

Ontwikkeling van een theoretische samenhang tussen
en een praktisch framework voor de uitwerking van
reële opties en speltheorie

Christophe Van Helleputte

Promotoren: prof. dr. Mario Pickavet, ir. Sofie Verbrugge

Begeleider: dr. ir. Koen Casier

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van Master in de
ingenieurswetenschappen: elektrotechniek

Vakgroep Informatietechnologie
Voorzitter: prof. dr. ir. Daniël De Zutter
Faculteit Ingenieurswetenschappen
Academiejaar 2009–2010



Voorwoord

Graag zou ik iedereen willen bedanken die heeft bijgedragen tot de verwezenlijking van dit eindwerk, in het bijzonder dank ik:

- mijn promotoren, prof. dr. ir. Mario Pickavet en dr. ir. Sofie Verbrugge, voor het aanbieden, begeleiden en nalezen van deze thesis.
- mijn begeleider dr. ir. Koen Casier voor de tijd die hij heeft vrijgemaakt voor de vele afspraken, voor de constante feedback op mijn werk en voor de hulp bij het ontwikkelen van de code.
- mijn begeleider Mathieu Tahon voor het begeleiden en nalezen van mijn eindwerk.
- mijn ouders voor het nalezen van mijn eindwerk.

“De auteur geeft de toelating dit afstudeerwerk voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van het afstudeerwerk te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit dit afstudeerwerk.”

Christophe Van Helleputte, mei 2010

Ontwikkeling van een theoretische samenhang tussen en een praktisch framework voor de uitwerking van reële opties en speltheorie

door:

Christophe Van Helleputte

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master in de ingenieurswetenschappen: elektrotechniek

Academiejaar 2009–2010

Promotoren: prof. dr. ir. Mario Pickavet, dr. ir. Sofie Verbrugge

Begeleider: dr. ir. Koen Casier

Vakgroep Informatietechnologie

Voorzitter: prof. dr. ir. Daniël De Zutter

Faculteit Ingenieurswetenschappen

Universiteit Gent

Samenvatting

De stijgende vraag naar bandbreedte vereist het vernieuwen van telecomnetwerken, door bestaande vaste netwerken te vervangen door glasvezelnetwerken of door nieuwe draadloze netwerken uit te rollen. Dit gaat gepaard met grote investeringen waar heel wat risico's aan verbonden zijn. Voor een dergelijk grootschalig project is een grondige economische analyse vereist. Klassieke investeringstools houden hierbij geen rekening met de flexibiliteit van het management, een oplossing hiervoor is het werken aan de hand van reële opties. Bij de aanvang van het onderzoek werd een grondige literatuurstudie uitgevoerd, waaruit blijkt dat study/start opties (het project uitstellen), scale up opties (de schaal van het project vergroten) en switch up opties (veranderen van technologie) vaak toegepast worden en dat een Monte Carlo simulatie de beste methode is om reële opties uit te rekenen. Ook concurrentie speelt een belangrijke rol wanneer een investeringsproject wordt geëvalueerd. Speltheorie onderzoekt de invloed van concurrentie op beslissingen die spelers maken. De belangrijkste overweging die naar voor komt in de literatuur is het moment van investeren. Wanneer een bedrijf als eerste een markt kan aanboren zal dit bedrijf een groter klantenpotentieel verwerven. Reële opties en speltheorie kunnen samengenomen worden tot een option-game analyse die zowel flexibiliteit van het management, als de invloed van concurrentie in rekening brengt. De belangrijkste overweging die hier naar voor komt is de afweging tussen een study/start optie en het first movers advantage. In deze thesis is een Java model ontwikkeld dat automatisch reële opties kan uitrekenen en speltheorie kan modelleren op basis van een bestaand Java model. Study/start en abandon opties zijn algemeen toepasbaar, scale en switch opties bestuderen een specifieke mogelijkheid van een case. Ook kan automatisch een distributie van een sensitiviteitsanalyse, een payoff matrix bij concurrentie en een equilibrium in deze matrix berekend worden.

Trefwoorden

Reële opties, speltheorie, option-games, programmeertaal Java

Development of a theoretical relationship between and a practical framework for the application of real options and game theory

Christophe Van Helleputte

Supervisors: Mario Pickavet, Sofie Verbrugge, Koen Casier, Mathieu Tahon

Abstract-Telecom operators continuously need to upgrade their networks to meet the rising demands of bandwidth. Given the costs of such projects, a detailed techno-economic analysis is necessary. However, as costs and revenues of these projects contain a lot of uncertainties and are influenced by competition, real options and game theory should be used to value the investment. Real option theory calculates a manager's flexibility in steering a project's direction. Game theory models the influence of competition on the choices a company makes. Both are rather complex and tedious to integrate with an existing techno-economic model. In the first part of this paper we investigate the possibility of using these tools in a telecom business case analysis, separately and in a combined manner. In a second part we develop a framework in Java enabling us to automatically add real options and game theory to existing business case evaluations.

Keywords- real options, game theory, option games, Java

I. INTRODUCTION

Recent developments in telecommunications enforce telecom operators to upgrade or replace their current DSL and HFC networks. To increase data rates these networks are partly replaced with a fiber network. Ultimately operators will have to roll out an all-fiber network (FTTH) or use alternative wireless technologies, such as WiMAX. The cost of an FTTH network is especially high because of the digging cost of connecting every last customer to the network. Wireless technologies, WiMAX in particular, provide a good alternative, but the technologies are still evolving and the costs and technological evolution of wireless networks are harder to predict.

Whichever technology a network operator chooses to increase the bandwidth of a network, an elaborate economical analysis of the investment is appropriate. A general investment analysis is based on the net present value (NPV), which is the discounted sum of all the cash flows in an investment project. To account for the risks present in an investment the discount rate is increased with increasing uncertainty. This results in a risk averse attitude.

NPV fails to grasp the flexibility a manager has to react to unexpected events. Real options theory provides a framework to insert this flexibility in the calculations of the payoff.

The choices a telecom operator makes will also be influenced by competition. Game theory provides an approach to model competition and to calculate an equilibrium between different players on the market.

Both approaches allow to analyse and compare more fairly projects with different flexibility and competitive influences. In section II of this abstract both approaches are discussed in more detail. In section III we give a short overview of an implementation we made and which allows to automatically add real options and game theory to an existing techno-economic model. We wrap-up this paper with a realistic scenario in which we benchmarked our automated approach.

II. TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS

A. Real options

Real options valuation is a dynamic valuation method that acknowledges future uncertainty and incorporates the value of management. Good management will improve upside potential and limit downside losses. The resulting asymmetry calls for an expanded NPV rule that reflects both the traditional (static or passive) NPV and the option value of operating and strategic adaptability.

$$\begin{aligned} \text{expanded NPV} &= \text{passive NPV} \\ &+ \text{value of options from active management} \end{aligned} \quad (1)$$

The various real option types can be classified according to the 7s-framework. A study/start option reflects the fact that the investment is not a now-or-never decision, it is possible to postpone the project and gather more information on uncertain market aspects. Scale up and scale down options value the fact that the scale of a project can be altered, whereas switch up and switch down options value the flexibility on input and output technologies while scope up and scope down options allow the scope of provided services to be altered.

The value of real options can be calculated using a Monte Carlo simulation, using the analytical Black & Scholes formula or using a binomial tree. Both the Black & Scholes formula and Monte Carlo simulations are widely used in literature. We advice using a Monte Carlo simulation because it provides better means to model the uncertainty in a realistic manner.

Real options are extensively used in papers to value telecom networks. The valuation method proves to be well applicable in telecom rollout projects because of a high sunk cost and a high market and/or technology uncertainty. This implies a high value for most options and in particular for the study/start option, because resolution of high uncertainty is extremely valuable and worth postponing the investment. This reasoning is applied in numerous papers on wireless network rollouts as well as on FTTH rollouts. The most used options are study/start options and scale up options. Switch up options occur often as well.

B. Game theory

Game theory models the interaction between different players on the market and allows to calculate an equilibrium. Mostly, the Nash Equilibrium is used, this is a set of strategies, one for each player, for which no player can improve itself by unilaterally changing his strategy. An important consideration in game theory is whether players can cooperate or not. Not much literature exists that uses game theory for evaluating case studies. Nonetheless, game theory can be useful in telecom projects.

C. Option-games

Option-games theory is a combination of real options and game theory, integrating both managerial flexibility and competition in one valuation method. A single strategy for one player is calculated using real options. When more than one strategy is considered a real options analysis is conducted for each strategy. An equilibrium is found using evaluation principles of game theory. The option-games theory is not widely spread, it is a recently developed research area.

The most important consideration in option-games is the trade-off between the first movers advantage and the study/start option. Postponing an investment can reveal information concerning uncertainty, but an operator should try to be the first active in a market to maximize adoption.

III. APPLICATION IN A REALISTIC CASE STUDY

A. Fixed access network

Today most networks are based on DSL or DOCSIS technologies and respectively use the existing telephone access network and the existing cable television access network. The faster FTTH network is not based on an existing access network and rolling out an FTTH network implies installing an entirely new fiber infrastructure.

These three network technologies have a similar cost structure. There are three import costs: rolling out the access network, installing the equipment and central office and the operating expenditures.

Rolling out the network is by far the greatest cost. DSL and HFC networks are considerably cheaper because they reuse existing access networks.

Secondly there is the central office which contains most of the equipment and has a onetime setup cost.

The operating expenditures (OPEX) include replacement costs, maintenance, administration,...

B. Wireless access network

The most promising wireless technology for broadband access is WiMAX. WiMAX not only provides high data rates, it also allows mobility of the user. The structure of a wireless access network is different compared to the structure of a fixed access network. There are two important costs. The wireless network consists of base stations that contain most of the equipment. These base stations contain expensive pylons to ensure connectivity. The second cost is the OPEX, which contains similar components as for a fixed acces network, but adds large licensing costs for renting the used frequencies.

IV. DEVELOPED JAVA MODEL

A Java model has been developed to extend an existing NPV calculation of a case study with real options and/or game

theory. The existing NPV calculation must be implemented in Java and maintain state of the adoption, CAPEX and OPEX. The class that calculates the NPV must implement interfaces provided in this model. These interfaces contain methods to adapt adoption, CAPEX and OPEX and to calculate the new NPV outcome. The use of interfaces allows for a flexible and user friendly way to quickly calculate the options. Once the NPV can be calculated the interfaces are quickly implemented and the option value is automatically calculated by our model. The model uses a Monte Carlo simulation to calculate the option value.

The value of a real option can never be negative, when the alternative path an option proposes results in a lower payoff, this path will not be chosen, i.e. the option will not be exercised. When calculating the value of an option the maximum of the original payoff and the payoff for the alternative path is used. For each outcome in a Monte Carlo simulation this maximum is used. The total outcome is the average of all outcomes.

The developed model provides methods to calculate scale up, scale down, study/start, switch up and switch down options. For evaluation the NPV can be plotted in function of the time and a distribution of the outcome in any year can be visualized.

To evaluate game theory an equilibrium can be calculated. As an example an appropriate investment timing can be calculated for two symmetric companies both using the strategy described in the original case study.

V. APPLICATION ON A REALISTIC CASE STUDY

The model has been tested on a case study on an FTTH rollout in the city of Ghent starting in 2008. A comparison has been made between the original NPV calculation and the calculation with defer and abandon options. Figure Figure V-1 shows the NPV distribution in 2025 for both calculation methods. The NPV on the upside potential is equal. On the downside potential however the study/start and abandon options limit the losses.

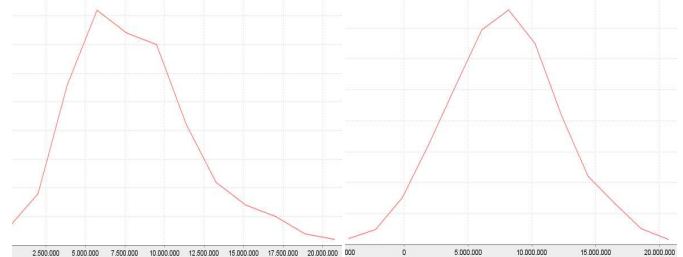


Figure V-1: on the left NPV distribution with options, on the right NPV distribution without options

VI. CONCLUSION

Real options allow to model managerial flexibility, game theory can model competition and option-games combine both in one analysis. These three tools are well applicable in telecom.

In this study a model, developed in Java, is proposed to calculate option value as well as simulate competition.

The model was tested on a realistic case study, the study/start option and abandon options were calculated. The resulting NPV was slightly shifted to the right, especially the downside potential was limited.

This approach can indicate which options are the most valuable and deserve a more thorough study.

Inhoudstafel

| | | |
|--------------------|--|----|
| <i>Hoofdstuk 1</i> | Inleiding..... | 1 |
| <i>Hoofdstuk 2</i> | Economische achtergrond | 3 |
| 2.1. | De investeringsanalyse..... | 3 |
| 2.1.1. | Inleiding..... | 3 |
| 2.1.2. | ROI..... | 3 |
| 2.1.3. | De tijdwaarde van geld | 4 |
| 2.1.4. | Terugverdientijd..... | 4 |
| 2.1.5. | NPV..... | 4 |
| 2.1.6. | IRR | 5 |
| 2.1.7. | Sensitiviteitsanalyse | 6 |
| 2.1.8. | Reële opties..... | 6 |
| 2.1.9. | Speltheorie | 6 |
| 2.2. | Reële opties..... | 7 |
| 2.2.1. | Reële opties tegenover de klassieke investeringsmethodes | 7 |
| 2.2.2. | Financiële opties | 8 |
| 2.2.3. | Reële opties..... | 9 |
| 2.3. | Speltheorie | 14 |
| 2.3.1. | Definitie..... | 14 |
| 2.3.2. | Methodologie..... | 14 |
| 2.3.3. | Soorten spellen | 16 |
| 2.4. | Conclusie | 17 |
| <i>Hoofdstuk 3</i> | Literatuurstudie..... | 18 |
| 3.1. | Reële opties:..... | 18 |
| 3.1.1. | Algemeen | 18 |
| 3.1.2. | Cases | 19 |
| 3.2. | Speltheorie | 24 |
| 3.3. | Omvattend framework voor reële opties en speltheorie | 25 |
| 3.3.1. | Vergelijking tussen reële opties en speltheorie..... | 25 |
| 3.3.2. | Option-games in de literatuur..... | 26 |
| 3.4. | Conclusie | 28 |
| <i>Hoofdstuk 4</i> | Netwerktechnologie..... | 29 |
| 4.1. | Vaste netwerken | 29 |

| | | |
|--------------------|--|-----------|
| 4.1.1. | Netwerktechnologieën..... | 29 |
| 4.1.2. | Belangrijke kosten bij het uitrollen van een telecomnetwerk..... | 35 |
| 4.2. | Draadloze netwerken..... | 37 |
| 4.2.1. | Technologieën..... | 37 |
| 4.2.2. | Kosten WiMAX..... | 37 |
| 4.3. | Conclusie..... | 38 |
| <i>Hoofdstuk 5</i> | <i>Implementatie.....</i> | <i>39</i> |
| 5.1. | Het bestaande Java model..... | 39 |
| 5.2. | Implementatie van het ontwikkelde model..... | 41 |
| 5.2.1. | Conceptueel..... | 41 |
| 5.2.2. | Implementatie van reële opties..... | 42 |
| 5.2.3. | Implementatie van games en option-games..... | 49 |
| 5.2.4. | Een distributie bepalen..... | 51 |
| 5.3. | Conclusie..... | 52 |
| <i>Hoofdstuk 6</i> | <i>Toepassen op een realistische case.....</i> | <i>53</i> |
| 6.1. | Case onder beschouwing..... | 53 |
| 6.2. | Uitrekenen van opties..... | 56 |
| 6.2.1. | Study/start optie..... | 56 |
| 6.2.2. | Abandon optie..... | 57 |
| 6.2.3. | Scale up optie..... | 59 |
| 6.2.4. | Switch optie..... | 59 |
| 6.2.5. | Conclusie..... | 60 |
| 6.3. | Evaluëren van de case study met reële opties..... | 61 |
| 6.4. | Speltheorie..... | 63 |
| 6.5. | Conclusie..... | 64 |
| <i>Hoofdstuk 7</i> | <i>Conclusie.....</i> | <i>65</i> |
| | Referenties..... | 67 |

Lijst van gebruikte afkortingen

| | |
|--------|---|
| 2.5G | second and a half generation wireless telephone technology (= GPRS) |
| 3G | third generation wireless telephone technology |
| ADSL | Asymmetric Digital Subscriber Line |
| AON | Active Optical Network |
| ATM | Asynchronous Transfer Mode |
| BB | BlackBox |
| BRAS | Broadband Remote Access Server |
| CM | Cable Modem |
| CMTS | Cable Modem Termination System |
| CO | Central Office |
| DOCSIS | Data Over Cable Service Interface Specification |
| DSL | Digital Subscriber Line |
| DSLAM | Digital Subscriber Line Access Multiplexer |
| EPON | Ethernet Passive Optical Network |
| FTTB | Fiber To The Building |
| FTTC | Fiber To The Curb |
| FTTH | Fiber To The Home |
| FTTN | Fiber To The Node |
| FTTx | Fiber To The x |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| GPON | Gigabit Passive Optical Network |
| HFC | Hybrid Fiber Coaxial |
| IBCN | Intec Broadband Communication Networks |
| IP | Internet Protocol |
| IRR | Internal Rate of Return |
| ISP | Internet Service Provider |
| LEX | Local Exchange |
| LLU | Local Loop Unbundling |
| MMDS | Multichannel Multipoint Distribution Service |
| NPV | Net Present Value |
| ODPR | Option to Delay Pricing Rule |
| OLT | Optical Line Terminator |
| ONU | Optical Network Unit |
| PON | Passive Optical Network |
| PSTN | Public Switched Telephone Network |
| QoS | Quality of Service |
| R&D | Research & Development |
| RO | Reële optie |
| ROI | Return On Investment |
| SA | Service Area |
| SNMPv3 | Simple Network Management Protocol version 3 |
| TEX | Transit Exchange |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunications System |
| VDSL | Very high bitrate Digital Subscriber Line |
| VDSL2 | Very high bitrate Digital Subscriber Line 2 |
| WAC | WiMAX Acces Controler |
| WiFi | Wireless Fidelity |
| WiMAX | Worldwide Interoperability for Microwave Access |

Hoofdstuk 1

Inleiding

De laatste decennia worden gekenmerkt door een enorme groei aan communicatietechnologieën en communicatietoepassingen. Het verstrekken van services hiervoor is een snel evoluerende markt. Bedrijven op deze markt moeten dynamisch zijn om in te spelen en zelfs te anticiperen op de vraag van de klant, bijvoorbeeld door het aanbieden van triple play waarbij men internet, televisie en telefonie aanbiedt in eenzelfde abonnement. De vraag naar bandbreedte stijgt hierdoor aan een sneltempo en netwerken die bandbreedte leveren moeten vernieuwd of vervangen worden door snellere netwerken. De voornaamste technologieën voor het aanbieden van telecommunicatie die momenteel gebruikt worden zijn Digital Subscriber Line (DSL) en Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS). Deze gebruiken respectievelijk het toegangsnetwerk van het klassieke telefonienetwerk en van het kabeltelevisienetwerk, waarbij deze toegangsnetwerken gedeeltelijk vervangen worden door een glasvezelnetwerk om hogere bandbreedtes aan te bieden. Om aan de stijgende vraag naar bandbreedte te blijven voldoen, zullen deze netwerken ooit volledig uit glasvezel moeten bestaan. De kost hiervoor ligt echter bijzonder hoog door de grote inspanning die gedaan moet worden om het glasvezelnetwerk uit te breiden tot bij elke klant. Een alternatief voor deze vaste netwerken is het installeren van een draadloos netwerk. WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) is een veelbelovende nieuwe standaard die hoge bandbreedtes kan leveren. Doordat deze technologie relatief nieuw is, zijn de kostprijs en mogelijkheden van een WiMAX netwerk moeilijk in te schatten. Ook zal de technologie nog verder evolueren en is een geschikt moment om te investeren in een WiMAX netwerk moeilijk te bepalen. Netwerkkoperatoren moeten in deze dynamische omgeving beslissen of ze willen investeren in een nieuw netwerk dat hogere bandbreedtes aanbiedt. Dergelijke investeringen worden gekenmerkt door hoge kosten en onzekere en snel evoluerende technologieën. Om de juiste keuze te maken dient men een grondige economische analyse uit te voeren. Traditionele investeringstools houden geen rekening met de flexibiliteit die een manager heeft om op elk moment de richting van een project bij te sturen indien het project niet verloopt zoals aanvankelijk gepland. Vooral in investeringsprojecten waar grote kosten en een hoge onzekerheid aanwezig zijn, zoals in telecomprojecten, kan dit een grote invloed hebben op de evaluatie van het project. Goed management kan immers verliezen beperken en winsten optimaliseren. De flexibiliteit van het management wordt wel gevat in de reële opties theorie. De keuzes van een operator zullen ook sterk beïnvloed worden door de acties van de concurrentie. Speltheorie is specifiek toegespitst op dergelijk onderzoek en voorziet technieken voor het zoeken van mogelijke evenwichtspunten waarbij beide spelers een optimale keuze maken.

Het doel van deze thesis is onderzoeken welke mogelijkheden reële opties en speltheorie bieden om investeringsprojecten van telecomoperatoren te valueren. In een eerste luik van deze thesis wordt een grondige literatuurstudie besproken. Hierin wordt eerst de reële opties theorie bestudeerd. Vervolgens wordt speltheorie onderzocht. En ten slotte wordt een vergelijkende studie tussen beide

gemaakt waarbij vooral aandacht wordt besteed aan een gezamenlijke uitwerking van beide technieken. In het tweede luik van deze thesis wordt een framework in de programmeertaal Java ontwikkeld, dat toelaat om reële opties en speltheorie toe te passen op een bestaande investeringsanalyse die gebruik maakt van een klassieke evaluatietool.

In hoofdstuk 2 wordt de economische achtergrond van reële opties en speltheorie besproken. Hoofdstuk 3 bespreekt de literatuurstudie en vat de conclusies samen. Hoofdstuk 4 gaat dieper in op de bestaande netwerktechnologieën. Hoofdstuk 5 bespreekt het ontwikkelde Java model om reële opties en speltheorie uit te rekenen. In hoofdstuk 6 wordt dit model toegepast op een realistische case study. In hoofdstuk 7 ten slotte worden de conclusies van deze thesis besproken.

Hoofdstuk 2

Economische achtergrond

Dit hoofdstuk begint met een algemeen overzicht van de technieken die gebruikt worden in een investeringsanalyse. Vervolgens wordt er dieper ingegaan op reële opties en speltheorie, deze tools vormen de kern van de studie in het vervolg van de thesis.

2.1. De investeringsanalyse

2.1.1. Inleiding

De economische waarde van een bedrijf en zijn mogelijkheid om winst te maken worden bepaald door het kiezen van goede investeringen. Het evalueren van verschillende investeringsmogelijkheden is belangrijk. Kennis van de verschillende economische evaluatietools kan helpen om de juiste beslissing te nemen. Deze tools bieden een basis om individuele investeringen te evalueren en het investeringsrisico in te schatten. Ze kunnen ook helpen om verschillende investeringsprojecten te vergelijken. De klassieke methodes vertrekken van een vooropgesteld scenario en baseren de evaluatie hierop. De verschillende mogelijke tools hiervoor worden in deze paragraaf beschreven. Een sensitiviteitsanalyse geeft de mogelijkheid om de risico's beter in te schatten. Reële opties laten toe om voor verschillende scenario's, verschillende acties te nemen. Dit illustreert de flexibiliteit die een manager heeft om tijdens het project in te grijpen om enerzijds de schade bij een slechte evolutie te beperken en anderzijds de winst bij een goed verloop te optimaliseren. Op deze manier kunnen risicovolle projecten op een correctere manier vergeleken worden met risicoloze projecten. Speltheorie levert een benadering om concurrentie te modelleren en biedt de mogelijkheid om een geschikte strategie uit te werken binnen deze competitie.

2.1.2. ROI

De return on investment geeft de verhouding tussen het rendement en de investering aan. De ROI wordt berekend door de nettowinst na belastingen te delen door de gemiddelde boekwaarde van de investering gedurende de volledige levensduur van het project. Een project wordt positief geëvalueerd indien de ROI een vooropgesteld aanvaardingsniveau overschrijdt.

ROI is een veelgebruikte tool. Toch zijn er heel wat opmerkingen te maken bij het concept. ROI houdt rekening met relatieve winsten, terwijl het vergelijken van projecten eerder op absolute cijfers gebaseerd zou moeten zijn. Er wordt geen rekening gehouden met de timing van winsten.

2.1.3. De tijdwaarde van geld

De waarde van geld vermindert in de loop der tijd. 100 euro nu is meer waard dan 100 euro over een jaar. In de tussentijd kan men deze 100 euro immers investeren en kan deze winst opleveren. Deze kan bijvoorbeeld interest genereren op een bankrekening. Ook de inflatie zorgt ervoor dat 100 euro vandaag meer goederen koopt dan 100 euro in de toekomst. Om dit te compenseren wordt er verdisconteerd. De actuele waarde van toekomstige inkomsten of uitgaven wordt als volgt berekend:

$$C = \frac{F}{(1 + i)^n}$$

Met:

C = actuele waarde

F = toekomstige uitgaven of inkomsten

i = interestvoet

n = aantal jaren in de toekomst

2.1.4. Terugverdiëntijd

De terugverdiëntijd (EN: payback period) is het aantal jaar dat nodig is om de initiële investering terug te verdienen. De terugverdiëntijd wordt berekend door de initiële investering te delen door de jaarlijkse cash inflow.

Ook hier zijn heel wat opmerkingen op te maken. De cashflows achteraf worden niet in beschouwing genomen en er wordt opnieuw geen rekening gehouden met de timing van de cashflows, de grootte van de investering, de opportuniteitskosten en het investeringsrisico. Deze methode wordt vooral gebruikt als extra informatie en niet als hoofdargument in een analyse.

Er kan een verdisconteerde terugverdiëntijd berekend worden, deze houdt wel rekening met de tijdwaarde van geld.

2.1.5. NPV

De net present value is de huidige equivalente waarde van de som van alle cashflows in het investeringsproject, verdisconteerd met een minimaal vereiste disconteringsvoet. Met andere woorden de NPV berekent de verwachte cashflows, waarbij de waarde van het geld uitgedrukt wordt in de actuele waarde.

Indien de NPV positief is zal de investering extra waarde creëren voor het bedrijf, de inkomsten zullen groter zijn dan de uitgaven rekening houdend met de disconteringsvoet. Een project met negatieve NPV zal niet uitgevoerd worden.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t}$$

Met:

CF_t = cash flow in jaar t

i = disconteringsvoet

t = huidig jaar

n = looptijd van het project

De disconteringsvoet is een belangrijke keuze die gemaakt moet worden. Voor een risicoloos project kan de interest genomen worden die het geld zou opbrengen moest het op een bankrekening geplaatst worden. De disconteringsvoet wordt dan verhoogd afhankelijk van het risico aanwezig in het project. Op deze manier krijgen projecten met een hoger risico een hogere disconteringsvoet mee zodat deze een grotere payoff moeten hebben om het risico te verantwoorden.

Dit is de meest gebruikte tool om business cases te evalueren. De reden hiervoor is dat er gerekend wordt met alle cashflows gedurende de looptijd van het project, de timing van de cashflows belangrijk is en de risico's in het project in rekening gebracht worden. Deze tool geeft dus een goede voorspelling van de verwachte opbrengst van een project.

Het belangrijkste nadeel aan deze methode is dat er uitgegaan wordt van een statisch verloop van het project. Er wordt verondersteld dat alle beslissingen omtrent een project vóór de investering gemaakt worden en dat er niet meer bijgestuurd kan worden tijdens het uitrollen van het project. Er wordt dus geen rekening gehouden met de flexibiliteit die een manager heeft om gedurende een project in te spelen op onverwachte wendingen van de markt.

2.1.6. IRR

De internal rate of return is de disconteringsvoet die de NPV tot 0 herleidt.

$$\sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0$$

De IRR heeft dezelfde voordelen als de NPV. De IRR levert echter een maat voor de efficiëntie van een project, terwijl de NPV een absoluut cijfer geeft. Het grootste nadeel is dat de complexiteit van een IRR berekening snel stijgt met toenemende complexiteit van het project. Zo kan het in sommige gevallen voorkomen dat er meerdere oplossingen zijn voor bovenstaande vergelijking. Daarom blijkt de NPV een betere beslissingstool.

2.1.7. Sensitiviteitsanalyse

Een sensitiviteitsanalyse onderzoekt de invloed van de onzekerheid met betrekking tot de inputparameters op het resultaat. Bij de analyse van een investeringsproject zijn heel wat belangrijke parameters gebaseerd op schattingen. Een sensitiviteitsanalyse kan helpen om de belangrijkste variabelen te onderscheiden van parameters die minder invloed hebben op het resultaat. Ook de impact van marktfluctuaties wordt duidelijk. Zo kan men gedurende het project de belangrijke aandachtspunten in de gaten houden. Men kan ook de betrouwbaarheid en robuustheid van een investering nagaan en het risico beter inschatten.

Het is echter moeilijk om de onzekerheid rond de inputvariabelen een wiskundig karakter te geven. Verschillende parameters zijn onderling gecorreleerd, wat dit nog moeilijker maakt. Dit maakt dat sensitiviteitsanalyses in de praktijk veel achterwege gelaten worden.

2.1.8. Reële opties

Een reële optie benadering is een uitbreiding van de klassieke NPV berekening. Er worden opties voorzien die tijdens het project gekozen kunnen worden, afhankelijk van de evolutie van onzekere factoren:

$$\text{Projectwaarde} = \text{NPV} + \text{waarde reële opties}$$

Bijgevolg wordt de flexibiliteit van het management ingerekend in het resultaat. Een optie is een keuze die een manager kan nemen gedurende het project. De waarde van de opties kan enkel positief zijn: opties zijn betere keuzes voor het project indien de markt niet evolueert zoals verwacht. Een negatieve optie zou een slechte keuze impliceren. Deze thesis onderzoekt in meer detail de mogelijkheden van deze methode. In paragraaf 2 wordt er dieper ingegaan op de theorie rond reële opties.

