

2014•2015
FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN
*master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur*

Masterproef

Het uitstellen van een investering in elektrische wagens: de impact van onzekere energieprijzen

Promotor :
dr. Tine COMPERNOLLE

Christoph Dreesen

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de toegepaste economische wetenschappen: handelsingenieur

2014•2015

FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE
WETENSCHAPPEN

*master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur*

Masterproef

Het uitstellen van een investering in elektrische
wagens: de impact van onzekere energieprijzen

Promotor :
dr. Tine COMPERNOLLE

Christoph Dreesen

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de toegepaste economische
wetenschappen: handelsingenieur*

1 WOORD VOORAF

Deze masterproef tekent de afronding van mijn studie Master in de toegepaste wetenschappen: Handelsingenieur met afstudeerrichting Accountancy en als optie Technologie-, Innovatie- en Milieumanagement aan de Universiteit Hasselt. Zowel mijn geloof in het bijdragen aan een betere wereld als mijn interesse in nieuwe technologieën hebben een rol gespeeld in het tot stand brengen van dit sluitstuk. Daarnaast waren de steun en inzichten van anderen onontbeerlijk om deze masterproef tot een goed einde te kunnen brengen.

In het bijzonder wil ik mijn promotor bedanken, Tine Compernelle, voor haar steun in raad en daad. Zonder haar deskundig en snel advies, haar kritische verbeteringen en aanmoedigingen tot verdere uitbreidingen van het werk had ik nooit zo veel bij kunnen leren. Vooral het bezoek aan Tilburg heeft een extra dimensie gegeven aan het werkstuk. Daarnaast gaat mijn dank ook uit naar mijn ouders en mijn broer, die door hun interesse ook de mijne mee hebben helpen aanwakkeren. Tot slot wil ik mijn vriendin Katrien bedanken voor haar mentale steun.

2 SAMENVATTING

Om klimaatverandering beheersbaar te houden, heeft België zich tot doel gesteld om het aandeel van hernieuwbare energiebronnen in het totaal energiegebruik te laten stijgen tot 13% tegen 2020. Voor transport geldt een specifieke doelstelling van minstens 10% hernieuwbare energie op het totale energiegebruik voor voertuigen (Vlaamse Overheid, 2013). Elektrisch rijden zou kunnen bijdragen tot deze doelstelling, maar in 2014 waren slechts 0.022% van de personenwagens in België elektrische voertuigen (Belgische Automobielen- en Tweewielerfederatie, 2014b).

In deze masterproef wordt nagegaan wat de invloed is van onzekere energieprijzen op de investering in een elektrisch voertuig, voor de particuliere markt. Eerst wordt een situatie geschetst over de financiële haalbaarheid van de investering aan de hand van een Netto Contante Waarde (NCW) berekening. Vervolgens zullen bepaalde parameters als variabel beschouwd worden in de Monte Carlo analyse. Tot slot wordt met behulp van de ROA (Reële Optie Analyse) de onzekerheid van de energieprijzen in acht genomen.

Het resultaat van de ROA wordt vergeleken met de NCW berekening. Hieruit blijkt dat de investeringsbeslissing verandert wanneer onzekerheden geïntegreerd worden in de berekening. In plaats van onmiddellijk investeren, is de conclusie dat men beter wacht met investeren. De sensitiviteitsanalyse maakt duidelijk dat het afleggen van een grotere jaarlijkse afstand en een minder sterke verwachte groei van de kosten het investeren zullen versnellen. Deze resultaten worden dan vertaald in adviezen naar de belanghebbende partijen.

Een particulier die grotere afstand rijdt met zijn wagen dan gemiddeld zal eerder baat hebben bij het aanschaffen van een elektrische wagen. Hierbij wordt er wel vanuit gegaan dat de dagelijks gereden afstand het bereik van de wagen niet overschrijdt. Overheden kunnen het aanschaffen van elektrische wagens stimuleren door de meerprijs bij aanschaf te verkleinen. Daarnaast kan de overheid de belastingen op diesel verhogen zodat P^* daalt en men sneller zal investeren in een elektrische wagen. Producenten van BEV's kunnen investeringen in elektrische auto's stimuleren door onderzoek te focussen op het verlagen van de aanschafwaarde, of het verhogen van het bereik.

3 INHOUDSOPGAVE

1	Woord vooraf	I
2	Samenvatting.....	III
3	Inhoudsopgave.....	IV
4	Probleemstelling	1
4.1	Praktijkprobleem	1
4.2	Relevantie van het probleem	2
5	Onderzoeksvraag	3
5.1	Centrale onderzoeksvraag.....	3
5.2	Deelvragen	3
5.3	Afbakening van het onderzoek.....	4
6	Literatuurstudie	7
6.1	Verschillende types voertuigen	7
6.2	Onzekerheden	8
6.2.1	Onzekere dieselprijzen	8
6.2.2	Onzekere elektriciteitsprijzen	8
6.2.3	Het werkelijke bereik van een BEV	9
6.2.4	Investeringskost.....	9
6.2.5	Beleidsmaatregelen	10
6.3	De waarde van de investering	10
6.4	Monte Carlo analyse.....	12
6.5	Reële optie analyse	13
6.5.1	Investeringsmodel met groei en onzekerheid	13
6.5.2	Waarde project na investeren	14
6.5.3	Waarde van de optie om te investeren	15
6.5.4	Bepaling van τ^* en P^*	15
7	Praktijkstudie	17

7.1	Keuze voertuigen.....	17
7.2	De waarde van de investering	18
7.2.1	Éénmalige investeringskost	18
7.2.2	Jaarlijkse kosten	20
7.2.3	Kosten per gereden kilometer	21
7.2.4	Berekening NCW	22
7.3	Monte Carlo analyse.....	24
7.3.1	Variabele parameters.....	24
7.3.2	Resultaten	27
7.4	Reële optie analyse.....	29
7.4.1	Analyse.....	33
7.4.2	Waarde project na investeren	34
7.4.3	Waarde van de optie om te investeren	36
7.5	Sensitiviteitsanalyse.....	37
8	Conclusie	43
9	Discussie	45
10	Referentielijst.....	47
11	Bijlagen	49
11.1	Bijlage 1.....	49
11.2	Bijlage 2.....	50
11.3	Bijlage 3.....	51
11.4	Bijlage 4.....	51
11.5	Bijlage 5.....	51
11.6	Bijlage 6.....	52
11.7	Bijlage 7.....	56

4 PROBLEEMSTELLING

4.1 PRAKTIJKPROBLEEM

De wereldbevolking neemt toe. In 2010 waren er meer dan 6,9 miljard mensen op aarde en er wordt verwacht dat de aantallen de komende jaren blijven groeien (United Nations, 2012). België vertegenwoordigde daarvan met 11.150.516 inwoners slechts een kleine proportie van de wereldbevolking. Van 1 januari 2004 tot 1 januari 2014 is de Belgische bevolking met 7,25% gegroeid (United Nations, 2012).

De stijging van het Belgische wagenpark gaat hand in hand met de bevolkingsgroei en de economische groei. In 2013 bedroeg het totaal aantal personenwagens net geen 5,5 miljoen. In België rijdt de bevolking voornamelijk met voertuigen die aangedreven worden door een verbrandingsmotor op basis van diesel of benzine (respectievelijk 63,2% en 36,6% in 2013). Hoewel de elektrische en de hybride wagen een opmars kennen, blijven de absolute aantallen relatief laag (respectievelijk 0,022% en 0,394%) (Belgische Automobiel - en Tweewielerfederatie, 2014b).

Door de toename in het aantal voertuigen, neemt de druk op de omgeving toe. Voertuigen met een verbrandingsmotor dragen bij aan de uitstoot van broeikasgassen. Naast het probleem van de uitlaatgassen (IPCC, 2013), kampen verbrandingsmotoren met geluidsoverlast en een eindige voorraad fossiele brandstof (Drake, 1974). De overgrote meerderheid (98,8%) van het Belgische wagenpark maakt gebruik van fossiele brandstoffen (Belgische Automobiel - en Tweewielerfederatie, 2014b).

Bij de conventionele verbrandingsmotoren, is men de limiet van efficiëntie aan het benaderen. De huidige efficiëntie van een wagen in de stad is slechts 15% (Van Mierlo, Maggetto, & Lataire, 2006). Dit wil zeggen dat 85% van de potentiële energie die zich in de brandstof bevindt, omgezet wordt in ongewenste nevenproducten zoals warmte en geluid. Uit de World Oil Outlook van 2013 kan men afleiden dat het aanbod van ruwe aardolie sterk zal afnemen. Nieuwe bronnen kunnen aangeboord worden, maar slechts tegen een hogere ontginningskost.

Om klimaatverandering beheersbaar te houden, heeft België zich tot doel gesteld om het aandeel van hernieuwbare energiebronnen in het totaal energiegebruik te laten stijgen tot 13% tegen 2020. Voor transport geldt een specifieke doelstelling van minstens 10% hernieuwbare energie op het totale

energiegebruik voor voertuigen (Vlaamse Overheid, 2013). Elektrisch rijden zou kunnen bijdragen tot deze doelstelling, maar in 2014 waren slechts 0,022% van de personenwagens in België elektrische voertuigen (Belgische Automobielen- en Tweewielerfederatie, 2014b). België loopt achter op schema voor twee van de drie doelstellingen (Thijs, 2014; Vlaamse Overheid, 2013). Elke grote autoconstructeur is momenteel elektrische en hybride voertuigen aan het ontwikkelen en op de markt aan het brengen. De Prius van Toyota en de Tesla zijn de meest bekende voorbeelden. Momenteel ziet men echter nog geen grote omschakeling, hoewel de meeste grote autoconstructeurs milieuvriendelijke alternatieven op de markt gebracht hebben. Uit het onderzoek van Geerts (2014) kan men afleiden dat een elektrische of een hybride wagen, onder de juiste omstandigheden zoals fiscale incentives, een financieel goede investering blijkt te zijn (Geerts, 2014).

4.2 RELEVANTIE VAN HET PROBLEEM

Verschillende partijen kunnen baat hebben bij deze masterproef. Een eerste grote groep die geïnteresseerd kan zijn in het resultaat van deze masterproef is de Vlaamse bevolking. De aanschaf van een nieuwe wagen houdt een grote investeringskost in en elke consument zal een afweging maken tussen de kosten en opbrengsten die hiermee gepaard gaan. Deze masterproef onderzoekt het effect van de onzekerheden die spelen bij een dergelijke investering, met name de onzekerheid in brandstof- en elektriciteitsprijzen.

Een tweede belanghebbende is de overheid. Op basis van deze masterproef kan de overheid nagaan welke subsidies of belastingen elektrisch rijden aantrekkelijk maken. De overheid voert reeds een beleid om alternatieven te promoten die voordelig zijn voor het milieu. Het is echter mogelijk dat de reeds bestaande maatregelen onvoldoende blijken te zijn om de hogere kostprijs van een milieuvriendelijk alternatief te verantwoorden. Ook kan de overheid aan de hand van deze masterproef zien waar zich de pijnpunten bevinden in het beleid inzake elektrische en hybride voertuigen.

5 ONDERZOEKSVRAAG

5.1 CENTRALE ONDERZOEKSVRAAG

Welke onzekerheden beïnvloeden de eventuele investering in een elektrisch voertuig, en wat is de impact ervan met betrekking tot het uitstellen van de investering?

5.2 DEELVRAGEN

Welke elektrische wagens zijn er op de markt en in welke mate zijn ze vergelijkbaar met wagens met een conventionele verbrandingsmotor?

Om een correcte analyse te kunnen uitvoeren, moet er gezorgd worden dat de vergelijkingsbasis juist is. Zo veel mogelijk specificaties moeten overeen komen zodat enkel de motoren verschillend zijn. Daarnaast wordt een voertuigtype gekozen dat representatief is voor het Belgische wagenpark. Om de beide voertuigen zo gelijkwaardig mogelijk te maken is het mogelijk dat extra opties toegevoegd worden.

Welke kosten en opbrengsten zijn er verschillend bij de aanschaf van een elektrische wagen vergeleken met een conventionele wagen?

ICE (Internal Combustion Engine) voertuigen en BEV's (Battery Electric Vehicles) hebben over het algemeen een gelijkaardige kostenstructuur waarbij de waarden verschillen. Elektrische wagens hebben een hogere aanschaffingswaarde, maar de jaarlijkse kosten liggen lager dan bij gelijkaardige conventionele wagens. Wanneer men voor een BEV kiest, kan men de hogere aanschaffingswaarde zien als de investeringskost en de lagere jaarlijkse kosten als opbrengsten.

Welke onzekerheden spelen een rol bij de aanschaf van een BEV?

Bij het investeren in een elektrisch voertuig houdt men rekening met verschillende onzekerheden. Deze onzekerheden kunnen in de toekomst zo evolueren dat de investeringsbeslissing verandert. Door te wachten verkrijgt men informatie over de onzekerheden. Er zal onderzocht worden welke onzekerheden een invloed hebben op de beslissing.

Op basis van welke methode wordt de investeringsbeslissing genomen?

Er bestaan verschillende methoden om een investering te beoordelen. Enkele voorbeelden hiervan zijn de netto contante waarde, het intern rendement en de terugverdientijd. Elk van deze methoden kan in specifieke situaties gebruikt worden en verstrekt de analist van een ander type uitkomst. Welke methode het best geschikt is om het investeringsprobleem op te lossen wordt in deze masterproef onderzocht.

Op welke manier kan men rekening houden met de onzekerheden?

Naast de gewone investeringsanalyse moet er ook rekening gehouden worden met de diverse onzekerheden. De Monte Carlo analyse berekent aan de hand van simulaties de kans dat men zal willen investeren. Door telkens de gekozen parameters te laten variëren kan men zien hoe het resultaat verandert. De reële optie analyse zal het effect van de onzekerheden evalueren door de waarde van het wachten te berekenen.

5.3 AFBAKENING VAN HET ONDERZOEK

Aan het onderzoek zijn enkele beperkingen gebonden. Deze beperkingen hebben tot doel de masterproef duidelijk af te bakenen en in de juiste context te plaatsen.

Een eerste belangrijke, geografische, afbakening wordt gemaakt door het onderzoek te beperken tot België. De resultaten van het onderzoek kunnen dus niet veralgemeend worden naar andere geografische gebieden. In andere landen evolueren de prijzen niet noodzakelijk hetzelfde als in België omwille van verschillende economische toestand. Ook het aanbod van voertuigen, en de prijzen ervan kunnen verschillen. Sommige modellen worden specifiek voor een markt ontworpen en worden ook enkel daar verhandeld.

Daarnaast zal het onderzoek zich toespitsen op de particuliere markt. Bedrijfswagens en openbaar vervoer worden buiten beschouwing gelaten. Beide markten zijn interessant om te onderzoeken, maar erg verschillend aan de particuliere markt waardoor ze moeilijk in één onderzoek te combineren zijn. De investeringsanalyse zal sterk verschillen, onder meer door een verschillende fiscale regelgeving voor bedrijven. Op vlak van beslissingsvariabelen leunt de overheid aan bij ondernemingen, maar het wagenpark is totaal verschillend. Bij de overheid speelt het aspect openbaar vervoer een grote rol. Naast de gewone wagens zitten er in het wagenpark van de overheid

ook bussen en treinen. Eind 2012 had de overheid 3.919 personenwagens in haar bezit¹. Dit vergeleken met een totale vloot van bussen, trams en metro's van 7.566 (cijfers 2009).

Een derde beperking is het feit dat niet alle kosten en baten gekwantificeerd kunnen worden. Er kunnen drie externaliteiten onderscheiden worden. Ten eerste kan er een verminderde geluidsoverlast gerealiseerd worden doordat elektromotoren minder lawaai maken dan dieselmotoren. Daarnaast kan deze eerste externaliteit een verhoogd aantal ongevallen tot gevolg hebben. Men hoort een wagen immers veel minder goed naderen. Tot slot kunnen elektrische wagens een milieuvoordeel opleveren wanneer de elektriciteit opgewekt wordt op basis van hernieuwbare energiebronnen. De externaliteiten zijn moeilijk kwantificeerbaar waardoor ze niet worden opgenomen in de masterproef.

Tot slot zal ook slechts de investeringsanalyse van één elektrische wagen gemaakt worden. Er zal gekeken worden naar kleine stadswagens die representatief zijn voor de Belgische markt. De opgestelde methode is ook toepasbaar voor andere wagenmodellen.

¹ <http://www.bestuurszaken.be/rapportering/wagenpark>

6 LITERATUURSTUDIE

6.1 VERSCHILLENDE TYPES VOERTUIGEN

De meest voorkomende voertuigen zijn die met een verbrandingsmotor, ofwel aangedreven door benzine (36,6%), ofwel aangedreven door diesel (62,3%) (Belgische Automobielen- en Tweewielerfederatie, 2014b).

Daarnaast kan men verschillende types elektrische voertuigen onderscheiden (Ajanovic, 2013). Een eerste belangrijk type zijn de wagens met enkel een elektrische batterij, de Full battery electric vehicles (BEV). De enige aandrijving bestaat uit de elektromotor. Daarnaast is er ook de hybride wagen, met een conventionele interne verbrandingsmotor, bijgestaan door een kleinere elektromotor. De batterij van dit type wagen wordt opgeladen met energie die vrijkomt tijdens het afremmen. De plug-in hybride voertuigen zijn in se hetzelfde als gewone hybride voertuigen, maar de batterij kan extern opgeladen worden aan een stopcontact. De range extender voertuigen maken voornamelijk gebruik van een elektrische motor, maar een kleine verbrandingsmotor kan ingeschakeld worden om de batterij op te laden. Een laatste, maar weinig voorkomend type voertuig zijn de brandstofcel voertuigen. De energie voor het aandrijven van de elektrische motor wordt gehaald uit een brandstofcel, meestal op basis van waterstof (Ajanovic, 2013).

Naast de voertuigen met één of andere vorm van elektromotor bestaat er ook nog een alternatief type voertuig (CNG²) waarvan de energiebron aardgas is. Hier zal in de masterproef echter niet verder op ingegaan worden.

De masterproef zal een dieselveertuig vergelijken met een volledig elektrisch voertuig. Beide voertuigen worden aangedreven door één krachtbron, wat de vergelijking eenvoudiger maakt. Alle overige types voertuigen worden buiten beschouwing gelaten.

