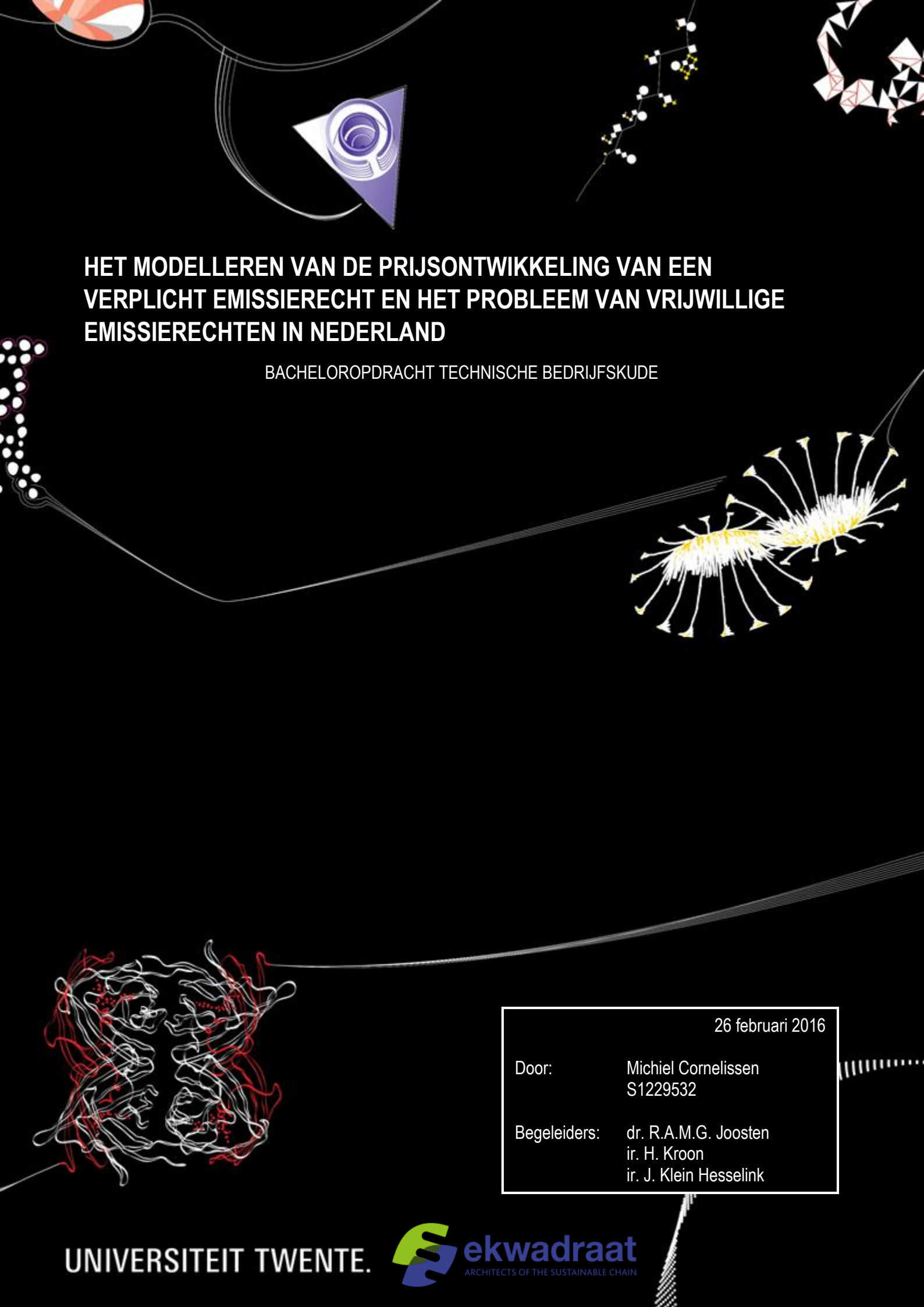




HET MODELLEREN VAN DE PRIJSONTWIKKELING VAN EEN VERPLICHT EMISSIERECHT EN HET PROBLEEM VAN VRIJWILLIGE EMISSIERECHTEN IN NEDERLAND