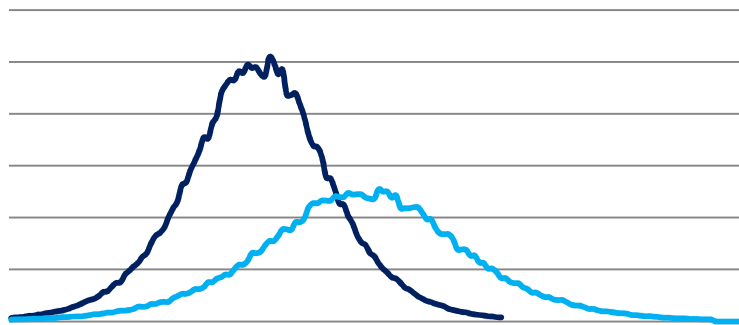
2.1.9. Speltheorie

Bij speltheorie worden verschillende spelers bestudeerd, deze stellen concurrenten op de markt voor. Elke speler kan kiezen tussen enkele verschillende strategieën. Voor elke mogelijke combinatie van de strategieën tussen de verschillende spelers wordt dan het nut berekend. Op deze manier kan men een payoff-matrix opstellen en een evenwicht zoeken in de strategieën. Ook de mogelijkheden van speltheorie worden onderzocht in deze thesis. In paragraaf 3 wordt er dieper ingegaan op de theorie rond speltheorie.

2.2. Reële opties

2.2.1. Reële opties tegenover de klassieke investeringsmethodes

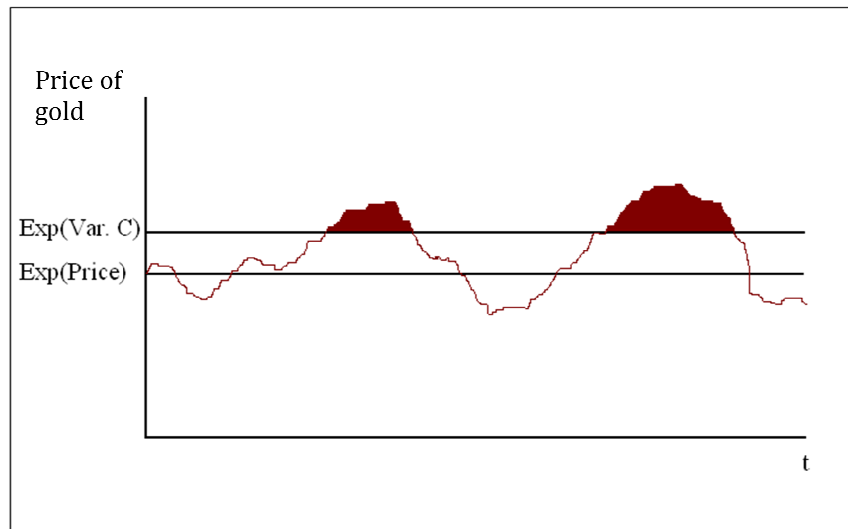
Zoals blijkt uit de vorige paragraaf is de NPV de meest gebruikte beslissingstool in een investeringsanalyse. Een NPV benadering is geschikt in een omgeving waar de factoren realistisch geschat kunnen worden. Wanneer een vernieuwend project wordt aangevat waarbij heel wat factoren onzeker zijn, is het bijzonder moeilijk de loop van een project te voorspellen. In een NPV berekening zal de disconteringsvoet in dit geval hoog gekozen worden om de grote onzekerheid die het project omvat te compenseren. Dit kan echter leiden tot het afkeuren van heel wat interessante projecten. Indien weinig gekend is over de markt waarin geïnvesteerd wordt, is de invloed van goed management heel belangrijk. Goed management kan wanneer nodig het verlies beperken of de winst maximaliseren. Dit is wat de techniek van reële opties in rekening brengt. Figuur 2-1 illustreert dit principe. Wanneer reële opties bestudeerd worden, zal de kansdistributie van de winst naar rechts opschuiven. Een normaalverdeling zal veranderen in een scheve verdeling, waarbij mogelijk verlies beperkt en winst geoptimaliseerd wordt.



Figuur 2-1: NPV (donkerblauw) versus real options(lichtblauw)

Volgend voorbeeld wordt beschreven in [1] en illustreert het principe en nut van reële opties: Wouter De Maeseneire bepaalt de waarde van een goudmijn. De huidige waarde van goud is €350/ounce en de kost om goud op te halen is €400/ounce. De NPV zal uiteraard negatief zijn. Wanneer enkel naar de NPV gekeken wordt heeft de mijn dus geen waarde en zou men niet bereid mogen zijn ook maar iets te betalen voor deze mijn. In werkelijkheid zal de prijs van goud variëren (zie Figuur 2-2). Wanneer de prijs van goud hoger wordt dan de kost om goud op te halen komt, is het nuttig de mijn te exploiteren. Indien dit niet het geval is kan de mijn tijdelijk stil gelegd worden. Wanneer de mijn enkel operationeel is op het moment dat de goudprijs dit rechtvaardigt, is deze mijn heel waardevol. Er is een optie om de mijn stil te leggen bij een slechte markt en terug op te starten bij een goede markt. In dit geval zal een grotere onzekerheid op de goudprijs de waarde van het project zelfs doen stijgen. Dit staat haaks op het principe van verdiscontering bij een NPV berekening. Hier is een reële opties benadering duidelijk gewenst.

Er kan geconcludeerd worden dat de waarde van reële opties het grootst is wanneer er veel onzekerheid is en het management de flexibiliteit heeft om daarop in te spelen.



Figuur 2-2: Goudprijs en variabele kostfluctuaties [1]

2.2.2. Financiële opties

De theorie van reële opties is gebaseerd op opties in de financiële markt. Een financiële optie is het recht om tegen een vooraf bepaalde prijs, binnen een afgesproken periode (Amerikaanse optie) of op het einde van een afgesproken periode (Europese optie), een bepaald onderliggend goed te kopen (call optie) of te verkopen (put optie).

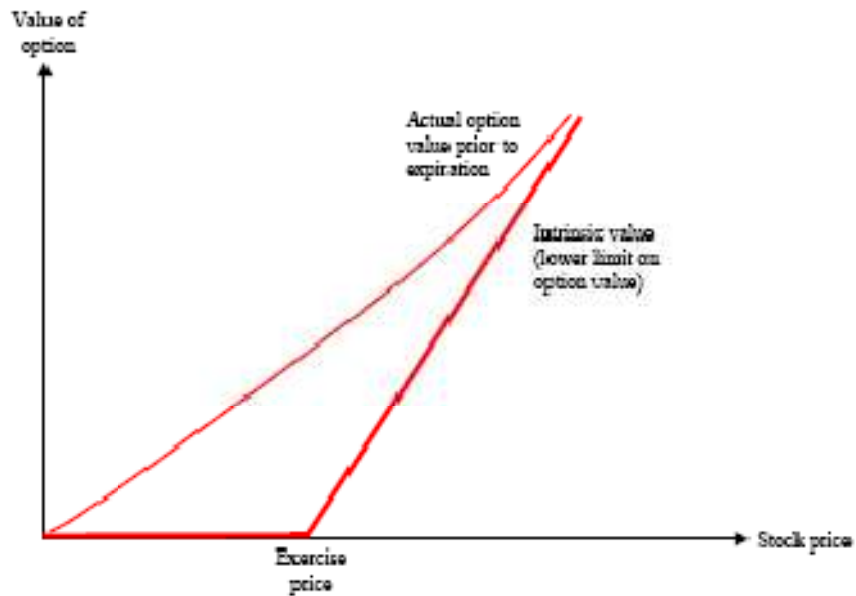
Een optie heeft 2 waarden, de intrinsieke waarde en de tijdwaarde. De intrinsieke waarde is de waarde die de optie heeft wanneer deze nu wordt uitgeoefend. Voor een call optie is dit de huidige waarde van het onderliggende goed (S) – de vooraf bepaalde prijs voor het goed (X), of 0 indien dit negatief is:

$$\text{intrinsieke waarde} = \max(S - X, 0)$$

Voor de vervaldatum zal de werkelijke waarde de intrinsieke waarde overschrijden. Deze werkelijke waarde noemen we de tijdwaarde. Deze zal meer waard zijn omdat er steeds een kans is dat de waarde van de optie zal stijgen tegen de vervaldatum en dat de optie uitgeoefend kan worden op een moment dat de intrinsieke waarde hoger is dan de huidige intrinsieke waarde. Figuur 2-3 zet beide waarden uit in functie van de waarde van het onderliggende goed.

De tijdwaarde wordt bepaald door verschillende factoren. De belangrijkste worden hieronder vermeld:

- Het verschil tussen de huidige waarde van het goed (S) en de uitoefenprijs van de optie (X).
- De vervaldatum van de optie. Hoe dichterbij deze datum, hoe minder kans er is dat de waarde van het onderliggende goed nog in de goede richting gaat en hoe minder de optie waard is.
- De volatiliteit van het onderliggende goed, dit is de onzekerheid op de waarde van dit onderliggende goed. De volatiliteit heeft dezelfde invloed als de vervaldatum. Hoe hoger de volatiliteit, hoe meer kans dat de waarde van het onderliggende goed de goede richting uitgaat.

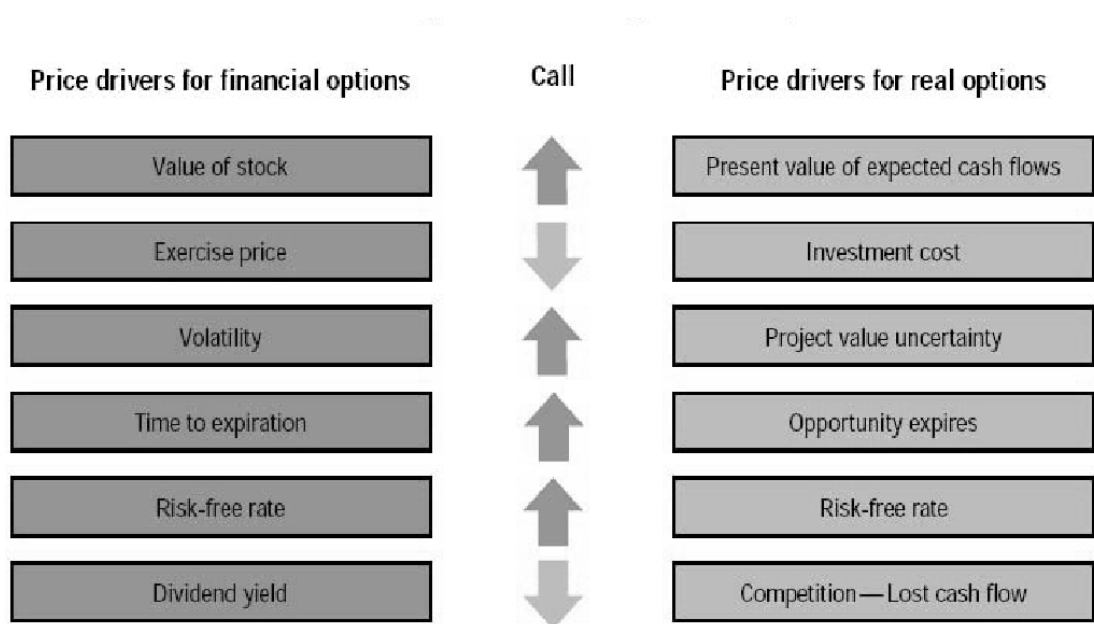


Figuur 2-3: Intrinsieke waarde en tijdwaarde van een call optie [1]

2.2.3. Reële opties

➤ Oorsprong

De reële opties theorie gebruikt de inzichten verworven in de financiële wereld om de waarde van goed management kwantitatief uit te drukken. De gelijkenissen tussen de financiële en reële opties wordt getoond in Figuur 2-4. Links in de figuur staan de belangrijke eigenschappen van een financieel product, rechts staan de overeenkomstige kenmerken van een investeringsproject. De pijl tussen beide geeft aan of het kenmerk positief of negatief gecorreleerd is met de waarde van de optie (een pijl naar boven betekent dat de optiewaarde zal stijgen als de waarde van de eigenschap stijgt en omgekeerd voor een pijl naar beneden).



Figuur 2-4: Analogie tussen financiële en reële opties [2]

Reële opties kunnen inherent aanwezig zijn in een project, of verkregen worden tegen een kost. Opties die inherent aanwezig zijn, zijn bijvoorbeeld: uitstellen van een investering, tijdelijk stopzetten van het project of volledig stopzetten en de infrastructuur verkopen. Opties die verkregen worden tegen een kost zijn bijvoorbeeld het veranderen van de input- of outputproducten, licenties, patenten,...

➤ **Soorten reële opties**

In deze studie worden reële opties onderverdeeld volgens het 7s framework (zie Figuur 2-5).

| Category | Type | Description | Examples |
|---------------------|---------------|--|---|
| Invest Grow | Scale up | Sequential investments in a later stage as market grows | R&D intensive Strategic acquisitions |
| | Switch up | Switch products, process or plants given a shift in underlying price or demand | Utilities Small-batch goods |
| | Scope up | Enter another industry when cost-effectively possible. Link and leverage. | Companies with Lock-in |
| Learn | Study / Start | Delay investments until more information and/or skills are acquired | Natural resources (oil, gas) Real estate development |
| Disinvest Shrink | Scale down | Shrink or shut down a project if new information changes the expected payoffs | Capital intensive New product introduction |
| | Switch down | Switch to more cost-effective and flexible assets as new information is obtained | Utilities Small-batch goods |
| | Scope down | Limit the scope of operations in a related industry when there is no further potential | Conglomerates |

Figuur 2-5: Types reële opties [4]

Volgende puntjes geven kort wat duiding bij deze verschillende mogelijkheden:

- **Study/start:**

De investering kan uitgesteld worden, het is geen now-or-never beslissing. Zelfs indien nu investeren positief beoordeeld wordt, kan het nuttig zijn nog even te wachten. Men kan wachten tot men een beter zicht heeft op de markt, de kosten, de concurrentie, de technologie, de regulering... Om meer kennis te verwerven omtrent deze factoren kan men al dan niet een testproject opzetten of een survey uitvoeren.

- **Scale up/down:**

De schaal van een project kan vergroot of verkleind worden, afhankelijk van het succes van het project. Bij scale down zal men de schaal van het project verkleinen. Men kan bijvoorbeeld de regio waar men actief is verkleinen. Wanneer de rollout van het project nog bezig is, kan men eenvoudig vroeger stoppen met uitrollen of aan een trager tempo uitrollen. De ultieme vorm van scale down is het volledig stopzetten van het project, in dit geval kan de infrastructuur verkocht worden. In tijdelijk ongunstige omstandigheden kan het project tijdelijk stopgezet worden. Hierbij zullen er meestal toch nog enkele vaste kosten te betalen zijn, zoals huur van gebouwen, materiaal,... Ook moet er een oplossing gezocht worden voor het personeel. Indien de omstandigheden daarentegen positief zijn wordt de optie scale up beschouwd. Men kan in een grotere regio investeren dan aanvankelijk gepland. Men kan ook beslissen om een nieuwe markt aan te spreken. Indien de rollout nog bezig is, kan men het tempo van uitrollen versnellen.

- **Switch up/down:**

De input of output technologie kan veranderd worden indien dit voordelig blijkt tijdens het uitvoeren van het project. Om deze optie mogelijk te maken kan een extra kost vereist zijn bij het opstarten van het project. Dit zal uiteraard enkel gedaan worden indien deze extra kost verantwoord wordt door de extra flexibiliteit die verkregen wordt, i.e. wanneer de waarde van de optie hoger is dan de extra kost. Er kan gekozen worden om naar een duurdere technologie te switchen die meer mogelijkheden biedt, of om naar een beperktere technologie te switchen om de kosten te drukken. We spreken respectievelijk van switch up en switch down. Een voorbeeld van switch up is bij het uitrollen van een passief FTTH netwerk (PON) de mogelijkheid voorzien om later naar een actief FTTH netwerk om te schakelen. Een voorbeeld van switch down is dan het tegenovergestelde, het overschakelen van een actief FTTH netwerk naar een passief FTTH netwerk.

- **Scope up/down:**

Men kan ervoor kiezen om na een tijd meer of minder producten aan te bieden. De mogelijkheid om meerdere producten aan te bieden kan de toekomst van een project verzekeren. De interesse in een bepaald product kan op een bepaald moment heel hoog zijn, maar in de toekomst zwaar tegenvallen. Met het oog op de toekomst kan het dus nuttig zijn reeds op voorhand een optie te voorzien om extra producten aan te bieden, deze optie noemt men een scope up optie. Bijvoorbeeld een aanbieder van telefonie die het overschakelen naar triple play (telefonie, internet en televisie) voorziet. Men is niet verplicht om op een bepaald moment over te schakelen, maar heeft wel de mogelijkheid. Indien men verschillende producten aanbiedt kan het daarentegen ook nuttig zijn om een of enkele daarvan op te geven indien blijkt dat een bepaald product niet aanslaat. Dit noemt men een scope down optie. Bijvoorbeeld een operator die triple play services aanbiedt en één service laat vallen omdat deze niet aanslaat bij de klanten.

➤ ***Evalueren van reële opties***

Bij het evalueren van een investeringsproject aan de hand van reële opties wordt vertrokken van een statische NPV berekening waarbij de waarde van de reële opties wordt opgeteld. Reële opties theorie kan bijgevolg gezien worden als een uitbreiding van de klassieke NPV berekening:

$$\text{Projectwaarde} = \text{NPV} + \text{waarde reële opties}$$

De eerste stap is het bepalen van de onzekerheden die aanwezig zijn in het project: op welke plaatsen kan het werkelijke scenario verschillen van de voorspelling?

Een tweede stap is het herkennen van de flexibiliteit die aanwezig is in het project, i.e. het herkennen van de aanwezige opties. Hiervoor kan het 7s framework gebruikt worden.

De derde en laatste stap is het berekenen van de waarde van de reële opties.

Wanneer reële opties gebruikt worden, kan een andere strategie gevolgd worden voor verschillende mogelijke evoluties van de markt. Dit heeft als gevolg dat een risicovrije interestvoet kan gebruikt worden.

Er zijn 3 belangrijke manieren om de waarde van de reële opties die aanwezig zijn in een investeringsproject te evalueren. Allen werden ze oorspronkelijk gebruikt om de waarde van financiële opties te bepalen en aangepast naar de reële opties theorie.

- **Het Black & Scholes model**

Dit is het meest gebruikte model in de financiële wereld. Dit model is gebaseerd op Europese opties, dit zijn opties die enkel op de vervaldatum verkocht kunnen worden. Het is een wiskundig model in continue tijd, de waarde van de optie is de oplossing van een differentiaalvergelijking:

$$C = SN(d_1) - Xe^{-r_f t}N(d_2)$$

Met:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r_f + \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma\sqrt{t}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t}$$

C = waarde van de optie

S = statische NPV

X = kost om de optie uit te voeren

t = vervaldatum van de optie

σ = volatiliteit van de NPV analyse, dit is een maat voor de onzekerheid in het project

r_f = risicovrije interestvoet

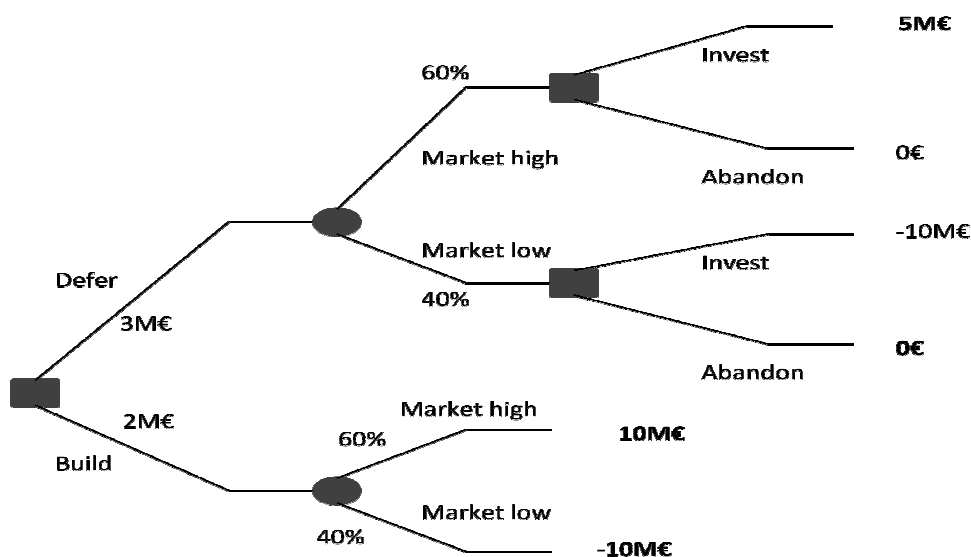
N = cumulatieve standaard normaalverdeling

Het Black & Scholes model levert een waarde die onmiddellijk geëvalueerd kan worden. Daarom wordt deze methode in de praktijk gebruikt wanneer men snel een optiewaarde wil bekomen. Deze methode biedt echter niet de vrijheid en inzichten die andere methodes bieden. Vooral het instellen van een realistische waarde voor de onzekerheid blijkt niet eenvoudig. Ook wordt in het Black & Scholes model uitgegaan van heel wat veronderstellingen. De belangrijkste veronderstelling die gedaan wordt is dat de NPV een stochastisch proces volgt waarvan de logaritme steeds een Brownse beweging is, in de praktijk is dit echter niet altijd zo. Er wordt ook verondersteld dat alle opties

Europese opties zijn. Wanneer de waarde van financiële opties wordt uitgerekend, is dit een aanneembare veronderstelling, want de meeste financiële opties worden gelicht op de vervaldatum. Bij reële opties is dit echter niet het geval.

- **Een binomiaalmodel**

Dit is een discrete tijd model. Dit model is vooral toepasbaar op eenvoudige systemen. Er wordt verondersteld dat de onzekere input slechts enkele discrete waarden kan aannemen (meestal 2 of 3 mogelijkheden). Alle mogelijke uitkomsten worden uitgezet in een binomiaalboom. Elke nieuwe knoop heeft enkele verschillende mogelijke opvolgers, die elk een kans meekrijgen dat ze zich voordoen. Op deze manier stellen de buitenste vertakkingen van de binomiaalboom alle verschillende mogelijke scenario's voor die zich kunnen afspelen, elk met een kans dat ze zich voordoen. In elk scenario kan er gekeken worden welke opties nuttig zijn en er voor elk scenario kan een payoff berekend worden. Op deze manier bekomt men een waarde voor de extended NPV. Dit model wordt geïllustreerd in Figuur 2-6 voor een study/start optie. Er is 60% kans dat de markt positief evolueert en 40% kans dat de markt negatief evolueert. Wanneer het project een jaar wordt uitgesteld zullen de inkomsten 50% lager zijn door een concurrentieel voordeel dat verloren gaat. In dit geval heeft het scenario met optie een verwachte waarde van 3M€, 50% hoger dan het scenario zonder optie.



Figuur 2-6: Voorbeeld van een binomiaalboom

- **Monte Carlo simulatie**

De waarde wordt berekend door heel wat verschillende mogelijkheden voor de onzekere inputs uit te rekenen. Een programma kiest tijdens het verloop van een scenario de opties die nuttig zijn, hiervoor moeten voorwaarden ingegeven worden. Een dergelijke simulatie zal duizenden tot honderdduizenden mogelijke scenario's testen. De extended NPV is dan de gemiddelde waarde van al deze uitkomsten.

Er bestaan oplossingen die gebaseerd zijn op spreadsheets. Deze programma's laten toe om een sensitiviteitsanalyse uit te voeren op de inputgegevens. Er kan een onzekerheidsdistributie ingesteld

worden op deze gegevens. De opties zelf moeten in de spreadsheet ingesteld worden. Het uitwerken van deze opties is niet eenvoudig.

Een Monte Carlo simulatie levert heel wat gegevens en mogelijkheden die het inzicht in de resultaten vergroten. Dit is dan ook de methode die gebruikt zal worden bij de berekeningen die gedaan worden in deze thesis. De simulaties worden gedaan in een eigen implementatie in Java.

2.3. Speltheorie

2.3.1. Definitie

Speltheorie is een discipline waarin verschillende partijen beslissingen moeten nemen. Deze beslissingen hebben gemeenschappelijke, mogelijk conflicterende gevolgen. Speltheorie onderzoekt de invloed die de huidige en toekomstige beslissingen van andere partijen hebben op de eigen beslissing. Speltheorie wordt in heel wat uiteenlopende domeinen gebruikt: economie, biologie, sociologie,...

In een investeringsanalyse zal speltheorie de strategieën van de verschillende spelers op de markt bestuderen en kijken welke invloed concurrentie heeft op beslissingen die genomen worden.

2.3.2. Methodologie

Er wordt voor elke speler op de markt gekeken wat de mogelijke strategieën zijn. Daarna wordt voor elke mogelijke combinatie van strategieën de waarde voor de verschillende spelers uitgerekend. In een investeringsanalyse zal dit meestal de NPV zijn. Deze waarden worden in een payoff matrix geplaatst en er wordt gezocht naar een evenwicht, meestal is dit het Nash Equilibrium. Het Nash Equilibrium is een set van strategieën, één voor iedere speler, waarbij geen enkele speler er voordeel bij heeft om unilateraal zijn strategie te veranderen [3]. Het veranderen van de strategie zou enkel tot gevolg hebben dat de payoff vermindert. Hierbij wordt verondersteld dat elke speler rationeel is en volmaakt in uitvoering en streeft naar een maximale payoff of minimale kost. Een tweede veronderstelling is dat elke speler een perfect geheugen heeft.

Het principe wordt geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld. Het meest gebruikte voorbeeld in de literatuur is het prisoner's dilemma. In dit voorbeeld worden 2 gevangenen ondervraagd over een misdaad die ze samen gepleegd hebben. De gevangenen hebben geen contact met elkaar. Indien ze beide ontkennen de misdaad gepleegd te hebben, krijgen ze een lichte straf. Indien ze beide bekennen krijgen ze een zware straf. Maar indien er een bekent en de andere ontkent zal degene die bekent vrijuit gaan en degene die ontkent heel zwaar gestraft worden. Dit wordt samengevat in Tabel 2-1.

| strategie van A \ strategie van B | B ontkent | B bekent |
|-----------------------------------|-----------------------|------------------------|
| A ontkent | 6 maanden 6 maanden | 8 jaar 0 jaar |
| A bekent | 0 jaar 8 jaar | 2 jaar 2 jaar |

Tabel 2-1: Het prisoner's dilemma

Voor gevangene A is het steeds best te bekennen, ongeacht de strategie van gevangene B: indien B ontkent heeft A de keuze tussen 6 maanden gevangenisstraf (A ontkent) en geen gevangenisstraf (A bekent), indien B bekent heeft A de keuze tussen 8 jaar gevangenisstraf (A ontkent) en 2 jaar gevangenisstraf (A bekent). Bekennen is de dominante strategie voor gevangene A. Voor gevangene B geldt eenzelfde redenering. Beide zullen bijgevolg bekennen. Het Nash Equilibrium ligt dus op het vakje rechtsonder. Beide gevangenen zullen een straf van 2 jaar krijgen. Het Nash equilibrium is geen globaal optimum. Indien beide gevangenen zouden ontkennen, zijn ze er beide beter vanaf.

In Smit en Trigeorgis [6] worden speltheoretische voorbeelden toegepast in een investeringsanalyse. In wat volgt worden enkele voorbeelden uit deze paper besproken. Het eerste voorbeeld is de innovatie race tussen bedrijf P en bedrijf S op de CD-markt. P en S hebben beide de optie om een R&D investering te maken en een interactieve CD-technologie te ontwikkelen. De gedeelde waarde van de investering is €400m. De waarde met study/start optie is €600m. Dit resulteert in de payoff matrix in Tabel 2-2.

| strategie van P \ strategie van S | S wacht | S investeert |
|-----------------------------------|-----------|------------------|
| P wacht | (300,300) | (0,400) |
| P investeert | (400,0) | (200,200) |

Tabel 2-2: Voorbeeld van het prisoner's dilemma

Dit is het klassieke prisoners dilemma. Door de competitieve druk wordt de study/start optie opgegeven, hoewel deze voor beide investeerders in een hogere payoff zou resulteren. Hier blijkt al dat reële opties en speltheorie nauw contact houden met elkaar, voor een diepgaande studie van de relatie tussen reële opties en speltheorie wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

Veronderstel nu dat onmiddellijk investeren leidt tot een agressieve strijd voor een groter marktaandeel en resulteert in een negatieve payoff. Veronderstel dat P een grotere technologische kennis heeft, maar momenteel minder financiële middelen. S kan nu investeren om de race naar de markt te winnen (zie Tabel 2-3). De dominante strategie voor P is wachten. Dit spel is gekend onder de naam 'Grab the dollar'.

| strategie van P \ strategie van S | S investeert later | S investeert nu |
|-----------------------------------|--------------------|-----------------|
| P investeert later | (200,100) | (10,200) |
| P investeert nu | (100,10) | (-100,-100) |

Tabel 2-3: Grab the dollar

Indien bedrijf P eerst een keuze kan maken tussen wachten met de investering of niet, kan deze nu investeren om S te verhinderen als eerste de markt te veroveren. Dit spel wordt 'burning the bridge' genoemd. Nu zal het equilibrium links onderaan liggen in Tabel 2-3.