2 Compressed natural gas

6.2 ONZEKERHEDEN

6.2.1 Onzekere dieselprijzen

Een constant veranderende olieprijs heeft een negatieve invloed op het nemen van huidige investeringen. Voor bedrijven betekent een onzekere olieprijs ook een onzekere winst, waardoor de investeringen zullen dalen (Bernanke, 1983). De olieprijs heeft op verschillende manieren invloed op de investeringen die gezinnen en bedrijven maken. Wanneer de olieprijs stijgt, zal het algemeen prijspeil stijgen, en daalt de koopkracht. Daarnaast zal de welvaart verschuiven van de olie importerende landen naar de olie exporterende landen (Elder & Serletis, 2010). België is een olie importerend land dus bij een stijging van de olieprijs zal de welvaart dalen, ten voordele van andere landen. Bij een prijsdaling zal een tegenovergestelde beweging plaatsvinden. De welvaart en de koopkracht zullen toenemen. Waar eerst geargumenteed werd dat de relatie asymmetrisch was, concludeerde een recente studie dat een prijsstijging even snel voelbaar is in de economie als een prijsdaling (Edelstein & Kilian, 2009).

Diesel is een afgeleid product van olie waardoor de prijsschommelingen verwant zijn. Als de olieprijs verandert, volgt de dieselprijs deze beweging. De toekomstige olieprijsen, en dus ook de dieselprijzen, zijn onzeker maar kunnen geschat worden met een GBM model (McNichols, 2012). Om de onzekerheid in de toekomst te modelleren, wordt gebruik gemaakt van de variabiliteit die men kan berekenen op basis van historische gegevens.

Onzekerheid over de toekomstige NCW zorgt ervoor dat de investering uitgesteld wordt zo lang de verwachte waarde van bijkomende informatie groter is dan de korte termijn NCW van de investering (Elder & Serletis, 2010). Hierdoor kunnen consumenten de beslissing uitstellen over welk type wagen ze willen aanschaffen afhankelijk van de dieselprijs.

6.2.2 Onzekere elektriciteitsprijzen

Een andere onzekere factor die een rol speelt bij de aanschaf van een wagen is de prijs van elektriciteit. Elektrische voertuigen worden niet rechtstreeks aangedreven door een fossiele brandstof, maar door de elektrische spanning afkomstig uit een batterij of een elektromotor. Wanneer men verwacht dat prijzen stijgen, zal men minder geneigd zijn een elektrisch aangedreven voertuig aan te schaffen.

Elektriciteit is een secundaire energiedrager en kan geproduceerd worden uit fossiele, nucleaire, of hernieuwbare bronnen (Uwe Albrecht, 2014). De kwaliteit van elektriciteit is overal hetzelfde, maar er kunnen verschillen optreden in het beschikbaar voltage of de beschikbare hoeveelheid. Elektriciteit kan men niet opslaan dus vraag en aanbod moeten altijd in evenwicht zijn. Hierin verschilt de elektriciteitsmarkt van de markt in fossiele brandstoffen. Fossiele brandstoffen zijn immers eenvoudig op te slaan waardoor men een voorraad kan aanhouden. Er bestaat grote variabiliteit in de elektriciteitsprijzen en deze zijn sterk afhankelijk van de primaire bron waarmee de elektriciteit opgewekt wordt. Slechts een klein aandeel van de totale Europese elektriciteit wordt rechtstreeks uit ruwe olie gewonnen. De direct impact van de olieprijs is dus eerder klein. De indirecte impact van de olieprijs is groter door de geïndexeerde contracten. De indexatie zorgt contractueel voor een hoge correlatie tussen de olie- en de gasprijzen in Europa. Aangezien een groot deel van de Belgische elektriciteit geproduceerd wordt met gas, is er een verband tussen de olieprijs en de elektriciteitsprijs.

6.2.3 Het werkelijke bereik van een BEV

De elektrische voertuigen van tegenwoordig hebben, vergeleken met voertuigen aangedreven door een verbrandingsmotor, een zeer beperkt bereik. Consumenten kampen vaak met de vrees dat het bereik te kort is om aan de dagelijkse behoeften te voldoen (Neubauer & Wood, 2014). Het beperkt bereik zal de waarde van een BEV doen dalen, zoals gepercipieerd door de consument. De Tesla 85 en 85D zijn momenteel koploper met een theoretisch bereik van 502km (Tesla, z.d.). De wagen die in deze masterproef onderzocht wordt, de e-Golf, heeft een theoretisch bereik van 190km (Egear, 2013). In de praktijk zal het theoretisch bereik niet gehaald worden. Daarnaast bestaat er ook nog geen ondersteunend netwerk van oplaadpunten waar men de BEV kan opladen. Dergelijke oplaadpunten kunnen een deel van de angst wegnemen.

De onzekerheid van het bereik is moeilijk kwantificeerbaar in monetaire eenheden en zal bijgevolg niet worden opgenomen in de analyse.

6.2.4 Investeringskost

In de masterproef van Geerts (2014) worden de investeringskosten uit verschillende papers gesynthetiseerd. Deze variëren tussen €4.415 en €11.604, zonder eventueel toegekende subsidies. De zeven sets onderzochte voertuigen bevonden zich allen in dit interval. De investeringskost is niet beïnvloedbaar door de consument, maar wel door de producent van de voertuigen en de overheid.

Recent werd de belastingvermindering afgeschaft waardoor de investeringskost gestegen is. Deze maatregel was vooral van toepassing op kleine dieselveertuigen, die weinig CO₂ uitstoten, en elektrische en hybride voertuigen. De maatregel werd om budgettaire redenen afgeschaft (Netwerk duurzame mobiliteit, z.d.). Door de technologische vooruitgang zullen productiekosten van BEV's dalen en kan de investeringskost dalen.

6.2.5 Beleidsmaatregelen

Zoals aangetoond in vorige paragraaf kunnen nieuwe beleidsmaatregelen dus voor onzekerheid zorgen. Enerzijds kunnen ze rechtstreeks een verhogende of verlagende invloed hebben op de investeringskost, anderzijds kunnen beleidsmaatregelen een impact hebben op de diesel- of elektriciteitsprijs.

6.3 DE WAARDE VAN DE INVESTERING

Net als organisaties doen particulieren regelmatig investeringen waarvan ze verwachten dat het hen op lange termijn financiële voordelen zal opleveren. Het investeren in een elektrisch voertuig is een relatief grote investering voor een particulier en men zal er dus omzichtig mee omspringen. Risico en onzekerheid zijn een inherent deel van de investeringsomgeving (Mercken, 2010). Dat de investering op lange termijn winst zal opleveren is dus niet zeker.

Bij het berekenen van de waarde van de investering zal in deze masterproef gebruik gemaakt worden van de initiële investeringskost, de werkelijke en de verwachte kasstromen.

Er zal rekening gehouden moeten worden met de tijdswaarde van geld. Naast het investeren in een wagen heeft men immers ook de mogelijkheid om het geld te investeren in een risicovrij alternatief. Indien men het geld op een spaarrekening plaatst, wordt er periodiek een interestvergoeding verkregen. Deze gemiste inkomsten zullen dus ook in rekening gebracht moeten worden door middel van verdiscontering (Mercken, 2010).

Het zal hier gaan om een investering met een beperkte tijdshorizon. Een wagen die men nieuw aanschaft heeft slechts een beperkte levensduur alvorens hij vervangen moet worden. Uit

statistieken van Febiac³ blijkt dat de gemiddelde leeftijd van een wagen in België 8 jaar, 1 maand en 14 dagen bedroeg in 2013 (Belgische Automobiel - en Tweewielerfederatie, 2014a).

In veel economische waarderingsvraagstukken maakt men gebruik van de netto contante waarde (NCW). De NCW kan beschouwd worden als de verwachte kapitaalwinst van een project, rekening houdend met de kapitaalkost. De standaardformule voor NCW, zoals beschreven in Mercken (2010), is

$$NCW_r = a_{r-n} * K - I_0. \quad (1)$$

met

$$a_{r-n} = \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} \quad (2)$$

en met kapitaalkost r , een gebruiksduur van n jaar, een constante jaarlijkse inkomende netto kasstroom K en een initiële investeringskost I_0 . Hier worden echter twee alternatieven vergeleken waardoor de differentiële kasstroom beschouwd wordt. Het alternatief, een elektrische wagen, zal als een investering bekeken worden tegenover de referentie, een wagen met conventionele verbrandingsmotor. De hogere aanschaffingswaarde speelt de rol van de initiële investering en de jaarlijks uitgespaarde kosten zijn de netto kasstromen. De aangepaste formule is

$$\Delta NCW_r = -\Delta I_0 + a_{r-n} * \Delta K. \quad (3)$$

- ΔI_0 = investeringskost ICE – investeringskost BEV + éénmalige netto opbrengsten
- a_{r-n} = verdiscontering
- K = jaarlijkse kasstromen

Het eenvoudigste deel omvat de initiële investeringskost. Deze bestaat uit de aanschaffingswaarde van de wagens, verlaagd met eventuele eenmalige prijsverminderingen. De initiële kost ligt voor elektrische voertuigen meestal hoger dan voor ICE voertuigen (Geerts, 2014; van Bree, Verbong, & Kramer, 2010).

De verplaatsingskosten worden uitgedrukt in elektriciteitskosten per kilometer en dieselkosten per kilometer. Bij het aanschaffen van een BEV kunnen de vermeden kosten van de diesel (P) gezien

³ Fédération Belge de l'Automobile & du Cycle

worden als opbrengsten, terwijl de elektriciteitskosten (C) de kosten zijn die er tegenover staan. De NCW formule wordt uitgedrukt in kilometer, waardoor de hoeveelheid (Q) het jaarlijks aantal kilometer zal zijn. De overige vermeden kosten (X) zijn jaarlijkse kosten die, verdisconteerd, opgenomen worden in de investeringskost. De kosten X zijn vermeden vaste kosten en worden niet per kilometer herrekend. De NCW kan uitgedrukt worden als (4), waar ter verduidelijking de eenheden bij genoteerd staan.

$$\text{€}NCW_r = -\text{€}I_0 + a_{r-n} \text{€}X + a_{r-n} * \left(\frac{\text{€}P}{\text{km}} - \frac{\text{€}C}{\text{km}} \right) Q \text{km} \quad (4)$$

Vergelijking (4) houdt geen rekening met het feit dat P en C groeien. Om dit aspect mee in rekening te brengen, moet de formule eerst als perpetuïteit met groei beschouwd worden.

$$NCW_r = -I_0 + \frac{X}{r} + \left(\frac{P}{r - \alpha_P} - \frac{C}{r - \alpha_C} \right) Q \quad (5)$$

Rekening houdend met een beperkte levensduur wordt de formule

$$NCW_r = -I_0 + a_{r-n}X + (1 - e^{-rT}) \left(\frac{P}{r - \alpha_P} - \frac{C}{r - \alpha_C} \right) Q \quad (6)$$

De jaarlijks terugkerende vermeden kosten, zoals verzekering en belastingen, worden verdisconteerd en opgenomen in de differentiële investeringskost. Deze wordt nu genoteerd als $I = I_0 - a_{r-n}X$.

$$NCW_r = -I + (1 - e^{-rT}) \left(\frac{P}{r - \alpha_P} - \frac{C}{r - \alpha_C} \right) Q \quad (7)$$

6.4 MONTE CARLO ANALYSE

Bij een Monte Carlo analyse gaat men uit van een NCW berekening waarbij bepaalde inputfactoren onzeker zijn. Aan de onzekerheden wordt een bepaalde kansverdeling toegekend. Op basis van deze kansverdeling zal een simulatieprogramma een aantal simulaties uitvoeren waarbij de variabele inputfactoren telkens random gekozen worden aan de hand van de kansverdelingen. De uitkomst wordt gegeven in de vorm van een kansverdeling. Zo kan men de kans aflezen dat de NCW positief zal zijn. De Monte Carlo analyse geeft ook weer welke parameterwaarden de grootste invloed hebben op de NCW.

6.5 REËLE OPTIE ANALYSE

6.5.1 Investeringsmodel met groei en onzekerheid

Wanneer men een beslissing neemt over een investering, wordt er vaak gebaseerd op de netto contante waarde (Denison, Farrell, & Jackson, 2012). Bij de NCW houdt men er echter geen rekening mee dat de investering uitgesteld kan worden. Bij reële optie analyse (ROA) gaat men er van uit dat er een optie bestaat om te investeren. Wanneer men investeert verdwijnt de optie. Dit wordt gezien als een opportuiniteitskost die mee opgenomen moet worden in de analyse.

In realiteit zijn de meeste investeringen onomkeerbaar en bestaat de mogelijkheid om de investering uit te stellen. De investeerder beschikt dus over de optie om een investering nu of in de toekomst uit te voeren. Er bestaat de mogelijkheid, maar niet de verplichting tot investeren (Dixit & Pindyck, 1994). Wanneer er geïnvesteerd wordt, verdwijnt de optie.

In deze masterproef zal onderzocht worden of het loont om vandaag een elektrische wagen aan te kopen, of dat men beter wacht met beslissen.

Bij een investering is er uiteraard ook sprake van een netto opbrengst (π). Alle kosten en opbrengsten worden herleid naar kost per kilometer. Het aantal kilometer per jaar dat gereden wordt is Q . De totale netto opbrengst voor een bepaald tijdstip is

$$\pi(P(t), C(t)) = Q(P(t) - C(t)) \quad (8)$$

Hieruit blijkt dat de netto opbrengst afhankelijk is van de jaarlijkse opbrengsten verminderd met de jaarlijkse kosten, uitgedrukt in kilometer. Opbrengsten en kosten worden bepaald door een GBM (Geometric Brownian Motion) model (McNichols, 2012). Deze zijn van de vorm

$$dP(t) = \alpha_p P(t)dt + \sigma_p P(t)d\omega_p(t) \quad (9)$$

$$P(0) = P_0 \quad (10)$$

$$dC(t) = \alpha_c C(t)dt + \sigma_c C(t)d\omega_p(t) \quad (11)$$

$$C(0) = C_0 \quad (12)$$

Met

- P = de vermeden dieselskosten per kilometer
- α_P = de groei van P
- σ_P = De onzekerheid in P
- C = de elektriciteitskosten per kilometer
- α_C = de groei van C
- σ_C = De onzekerheid in C

Het Wiener proces $d\omega_P$ en $d\omega_C$ zijn onafhankelijk en normaal verdeeld met gemiddelde 0 en variantie dt . De verwachte waarde van het project na het uitvoeren van de investering kan uitgedrukt worden als (Gryglewicz, Huisman, & Kort, 2008; Huisman, 2007)

$$V(P(t), C(t)) = E \left[\int_{t=0}^T \pi(P(t), C(t)) e^{-rt} dt \right]. \quad (13)$$

Met T de levensduur van het voertuig.

6.5.2 Waarde project na investeren

Om de overzichtelijkheid te bewaren worden de tijdsvariabelen weg gelaten waar het kan. $V(P(t), C(t))$ wordt dus geschreven als $V(P, C)$.

De markup ratio wordt gedefinieerd als $\tau = \frac{P}{C}$. Deze ratio drukt de opbrengst uit in percentage van de kosten. Men kan vervolgens de waarde van de investering uitdrukken in functie van de markup ratio.

$$V(P, C) = Cv \left(\frac{P}{C} \right) = Cv(\tau) = CQ(1 - e^{-rT}) \left(\frac{\tau}{r - \alpha_P} - \frac{1}{r - \alpha_C} \right) \quad (14)$$

Met T de levensduur van het voertuig.

Men zoekt nu naar het kritisch niveau τ^* waar de waarde na investeren gelijk is aan de waarde van de optie om te investeren.

$$V(\tau^*) - I = F(\tau^*) \quad (15)$$

Het bewijs kan gevonden worden in bijlage 4.

6.5.3 Waarde van de optie om te investeren

Ook de waarde van de optie om te investeren is afhankelijk van τ en bedraagt

$$F(P, C) = C\phi(\tau) = CB_1(\tau)^{\beta_1} \quad (16)$$

Met β_1 het positieve nulpunt van de kwadratische functie

$$0,5[\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2]\beta^2 + [(\alpha_p - \alpha_c) - 0,5(\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2)]\beta - (r - \alpha_c) = 0. \quad (17)$$

Het bewijs kan gevonden worden in bijlage 5.

6.5.4 Bepaling van τ^* en P^*

Door het toepassen van de value-matching en smooth-pasting voorwaarden kan P^* berekend worden.

$$C\phi(\tau^*) = Cv(\tau^*) - I \quad (18)$$

$$CB_1(\tau^*)^{\beta_1} = \left(CQ(1 - e^{-rT}) \left(\frac{\tau^*}{r - \alpha_p} - \frac{1}{r - \alpha_c} \right) - I \right) \quad (19)$$

Vergelijking (19) afleiden naar τ^* (smooth pasting).

$$\beta_1 CB_1(\tau^*)^{\beta_1 - 1} = \frac{CQ(1 - e^{-rT})}{r - \alpha_c} \quad (20)$$

Vergelijking (19) delen door vergelijking (20).

$$\tau^* = \frac{\beta_1}{\beta_1 - 1} \left(\frac{r - \alpha_p}{r - \alpha_c} + \frac{(r - \alpha_p)I}{CQ(1 - e^{-rT})} \right) \quad (21)$$

τ^* is de verhouding van dieselprijzen over elektriciteitsprijzen waarbij de waarde van wachten gelijk is aan de waarde van nu investeren. Beide zijden vermenigvuldigen met C geeft de kritische dieselprijs bij een constante elektriciteitsprijs.

$$P^*(C) = \frac{\beta_1}{\beta_1 - 1} \left(C \frac{r - \alpha_p}{r - \alpha_c} + \frac{(r - \alpha_p)I_0}{Q(1 - e^{-rT})} \right) \quad (22)$$

Nu τ^* gekend is kan men B_1 berekenen

B_1 is gelijk aan

$$B_1 = \frac{\left(CQ(1 - e^{-rT}) \left(\frac{\tau^*}{r - \alpha_P} - \frac{1}{r - \alpha_C} \right) - I \right)}{C(\tau^* \beta_1)}. \quad (23)$$

7 PRAKTIJKSTUDIE

7.1 KEUZE VOERTUIGEN

In deze masterproef worden twee bestaande voertuigen met elkaar vergeleken. Het referentievoertuig heeft een interne verbrandingsmotor (ICE). Dit voertuigtype komt het meeste voor en kan dus gebruikt worden als basisscenario. Er is gekozen voor het merk Volkswagen omdat dit automerk twee opeenvolgende jaren het best verkochte was in België (50 060 in 2013 en 49 103 in 2014 (Febiac, 2014; Van Den Bogaert, 2015)). Zowel de Golf als de Up hebben een volledig elektrische tegenhanger. In 2014 was de Golf het best verkochte model op de Belgische markt (T.G., 2015) dus een logisch gevolg is dat in deze masterproef gekeken wordt naar de Volkswagen Golf en de Volkswagen e-golf. Om de specificaties van beide wagens zo vergelijkbaar mogelijk te houden zal het specifiek gaan over de "Golf Trendline 1.6TDI 4MOTION BlueMotion Technology" en het standaardmodel van de "e-Golf". Op de kleur na zijn er bij de e-Golf geen extra opties toegevoegd. De diesel Golf heeft wel een scala aan opties zodat ook de comfortniveaus op gelijke hoogte staan. Bij beide modellen is dezelfde kleur gekozen omdat de basiskleuren verschillend waren en de prijzen van de nieuwe kleuren hetzelfde zijn. Bij een verschillenanalyse zal deze optie dus geen meerkost met zich meebrengen. Tabel 1 geeft een vergelijking weer tussen beide voertuigen.