BACHELOROPDRACHT TECHNISCHE BEDRIJFSKUDE

26 februari 2016

Door: Michiel Cornelissen
S1229532

Begeleiders: dr. R.A.M.G. Joosten
ir. H. Kroon
ir. J. Klein Hesselink

Managementsamenvatting

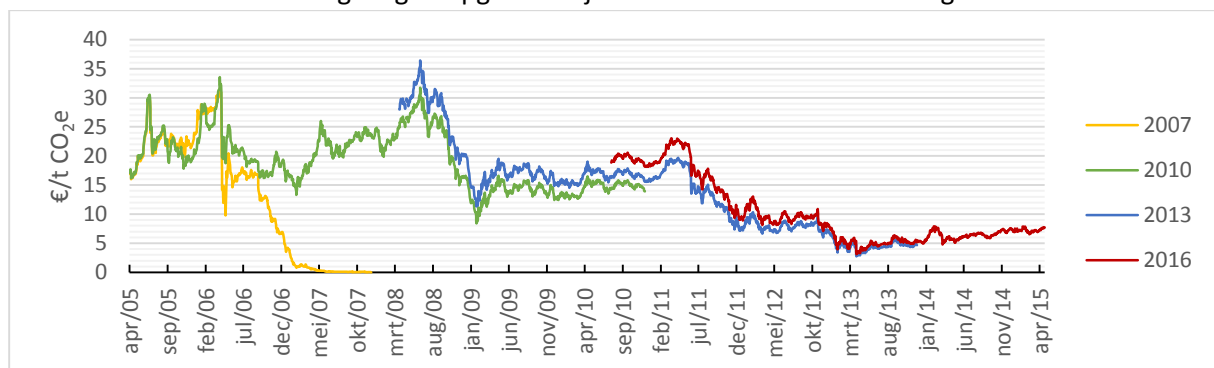
Het verslag dat voor u ligt, is een exploratief onderzoek naar de werking en prijsontwikkeling van een aantal verschillende emissierechten. De hoofdvraag luidt als volgt:

Hoe kan Ekwadraat zo goed mogelijk inspelen op toekomstige ontwikkelingen, op het gebied van prijs en beleid, van de voor Ekwadraat, en de opdrachtgevers van Ekwadraat, relevante emissierechten?

De focus van het onderzoek ligt op het **European Union Emission Trading Scheme**, EU ETS, en de **Verified Carbon Standard**, VCS. De eerste van deze twee is een verplicht systeem voor alle installaties met een thermisch vermogen groter dan 20 megaWatt. Dit betekent dat de volledige uitstoot van dergelijke installaties gecompenseerd moet worden door het aankopen van emissierechten. De Verified Carbon Standard is een vrijwillig systeem, emissiereducerende projecten kunnen gecertificeerd worden om rechten te ontvangen. Deze rechten kunnen verkocht worden aan partijen met duurzame ambities, bijvoorbeeld om CO₂ neutraal te zijn.

