48,74	14.000
Totaal	42,60	12.700

Hoewel het model voor een groot aantal energiebesparende opties gebruikt kan worden, moeten wij ons hier beperken tot de condensor en warmteopslag. Ten eerste is het noodzakelijk dat er zowel bedrijven zijn die kunnen investeren in de desbetreffende optie als wel dat er bedrijven zijn die hier reeds in geïnvesteerd hebben. Anders is een vergelijking tussen de twee groepen niet mogelijk. Als tweede voorwaarde geldt dat de Netto Contante Waarde in de situatie zonder onzekerheid voor een aantal bedrijven groter dan 0 moet zijn. Door onzekerheid stijgt de drempelvoet van een investering. Als een investering zonder onzekerheid niet rendabel is, zal die met onzekerheid zeker niet rendabel zijn. Een vergelijking tussen de 'reële optie'-theorie en de traditionele investeringstheorie op basis van de NCW is dan niet goed mogelijk. Hieronder volgen de redenen waarom de overige opties niet zijn meegenomen:

- energieschermen zijn voor geen enkel bedrijf technisch haalbaar dan wel er is al geïnvesteerd;
- WK-installatie is voor geen enkel bedrijf in een situatie zonder onzekerheid interessant;
- er zijn geen bedrijven die al een warmtepomp hebben, waardoor er geen vergelijking mogelijk is;
- met de optie warmtelevering gaat nauwelijks een investering gepaard.

Uitgangspunten voor de simulaties

Er zijn zowel berekeningen gedaan voor bedrijven die al geïnvesteerd hebben als bedrijven die dat nog technisch gezien zouden kunnen doen. Op basis van de besparingspercentages en de onzekere gasprijs en heffing worden netto contante waardes gesimuleerd. Voor de bedrijven die al geïnvesteerd hadden, is de energie-intensiteit op basis van verwachte besparingspercentages teruggerekend naar de situatie zonder de besparende optie. Die gesimuleerde uitgangssituatie wordt dan in de verdere berekeningen als uitgangspunt gebruikt.

Bij de condensor bestond het probleem dat er verschillende typen condensoren bestaan: combicondensor, enkelvoudige condensor op een apart net en een enkelvoudig condensor op retour. Voor bedrijven die al een condensor hebben, wordt de CW en drempelvoet bepaald van de condensor die ze momenteel in hun bezit hebben. Voor de overige bedrijven wordt dan gekken welke condensor gegeven hun bedrijfsuitrusting en energie-intensiteit voor hen interessant is. Bij de Contante Waarde-berekeningen is gerekend met een rentevoet van 3,5%.

Kansverdelingen stochasten

De energieprij is de belangrijkste bron van onzekerheid voor de investeringen in energiebesparende opties in de glastuinbouw. We veronderstellen dat de energieprij een geometrische Browniaanse beweging volgt, waarbij de trend en de variantie geschat zijn op basis van historische gegevens over de afgelopen 10 jaar. De gasprijs is in jaar 1 11,0 eurocent, de trend is 3,8% en de standaarddeviatie 16,41%. In de situatie zonder onzekerheid zijn de gasprijzen gebaseerd op de prijzen zoals die vermeld staan in het European Coordination-scenario volgens het CBS. Dit is exclusief de energieheffing.

Naast de onzekerheid omtrent de energieprij introduceren we de factor beleidsonzekerheid. We veronderstellen dat het beleid met betrekking tot een energieheffing een Poisson-proces volgt. De kans dat er een energieheffing wordt ingesteld is jaarlijks 10%. De hoogte

van de heffing bedraagt 9,1 eurocent. De heffing in jaar t is gelijk aan de heffing in $t-1$ + de eventuele extra heffing.

4.2 Vertaling Contante Waardes naar annuïteiten

Een annuïteit is een constant geldbedrag per periode dat een zelfde contante waarde genereert als de stroom netto-opbrengsten die de investering oplevert volgens het rekenmodel zodat investeringen met niet gelijke looptijden vergeleken kunnen worden. Noem de annuïteiten respectievelijk V_t en V_{t+1} met ρ de disconteringsvoet, en n de tijdhorizon voor de investering.

$$V_t = \frac{\left[\frac{\rho}{1 - \left(\frac{1}{(1 + \rho)^{n-t}} \right)} CW_t \right]}{\rho} \quad (15)$$

$$V_{t+1} = \frac{\left[\frac{\rho}{1 - \left(\frac{1}{(1 + \rho)^{n-t-1}} \right)} CW_{t+1} \right]}{\rho} \quad (16)$$