Wanneer S de mogelijkheden van P niet kent, spreken we van incomplete informatie. Als voorbeeld stellen we dat er 50% kans is dat P een normale R&D heeft (type 1) en 50% kans dat P een superieure R&D heeft (type 2). Dit wordt geïllustreerd in Tabel 2-4. Beide spelers kiezen op hetzelfde moment

hun strategie. Indien P een R&D afdeling heeft van type 1 zal P voor een afwachtende strategie kiezen, indien P echter een R&D afdeling van type 2 heeft zal P onmiddellijk investeren. Om de strategie voor speler S te bekomen wordt de verwachte waarde berekend voor beide mogelijke strategieën. Indien S later zal investeren wordt de verwachte NPV: $50\% * 100 + 50\% * 10 = 55m$. Indien S nu investeert wordt de verwachte NPV: $50\% * 200 + 50\% * 100 = 150m$. In dit geval kiest speler S ervoor nu te investeren.

| P heeft een normale R&D afdeling: type 1 | | |
|---|--------------------|------------------|
| strategie van P \ strategie van S | S investeert later | S investeert nu |
| P investeert later | (200,100) | (10,200) |
| P investeert nu | (100,10) | (-100,100) |
| P heeft een superieure R&D afdeling: type 2 | | |
| strategie van P \ strategie van S | S investeert later | S investeert nu |
| P investeert later | (200,100) | (10,200) |
| P investeert nu | (200,10) | (100,100) |

Tabel 2-4: Voorbeeld met incomplete informatie

2.3.3. Soorten spellen

In deze sectie volgt een overzicht van de verschillende soorten spellen die bestaan en de mogelijkheden waaruit men moet kiezen wanneer men speltheorie toepast. Er zijn heel wat keuzes die gemaakt moeten worden. Deze keuzes kunnen een analyse heel ingewikkeld of heel eenvoudig maken, afhankelijk van de mate waarin de realiteit moet benaderd worden.

- **Coöperatieve tegenover niet-coöperatieve spellen:**

Bij coöperatieve spellen is er sprake van overleg tussen de spelers. De strategieën kunnen op elkaar afgestemd worden. Dit kan onder andere door bindende contracten af te sluiten. In het prisoner's dilemma zou men bijvoorbeeld overeen kunnen komen dat beide gevangenen niet bekennen.

- **Symmetrische tegenover niet-symmetrische spellen:**

Bij symmetrische spellen wordt verondersteld dat alle spelers hetzelfde zijn. Met andere woorden de strategieën hangen niet af van welke speler ze uitvoert.

- **Zero-sum tegenover niet zero-sum spellen:**

In een zero-sum spel komen de winsten van de ene speler exact overeen met de verliezen van de andere spelers. Een voorbeeld is het schaakspel.

- **Complete informatie tegenover incomplete informatie:**

Er is sprake van complete informatie wanneer de speler alwetend is. De speler heeft alle informatie over de markt, de geschiedenis van de markt en de strategieën die de concurrenten in de geschiedenis gevolgd hebben.

- **Simultaan tegenover sequentieel**

Wanneer de spelers op hetzelfde moment hun strategie moeten kiezen is er sprake van simultane spellen. Indien dit niet het geval is dan spreekt men van sequentiële spellen.

- **Strategische tegenover extensieve spellen**

Bij strategische spellen wordt de strategie aan het begin gekozen. Bij een extensief spel zijn er verschillende beslissingsmomenten waarop keuzes gemaakt moeten worden.

- **Herhaalde spellen**

Wanneer eenzelfde spel verschillende keren wordt uitgevoerd, zal dit een invloed hebben op de keuzes die de spelers maken. De spelers doen ervaring op over de impact van hun eigen keuze en de beslissingsstrategie van de concurrentie.

2.4. Conclusie

Er zijn verschillende tools die gebruikt worden in investeringsanalyses. Het beslissingscriterium dat in de praktijk het meeste gebruikt wordt is de NPV. De NPV berekent de verwachte cashflows daarbij rekening houdend met de tijdwaarde van geld.

Een uitbreiding op de NPV is de reële opties theorie, deze biedt de mogelijkheid om rekening te houden met de flexibiliteit van het management. Reële opties stellen keuzes voor die een manager kan nemen gedurende de looptijd van een project. Deze opties kunnen onderverdeeld worden volgens het 7s-framework. Er zijn 3 methodes om de waarde van de opties te berekenen: het Black & Scholes model, een binomiaalmodel of een Monte Carlo simulatie.

Wanneer er verschillende bedrijven een zelfde markt aanspreken moet men hier rekening mee houden. Speltheorie is hier de geschikte tool voor. Voor alle mogelijke strategieën van de verschillende spelers op de markt wordt de NPV berekend, op basis van deze NPV waarden stelt men een payoff matrix op. In deze matrix wordt gezocht naar het Nash Equilibrium.

Hoofdstuk 3

Literatuurstudie

Dit hoofdstuk omvat een literatuurstudie rond reële opties en speltheorie in het kader van investeringen door telecomoperatoren. Er wordt onderzocht welke opties vaak gebruikt worden in de literatuur, hoe deze worden toegepast en wat de conclusies zijn. Er wordt ook onderzocht hoe speltheorie wordt toegepast in de literatuur. Op basis van deze informatie worden de gelijkenissen en verschillen tussen speltheorie en reële opties bekeken. Vervolgens wordt er getracht een algemeen kader te schetsen waarin beide toegepast kunnen worden. Hierbij wordt opnieuw gekeken wat reeds beschikbaar is in de literatuur. Hoewel de studie voornamelijk gebeurt in het kader van telecomoperatoren, zijn de conclusies geldig voor toepassingen in een breder kader.

3.1. Reële opties:

3.1.1. Algemeen

Het principe van reële opties werd reeds besproken in het vorige hoofdstuk. Er zijn heel wat boeken te vinden die dieper ingaan op de theorie rond reële opties. Een van de grondleggers van reële opties is Lenos Trigeorgis. Een groot deel van de literatuur gebruikt zijn boeken als basis. Twee belangrijke werken van Trigeorgis zijn [8] en [11]. Een korte beschrijving van reële opties door Trigeorgis is te vinden in [12]. In deze paper worden de principes van reële opties beschreven en geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld over een raffinaderij. Het aanboren van een nieuw olieveld vergt een heel grote investering, waardoor een grondige economische haalbaarheidsanalyse vooraf nodig is. Er zijn ook heel wat onzekerheden aanwezig in het project. Er zijn allerlei factoren die de schatting van de boorkosten moeilijk maken, zoals de samenstelling van de ondergrond. De olieprijs is heel variabel, zodat ook de inkomsten moeilijk te schatten zijn. Deze onzekerheden zijn factoren die bij de meeste ontginningsprojecten van een natuurlijke grondstof aanwezig zijn. Veel voorbeelden in de theorie komen uit deze sector en ook in de praktijk gebruiken bedrijven in deze sector reële opties om investeringen te analyseren. Er zijn heel wat analogieën tussen projecten in deze sector en projecten in de telecomsector. Hieronder worden enkele gelijkenissen vermeld tussen het aanboren van een olieveld en het uitrollen van een FTTH netwerk:

- Er is een grote initiële sunk kost voor het uitrollen van een netwerk, waarbij die kost bovendien onzeker is. Deze kost is het plaatsen van centrale infrastructuur en het leggen van pijpleidingen in de olie-industrie en het uitrollen van een telecomnetwerk in de telecomsector.
- Het zijn grote projecten, die heel wat vergunningen vereisen en die meerdere jaren duren eer er inkomsten gegenereerd worden.
- Het zijn projecten die heel lang kunnen lopen met een hoge duurzaamheid.

Het boek van Wouter De Maeseneire [1] biedt een verstaanbare en vlot leesbare inleiding tot reële opties, waarbij veel aandacht wordt besteed aan voorbeelden. Dit zijn zowel reële cases als stilistische voorbeelden.

[12] kan gebruikt worden als tutorial voor het gebruik van reële opties in de praktijk. De theorie wordt geïllustreerd aan de hand van vele voorbeelden.

3.1.2. Cases

Volgend onderdeel bespreekt papers die investeringen in telecom analyseren aan de hand van reële opties. Er is vooral gelet op het type opties dat gebruikt wordt, de onzekerheden waar deze opties op inspelen en de berekeningstechnieken die gekozen zijn om de opties uit te rekenen. Er wordt een classificatie gemaakt volgens het 7s framework en de resultaten worden samengevat in een tabel. Hieruit worden conclusies getrokken waarbij getracht wordt algemene trends in telecomprojecten te identificeren.

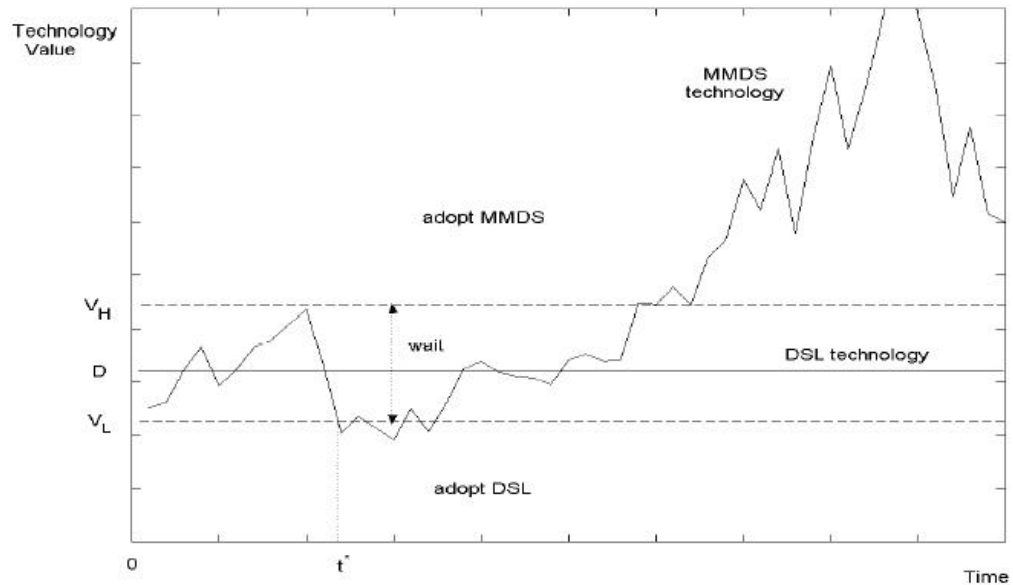
Een mooi kwantitatief voorbeeld om reële opties te illustreren is het M-commerce project in het boek van De Maeseneire [1]. Er wordt een typisch geval van scale up en scale down besproken. Er is de mogelijkheid om uit te breiden (schaal van het project met 60% vergroten) of het project te verlaten en de apparatuur te verkopen (verkoopprijs is 57% van de totale investeringskost). In dit voorbeeld worden heel wat inputwaarden gevarieerd in een Monte Carlo simulatie. Voor de meeste variabelen wordt een distributie met standaardafwijking 10% gekozen. Om de waarde van de gecombineerde opties te bekomen wordt de waarde van de optie om de schaal te vergroten opgeteld bij de optie om de apparatuur te verkopen. Dit mag omdat ze niet gecorreleerd zijn, de optie scale up zal enkel nuttig zijn indien de verkoop goed gaat, de optie abandon daarentegen zal enkel nuttig zijn indien de verkoop heel slecht gaat.

Bart Lannoo et al. onderzoeken de haalbaarheid van Mobile WiMAX als alternatief voor DSL en HFC netwerken aan de hand van scale up opties [14]. Er worden verschillende rollout scenario's bestudeerd, de keuze varieert tussen een stedelijke en een nationale rollout. Ook de snelheid van uitrollen kan gevarieerd worden. Er wordt opnieuw gebruik gemaakt van een Monte Carlo simulatie.

Sadowski et al. onderzoeken het uitrollen van een WiMAX netwerk in Eindhoven [16]. In een eerste fase is er de keuze om al dan niet een trial te doen om de technologische performantie van de nieuwe technologie op te lossen. In een tweede fase kan er besloten worden te investeren of nog te wachten, afhankelijk van de uitkomst van de trial. Indien er nog gewacht wordt, is er een 3de fase waarin nog meer gekend is over de markt en de technologie. Sadowski et al. concluderen dat nu investeren een negatieve payoff impliceert. Wanneer de optie study/start in beschouwing wordt genomen is de evaluatie wel positief. De waarde van deze optie wordt uitgerekend met een binomiaalboom.

De optie study/start kan ook nuttig zijn wanneer een keuze moet gemaakt worden tussen 2 technologieën. In Boyer et al. [17] wordt een keuze gemaakt tussen de bekende DSL technologie en een nieuwe veelbelovende MMDS technologie om de capaciteit van een bestaand netwerk uit te breiden. De economische waarde van de DSL technologie is gekend en deze van MMDS is niet

gekend. Wanneer de waarde van MMDS stijgt boven een threshold zal MMDS gekozen worden, wanneer de waarde van MMDS daalt onder een threshold zal DSL gekozen worden (zie Figuur 3-1).



Figuur 3-1: study/start optie [17]

Riihimäki weegt ADSL af tegen Wimax [18], er wordt gebruik gemaakt van Monte Carlo simulaties, de parameters zijn lognormaal verdeeld met parameter 0.1.

Harmantzis en Tanguturi onderzoeken de evolutie van communicatietoepassingen. In [19] onderzoeken ze de complicaties bij het overstappen van een vaste lijn naar een draadloos netwerk. Meer bepaald wordt de economische impact van het aanbieden van draadloos internet in moeilijk bereikbare plaatsen onderzocht, bijvoorbeeld in flatgebouwen of kelders. De optie die beschouwd wordt is een scale up optie. In [20] analyseren ze het overstappen van een 2.5G netwerk naar een 3G netwerk als een switch up optie. Een gelijkaardige studie wordt ondernomen in [21], nu wordt echter een case bestudeerd waar een licentie voor 3G reeds gekocht is. De waarde van de licentie wordt berekend, rekening houdend met een study/start optie. In [22] wordt deze studie verder uitgediept aan de hand van een case in India. Een alternatief voor het overstappen van 3G naar 2.5G is het aanbieden van een 2.5G netwerk in combinatie met WLAN [23]. De studie toont echter aan dat dit economisch niet haalbaar is. Harmantzis en Tanguturi bundelen samen met Trigeorgis de conclusies van deze papers in [24].

Het blijkt dat reële opties heel nuttig zijn bij het analyseren van een rollout project voor een draadloos netwerk. Een netwerk uitrollen is steeds een grote investering. Draadloze netwerken hebben ook een onzekere toekomst, de technologie is namelijk nog volop in ontwikkeling.

Licenties voor draadloze netwerken kunnen heel duur zijn. Daarom is het belangrijk de waarde van een investering correct te kunnen schatten. Voor de 3G licenties in Groot-Brittannië werd 35 miljard dollar betaald [25]. Basili en Fontini berekenen in [26] de waarde van deze licenties en gaan na of deze prijs correct is. De waarde die ze bekomen ligt heel dicht bij de kostprijs van de licentie. Deze hoge prijs blijkt verantwoord te zijn door de marktpositie die verworven wordt en de mogelijkheden om uit te breiden. Bij de evaluatie worden er vormen van scale up, switch up/down en het tijdelijk

stopzetten van het project in rekening genomen. De Maeseneire maakt in zijn boek [1] een gelijkaardige studie over de UMTS licenties. Door een goede Europese marktpositie te bekomen na het aanschaffen van een licentie, heeft een scale up optie een hoge waarde.

James Alleman bundelt heel wat studies rond reële opties toegepast in telecom [27]. Enkele daarvan worden hier besproken. Sanjai Bhagat geeft 2 uitgewerkte voorbeelden in zijn paper die reële opties toepassen [29]. Het eerste voorbeeld is een theoretische case, gebaseerd op Trigeorgis 1996 [8]. Het gaat over een project met een aanvankelijke R&D investering. Deze kan een jaar uitgesteld worden om de afloop van het stemmen van een wet af te wachten. Die wet heeft een grote invloed op de economische leefbaarheid van het project. Er is ook een scale up optie aanwezig, het uitrollen kan versneld worden of uitgebreid worden naar een grotere regio. Het tweede voorbeeld dat besproken wordt door Baghat is de LaserTalk case. Dit gaat over een operator die een project in een nieuw land wil starten. De opties worden uitgerekend met het Black & Scholes model. De aard van de opties wordt niet gespecificeerd, ze omvatten alle mogelijkheden die het investeren in een nieuwe markt met zich meebrengt.

Heel wat papers bespreken de impact van de wetgeving op de keuzes die operatoren maken. Om competitie te bevorderen wordt Local Loop Unbundling (LLU) opgelegd. De incumbent operator wordt verplicht de netwerkinfrastructuur die hij bezit open te stellen voor andere operatoren, tegen vastgelegde prijzen. Het voordeel hiervan is dat nieuwe operatoren een minder zware financiële inspanning moeten doen om services aan te bieden en competitie bevordert wordt. Dit levert geen capaciteitsproblemen op, indien elke operator daarentegen een eigen netwerk zou uitrollen zou er heel wat overcapaciteit zijn. De prijs voor het verhuren van materiaal is echter niet eenvoudig vast te leggen. Naast de marktwaarde, hoort men ook rekening te houden met de risico's die de netwerkeigenaar neemt door een zware investering te doen. In [30] argumenteert Pindyck dat de huidige wetgeving technologische vooruitgang in de weg staat. Een nieuw netwerk uitbouwen, of een bestaand upgraden vergt een grote sunk kost, waar een hoog risico mee verbonden is. Een nieuwkomer kan dit netwerk gebruiken in heel flexibele omstandigheden. Hij kan faciliteiten op korte termijn huren, zonder verbintenis. Er wordt geopperd dat de nieuwkomer aangerekend moet worden voor het risico dat de incumbent loopt door een zware financiële inspanning te doen in een onzekere markt. Het risico dat nu investeren inhoudt, komt overeen met het opgeven van een study/start optie [30]. Bijgevolg worden reële opties gebruikt om een nieuwe prijs te bekomen. Camacho en Menezes stellen een methode voor om deze study/start opties snel te berekenen, de option to delay pricing rule: ODPR [31]. Deze methode wordt toegepast op een case en de conclusie is dezelfde als deze van Pindyck. Heel wat literatuur is gewijd aan deze discussie. Verschillende werken uit Alleman 1999 [27] komen tot een gelijkaardige conclusie.

Er zijn ook studies die de huidige prijsstrategie verdedigen. Clarke [32], ook in Alleman 1999 [27], vindt de waarde van de reële opties aanwezig in deze projecten overschat. De sunk cost die als grootste argument gebruikt wordt is geen zuivere sunk cost. De apparatuur kan namelijk doorverkocht worden of (gedeeltelijk) een nieuwe functie krijgen. Ook wordt de optie om te wachten overschat door geen rekening te houden met het first movers advantage. Ook Pelcovits [33] vindt dat de waarde van de reële opties overschat wordt.

Nog verder dan de regulering gaat Lassila [33], die de mogelijkheid om bandbreedte te verkopen als commodity bestudeert aan de hand van reële opties. De optie study/start wordt gebruikt. Het

uitrekenen van de optiewaarde gebeurt op analytische wijze. Hiervoor wordt het lemma van Itô gebruikt, dit is een Taylor reeksontwikkeling voor stochastische processen.

Bilal [2] bestudeert de keuzes van een niet incumbent operator, aan de hand van een switch up optie. Er kan geswitcht worden tussen het huren van bitstream, het huren van ruimte in de central office (CO) en zelf al het materiaal aankopen. Benzoni et al. doen een gelijkaardige studie [35].

Een scope up optie wordt gebruikt door Laura Martin [36]. De eerste case in [36], die de waarde van een netwerkupgrade onderzoekt, houdt verband met telecom. Momenteel wordt er door investeerders geen waarde toegekend aan extra (nu niet gebruikte) capaciteit. Deze extra capaciteit kan in de toekomst gebruikt worden voor videotelefonie, e-commerce, gaming of elke andere applicatie die veel bandbreedte vereist. Verhuren aan ondernemers is ook mogelijk. Laura Martin berekent de economische waarde van deze extra capaciteit aan de hand van een scope up optie. Zo komt ze tot een meer realistische schatting voor de waarde van een telecomnetwerk.

Reële opties kunnen op vele manieren toegepast worden en vinden een breed toepassingsdomein. Gaynor en Bradner gebruiken reële opties [37] op een alternatieve manier. Er wordt een keuze gemaakt tussen een gekende efficiënte architectuur en een nieuwe gedistribueerde en flexibelere architectuur. Een gedistribueerde architectuur leent zich beter om experimenten te doen en zet dus meer aan tot innovatie. Wanneer veel experimenten worden gedaan, zal het beste resultaat verder van het gemiddelde liggen. Daarom wordt de NPV vermenigvuldigd met een factor afhankelijk van het aantal experimenten en de onzekerheid.

In [39] tenslotte is een overzicht te vinden van papers, lesmateriaal en cases uit de praktijk die reële opties behandelen.

Tabel 3-1 vat het gebruik van reële opties samen. De aard van de optie wordt besproken in de kolom 'optie'. Het nummer in de kolom 'link' komt overeen met het nummer in de referenties. De kolom 'onzekerheden' vat de belangrijkste onzekerheden samen waar deze opties op in spelen. De 'simulatiemethode' kolom geeft de methodes weer die gebruikt zijn om de reële opties uit te rekenen.

Conclusie

Het evalueren van draadloze netwerken is een hot topic. Hierbij worden vooral de scale opties en de study/start optie beschouwd. Ook switch up komt regelmatig voor in deze studies. Scope up komt zelden voor. Reële opties uitrekenen gebeurt vaak met de Black & Scholes formule of met een Monte Carlo simulatie. Een binomiaalboom wordt soms gebruikt in illustratieve voorbeelden. Er kan ook op analytische berekeningen gesteund worden, hierbij kan men bijvoorbeeld gebruik maken van het lemma van Itô.

Een ander groot studiegebied is de discussie omtrent de regulering van LLU. Hierbij wordt voornamelijk de study/start optie beschouwd. In dit gebied wordt de waarde meestal berekend via de Black & Scholes formule.

De onzekerheden die het meest meespelen in strategische beslissingen zijn de adoptie en de kosten. Ook de onzekerheid van de technologische evolutie is belangrijk. Soms worden ook de tarieven meegenomen als belangrijke onzekere factor.

| | Optie | link | Onzekerheden | Simulatiemethode |
|---------------------------------|---|--|---|--|
| Scale up en scale down | Uitrollen in meer of minder regio's/groter of kleiner gebied | [1],[14], [19], [22], [27] | Adoptie Kosten Tarieven | Monte Carlo(2x) Black & Scholes(1x) |
| | Sneller of trager uitrollen | [14], [27] | Adoptie Kosten Tarieven | |
| | Compound optie | [26] | Technologie Adoptie | Black & Scholes(1x) |
| | Abandon | [1], [26] | Adoptie Kosten Tarieven | Monte Carlo(1x) |
| Switch up en switch down | Naar recentere technologie | [2], [20], [22], [23] | Firm value Adoptie Kosten regulering | Binomiaalboom(1x) Black & Scholes(3x) Monte Carlo (1x) |
| Scope up en scope down | Gebruiken/verhuren niet gebruikte bandbreedte | [36] | | Black & Scholes(1x) |
| Study/ start | Trail om de onzekerheid op te lossen | [16] | Technologische performantie | Binomiaalboom(1x) |
| | Wait and see | [16], [17], [21], [22], [27], [31], [33], [35] | Markt Technologie regulering | Black & Scholes(3x) Binomiaalboom(1x) ODPR(1x) |
| | Wachten op investering van een andere partij en dan materiaal huren | [27], [30] | Adoptie kosten | |

Tabel 3-1: opties in de literatuur

3.2. Speltheorie

Het principe van speltheorie werd reeds besproken in het vorige hoofdstuk. De historische basis voor deze discipline werd gelegd door John Von Neumann in [40]. Dixit en Nalebuff bieden een toegankelijke inleiding tot speltheorie [41]. In Smit en Trigeorgis (2004) wordt meer in detail gegaan [42]. Een tutorial tot speltheorie wordt aangeboden door Felegyhazi en Hubaux [43]. Aan de hand van de routingstrategie van 2 routers worden de basisbegrippen en methodes van speltheorie uitgelegd. Er dient opgemerkt te worden dat dit geen economische studie is. Altman maakt een survey van heel wat studies die speltheorie toepassen in telecom, op niet economische cases [44]. Speltheorie wordt vaak gebruikt in theoretische context, maar als evaluatiemiddel in business cases is de literatuur beperkt [45]. Enkele papers die wel een evaluatie maken van een case worden hier besproken.

Cricelli et al. onderzoekt de veranderende markt in telecom [47]. Vroeger was er in telecom sprake van een bilaterale monopolie, in de nationale markten een monopolie en internationaal weinig competitie. Door de globalisering stijgt de vraag naar internationale telecommunicatieservices snel. Door de hoge prijzen voor roaming en de dalende technische kosten voor internationaal bellen, wordt lange afstand communicatie een belangrijke bron van inkomsten. Dit zorgt ervoor dat bedrijven uit een nationale monopoliepositie tegenover elkaar komen te staan op de internationale markt. Een tweede reden dat de markt evolueert van een monopolie naar een competitie model is de regulering die erop gericht is om competitie te bevorderen. Cricelli et al. bespreken een coöperatief spel dat uit 2 stages bestaat. Er wordt zowel met Bertrand als met Cournot competitie gewerkt. Men spreekt van Bertrand competitie wanneer het doel van een speler is om de winst te maximaliseren door de prijs aan te passen. Er wordt verondersteld dat de klanten de speler met de laagste prijs zullen kiezen. Dit zorgt ervoor dat de prijzen laag zullen zijn. Men spreekt over Cournot competitie wanneer bedrijven proberen zoveel mogelijk output te produceren. Het bedrijf dat het meeste produceert zal namelijk het grootste marktaandeel hebben. Er wordt competitie gemodelleerd in de internationale telecommarkt aan de hand van 2 uitwerkingen: een bilaterale monopolie en een duopolistische competitie. De berekeningen gebeuren aan de hand van een analytisch model dat wordt opgebouwd, waarbij gebruik gemaakt wordt van het Nash Equilibrium. De algemene conclusies van de paper zijn dat de spelers een neiging hebben om afspraken te maken. Het equilibrium ligt steeds hoger voor een coöperatief spel dan voor een niet-coöperatief spel. In de paper wordt aangetoond dat deze afspraken er voor zorgen dat de tarieven lager zijn, zowel op de internationale markt als op de nationale markten en dit in beide cases die onderzocht zijn.

Bart Wouters onderzoekt de haalbaarheid van het uitrollen van FTTH stadsnetwerk in Gent [3], waarbij er sprake is van een duopolie. Het stadsnetwerk wordt uitgerold door de stad Gent in samenwerking met Belgacom, de andere speler is Telenet. Telenet zal zijn HFC netwerk verder uitbreiden. Een Nash Equilibrium wordt gezocht met behulp van de Gambit tool [28]. De strategieën die mogelijk zijn verschillen door de uitrolsnelheid en uitrolvolgorde te variëren. De evaluatie wordt gemaakt op basis van de NPV. De conclusie van de studie is dat een FTTH netwerk een goede investering zou zijn voor de stad Gent. Casier et al. [46] bestudeert ook deze case en concludeert dat het uitrollen van een FTTH netwerk het meeste succes zal hebben in industriële sites. Ook zal het uitrollen van het FTTH netwerk de bestaande operator in een agressievere strategie drijven. Er wordt aangetoond dat er ruimte is voor 2 operatoren die beide winstgevend zijn.

Binmore en Klemperer schrijven hun bevindingen neer bij het organiseren van de 3G licentie veiling in Groot-Brittannië [25]. Aan de hand van speltheoretische overwegingen hebben ze getracht de veiling te organiseren op een manier die competitie maximaal promootte.

Conclusie

Speltheorie kan op vele manieren gebruikt worden. Men kan een heel eenvoudig model bestuderen of een heel ingewikkeld en realistisch model simuleren. Een belangrijke keuze is of er overleg kan gepleegd worden tussen de spelers: is het een coöperatief spel of niet? Vaak worden spelers symmetrisch gekozen, dit maakt de modellering veel eenvoudiger. Veelal wordt de keuze van de strategie vooraf gemaakt door de spelers. Er is meestal sprake van 2 spelers.

3.3. Omvattend framework voor reële opties en speltheorie

3.3.1. Vergelijking tussen reële opties en speltheorie

Uit de eerste paragrafen van dit hoofdstuk kunnen we concluderen dat zowel speltheorie als reële opties gebruikt worden om telecomprojecten te evalueren. Beide tools worden vooral gebruikt wanneer er een grote investering gedaan wordt, zoals het uitrollen van een nieuw netwerk of het upgraden van een huidig netwerk. Er wordt getracht om de toekomstige cash flows zo nauwkeurig mogelijk te voorspellen. Beide tools kunnen als basis een statische NPV berekening nemen en deze uitbreiden naar een meer realistische voorspelling van de inkomsten. Dit wordt bereikt door in verschillende situaties een optimale strategie te zoeken. Er wordt verwacht dat de manager van het project, de juiste strategie herkent en daar ook correct op inspeelt.

Reële opties zoeken een optimale strategie wanneer onzekerheid een grote rol speelt. Speltheorie daarentegen zoekt een optimale strategie wanneer er competitie tussen verschillende spelers is. Dit zijn twee verschillende eigenschappen van de markt. Wanneer beslissingen genomen worden, moet met beide rekening gehouden worden. Wanneer er één uit het oog verloren wordt kan men een verkeerde strategie kiezen en heel wat inkomsten mislopen. Beide tools zijn niet compleet, maar kunnen gebruikt worden als aanvulling op elkaar.

Hiervoor dient echter een framework uitgedacht te worden waar overwegingen van beide tools tegen elkaar afgewogen worden. De tegenstrijdigheid tussen de study/start optie en het first movers advantage zal vaak een belangrijke afweging zijn. De study/start optie beschouwt de waarde van het uitstellen van een investering. Het first movers principe daarentegen impliceert dat de eerste die in een markt investeert een groter marktaandeel verwerft. De investering hoort dus zo snel mogelijk te gebeuren om de concurrentie voor te zijn. Ook bij het gebruik van een scale, switch of scope optie kan men in competitie treden met een nieuwe concurrent en dient men rekening te houden met speltheoretische overwegingen. Door onvoldoende rekening te houden met concurrentie kunnen inkomsten overschat worden en kunnen opties zinvol lijken die eigenlijk geen waarde hebben. Ook de waarde van een mogelijke strategie kan verkeerd ingeschat worden door geen rekening te houden met reële opties. Men kan de waarde van een strategie bijvoorbeeld onderschatten door

geen waarde toe te kennen aan de opties aanwezig in het project. Dit kan ertoe leiden dat een strategie met een lagere payoff gekozen wordt.