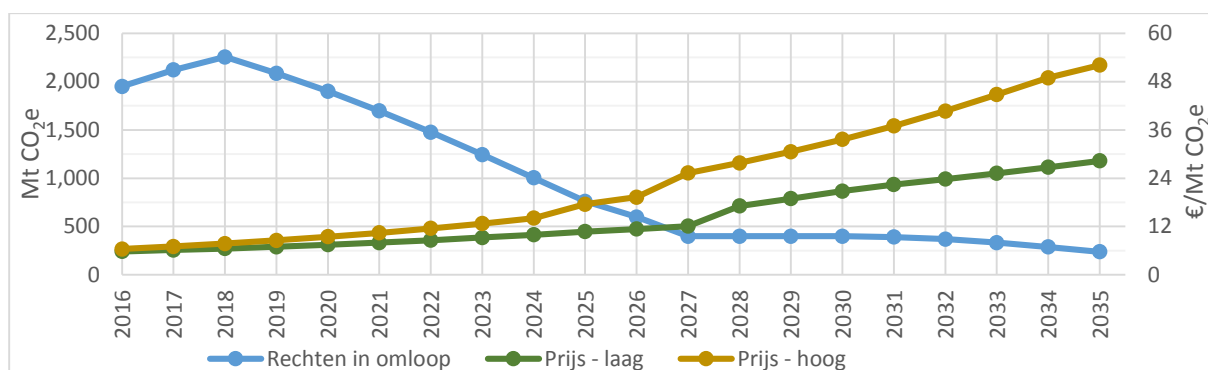
European Union Emission Trading Scheme

Het onderzoek naar het EU ETS heeft een focus op prijsontwikkeling. In Figuur 1 is weergegeven hoe de prijs van een EU ETS emissierecht zich in het verleden heeft ontwikkeld. De grafiek toont een duidelijke neerwaartse trend. De eerste reden hiervoor is de economische crisis waardoor de groei van de economie en daarmee de uitstoot achter is gebleven op de verwachtingen. De tweede reden is dat er veel nationale subsidieregelingen opgestart zijn voor duurzame ontwikkelingen.



Figuur 1: Prijsontwikkeling van een emissierecht in het EU ETS van 2005 tot 2015.

Om de prijsontwikkelingen in de toekomst te kunnen voorspellen heb ik het prijsverloop gemodelleerd met een optimalisatiemodel. De belangrijkste resultaten van dit model zijn weergegeven in Figuur 2, het aantal ongebruikte rechten in omloop en de prijs per emissierecht.



Figuur 2: Weergave van het aantal rechten dat zich in omloop bevindt (linker as). Op de rechter-as is de prijs per emissierecht weergegeven. "Prijs – laag" is berekend met een economische groei van 0,75% per jaar, "prijs – hoog" met een groei van 1,80% per jaar.

In Figuur 2 is duidelijk te zien dat de prijs van een emissierecht gaat stijgen. Elk in het model gebruikt scenario laat een prijsstijging zien. De grote van die stijging is voornamelijk afhankelijk van de economische groei en resulteert in een prijs tussen €20,82 en €36,37 in 2030.

Aangezien de prijs van een EU ETS emissierecht momenteel laag is, heeft het aankopen ervan een kleine impact op de bedrijfsvoering. Als deze impact significant wordt, liggen er voor Ekwadraat kansen om advies te geven aan organisaties over hoe om te gaan met het EU ETS. Mijn aanbeveling aan Ekwadraat is het uitvoeren van een vervolgonderzoek om te achterhalen bij welke prijs per emissierecht het EU ETS een significante impact gaat hebben op de bedrijfsvoering.

Verified Carbon Standard

Op het moment van schrijven is de Verified Carbon Standard, het vrijwillige systeem, een lastige kwestie in Nederland. Elk project waarvan de emissie wordt meegenomen in de Nederlandse Kyoto doelstelling valt niet te certificeren.

Het Netwerk Mestvergisting Zuid-Nederland heeft een mogelijke oplossing gevonden om mestvergistingsinstallaties toch te certificeren. Aangezien Ekwadraat veel klanten heeft met dergelijke installaties, biedt dit mogelijkheden om advies aan hen te geven. Het idee van het Netwerk is om niet de emissiearme elektriciteitsopwekking te certificeren, maar de vermeden methaanemissie door het niet op het land uitrijden van mest. Dit laatste valt niet onder de Kyoto doelstelling en kan daarom theoretisch gezien gecertificeerd worden. Om dit te verwezenlijken wordt er momenteel gewerkt aan een zogenaamde Green Deal met de overheid, mijn advies is om deze in de gaten te houden.

Certificering volgens de VCS moet gebeuren binnen een jaar na aanvang van het project. Als het mogelijk wordt om rechten te verkrijgen voor mestvergisters, komen dus alleen installaties minder dan een jaar oud in aanmerking. Ekwadraat kan overwegen om nu al te beginnen met het certificeren van installaties, ondanks dat het niet zeker is of er rechten uit verkregen kunnen worden. Om hier een weloverwogen beslissing over te maken raad ik aan om contact op te nemen met een certificerende partij en een in emissierechten handelende partij.