4.3 Schatting van de parameters van het stochastisch proces

Vanwege de energieheffing maakt de gasprijs op een onzeker moment een bovenwaartse sprong van een bepaalde grootte. Samen met de overige veronderstellingen impliceert dit dat de waarde van de investeringsoptie beschreven kan worden door een geometrische Browniaanse beweging met drift en eraan toegevoegd een Poisson-proces:

$$\frac{V_{t+1}^* - V_t}{V_t} = \alpha \Delta t + \sigma \Delta z_t - \Delta q \quad (17)$$

evenals boven is Δz_t de verandering van een Wiener-proces, α is de driftparameter (of trend) en de parameter σ is de variantieparameter. Het nieuwe element is Δq , het increment van een Poisson-proces met een kans λ per periode op een gebeurtenis. Indien een gebeurtenis optreedt, stijgt q met een vast percentage ϕ ($0 \leq \phi \leq 1$). Het Wiener-proces en het Poisson-proces worden onafhankelijk van elkaar verondersteld ($E[\Delta z \Delta q] = 0$). Vergelijking 17 zegt dus dat V volgens de geometrische Browniaanse beweging fluctueert, maar dat er in elk tijdsinterval

Δt een kans van $\lambda \Delta t$ bestaat dat V $(1 + \phi)$ keer zijn oorspronkelijke waarde aanneemt om vervolgens rond dit nieuwe niveau te fluctueren.

De verwachting en de variantie van het gecombineerde kansproces verschillen van de standaard geometrische Browniaanse beweging met drift. Dixit en Pindyck (1994) laten zien dat de verwachting en de variantie van de relatieve verandering van V , $\Delta V/V$, bij benadering gegeven zijn door:

$$E\left(\frac{\Delta V}{V}\right) = \alpha \Delta t + \lambda \phi \Delta t \quad (18)$$

$$Var\left(\frac{\Delta V}{V}\right) = \sigma^2 \Delta t + \phi^2 \lambda \Delta t \quad (19)$$

Omdat bij benadering geldt: $(\Delta V / \Delta t)/V \approx \Delta \ln(V)$, kunnen gemiddelde μ en variantie s^2 over de NK-simulaties worden geschat als :

$$m_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta \ln(V_{ij}) \quad j = 1 \dots J \quad (20)$$

$$s_j^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta \ln(V_{ij}) - m_j)^2 \quad j = 1 \dots J \quad (21)$$

Gegeven een waarde voor λ , die exogeen in de simulaties is verondersteld, wordt voor elk gesimuleerd bedrijf de hoogte van het Poisson-increment ϕ uit de simulaties berekend. Vervolgens wordt een schatting voor de trendparameter α_j en de variantieparameter σ_j per tijdstap $dt = 1$ van het gecombineerde kansproces verkregen als:

$$\hat{\alpha}_j = m_j - \lambda \phi_j \quad (22)$$

$$\hat{\sigma}_j^2 = s_j^2 - \lambda \phi_j^2 \quad (23)$$

4.4 Bepaling van de drempelvoeten

Oplossen van de Bellmann-vergelijking en toepassen van Ito's lemma levert de fundamentele vergelijking voor de bepaling van de parameter β die nodig is voor de bepaling van de drempelwaarde V^* .

$$\frac{1}{2} \hat{\sigma}^2 \cdot \beta \cdot (\beta - 1) - \hat{\alpha} \cdot \beta - (\rho + \lambda) + \lambda \cdot (1 - \phi)^\beta = 0 \quad (24)$$

waarbij ρ de discontovoet voorstelt. Merk op de eerder geïntroduceerde vierkantsvergelijking een speciaal geval is van deze vorm. Voor $\lambda = 0$, dat wil zeggen geen Poisson sprongen, gaat

(24) over in (13). Vergelijking (24) heeft geen analytisch oplossing en moet numeriek worden opgelost voor β .¹

Op deze wijze wordt voor elk gesimuleerd bedrijf een β verkregen, en kan de drempelvoet worden bepaald als:

$$\frac{V^*}{I} = \frac{\beta}{\beta - 1} \tag{25}$$

¹ Dit is gedaan met behulp van Mathcad 5.0.

5. Resultaten

Onderstaande tabel geeft een vergelijking van de werkelijke en potentiële penetratiegraden. De laatste zijn zowel berekend op basis van de traditionele investeringstheorie als de 'reële optie'-theorie. In 1996 en 1997 was op 77 respectievelijk 45% van de bedrijven in onze steekproef een condensor of warmteopslagtank aanwezig. Volgens het conventionele kostenbatencriterium zou echter voor 93% respectievelijk zelfs 98% van de bedrijven een dergelijke investering rendabel zijn geweest. Volgens de hier voorgestelde nieuwe methodiek, blijkt dat deze percentages lager uitkomen, namelijk op 66 en 62%. De methode onderschat aldus de penetratiegraad van de condensor, en overschat de penetratiegraad van de warmteopslag.

Tabel 5.1 *Vergelijking van penetratiegraden (1996 en 1997 samen)*

	Condensor (N=433)	Warmteopslag (N=170)
% bedrijven reeds geïnvesteerd	77	45
% bedrijven met positief rendement (contante waarde >0)	93	98
% bedrijven rendement groter dan drempelvoet.	66	62

Tabel 5.2 geeft samenvattende statistische kenmerken van de geschatte drempelvoeten voor de twee onderzochte energiebesparende investeringen, te weten condensor en warmteopslag.¹ Voor de condensor betekent een gemiddelde drempelvoet van 1,76 dat rekening houdend met onzekerheid en onomkeerbaarheid, pas wordt geïnvesteerd indien de verwachte contante waarde van de investering ruim 1,7 keer het investeringsbedrag bedraagt. Voor de warmteopslag is deze factor ongeveer even groot. Beide gemiddelde drempelvoeten zijn statistisch significant.