Om reële opties en speltheorie in een framework samen te gieten kan een expanded NPV analyse met reële opties beschouwd worden als een spel met 1 speler. Wanneer meerdere strategieën beschouwd worden, wordt voor elke strategie een expanded NPV analyse uitgevoerd. Vervolgens kan een equilibrium gezocht worden dat zowel met competitie als met de flexibiliteit van het management rekening houdt. Een strategie zal vaak overeenkomen met het al dan niet lichten van een optie. Dit betekent dat de opties die aanwezig zijn in een project vaak verschillen van strategie tot strategie. Wanneer de strategie bijvoorbeeld het moment van investeren bepaalt, wordt een keuze gemaakt over het al dan niet uitvoeren van een study/start optie. In dit geval wordt de afweging gemaakt tussen het first movers advantage en de study/start optie. Op deze manier ontstaan strategieën vaak door reële opties die aanwezig zijn. Een strategie die bepaalt of er in een nieuwe markt wordt geïnvesteerd of niet, oordeelt over het lichten van een scale up optie.

Omdat voor elke strategie een volledig nieuwe reële opties analyse moet gedaan worden kost deze methode heel wat tijd om uit te rekenen. Daarom is het nuttig een generiek programma te ontwikkelen dat deze werklust verlicht. Een beschrijving van een implementatie in Java die gemaakt is in deze studie volgt in hoofdstuk 5.

Er zijn reeds heel wat studies die een framework rond reële opties en speltheorie bekijken. Een bespreking van enkele voorbeelden uit de literatuur volgt in het volgende deel.

3.3.2. Option-games in de literatuur

Hoewel option-games nog maar recent ontwikkeld zijn, is het een studiegebied waar veel aandacht aan besteed wordt. Er zijn bijgevolg ook heel wat papers die deze materie bestuderen. Een goede review van option-games is te vinden in [48].

Smit en Trigeorgis bespreken de option-games theorie in [6]. Het evaluatie criterium is de expanded NPV, die rekening houdt met cash flows, flexibiliteit en competitie. Option-games analyse wordt gezien als een expanded NPV analyse:

$$\text{Projectwaarde} = \text{NPV} + \text{flexibiliteit waarde} + \text{strategische waarde}$$

De voorbeelden houden vooral verband met speltheorie en werden in deze context reeds besproken in het vorige hoofdstuk. In een boek gaan Smit en Trigeorgis dieper in op een framework voor option-games [42]. Er wordt een toegankelijke beschrijving geleverd met heel wat voorbeelden. De voorbeelden maken zowel gebruik van reële opties als speltheorie. Eerst worden de algemene principes van strategisch management, reële opties en speltheorie duidelijk uitgelegd. De voordelen van reële opties tegenover DCF en decision tree analysis worden aangetoond. Voor het uitrekenen van reële opties wordt een binomiaalboom gebruikt. Bij de studie rond option-games wordt veel aandacht geschonken aan het afwegen tussen een study/start optie en het first movers advantage.

Smit en Trigeorgis passen de theorie van option-games toe op investeringen in infrastructuur. Dit zijn investeringen die de marktpositie beïnvloeden en waar strategische overwegingen meespelen. Ook

bieden deze veel groeimogelijkheden in de toekomst, om deze te valoriseren worden reële opties gebruikt. Het principe wordt geïllustreerd aan de hand van een case rond de luchthaven Schiphol [49]. Smit bespreekt de toepassingen op luchthavens in meer detail [50]. De lijn van deze papers kan doorgetrokken worden naar telecom netwerken, waar infrastructuur eveneens belangrijk is.

Smit bespreekt in [52] een buy-and-build strategie. Door een bedrijf over te nemen kan men een nieuwe markt aanboren. Wanneer dit succesvol blijkt, is er een heel waardevolle scale up optie. Aangezien het een overname betreft om een nieuwe markt te betreden, spelen uiteraard ook speltheoretische overwegingen mee.

Heel wat papers gaan over het afwegen tussen de study/start optie en het first movers advantage. [53], [54] en [55] berekenen dit aan de hand van de methode die in 3.3.1 besproken wordt. Bouis et al. [56] beschrijft een manier om het ideale moment van investeren te bepalen in een oligopolie. Er wordt een competitie model beschouwd met 3 (of algemeen n) identieke bedrijven die in competitie treden in een nieuwe markt. Er worden analytische formules opgesteld om het juiste moment van investeren te bepalen, zowel voor de first mover als voor de volgers. Uit de resultaten van deze formules wordt het accordeon effect afgeleid. In vergelijking met een duopolie zal de first mover later investeren en de tweede investeerder vroeger. De tweede investeerder zal sneller investeren om langer te genieten van een duopolie. Hierdoor geniet de eerste een kortere periode van een monopolie en zal bijgevolg later investeren. De 3de investeerder hoeft geen rekening meer te houden met andere bedrijven en kan wachten op een gunstig moment om de markt te betreden. Dit accordeon effect wordt verder uitgebreid naar n spelers: Bedrijven die als k^{de} investeren, zullen relatief snel investeren indien k even is en indien k oneven is zullen ze relatief traag investeren. De investeringsdrempel voor de first mover is een zaagtand in functie van n . In het voorbeeld wordt Cournot competitie gebruikt.

Angelou en Economides breiden de kwantitatieve analyse van het option-games model uit met een kwalitatieve analyse [57]. De analyse is gebaseerd op een formule voor OBU (overall business utility) die een som is van kwalitatieve en kwantitatieve termen. Aan de hand van een hiërarchische boomstructuur (AHP) wordt voor elke strategie de OBU berekend. Elementen die in rekening gebracht worden zijn: onomkeerbaarheid, risk control, mogelijkheid tot study/start optie, competitie elementen, emotionele factor,...

Grenadier bundelt heel wat papers rond het onderwerp in [45]. Verzamelde links in verband met option-games zijn te vinden in [59].

Uit de literatuur blijkt dat de belangrijkste afweging inderdaad deze is tussen de study/start optie en het first movers advantage.

3.4. Conclusie

Reële opties blijken heel nuttig in analyses van telecomnetwerken. Vooral de study/start en scale opties worden vaak gebruikt. Ook switch up wordt regelmatig toegepast. Zowel reële opties als speltheorie helpen om een meer realistische voorspelling te maken van de cash flows dan een statische NPV-berekening. Beide tools bieden een grote meerwaarde bij het evalueren van een investeringsproject in de telecomsector. Elk beschouwen ze een ander aspect van de markt. Wanneer ze samen gebruikt worden, kunnen ze een heel goed beeld schetsen van de verwachte payoff van een investering. De grote onzekerheden en invloed van competitie op de beslissingen van de spelers maakt dat de theorie van option-games geschikt is voor de telecomsector. De regulering in telecom zorgt ervoor dat competitie een extra belangrijke rol speelt.

Hoofdstuk 4

Netwerktechnologie

Dit hoofdstuk bespreekt de technische kenmerken van een telecomnetwerk. Er wordt onderzocht welke de mogelijke technologieën zijn en welke infrastructuur nodig is om een netwerk uit te bouwen met deze technologieën. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen vaste en draadloze netwerken. De keuze van de technologie hangt van heel wat factoren af, zoals de vereiste bandbreedte, reeds beschikbare infrastructuur, demografische kenmerken van de regio, regulering, enzovoort. Aan de hand van deze technische kenmerken worden de belangrijkste kosten voor het uitrollen van een netwerk geïdentificeerd. Op basis van deze kosten kan een economisch model opgebouwd worden. Hierop kan men de economische studie rond reële opties en speltheorie uit de vorige hoofdstukken toepassen. In de hoofdstukken die volgen, wordt een bestaand economisch model in Java gebruikt waarop de theorie rond reële opties en speltheorie kan toegepast worden. Dit hoofdstuk kan beschouwd worden als de technische achtergrond waarop het Java model gebouwd is.

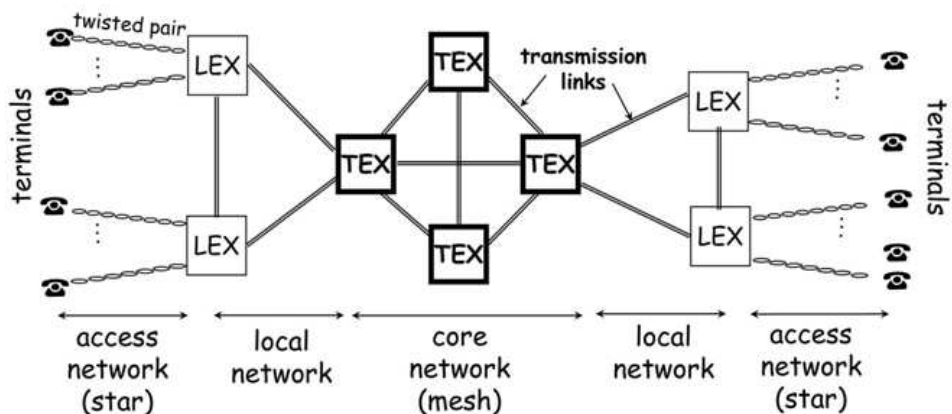
4.1. Vaste netwerken

De technologieën die voornamelijk gebruikt worden in de huidige vaste netwerken zijn Digital Subscriber Line (DSL) en Hybrid Fiber Coaxial (HFC) netwerken. Optische kabels laten een veel snellere datatrafiek toe. Een netwerk dat volledig opgebouwd is uit glasvezel noemt men een Fiber To The Home (FTTH) netwerk. FTTH biedt heel wat mogelijkheden naar de toekomst toe. Deze 3 technologieën worden in de volgende secties besproken. Vervolgens worden algemene kosten in een vast netwerk geïdentificeerd.

4.1.1. Netwerktechnologieën

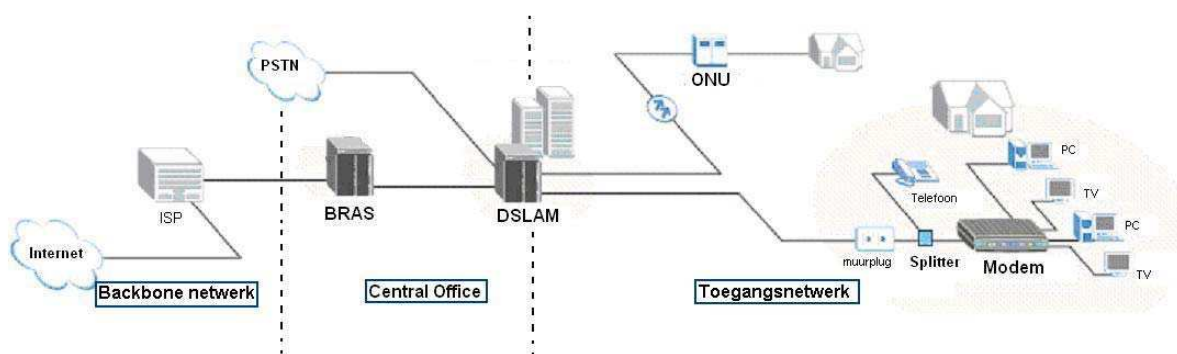
➤ *DSL*

Digital Subscriber Line (DSL) is een technologiefamilie die digitale data transmissie levert over het toegangsnetwerk van het telefoonnetwerk. Het klassieke telefoonnetwerk, het PSTN netwerk (public switched telephone network), maakt gebruik van twisted pair koperkabels. Figuur 4-1 is een schematische voorstelling van het PSTN netwerk. Het backbone netwerk (core network) bestaat uit een mesh van transit exchanges (TEX). Het lokale netwerk (local network) verbindt de local exchanges (LEX) met het backbone netwerk. Zowel het backbone netwerk als het lokale netwerk zijn glasvezelnetwerken. Het toegangsnetwerk (access network) wordt ook de local loop genoemd. Hier wordt de verbinding gemaakt tussen de gebruikers en de LEX. In dit deel van het netwerk worden twisted-pair koperkabels gebruikt.



Figuur 4-1: PSTN network [2]

DSL services gebruiken het toegangsnetwerk van het PSTN netwerk en worden op dezelfde lijn verzonden als het gewone telefoonverkeer. DSL verkeer wordt onderscheiden van het klassieke telefoonverkeer door het gebruik van hogere frequenties. In de local exchange van het PSTN netwerk, die ook de central office (CO) wordt genoemd, komt zowel het analoge telefoonverkeer als het digitaal internetverkeer toe. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 4-2. De Broadband Remote Access Server (BRAS) is het toegangspunt voor de ISP's (internet service providers) in de central office. De DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) verbindt verschillende DSL lijnen met het backbone netwerk, door gebruik te maken van multiplexing. Er wordt gebruik gemaakt van een splitter om het spraaksignaal te scheiden van de digitale data. Wanneer de klant te ver van de CO verwijderd is kan een optical network unit (ONU) gebruikt worden. Dit netwerkelement wordt via glasvezel verbonden met de CO en via koper met de klant. Elke klant zal 1 DSL lijn hebben die in verbinding staat met de CO via de DSLAM.



Figuur 4-2: DSL schema [61]

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen symmetrische en asymmetrische DSL. Bij symmetrische DSL is de uploadsnelheid gelijk aan de downloadsnelheid. Bij asymmetrische DSL ligt de downloadsnelheid hoger dan de uploadsnelheid.

Bij nieuwe DSL technologieën worden steeds hogere frequenties gebruikt, deze leveren een hoger datadebiet. Het gebruik van hogere frequenties zorgt echter ook voor grotere attenuatie waardoor

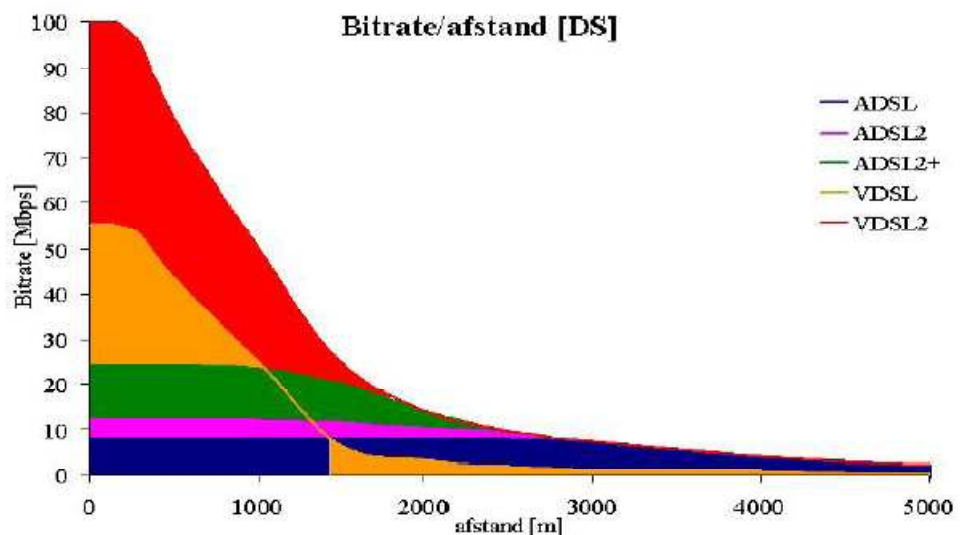
de afstand koperkabel steeds korter moet zijn. Hier worden vaak ONU's voor gebruikt. Dit zorgt ervoor dat het kopernetwerk stilaan vervangen wordt door een glasvezelnetwerk. De verschillende generaties van DSL netwerken worden samengevat in Tabel 4-1.

| Netwerk Type | Download Snelheid (Mbps) | Upload Snelheid (Mbps) | Maximale koperlengte(m) |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| Analoge lijn | 0.056 | 0.033 | n/a |
| ISDN | 0.128 | 0.128 | n/a |
| HDSL | 1.54 | 1.54 | 3650 |
| ADSL | 8 | 0.8 | 5500 |
| ADSL2 | 12 | 1 | 3000 |
| ADSL2+ | 24 | 3.5 | 1200 |
| VDSL | 52 | 16 | 300 |
| | 26 | 26 | 300 |
| VDSL2 | 100 | 100 | <300 |

Tabel 4-1: overzicht van DSL netwerken[3]

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) is momenteel de meest gebruikte vorm van DSL verbinding. De ADSL technologie levert een downloadsnelheid die 10 maal zo groot is als de uploadsnelheid. Hiervoor werd gekozen omdat internetservices bij het ontwikkelen van ADSL voornamelijk gebruikt werden voor het afhalen van data. ADSL heeft in vergelijking met de andere technologieën een groot bereik.

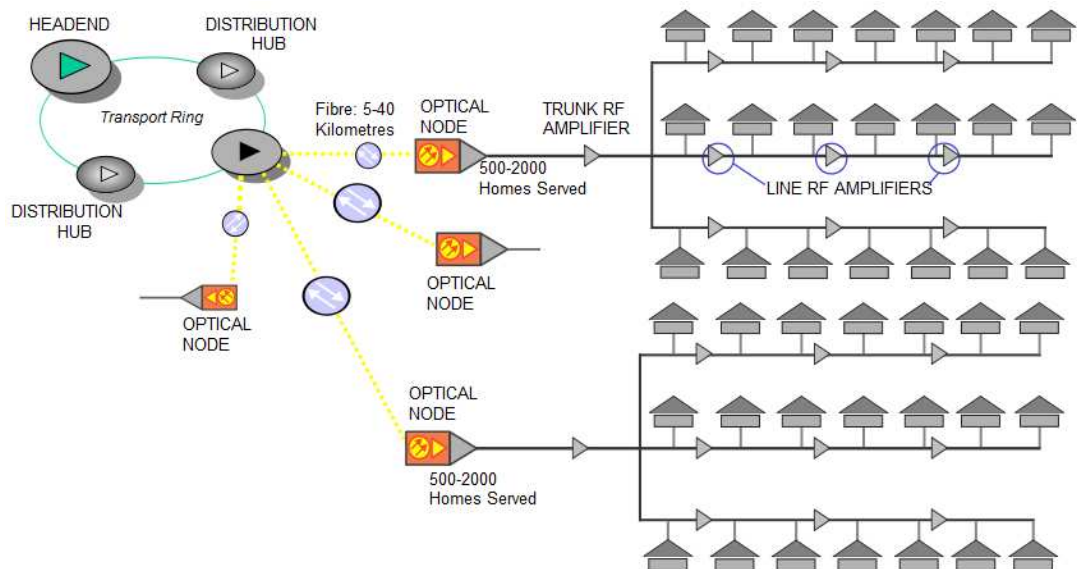
VDSL (Very High Speed Digital Subscriber Line) is de opvolger van ADSL. VDSL2 is de recentste versie en biedt hele hoge snelheden aan in vergelijking met de vorige technologieën. Het nadeel aan VDSL en VDSL2 is hun bereik. Figuur 4-3 illustreert de verhoudingen tussen de snelheid en de afstand tot de klant voor de verschillende DSL technologieën.



Figuur 4-3: bitrate/afstand voor DSL technologieën [61]

HFC

Een Hybrid Fiber Coaxial (HFC) netwerk is een netwerk waarbij zowel glasvezel als coax gebruikt worden. Oorspronkelijk werden in deze netwerken enkel coaxkabels gebruikt en werd enkel kabeltelevisie aangeboden. Sinds de jaren '90 worden kabelnetwerken omgebouwd tot een hybride netwerk met zowel coaxkabels als glasvezel. In deze HFC netwerken kunnen ook internetdiensten en telefonie aangeboden worden. Figuur 4-4 toont een schema van een HFC netwerk. Een head end zorgt voor de verbinding tussen het backbone netwerk en de local loop. In de head end (central office) bevindt zich de Cable Modem Termination System (CMTS). De CMTS heeft dezelfde functie als een DSLAM in een DSL netwerk. De head end wordt via verschillende optische nodes verbonden met de eindgebruikers. Tussen de head end en de optische nodes liggen glasvezelkabels. Tussen de optische nodes en de eindgebruiker wordt data verstuurd over coaxkabels. In dit stuk zitten verschillende versterkers die de signalen in het coaxdeel bijregelen. De gebruikers van één optische node zullen eenzelfde coaxkabel delen. Het gebied dat bediend wordt door een node wordt een service area (SA) genoemd. Aan de gebruikerskant dient een kabelmodem (CM) aanwezig te zijn.



Figuur 4-4: HFC netwerk [6]

De standaard die gebruikt wordt voor het transport over het HFC netwerk is Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS). DOCSIS is ontwikkeld zodat het transparant gebruikt kan worden door het Internet Protocol (IP). Er zijn verschillende versies van DOCSIS uitgebracht. In tabel 4.2 worden de snelheden van de verschillende versies besproken, ook de Quality of Service (QoS) wordt aangegeven.

| | Download Snelheid (Mbps) | Upload Snelheid (Mbps) | Quality of Service (QoS) |
|-------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| DOCSIS 1.0 | 51 | 10 | Best effort |
| DOCSIS 1.1 | 51 | 10 | Gegarandeerd |
| DOCSIS 2.0 | 51 | 30 | Gegarandeerd |
| DOCSIS 3.0 | 160 | 120 | Gegarandeerd |

Tabel 4-2: DOCSIS standaarden [3]

DOCSIS 1.0 is de eerste versie van de DOCSIS standaard. Er wordt gewerkt volgens het best effort principe.

De verbeteringen van **DOCSIS 1.1** ten opzichte van DOCSIS 1.0 zijn:

- gegarandeerde QoS
- verbeterde beveiliging (kabelmodem identificatie en betere data encryptie)
- ondersteuning SNMPv3 (netwerkmanagement)

Verbeteringen van **DOCSIS 2.0** ten opzichte van DOCSIS 1.1:

- verhoging upstream bandbreedtes
- verbeterde stabiliteit bij ruis
- betere foutcorrectie

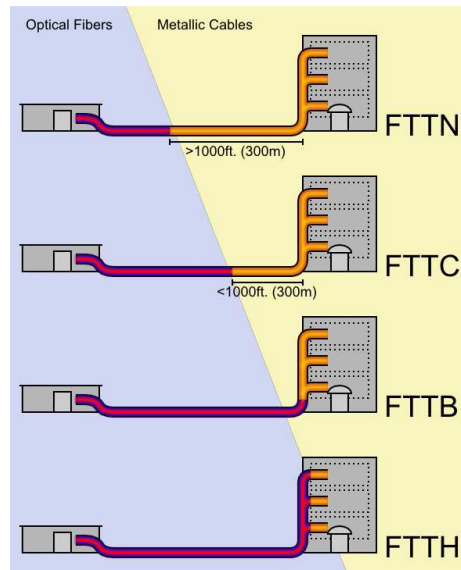
Momenteel wordt vooral DOCSIS 2.0 gebruikt. De laatst ontwikkelde standaard is **DOCSIS 3.0**. Deze levert veel hogere datarates door het gebruik van parallelle kanalen. Ook wordt de nieuwe standaard van het IP protocol, IPv6, ondersteund.

Wanneer wordt overgeschakeld naar een nieuwe standaard moet de CMTS vervangen worden. Er kunnen echter minder klanten per SA voorzien worden in een nieuwe standaard. Er moet dus meer glasvezel en meer optische nodes voorzien worden, zodat er minder klanten per SA bediend worden. Ook in een HFC netwerk vindt dus een evolutie naar meer glasvezel plaats.

➤ **FTTH**

Uit de vorige delen blijkt dat operatoren bestaande netwerken steeds verder uitbreiden door grotere delen van het netwerk te vervangen door glasvezel. Fiber To The Home (FTTH) is de ultieme versie hiervan, een netwerk dat volledig bestaat uit glasvezel. De verschillende tussenvormen die gebruikt worden, worden geïllustreerd in Figuur 4-5.

Indien de afstand van het einde van de glasvezelkabel tot de eindgebruiker groter is dan 300m spreekt men van Fiber To The Node (FTTN). Indien de glasvezelkabel loopt tot aan de stoep spreekt men van Fiber To The Curbe (FTTC). Indien de glasvezelverbinding loopt tot aan het gebouw van de eindgebruiker, maar niet tot aan zijn werkplaats, spreekt men van Fiber To The Building (FTTB). Wanneer het volledige netwerk bestaat uit glasvezel spreekt men van FTTH.



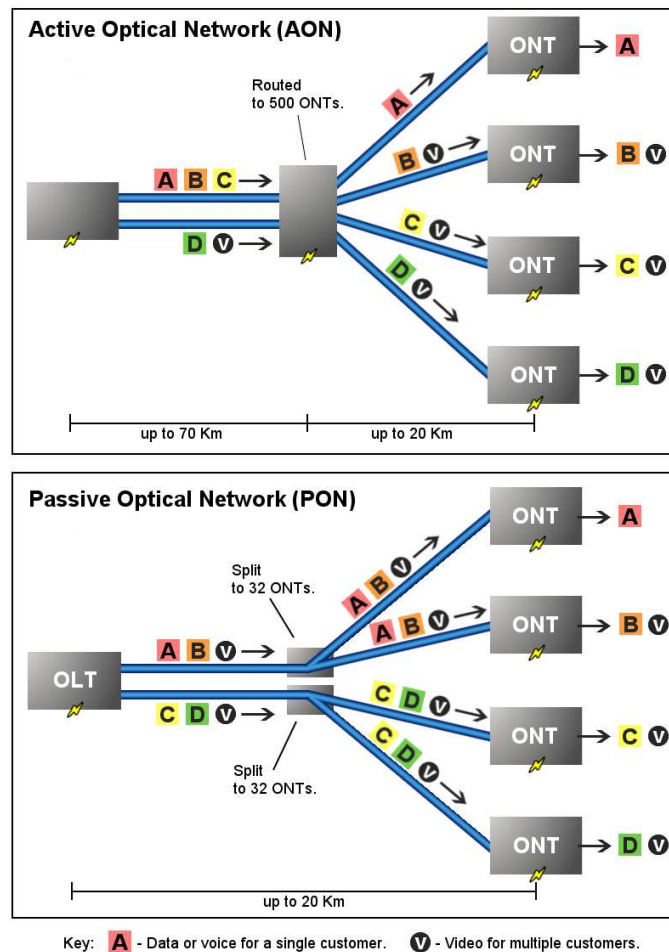
Figuur 4-5: FTTx [62]

FTTH levert veel hogere bitrates op dan een netwerk dat slechts gedeeltelijk bestaat uit glasvezel. In het verleden wogen de kosten van een dergelijk netwerk niet op tegen de extra bandbreedte. Door de snelle evolutie van services die grote hoeveelheden bandbreedte vereisen en door een daling van de kosten voor optische netwerkelementen werden de laatste jaren reeds enkele FTTH netwerken uitgerold.

Wanneer men een FTTH netwerk uitrolt kan men kiezen tussen een passief netwerk en een actief netwerk. Het verschil tussen beide wordt geïllustreerd in Figuur 4-6. Een passief netwerk (PON) is een point-to-multipoint structuur. Hier wordt het medium gedeeld door verschillende eindgebruikers, data bestemd voor één gebruiker wordt dus naar iedereen broadcast. Dit beperkt de hoeveelheid glasvezel in de grond, maar elke splitter zorgt voor een attenuatie. Ook zal dit de snelheid en bandbreedte van het netwerk beperken. Er is keuze tussen verschillende standaarden voor PON netwerken. De belangrijkste zijn EPON, een protocol gebaseerd op Ethernet en het GPON protocol, dit protocol ondersteunt zowel Ethernet als ATM. Een actief netwerk is een point-to-point structuur. In dit systeem bevindt de ONU zich bij de eindgebruiker. Deze is rechtstreeks verbonden met een Optical Line Terminator (OLT) kaart. Indien deze OLT zich in de CO bevindt spreken we van Home Run Fiber. Indien de OLT zich in een straatkabinet bevindt spreken we van een Active Star netwerk. Vanuit het straatkabinet wordt dan een gemeenschappelijke feeder gebruikt voor de verbinding met de CO.

De apparatuur die gebruikt wordt is:

- ONU, einde van het netwerk aan de gebruikerskant
- OLT, doet multiplexing en verbindt de gebruikers met de ISP
- Splitter (bij PON), verdeelt het gemeenschappelijk medium



Figuur 4-6: AON en PON structuur [62]

4.1.2. Belangrijke kosten bij het uitrollen van een telecomnetwerk

➤ *Uitrolkosten*

In deze sectie worden de belangrijkste kosten bij het uitrollen van een vast netwerk geïdentificeerd. Er wordt gekeken welke kosten voor elke technologie gelijk zijn en welke kosten verschillend zijn.

De grootste kost zal steeds de plaatsingskost van de kabels zijn. Een DSL netwerk maakt gebruik van een bestaand telefoonnetwerk, een HFC netwerk maakt gebruik van het bestaande kabeltelevisienetwerk. Deze technologieën vereisen dus geen volledig uitrol, maar slechts het toevoegen van glasvezel aan het bestaand netwerk. Om een FTTH netwerk uit te rollen dient men echter wel een volledig nieuwe infrastructuur te voorzien. Er zijn 3 mogelijkheden om glasvezelkabels te plaatsen. Men kan deze bovengronds uitrollen, de kost zal hier minder hoog zijn. Door reguleringen is dit in de meeste landen echter niet mogelijk. Een tweede mogelijkheid is het gebruiken van wachtbuizen die reeds in de grond aanwezig zijn, de kabel wordt dan door deze buis getrokken. Hiervoor moet uiteraard reeds een buis aanwezig zijn. De 3de mogelijkheid is steeds mogelijk en is ondergronds graven. Dit is echter heel duur. Bovengronds uitrollen en ondergronds trekken zullen meestal niet mogelijk zijn, bijgevolg wordt meestal ondergronds graven toegepast. Aangezien dit een project van lange duur is, dient men de volgorde waarin verschillende regio's

worden uitgerold goed te overwegen. Op deze manier kan men reeds tijdens het uitrollen maximaal inkomsten genereren van de eerste klanten.

Het duurste onderdeel van het uitrollen van een glasvezelnetwerk zijn de connecties tot elk huis. Dit verklaart het succes van FTTx oplossingen waar het laatste stuk van het netwerk nog steeds voorzien wordt door koper- of coaxkabels. Een voorbeeld hiervan is VDSL. Deze graafkost zal bij DSL en HFC veel kleiner zijn dan bij FTTH (aangezien het duurste onderdeel wordt overgenomen van een bestaand netwerk). FTTH biedt echter veel hogere bandbreedtes en een volledig glasvezelnetwerk zal in de toekomst onvermijdelijk zijn.

De belangrijkste parameter in het bepalen van de graafkosten is de grootte van de regio waarin men uitrolt.