Tabel 1: *Vergelijking e-Golf en diesel Golf*

Technische gegevens	Volkswagen e-Golf	Golf Trendline 1.6TDI 4MOTION Bluemotion technology
Vermogen kW	85	77
Vermogen Pk	115	105
Max snelheid km/h	140	187
Lengte mm	4.270	4.255
Breedte (met spiegels) mm	2.027	2.027
Hoogte mm	1.473	1.454
Inhoud koffer liter	341	380
Gewicht (tarra) kg	1.585	1.432
Uitrusting		
Kleur	Night blue metallic	Night blue metallic
Interieur	Stof	Stof
Velgen	Alu 16"	Staal 15"
zetels	manueel regelbaar	manueel regelbaar
Stuurwiel	multifunctioneel leder	multifunctioneel leder
Verlichting	LED	Xenon + LED

7.2 DE WAARDE VAN DE INVESTERING

7.2.1 Éénmalige investeringskost

7.2.1.1 Aankoopprijs

In tabel 2 wordt de aankoopprijs van de twee modellen weergegeven. De prijs inclusief btw zal voor verdere berekeningen gebruikt worden aangezien de analyse vanuit het standpunt van een btw plichtige particulier wordt bekeken. Dit is de basisprijs zonder eventuele kortingen of overnamepremies. De eco-premie en het belastingvoordeel die golden, voor wagens aangekocht vóór uiterlijk 1 januari 2013, zijn niet langer van kracht en worden bijgevolg niet opgenomen in de berekening (Geerts, 2014).

Tabel 2: Prijsvergelijking

	VW e-Golf	VW Golf 1.6TDI	verschil
Prijs inclusief btw	€ 36.790,01	€ 27.032,14	€ 9.757,87

7.2.1.2 Belasting op inverkeerstelling

Krachtens de wet van 23 november 1965 moeten alle voertuigen bij inschrijving een belasting betalen die berekend wordt op basis van het vermogen van de motor en de milieukeurmerken van de wagen. (art. 94 en 97 §1-2 WGB⁴). Deze wordt de belasting op inverkeerstelling genoemd (BIV).

Het vermogen van de wagen wordt uitgedrukt uit in fiscale paardenkracht (pk) of kilowatt (kW). De milieukeurmerken bepaalt men aan de hand van de milieuklasse euronorm, de CO₂-uitstoot en de aanwezigheid van een roetfilter.

Een elektrische wagen is vrijgesteld van de BIV krachtens art. 97decies WGB. De BIV voor de e-Golf bedraagt dus €0. De BIV van de dieselwagen kan eenvoudig berekend worden met de tool die de overheid beschikbaar stelt op haar website⁵. De tool maakt gebruik van de volgende formule

$$BIV = \left\{ \left(\frac{CO_2 * f + x}{250} \right)^6 * 4.500 + c \right\} * LC \quad (24)$$

De CO₂ waarde komt uit de offerte van de wagen. De CO₂ uitstoot bedraagt 119g/km. F is 1 omdat het over een dieselwagen gaat. X is de CO₂-correctieterm en bedroeg in 2012 0g/km. Vanaf 2012 stijgt x jaarlijks met 4,5g/km waardoor x anno 2015 13,5g/km bedraagt. C is een constante die de euronorm in rekening brengt. Voor de VW Golf Trendline is c €12,25 bij een euronorm van 6. De parameter LC geeft de leeftijdsconstante weer. Omdat in de analyse telkens uitgegaan wordt van een nieuwe wagen is LC gelijk aan 100%.

Wanneer deze waarden ingevuld worden in bovenstaande formule komt men tot een BIV van €111,99. Met de tool van de overheid bekomt men €112,51. Het verschil van €0,52 kan eventueel voortvloeien uit afrondingsverschillen.

⁴ WGB = Wetboek van de met de inkomstenbelastingen Gelijkgestelde Belastingen

⁵ <https://belastingen.fenb.be/vfp-portal-pub2-web/simulatieVerkeersbelasting.html#/q/top>

7.2.2 Jaarlijkse kosten

7.2.2.1 Verkeersbelasting

Iedereen die een personenwagen bezit moet een jaarlijkse verkeersbelasting betalen overeenkomstig artikel 3 in het WGB. Het bedrag van de belasting wordt bepaald op basis van de fiscale paardenkracht van de wagen. Wanneer de fiscale paardenkracht niet bekend is, maakt men gebruik van de cilinderinhoud, uitgedrukt in cc. De formule is

$$pk = k * d^2 * c * n \quad (25)$$

Met de parameters gedefinieerd als:

- pk= fiscale paardenkracht;
- d= de cilinderboring, in meter;
- c= de zuigerslag, in meter;
- n= het aantal cilinders;
- k= een coëfficiënt in functie van de cilinderboring, zoals vermeld in bijlage 1.

Voor de Golf Trendline 1.6TDI levert dit een waarde op van 10,06pk. Men mag dit getal naar beneden afronden waardoor de verkeersbelasting uitkomt op €281,16 (bijlage 2). De tool van de overheid geeft €267,83 als waarde.

Een elektrische wagen heeft echter geen verbrandingsmotor waardoor de normale calculatie niet toegepast kan worden. Artikel 2.2.3.0.4 van het decreet voorziet in een andere berekeningswijze om het belastbaar vermogen te berekenen.

$$pk = 0,0012 * n * e * i \quad (26)$$

De parameters worden gedefinieerd als volgt:

- pk= fiscale paardenkracht;
- n= het aantal elementen;
- e= de gemiddelde elektromotorische kracht aan de klemmen van een element bij gewone regeling, in volt;
- i= de gemiddelde sterkte van de stroom bij dezelfde regeling, in ampère.

De verkeersbelasting bedraagt voor de e-Golf € 76,96. Dit resultaat werd eenvoudigheidshalve enkel berekend met de tool van de Vlaamse overheid.

7.2.2.2 Verzekering

Elke wagen die tot het verkeer op de openbare weg wil behoren, is bij wet verplicht verzekerd te zijn (Vlaamse Overheid, 1991). De kost van een dergelijke verzekering is echter niet voor elke wagen hetzelfde. Aangezien deze masterproef geen diepteanalyse is over de investering zelf, is ervoor gekozen de simulator van Ethias verzekeringen te gebruiken om concrete cijfers te bekomen. Bij Ethias betaalt men jaarlijks €954,56 voor een VW Golf 1.6TDI met de gekozen parameters⁶. Voor een e-Golf bedraagt de burgerlijke aansprakelijkheidsverzekering (BA) €688,73⁷. Jaarlijks wordt er met een elektrische wagen dus €265,83 bespaard op de verzekering.

Er is gekozen enkel aan de wettelijke verplichting te voldoen en geen bijkomende verzekeringen te veronderstellen.

7.2.2.3 CO₂ bijdrage

Op vlak van milieukosten bespaart men ook met een elektrische wagen. De overheid heeft ervoor gekozen om wagens een bijdrage te laten leveren op basis van hun CO₂ uitstoot. Een wagen die minder vervuult zal minder kosten. Voor de e-Golf bedraagt de CO₂ bijdrage €301,20 en voor de gewone Golf €350,60 (De Paepe, 2014). Dit komt neer op een jaarlijkse besparing van €49,40.

7.2.3 Kosten per gereden kilometer

7.2.3.1 Elektriciteitskost

Het elektriciteitsverbruik is een directe kost in functie van het gereden aantal kilometer. Om de jaarlijkse kost van de verbruikte elektriciteit te berekenen, wordt er gebruik gemaakt van drie gegevens: het verbruik van de wagen, de kost van de elektriciteit per eenheid (kWh) en het afgelegde aantal kilometers per jaar.

Uit de documentatie van de e-Golf kan men het gemiddelde energieverbruik afleiden per afgelegde kilometer. Per 100 kilometer verbruikt de wagen 12,7kWh, wat neerkomt op 0,127kWh per kilometer. Het werkelijk verbruik zal naar alle waarschijnlijkheid hoger zijn, maar voor de analytische doeleinden van deze masterproef volstaat de theoretische indicatie. Dit getal is immers berekend door de e-Golf een gestandaardiseerde testcyclus te laten doorlopen. Doordat het verbruik van de

⁶ Leeftijd: 23; bonus-malus: 11; eerste verzekering; student; 10.000km/jaar

⁷ <https://belastingen.fenb.be/vfp-portal-pub2-web/simulatieVerkeersbelasting.html#/q/top>

dieselwagen met dezelfde cyclus gemeten wordt, kunnen deze getallen met elkaar vergeleken worden.

De huidige elektriciteitsprijs bedraagt voor een gemiddeld gezin €0,2097 per kWh (Eurostat, 2015). Deze prijs kende de afgelopen jaren een stijgende evolutie, maar voor eenvoudige redenen wordt hier geen rekening mee gehouden en wordt een constante prijs gehanteerd. Vanaf hoofdstuk 7.3 zal deze assumptie wegvallen en beschouwen we variabele en onzekere prijzen.

7.2.3.2 Dieselkost

De kost van de diesel kan op dezelfde manier berekend worden als de elektriciteitskost. Dezelfde drie basisgegevens zijn nodig om de berekening te kunnen maken. Opnieuw wordt de kost op jaarbasis berekend, op basis van gereden kilometers.

De Golf 1.6TDI 4Motion verbruikt gemiddeld 4,8 liter diesel per 100 kilometer. Net zoals bij de e-Golf zal het werkelijk verbruik hoger zijn omdat de testcyclus geen realistisch scenario weerspiegelt.

7.2.3.3 Jaarlijks aantal kilometers

Zowel jaarlijkse elektriciteitskost als jaarlijkse brandstofkost wordt berekend op basis van het aantal gereden kilometers. In België rijdt men jaarlijks gemiddeld 14.284km (Kwanten, 2014). Voor de berekeningen van de NCW maakt men in deze masterproef gebruik van 14.284km per jaar, voor de verdere analyses zal deze input als variabel beschouwd worden.

7.2.4 Berekening NCW

De NCW kan op verschillende manieren berekend worden. Om een goede vergelijking te kunnen maken met de reële optie analyse wordt de NCW continue berekend, rekening houdend met de beperkte levensduur van de wagen en de groei van de diesel- en elektriciteitsprijzen. Hiervoor maakt men gebruik van vergelijking (7), waar de inputparameters en actuele energieprijzen ingevuld worden.

$$NCW_r = -€6.864 + (1 - e^{-0,1*8}) \left(\frac{€ 0,0680/km}{0,1 - 0,0629} - \frac{€ 0,0266/km}{0,1 - 0,0413} \right) 14.284km \quad (27)$$

De inputparameters en de berekening van hun waarden zijn weergegeven in tabel 3 en tabel 4.

Tabel 3: Parameters initiële kost

Verklaring	Parameter	Waarde	Eenheid
Verdiscontering	r	0,1	
Levensduur	T	8 jaren	
Annuiteit	a_{r-T}	5,33	
Additionele investeringskost		9 758	€
-Vermeden BIV		123	€
=Initiële investeringskost	I_0	9 635	€
Vermeden belastingen		204,2	€
Vermeden CO2 bijdrage		49,4	€
Vermeden verzekeringskosten		265,83	€
=Vermeden jaarlijkse kosten	X	519,43	€
Netto investeringskost	I	6 864	€

Tabel 4: Parameters NCW

Verklaring	Parameter	Waarde	Eenheid
Kilometers per jaar	Q	14 284	km
Brandstofverbruik		0,048	liter/km
Jaarlijks brandstofverbruik		685,632	liter
Brandstofprijs		1,42	€/liter
Brandstofprijs	P	0,0680	€/km
Jaarlijkse brandstofkost		970,72	€
Totaal vermeden brandstofkosten		5178,71	€
Elektriciteitsverbruik		0,127	kWh/km
Jaarlijks elektriciteitsverbruik		1 814,07	kWh
Elektriciteitsprijs		0,21	€/kWh
Elektriciteitsprijs	C	0,0266	€/km
Jaarlijkse elektriciteitskost		380,41	€
Totale elektriciteitskost		2 029,46	€

Vergelijking (7) geeft $NCW = € 3.975,71$. Wanneer men dezelfde berekeningswijze hanteert als in vergelijking (7), maar zonder groei wordt de NCW negatief ($€ -3.613,23$). Dat de energieprijzen een stijgende trend vertonen heeft groot effect op de NCW. Wanneer men nu de assumptie van de beperkte levensduur weglaat kan men opmerken dat ook de levensduur een grote invloed heeft. Bij een onbeperkte levensduur is het resultaat $NCW = € 15.120,62$. Hiervoor kan vergelijking (5) gebruikt worden. Tabel 5 vat de NCW berekeningen samen voor de verschillende assumpties.

Tabel 5: NCW berekeningen

		groeï	levensduur (jaren)	Waarde	Eenheid
NCW 1	discreet	nee	8	-3 714,63	€
NCW 2	continu	nee	8	-3 613,23	€
NCW 3	continu	nee	∞	1 462,38	€
NCW 4	continu	ja	∞	15 243,62	€
NCW 5	continu	ja	8	3 975,71	€

7.3 MONTE CARLO ANALYSE

In aanvulling op de NCW berekening, wordt er ook een Monte Carlo analyse uitgevoerd. Bepaalde parameters zijn immers variabel en deze variabiliteit willen we opnemen in de berekening.

7.3.1 Variabele parameters

7.3.1.1 Levensduur voertuig

Niet iedereen gebruikt hetzelfde voertuig even lang. Sommigen willen steeds het nieuwste model bezitten, terwijl anderen zo lang mogelijk met hun wagen rondrijden. De statistieken van Belgische Automobiel - en Tweewielerfederatie (2014a) geven slechts een gemiddelde leeftijd weer, waardoor er op rationele wijze een interval bepaald moet worden. De gemiddelde leeftijd is iets meer dan acht jaar (Belgische Automobiel - en Tweewielerfederatie, 2014a).

Kijkend naar de bedrijfswereld kan men opmerken dat de gebruikelijke levensduur vier tot vijf jaar bedraagt (Salens & Taghon, 2014). Na deze periode is voor de onderneming, en de overheid, de wagen afgeschreven en dus economisch niets meer waard. Voor particulieren die de bedrijfswereld volgen in de redenering kunnen we stellen dat vier jaar de ondergrens is voor de gebruiksduur.

De bovengrens van de gebruiksduur is moeilijk te bepalen omdat dit afhankelijk is van de kwaliteit van de wagen en de preferenties van de gebruiker. Er wordt bijgevolg verondersteld dat de afwijking naar boven evenredig is aan de afwijking naar beneden, waardoor de maximum leeftijd van een wagen bepaald wordt op twaalf jaar.

7.3.1.2 Jaarlijkse afgelegde afstand

Het aantal kilometer dat gereden wordt met een wagen is de kostendrijver van de elektriciteits- en brandstofkosten. In de rentabiliteitsanalyse zal het aantal kilometer dus een grote impact hebben op het resultaat. Zoals hoger vermeld bedraagt het gemiddelde 14.284km per jaar (Kwanten, 2014).

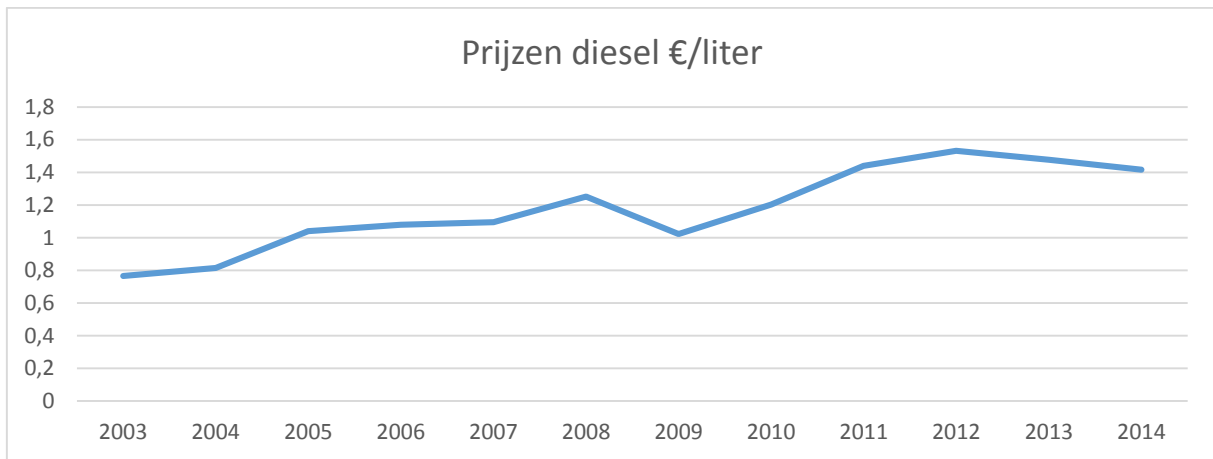
De totaal gereden afstand varieert tussen 0 en 40.000 kilometer per jaar. De verdeling van de gereden kilometers staat beschreven in tabel 6 (Janssens, 2014). Een driehoeksverdeling met gemiddelde 14.284 kan hier bijgevolg toegepast worden. De benedengrens is 0 en de bovengrens is 40.000.