Naast de drempelvoet en het rendement minus de drempelvoet staan in tabel 5.2 de statistische kenmerken van een andere veel gebruikte investeringsindicator vermeld, de verwachte terugverdiensdientijd. De gemiddelde drempelvoet is voor zowel de condensor als de warmteopslag 1,76. Het rendement op de condensor is echter hoger, wat tot uitdrukking komt in een groter verschil tussen rendement en drempelvoet. Bij de condensor is dit verschil 0,36 tegen 0,19 bij de warmteopslag.

De terugverdiensdientijd wordt bepaald door uit te rekenen hoelang het duurt voordat de kosten van de investering vergoed zijn door de extra kasstromen die aan de investering gerelateerd zijn.

Tabel 5.2 *Kenmerken drempelvoeten*

	Condensor			Warmteopslag		
	DREMPEL (a)	Rendement - drempelvoet (b)	Verwachte terugverdientijd	DREMPEL (a)	Rendement - drempelvoet	Verwachte terugverdientijd
N	433	433	433	170	170	170
Gemiddelde	1.764	0,355	6,1	1.756	0,193	5,6
Mediaan	1.760	0,260	5,1	1.744	0,154	5,3
Variantie	0,006	0,878	41,3	0,005	0,251	1,17
Minimum	1.621	-2.310	1,6	1.161	-0,900	3,0
Maximum	2.429	5.070	98,9	1.933	1,900	10,7

a) Drempelvoet = $\beta/\beta-1$, (b) rendement = CW investering/investering

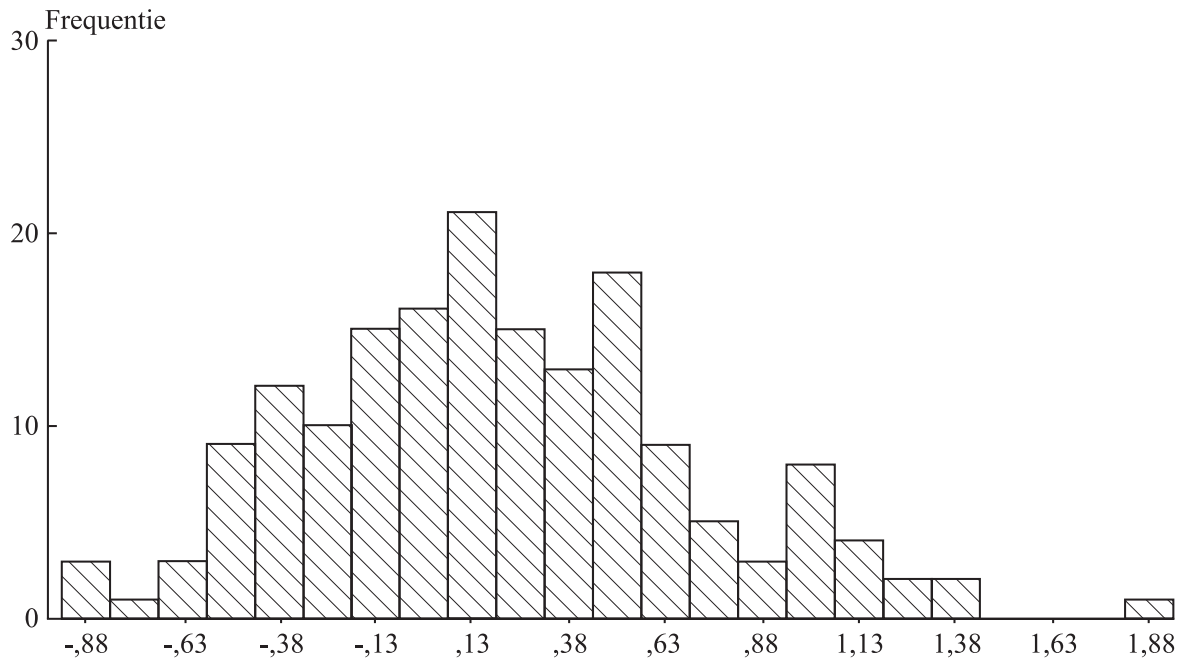
Is de jaarlijkse kasstroom een constante, dan kan het investeringbedrag gedeeld worden door de kasstroom om de terugverdientijd te bepalen. Is dit niet het geval, dan zal er van jaar tot jaar gekeken moeten worden of de cumulatieve kasstromen het investeringsbedrag evenaren of overschrijden. Stel dat een investering 3.000 euro kost en de jaarlijkse kasstromen het onderstaande schema volgen, dan kun je de terugverdientijd volgens het schema in tabel 5.3 berekenen. De terugverdientijd bedraagt in dit geval: 3 jaar + $300/700 = 3,4$ perioden.