Voorwoord

Ter afronding van de bacheloropleiding Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente dient elke student een onderzoek bij een bedrijf uit te voeren. Ik heb dit verricht bij het adviesbureau Ekwadraat te Leeuwarden. Het verslag dat voor u ligt, beschrijft de opzet en resultaten van dat onderzoek.

Ekwadraat is een bedrijf waarvan ik de naam al vele jaren voorbij heb horen komen. Dit maakte het des te interessanter om een kijkje te nemen achter de schermen. Wat ik daar aantrof was een gemoedelijk team dat met alle interesse luistert naar wat je uit komt voeren. Mede dankzij de expertise en feedback van alle collega's, heb ik dit onderzoek kunnen maken tot wat het nu is. Hiervoor wil iedereen binnen Ekwadraat bedanken. Ik wil Douwe Faber specifiek bedanken voor het geven van de mogelijkheid om mijn bacheloropdracht uit te voeren binnen zijn bedrijf. Dankzij de ondernemendheid van Douwe, is de wereld een stukje groener.

Voor de begeleiding vanuit Ekwadraat wil ik Jan Klein Hesselink bedanken. In de eerste weken hadden wij de grootste plannen, we wilden alles onderzoeken. Dat bleek uiteraard te ambitieus, samen hebben wij daarom een interessant kader uitgestippeld, waarbinnen ik mijn onderzoek uitgevoerd heb. De interessante discussies die we hebben gehad, waren van groot belang voor mijn beeldvorming.

Vanuit de Universiteit Twente ben ik in mijn onderzoek begeleid door Reinoud Joosten en Henk Kroon. Ik wil Reinoud Joosten bedanken voor de discussies die we hebben gehad onder het genot van een bak koffie. De feedback heeft mij geholpen het onderzoek objectief te bekijken en te verbeteren waar nodig. Henk Kroon bedank ik voor het zijn van mijn tweede begeleider en het helpen bij het afronden van mijn onderzoek.

Ik hoop dat Ekwadraat de resultaten van mijn onderzoek kan gebruiken om een beter zicht te krijgen op de mogelijkheden van emissierechten.

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting.....	1
Lijst van gebruikte afkortingen	5
Lijst van afbeeldingen.....	5
Lijst van tabellen	6
Hoofdstuk 1: Onderzoeksopzet	7
1.1. Bedrijfsomschrijving	7
1.2. Projectkader	7
1.3. Doelstelling.....	8
1.4. Vraagstelling.....	8
1.5. Onderzoeksmodel	9
Hoofdstuk 2: De verschillende emissierechten	10
2.1 De definitie van een emissierecht.....	10
2.2 Verplichte en vrijwillige emissiehandel.....	10
2.3 Het UNFCCC en het Kyotoprotocol	11
2.4 Beschrijving van verschillende emissierechten.....	13
Hoofdstuk 3: Theoretisch kader	16
3.1 Het intertemporeel optimalisatiemodel	16
Hoofdstuk 4: Analyse van het European Union Emission Trading Scheme.....	24
4.1 De vier fases van het EU ETS	24
4.2 Analyse van de prijsontwikkeling van 2005 tot en met 2015	25
4.3 De toekomst, 2015 en daar voorbij.....	30
Hoofdstuk 5: Verified Carbon Standard	40
5.1 Werking van de Verified Carbon Standard.....	40
5.2 Netwerk Mestvergisting Zuid-Nederland.....	41
5.3 Mogelijkheden voor Ekwadraat	40
Hoofdstuk 6: Conclusies en aanbevelingen.....	44
6.1 European Union Emission Trading Scheme.....	44
6.2 Verified Carbon Standard	45
Referenties	46
Appendices	49
Appendix A – Annex I en Annex II landen	49
Appendix B – Jaarlijkse hoeveelheid op de markt gebrachte EUA's	50
Appendix C – VCS certificeringsinstellingen binnen Europa	51