➤ **Equipment kosten**

Bij elke technologie bevindt een groot deel van de equipment zich in de CO. De grootste kost bij FTTH is de OLT, bij HFC is dit de CMTS en bij DSL is dit de DSLAM. Naast deze componenten zijn er nog de splitters en versterkers die zich in het netwerk bevinden. De kost van de kabels zelf dient ook in de berekeningen meegenomen te worden. Aan de kantzijde dient steeds een modem geplaatst te worden, de kost hiervoor is bij elke technologie vergelijkbaar. De equipment die voorzien wordt in de CO en het netwerk hangt enkel af van het aantal klanten en is een directe kost.

Naast deze equipment kost zal er aanvankelijk ook een opstartkost zijn om de CO op te zetten. Het opzetten van de CO is een vaste kost die niet afhangt van het aantal gebruikers.

De graafkosten en de equipment kosten vormen samen de CAPEX (Capital Expenditures). Dit zijn eenmalige kosten.

➤ **OPEX**

OPEX (Operating Expenditures) zijn terugkerende kosten. Dit omvat het vervangen van beschadigde componenten, onderhoudskosten en kosten voor administratie en beheer. In vergelijking met de CAPEX is de OPEX relatief laag. De OPEX kost zal hoger zijn bij actieve netwerken, deze hebben meer lijnen en meer actieve componenten die vaker kapot gaan. De OPEX hangt af van het aantal klanten en de hoeveelheid equipment die nodig is.

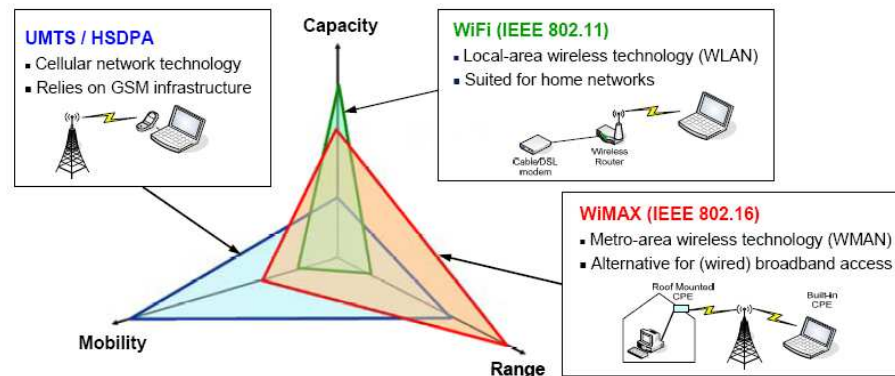
➤ **Inkomsten**

Wanneer men een economisch model wil simuleren, moet men uiteraard ook de inkomsten beschouwen. Om de adoptie te bepalen kan men verschillende modellen gebruiken. Voorbeelden zijn het diffusiemodel van Bass en de gompertzcurve.

4.2. Draadloze netwerken

4.2.1. Technologieën

Er zijn 3 belangrijke technologieën die gebruikt kunnen worden om een draadloos netwerk op te zetten: UMTS, WiFi, WiMAX. Deze worden vergeleken in Figuur 4-7.



Figuur 4-7: vergelijking UMTS, WiFi, WiMAX [3]

WiFi biedt hoge snelheden aan, maar heeft een heel kort bereik. WiFi wordt bijgevolg vooral gebruikt in thuisnetwerken. UMTS wordt vooral gebruikt om mobiele communicatie aan hogere datarates aan te bieden. De capaciteit van UMTS is echter beperkt. WiMAX slaagt erin een grote range te combineren met aanvaardbare datarates en is bijgevolg de beste keuze om breedband acces aan te bieden. De nieuwe standaard van WiMAX laat toe om ook mobiliteit aan te bieden. Dit geeft WiMAX een extra voordeel tegenover vaste netwerken.

Momenteel kan Mobile WiMAX snelheden van 30 tot 40 Mb/s leveren. De nieuwe standaarden van WiMAX beloven snelheden tot 100Mb/s (voor fixed WiMAX worden snelheden tot 1Gbit/s voorspeld) [62]. Deze hoge snelheden en het grote bereik maken dat deze technologie geschikt is om breedbandtoegang te voorzien in uitgestrekte gebieden.

WiMAX wordt op een gelijkaardige manier uitgerold als een mobiel telefonienetwerk. Verschillende base stations moeten geïnstalleerd worden om een draadloze verbinding met de gebruikers tot stand te kunnen brengen. Een base station wordt verbonden met het backhaul netwerk via een WiMAX Acces Controler (WAC).

4.2.2. Kosten WiMAX

➤ CAPEX

De grootste kost in het uitrollen van een WiMAX netwerk is het installeren van base stations. Dit komt door de hoge kost van het bouwen van een pyloon. De regulering zegt dat pylonen gedeeld moeten worden tussen operatoren. De kost voor het uitrollen van een netwerk kan dus heel wat lager zijn indien er reeds pylonen beschikbaar zijn. Deze kost hangt enkel af van de grootte van het uitrolgebied.

De apparatuur die nodig is bevindt zich hoofdzakelijk in de base stations. Dit betreft de WAC, routers,... Deze kosten zijn evenredig met het aantal klanten en het aantal base stations.

➤ **OPEX**

Hier vindt men gelijkaardige kosten terug als bij een vast netwerk: onderhoudskosten, administratie,... Er komt echter een belangrijke kost bij, het aankopen van licenties voor het huren van het frequentiespectrum.

➤ **Inkomsten**

Hier kan een gelijkaardig model gebruikt worden als bij een vast netwerk.

4.3. Conclusie

Er zijn 3 belangrijke technologieën voor het uitrollen van een vast netwerk. Een DSL netwerk maakt gebruik van het bestaande telefonienet. Een HFC netwerk maakt gebruik van het bestaande kabeltelevisienet. Beide technologieën verhogen de datarates door lijnen te vervangen door glasvezel. Een netwerk dat volledig bestaat uit glasvezel wordt een FTTH netwerk genoemd. De belangrijkste kosten in een vast netwerk zijn de CAPEX. De grootste kost hierin is de graafkost. Deze graafkost hangt af van de grootte van de regio en van het aantal klanten. Aangezien DSL en HFC technologieën een bestaand netwerk verder uitbouwen hebben deze een veel lagere kost. Ze bieden echter niet de technische mogelijkheden die een FTTH netwerk wel biedt. Ook de apparatuur die men moet aankopen hangt af van het aantal klanten. Er is ook steeds een vaste kost om het netwerk op te zetten. De OPEX is van minder belang. Deze omvat het vervangen van beschadigde componenten, onderhoudskosten en kosten voor administratie en beheer.

Er zijn 3 belangrijke technologieën die gebruikt kunnen worden in een draadloos netwerk, WiFi, WiMAX en UMTS. WiMAX blijkt de meest aangewezen technologie omdat deze de mogelijkheid biedt om breedband acces aan te bieden en eveneens een groot bereik heeft. Ook laat de laatste standaard van WiMAX mobiliteit toe. Bij WiMAX is de grootste CAPEX kost het bouwen van de pylonen voor de base stations. Verder moet er ook apparatuur voorzien worden in de base stations. Het grootste deel van de kosten is evenredig met de grootte van het gebied. De OPEX is bij draadloze netwerken wel van groot belang. Dit komt door de hoge kosten voor het aankopen van spectrumlicenties.

Hoofdstuk 5

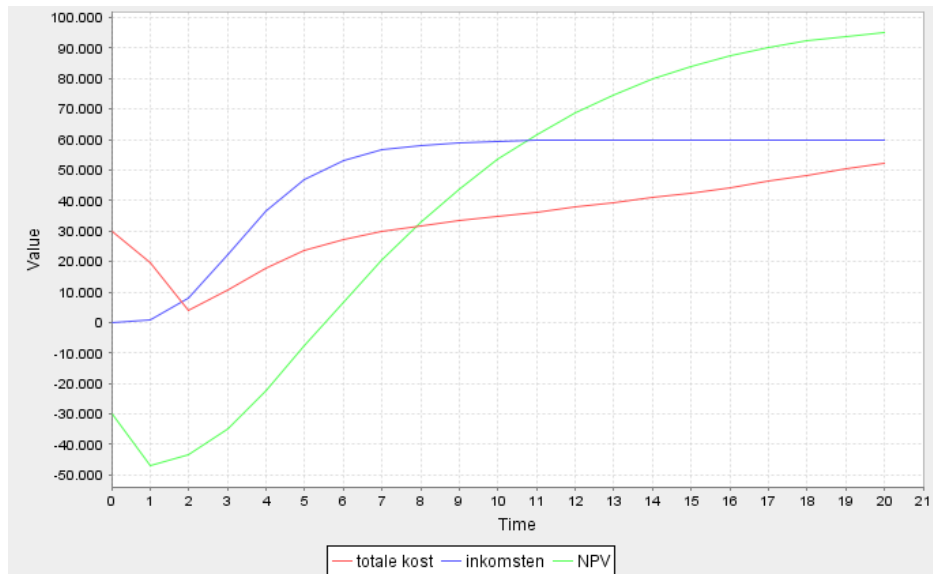
Implementatie

In dit hoofdstuk wordt het model beschreven dat ontwikkeld is in Java om reële opties en speltheorie uit te rekenen. In het volgende hoofdstuk zullen de resultaten besproken worden die verkregen zijn met dit model. Het model is een uitbreiding op een bestaand Java model, dat reeds een NPV berekening kan uitvoeren. In het eerste deel van dit hoofdstuk wordt kort het bestaande model overlopen. In een tweede deel wordt de implementatie, ontwikkeld in deze thesis, besproken. De aanpak van deze implementatie wordt eerst conceptueel geschetst, vervolgens wordt er dieper ingegaan op de specifieke onderdelen en ontwerpkeuzes. In dit hoofdstuk wordt een eenvoudige case gebruikt om enkele functionaliteiten te illustreren. De resultaten in hoofdstuk 6 zijn gebaseerd op een meer realistische case.

5.1. Het bestaande Java model

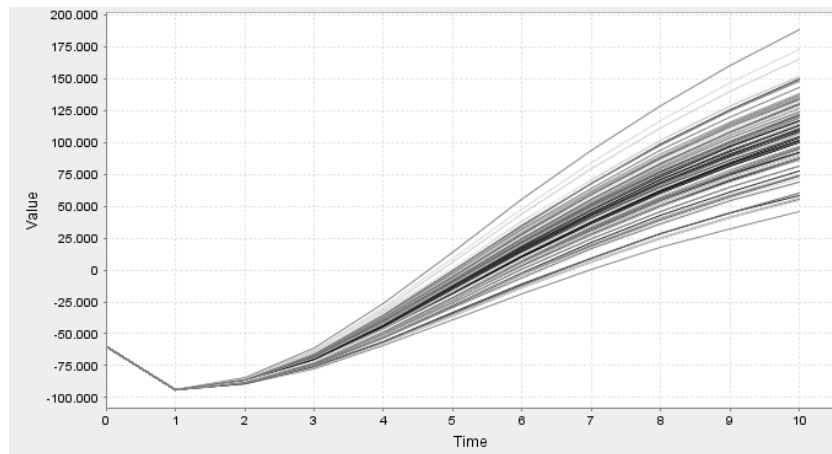
De onderzoeksgroep IBCN aan de universiteit van Gent biedt het model aan dat gebruikt is om het framework rond reële opties en speltheorie te ontwikkelen. Dit model maakt gebruik van de programmeertaal Java. Het model is gebaseerd op een interface 'TimeFunction'. Een TimeFunction stelt een variabele voor in functie van de tijd. Elk jaar kan de waarde van de functie opgevraagd worden. Er zijn heel wat functionaliteiten voorzien. Zo kunnen bijvoorbeeld functies gegenereerd worden met een constante waarde, functies die de adoptie voorspellen, functies die kosterosie modelleren, enzovoort. Het model laat toe om verschillende operaties uit te voeren op deze functies: optellen, aftrekken, vermenigvuldigen, een maximum zoeken,... Ook laat het model toe om functies te plotten. Wanneer later over functies gesproken wordt zijn deze een instantie van de TimeFunction klasse in Java.

Aan de hand van enkele inputgegevens (adoptieparameters, kosten,...) kan een NPV functie berekend worden. Een van deze inputgegevens is de klasse 'Region'. Deze stelt de regio voor waarin het project wordt uitgevoerd. Deze regio heeft een grootte en een klantenpotentieel. De NPV berekeningen worden gedaan door de klasse 'blackbox'. De implementatie van reële opties en speltheorie gebruikt de klasse blackbox als een soort zwarte doos om resultaten te berekenen. Dit wordt verder besproken in paragraaf 5.2. In Figuur 5-1 worden de totale kost, de inkomsten en de NPV geplot voor de eerste 20 jaar van een fictief project, berekend met de blackbox klasse van het bestaande model.



Figuur 5-1: kost, inkomsten en NPV in Javamodel

Het model laat ook toe om een sensitiviteitsanalyse uit te voeren aan de hand van een Monte Carlo simulatie. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 5-2. Daar is een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd op de NPV uit het vorige voorbeeld. De CAPEX, OPEX en adoptie zijn meegegeven als onzekere factoren met een normaal distributie met standaardafwijking 10%.



Figuur 5-2: sensitiviteitsanalyse

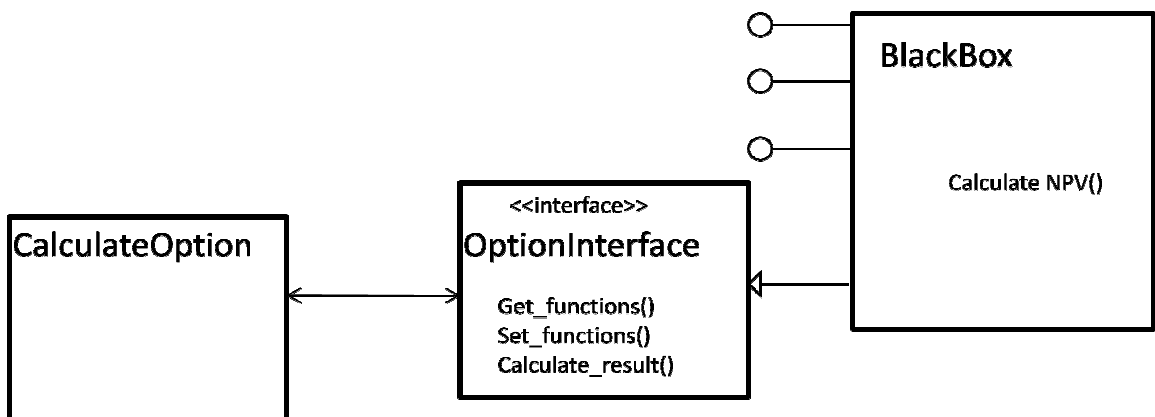
5.2. Implementatie van het ontwikkelde model

5.2.1. Conceptueel

Er is een model ontwikkeld om reële opties, speltheorie en option-games te simuleren aan de hand van de functies (TimeFunctions) uit het model dat beschreven is in de vorige paragraaf. Het ontwikkelde model wordt gebruikt als een uitbreiding op de klasse blackbox, die reeds een NPV analyse kan uitvoeren. De wijze waarop deze blackbox berekeningen uitvoert is niet van belang voor de werking van het model. De enige vereisten zijn dat de blackbox steunt op het model dat beschreven is in deel 1 van dit hoofdstuk en dat de functies OPEX, CAPEX en adoptie bijgehouden worden. Dit zijn functies die steeds berekend moeten worden wanneer een NPV analyse gedaan wordt. Het geïmplementeerde model is dus algemeen toepasbaar, onafhankelijk van de specifieke berekeningswijze van de NPV.

In het ontwikkelde model wordt de blackbox gebruikt om de payoff te berekenen van een strategie voor het uitrollen van een project. Dit wordt gedaan door bepaalde functies in de blackbox aan te passen en een nieuw resultaat uit te rekenen op basis van de aangepaste waarden. Men kan bijvoorbeeld de waarde van de adoptiefunctie aanpassen en de blackbox de nieuwe waarde voor de NPV functie laten berekenen. Wanneer reële opties worden toegepast, berekent deze blackbox de NPV voor één mogelijk verloop van een project, waarbij geschikte opties voor dit verloop toegepast worden. Wanneer speltheorie wordt toegepast, berekent de blackbox de NPV voor één mogelijke strategie van een speler, dit is één vakje in een payoff matrix.

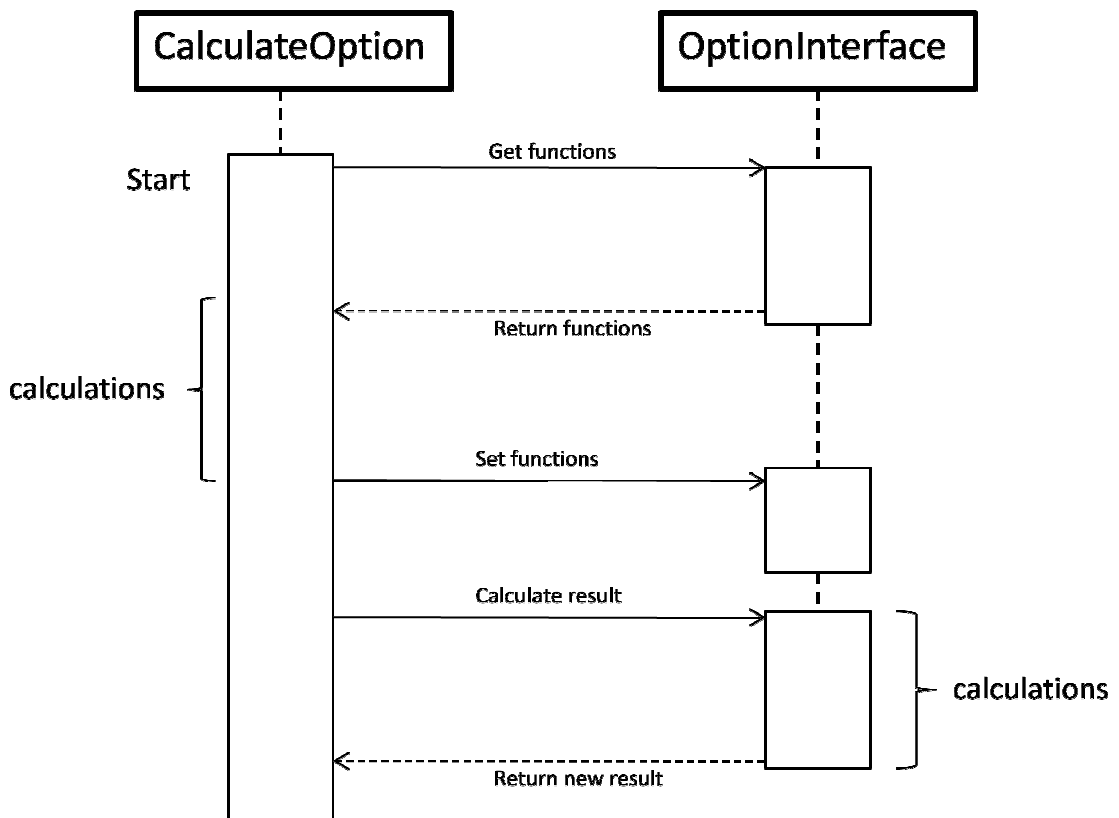
Er is een interface voorzien voor elke reële optie die het model kan berekenen. Deze moeten allen geïmplementeerd worden in de blackbox. Een interface zal steeds dezelfde structuur hebben. Deze omvat een methode om functies op te vragen, een methode om de waarde van functies in te stellen en een methode om op basis van de ingestelde waarden een nieuw resultaat te genereren. Deze interfaces zijn zo eenvoudig mogelijk gehouden zodat de aanpassingen die in de klasse blackbox moeten doorgevoerd worden, minimaal zijn. Dit principe wordt ter verduidelijking grafisch geïllustreerd. Figuur 5-3 toont het principe van een interface die in de blackbox geïmplementeerd wordt.



Figuur 5-3: gebruik van interfaces

De interactie tussen de klasse die de optie uitreken (CalculateOption in Figuur 5-3) en de interface (OptionInterface in Figuur 5-3) wordt weergegeven in Figuur 5-4. De waarden van de functies die aangepast worden, worden opgevraagd aan de interface. Er worden nieuwe waarden voor deze functies uitgerekend. Vervolgens worden deze waarden via de interface in de blackbox opgeslagen. Ten slotte wordt een nieuw resultaat berekend en wordt de waarde hiervan teruggegeven.

Deze procedure kan verschillende keren doorlopen worden voor verschillende opties of combinaties van opties. Uit deze resultaten kan een maximumfunctie berekend worden. Uit dit maximum kan men dan de opties bepalen die in rekening gebracht moeten worden in de investeringsanalyse. Deze maximumfunctie bepaalt elk jaar het maximum van een lijst van functies en biedt de mogelijkheid om de functie op te vragen die het beste resultaat voor een bepaald jaar oplevert.



Figuur 5-4: sequentiediagram voor het uitrekenen van een optie

Speltheorie en option-games worden op een gelijkaardige manier geïmplementeerd. Voor elke mogelijke strategie van een speler wordt de invloed van concurrentie in het model gestoken door waarden (bijvoorbeeld de adoptie) aan te passen in de blackbox en vervolgens een nieuw resultaat voor de NPV te berekenen. Er is één interface voorzien om waarden aan te passen in de blackbox.

5.2.2. Implementatie van reële opties

In deze sectie worden de ontwerpkeuzes voor de code van de individuele opties besproken. De opties worden ingedeeld volgens het 7s-framework. Voor elke optie is er een klasse voorzien in het

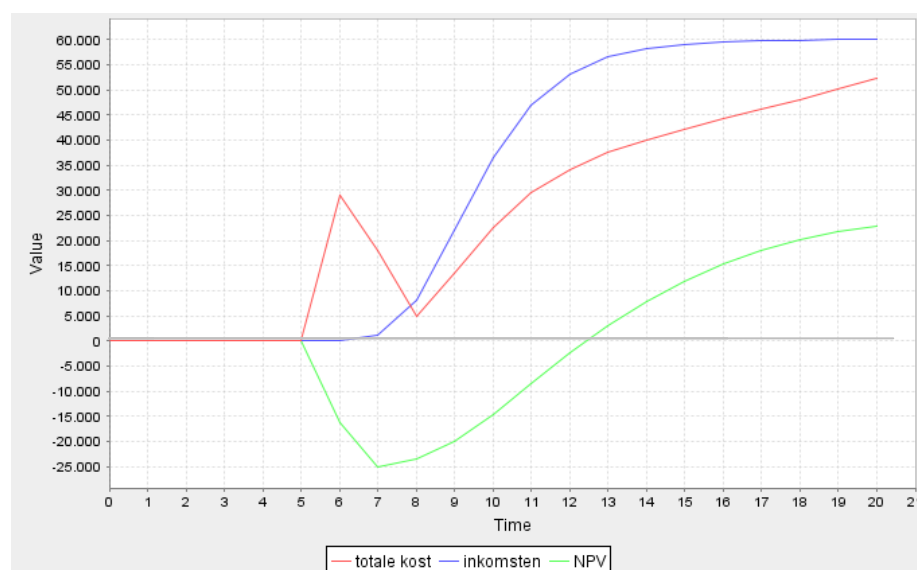
Java model. De methode die een optie uitrekenet krijgt als parameters steeds een instantie van de blackbox mee en een jaartal waarin de optie wordt uitgevoerd. Er is voor elke optie ook een methode voorzien om het beste jaar te zoeken om deze optie uit te voeren.

➤ **Opmerking bij het evalueren van opties**

Een reële optie kan nooit een negatieve waarde hebben. De waarde van de reële optie is het maximum van de NPV met aangepast traject en de originele NPV. De optie zal immers slechts uitgevoerd worden indien dit de payoff verhoogt. Om dit in het model te simuleren is er voor elke optie een methode voorzien die in elk jaar het maximum kiest tussen de NPV wanneer de optie wordt gelicht en de NPV wanneer de optie niet wordt gelicht. Elk jaar van deze functie geeft de beste keuze voor de NPV in dat jaar. De optie niet lichten is het originele traject volgen, een uitzondering hierop is de study/start optie, bij deze optie wordt het maximum genomen tussen een constante functie met de waarde 0 (helemaal niet investeren) en de uitgestelde NPV (investeren na het beslissingsmoment). De bespreking die nu volgt toont het aangepaste traject bij elke optie.

➤ **Study/start**

De optie study/start laat toe om een investering uit te stellen tot een bepaald jaar. De methode voor het uitrekenen van de optie vraagt een lijst van uit te stellen functies op aan de interface voor de study/start optie. Deze functies worden opgeschoven tot het jaar dat de investering start en via de interface teruggeplaatst in de blackbox, waarop de blackbox het nieuwe resultaat kan uitrekenen. Men kan bijvoorbeeld de kosten en inkomsten uitstellen en op basis van deze uitgestelde waarden een nieuwe NPV berekenen. Figuur 5-5 illustreert deze optie door het project uit Figuur 5-1 6 jaar uit te stellen.



Figuur 5-5: study/start optie in jaar 6

Meer formeel kan de uitwerking van deze optie op een algemeen techno-economisch model (blackbox - BB) als volgt worden omschreven:

1. *Bereken NPV met BB*
→ *Originele resultaat*
2. *Lees uit te stellen functies $F = \{f_1, f_2, \dots\}$ uit BB*
3. $\forall f_x \in F$
 $f'_x = \text{delay van } f_x \text{ met vooraf ingesteld \# jaren}$
4. *Stel $F' = \{f'_1, f'_2, \dots\}$ als nieuwe set in BB in*
5. *Voer laatste deel van de berekeningen van BB opnieuw uit op basis van F'*
→ *RO (reële optie) resultaat*

Er moet bij deze opgemerkt worden dat enkel de in het vet aangeduide methodes in de interface van de blackbox voorzien moeten worden. Indien dit het geval is, kan de study/start optie automatisch aan het model in de blackbox worden toegevoegd. Het is dan mogelijk om de volledige set van study/start opties in een keer toe te voegen:

1. *Stel originele model op M_0*
2. *Voor y in de range $[1-x]$*
 $M_y = M_0 \text{ met study/start over } y \text{ jaar}$
3. $M_{\text{totaal optie}} = \text{Max}(M_{[0-x]})$

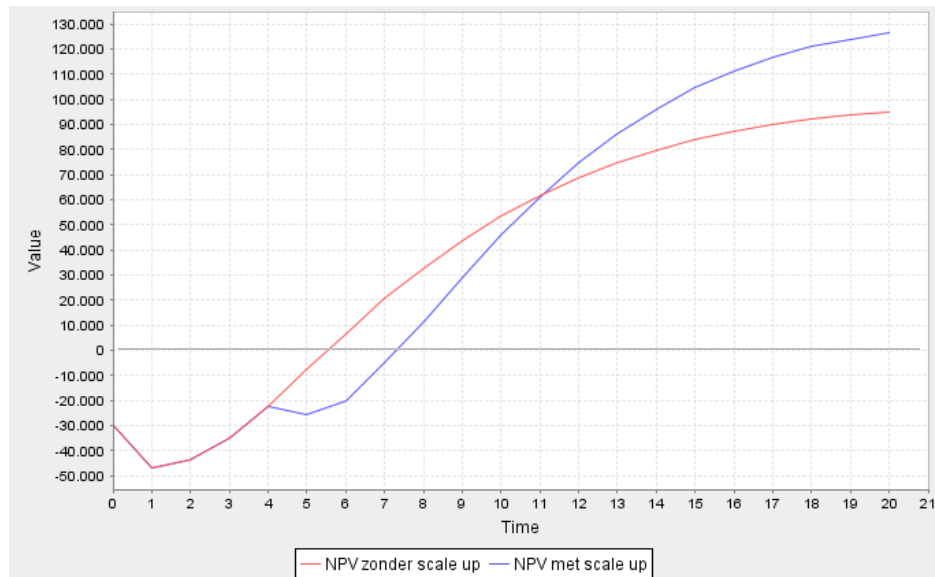
Zoals al werd aangehaald, zal het originele model aangepast worden voor de verschillende opties. De functie die het maximum aangeeft van deze modellen is dan de volledige reële optie waarde, voor elk mogelijk tijdstip waarop deze optie uitgeoefend kan worden. In dit geval is dit de waarde van het project indien het project maximaal x jaar uitgesteld kan worden.

➤ **Scale up**

Een investering gebeurt steeds in een specifieke regio. De optie scale up wordt voorzien door de mogelijkheid tot het investeren in een nieuwe regio, in een bepaald jaar. De investering in de nieuwe regio wordt onafhankelijk bekeken van de originele investering. De waarde van de investering in de nieuwe regio wordt dan op dezelfde manier uitgerekend als een study/start optie waarbij de investering wordt uitgesteld over het aantal jaar waarna geïnvesteerd wordt in de nieuwe regio. Deze waarde wordt vervolgens opgeteld bij de NPV van het originele project.

Eigenschappen van projecten in verschillende regio's kunnen van elkaar verschillen. Zo zal bijvoorbeeld de adoptie in een landelijk gebied anders lopen dan de adoptie in een stedelijk gebied. Ook in het model kunnen deze eigenschappen aangepast worden. Naargelang een gelijkaardige regio wordt toegevoegd, kunnen meer of minder eigenschappen verschillend gekozen worden van het huidige project. Wanneer een investering wordt uitgebreid in eenzelfde regio kan eenvoudig een regio toegevoegd worden met dezelfde eigenschappen.

Deze optie wordt geïllustreerd in Figuur 5-6. In deze figuur is duidelijk te zijn dat de NPV daalt op het moment dat in de nieuwe regio geïnvesteerd wordt (jaar 4). Dit wordt later echter gecompenseerd door de extra inkomsten die er gegenereerd worden.