Tabel 5.3 Voorbeeld berekening terugverdientijd

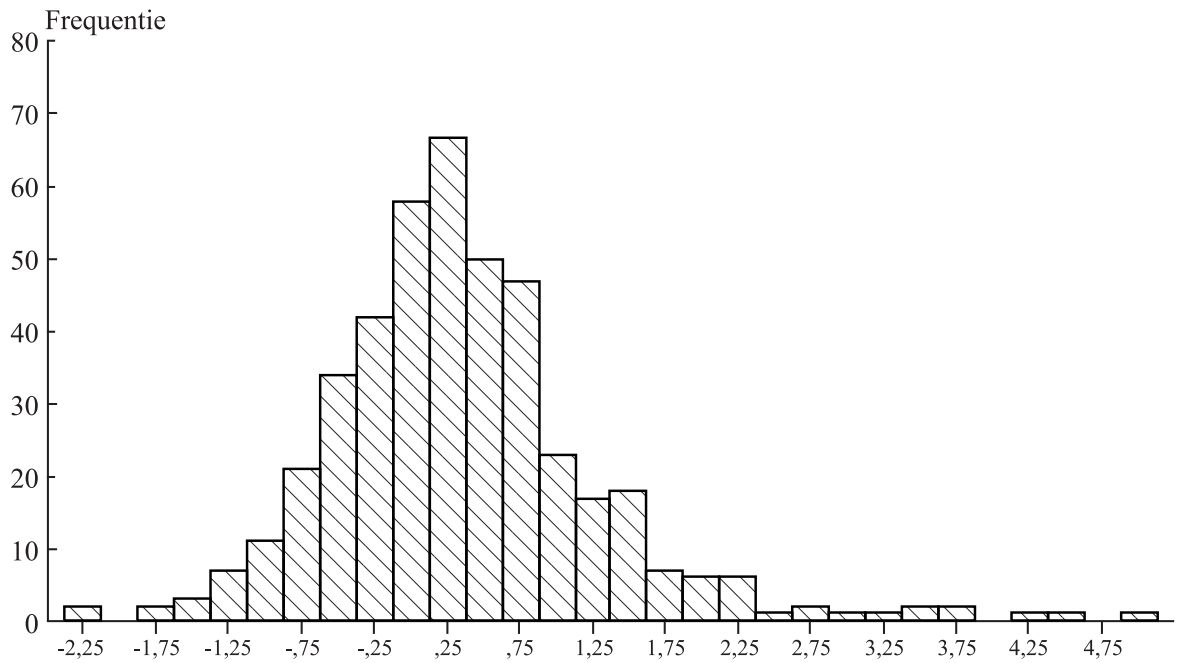
Periode	Kasstroom	Saldo
1	1.000	3.000
2	900	2.200
3	800	1.100
4	700	300
5	600	

De verdelingen van de geschatte drempelvoeten zijn redelijk symmetrisch rond het gemiddelde. Dit is ook te zien in figuren 5.1 en 5.2 die de verdelingen van het verschil tussen het rendement van de investering en de geschatte drempelvoet weergeven. In tabel 5.2 en de twee figuren is het rendement gedefinieerd als de verhouding tussen gesimuleerde CW en het investeringsbedrag. Indien het verschil (rendement - drempelvoet) positief is, dan is het volgens de gebezigde theorie zeker verstandig om te investeren, en indien het verschil negatief is, dan is het beter om investering uit te stellen. Verder geldt dat hoe groter het verschil is tussen het rendement en de drempelvoet, des te groter de prikkel is om te investeren. Wij zullen op deze maatstaf later nog terugkomen.

¹ Alle statistische bewerkingen zijn gedaan met SPSS 9.0 voor Windows.



Figuur 5.1 Rendement-drempelvoet, condensor



Figuur 5.2 Rendement-drempelvoet, warmteopslag

Verschillen tussen 'adopters' en 'non-adopters'

Nadat we in de voorgaande paragraaf drempelvoeten voor het geëiste rendement hebben gevonden is de volgende vraag of verschillen in drempelvoeten het al dan niet investeren in energiebesparende installaties kunnen verklaren. Met andere woorden: geldt voor een groot aantal bedrijven dat investeringen in de condensor en warmteopslag wel een positieve netto contante waarde hebben, maar dat het rendement toch lager is dan de drempelvoet.

Er blijkt uit tabel 5.4 dat de drempelvoet voor investeringen in een condensor niet voldoende tussen de 'adopters' en de 'non-adopters' discrimineert. De variantie tussen de twee groepen is veel kleiner dan variantie binnen de groepen (F-statistic = 0,016). Met behulp van het berekende verschil rendement-drempelvoet kan beter onderscheid tussen de twee groepen worden gemaakt, maar dit is bedrieglijk. De betere verklaringsgraad is toe te schrijven aan het rendement alleen. Het rendement (contante waarde van de investering/investering) is een betere maatstaf. Eenzelfde beeld doet zich voor in tabel 5.5 voor de warmteopslag. Een mogelijke reden voor dit enigszins teleurstellend resultaat is dat de gebruikte methode te weinig bedrijfs-specifieke variatie toelaat. De stochastische effecten (gasprijs en energieheffing) beïnvloeden alle steekproefbedrijven in principe in dezelfde mate, en werken ook in de rendementsberekeningen op dezelfde wijze door.