Tabel 6: Jaarlijkse afgelegde afstand

Jaarlijkse afgelegde afstand	Percentage personenwagens
0 – 4.999 km	11,67%
5.000 – 9.999 km	23,67%
10.000 – 14.999 km	23,40%
15.000 – 19.999 km	15,10%
20.000 – 24.999 km	15,78%
Meer dan 30.000 km	10,39%

7.3.1.3 Dieselkost

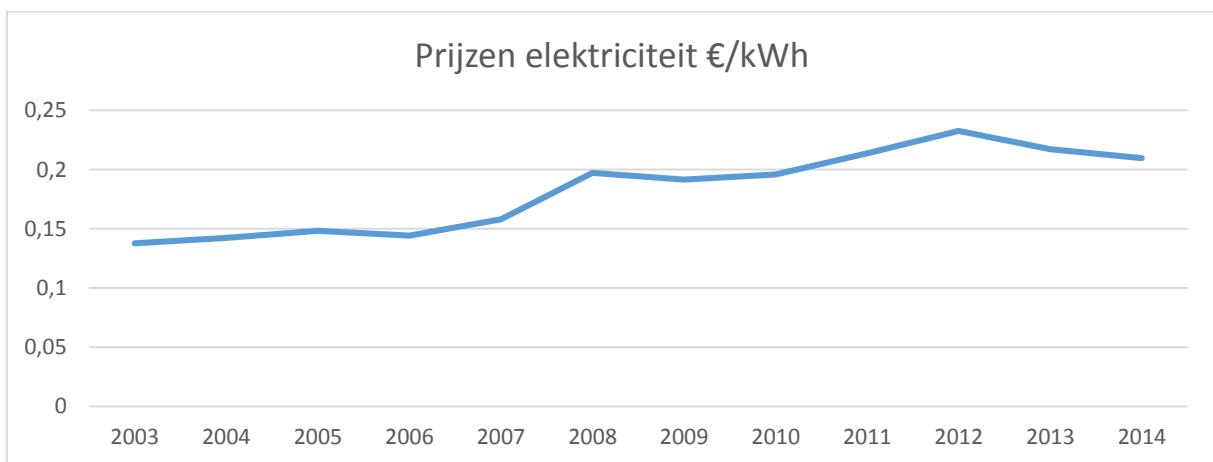
Waar bij de berekening van de NCW de dieselkost constant gehouden werd, zien we dat dit in de praktijk geenszins het geval is. Er wordt een licht stijgende trend waargenomen wanneer men de gegevens oppervlakkig analyseert (Figuur 1). De dieselkost kan niet zonder meer vergeleken worden met de elektriciteitskost omdat beiden in verschillende eenheden uitgedrukt worden. Om een correcte vergelijking te kunnen maken moeten de kosten herleid worden naar een gemeenschappelijke basis, kost per kilometer. De grenswaarden liggen 30% boven en onder de gemiddelde huidige prijs.



Figuur 1: *Dieselprijs per jaar*

7.3.1.4 *Elektriciteitskost*

De verdeling bij de elektriciteitskost wordt op gelijke wijze gedaan als bij de dieselkost. Figuur 2 geeft de prijsevolutie van de voorbije jaren weer. We zien een licht stijgend verloop. Rond deze stijgende trend is er vrij veel variatie. Een diepere analyse van het verloop zal later uitgewerkt worden. We zien dat de prijzen niet meer dan 30% stijgen of dalen in opeenvolgende jaren. De minimumwaarde in de driehoeksverdeling ligt dus 30% onder de huidige elektriciteitsprijs en de maximumwaarde ligt 30% boven de huidige elektriciteitsprijs.



Figuur 2: *Elektriciteitsprijs per jaar*

7.3.1.5 *Discontovoet*

Een belangrijk onderdeel van de NCW berekening is het verdisconteren van de kasstromen. Het is interessant om te onderzoeken hoe de interest zal evolueren. Interest is immers het risicovrije rendement dat het meest relevant is voor een particulier. De gemiddelde Vlaming houdt zich niet bezig met het optimaliseren van zijn portefeuille en zet zijn geld op een gewone spaarrekening.

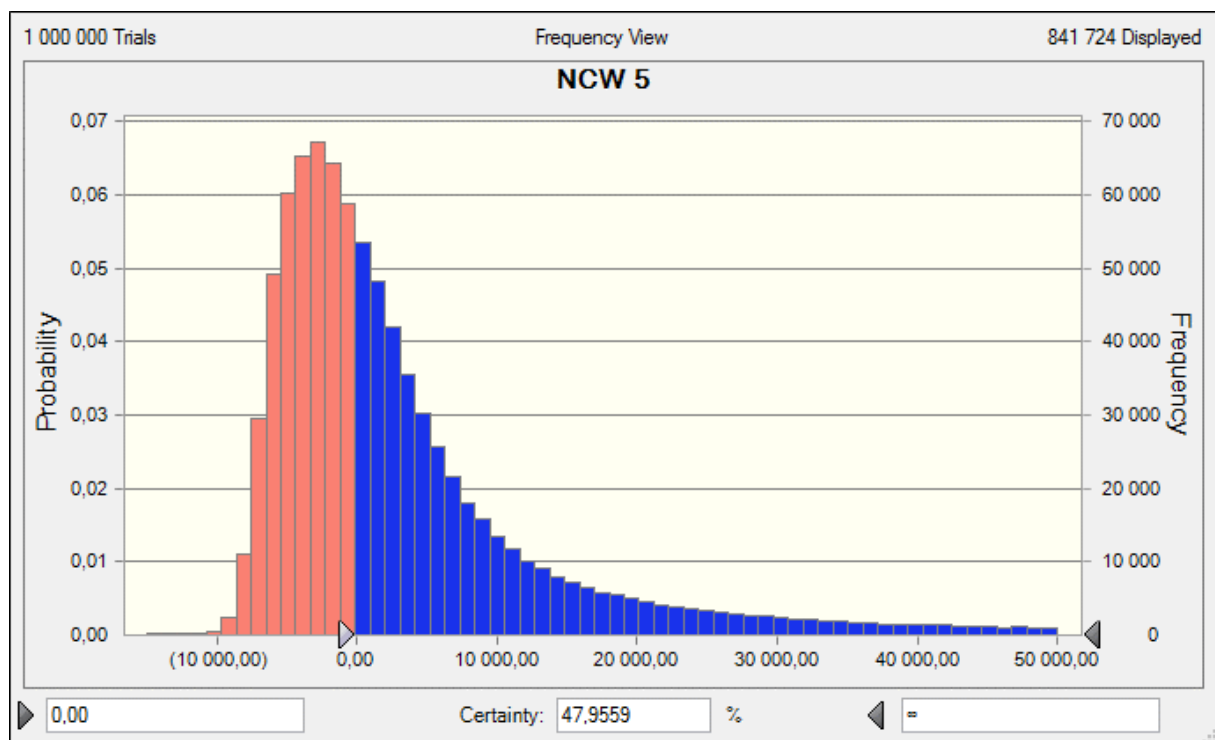
In deze masterproef wordt aangenomen dat het rendement maximaal daalt tot 0%, omdat een particulier dan geneigd zal zijn het geld elders te beleggen. De bovengrens van het rendement wordt arbitrair bepaald op 20%, twee keer de gebruikte rentevoet.

7.3.1.6 Investeringskost

Zoals vermeld in hoofdstuk 6.2 kan de investeringskost variëren tussen €4.415 en €11.604. Er wordt gebruik gemaakt van een triangelaire verdeling met centrumwaarde €9.758.

7.3.2 Resultaten

Met de Excel add-in Crystal Ball kan een simulatie uitgevoerd worden om de uitkomst in de vorm van een kansverdeling te berekenen. Met de huidige technologie kan een steeds groter aantal simulaties uitgevoerd worden, in dit geval één miljoen. Het resultaat van NCW 5 wordt weergegeven in figuur 3. Ook voor de andere berekeningen van NCW werd er een simulatie uitgevoerd. Deze statistieken zijn terug te vinden in bijlage 3, tabel 14. De NCW modellen met een oneindige levensduur maken vanzelfsprekend geen gebruik van de variabele levensduur in de Monte Carlo simulatie.

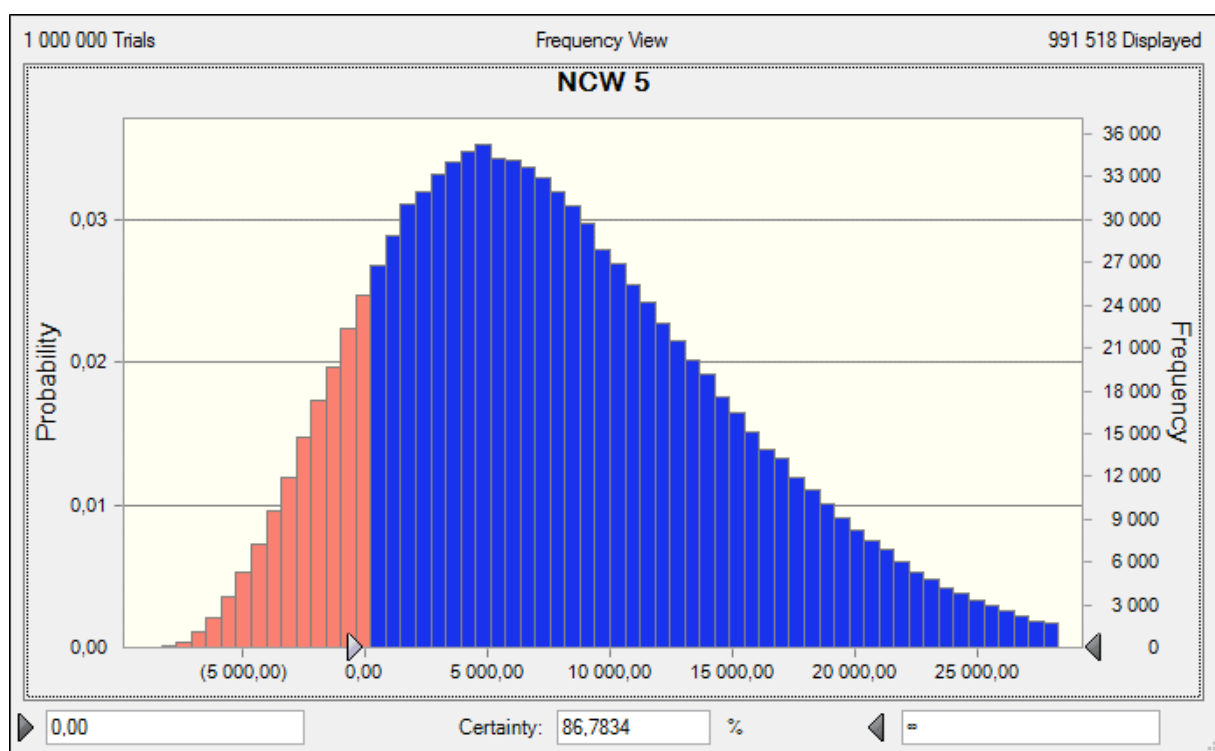


Figuur 3: NCW 5 met variabele discountvoet

De kans dat de netto contante waarde positief is met de gegeven parameters bedraagt 47,96%. De kans op een negatieve uitkomst is dus 52,04%. Men kan zien dat de modellen die rekening houden

met groei een betere kans hebben op een positieve NCW dan de modellen die geen rekening houden met groei. Ook een oneindige levensduur zorgt voor een hogere kans op positieve waarden.

Uitschieters in tabel 14, bijlage 3 zijn te wijten aan het feit dat de interest niet lager mag zijn dan de grootste van de twee groeiparameters. Door de constructie van de formules wordt er dan immers door nul gedeeld. Om interpreteerbare resultaten te vinden wordt interest niet meer opgenomen in de sensitiviteitsanalyse zoals weergegeven in bijlage 4. In figuur 4 is de nieuwe kansverdeling, zonder variabele interest, van de netto contante waarde weergegeven. Nu is de kans op een positieve NCW gestegen tot 86,78%. De statistieken van de overige NCW berekeningen kan men terugvinden in bijlage 4, tabel 16.



Figuur 4: NCW 5 zonder variabele discontovoet

Uit de sensitiviteitsanalyse (tabel 7) kan men afleiden dat de afgelegde afstand de grootste invloed heeft op het resultaat. Wanneer er jaarlijks verder gereden wordt zal de NCW bij alle berekeningen stijgen. Wanneer de jaarlijkse afstand in vergelijking (7) stijgt met 1%, dan zal NCW 5 met 0,65% stijgen. Van de variabele parameters hebben enkel de elektriciteitsprijs en de investeringskost een negatieve invloed op de NCW.

Tabel 7: *Sensitiviteitsanalyse zonder variabele discontovoet*

Sensitivity Data					
Assumptions	NCW 1	NCW 2	NCW 3	NCW 4	NCW 5
P	0,27	0,28	0,34	0,30	0,28
C	-0,11	-0,11	-0,13	-0,07	-0,07
I	-0,56	-0,55	-0,37	-0,12	-0,21
Q	0,65	0,66	0,83	0,93	0,87
T	0,33	0,32	0,00	0,00	0,29

7.4 REËLE OPTIE ANALYSE

In de realiteit hoeft een beslissingnemer vaak niet te kiezen tussen nu of nooit investeren. Hij kan de investering ook eenvoudig nog een onbepaalde tijd uitstellen. Naast de waarde van de investering zelf spreekt men nu ook van een optie om te wachten. Het kunnen wachten heeft een bepaalde monetaire waarde, die men kan berekenen met de reële optie analyse.

Om de waarde van het investeringsproject te berekenen wordt er gebruik gemaakt van de investeringskost I , waar de meeste jaarlijkse kosten reeds in verwerkt zijn. De meest interessante onzekerheden zijn de dieselprijs en de elektriciteitsprijs. De keuze tussen een BEV en een ICE zal immers voornamelijk over de krachtbron gaan. Zoals eerder aangehaald (figuur 1 en 2) lijken beide onzekerheden een stijgende trend te vertonen. Deze trends kunnen het best beschreven worden met Geometric Brownian Motion (GBM). Met de bespaarde dieselkosten per kilometer gelijk aan $P(t)$ en de elektriciteitskosten per kilometer $C(t)$ kunnen we de verandering in de prijzen beschrijven met de volgende formules (Huisman, 2007).

$$dP = \alpha_p P(t)dt + \sigma_p P(t)d\omega_p(t) \quad (28)$$

$$dC = \alpha_c C(t)dt + \sigma_c C(t)d\omega_p(t) \quad (29)$$

Waar α de constante is die de groei aangeeft en σ de variabiliteit weerspiegelt. Het Wiener proces $d\omega_p$ is onafhankelijk en normaal verdeeld met gemiddelde 0 en variantie dt .

De kost van elektriciteit en diesel per kilometer zijn weergegeven in tabel 8. Deze gegevens komen van de Belgische Petroleum Federatie (2015) en de elektriciteitsprijzen van Eurostat (2015). Ook de periodieke verschillen en de procentuele verschillen zijn berekend. Om de trend en variatie van de prijsfuncties te berekenen, moeten we eerst enkele parameters bepalen. K_t en λ_t zijn de logaritmische verschillen per periode. \bar{k} en $\bar{\lambda}$ zijn de gemiddelde waarden van de logaritmische verschillen.

De gehanteerde inputparameters met hun betekenis staan in tabel 9. In het praktijkmodel wordt een kapitaalkost van 10% gebruikt om aan de wiskundige voorwaarden te kunnen voldoen. Wanneer r immers kleiner is dan α_c of α_p kunnen er geen nulpunten berekend worden. Daarnaast wordt r zo gekozen dat β_1 groter is dan één, analoog met Dixit and Pindyck (1994).

Tabel 8: Berekening prijs- en kostparameters

		gemiddelden	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
C	kost elek./kWh	€	0,1376	€ 0,1422	€ 0,1481	€ 0,1442	€ 0,1581	€ 0,1972	€ 0,1916	€ 0,1959	€ 0,2136	€ 0,2327	€ 0,2173	€ 0,2097
	kost elek./km	€	0,0175	€ 0,0181	€ 0,0188	€ 0,0183	€ 0,0201	€ 0,0250	€ 0,0243	€ 0,0249	€ 0,0271	€ 0,0296	€ 0,0276	€ 0,0266
	prijsverschil elek./km			0,0006	0,0007	-0,0005	0,0018	0,0050	-0,0007	0,0005	0,0022	0,0024	-0,0020	-0,0010
	% verschillen elek./km			0,0334	0,0415	-0,0263	0,0964	0,2473	-0,0284	0,0224	0,0904	0,0894	-0,0662	-0,0350
	k_t			0,0329	0,0407	-0,0267	0,0920	0,2210	-0,0288	0,0222	0,0865	0,0856	-0,0685	-0,0356
	\bar{k}		0,0383											
	$(k_t - \bar{k})^2$			0,00003	0,00001	0,00422	0,00289	0,03337	0,00450	0,00026	0,00232	0,00224	0,01140	0,00546
P	prijs diesel/liter	€	0,7659	€ 0,8151	€ 1,0406	€ 1,0790	€ 1,0941	€ 1,2523	€ 1,0225	€ 1,2018	€ 1,4405	€ 1,5318	€ 1,4760	€ 1,4158
	prijs diesel/km	€	0,0368	€ 0,0391	€ 0,0499	€ 0,0518	€ 0,0525	€ 0,0601	€ 0,0491	€ 0,0577	€ 0,0691	€ 0,0735	€ 0,0708	€ 0,0680
	prijsverschil diesel/km			0,0024	0,0108	0,0018	0,0007	0,0076	-0,0110	0,0086	0,0115	0,0044	-0,0027	-0,0029
	% verschillen diesel/km			0,0642	0,2767	0,0369	0,0140	0,1446	-0,1835	0,1754	0,1986	0,0634	-0,0364	-0,0408
	λ_t			0,0623	0,2442	0,0362	0,0139	0,1350	-0,2027	0,1616	0,1812	0,0615	-0,0371	-0,0416
	$\bar{\lambda}$		0,0559											
	$(\lambda_t - \bar{\lambda})^2$			4,102E-05	0,0354899	0,0003848	0,0017604	0,0062719	0,0668665	0,0111758	0,015704	3,135E-05	0,008642	0,0095054
$(k_t - \bar{k})(\lambda_t - \bar{\lambda})$			-0,00003	0,00044	0,00127	-0,00225	0,01447	0,01735	-0,00170	0,00604	0,00027	0,00993	0,00721	

Tabel 9: Inputparameters en betekenis

Verklaring	Parameter	Waarde	Eenheid
Verdiscontering	r	0,10	
Levensduur	T	8 jaren	
Netto investeringskost	I	6 864 €	
Elektriciteitsprijs	C	0,0266	€/km
Kilometers per jaar	Q	14 284	km

Op basis van de waarden berekend in tabel 8 kunnen de trendparameters α en de onzekerheidscomponenten σ berekend worden voor zowel P als C met behulp van de volgende vergelijkingen.

$$\hat{\sigma}_C = \sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (k_t - \bar{k})^2} \quad (30)$$

$$\hat{\alpha}_P = \bar{k} + 0.5\hat{\sigma}_C^2 \quad (31)$$

$$\hat{\sigma}_P = \sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (\lambda - \bar{\lambda})^2} \quad (32)$$

$$\hat{\alpha}_P = \bar{\lambda} + 0.5\hat{\sigma}_P^2 \quad (33)$$

$$\hat{\sigma}_{PC} = \frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (k_t - \bar{k})(\lambda - \bar{\lambda}) \quad (34)$$

$$\hat{\rho} = \frac{\hat{\sigma}_{PC}}{\hat{\sigma}_P \hat{\sigma}_C} \quad (35)$$

De berekening zelf is uitgevoerd met de spreadsheetverwerker Microsoft Excel en de resultaten zijn weergegeven in tabel 10. Hieruit kan men afleiden dat beide trends inderdaad stijgend zijn en dat de onzekerheid groter is bij de dieselprijzen dan bij de elektriciteitsprijzen. Er blijkt ook een relatief grote correlatie te zijn tussen de onzekerheden van beide functies.