Figuur 5-6: scale up optie in jaar 4

Formeel wordt deze optie als volgt beschreven:

1. Bereken NPV met BB
→ Originele resultaat
2. Lees $F = \{\text{adoptie}, \text{CAPEX}, \text{OPEX}\}$ uit BB en houdt waarden bij
3. Verander inputgegevens in BB die overeenkomen met nieuwe regio
→ Inputgegevens aanpassen
4. Bereken NPV voor nieuwe regio (zelfde methode als puntje 1)
→ Originele resultaat voor nieuwe regio
5. Voer optie study/start uit op NPV voor nieuwe regio (y jaar)
6. Lees $F_{\text{new}} = \{\text{adoptie}_{\text{new}}, \text{CAPEX}_{\text{new}}, \text{OPEX}_{\text{new}}\}$ uit BB
7. Stel $F' = F + F_{\text{new}}$ als nieuwe set in BB in
8. Voer laatste deel van de berekeningen van BB opnieuw uit op basis van F'
→ RO resultaat

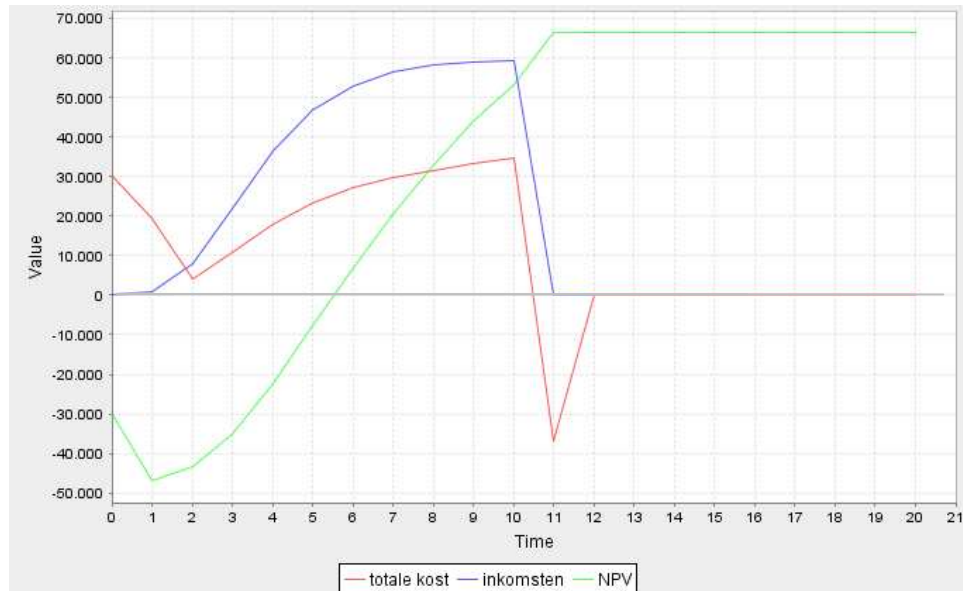
Opnieuw dienen enkel de in het vet aangeduide methodes in de interface van de blackbox voorzien te worden. De volledig set van scale up opties wordt:

1. Stel originele model op M_0
2. Voor y in de range $[0-x]$
 $M_y = M_0$ met scale up in jaar y
3. $M_{\text{totaal optie}} = \text{Max}(M_{[0-x]})$

De functie die het maximum aangeeft is dan de volledige reële optie waarde, waarbij scale up de eerste x jaar kan uitgevoerd worden.

➤ **Scale down**

Een scale down optie stelt het verlaten van het project voor. Er wordt verondersteld dat de infrastructuur verkocht wordt en dat de waarde van deze infrastructuur een vast percentage (bijvoorbeeld 60%) bedraagt van de totaal geïnvesteerde CAPEX tot nu toe. De verkoop van infrastructuur wordt in de berekeningen gezien als een negatieve kost. Figuur 5-7 illustreert deze optie.



Figuur 5-7: scale down optie in jaar 10

Formeel gaat dit als volgt:

1. Bereken NPV met BB
➔ Originele resultaat
2. Lees $F = \{ \text{adoptie}, \text{CAPEX}, \text{OPEX} \}$ uit BB
3. Zet de waarden in F op 0 vanaf het verkoopjaar (y):
 $\forall f_x \in F$:
 $f'_x = f_x$ voor verkoopjaar
 $f'_x = 0$ vanaf verkoopjaar
4. Bereken verkoopprijs = $\text{cumul}(\text{CAPEX})$ tot aan verkoopjaar
5. Tel verkoopprijs bij CAPEX op, op het moment dat infrastructuur verkocht wordt (y):
 $\text{CAPEX}'(t) = \text{CAPEX}(t) \quad t \neq y$
 $\text{CAPEX}'(t) = \text{CAPEX}(t) + \text{verkoopprijs} \quad t = y$
6. Stel $F' = \{ \text{adoptie}', \text{CAPEX}', \text{OPEX}' \}$ als nieuwe set in BB in
7. Voer laatste deel van de berekeningen van BB opnieuw uit op basis van F'
➔ RO (reële optie) resultaat

Enkel de in het vet aangeduide methodes moeten in de interface van de blackbox voorzien worden.

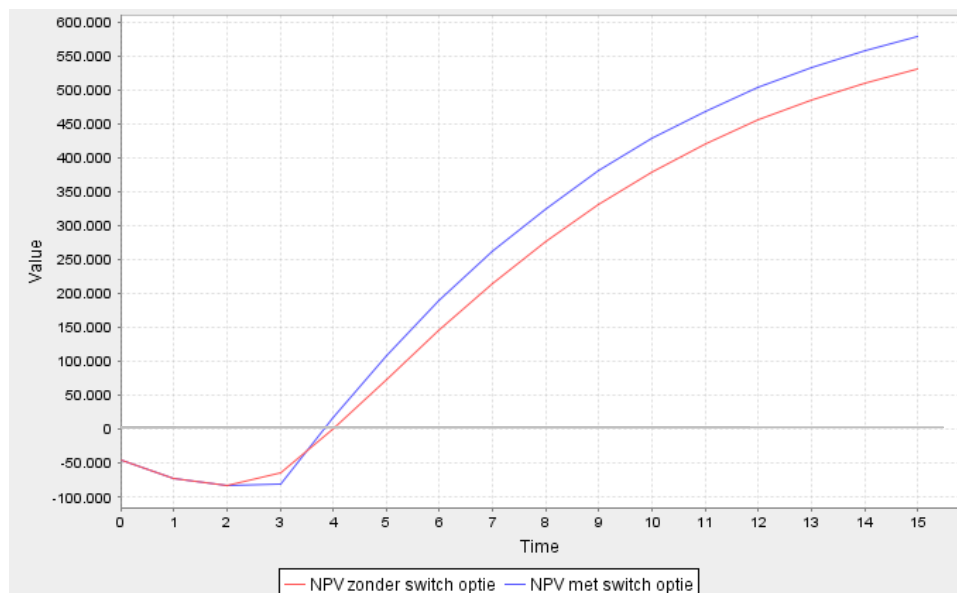
De volledige set van scale down opties wordt:

1. *Stel originele model op M_0*
2. *Voor y in de range $[1-x]$*
$$M_y = M_0 \text{ met scale down in jaar } y$$
4. $M_{\text{totaal optie}} = \text{Max}(M_{[0-x]})$

De functie die het maximum aangeeft is dan de volledige reële optie waarde, waarbij scale down de eerste x jaar kan uitgevoerd worden.

➤ **Switch up/switch down**

De opties switch up en switch down worden voorzien door één klasse. Deze klasse voorziet in de mogelijkheid om vanaf een bepaald jaar de kosten en adoptie aan te passen. Op het moment dat van technologie wordt veranderd, wordt een eenmalige kost bij de CAPEX opgeteld. Vanaf dit moment wordt de ook de totale kost vermenigvuldigd met een constante factor. Deze zal groter dan 1 zijn voor een duurdere technologie en kleiner dan 1 voor een goedkopere technologie. De adoptie wordt aangepast vanaf het investeringsjaar. Opdat de vorm van de adoptie en maximale adoptie gerespecteerd zouden worden, is ervoor gekozen om deze functie niet te vermenigvuldigen met een constante factor. Er is wel voor gekozen om de adoptie versneld of vertraagd uit te lezen. Bijvoorbeeld, de waarde van de adoptie die bij de originele berekening op jaar 4 wordt bekomen, wordt bij het versneld uitlezen in jaar 3,5 bekomen. Figuur 5-8 toont het resultaat van een switch up optie, gedurende de eerste 15 jaar. In jaar 3 is er een eenmalige kost om te switchen van technologie.



Figuur 5-8: switch up optie in jaar 3

Formeel wordt deze optie als volgt beschreven:

1. Bereken NPV met BB
→ Originele resultaat
2. Lees adoptie, CAPEX en OPEX: $F = \{adoptie, CAPEX, OPEX\}$ uit BB
3. Pas adoptie aan door versneld/vertraagd uit te lezen vanaf switch jaar (y)
 $adoptie'(t) = adoptie(t) \quad t \leq y$
 $adoptie'(t) = adoptie(y + adoptiefactor * (t - y)) \quad t > y$
4. Vermenigvuldig CAPEX en OPEX met een constante waarde vanaf switch jaar (y)
 $CAPEX'(t) = CAPEX(t) \quad t \leq y$
 $CAPEX'(t) = CAPEX(t) * kostfactor \quad t > y$
 $OPEX'(t) = OPEX(t) \quad t \leq y$
 $OPEX'(t) = OPEX(t) * kostfactor \quad t > y$
5. Voeg een eenmalig kost bij de CAPEX toe
 $CAPEX''(t) = CAPEX'(t) \quad t \neq y$
 $CAPEX''(t) = CAPEX'(t) + cost \quad t = y$
6. Stel $F' = \{adoptie', CAPEX'', OPEX'\}$ als nieuwe set in BB in
7. Voer laatste deel van de berekeningen van BB opnieuw uit op basis van F'
→ RO (reële optie) resultaat

Opnieuw dienen enkel de in het vet aangeduide methodes in de interface van de blackbox voorzien te worden. De volledige set van switch opties wordt:

1. Stel originele model op M_0
2. Voor y in de range $[0-x]$
 $M_y = M_0$ met switch in jaar y
3. $M_{totaal\ optie} = Max(M_{[0-x]})$

De functie die het maximum aangeeft is dan de volledige reële optie waarde, waarbij de switch optie gedurende de eerste x jaar kan uitgevoerd worden.

➤ **Scope up/scope down**

Scope opties zijn nauw verbonden met de specifieke eigenschappen van de bestudeerde case. Het aanbieden van een nieuwe service zal steeds een andere invloed hebben op kosten en adoptie zodat een generieke methode moeilijk te implementeren is. Vooral het bepalen van de adoptie is complex. De adoptie zal hoger (lager) eindigen met scope up (down) optie en zal een sneller (trager) verloop kennen. In de literatuur blijkt deze optie ook zelden gebruikt (zie hoofdstuk 3). Daarom is ervoor gekozen geen aparte methode te implementeren voor deze optie.

Een scope up (down) optie kan gezien worden als het toevoegen (verwijderen) van een regio en wordt gebruikt door een scale up (scale down) optie uit te voeren. Er dient echter opgemerkt te worden dat dit een vereenvoudigde weergave is van het verloop van de adoptie, er zal namelijk geen rekening gehouden worden met de correlatie die bestaat tussen de adoptie voor de verschillende services die aangeboden worden.

➤ **Opmerking over het gebruik van het model**

Het gebruik van interfaces die eenvoudig geïmplementeerd kunnen worden in een bestaand blackbox model laat op een flexibele, generieke en transparante manier toe om verschillende standaard reële optie uit te rekenen. De blackbox moet niet gekend zijn, hij moet enkel methodes voorzien om op basis van een tussenresultaat (bijvoorbeeld adoptie, CAPEX en OPEX) een eindresultaat te berekenen. Ook moeten getters en setters voorzien worden om deze waarden op te vragen en aan te passen.

5.2.3. Implementatie van games en option-games

De interface voor speltheorie laat toe om de adoptie aan te passen. Op deze manier kunnen de klanten verdeeld worden tussen bedrijven die in competitie treden. Er wordt verondersteld dat de spelers op de markt symmetrisch zijn. Wanneer de spelers op hetzelfde moment investeren wordt het klantenpotentieel evenredig verdeeld over beide spelers. Wanneer 1 speler later investeert wordt het klantenpotentieel dat nog niet gebonden is aan de speler die vroeger investeerde verdeeld over beide spelers. Voor 2 spelers P_1 en P_2 die respectievelijk in jaar y_1 en y_2 investeren, waarbij de payoff voor elke speler berekend wordt door een instantie van een blackbox, wordt dit formeel:

Als $y_1 = y_2$:

1. Voer optie study/start uit voor P_i over y_i jaar:
 $Defer(P_i, y_i) \quad i=1,2$
2. Lees $adoptie_i$ uit P_i
3. Stel $adoptie_i' = adoptie_i/2$ in voor P_i
4. Voer laatste deel van de berekeningen van P_i opnieuw uit op basis van $adoptie_i'$
➔ speltheorie resultaat

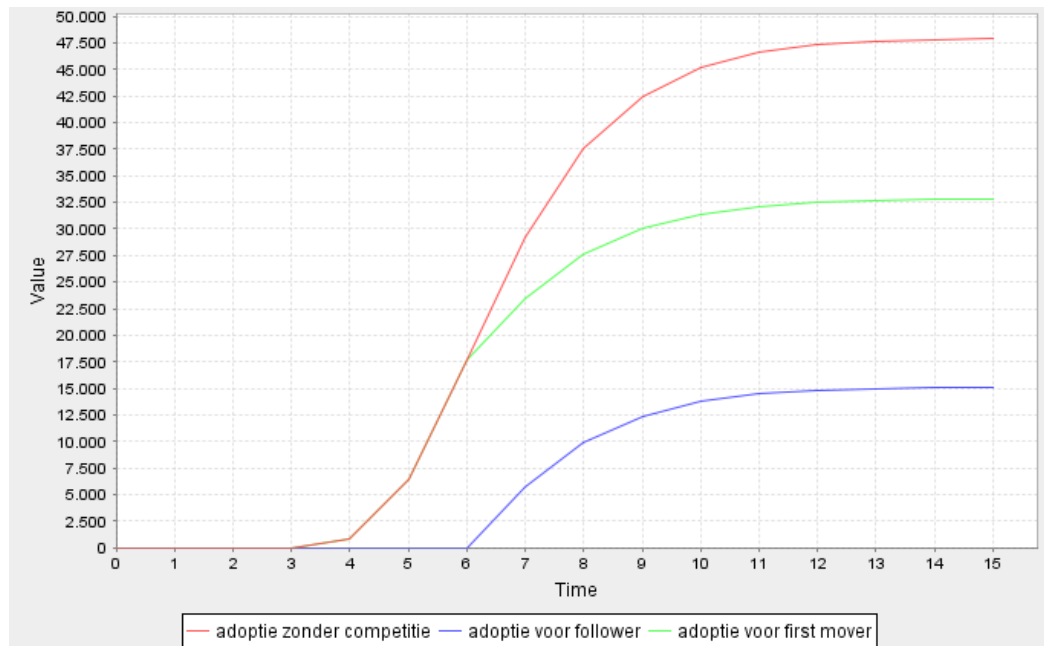
Als $y_1 < y_2$:

1. Voer optie study/start uit voor P_i over y_i jaar:
 $Defer(P_i, y_i) \quad i=1,2$
2. $threshold = adoptie_1(y_2)$
3. $B(t) = 0 \quad t \leq y_2$
 $B(t) = (adoptie_1(t) - threshold)/2 \quad t > y_2$
 $adoptie_1'(t) = adoptie_1(t) - B(t)$
 $adoptie_2'(t) = B(t)$
4. Voer laatste deel van de berekeningen van P_i opnieuw uit op basis van $adoptie_i'$
➔ speltheorie resultaat

$y_1 > y_2$ is analoog

De verdeling van de adoptie wordt geïllustreerd in Figuur 5-9. De rode lijn is de adoptie voor een speler die geen concurrentie ondervindt en investeert in jaar 3. De speler met de groene lijn

investeert in jaar 3 en ondervindt competitie van de speler met de blauwe lijn, deze speler investeert in jaar 6.

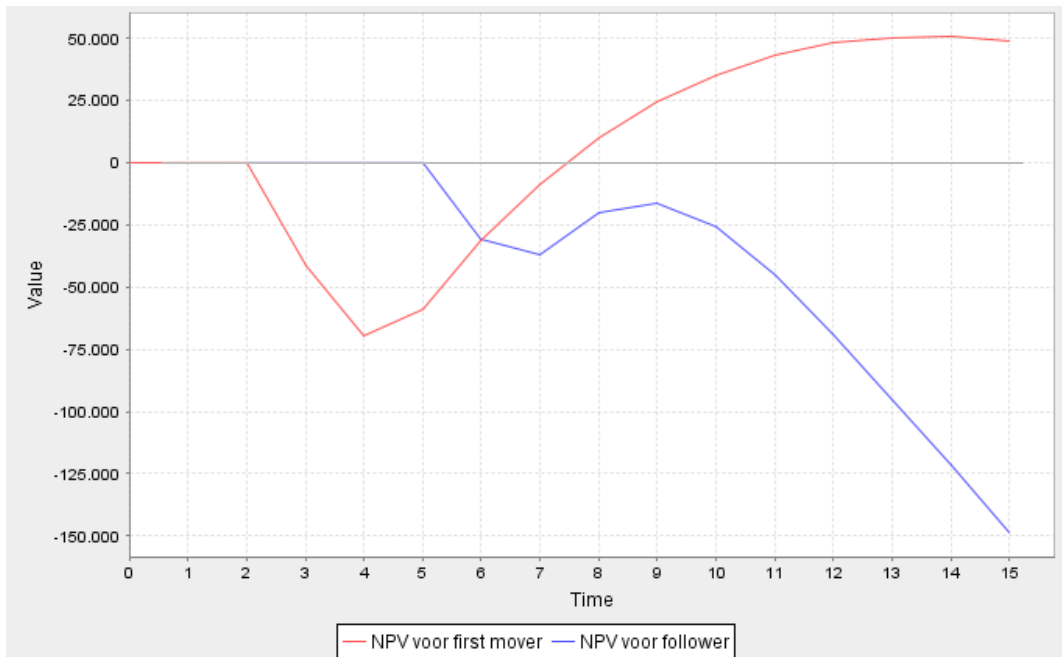


Figuur 5-9: adoptie voor 2 spelers in competitie

Figuur 5-10 toont de NPV voor beide spelers. In dit voorbeeld verwerft de first mover (rode lijn) een marktaandeel dat voldoende groot is, het project genereert een positieve NPV vanaf jaar 7. De follower (blauwe lijn) verwerft heel wat minder klanten en het project genereert niet genoeg inkomsten om de kosten te dekken.

Het model voorziet om een payoff matrix te berekenen. Deze payoff matrix bestaat uit functies. Wanneer een evaluatie gemaakt wordt, wordt voor elk vakje in de matrix de NPV opgevraagd in het evaluatiejaar. Er is een methode voorzien om een Nash Equilibrium te zoeken.

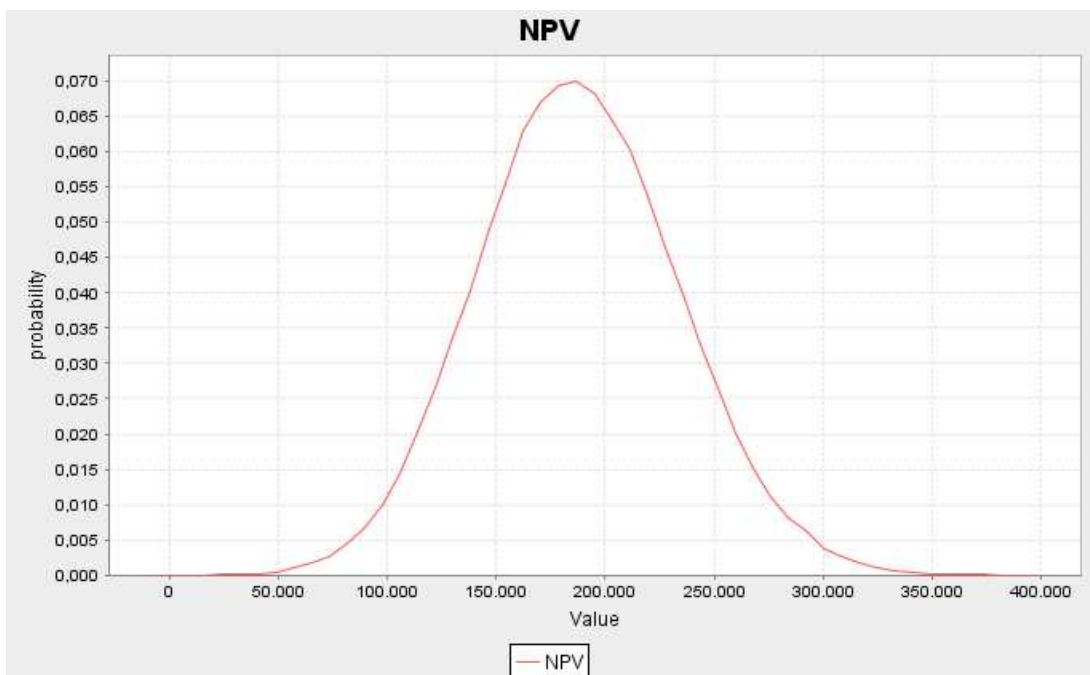
Option-games gebruiken dezelfde interface als speltheorie, waar geen gebruik gemaakt wordt van reële opties. Het verschil zit in de berekeningswijze van de NPV functie. Bij option-games wordt naast de invloed van concurrentie op de adoptie ook de invloed van één (of verschillende) optie(s) in het model in rekening gebracht. Hiervoor worden de methodes gebruikt die eerder in deze paragraaf besproken zijn.



Figuur 5-10: NPV voor spelers in competitie

5.2.4. Een distributie bepalen

Er is een methode voorzien die de verdeling van een sensitiviteitsanalyse bepaalt in een evaluatiejaar. Het relatief voorkomen van de bekomen NPV's wordt uitgezet in functie van de probabiliteit. Figuur 5-11 illustreert deze methode voor een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd met dezelfde instellingen als in de sensitiviteitsanalyse van Figuur 5-2, met evaluatiejaar gelijk aan 10. Om deze distributie te bepalen zijn er 200000 iteraties uitgevoerd.



Figuur 5-11: distributie van NPV na sensitiviteitsanalyse

5.3. Conclusie

Er is een model ontwikkeld in Java om een statische NPV berekening uit te breiden met de principes van reële opties en speltheorie. Hiervoor is gebruik gemaakt van een model dat reeds een NPV berekening kon uitvoeren. De specifieke berekeningen die gebeuren om tot de NPV te komen zijn niet van belang voor het ontwikkelde model. Dit zorgt ervoor dat het model algemeen toepasbaar is op elke case waar de NPV gebruikt wordt als evaluatietool. Er moeten enkel interfaces geïmplementeerd worden in de klasse die de NPV uitrekent. Deze interfaces zijn simpel gehouden zodat het model eenvoudig en snel kan worden toegepast. Op die manier kan heel eenvoudig de invloed van onzekerheid op het model in rekening gebracht worden, zelfs zonder grondige kennis reële opties of speltheorie. Deze interfaces voorzien de mogelijkheid om waarden van functies aan te passen en een nieuw resultaat te berekenen. Er zijn methodes voorzien om verschillende opties uit te voeren. De opties zijn geïmplementeerd volgens het 7s-framework. Ook de invloed van concurrentie kan gemodelleerd worden. Voor elke optie en ook voor speltheorie is één interface voorzien.

Het model kan verder uitgebreid worden door extra opties te voorzien die uitgerekend kunnen worden. Er kan een afzonderlijke methode voor scope up en scope down opties voorzien worden. Scale down kan uitgebreid worden, zodat slechts een deel van het project wordt verkocht. Dit zou kunnen door gebruik te maken van afzonderlijke regio's en het resultaat per regio bij te houden. Scale up en scale down kunnen uitgebreid worden door de mogelijkheid te voorzien om sneller/trager uit te rollen. Dit zou bijvoorbeeld kunnen door kosten en adoptie versneld uit te lezen.

Hoofdstuk 6

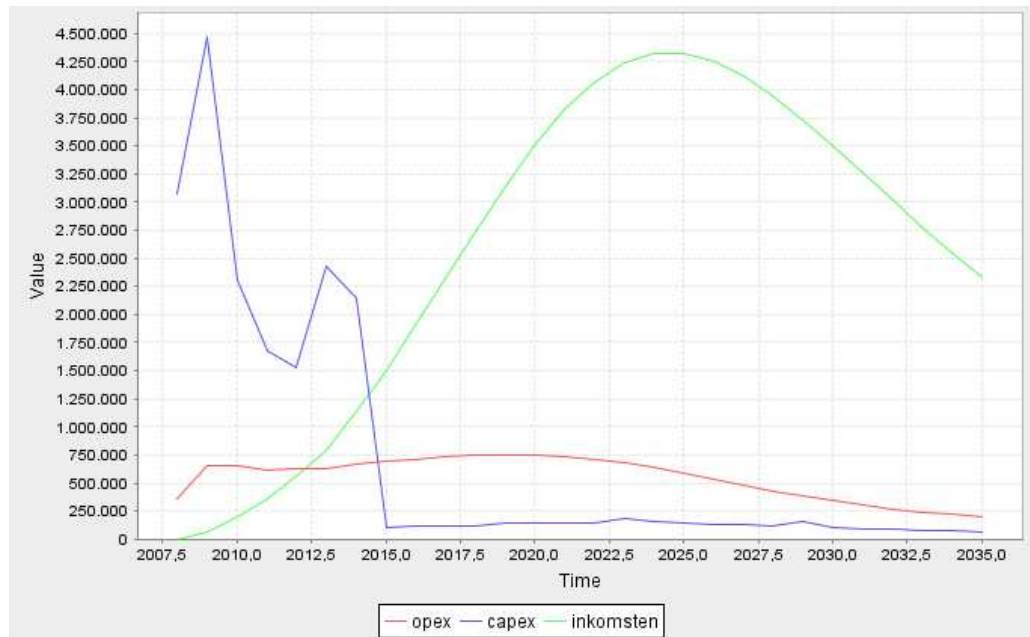
Toepassen op een realistische case

In dit hoofdstuk wordt het ontwikkelde Java model rond reële opties en speltheorie, dat besproken werd in het vorige hoofdstuk, toegepast op een realistische case study [64]. Deze case onderzoekt de haalbaarheid van een FTTH rollout in de stad Gent en is gebaseerd op [3]. In de eerste paragraaf van dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op deze case. In een tweede paragraaf worden de opties individueel uitgetest op deze case, de mogelijkheden die het ontwikkelde model biedt rond reële opties worden getest. In een volgende paragraaf wordt de case geëvalueerd met behulp van het ontwikkelde model en wordt een beste resultaat uitgerekend op basis van reële opties. Het laatste deel van dit hoofdstuk bekijkt een evaluatie van de case met speltheorie.

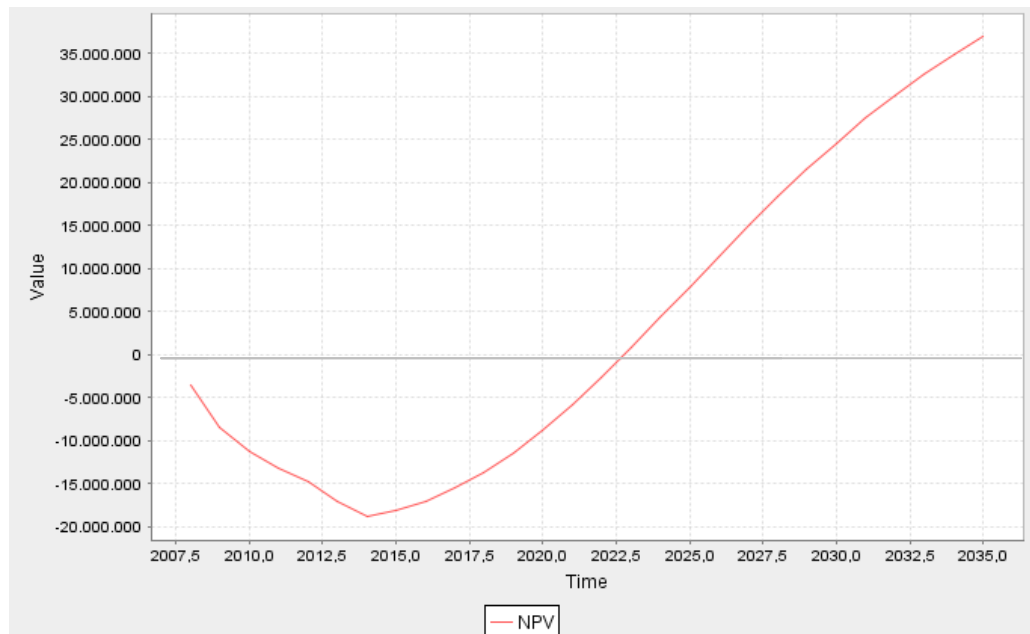
6.1. Case onder beschouwing

De case study die beschouwd wordt, bestudeert de economische haalbaarheid van een FTTH rollout in Gent [64]. Belgacom installeert in samenwerking met de stad een volledig nieuw home run fiber netwerk. De stad wordt onderverdeeld in 8 gebieden en elk gebied wordt toegewezen aan een Central Office (CO). Er zijn 2 CO's, CO1 voorziet 5 regio's en CO2 voorziet 3 regio's. In de case study worden de kosten en inkomsten berekend per CO en samengeteld voor de evaluatie. De inkomsten per CO worden berekend op basis van het aantal mogelijke klanten in de regio's die horen bij deze CO en op basis van de samenstelling van deze klanten. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen residentiële gebruikers, commerciële gebruikers en industriële gebruikers. De tarieven voor de verschillende gebruikersgroepen zijn verschillend. De CAPEX zijn de plaatsingskosten van de CO en van het glasvezelnetwerk en de aankoopkosten van de equipment. De OPEX zijn aansluitingskosten, CRM kosten, administratiekosten, herstellingskosten, energiekosten, ...

In Figuur 6-1 worden de verdisconteerde CAPEX, OPEX en inkomsten visueel weergegeven voor een home run fiber netwerk met 2 CO's dat in 2008 wordt uitgerold in Gent. De disconteringsvoet is gelijk aan 10%. De CAPEX is veel groter dan de OPEX en bevindt zich grotendeels in de eerste 7 jaar. Na deze eerste 7 jaar zijn de inkomsten steeds veel hoger dan de kosten. Dit levert een NPV op die negatief is gedurende de eerste 15 jaar en vanaf dan heel hoge winsten voorspelt (zie Figuur 6-2).