Lijst van gebruikte afkortingen

Afkorting	Betekenis
AAU	Assigned Amount Unit
ACC	Abatement Cost Curve
Btu	British Thermal Unit
CDM	Clean Development Mechanism
CER	Certified Emission Reduction
CO ₂ e	Koolstofdioxide-equivalent
ERU	Emission Reduction Unit
ET	Emission Trading
EU ETS	European Union Emission Trading Scheme
EUA	European Union Allowance
GS	Gold Standard
JI	Joined Implementation
kWh	Kilowattuur
LULUCF	Land use and land-use change and forestry
MACC	Marginal Abatement Cost Curve
MSR	Marktstabiliteitsreserve
Mt	Megaton (1 miljoen ton)
NEa	Nederlandse Emissieautoriteit
OTC	Over the counter
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
RMU	Removal Unit
SDE+	Stimulerende Duurzame Energieproductie+
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VCS	Verified Carbon Standard
VCU	Verified Carbon Unit
VER	Verified Emission Reduction

Lijst van afbeeldingen

Figuur 1: Prijsontwikkeling van een emissierecht in het EU ETS van 2005 tot 2015.	1
Figuur 2: Weergave van het aantal rechten dat zich in omloop bevindt (linker as). Op de rechter-as is de prijs per emissierecht weergegeven. "Prijs – laag" is berekend met een economische groei van 0,75% per jaar, "prijs – hoog" met een groei van 1,80% per jaar.	2
Figuur 3: Grafische weergave van het onderzoeksmodel.	9
Figuur 4: Grafisch weergegeven voorbeelden van een Marginal Abatement Cost Curve, volgens een bottom-up methode (l) en een top-down methode (r) (Kesicki F., 2010).	22
Figuur 5: Prijsontwikkeling van 2005 tot en met 2015 van futures met een verschillend levermoment voor een EUA, de levermomenten staan vermeld in de legenda (Intercontinental Exchange Database, 2015).	25
Figuur 6: Overzicht van de hoeveelheid te veel of te weinig gealloceerde EUA's in 2005 in percentages per land. Als een land meer rechten toegekend heeft gekregen dan er nodig zijn om de volledige uitstoot te dekken is er een overschot, dit wordt weergegeven met een positief percentage.	26
Figuur 7: Schematische weergave van de Clean Dark/Spark Spread.	27
Figuur 8: Grafiek met de prijs van UK month-ahead aardgas in euro per miljoen Btu op de rechter-as (Wereldbank Database, 2015) en de prijs van EUA futures in euro per ton CO ₂ e (linker-as) met levermomenten december 2010, 2013 en 2016 (Intercontinental Exchange Database, 2015).	27

Figuur 9: Grafiek met de prijs per vat Brent-olie in dollars op de rechter-as (Federal Reserve System, 2015) en de prijs van EUA futures met levermomenten december 2010, 2013 en 2016 in euro's op de linker-as (Intercontinental Exchange Database, 2015).....	28
Figuur 10: Weergave van de kosten als het gevolg van een vermindering in uitstoot in het eerste, vijftiende en dertigste jaar van het model, berekend aan de hand van de Abatement Cost Curve (Brink, 2014). ..	30
Figuur 11: Weergave van de kosten per emissierecht bij verschillende hoeveelheden vermindering in uitstoot in het eerste, vijftiende en dertigste jaar van het model (Brink, 2014).....	31
Figuur 12: Grafiek van de marginale kosten voor een ton vermindering in CO ₂ e uitstoot gegeven een bepaalde vermindering in uitstoot. De reeks "Resultaat EPPA Model" geeft de door Morris et al. (2012) uit het EPPA model verkregen data weer. "Benadering MACC" is het resultaat van het benaderen van deze reeks.....	32
Figuur 13: Twee grafieken ter vergelijking van de (M)ACC opgesteld door het PBL en de (M)ACC opgesteld door mij aan de hand van resultaten verkregen door Morris et al. (2012) uit het EPPA model. Gezien het effect van technologische vooruitgang heb ik ze weergegeven voor het eerste en het vijftiende jaar. ..	33
Figuur 14: Weergave van de emissie zonder restrictie met een groeivoet van 0,75% en 1,80% per annum....	34
Figuur 15: Weergave van het aantal rechten dat zich in omloop, de backload en de Marktstabiliteitsreserve (MSR) bevindt, ook is het totaal aantal rechten weergegeven (linker as). Op de rechter as is de prijs van een emissierecht weergegeven. De gegevens zijn verkregen met een discountfactor van 6% en een groei in emissies zonder restricties van 0,75% per jaar.	36
Figuur 16: Grafiek van de prijs berekend aan de hand van drie verschillende scenario's met verschillende discountfactoren maar dezelfde verwachte groei in emissies, 0,75% per annum.....	37
Figuur 17: De hoeveelheid rechten in omloop berekend aan de hand van drie verschillende scenario's met verschillende discountfactoren maar dezelfde verwachte groei in emissies, 0,75% per annum.	37
Figuur 18: Weergave van de prijsontwikkeling van een emissierecht in een scenario met 0,75% en een scenario met 1,80% groei van emissies zonder restrictie per jaar. Beide scenario's hebben een discountfactor van 6%.	38
Figuur 19: Grafiek met de emissie zonder restricties met een groeivoet van 0,75% en 1,8%, ook is het aantal nieuwe rechten dat op de markt komt weergegeven.....	38
Figuur 20: schematische weergave van de reductie in uitstoot te behalen door Nederland volgens het Kyoto-protocol.	42