Tabel 10: Groei- en onzekerheidparameters

elektriciteit		diesel	
σ_c	0.0779	σ_p	0.1190
α_c	0.0413	α_p	0.0629
σ_{pc}	0.0048	$\alpha = \text{trend}$	
ρ	0.5196	$\sigma = \text{onzekerheid}$	

Invullen in de oorspronkelijke formules voor de prijzen geeft

$$dP = 0,0629P(t)dt + 0,1190P(t)d\omega_p(t) \quad (36)$$

$$dC = 0,0413C(t)dt + 0,0779C(t)d\omega_p(t). \quad (37)$$

7.4.1 Analyse

Op basis van voorgaande gegevens en vergelijking (21) kan τ^* berekend worden.

$$\tau^* = 3,48 \quad (38)$$

De huidige waarde voor $\tau = 2,55$ (want $\frac{P}{C} = \frac{0,0680}{0,0266} = 2,55$) is lager dan τ^* waardoor men zal wachten met investeren. Aansluitend kan P^* bepaald worden. Uit de literatuurstudie weet men dat men best kan investeren in een elektrische wagen wanneer de prijs van de diesel stijgt boven bepaalde grens P^* met

$$P^*(C) = C * \tau^* \quad (39)$$

$$P^*(C) = \frac{\beta_1}{\beta_1 - 1} \left(C \frac{r - \alpha_p}{r - \alpha_c} + \frac{(r - \alpha_p)I_0}{Q(1 - e^{-rT})} \right). \quad (40)$$

Indien er geen rekening gehouden wordt met de onzekerheden zal men al investeren wanneer de dieselprijs hoger is dan P_{NCW} met

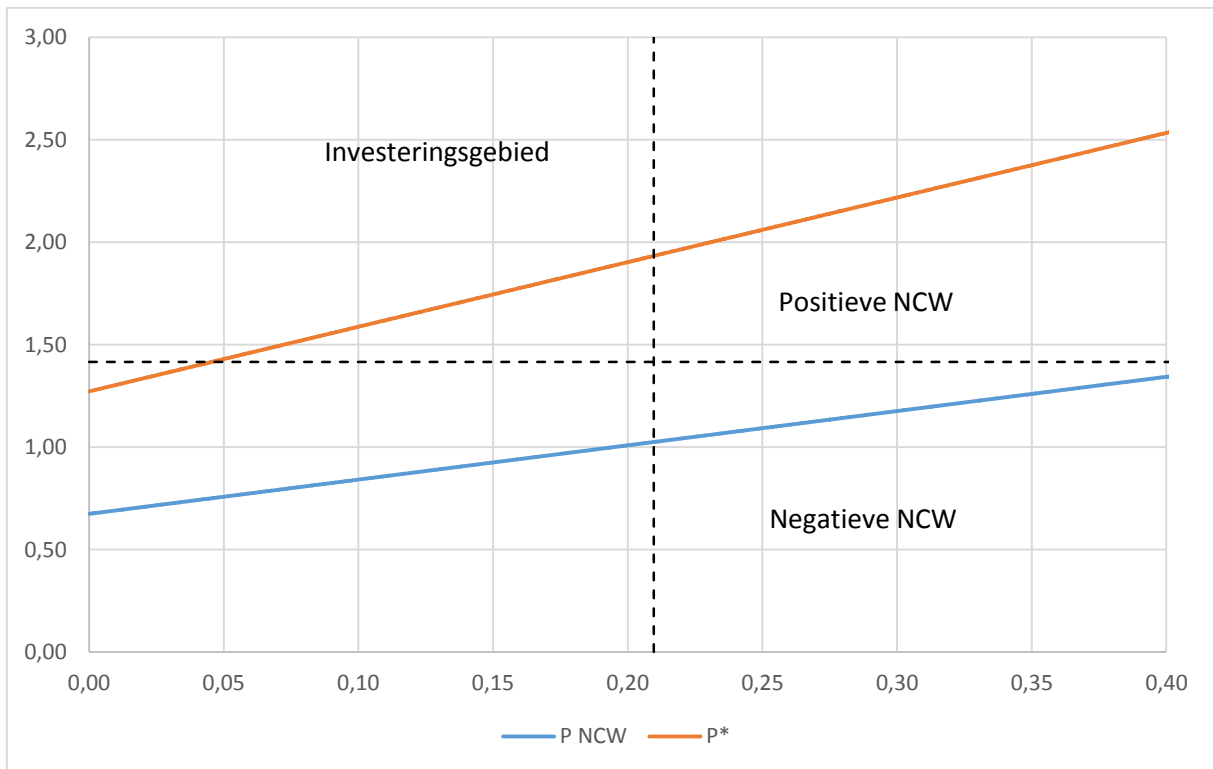
$$P_{NCW}(C) = \left(C \frac{r - \alpha_p}{r - \alpha_c} + \frac{(r - \alpha_p)I_0}{Q(1 - e^{-rT})} \right). \quad (41)$$

Wanneer men de berekende waarden uit tabel 8 en 9 invoert, vindt men de waarden $P^* = \text{€ } 0,0928$ en $P_{NCW} = \text{€ } 0,0492$. Deze waarden zijn uitgedrukt in euro per kilometer. Na omrekening vindt men

$$P^* = \text{€ } 1,93/\text{liter} \quad (42)$$

$$P_{NCW} = \text{€ } 1,03/\text{liter} \quad (43)$$

Beide functies zijn afhankelijk van de elektriciteitskost waardoor we ze in dezelfde grafiek kunnen plotten. Voor elke gegeven elektriciteitskost is er een bepaalde P^* (oranje rechte) en P_{NCW} (blauwe rechte). Wanneer bij een gegeven elektriciteitsprijs de dieselprijs onder P_{NCW} ligt, investeert men best nooit in een elektrische wagen. Wanneer de dieselprijs zich tussen de twee prijsfuncties bevindt, wacht men best met investeren. Vanaf het ogenblik dat de dieselprijs zich boven de oranje lijn bevindt, en de prijs dus hoger is dan P^* , investeert men best nu. Het snijpunt van de gestippelde lijnen geeft de combinatie van de huidige diesel- en elektriciteitsprijs weer.



Figuur 5: *Investeringsgebieden*

Bij de huidige elektriciteitsprijs van €0,2097 per kWh zullen we dus pas nu investeren als de dieselprijs hoger is dan € 1,93 per liter. We merken op dat de dieselprijs €1,42 per liter bedraagt waardoor we zullen wachten met investeren in de elektrische Golf op basis van deze twee onzekerheden. Zonder rekening te houden met de onzekerheden zal de kritische waarde van de brandstofprijs veel lager liggen, namelijk € 1,03. De laatste kritische waarde werd berekend met de NCW.

We kunnen in plaats van de elektriciteitskost constant te houden ook de vermeden dieselkosten constant houden en de kritische waarde berekenen voor C.

$$C^*(P) = \frac{P}{\tau^*} \quad (44)$$

Men vindt voor $C^*(P)$ een waarde van €0,0195 per kilometer. Dit komt neer op een elektriciteitsprijs van €0,154 per kWh. Bij een dieselprijs van 1,42/liter zal de elektriciteitsprijs dus onder de €0,15/kWh moeten dalen voor men zal investeren.

7.4.2 Waarde project na investeren

De waarde van een project na investeren berekend men met de formule

$$V(P, C) = CQ(1 - e^{-rT}) \left(\frac{\tau}{r - \alpha_p} - \frac{1}{r - \alpha_c} \right) \quad (45)$$

De waarden uit tabellen 3 en 4 kunnen hier ingevuld worden om tot het resultaat te komen. Hier wordt de huidige dieselprijs gebruikt en niet P*. Wanneer we ook de gebruikte eenheden in de formule brengen zien we dat de waarde van de investering inderdaad uitgedrukt wordt in euro.

$$V(P, C) = \left(\frac{\text{€}0,0266}{\text{km}} \right) * 14.284 \text{ km} * (1 - e^{-0.1*8}) * \left[\frac{\left(\frac{\text{€}0,0680}{\text{km}} \right) / \left(\frac{\text{€}0,0266}{\text{km}} \right)}{(0.10 - 0.0629)} - \frac{1}{(0.10 - 0.0413)} \right] \quad (46)$$

$$V(P, C) = \text{€ } 10\,839,58 \quad (47)$$

Het resultaat is berekend op basis van de huidige prijzen en geeft de waarde weer van de toekomstige, geactualiseerde kasstromen. Door hier de netto investeringskost (I) van af te trekken bekomen we de netto contante waarde.

$$NCW = V(P, C) - I \quad (48)$$

$$NCW = \text{€ } 10.839,58 - \text{€ } 6.864 \quad (49)$$

$$NCW = \text{€ } 3\,975,71 \quad (50)$$

Men komt hetzelfde bedrag uit als in hoofdstuk 7.2. Via een omweg is dan ook in se dezelfde berekening toegepast. Hieruit kan men afleiden dat de gebruikte vergelijkingen correct zijn.

Wanneer men de waarde van de investering berekent op basis van P* zien we dat...

$$V(P^*, C) = \left(\frac{\text{€}0,0266}{\text{km}} \right) * 14.284 \text{ km} * (1 - e^{-0.1*8}) * \left[\frac{\left(\frac{\text{€}0,0928}{\text{km}} \right) / \left(\frac{\text{€}0,0266}{\text{km}} \right)}{(0.10 - 0.0629)} - \frac{1}{(0.10 - 0.0413)} \right] \quad (51)$$

$$V(P^*, C) = \text{€ } 16.108,78 \quad (52)$$

$$NCW_{P^*} = \text{€ } 9.244,90. \quad (53)$$

7.4.3 Waarde van de optie om te investeren

De waarde van de optie wordt berekend met de algemene formule

$$F(P, C) = CB_1(\tau)^{\beta_1}. \quad (54)$$

B_1 is een constante waarvan de waarde nog berekend moet worden. We weten dat aan de value-matching voorwaarde moet worden voldaan. De enige onbekende die overblijft is B_1 waardoor we deze kunnen berekenen.

$$F(P^*, C) = V(P^*, C) - I \quad (55)$$

$$CB_1(\tau^*)^{\beta_1} = CQ(1 - e^{-rT}) \left(\frac{\tau^*}{r - \alpha_p} - \frac{1}{r - \alpha_c} \right) - I \quad (56)$$

$$\begin{aligned} 0,0266 * B_1 \left(\frac{0,0928}{0,0266} \right)^{2,128} \\ = 0,0266 * 14.284 * (1 - e^{-0,1*8}) \\ * \left(\frac{\frac{0,0928}{0,0266}}{(0,10 - 0,0629)} - \frac{1}{(0,10 - 0,0413)} \right) - 6.864 \end{aligned} \quad (57)$$

$$0,0266 * B_1 \left(\frac{0,0928}{0,0266} \right)^{2,128} = 9.244,90 \quad (58)$$

$$B_1 = 24.347,24 \quad (59)$$

We kunnen de optiewaarde dus schrijven als

$$F(P, C) = C * 24.347,24 (\tau)^{\beta_1}. \quad (60)$$

De huidige waarde van de optie wordt als volgt berekend.

$$F(P, C) = 0,0266 * 24.347,24 \left(\frac{0,0680}{0,0266} \right)^{2,128} \quad (61)$$

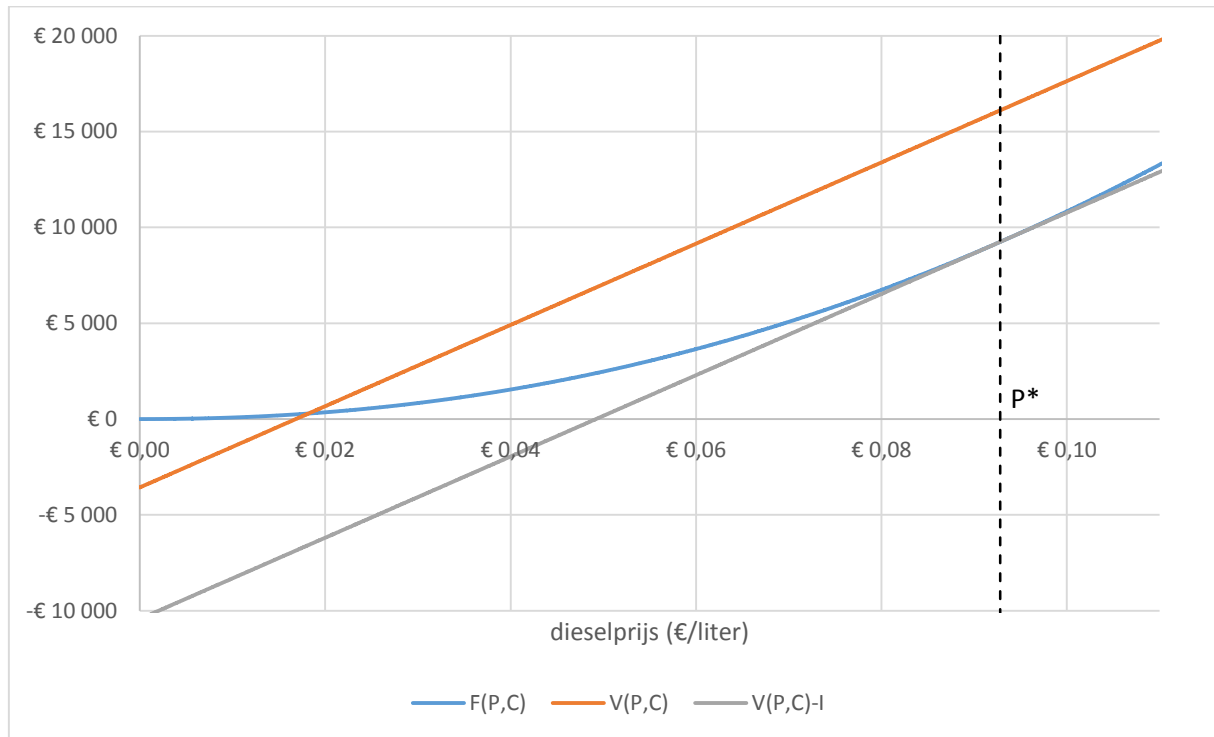
$$F(P, C) = \text{€ } 4.762,10. \quad (62)$$

Wanneer de optiewaarde groter is dan de netto contante waarde kan men beter wachten met investeren. Hier blijkt $F(P, C)$ met een waarde van €4 762,10 groter te zijn dan $V(P, C)$ met een waarde van €3 975,71. Men zal dus wachten met investeren.

Om zowel $V(P, C)$ als $F(P, C)$ op juistheid te toetsen test men de vergelijking

$$F'(P^*, C) = V'(P^*, C). \quad (63)$$

Dit wil zeggen dat in het optimale punt P^* hebben beide functies dezelfde richtingscoëfficiënt, zoals visueel weergegeven in figuur 6. Waar de verticale stippellijn de drie curven snijdt, is aan de value-matching en de smooth-pasting voorwaarden voldaan.



Figuur 6: Value matching- en smooth pasting voorwaarden

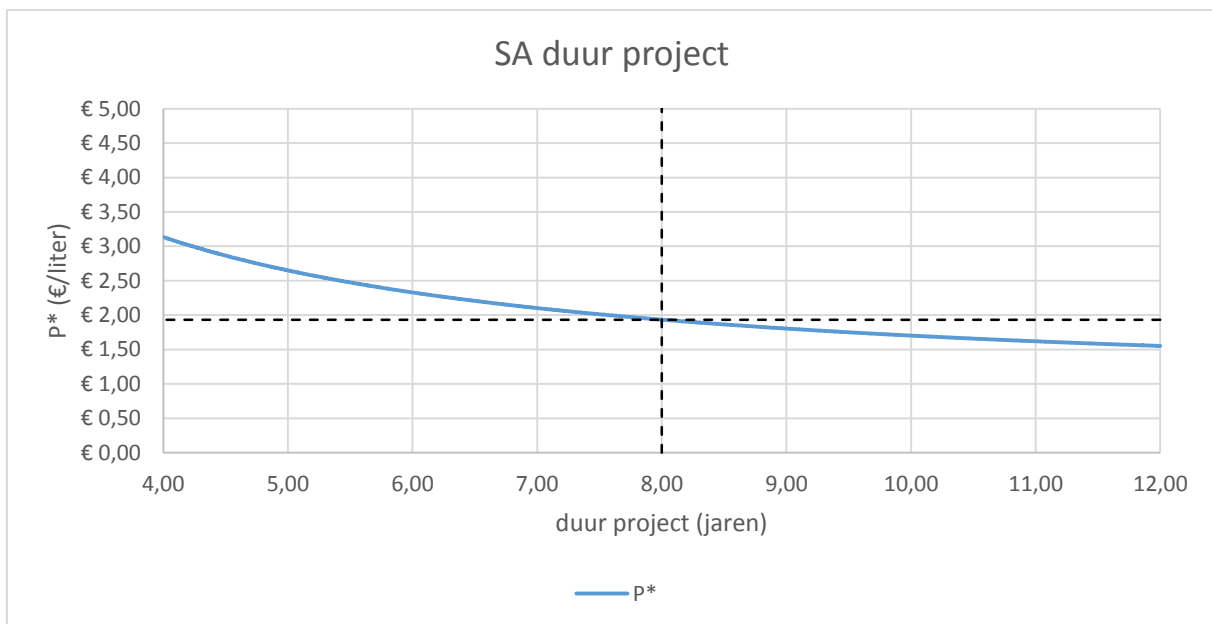
7.5 SENSITIVITEITSANALYSE

In de sensitiviteitsanalyse (SA) wordt nagegaan in welke mate de veranderlijke factoren invloed hebben op het resultaat van de analyse. We weten dat de meeste inputparameters in realiteit niet vast zijn, zoals aangenomen in de reële optieanalyse. Het is dus interessant om te weten hoe ver elk van de inputfactoren mag veranderen, ceteris paribus, alvorens we tot een ander besluit komen. De resultaten van de sensitiviteitsanalyse vindt men terug in tabel 11. De data geeft de correlatie weer tussen de parameter en de uitkomst. Er wordt van uit gegaan dat de elektriciteitskost niet wijzigt. In dit hoofdstuk vertegenwoordigt de verticale stippellijn de rol van P^* , en niet de actuele dieselprijs.