Tabel 5.4 Variantieanalyse condensor: adopters versus non-adopters

		Kwadraatsom	df	Gemiddelde kwadraatsom	F	Significantie
Drempelvoet	Tussen de groepen	0,016	1	0,016	2.535	0,112
	Binnen de groepen	2.766	431	0,006		
	Totaal	2.782	432			
Rendement-drempelvoet	Tussen de groepen	14.294	1	14.294	16.879	0,000
	Binnen de groepen	364.993	431	0,847		
	Totaal	379.287	432			
Rendement	Tussen de groepen	13.346	1	13.346	16.624	0,000
	Binnen de groepen	346.016	431	0,803		
	Totaal	359.362	432			

Tabel 5.5 Variantieanalyse warmteopslag: adopters vs. non-adopters

		Kwadraatsom	df	Gemiddelde kwadraatsom	F	Significantie
Drempelvoet	Tussen de groepen	0,000	1	0,000	0,023	0,880
	Binnen de groepen	0,766	168	0,005		
	Binnen de groepen	0,766	168	0,005		
Rendement-drempelvoet	Tussen de groepen	1.852	1	1.852	7.667	0,006
Rendement-drempelvoet	Tussen de groepen	1.852	1	1.852	7.667	0,006
	Binnen de groepen	40.579	168	0,242		
	Binnen de groepen	40.579	168	0,242		
	Totaal	42.431	169			
	Totaal	42.431	169			
Rendement	Tussen de groepen	1.880	1	1.880	8.557	0,004
Rendement	Tussen de groepen	1.880	1	1.880	8.557	0,004
	Binnen de groepen	36.911	168	0,220		

Teneinde na te gaan in hoeverre de drempelvoeten in staat zijn het investeringsgedrag te verklaren zijn aanvullende logistische regressies geschat. Hierbij is rekening gehouden met enkele bedrijfsspecifieke kenmerken. Het is immers goed denkbaar dat de drempelvoeten en het investeringsgedrag, mede afhangen van:

- het al dan niet aanwezig zijn van een bedrijfsopvolger, (binair [0,1] variabele: OPVOLGER);
- oppervlakte glas.

De geschatte vergelijkingen hebben als te verklaren variabele de kans dat een bedrijf investeert in de betreffende installatie, en als verklarende variabelen naast het verschil tussen drempelvoet en rendement de bovengenoemde bedrijfsspecifieke kenmerken. Alle schattingen zijn over de twee simulatiejaren 1996 en 1997 gedaan.

Naast de twee genoemde variabelen (opvolger en oppervlakte glas) hebben we ook gekeken naar de invloed van andere variabelen zoals type bedrijf, leeftijd ondernemer, bouwjaar kas en brandstofintensiteit. Echter, deze variabelen hadden geen verklarend vermogen of moesten weggelaten worden vanwege multicollineariteit. Het laatste was het geval bij bijvoorbeeld brandstofintensiteit en rendement minus drempelvoet.

Blijkens tabel 5.6 voorspelt het logistische model in 78% van gevallen het investeringsgedrag correct. Het model klasseert zelfs 100% van de bedrijven die wel hebben geïnvesteerd juist. Echter, bij de bedrijven die niet hebben geïnvesteerd doet dit model het slechter: slechts 6% van deze bedrijven worden door het model als zodanig geïdentificeerd, en dus 94% ten onrechte als investeerders aangemerkt.

Tabel 5.6 *Classificatietabel condensator*

	Voorspeld: niet geïnvesteerd	Voorspeld: wel geïnvesteerd	Juist voorspeld
Waargenomen: niet geïnvesteerd	6	94	6,0%
Waargenomen: wel geïnvesteerd	0	333	100%
Totaal			78,3%

Tabel 5.7 *Classificatietabel warmteopslag*

	Voorspeld: niet geïnvesteerd	Voorspeld: wel geïnvesteerd	Juist voorspeld
Waargenomen: niet geïnvesteerd	76	17	81,7%
Waargenomen: wel geïnvesteerd	34	43	55,8%

Voor de warmteopslag doet het model het in dit opzicht beter, zie tabel 5.7. Slechts 18% van de bedrijven die nog niet hebben geïnvesteerd wordt ten onrechte als investeerder geklasseerd. Van de bedrijven die wel hebben geïnvesteerd wordt 44% ten onrechte als niet-investeerder geklasseerd.

In tabel 5.8 wordt het statistische model voor de logit schatting gepresenteerd. Voor zowel de warmteopslag als de condensor zijn de rentabiliteit minus de drempelvoet en de oppervlakte glas significant verschillend van nul. De eerste is alleen bij de warmteopslag significant bij een significantieniveau van 10%.

Concluderend kan worden gesteld dat de bedrijfsspecifieke factoren rentabiliteit minus drempelvoet en de oppervlakte glas bijdragen aan de verklaring van het investeringsgedrag in warmteopslag en de condensor. Of er wel of geen opvolger aanwezig is heeft geen significante invloed op de investeringsbeslissing.