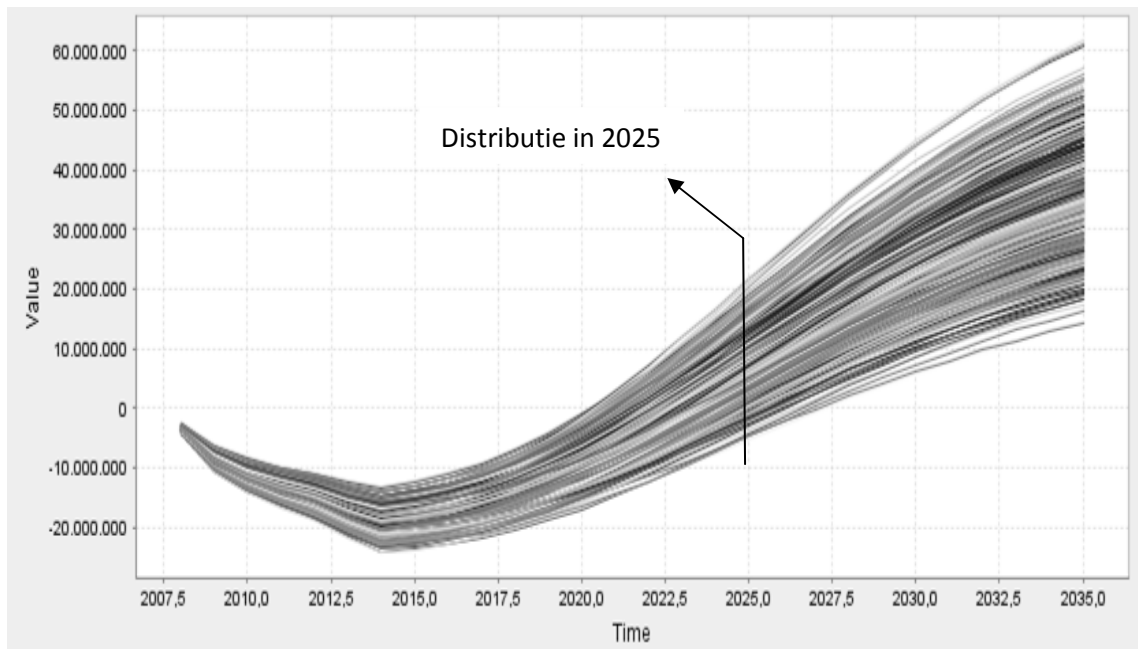


Figuur 6-1: verdisconteerde kosten en inkomsten

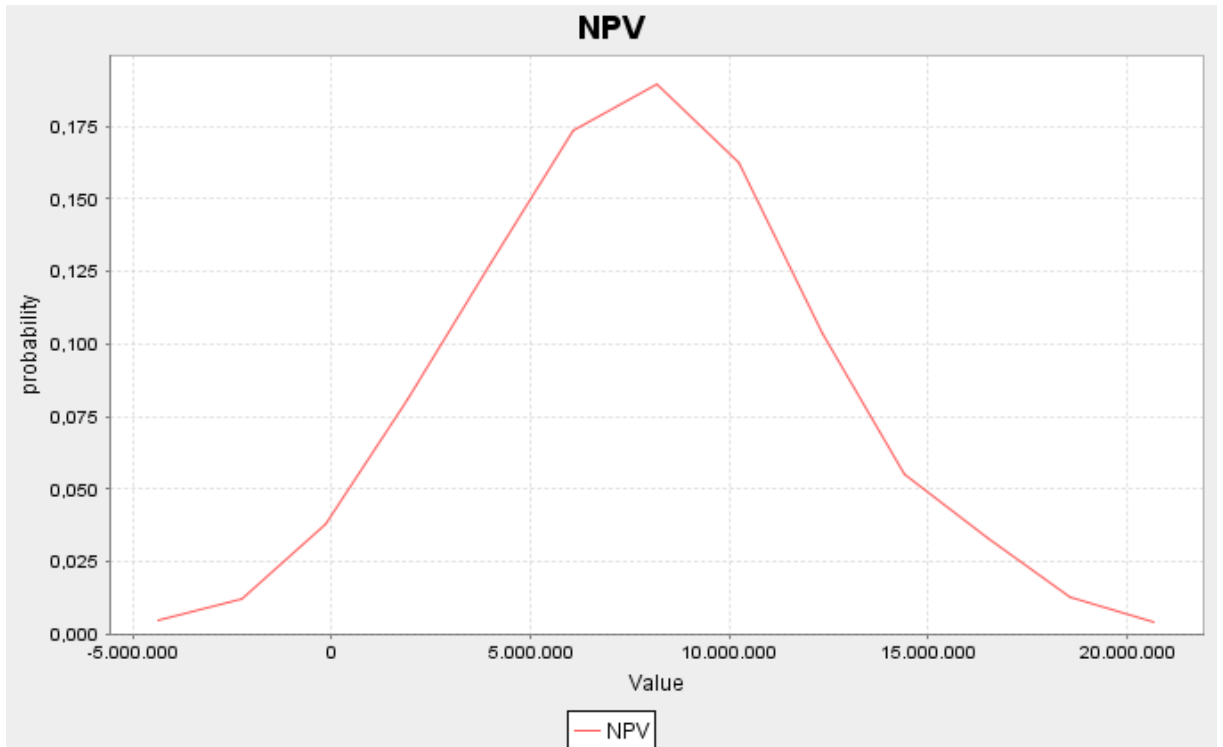


Figuur 6-2: NPV

Om de invloed van onzekerheid te bestuderen voeren we een sensitiviteitsanalyse uit op deze case, waarbij de inkomsten en capex gevarieerd worden volgens een normaalverdeling met standaardafwijking 10%. Het resultaat wordt getoond in Figuur 6-3. De verdeling van de NPV in het jaar 2025 wordt getoond in Figuur 6-4.



Figuur 6-3: sensitiviteitsanalyse



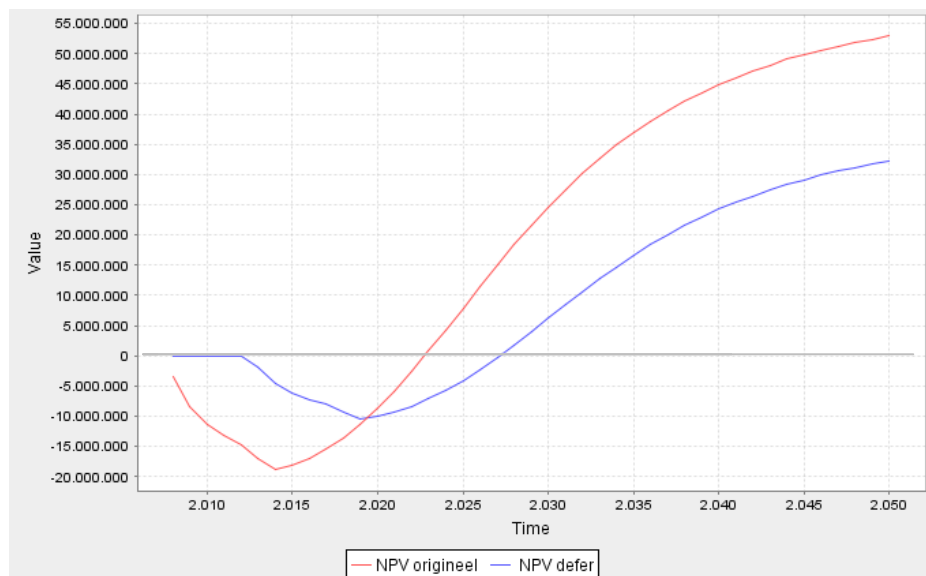
Figuur 6-4: verdeling van NPV in jaar 2025

6.2. Uitrekenen van opties

In deze paragraaf worden de opties individueel bestudeerd en geëvalueerd. Er wordt voor de opties study/start en abandon gekeken wat de invloed is van de optie op een individueel traject en er wordt een Monte Carlo simulatie uitgevoerd om de waarde van de reële optie uit te rekenen. Voor scale up en switch up opties wordt een individueel traject beschouwd.

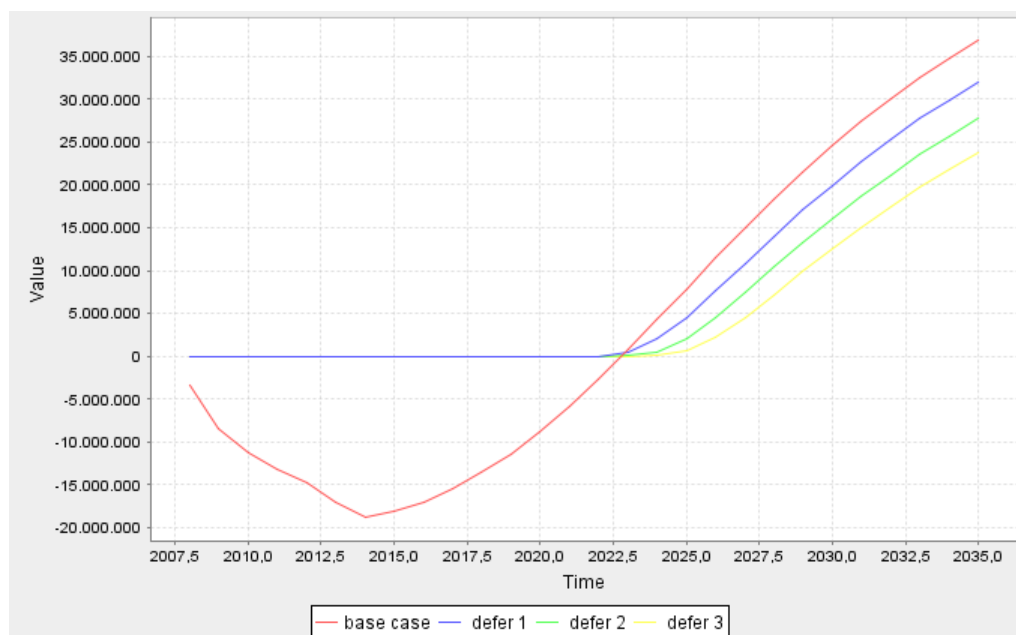
6.2.1. Study/start optie

Als voorbeeld van een study/start optie wordt de NPV berekend wanneer de case vijf jaar wordt uitgesteld. Figuur 6-5 vergelijkt de NPV van de originele case met de NPV van de uitgestelde case. De NPV bereikt een minder hoge waarde indien het project wordt uitgesteld, de kosten zijn echter ook minder groot. Wanneer men niet voldoende liquide middelen heeft, kan het nuttig zijn de investering uit te stellen.



Figuur 6-5: originele NPV en 5 jaar uitgestelde NPV

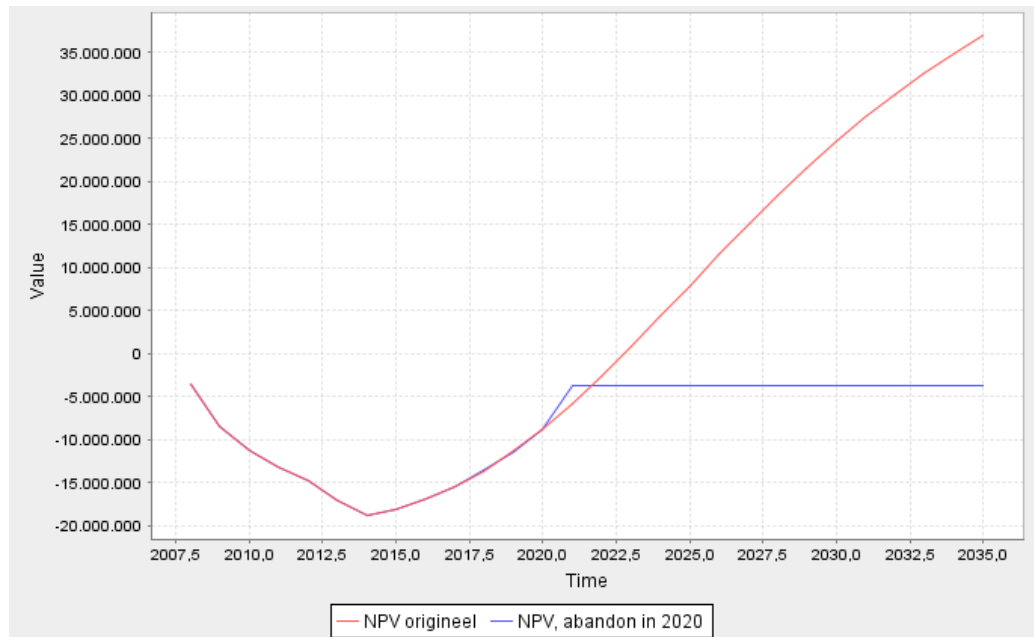
Een study/start (defer) optie wordt normaal echter toegepast om de onzekerheden beter te kunnen inschatten op het moment van investeren. Na 5 jaar beslist men om al dan niet te investeren. Figuur 6-6 toont het resultaat van een simulatie waarbij de originele NPV vergeleken wordt met de NPV na het uitoefenen van study/start opties. Er is verondersteld dat het project tussen de 1 en 3 jaar uitgesteld kan worden. Er is een Monte Carlo simulatie gelopen om de opties te berekenen. Het project start in 2008. Wanneer men evalueert voor 2022, is het uitgestelde project meer waard dan het originele project. Dit komt omdat men bij het uitgestelde project de toekomst van het project beter kan inschatten en weet of investeren al dan niet een positieve NPV oplevert. Vanaf 2023 genereert het project in alle gevallen een positieve NPV, wanneer men na dit jaar evalueert heeft de kennis die opgedaan wordt tijdens het uitstellen van het project geen nut. De study/start opties hebben in dit geval geen waarde en de beste beslissing is om het project onmiddellijk te starten.



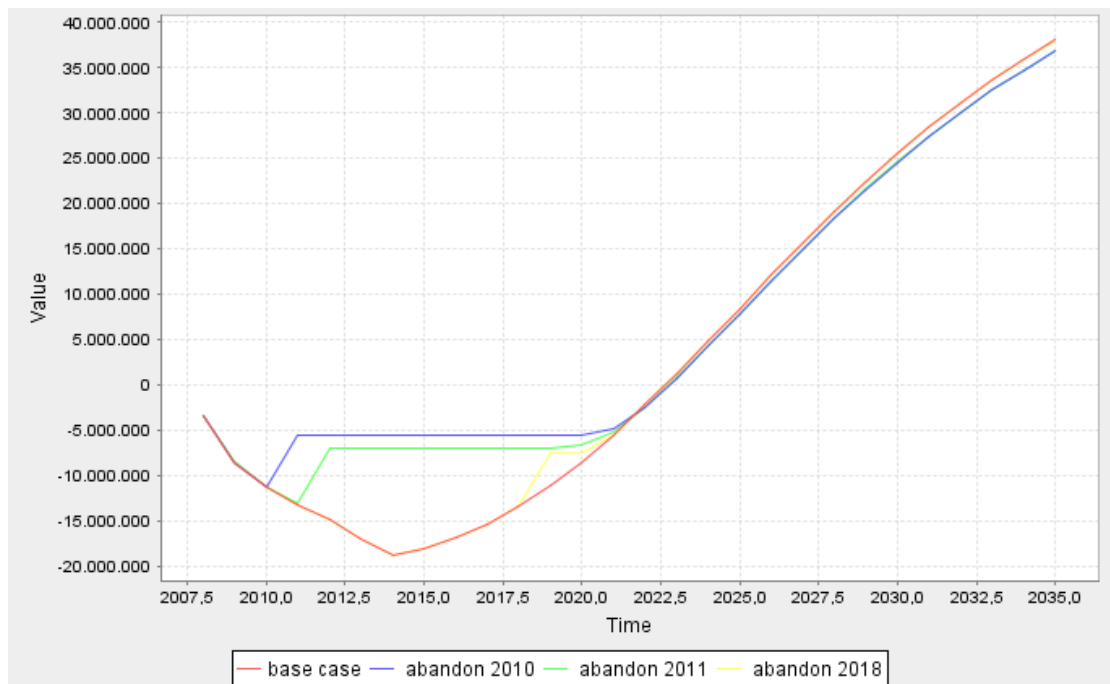
Figuur 6-6: evaluatie optie study/start

6.2.2. Abandon optie

Figuur 6-7 toont het resultaat van een voorbeeld van een abandon optie. In deze figuur wordt de originele NPV vergeleken met de NPV indien het project stopgezet wordt in 2020 en de infrastructuur verkocht wordt aan 70% van de totaal geïnvesteerde CAPEX. Aangezien de inkomsten veel hoger zijn dan de kosten, is het in dit geval uiteraard niet nuttig het project stop te zetten. Figuur 6-8 toont het resultaat van een Monte Carlo simulatie waar abandon opties aanwezig zijn en het project verkocht kan worden in 2010, 2011 of 2018. Enkel indien de evaluatie de eerste jaren gebeurt, kan het nuttig zijn het project te verlaten. In de latere jaren (ongeveer vanaf 2025) loopt de NPV met optie gelijk met de NPV zonder optie. Dit wil zeggen dat indien men na 2025 evalueert, de beste keuze steeds is om het origineel geplande verloop te volgen, de optie abandon heeft in dit geval geen waarde. Dit is logisch want de case study bereikt in ieder scenario een positieve NPV, het project stopzetten is dus niet aangewezen.



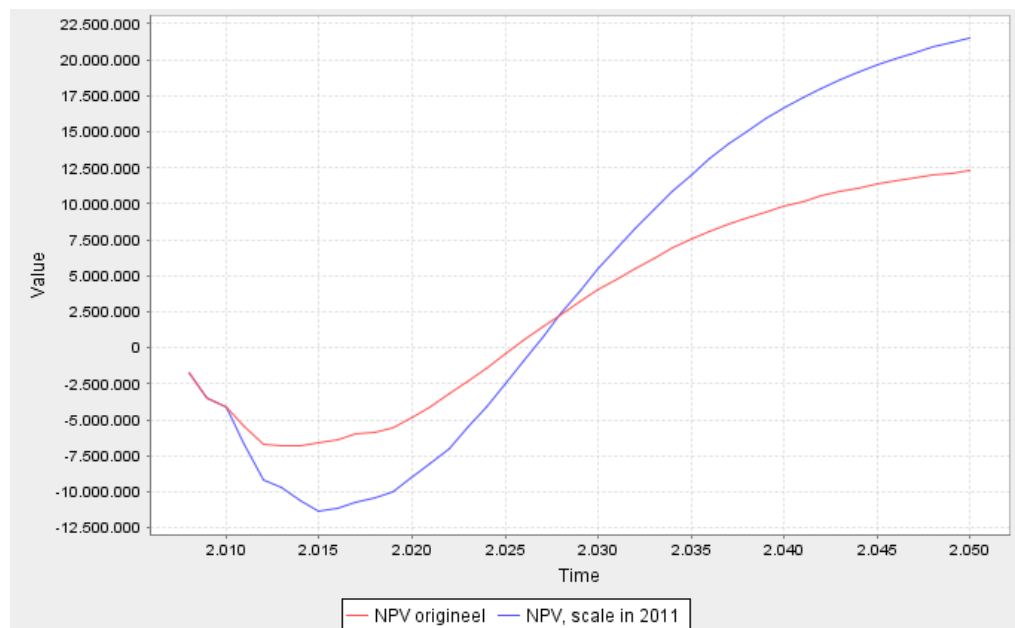
Figuur 6-7: originele NPV en NPV na abandon in 2020



Figuur 6-8: optimaal verloop met abandon optie

6.2.3. Scale up optie

Om de optie scale up te testen is een alternatief scenario opgesteld. Dit scenario veronderstelt dat enkel CO1 wordt uitgerold. Het scale up scenario bestaat uit het uitrollen van CO1 in 2008 (net zoals in het basisscenario) en in 2011 in een gelijkaardige regio investeren, waarbij een nieuwe CO wordt opgezet. Bij het berekenen van deze optie wordt enkel informatie over CO1 gebruikt. Figuur 6-9 vergelijkt het basisscenario (enkel CO1 uitrollen) en het scenario bij scale up in 2011. De grafiek toont dat de kosten eerst hoger zullen zijn, maar dat de inkomsten in de toekomst dit rechtvaardigen. In 2035 liggen de inkomsten meer dan 60% hoger.

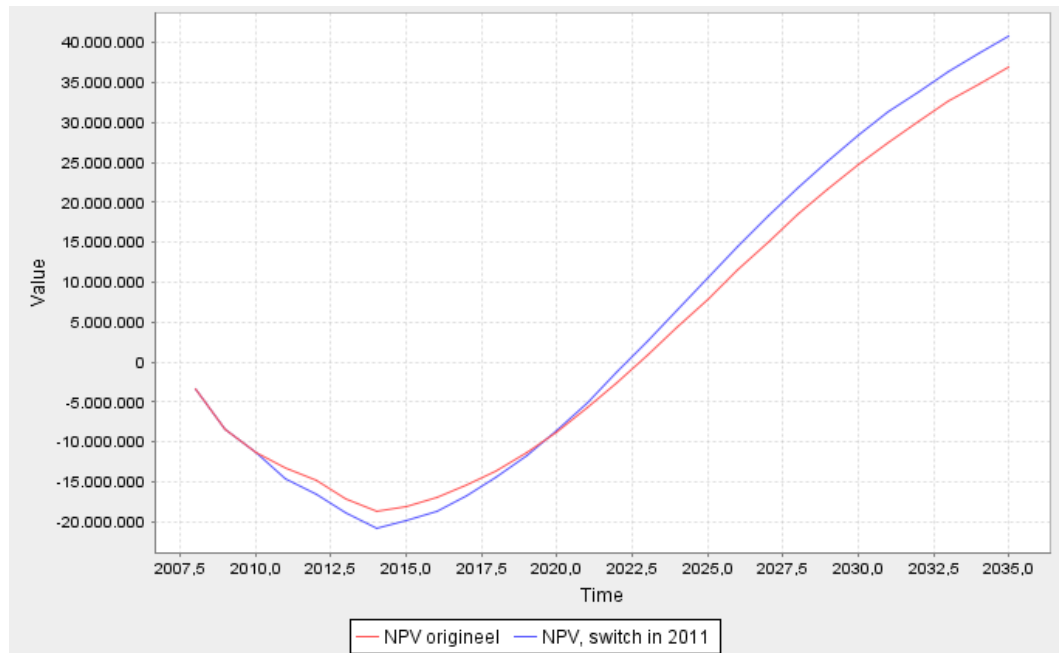


Figuur 6-9: originele NPV en NPV na scale up

Deze scale up methode kan gebruikt worden bij een project als indicatie over het nut van een scale up optie. Indien deze optie nuttig blijkt is een meer diepgaande studie aangewezen. In het voorbeeld dat hier bestudeerd wordt is een diepgaande studie bijvoorbeeld het bestuderen van het uitrollen van CO1 en CO2, waarbij CO2 opgestart wordt in 2011.

6.2.4. Switch optie

Als voorbeeld wordt een switch up optie bestudeerd. Figuur 6-10 toont het resultaat van een switch up optie in 2011, waarbij de switch up gebeurt tegen een eenmalige kost van 2 miljoen euro. Na de switch up liggen de kosten 10% hoger en loopt de adoptie 10% sneller. Switch up blijkt nuttig in het geval dat veranderen van technologie mogelijk is in 2011, met de specificaties uit dit voorbeeld.



Figuur 6-10: originele NPV en NPV na switch in 2011

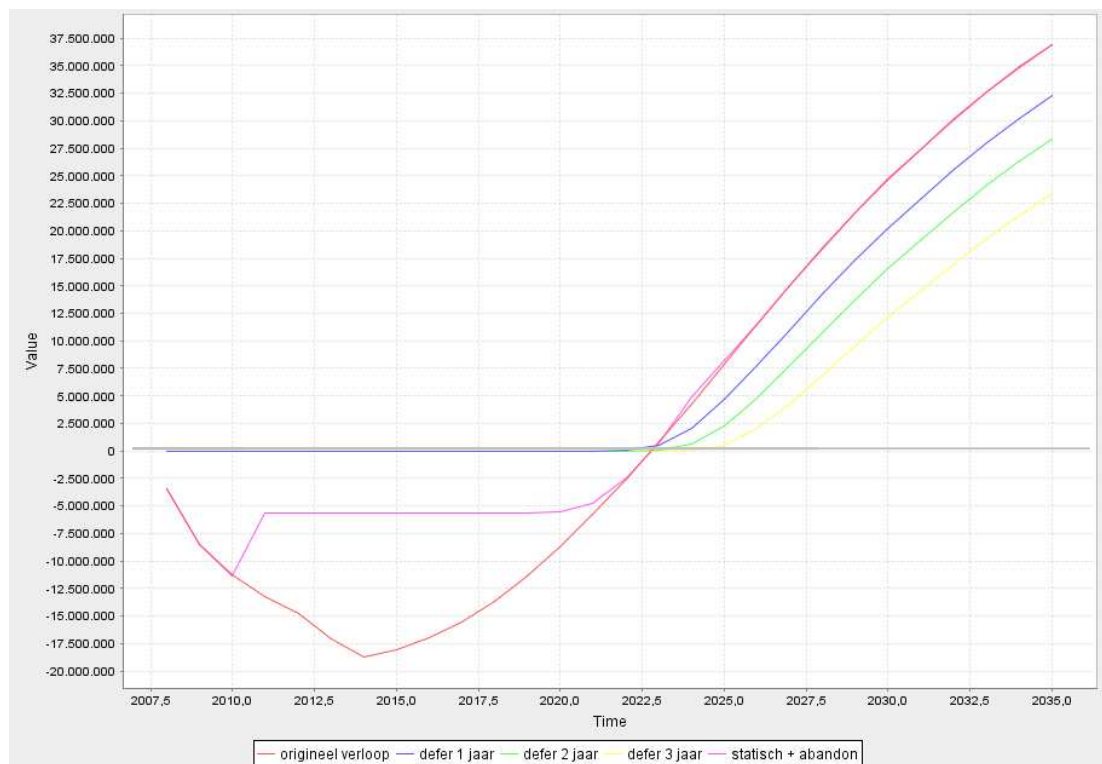
6.2.5. Conclusie

Het berekenen van opties met het model ontwikkeld in deze thesis geeft een beeld van mogelijke opties die aanwezig zijn in het project. De opties study/start en abandon zijn algemeen toepasbaar, de enige schatting die gemaakt moet worden is de verkoopprijs van de infrastructuur. Deze opties zijn vooral nuttig wanneer het onzeker is dat de inkomsten hoger zullen zijn dan de kosten.

De opties scale up/down en switch up/down zijn meer verbonden met de specifieke case en mogelijkheden in die case. Deze opties zijn vooral nuttig om een ruwe schatting te maken voor een specifiek geval. Indien het resultaat positief is, is het aangewezen een diepgaande studie uit te voeren over de werkelijke meerwaarde van deze mogelijkheden.

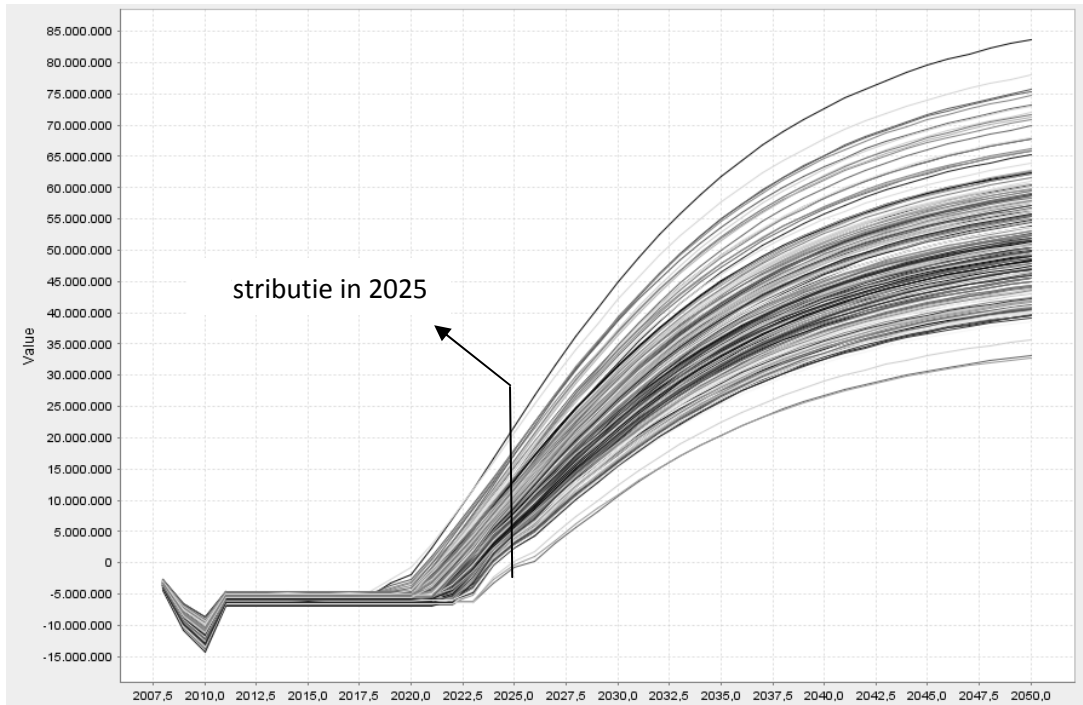
6.3. Evalueren van de case study met reële opties

In deze paragraaf wordt een optimum gezocht voor de case study, waarbij gebruik gemaakt wordt van reële opties. Het optimum is een maximum van de originele functie, study/start opties (over de eerste drie jaar) en abandon opties (na twee jaar, na tien jaar en na vijftien jaar). Figuur 6-11 toont het resultaat van de statische NPV analyse, van de NPV analyse met mogelijkheid tot het verkopen van het project (abandon opties) en de NPV van de study/start analyses. Afhankelijk van het evaluatiejaar wordt een andere strategie gevolgd. De opties die in rekening gebracht worden, hebben vooral invloed op de eerste jaren van het project. Dit komt omdat deze opties een mogelijk negatief verloop van het project beperken en het project steeds een positief verloop heeft in de verdere toekomst.