Tabel 11: *Sensitiviteitsanalyse ROA*

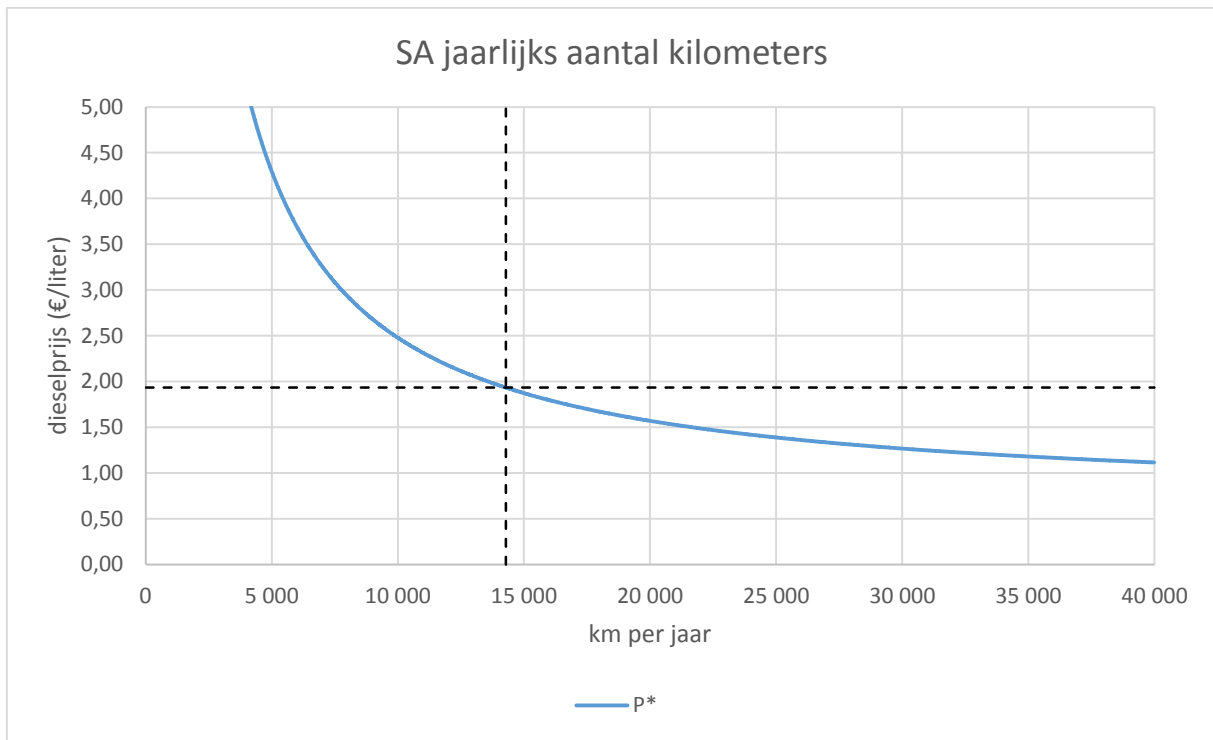
Sensitivity Data			
Assumptions	P*	V(P,C)	F(P,C)
T	-0,23	0,10	0,08
Q	-0,56	0,31	0,45
I	0,22	-0,12	-0,04
αP	-0,23	0,67	0,78
αC	0,42	-0,43	-0,23
σP	0,25	0,00	0,07
σC	0,25	0,00	0,09

De tijd dat men rond rijdt met een wagen beïnvloedt de beslissing. Hoe langer de periode, hoe meer tijd de kasstromen hebben om de investeringskost te dekken. Een langere periode doet bijgevolg P* dalen, zoals weergegeven in figuur 7. Dit staft de sensitiviteitsanalyse met Monte Carlo simulatie. Een te korte levensduur zorgt ervoor dat het project nooit haalbaar zal worden. Als T stijgt met 1% daalt P* met 0,23% in het huidige punt. Verder verwijderd van het huidige punt zullen de percentages anders zijn door de niet-lineaire vergelijking.



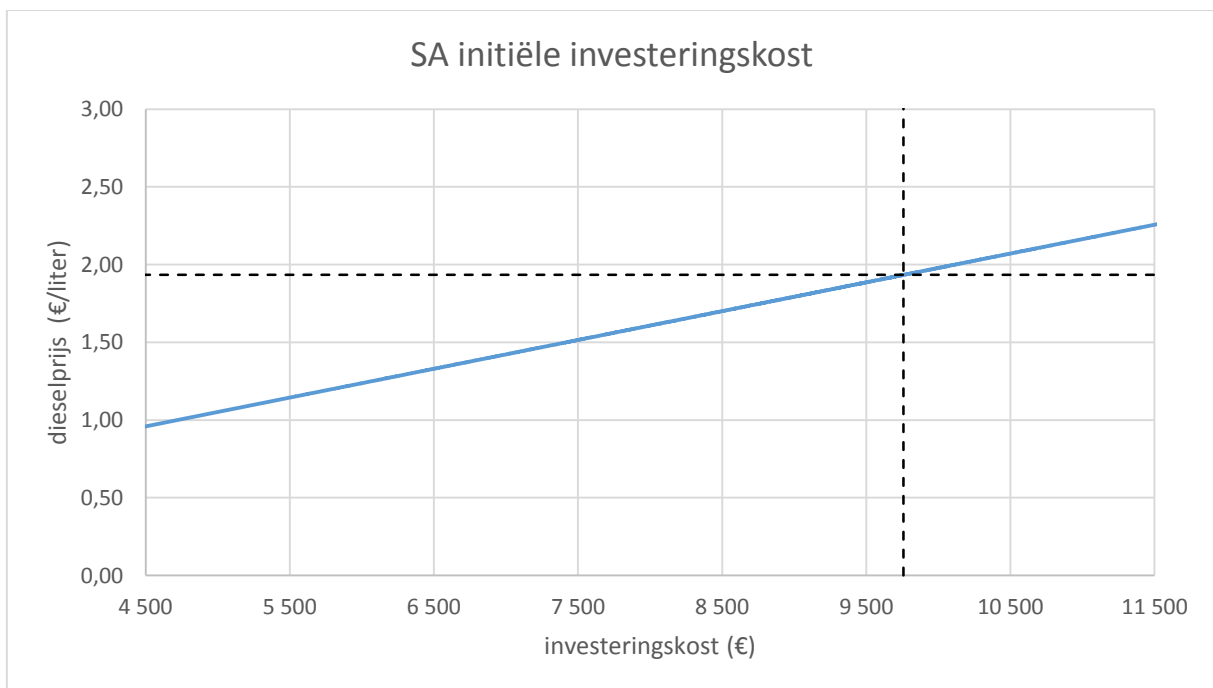
Figuur 7: *Sensitiviteit levensduur voertuig*

Het aantal kilometer dat jaarlijks gereden wordt, kan verschillen van de waarde die gebruikt werd in de analyse. Meer afgelegde kilometers resulteert in een hogere opbrengst, aangezien er meer diesel bespaard wordt. Wanneer het aantal kilometers met 1% stijgt, zal P* met 0,56% dalen, in de huidige situatie. Deze parameter heeft de grootste invloed op P*.



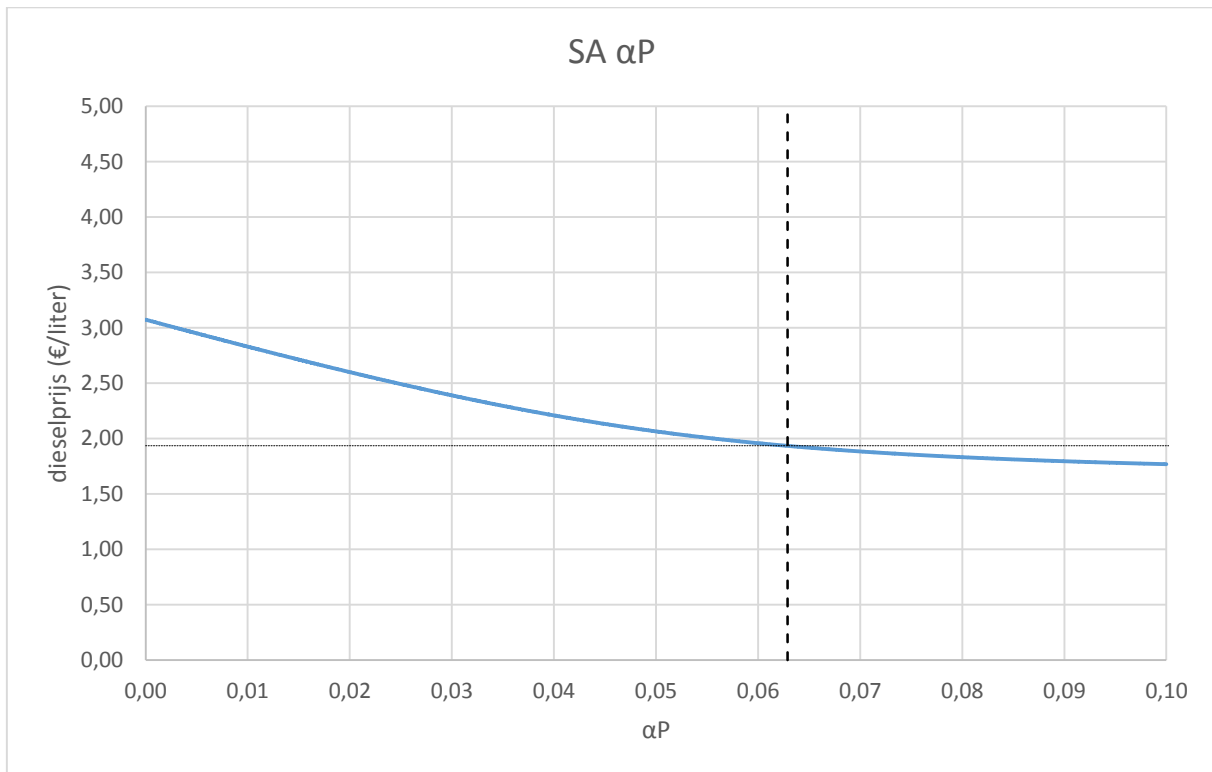
Figuur 8: Sensitiviteit jaarlijks aantal kilometers

Ook de initiële investeringskost heeft invloed op de hoogte van P^* . Bij een hogere I_0 zal P^* hoger moeten zijn alvorens men nu investeert. Wanneer de investeringskost klein is, zal men sneller overgaan tot het investeren in een elektrische wagen. Bij een investeringskost van €4.415 investeert men al wanneer de dieselprijs €0,95 per liter bedraagt.



Figuur 9: Sensitiviteit initiële investeringskost

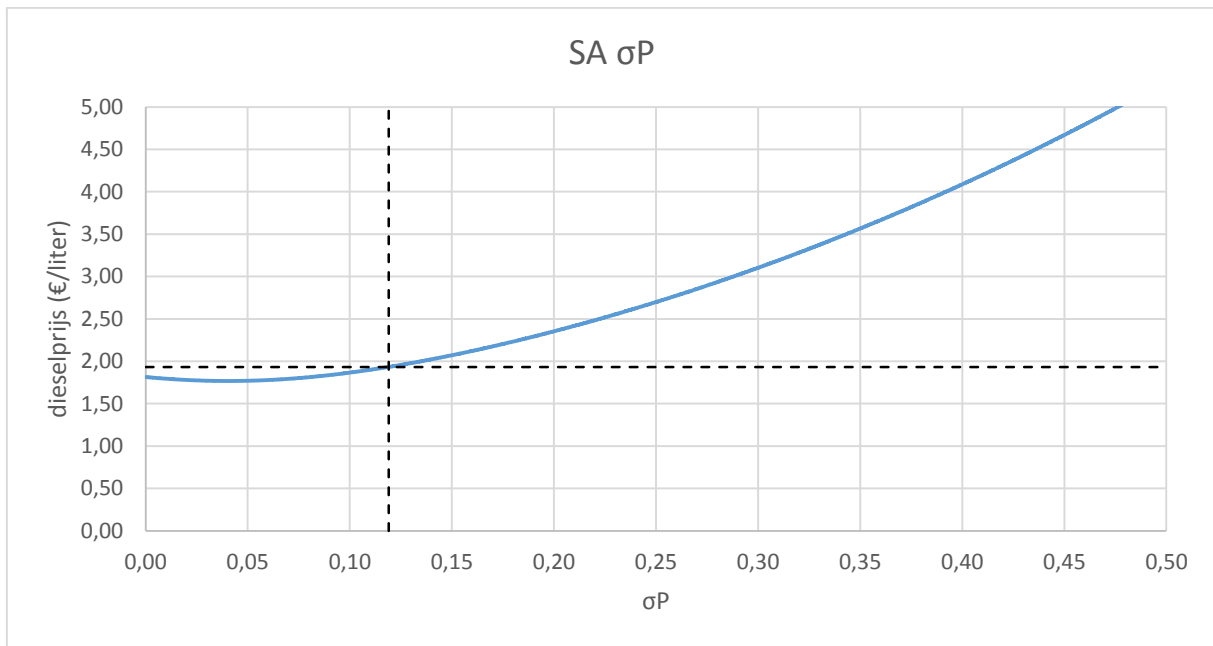
Naast de prijsveranderingen zelf kunnen de prijzen ook sneller stijgen of dalen dan men verwacht had. α_P en α_C geven deze snelheid aan. De groei van de opbrengsten kan niet hoger zijn dan 10%, de interest. Daarnaast wordt er verondersteld dat de groei altijd positief is. Als α_P stijgt, zal P^* dalen. Afhankelijk van α_P zal P^* variëren tussen 3,07 en 1,77.



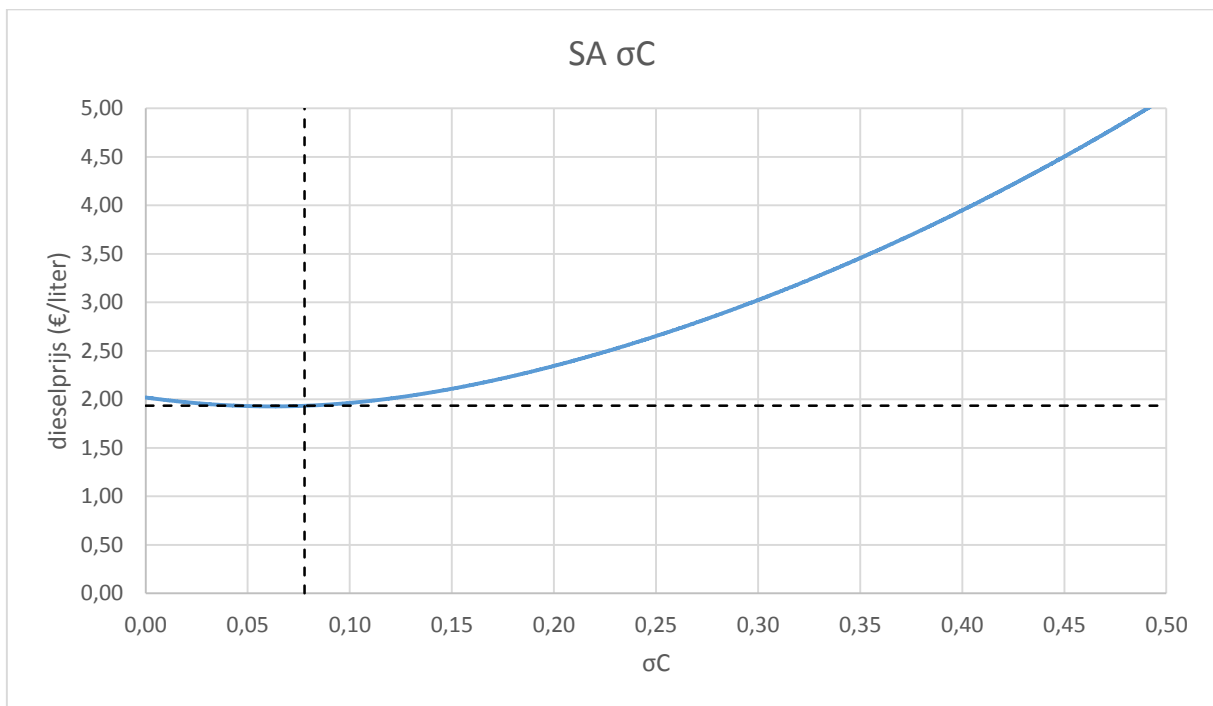
Figuur 10: Sensitiviteit groei dieselprijzen

De groei van de kosten heeft het omgekeerde effect op P^* als de groei van de opbrengsten. Als de kosten te sterk stijgen in de levensduur van de elektrische wagen zal P^* de hoogte in schieten en is het project niet meer rendabel.

Bij een hogere onzekerheid is het kritisch niveau van de brandstofprijs (P^*) hoger. Hoe groter de onzekerheid, hoe hoger de opbrengst moet zijn vooraleer men investeert.