Tabel 5.8 Schattingsresultaten logitmodel

Variabele	Condensor c)		Warmteopslag d)	
	Coëfficiënt	Significantie	Coëfficiënt	Significantie
Rendement-/drempelvoet	0,466	0,003 a)	0,609	0,08 b)
Oppervlakte glas (1.000 m ²)	0,043	0,022 a)	0,097	0,000 a)
Opvolger (1 = ja; 0 = nee)	0,059	0,871	0,109	0,836
Constante	0,564	0,019 a)	-1.906	0,000 a)

a) Coëfficiënt verschilt significant van 0 bij een tweezijdige overschrijdingskans van 5%; b) Coëfficiënt verschilt significant van 0 bij een tweezijdige overschrijdingskans van 10%; c) Condensor: -2 Log Likelihood: 443,6; Cox & Snell R²: 0,06; d) Warmteopslag: -2 Log Likelihood: 203,3; Cox & Snell R²: 0,17

6. Conclusies

We begonnen dit onderzoek met de waarneming dat er een kloof is tussen de penetratiegraad van de condensor en de warmteopslagtank en het percentage bedrijven waarvoor volgens de traditionele investeringsbeslissingstheorie de investering wel rendabel zou zijn. De hypothese was dat onzekerheid een rol in de investeringsbeslissing zou spelen. Om dit te onderzoeken werd gebruikgemaakt van de 'reële optie'-theorie. Als bronnen van onzekerheid werden de gasprijs en een mogelijke energieheffing in de analyse opgenomen. Met behulp van een simulatiemodel werden drempelvoeten voor de condensor en warmteopslagtank gevonden van gemiddeld 1,76. De bruto contante waarde van de investering moet 1,76 keer zo groot zijn als de investeringskosten, wil de investering rendabel zijn. Bij de traditionele investeringsbeslissingstheorie zou de investering rendabel zijn als de bruto contante waarde hoger ligt dan de investeringskosten. Een drempelvoet van rond de 1,76 is in de orde van grootte of zelfs iets lager dan wat in Purvis et al. (1995) en Dixit en Pindyck (1994) voor andere soorten investeringen is gevonden.

De penetratiegraden van de condensor en warmteopslag worden beter ingeschat met de 'reële optie'-theorie dan met de traditionele investeringsbeslissingstheorie. De methode onderschat de penetratiegraad van de condensor, en overschat de penetratiegraad van de warmteopslag maar komt veel dichterbij de werkelijkheid. Op sectorniveau doet de 'reële optie'-theorie het dus beduidend beter dan de traditionele theorie. Uit de variantieanalyse blijkt dat het berekende rendement van de investering een beter onderscheid kan maken tussen 'adopters' en 'non-adopters' dan de drempelvoet. Een mogelijke reden voor dit enigszins teleurstellend resultaat is dat de gebruikte methode te weinig bedrijfsspecifieke variatie toelaat. De stochastische effecten (gasprijs) beïnvloeden alle steekproefbedrijven in principe in dezelfde mate, en werken ook in de rendementsberekeningen op dezelfde wijze door.

Op basis van de drempelvoeten is een logitfunctie geschat, waarbij de kans dat een bedrijf investeert in de optie de afhankelijke variabele is en het verschil tussen de drempelvoeten en het rendement, de oppervlakte glas en of er wel of geen opvolger op het bedrijf aanwezig is. Op sectorniveau zijn de resultaten heel behoorlijk. Het investeren in de warmteopslagtank blijkt beter te voorspellen te zijn, dan het investeren in de condensor.

Onzekerheid over toekomstige energieprijzen verhoogt dus de drempelwaarde van investeringen. Als gevolg hiervan zullen dus minder bedrijven investeren dan in een situatie zonder onzekerheid. Dit werpt de vraag op of investeringen in energiebesparende opties gestimuleerd zouden kunnen worden door de ontwikkeling van de energieprijzen over een bepaalde periode van bijvoorbeeld 10 jaar vast te leggen. Echter, voor de investeringsbeslissing onder onzekerheid is vooral het neerwaartse risico van belang: het risico dat de investering niet meer winstgevend zal zijn. Dit is alleen het geval als de energieprijs daalt. Een overheidsgarantie dat de prijs niet zal dalen lijkt onacceptabel.

Literatuur

Bruce, J.P., H. Lee and E.F. Haites, eds., *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 1996.

DeCanio, S.J., 'The Efficiency Paradox: Bureaucratic and Organizational Barriers to Profitable Energy-saving Investments'. In: *Energy Policy* 26 (1998) 5, 441-454.

Dixit, A.K., 'Investment and Hysteresis'. In: *Journal of Economic Perspectives* 6 (1992) 1, 107-132.

Dixit, A.K. en R.S. Pindyck, R.S., *Investment under Uncertainty*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1994.

Fagundes de Almeida, E.L., 'Energy Efficiency and the Limits of Market Forces: The Example of the Electric Motor Market in France'. In: *Energy Policy* 26 (1998) 8, 643-653.

National Academy of Sciences, *Policy Implications of Greenhouse Warming*. National Academy of Sciences, National Academy Press, Washington DC, 1991.

Purvis, A., W.G. Boggess, C.B. Moss, J. Holt, 'Technology Adoption Decisions under Irreversibility and Uncertainty: an ex ante Approach'. In: *American Journal of Agricultural Economics* 77 (1995) 541-551.