Lijst van tabellen

Tabel 1: Eigenschappen van de twee verschillende typen emissierechten.	11
Tabel 2: De verschillende groepen met landen binnen het Kyotoprotocol.	12
Tabel 3: Tabel met een aantal relevante emissierechten en de bijbehorende eigenschappen	15
Tabel 4: Marginale kosten per ton CO ₂ e uitstoot voor verschillende hoeveelheden vermindering in uitstoot volgens het EPPA model (Morris et al., 2012).	31
Tabel 5: Weergave van de scenario's die ik ga onderzoeken met het model beschreven in Paragraaf 3.1.....	35

Hoofdstuk 1: Onderzoeksopzet

1.1. Bedrijfsomschrijving

Ekwadraat is een adviesbureau opgericht in 2003 om bij te kunnen dragen aan de essentiële transitie naar een duurzame maatschappij. Het kantoor is gevestigd te Leeuwarden waar bijna dertig personeelsleden werken. Ekwadraat ontwikkelt en begeleidt projecten op het gebied van duurzame energie en energiebesparing. Hiervoor wordt voornamelijk samen gewerkt met de overheid, de land- en tuinbouw en het MKB, de kern van de adviezen ligt bij de realisatie en het uiteindelijke rendement van projecten.

1.2. Projectkader

Om dit zo goed mogelijk te kunnen ondersteunen wordt continu gezocht naar nieuwe en betere mogelijkheden om organisaties hierover te adviseren.

Aangezien projecten met een verduurzamende invloed vaak duurder zijn dan oude verontreinigende methodes, kan het een uitdaging zijn om het financiële plaatje rond te krijgen. Ekwadraat kijkt bij het doorrekenen van de financiële haalbaarheid momenteel niet naar invloeden van emissierechten. Binnen de organisatie bestaat het vermoeden dat het wel meenemen deze invloeden projecten financieel aantrekkelijker kan maken. Dit kan de keuze van een organisatie voor een duurzaam alternatief ondersteunen.

Het meenemen van emissierechten in het bepalen van financiële resultaten kan daarnaast ook bijdragen aan de mogelijkheden om subsidies aan te vragen. **Stimulering Duurzame Energieproductie+**, SDE+, is een subsidieregeling met een budget van ongeveer 8 miljard euro voor 2016 met als doel, zoals de naam al duidelijk maakt, om de duurzame energieproductie te stimuleren. Dit wordt gedaan door een bedrag per opgewekte **kilowattuur**, kWh, uit te betalen. De hoogte hiervan wordt bepaald aan de hand van de som die nodig is om het project rendabel te maken. Het toekennen van de subsidies begint bij de projecten met het laagste benodigde bedrag per kWh. Als de financiële gevolgen van het rekening houden met emissierechten kunnen helpen dit bedrag te verlagen zal een project dus eerder in aanmerking komen voor een SDE+ subsidie.