Figuur 11: Sensitiviteit onzekerheid dieselprijzen



Figuur 12: Sensitiviteit onzekerheid elektriciteitsprijzen

8 CONCLUSIE

In deze masterproef is gekeken naar twee voertuigen van de fabrikant Volkswagen. Deze voertuigen zijn op veel vlakken vergelijkbaar. Bij de twee voertuigen is onderzocht wat de verschillen zijn in kosten, zowel in aanschaf als de gebruikskosten. Op basis van dit verschil in kosten is de haalbaarheid van een elektrisch voertuig eerst onderzocht door de netto contante waarde te berekenen. Uitgaande van een levensduur van 8 jaar, een elektriciteitskost van €0,21 per kWh en een brandstofkost van €1,42 per liter is de berekende NCW positief. Op basis van deze berekening is de conclusie dat investeren in een e-Golf economisch haalbaar is. Bepaalde parameterwaarden evolueren in de tijd en zijn onzeker. Om deze onzekerheid in rekening te brengen, is een sensitiviteitsanalyse toegepast. De parameterwaarden van levensduur, afgelegde afstand, investeringskost en groei werden gevarieerd. Ook de Monte Carlo simulatie toont aan dat de kans op een positieve NCW 86,78% is. Deze kans wordt groter bij een stijging in dieselprijzen, jaarlijks afgelegde afstand en levensduur van het voertuig. De kans op een positieve NCW daalt bij een toename in de elektriciteitskosten of een hogere investeringskost.

De NCW houdt geen rekening met de onzekerheid van diesel- en elektriciteitsprijzen en de flexibiliteit die een beslissingnemer heeft om de investering uit te stellen. Onzekerheden werden in rekening gebracht door toepassing van reële optieanalyse. Het resultaat van deze analyse is dat onder huidige energieprijzen en omwille van deze onzekerheden, men de investering beter uitstelt. De waarde van de optie om te wachten met investeren is groter dan de waarde van nu investeren.

Pas wanneer de dieselprijs stijgt tot €1,93 per liter is de waarde van nu investeren groter dan de waarde van wachten, gegeven een elektriciteitsprijs van €0,21 per kWh. Als P groter is dan €1,93 zal men nu investeren, als de dieselprijs lager is stelt men de investering beter uit. Ook wanneer de elektriciteitsprijzen dalen tot onder €0,15 per kWh, bij een gegeven dieselprijs van €1,42 per liter, investeert men best nu. Wanneer, bij deze dieselprijs, de elektriciteitskost hoger is dan €0,15 per kWh wordt de investering best uitgesteld.

De sensitiviteitsanalyse toont aan dat vooral het jaarlijks gereden aantal kilometers en de groei van elektriciteitskosten een grote invloed hebben op het kritisch niveau van de brandstofprijs. Jaarlijks een grotere afstand afleggen laat P^* dalen. Wanneer de elektriciteitskosten sneller groeien dan verwacht, stijgt P^* .

9 DISCUSSIE

De consument kan de investeringsbeslissing in het voordeel van de elektrische wagen doen omslaan door langer met de wagen te rijden. Hierdoor daalt P^* . Niet opgenomen in deze masterproef zijn de onderhoudskosten die gepaard gaan met een oudere wagen. Deze onderhoudskosten zullen het effect van langer rondrijden enigszins milderen. De precieze omvang van het effect kan onderwerp zijn van verder onderzoek. Daarnaast zal een particulier die jaarlijks meer kilometers aflegt eerder baat hebben bij het onmiddellijk investeren in een BEV. Deze parameter heeft de grootste invloed op kritische dieselprijs, maar heeft een tweeledig temperende invloed. Enerzijds gaat een groot aantal kilometer gepaard met een kortere levensduur van de wagen. Anderzijds is het bereik van een BEV beperkt. Ook deze twee aspecten moeten nog verder onderzocht worden.

De overheid kan het investeren in elektrische voertuigen stimuleren door het verschil in investeringskost te verlagen. Het opnieuw toekennen van het belastingvoordeel en de eco-premie, zal P^* doen dalen. Het invoeren van fiscale voordelen die specifiek voor elektrische voertuigen ontwikkeld zijn kan ervoor zorgen dat particulieren sneller geneigd zijn een BEV aan te schaffen. De overheid kan de omschakeling naar elektrische voertuigen ook aanmoedigen door de taksen en accijnzen op brandstoffen te verhogen waardoor de huidige dieselprijzen dichterbij P^* komen te liggen.

Door meer te investeren in R&D omtrent elektrische voertuigen kunnen nieuwe productietechnieken ontwikkeld worden waardoor de productiekosten omlaag gaan. Wanneer deze kostenverlagingen doorgerekend worden in de prijzen van een BEV daalt de investeringskost voor de particulier. Daarnaast zou de producent batterijen kunnen ontwikkelen die het bereik van de BEV gelijkrekken met het bereik van een ICE voertuig. Ook kunnen producenten aan de hand van deze masterproef inschatten hoe de vraag naar elektrische voertuigen kan evolueren, rekening houdend met onzekerheden.

Vervolgonderzoek zou vooral dieper kunnen ingaan over de onzekerheid die het beperkt bereik met zich mee brengt. Dit is een relatief belangrijke onzekerheid, maar is moeilijk in monetaire eenheden uit te drukken. Een dergelijke analyse zal rekening moeten houden met kosten die gemaakt worden

om deze onzekerheid op te lossen. Bijvoorbeeld het installeren van "battery swap stations" van Tesla⁸ of het organiseren van initiatieven voor het delen van voertuigen zoals Cambio⁹.

Deze masterproef toont aan dat het zinvol is om onzekerheden te integreren in de economische analyse. Bij toepassing van de reële optie analyse is de investeringsbeslissing anders dan bij toepassing van de NCW. Daarnaast vormt deze analyse een goede basis voor verder onderzoek en kan de gebruikte methode toegepast worden op andere types voertuigen en op een meer gedetailleerd kostenmodel.

⁸ <http://www.teslamotors.com/videos/battery-swap-event>

⁹ <https://www.cambio.be/>

10 REFERENTIELIJST

- Ajanovic, A. (2013). Recent Developments in Electric Vehicles for Passenger Car Transport. *World academy of science, engineering and technology*, 75 2013-03-25, 37 - 41.
- Belgische Automobielen- en Tweewielerfederatie. (2014a). Evolutie van de gemiddelde leeftijd van het wagenpark. Retrieved 20/02/2015
<http://www.febiac.be/public/statistics.aspx?FID=23&lang=NL>
- Belgische Automobielen- en Tweewielerfederatie. (2014b). Evolutie van het wagenpark per brandstofsoort. Retrieved 5/05/2015
<http://www.febiac.be/public/statistics.aspx?FID=23&lang=NL>
- Belgische Petroleum Federatie. (2015). Databank maximumprijzen. Retrieved 6 maart, 2015, from <http://www.petrofed.be/nl/maximumprijzen/databank>
- Bernanke, B. S. (1983). Nonmonetary effects of the financial crisis in the propagation of the Great Depression. *The American economic review*, 73(3), 257-276.
- De Paepe, P. (2014). Wat is het meest rendabel: diesel, benzine, elektriciteit of aardgas? Retrieved 11 mei, 2015, from <http://www.autobuzz.be/nl/wat-is-het-meest-rendabel-diesel-benzine-elektriciteit-of-aardgas/>
- Denison, C. A., Farrell, A. M., & Jackson, K. E. (2012). Managers' Incorporation of the Value of Real Options into Their Long-Term Investment Decisions: An Experimental Investigation. *Intégration par les gestionnaires de la valeur des options réelles dans leurs décisions d'investissement à long terme : une étude expérimentale.*, 29(2), 590-620. doi: 10.1111/j.1911-3846.2011.01116.x
- Dixit, A. K., & Pindyck, R. S. (1994). *Investment under uncertainty*: Princeton, N.J. Princeton University Press.
- Drake, E. (1974). Oil Reserves and Production. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 276(1261), 453-462. doi: 10.2307/74246
- Edelstein, P., & Kilian, L. (2009). How sensitive are consumer expenditures to retail energy prices? *Journal of Monetary Economics*, 56(6), 766-779. doi: 10.1016/j.jmoneco.2009.06.001
- Egear. (2013). ELEKTRISCHE VW GOLF ZAL EVENVEEL KOSTEN ALS DE BMW I3. Retrieved 28/04, 2015, from <http://www.egear.be/elektrische-vw-golf-prijs/>
- Elder, J., & Serletis, A. (2010). Oil Price Uncertainty. *Journal of Money, Credit & Banking (Wiley-Blackwell)*, 42(6), 1137.
- Eurostat. (2015). Electricity prices by type of user. <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=ten00117&plugin=1>
- Febiac. (2014). Inschrijvingen van nieuwe wagens per merk. <http://www.febiac.be/public/statistics.aspx?FID=23&lang=NL>
- Geerts, S. (2014). *Studie naar de haalbaarheid en het potentieel van elektrisch rijden in Vlaanderen*. (Master), Universiteit Hasselt, Hasselt.
- Gryglewicz, S., Huisman, K. J. M., & Kort, P. M. (2008). Finite project life and uncertainty effects on investment. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 32(7), 2191-2213. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jedc.2007.10.003>
- Huisman, K. K., Peter; Plasman, J.E.J. (2007). *Investment in High-Tech Industries: An Example from the LCD Industry*. Center Discussion Paper; Vol. 2007-85. Tilburg: Operations research.
- IPCC. (2013). Summary for policymakers. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia,

- V. Bex and P.M. Midgley (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Janssens, D. D., K.; Wets, G. . (2014). onderzoek verplaatsingsgedrag Vlaanderen 4.5 (2012-2013) (pp. 116): Departement Mobiliteit en Openbare Werken.
- Kwanten, M. (2014). Kilometers afgelegd door belgische voertuigen. 53. Retrieved from
- McNichols, J. P. R., Joseph L. (2012). Stochastic GBM Methods for Modeling Market Prices. *Casualty Actuarial Society E-Forum, Summer 2012*.
- Mercken, R. (2010). *De investeringsbeslissing: Een beleidsgerichte analyse*. Antwerpen: Garant.
- Netwerk duurzame mobiliteit. (z.d.). Einde "eco"-premie zal luchtkwaliteit in Vlaanderen verbeteren. Retrieved 9 mei, 2015, from <http://www.duurzame-mobiliteit.be/pers/einde-eco-premie-zal-luchtkwaliteit-vlaanderen-verbeteren>
- Neubauer, J., & Wood, E. (2014). The impact of range anxiety and home, workplace, and public charging infrastructure on simulated battery electric vehicle lifetime utility. *Journal of Power Sources*, 12. doi: 10.1016/j.jpowsour.2014.01.075
- Salens, P., & Taghon, C. (2014). *Aangifte Vennootschapsbelasting 2014*.
- T.G. (2015, 14 januari). VW Golf best verkocht model in 2014. *Nieuwsblad*. Retrieved from <http://www.nieuwsblad.be>
- Tesla. (z.d.). Batterij, prestatie, en aandrijvingsopties. Retrieved 28 april, 2015, from http://www.teslamotors.com/nl_BE/models
- Thijs, T. (2014, 28 oktober). EU op koers voor klimaatdoelstellingen 2020, maar België hinkt achterop. *De Morgen*. Retrieved from <http://www.demorgen.be>
- United Nations, D. o. E. a. S. A., Population Division (2013). *World Population Prospects: The 2012 Revision, DVD Edition*. (2012).
- Uwe Albrecht, M. A., Jan Zerhusen, Tetyana Raksha. (2014). *The Impact of the Oil Price on EU Energy Prices*. Brussels: European Parliament.
- van Bree, B., Verbong, G. P. J., & Kramer, G. J. (2010). A multi-level perspective on the introduction of hydrogen and battery-electric vehicles. *Technological Forecasting & Social Change*, 77, 529-540. doi: 10.1016/j.techfore.2009.12.005
- Van Den Bogaert, R. (2015). De 10 meest verkochte automerken in België. Retrieved 24, 2015, from <http://www.vroom.be/nl/autonieuws/top-10-meest-verkochte-automerken-2014>
- Van Mierlo, J., Maggetto, G., & Lataire, P. (2006). Which energy source for road transport in the future? A comparison of battery, hybrid and fuel cell vehicles. *Energy Conversion and Management*. Oct 2006, 47(17), 13.
- Wet betreffende de verplichte aansprakelijkheidsverzekering inzake motorrijtuigen, Art. 2 C.F.R. § 1 (1991).
- Vlaamse Overheid. (2013). *Vlaams Klimaatbeleidsplan 2013-2020*. Brussel: Retrieved from http://www.lne.be/themas/klimaatverandering/klimaattips/klimaattips/wat-doet-de-vlaamse-overheid/vlaams-klimaatbeleidsplan/2013-06-28_Overkoepelend_luik_VKP2013-2020.pdf.

11 BIJLAGEN

11.1 BIJLAGE 1

Tabel 12: *Coëfficiënt in functie van cilinderboring*

cilinderboring in millimeter tot en met	coëfficiënt
69	6.000
70	5.887
71	5.777
72	5.672
73	5.570
74	5.471
75	5.376
76	5.284
77	5.194
78	5.108
79	5.024
80	4.943
81	4.864
82	4.788
83	4.714
84	4.642
85	4.572
86	4.504
87	4.438
88	4.373
89	4.310
90 en meer	4.250

11.2 BIJLAGE 2

Tabel 13: *Belastingen in functie van fiscale pk*

aantal pk	totaalbedrag van de belasting in euro
4 en minder	69,72
5	87,24
6	126,12
7	164,76
8	203,76
9	242,64
10	281,16
11	364,92
12	448,56
13	532,08
14	615,84
15	699,48
16	916,20
17	1.133,16
18	1.350,00
19	1.566,36
20	1.783,20
20 en meer	1.783,20 verhoogd met 97,20 per kW boven 20

11.3 BIJLAGE 3

Tabel 14: Statistieken NCW berekeningen met variabele discountvoet

Statistics	NCW 1	NCW 2	NCW 3	NCW 4	NCW 5	C24	C31	C8	Q	r	T
Trials	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000
Base Case	(3 714,63)	(3 613,23)	1 462,38	15 243,62	3 975,71	1,416	0,21	9 758	14 284	0,10	8,00
Mean	(1 527,45)	(1 423,06)	83 889,27	42 739,37	3 044,07	1,416	0,21	8 590	18 088	0,10	8,00
Median	(1 958,56)	(1 853,73)	4 369,54	9 099,81	(381,84)	1,416	0,21	8 794	17 321	0,10	8,00
Mode	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Standard Deviation	3 264,93	3 287,90	8 049 015,45	18 560 002,19	7 239 351,14	0,173	0,03	1 525	8 271	0,06	1,63
Variance	10 659 794,23	10 810 286,17	64 786 649 701 691,60	344 473 681 390 126,00	52 408 204 988 321,60	0,030	0,00	2 324 708	68 409 065	0,00	2,66
Skewness	0,8598	0,8455	510,60	212,25	240,46	1,1004E-04	-2,3548E-04	-0,4135	0,2662	-0,0021	0,0042
Kurtosis	4,19	4,15	331 960,69	132 298,87	156 422,44	2,40	2,40	2,40	2,40	1,80	2,40
Coeff. of Variation	-2,14	-2,31	95,95	434,26	2 378,19	0,1224	0,1225	0,1775	0,4573	0,5771	0,2040
Minimum	(9 302,74)	(9 298,06)	(8 394,05)	(4 767 436 875,07)	(1 861 126 033,52)	0,992	0,15	4 421	13	0,00	4,01
Maximum	21 626,50	21 686,78	5 987 581 129,95	9 126 716 482,96	3 869 214 641,30	1,840	0,27	11 603	39 980	0,20	12,00
Range Width	30 929,24	30 984,84	5 987 589 524,01	13 894 153 358,03	5 730 340 674,82	0,848	0,13	7 183	39 967	0,20	7,99
Mean Std. Error	3,26	3,29	8 049,02	18 560,00	7 239,35	0,000	0,00	2	8	0,00	0,00

Tabel 15: Sensitiviteitsanalyse met variabele discountvoet

Sensitivity Data						
Assumptions	NCW 1	NCW 2	NCW 3	NCW 4	NCW 5	
P	0,24	0,24	0,13	0,06	0,08	
C	-0,09	-0,09	-0,05	0,00	-0,01	
I	-0,50	-0,49	-0,17	-0,08	-0,17	
Q	0,57	0,58	0,33	0,24	0,29	
r	-0,45	-0,44	-0,88	-0,42	0,20	
T	0,30	0,30	0,00	0,00	0,11	

11.4 BIJLAGE 4

Tabel 16: Statistieken NCW berekeningen zonder variabele discountvoet

Statistics	NCW 1	NCW 2	NCW 3	NCW 4	NCW 5	P	C	I	Q	T
Trials	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000
Base Case	(3 714,63)	(3 613,23)	1 462,38	15 243,62	3 975,71	1,416	0,21	9 758	14 284	8,00
Mean	(1 779,09)	(1 653,21)	4 204,65	21 664,64	7 856,47	1,416	0,21	8 591	18 101	8,00
Median	(2 019,41)	(1 901,77)	3 753,29	20 206,31	6 931,36	1,415	0,21	8 795	17 314	8,00
Mode	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Standard Deviation	2 723,11	2 774,55	4 148,60	12 400,10	7 284,70	0,173	0,03	1 523	8 282	1,63
Variance	7 415 319,64	7 698 144,40	17 210 863,51	153 762 471,22	53 066 842,72	0,030	0,00	2 319 293	68 594 456	2,67
Skewness	0,4974	0,5028	0,54	0,51	0,63	7,0688E-04	8,0806E-04	-0,4123	0,2659	0,0009
Kurtosis	3,17	3,17	3,09	2,90	3,23	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
Coeff. of Variation	-1,53	-1,68	0,99	0,57	0,93	0,1225	0,1225	0,1773	0,4576	0,2043
Minimum	(9 244,24)	(9 239,28)	(5 928,16)	(5 504,53)	(8 960,12)	0,992	0,15	4 420	24	4,00
Maximum	12 595,43	12 978,67	24 281,66	74 876,43	45 319,61	1,840	0,27	11 596	39 944	11,99
Range Width	21 839,67	22 217,94	30 209,81	80 380,96	54 279,73	0,848	0,13	7 176	39 919	7,99
Mean Std. Error	2,72	2,77	4,15	12,40	7,28	0,000	0,00	2	8	0,00