Van der Velden, N.J.A., B.J. van der Sluis and A.P. Verhaegh, *Energie in de glastuinbouw van Nederland, Ontwikkelingen in de sector en op bedrijven t/m 1993 (Energy in the Dutch horticultural sector)*. PR39-92. LEI-DLO, Den Haag, 1993.

Van Soest, D.P. and E.H. Bulte, 'Does the Energy-Efficiency Paradox Exist? Technological Progress and Uncertainty'. In: *Environmental and Resource Economics* 18 (2001) 101-112.

Velden, N.J.A. van der en P.C.M. Vermeulen, *Beschrijving energie-investerings-selectiemodel*. Interne Nota 407. LEI-DLO, Den Haag, 1992.

Velden, N.J.A. van der, A.P. Verhaegh, R. Bakker, A. van der Knijff, *Liberalisering aardgasmarkt; Verkenning glastuinbouw*. LEI, Den Haag, 1999.

Bijlage 1 Afleidingen model met onzekerheid

We introduceren onzekerheid in het model door aan de groeivergelijking van V een stochastische term toe te voegen:

$$dV = \alpha V dt + \sigma V dz \quad (1)$$

waarbij dz de verandering van een Wiener-proces is (dit is een Random walk in continue tijd). Deze vergelijking is een geometrische Browniaanse beweging met drift. De parameter α is de driftparameter (of trend) en de parameter σ is de variantieparameter.

Voor ons doel zijn de volgende eigenschappen van het Wiener-proces $Z(t)$ van belang:

De verandering van het Wiener-proces: $dz = \varepsilon_t \sqrt{dt}$ met $\varepsilon_t = N[0,1]$ en $E[\varepsilon_t, \varepsilon_s] = 0, t \neq s$ (2)

Verwachting: $E[dz] = 0$ (3)

Variantie: $V[dz] = E[(dz)^2] = dt$ (4)

De te maximaliseren verwachte waarde van de investeringsoptie is nog steeds:

$$F(V) = \max E[(V_T - I) e^{-\rho T}] \quad (5)$$

We lossen dit dynamische optimalisatieprobleem op door middel van de Bellman-vergelijking. Voor ons probleem wordt de Bellman-vergelijking:

$$\rho F dt = E[dF] \quad (6)$$

Deze vergelijking bepaalt het optimale moment van investeren door het verwachte rendement (linkerkant) gelijk te stellen aan de waardeverandering van de investeringsoptie (rechterkant).

De term dF aan de rechterkant kan worden bepaald door middel van Ito's lemma. In het algemeen, wanneer een functie $F(x,t)$ tenminste twee keer differentieerbaar is, dan kan dF worden gevonden als een tweede orde Taylor-benadering:

$$dF = \frac{\partial F}{\partial t} dt + \frac{\partial F}{\partial x} dx + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} (dx)^2 \quad (7)$$

(hogereordetermen in dt kunnen worden verwaarloosd, omdat zij harder naar nul gaan dan dt). Indien x een geometrische Browniaanse beweging volgt ($dx = \alpha x dt + \sigma x dz$), dan kan $(dx)^2$ als volgt worden gevonden: $(dx/x)^2 = \alpha^2(dt)^2 + 2\alpha\sigma dt dz + \sigma^2(dz)^2$. Omdat $dz = dt^{1/2}$ volgt: $(dx/x)^2 = \alpha^2(dt)^2 + 2\alpha\sigma(dt)^{3/2} + \sigma^2 dt$. De termen $(dt)^2$ en $(dt)^{3/2}$ gaan harder naar nul dan dt , indien $dt \rightarrow 0$, en kunnen dus worden verwaarloosd.

Het resultaat is dus: $(dx/x)^2 = \sigma^2 dt$, ofwel $dx^2 = x^2 \sigma^2 dt$.

Gewapend met deze kennis, kunnen we nu de term dF in de Bellman-vergelijking ontrafelen, waarbij we opmerken dat $\delta F/\delta t = 0$ en we F' en F'' gebruiken om de eerste en tweede afgeleide van F naar x aan te duiden. Volgens Ito's lemma wordt dF :

$$dF = F'(V)dV + \frac{1}{2} F''(V) dV^2 \quad (8)$$

Invullen van $dV = \alpha V dt + \sigma V dz$ en $dV^2 = V^2 \sigma^2 dt$ levert:

$$dF = F'(V)[\alpha V dt + \sigma V dz] + \frac{1}{2} F''(V) \sigma^2 V^2 dt \quad (9)$$

zodat de verwachting van dF , $E[dF]$ wordt (door gebruik te maken van $E[dz] = 0$ vanwege de eigenschappen van de Browniaanse beweging):

$$E[dF] = \alpha V F'(V) dt + \frac{1}{2} \sigma^2 V^2 F''(V) dt \quad (10)$$

Invullen in de Bellman-vergelijking levert een tweedeordedifferentiaalvergelijking die het optimale verloop van de waarde van de investeringsoptie weergeeft:

$$\frac{1}{2} \sigma^2 V^2 F''(V) + \alpha V F'(V) - \rho F = 0 \quad (11)$$

De oplossing van deze vergelijking dient te voldoen aan een drietal randvoorwaarden:

Indien de waarde van het project gelijk is aan nul ($V = 0$) dan heeft de investeringsoptie geen waarde:

$$F(0) = 0 \quad (12)$$

Indien er daadwerkelijk wordt geïnvesteerd, dan is de onmiddellijke opbrengst van de investering gelijk aan $V^* - I$, waarbij V^* de optimale (kritieke) waarde van de investering voorstelt. Deze 'value matching' conditie is (we hebben deze conditie reeds gebruikt in figuur 3.1):

$$F(V^*) = V^* - I \quad (13)$$

De functie $F(V^*)$ dient continu te zijn en naadloos aan te sluiten aan de opbrengsten functie. Deze 'smooth pasting' conditie is in ons geval:

$$F'(V^*) = I \quad (14)$$

De oplossing van (11) onder de randvoorwaarden c levert de kritieke waarde van het investeringsproject, dat wil zeggen de waarde van V^* waarvoor het optimaal is om daadwerkelijk te investeren.

De oplossing van vergelijking 11 heeft de vorm $F = AV^\beta$, met A en β nader te bepalen constanten. Invullen in (11) van op deze manier gespecificeerde F en de bijbehorende F' en F'' en herschikken levert de volgende vierkantsvergelijking op waaruit β opgelost kan worden:

$$\frac{1}{2}\sigma^2\beta^2 + \beta(\alpha - \frac{1}{2}\sigma^2) - \rho = 0 \quad (15)$$

Deze vierkantsvergelijking heeft twee wortels, waarvan er slechts een positief is, en dus een geoorloofde oplossing. De oplossing levert ons de meest cruciale parameterwaarde voor het beslissingsprobleem op:

$$\beta_1 = \frac{1}{2} - \frac{\alpha}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{\alpha}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{2\rho}{\sigma^2}}$$

$\beta_1 > 1$, omdat $\rho > \alpha$

(16)

De waarde van de investeringsoptie wordt dus:

$$F(V) = AV^{\beta_1} \quad (17)$$

Substitutie in b en c levert de waarde van V^* waarvoor het optimaal is om te investeren en de resterende constante A. De resultaten zijn achtereenvolgens:

$$V^* = \frac{\beta_1}{\beta_1 - 1} I \quad (18)$$

$$A = I^{(1-\beta_1)} \left(\frac{1}{\beta_1 - 1}\right)^{(1-\beta_1)} \beta_1^{-\beta_1} \quad (19)$$

Bijlage 2 Bedrijven-Informatienet van het LEI

Het Informatienet van het LEI is een gestratificeerde steekproef uit de land- en tuinbouwbedrijven in Nederland, die tot doel heeft een representatief beeld te geven van de bedrijfsuitkomsten en de financiële positie, evenals van de factoren die hierop van invloed zijn. Vertrekpunt voor de steekproef is de jaarlijkse CBS-Landbouwtelling.

De samenstelling van het Informatienet wordt behalve door het streven naar representativiteit van de Nederlandse land- en tuinbouw ook bepaald door de doelstelling zo betrouwbaar mogelijke gemiddelde uitkomsten te verkrijgen van groepen bedrijven, die zijn gevormd op basis van bedrijfsomvang (in nge en hectare), bedrijfstype en regionale ligging. Daarom wordt gewerkt met een gestratificeerde steekproef.

Omdat de spreiding in bedrijfsuitkomsten groter is naarmate de bedrijfsgrootte toeneemt en eveneens groter is op akkerbouw- dan op rundveebedrijven, zijn grote bedrijven relatief sterker vertegenwoordigd in het Informatienet dan kleine bedrijven en akkerbouwbedrijven relatief sterker dan rundveebedrijven.

In verband met verschillen in steekproefdichtheid voortvloeiend uit de opzet wordt per type, per grootteklasse, per leeftijdsklasse van de ondernemer en per landbouwgebied een wegingsfactor bepaald, die voor elk van de aldus gevormde subgroepen de verhouding aangeeft tussen het aantal bedrijven dat landelijk voorkomt en het aantal steekproefbedrijven. Door nu de resultaten per groep bedrijven te berekenen als een gewogen gemiddelde van de resultaten van individuele bedrijven waarbij de kengetallen van elk bedrijf zijn vermenigvuldigd met de wegingsfactor van de keuzegroep waarvan het deel uitmaakt, worden verschillen in steekproefdichtheid uitgeschakeld.

Alle bedrijven zijn steekproefsgewijs getrokken. Indien een volgens de steekproef aangewezen landbouwer niet bereid is tot deelneming aan het Informatienet wordt een ander uit dezelfde keuzegroep aangezocht. Bedrijven mogen maximaal 5 tot 7 jaar deelnemen. Jaarlijks wordt een deel (15 tot 20%) van de bedrijven vervangen, waardoor het Informatienet zich aangepast aan de veranderingen binnen de Nederlandse land- en tuinbouw. Deze ontwikkelingen worden gevolgd met behulp van de jaarlijkse Landbouwtelling van het CBS.