Daarnaast is er een tweede manier waarop emissierechten interessant kunnen zijn voor de klanten van Ekwadraat. Bedrijven met installaties die veel broeikasgassen uitstoten zijn namelijk verplicht om deze uitstoot volledig te verantwoorden door het inleveren van aangekochte emissierechten. Als Ekwadraat kennis heeft over hoe de markt van die emissierechten zich ontwikkelt kan er advies gegeven worden aan bedrijven over hoe en wanneer de benodigde rechten het best ingekocht kunnen worden. Op het moment van schrijven hebben opdrachtgevers van Ekwadraat nog niet te maken met het verplicht moeten aankopen van emissierechten, toch kan dit een interessante nieuwe markt zijn om aan te spreken.

Binnen Ekwadraat is er dus een interesse naar hoe emissierechten bij kunnen dragen aan de bedrijfsvoering. Om daar een goed antwoord op te kunnen geven is het eerst nodig om een onderzoek te doen naar de huidige en toekomstige status van de bijbehorende markten.

1.3. Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek heb ik als volgt geformuleerd:

Het vergaren van kennis over de huidige status van verschillende vormen van emissiehandel, verklaren hoe de emissiehandel is gekomen tot deze huidige staat, het voorspellen van hoe de emissiehandel zich in de toekomst gaat ontwikkelen en het bepalen van mogelijkheden voor Ekwadraat die interessant zijn om verder te onderzoeken,

door

het gebruik van wetenschappelijke literatuur om het historisch prijsverloop en de huidige status van de handel in emissierechten te analyseren, het opstellen van een model om het toekomstig prijsverloop te modelleren en eventueel te spreken met mensen die over toepasbare expertise beschikken.

Uit deze doelstelling blijkt dat het resultaat van dit onderzoek een exploratief rapport over verschillende typen emissierechten gaat zijn.

1.4. Vraagstelling

Nu ik de doelstelling van het onderzoek heb beschreven, kan ik de verschillende vragen waar mijn onderzoek antwoord op geeft opstellen. Ze bestaan uit een hoofdvraag en een aantal verschillende deelvragen die gezamenlijk het antwoord op de hoofdvraag vormen.

Hoofdvraag

De hoofdvraag van mijn onderzoek luidt:

Hoe kan Ekwadraat zo goed mogelijk inspelen op toekomstige ontwikkelingen, op het gebied van prijs en beleid, van de voor Ekwadraat, en de opdrachtgevers van Ekwadraat, relevante emissierechten?

Deelvragen

Om tot een antwoord te komen op de bovenstaande hoofdvraag dienen een aantal deelvragen beantwoord te worden, deze luiden als volgt.

1. *Wat is een emissierecht?*
2. *Welke van de emissierechten zijn voor Ekwadraat en de opdrachtgevers van Ekwadraat relevant?*

Verplichte emissierechten

3. *Wat is de huidige status van de handel in verplichte emissierechten?*
4. *Hoe is de handel in verplichte emissierechten tot deze huidige status gekomen?*
5. *Hoe gaat de handel in verplichte emissierechten zich in de toekomst ontwikkelen?*

Vrijwillige emissierechten

6. *Wat is de huidige status van de handel in vrijwillige emissierechten?*
7. *Hoe is de handel in vrijwillige emissierechten tot deze huidige status gekomen?*
8. *Hoe gaat de handel in vrijwillige emissierechten zich in de toekomst ontwikkelen?*