11.5 BIJLAGE 5

$$k_t = \ln C_t - \ln C_{t-1} \quad (64)$$

$$\lambda_t = \ln P_t - \ln P_{t-1} \quad (65)$$

$$\bar{k} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T k_t \quad (66)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \lambda_t \quad (67)$$

11.6 BIJLAGE 6

Om het probleem te kunnen oplossen formuleert men het als de volgende Bellman vergelijking. De vergelijking wordt uitgedrukt in onmiddellijke netto opbrengsten en de toekomstige kasstromen, respectievelijk de eerste en tweede term van de rechterzijde. De optimale oplossing maximaliseert de som van de twee componenten (Dixit & Pindyck, 1994). Aangezien het om een investering gaat met beperkte levensduur wordt het eerste lid vermenigvuldigd met de term $(1 - e^{-rT})$ (Gryglewicz et al., 2008).

$$rV(P, C) = \pi(P, C)(1 - e^{-rT}) + \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{1}{dt} E[dV(P, C)]. \quad (68)$$

Het eerste lid van de rechterzijde is reeds gekend. Het tweede lid kan gedifferentieerd worden met behulp van Ito's Lemma.

$$\begin{aligned} E[dV(P, C)] = & \alpha_c C \frac{\delta V(P, C)}{\delta C} dt + \alpha_p P \frac{\delta V(P, C)}{\delta P} dt + 0,5\sigma_c^2 C^2 \frac{\delta^2 V(P, C)}{\delta C^2} dt \\ & + \rho\sigma_c\sigma_p \frac{\delta^2 V(P, C)}{\delta C\delta P} dt + 0,5\sigma_p^2 P^2 \frac{\delta^2 V(P, C)}{\delta P^2} dt. \end{aligned} \quad (69)$$

Vervolgens substitueert men voor $\pi(P, C)$ en $E[dV(P, C)]$ zodat

$$\begin{aligned} rV(P, C) = & Q(P - C)(1 - e^{-rT}) + \alpha_c C \frac{\delta V(P, C)}{\delta C} dt + \alpha_p P \frac{\delta V(P, C)}{\delta P} dt \\ & + 0,5\sigma_c^2 C^2 \frac{\delta^2 V(P, C)}{\delta C^2} dt + \rho\sigma_c\sigma_p \frac{\delta^2 V(P, C)}{\delta C\delta P} dt \\ & + 0,5\sigma_p^2 P^2 \frac{\delta^2 V(P, C)}{\delta P^2} dt \end{aligned} \quad (70)$$

Men kan $V(P, C)$ uitdrukken in functie van de markup ratio.

$$V(P, C) = Cv\left(\frac{P}{C}\right) = Cv(\tau) \quad (71)$$

$Cv(\tau)$ differentiëren geeft

$$\frac{\delta V(P, C)}{\delta C} = v(\tau) - \tau \frac{\delta v(\tau)}{\delta \tau} \quad (72)$$

$$\frac{\delta V(P, C)}{\delta P} = \frac{\delta v(\tau)}{\delta \tau} \quad (73)$$

$$\frac{\delta^2 V(P, C)}{\delta P \delta C} = -\frac{\tau}{C} \frac{\delta^2 v(\tau)}{\delta \tau^2} \quad (74)$$

$$\frac{\delta^2 V(P, C)}{\delta C^2} = -\frac{\tau^2}{C} \frac{\delta^2 v(\tau)}{\delta \tau^2} \quad (75)$$

$$\frac{\delta^2 V(P, C)}{\delta P^2} = -\frac{1}{C} \frac{\delta^2 v(\tau)}{\delta \tau^2} \quad (76)$$

Deze vergelijkingen wordt ingevuld in $rV(P, C)$.

$$\begin{aligned} rV(P, C) &= Q(P - C)(1 - e^{-rT}) + \alpha_C C \left[v(\tau) - \tau \frac{\partial v(\tau)}{\partial \tau} \right] + \alpha_P P \frac{\partial v(\tau)}{\partial \tau} \\ &+ 0,5\sigma_C^2 C^2 \frac{\tau^2}{C_{CO_2}} \frac{\partial^2 v(\tau)}{\partial \tau^2} + \rho\sigma_C\sigma_P PC \left[-\frac{\tau}{C} \frac{\partial^2 v(\tau)}{\partial \tau^2} \right] \\ &+ 0,5\sigma_P^2 P^2 \frac{1}{C} \frac{\partial^2 v(\tau)}{\partial \tau^2}. \end{aligned} \quad (77)$$

$$\begin{aligned} rV(P, C) &= Q(P - C)(1 - e^{-rT}) + \alpha_C C v(\tau) - \alpha_C C \tau \frac{\partial v(\tau)}{\partial \tau} + \alpha_P P \frac{\partial v(\tau)}{\partial \tau} \\ &+ 0,5\sigma_C^2 C^2 \frac{\tau^2}{C} \frac{\partial^2 v(\tau)}{\partial \tau^2} + \rho\sigma_C\sigma_P PC \left[-\frac{\tau}{C} \frac{\partial^2 v(\tau)}{\partial \tau^2} \right] + 0,5\sigma_P^2 P^2 \frac{1}{C} \frac{\partial^2 v(\tau)}{\partial \tau^2}. \end{aligned} \quad (78)$$

$$\begin{aligned} rV(P, C) &= Q(P - C)(1 - e^{-rT}) + \alpha_C C v(\tau) + (\alpha_P P - \alpha_C C \tau) \frac{\partial v(\tau)}{\partial \tau} \\ &+ \left(\rho\sigma_C\sigma_P PC \left(-\frac{\tau}{C} \right) + 0,5\sigma_C^2 C^2 \frac{\tau^2}{C} + 0,5\sigma_P^2 P^2 \frac{1}{C} \right) \frac{\partial^2 v(\tau)}{\partial \tau^2}. \end{aligned} \quad (80)$$

$$\begin{aligned} &\frac{rCv(\tau) - \alpha_C C v(\tau)}{C} \\ &= Q \left(\frac{P}{C} - \frac{C}{C} \right) (1 - e^{-rT}) + \left(\alpha_P \frac{P}{C} - \alpha_C \frac{C}{C} \tau \right) \frac{\partial v(\tau)}{\partial \tau} \\ &+ \left(\rho\sigma_C\sigma_P \frac{PC}{C} \left(-\frac{\tau}{C} \right) + 0,5\sigma_C^2 \frac{C^2}{C} \frac{\tau^2}{C} + 0,5\sigma_P^2 \frac{P^2}{C} \frac{1}{C} \right) \frac{\partial^2 v(\tau)}{\partial \tau^2}. \end{aligned} \quad (81)$$

Met $\tau = \frac{P}{C}$.

$$\begin{aligned} (r - \alpha_C)v(\tau) &= Q(\tau - 1)(1 - e^{-rT}) + (\alpha_P \tau - \alpha_C \tau) \frac{\partial v(\tau)}{\partial \tau} \\ &+ (\rho\sigma_C\sigma_P(-\tau^2) + 0,5\sigma_C^2 \tau^2 + 0,5\sigma_P^2 \tau^2) \frac{\partial^2 v(\tau)}{\partial \tau^2}. \end{aligned} \quad (82)$$

$$(r - \alpha_c)v(\tau) = Q(\tau - 1)(1 - e^{-rT}) + (\alpha_p - \alpha_c)\tau \frac{\delta v(\tau)}{\delta \tau} + 0,5(\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2)\tau^2 \frac{\delta^2 v(\tau)}{\delta \tau^2}. \quad (83)$$

Hierin herkent men een differentiaalvergelijking van de tweede orde van de algemene vorm

$$P(x) \frac{d^2 y}{dx^2} + Q(x) \frac{dy}{dx} + R(x)y = G(x). \quad (84)$$

$$v(\tau) = A(\tau)^\beta; v'(\tau) = \beta A(\tau)^{\beta-1}; v''(\tau) = \beta(\beta - 1)A(\tau)^{\beta-2}.$$

Dit wordt gesubstitueerd in de algemene vergelijking en het homogene deel wordt beschouwd.

$$(\alpha_p - \alpha_c)\tau\beta A(\tau)^{\beta-1} + 0,5[\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2]\tau^2\beta(\beta - 1)A(\tau)^{\beta-2} - (r - \alpha_c)A(\tau)^\beta = 0. \quad (85)$$

op plaatsen kan τ geëlimineerd worden, waar hij zowel in de teller als in de noemer staat.

$$(\alpha_p - \alpha_c)\beta A(\tau)^\beta + 0,5[\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2]\beta(\beta - 1)A(\tau)^\beta - (r - \alpha_c)A(\tau)^\beta = 0. \quad (86)$$

Vervolgens delen door $A(\tau)^\beta$.

$$(\alpha_p - \alpha_c)\beta + 0,5[\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2]\beta(\beta - 1) - (r - \alpha_c) = 0. \quad (87)$$

$$(\alpha_p - \alpha_c)\beta + 0,5[\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2]\beta^2 - 0,5[\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2]\beta - (r - \alpha_c) = 0. \quad (88)$$

$$0,5[\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2]\beta^2 + [(\alpha_p - \alpha_c) - 0,5(\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2)]\beta - (r - \alpha_c) = 0. \quad (89)$$

De algemene oplossing kan geschreven worden als

$$v(\tau) = A_1(\tau)^{\beta_1} + A_2(\tau)^{\beta_2}, \quad (90)$$

A_1 en A_2 zijn constanten die bepaald moeten worden en β_1 en β_2 de nulpunten van de bovenstaande kwadratische vergelijking.

$$\beta_1 = \frac{-[(\alpha_p - \alpha_c) - 0,5(\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2)] + \sqrt{D}}{2 * 0,5[\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2]} \quad (91)$$

$$\beta_2 = \frac{-[(\alpha_p - \alpha_c) - 0,5(\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2)] - \sqrt{D}}{2 * 0,5[\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2]} \quad (92)$$

Met de discriminant $D > 0$.

$$D = [(\alpha_p - \alpha_c) - 0,5(\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2)]^2 - 4 * 0,5[\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2] * [-(r - \alpha_c)] \quad (93)$$

De particuliere oplossing is van de vorm

$$v(\tau) = A(\tau) + B \quad (94)$$

$$v'(\tau) = A \quad (95)$$

$$v''(\tau) = 0 \quad (96)$$

Substitutie van vergelijking (94) - (96) in de gegeven differentiaalvergelijking.

$$(r - \alpha_c)[A\tau + B] = Q(\tau - 1)(1 - e^{-rT}) + (\alpha_p - \alpha_c)\tau A + 0,5(\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2)\tau^2 * 0. \quad (97)$$

$$(r - \alpha_c)[A\tau + B] = Q(\tau - 1)(1 - e^{-rT}) + (\alpha_p - \alpha_c)\tau A \quad (98)$$

$$(\alpha_p - \alpha_c)\tau A - (r - \alpha_c)[A\tau + B] = -Q(\tau - 1)(1 - e^{-rT}) \quad (99)$$

$$(\alpha_p - \alpha_c)\tau A - (r - \alpha_c)A\tau - (r - \alpha_c)B = -Q(\tau - 1)(1 - e^{-rT}) \quad (100)$$

$$[(\alpha_p - \alpha_c) - (r - \alpha_c)]\tau A - (r - \alpha_c)B = -Q(\tau - 1)(1 - e^{-rT}) \quad (101)$$

$$[(\alpha_p - \alpha_c) - (r - \alpha_c)]\tau A - (r - \alpha_c)B = -Q(\tau - 1)(1 - e^{-rT}) \quad (102)$$

$$[(\alpha_p - \alpha_c) - (r - \alpha_c)]\tau A - (r - \alpha_c)B = -Q\tau(1 - e^{-rT}) + Q(1 - e^{-rT}) \quad (103)$$

$$[(\alpha_p - \alpha_c) - (r - \alpha_c)]\tau A = -Q\tau(1 - e^{-rT}) \quad (104)$$

Met

$$A = \frac{-Q\tau(1 - e^{-rT})}{[(\alpha_p - \alpha_c) - (r - \alpha_c)]\tau} \quad (105)$$

$$A = \frac{-Q(1 - e^{-rT})}{[\alpha_p - r]} \quad (106)$$

$$-(r - \alpha_c)B = Q(1 - e^{-rT}) \quad (107)$$

$$B = \frac{Q(1 - e^{-rT})}{-(r - \alpha_c)} \quad (108)$$

A(τ) + B wordt bijgevolg

$$\frac{-Q(1 - e^{-rT})}{[\alpha_p - r]}\tau - \frac{Q(1 - e^{-rT})}{(r - \alpha_c)}. \quad (109)$$

$$Q(1 - e^{-rT}) \left[\frac{-\tau}{[\alpha_p - r]} - \frac{1}{(r - \alpha_c)} \right]. \quad (110)$$

$$Q(1 - e^{-rT}) \left[\frac{\tau}{[r - \alpha_p]} - \frac{1}{(r - \alpha_c)} \right]. \quad (111)$$

De volledige oplossing wordt dus geschreven als

$$v(\tau) = A_1(\tau)^{\beta_1} + A_2(\tau)^{\beta_2} + Q(1 - e^{-rT}) \left[\frac{\tau}{[r - \alpha_p]} - \frac{1}{(r - \alpha_c)} \right]. \quad (112)$$

Volgens Dixit and Pindyck (1994) is $\beta_1 > 1$ en $\beta_2 < 0$. Als τ in de limiet naar oneindig gaat, worden A_1 en A_2 gelijk aan nul. Als $P=0$ heeft de investering geen waarde en de waarde van de investering explodeert ook niet.

$$v(\tau) = Q(1 - e^{-rT}) \left(\frac{\tau}{r - \alpha_p} - \frac{1}{r - \alpha_c} \right) \quad (113)$$

Hierdoor is ook de functie voor $V(P,C)$ gekend, aangezien $V(P,C) = Cv(\tau)$.

$$V(P,C) = CQ(1 - e^{-rT}) \left(\frac{\tau}{r - \alpha_p} - \frac{1}{r - \alpha_c} \right) \quad (114)$$

11.7 BIJLAGE 7

Om $F(P,C)$ te kunnen berekenen moet hij voldoen aan de Bellman vergelijking

$$rF(P,C) = \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{1}{dt} E[dF(P,C)]. \quad (115)$$

Met behulp van Ito's Lemma kan men de Bellman vergelijking differentiëren.

$$\begin{aligned} rF(P,C) = & \alpha_c C \frac{\delta F(P,C)}{\delta C} dt + \alpha_p P \frac{\delta F(P,C)}{\delta P} dt + 0,5\sigma_c^2 C^2 \frac{\delta^2 F(P,C)}{\delta C^2} dt \\ & + \rho\sigma_c\sigma_p \frac{\delta^2 F(P,C)}{\delta C \delta P} dt + 0,5\sigma_p^2 P^2 \frac{\delta^2 F(P,C)}{\delta P^2} dt. \end{aligned} \quad (116)$$

Ook deze vergelijking is net zoals de waarde van de investering enkel afhankelijk van de markup ratio $\tau = \frac{P}{C}$. De waarde van de optie is homogeen in de eerste graad voor (P,C) zodat

$$F(P,C) = C\phi\left(\frac{P}{C}\right) = C\phi(\tau). \quad (117)$$

$\phi(\tau)$ is dus de te bepalen functie. De verschillende leden van vergelijking (116) worden gedifferentieerd.

$$\frac{\delta F(P, C)}{\delta C} = \phi(\tau) - \tau \frac{\delta \phi(\tau)}{\delta \tau} \quad (118)$$

$$\frac{\delta F(P, C)}{\delta P} = \frac{\delta \phi(\tau)}{\delta \tau} \quad (119)$$

$$\frac{\delta^2 F(P, C)}{\delta P \delta C} = -\frac{\tau}{C} \frac{\delta^2 \phi(\tau)}{\delta \tau^2} \quad (120)$$

$$\frac{\delta^2 F(P, C)}{\delta C^2} = -\frac{\tau^2}{C} \frac{\delta^2 \phi(\tau)}{\delta \tau^2} \quad (121)$$

$$\frac{\delta^2 F(P, C)}{\delta P^2} = -\frac{1}{C} \frac{\delta^2 \phi(\tau)}{\delta \tau^2} \quad (122)$$

Substitutie in vergelijking (116), delen door C en herschrijven geeft

$$(r - \alpha_c)\phi(\tau) = (\alpha_p - \alpha_c) \frac{\delta \phi(\tau)}{\delta \tau} + 0,5(\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2)\tau^2 \frac{\delta^2 \phi(\tau)}{\delta \tau^2}.$$

Deze homogene differentiaalvergelijking kan men schrijven in de algemene vorm

$$\phi(\tau) = B_1(\tau)^{\beta_1} + B_2(\tau)^{\beta_2}, \quad (123)$$

met β_1 en β_2 de positieve en de negatieve nulpunten van

$$0,5[\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2]\beta^2 + [(\alpha_p - \alpha_c) - 0,5(\sigma_p^2 - 2\rho\sigma_c\sigma_p + \sigma_c^2)]\beta - (r - \alpha_c) = 0. \quad (124)$$

Er is geweten dat de waarde van een optie nul is als de prijs nul is, dus $\phi(0) = 0$. Hieruit volgt dat

$$B_2 = 0.$$

De optiewaarde kan bijgevolg geschreven worden als

$$F(P, C) = CB_1(\tau)^{\beta_1} \quad (125)$$

B_1 berekent men als volgt.

$$F^*(P, C) = V^*(P, C) - I \quad (126)$$

$$CB_1(\tau^*)^{\beta_1} = \left(CQ(1 - e^{-rs}) \left(\frac{\tau^*}{r - \alpha_p} - \frac{1}{r - \alpha_c} \right) - I \right) \quad (127)$$

$$B_1 = \frac{\left(CQ(1 - e^{-rs}) \left(\frac{\tau^*}{r - \alpha_p} - \frac{1}{r - \alpha_c} \right) - I \right)}{C(\tau^*)^{\beta_1}}. \quad (128)$$

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Het uitstellen van een investering in elektrische wagens: de impact van onzekere energieprijzen

Richting: **master in de toegepaste economische wetenschappen: handelsingenieur-accountancy en financiering**

Jaar: **2015**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Dreesen, Christoph

Datum: **2/06/2015**