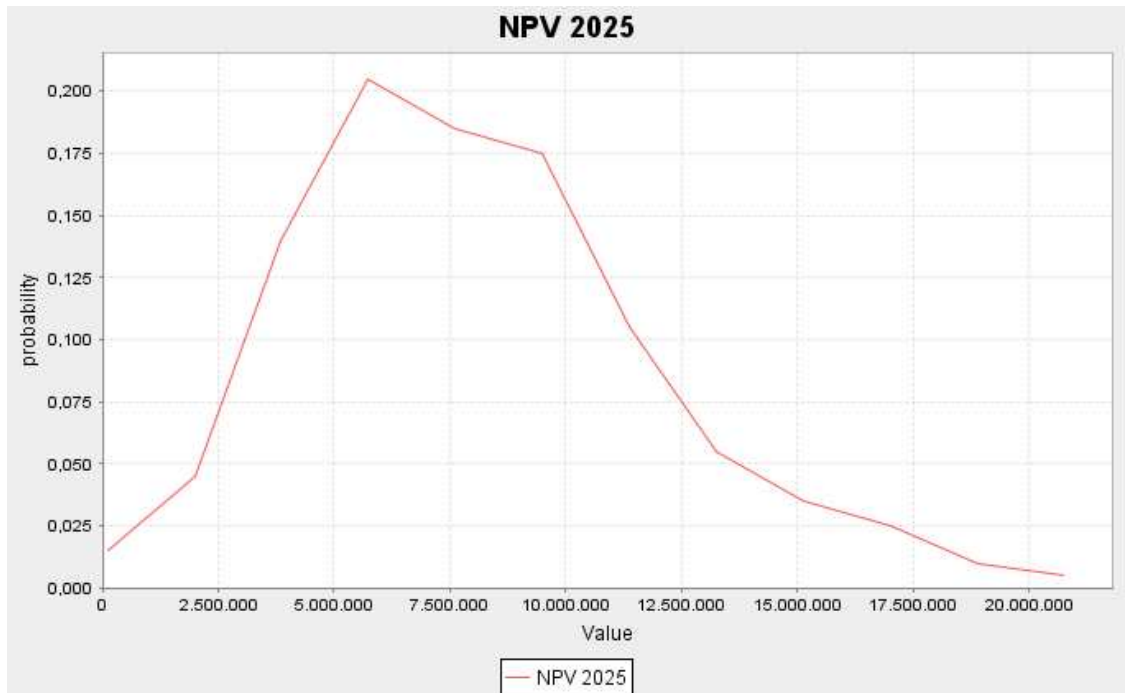


Figuur 6-11: verloop maximale NPV

Het resultaat van de sensitiviteitsanalyse voor de beste keuze in Figuur 6-11 wordt getoond in Figuur 6-12, dit is het traject met abandon opties. De distributie in het jaar 2025 wordt getoond in Figuur 6-13. Wanneer we dit vergelijken met de verdeling zonder opties in Figuur 6-4 zien we een verschil in de linkerzijde van de grafiek, nu loopt de distributie veel steiler en de kans op een negatieve payoff verdwijnt in dit geval wanneer abandon opties aanwezig zijn. De rest van de verdeling loopt ongeveer gelijk, in deze gevallen genereert het project voldoende inkomsten en is verkopen niet nuttig.



Figuur 6-12: sensitiviteitsanalyse van NPV met abandon opties



Figuur 6-13: distributie van NPV met opties in 2025

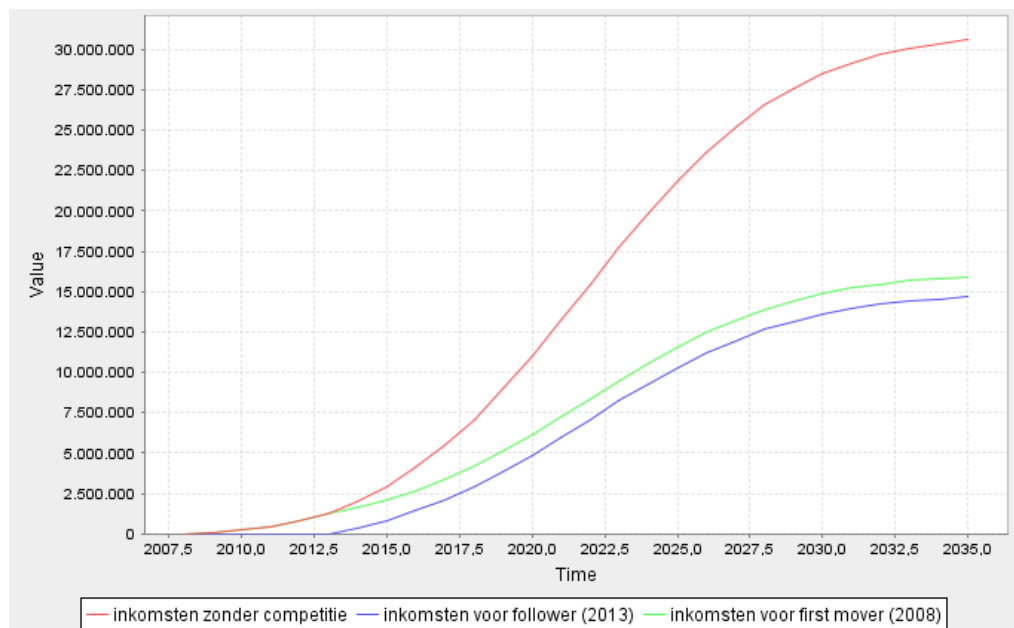
6.4. Speltheorie

Het speltheoretische onderdeel van het ontwikkelde model wordt gebruikt om een competitie­model te simuleren met 2 spelers. Beide spelers zijn symmetrisch en volgen de uitrolstrategie beschreven in de eerste paragraaf van dit hoofdstuk. De spelers maken een keuze over het investeringsjaar. Beide spelers kunnen elk jaar tussen 2008 en 2013 starten met de rollout van het project. Uiteraard is dit model veel vereenvoudigd, in realiteit zullen 2 spelers nooit symmetrisch zijn. Tabel 6-1 toont de payoff matrix van dit experiment. Het equilibrium wordt gevonden op 2008, 2008. Dit betekent dat beide spelers best onmiddellijk investeren.

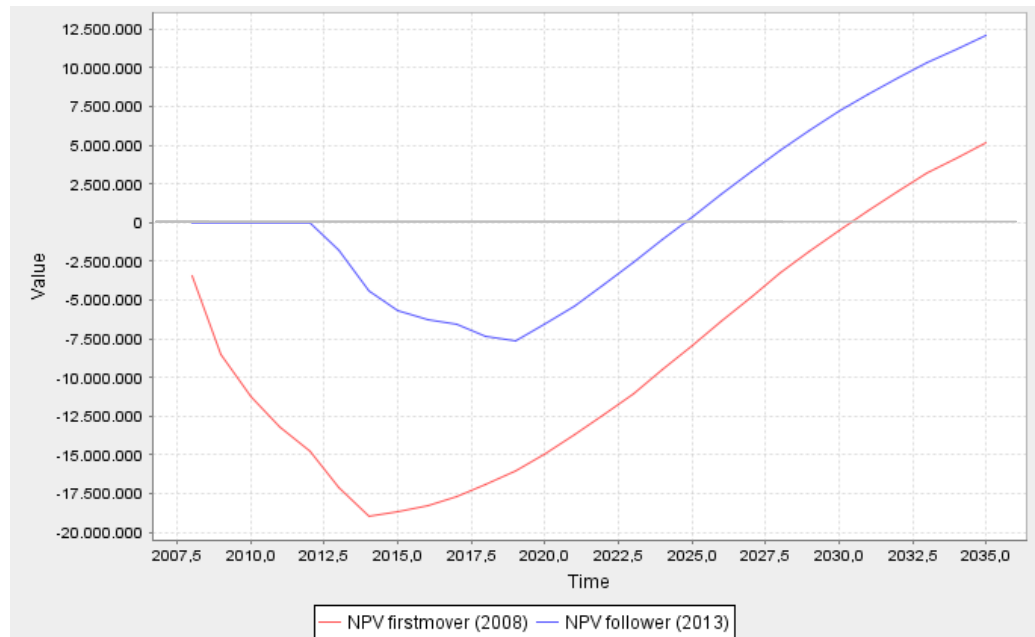
| strategie P1/strategie P2 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|---------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 2008 | 36943039/36923274 | 1004832/4459126 | 1731145/7238883 | 2561745/9463700 | 3784849/11003860 | 5157333/12046059 |
| 2009 | 4502955/1011727 | 32275162/33685794 | 678751/4963209 | 1324463/7290428 | 2101162/9080728 | 3167285/10368269 |
| 2010 | 7254179/1741899 | 4955356/659999 | 27913983/30356529 | 204563/5083787 | 778659/7029049 | 1512721/8574016 |
| 2011 | 9483703/2574677 | 7287728/1308254 | 5081380/207294 | 23821886/27081920 | -295648/4967146 | 204025/6574203 |
| 2012 | 11039075/3782382 | 9107278/2067004 | 7016261/825065 | 4964966/-259943 | 20060956/23864933 | -850590/4644787 |
| 2013 | 12056817/5119841 | 10382777/3169377 | 8555842/1488222 | 6583832/211420 | 4640399/-846069 | 16616361/20766347 |

Tabel 6-1: payoff matrix in 2035

Uit de tabel blijkt dat de follower een hogere NPV bekommt dan de first mover. Dit wordt visueel getoond in Figuur 6-15 in het geval dat de first mover in 2008 investeert en de follower in 2013. De adoptie zal hoger zijn voor de first mover, waardoor ook de inkomsten voor de firstmover hoger zullen zijn (zie Figuur 6-14). Het verschil is echter klein en de kosten zijn heel wat lager indien later geïnvesteerd wordt. De verklaring voor het feit dat de follower in het voordeel is, is dat de kosterosie hoog is. Ook is de invloed van het first movers advantage op de adoptie klein. In realiteit zal deze invloed hoger zijn.



Figuur 6-14: inkomsten bij competitie



Figuur 6-15: NPV bij competitie

In [64] werden verschillende speltheoretische cases uitgewerkt. De resultaten in deze cases lopen in lijn met de resultaten hierboven gevonden. Een van de belangrijkste algemene conclusies uit dit werk is dat in een competitieve setting de operatoren vroeger en sneller en in directe competitie met elkaar zullen gaan voor de uitrol.

6.5. Conclusie

In dit hoofdstuk is een realistische case omtrent een FTTH rollout in Gent onderzocht met het ontwikkelde Java model. Abandon en study/start opties kunnen op korte termijn gebruikt worden om verliezen in te dekken. Op lange termijn zullen deze opties niet gelicht worden in deze case, aangezien de case steeds een positieve NPV oplevert. Wanneer men een gebied voor ogen heeft om later in te investeren levert de scale up optie een schatting van de inkomsten. In dit hoofdstuk is een speciaal geval beschouwd voor deze case waar scale up een grote waarde heeft. Wanneer men een technologie voor ogen heeft die in de toekomst gebruikt zou kunnen worden, levert switch up een schatting van de inkomsten. In deze case blijkt een switch up optie met een eenmalige kost van 2 miljoen euro en een hogere totale kost tijdens het project verantwoord om de adoptie 10% sneller te laten lopen. Er is een algemene evaluatie gemaakt aan de hand van study/start en abandon opties over deze case. Deze opties blijken nuttig om mogelijke verliezen te beperken. De NPV werd geëvalueerd in 2025. Hier blijken mogelijke verliezen die in een statische NPV analyse heeft te verdwijnen bij de opties analyse. Ten slotte is in dit hoofdstuk een speltheoretische analyse gemaakt voor twee symmetrische spelers. Daarin blijkt dat beide spelers onmiddellijk zullen investeren in dit project. Dit komt omdat dit project voldoende winstgevend is om twee spelers te dragen. Onmiddellijk investeren zorgt dan voor de hoogste inkomsten.

Hoofdstuk 7

Conclusie

Om aan de stijgende vraag naar bandbreedte te voldoen zullen bestaande netwerken vernieuwd moeten worden of zullen nieuwe netwerken uitgerold moeten worden. Vandaag bestaan breedband netwerken voornamelijk uit DSL en HFC technologieën. De stap naar een volledig glasvezelnetwerk vergt een heel hoge kost waardoor netwerkkoperatoren deze stap niet licht nemen. Een alternatief voor een vast netwerk is het draadloos WiMAX netwerk. Deze technologie is nog volop in ontwikkeling waardoor het uitrollen van een WiMAX netwerk gepaard gaat met heel wat onzekerheden. Dit maakt dat investeringen in telecom een grondige economische analyse vergen. Reële opties en speltheorie bieden de mogelijkheid om een traditionele NPV-analyse uit te breiden tot een analyse die rekening houdt met flexibiliteit van het management en invloed van competitie.

In de literatuur zijn heel wat studies te vinden die reële opties gebruiken om investeringen in telecom te analyseren. Het blijkt dat reële opties uiterst geschikt zijn om investeringen in deze sector te evalueren. Vooral bij het uitrollen van de recente draadloze netwerken worden reële opties vaak toegepast. Ook bij het bepalen van de regulering omtrent LLU kunnen reële opties een belangrijke rol spelen. De meest toegepaste opties zijn study/start en scale up opties. Ook switch up wordt regelmatig toegepast. Deze opties spelen voornamelijk in op de onzekerheid op de klantenadoptie en, indien onzekere technologieën gebruikt worden, op de onzekerheid van deze technologieën. Het bepalen van de waarde van reële opties gebeurt hoofdzakelijk met een Monte Carlo simulatie of met de Black & Scholes formule, waarbij een Monte Carlo simulatie meer mogelijkheden biedt om de distributie van de onzekere factoren in te stellen.

De literatuur levert heel wat werken die de theoretische context rond speltheorie bespreken, er zijn echter weinig werken die speltheorie gebruiken als evaluatiemiddel in een case study. Uit de papers die gevonden zijn blijkt desondanks dat speltheorie gebruikt kan worden in telecom om de invloed van competitie te onderzoeken. Een belangrijk competitief voordeel kan bekomen worden door als eerste in een markt te investeren en te genieten van het first movers advantage.

Speltheorie en reële opties kunnen samen genomen worden tot één tool, men spreekt dan van option-game theorie. Hierbij kan men een reële opties analyse beschouwen als een spel met één speler. Wanneer men meerdere strategieën beschouwt, wordt voor elke strategie een reële opties analyse uitgevoerd. De theorie rond option-games is nog maar recent ontwikkeld, toch zijn er al heel wat studies die deze theorie toepassen. De belangrijkste afweging die daarin naar voor komt is de afweging tussen een study/start optie en het first movers advantage. Men dient een optimaal moment te bepalen om in een project te investeren.

Naast de literatuurstudie is in deze thesis een Java model ontwikkeld dat de mogelijkheid biedt om reële opties uit te rekenen en speltheorie te modelleren. Dit model maakt gebruik van bestaande Java klassen en kan elke case evalueren die gebaseerd is op deze klassen en in staat is om

tussenresultaten bij te houden en aan te passen. Het ontwikkelde model biedt methodes aan om study/start opties, abandon opties, scale up opties en switch opties uit te rekenen, ook kan een individueel traject bestudeerd worden, kan er geëvalueerd worden welke opties een significante waarde hebben en kan een distributie berekend worden van de NPV in een evaluatiejaar. Study/start en abandon opties kunnen steeds voor elke case toegepast worden. Scale en switch opties vereisen een specifieke mogelijkheid in de case. Bij switch up bijvoorbeeld, moet een upgrade naar een betere technologie mogelijk zijn. Het ontwikkelde model biedt ook de mogelijkheid om een geschikt investeringsmoment te bepalen onder invloed van competitie. Hiervoor kan een payoff matrix opgesteld worden. In het model is een methode ontwikkeld die een equilibrium zoekt, zodat deze matrix geëvalueerd kan worden. Belangrijk bij het model is dat de complexiteit verborgen blijft voor de gebruiker. De gebruiker dient enkel eenvoudige interfaces toe te voegen aan de bestaande methode die de NPV uitrekent en kan dan alle opties uitrekenen en een equilibrium zoeken in een competitie-model.

In het laatste hoofdstuk is een case study, die een FTTH rollout in Gent onderzoekt, geëvalueerd aan de hand van het Java model. De standaard NPV berekening voorspelt grote winsten voor deze case. Abandon en study/start opties zijn nuttig wanneer de kans op een negatieve NPV reëel is, in deze case is dit de eerste 14 jaar het geval. Van zodra men zeker is dat het project een positieve NPV zal opleveren kan men best onmiddellijk investeren, dit is het geval in deze case study vanaf 2022. Scale up en switch up opties tonen aan dat, indien de mogelijkheid zich voordoet, uitbreiden naar meer regio's of overschakelen naar een recentere technologie aan te raden is. Men moet bereid zijn extra inspanningen te leveren om de adoptie te verhogen.

Het Java model kan verder uitgebreid worden door toe te laten nog andere reële opties uit te rekenen. Zo kan er een aparte methode bijgevoegd worden om scope up en scope down opties uit te rekenen of kunnen scale up en scale down uitgebreid worden door de mogelijkheid om sneller of trager uit te rollen te voorzien. Ook kan er nog dieper ingegaan worden op option-games, waarbij automatische methodes voorzien kunnen worden om aan de hand van vooraf bepaalde strategieën een payoff matrix op te stellen, waarbij de payoff berekend wordt gebruik makend van meerdere opties.

Referenties

- [1] W. De Maeseneire, "The real options approach to strategic capital budgeting and company valuation", Erasmus Universiteit Rotterdam, 2006
- [2] M. Bilal, "Evalueren van flexibiliteit bij netwerkuitrol aan de hand van techniek van reële opties", Universiteit Gent, 2009
- [3] B. Wouters, "Invloed van stadsnetwerken op de breedbandmarkt gemodelleerd met behulp van speltheorie", Universiteit Gent, 2007
- [4] K. Casier, "Techno-Economic Evaluation of a Next Generation Access Network Deployment in a Competitive Setting", Universiteit Gent, 2009
- [5] B. Lannoo, "Studie van toegangscommunicatienetwerken voor heterogene omgevingen", Universiteit Gent, 2008
- [6] Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_Fibre_Coaxial, 2009
- [7] H. Smit, L. Trigeorgis, "Real options and games: Competition, alliances and other applications of valuation and strategy", Elsevier, 2006
- [8] L. Trigeorgis, "Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation", Cambridge: The MIT Press, 1996
- [9] M. Pickavet, "netwerkmodellering en ontwerp", course notes, 2009
- [10] L. Trigeorgis, "Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation", Cambridge: The MIT Press, 1996
- [11] L. Trigeorgis "Real Options: A Primer", University of Cyprus
- [12] T. Copeland, V. Antikarov, "Real Options: A Practitioner's Guide", W. W. Norton & Company, 2001
- [13] L. Trigeorgis, "Real Options in Capital Investment: Models, Strategies, and Applications", Praeger, 1995
- [14] B. Lannoo et al., "Economic feasibility study of a mobile wimax rollout in Belgium", BroadBand Europe, 2007
- [15] M. Amram, N. Kulatilaka, "Real Options: Managing Strategic Investment in an Uncertain World", Oxford University Press, 1999
- [16] B. Sadowski, M. Verheijen, A. Nucciarelli, "From Experimentation to Citywide Rollout: Real Options for a Municipal WiMax Network in the Netherlands", Communications & Strategies, 2008
- [17] M. Boyer et al., "Value creation, risk management and real options", CIRANO, 2003
- [18] V. Riihimäki, "Real Option Valuation of Broadband Access Networks", Helsinki university of technology, 2006
- [19] W. Ramirez, F. Harmantzis, V. Tanguturi, "Valuing wireless data services solutions for corporate clients using real options", Int. J. Mobile Communications, 2007
- [20] F. Harmantzis, V. Tanguturi, "Delay in the Expansion from 2.5G to 3G Wireless Networks: A Real Options Approach", ITS conference, 2004
- [21] F. Harmantzis, V. Tanguturi, "Investment decisions in the wireless industry applying real options", Elsevier, 2007
- [22] V. Tanguturi, F. Harmantzis, "Migration to 3G wireless broadband internet and real options: The case of an operator in India", Elsevier, 2006
- [23] F. Harmantzis, V. Tanguturi, "Real Options Analysis for GPRS Network with Wi-Fi Integration", annual conference of the northeast business & economics association, 2004
- [24] F. Harmantzis, L. Trigeorgis, V. Tanguturi, "Flexible Investment Decisions in the Telecommunications Industry: Case Applications using Real Options", NET Institute, 2006
- [25] K. Binmore, P. Klemperer, "The Biggest Auction Ever: the Sale of the British 3G Telecom Licences", Economic Journal, 2002

- [26]M. Basili, F. Fontini “The Option Value of the UK 3G Telecom Licences: Was Too Much Paid?”, the Journal of Policy, Regulation and Strategy for Telecommunications, 2003
- [27]J. Alleman, E Noam, “The new investment theory of real options and its implications for telecommunications economics”, Kluwer, 1999
- [28]<http://gambit.sourceforge.net/>
- [29]Bhaghat in Alleman
- [30]R. Pindyck, “Mandatory unbundling and irreversible investment in telecom networks”, NBER working papers, 2004
- [31]F. Camacho, F. Menezes, “Access Pricing and Investment: A Real Options Approach”, University of Queensland, 2008
- [32]R. Clarke, “Rethinking the implications of “real options” theory for the US local telephone industry”, in J. Alleman, E. Noam, “The new investment theory of real options and its implications for telecommunications economics”, Kluwer, 1999
- [33]M. Pelcovits, “Application of real options theory to TELRIC models: real trouble or red herring”, in J. Alleman, E. Noam, “The new investment theory of real options and its implications for telecommunications economics”, Kluwer, 1999
- [34]J. Lassila, “Real Options in Telecommunications Capacity Markets”, Helsinki university of technology, 2001
- [35]L. Benzoni, N. Gresser, C. Hung Vuong, “Invest Today or Tomorrow? A Real Option Approach to Strategic Development in the French DSL Market”, COMMUNICATIONS & STRATEGIES, 2008
- [36]L. Martin, “Get Real, Using Real Options in Security Analysis”, CREDIT SUISSE FIRST BOSTON CORPORATION, 1999
- [37]M. Gaynor, S. Bradner, “A Real Options Framework to Value Network, Protocol, and Service Architecture”, ACM, 2004
- [38]A. Pereira, “Stock Valuation Using a Contingent Claims Approach: The Case of Portugal Telecom”, FCT, 2005
- [39]“real options selected links”, <http://www.puc-rio.br/marco.ind/ro-links.html>
- [40]J. Von Neumann, O. Morgenstern, “Theory of Games and Economic Behavior”, Princeton University Press, 1944.
- [41]A. Dixit, B. Nalebuff, “Thinking Strategically”, Norton, 1991
- [42]H. Smit, L Trigeorgis, “Strategic investment”, Princeton University Press, 2004
- [43]M. Felegyhazi, J. Hubaux, “Game Theory in Wireless Networks: A Tutorial” EPFL, 2006
- [44]E. Altman et al., “A survey on networking games in telecommunications”, Computers & Operations Research: Volume 33, Issue 2, pagina’s 286-311, 2006
- [45]S. Grenadier, “Game Choices: The Intersection of Real Options and Game Theory”, Risk Books, 2000
- [46]K. Casier et al., “Game Theoretic Optimization of a Fiber-to-the-Home Municipality Network Rollout”, JOCN, 2009
- [47]L. Cricelli, M. Gastaldi, N. Levialdi, “Strategic behaviours in international telecommunications system”, elsevier, 1998
- [48]M. Dias, J. Teixeira, “Continuous-Time Option Games: Review of Models and Extensions Part 1: Duopoly under uncertainty”, Annual International Conference on Real Options, 2003
- [49]H. Smit, L. Trigeorgis “Valuing Infrastructure Investment: An Option Games Approach”, California management review, 2009
- [50]H. Smith, “Infrastructure investment as a real options game: the case of European airport expansion”, Financial management association, 2003
- [51]N. Ferreira, J. Kar, L. Trigeorgis, “Option Games: The Key to Competing in Capital-Intensive Industries”, Harvard Business Review, 2009

- [52]H. Smit, "Acquisition Strategies as Option Games", Journal of Applied Corporate Financ , 2003
- [53]F. Cortelezzi, G. Villani, "Strategic Technology Adoption and Market Dynamics as Option Games", Dipartimento di Scienze Economiche, Matematiche e Statistiche, Universita' di Foggia, 2007
- [54]G. Villani, "An R&D Investment Game under Uncertainty in Real Option Analysis", Springer, 2008
- [55]H. Weeds, "Real Options and Game Theory: When should Real Options Valuation be applied?", Lexicon Ltd, 2002
- [56]R. Bouis, K. Huisman, P. Kort, "Investment in oligopoly under uncertainty: The accordion effect", Internation Journal of Industrial Organization, 2008
- [57]G. Angelou, A. Economides, "A multi-criteria game theory and real-options model for irreversible ICT investment decisions", Telecommunications Policy, 2009
- [58]E. Li, F. Gu, W. Lu, "A Research on License Amount in 3G Mobile Market Based on Option Game", Shanghai Jiao Tong University, 2005
- [59]"Option Games Models", <http://www.puc-rio.br/marco.ind/opt-game.html>
- [60]S. Verbrugge, K. Casier, J. Van Ooteghem, B. Lannoo, "Practical steps in techno-economic evaluation of netwerk deployment planning", INTEC, 2009
- [61]E. Boonefaes, "Evolutie van vaste toegangsnetwerken in België –De weg naar Fiber To The Home-", Universiteit Gent, 2006
- [62]Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/FTTX>, 2007
- [63]C. Weinschenk, "Speeding Up WiMax" , IT Business Edge, 2010
- [64]K. Bauters, M. Van Der Wee, "Techno-economische analyse voor een geïntegreerde glasvezel-draadloze netwerk uitrol aan de hand van speltheorie en reële opties", Universiteit Gent, 2010

Lijst van figuren

| | |
|--|----|
| <i>Figuur 2-1: NPV (donkerblauw) versus real options(lichtblauw)</i> | 7 |
| <i>Figuur 2-2: Goudprijs en variabele kostfluctuaties [1]</i> | 8 |
| <i>Figuur 2-3: Intrinsieke waarde en tijdwaarde van een call optie [1]</i> | 9 |
| <i>Figuur 2-4: Analogie tussen financiële en reële opties [2]</i> | 9 |
| <i>Figuur 2-5: Types reële opties [4]</i> | 10 |
| <i>Figuur 2-6: Voorbeeld van een binomiaalboom</i> | 13 |
| <i>Figuur 3-1: study/start optie [17]</i> | 20 |
| <i>Figuur 4-1: PSTN netwerk [2]</i> | 30 |
| <i>Figuur 4-2: DSL schema [61]</i> | 30 |
| <i>Figuur 4-3: bitrate/afstand voor DSL technologieën [61]</i> | 31 |
| <i>Figuur 4-4: HFC netwerk [6]</i> | 32 |
| <i>Figuur 4-5: FTTx [62]</i> | 34 |
| <i>Figuur 4-6: AON en PON structuur [62]</i> | 35 |
| <i>Figuur 4-7: vergelijking UMTS, WiFi, WiMAX [3]</i> | 37 |
| <i>Figuur 5-1: kost, inkomsten en NPV in Javamodel</i> | 40 |
| <i>Figuur 5-2: sensitiviteitsanalyse</i> | 40 |
| <i>Figuur 5-3: gebruik van interfaces</i> | 41 |
| <i>Figuur 5-4: sequentiediagram voor het uitrekenen van een optie</i> | 42 |
| <i>Figuur 5-5: study/start optie in jaar 6</i> | 43 |
| <i>Figuur 5-6: scale up optie in jaar 4</i> | 45 |
| <i>Figuur 5-7: scale down optie in jaar 10</i> | 46 |
| <i>Figuur 5-8: switch up optie in jaar 3</i> | 47 |
| <i>Figuur 5-9: adoptie voor 2 spelers in competitie</i> | 50 |
| <i>Figuur 5-10: NPV voor spelers in competitie</i> | 51 |
| <i>Figuur 5-11: distributie van NPV na sensitiviteitsanalyse</i> | 51 |
| <i>Figuur 6-1: verdisconteerde kosten en inkomsten</i> | 54 |
| <i>Figuur 6-2: NPV</i> | 54 |
| <i>Figuur 6-3: sensitiviteitsanalyse</i> | 55 |
| <i>Figuur 6-4: verdeling van NPV in jaar 2025</i> | 55 |
| <i>Figuur 6-5: originele NPV en 5 jaar uitgestelde NPV</i> | 56 |
| <i>Figuur 6-6: evaluatie optie study/start</i> | 57 |
| <i>Figuur 6-7: originele NPV en NPV na abandon in 2020</i> | 58 |
| <i>Figuur 6-8: optimaal verloop met abandon optie</i> | 58 |
| <i>Figuur 6-9: originele NPV en NPV na scale up</i> | 59 |
| <i>Figuur 6-10: originele NPV en NPV na switch in 2011</i> | 60 |
| <i>Figuur 6-11: verloop maximale NPV</i> | 61 |
| <i>Figuur 6-12: sensitiviteitsanalyse van NPV met abandon opties</i> | 62 |
| <i>Figuur 6-13: distributie van NPV met opties in 2025</i> | 62 |
| <i>Figuur 6-14: inkomsten bij competitie</i> | 63 |
| <i>Figuur 6-15: NPV bij competitie</i> | 64 |

Lijst van tabellen

| | |
|--|----|
| <i>Tabel 2-1: Het prisoner's dilemma</i> | 14 |
| <i>Tabel 2-2: Voorbeeld van het prisoner's dilemma</i> | 15 |
| <i>Tabel 2-3: Grab the dollar</i> | 15 |
| <i>Tabel 2-4: Voorbeeld met incomplete informatie</i> | 16 |
| <i>Tabel 3-1: opties in de literatuur</i> | 23 |
| <i>Tabel 4-1: overzicht van DSL netwerken[3]</i> | 31 |
| <i>Tabel 4-2: DOCSIS standaarden [3]</i> | 33 |
| <i>Tabel 6-1: payoff matrix in 2035</i> | 63 |