Aanbevelingen

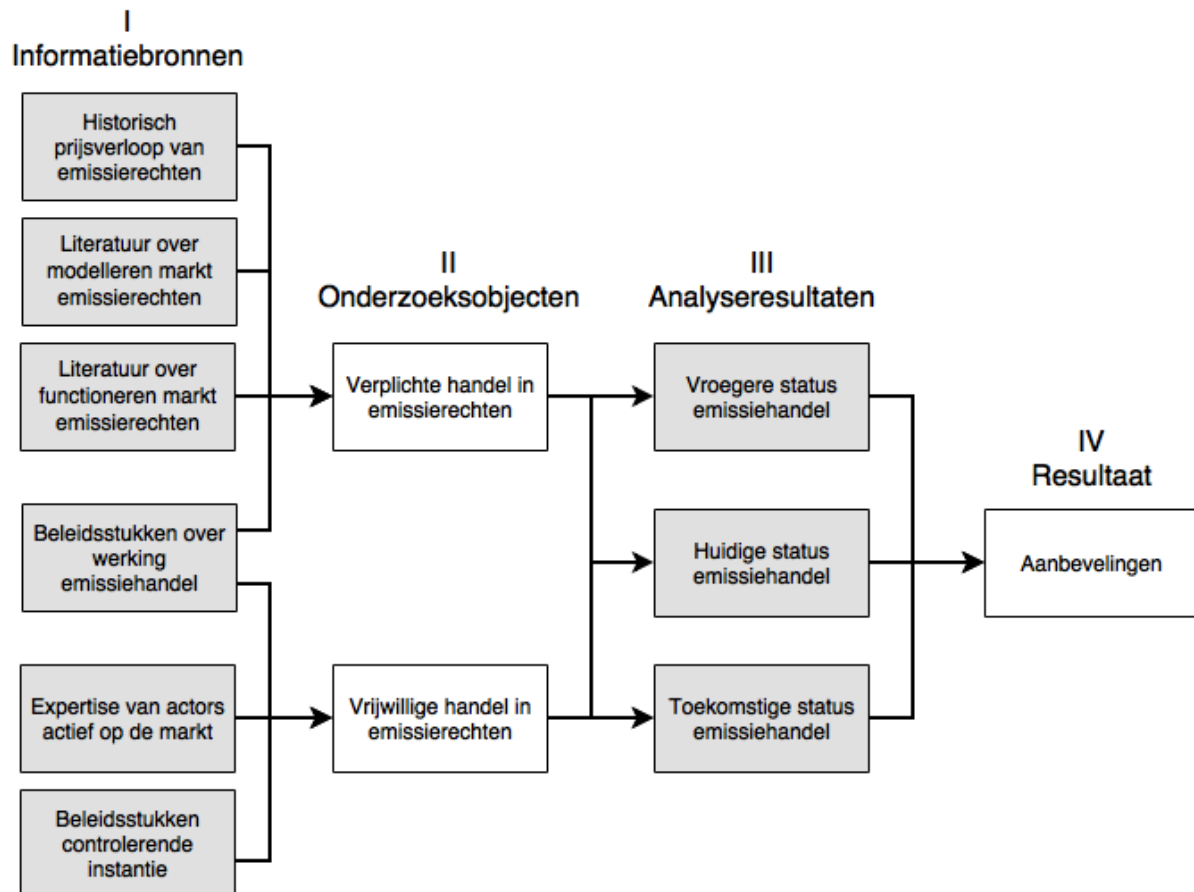
9. *Hoe kan Ekwadraat zo goed mogelijk inspelen op de toekomstige ontwikkelingen?*

De eerste drie deelvragen beantwoord ik in het tweede hoofdstuk van dit verslag. In Hoofdstuk 3 beschrijf ik vervolgens het model dat ik gebruik om Deelvraag 6 te beantwoorden. Daarna zullen de

deelvragen over de verplichte emissierechten behandeld worden in Hoofdstuk 4 en de deelvragen over de vrijwillige emissierechten in Hoofdstuk 5. Tot slot zal de hoofdvraag beantwoord worden met de conclusie.

1.5. Onderzoeksmodel

Het laatste onderdeel dat ik in dit hoofdstuk behandel is het onderzoeksmodel, het resultaat geef ik weer in Figuur 3. In die afbeelding is te zien dat het model is opgedeeld in vier delen. Links begint het model met de informatiebronnen die ik in het onderzoek ga gebruiken. Het toepassen van deze bronnen op het tweede deel, de onderzoeksobjecten, leidt tot analyseresultaten waar ik uiteindelijk mijn aanbevelingen op baseer.



Figuur 3: Grafische weergave van het onderzoeksmodel.

Hoofdstuk 2: De verschillende emissierechten

Om de volgende hoofdstukken van dit verslag te begrijpen is het nodig een goed begrip te hebben over wat de verschillende emissierechten inhouden. Daarom geef ik in dit hoofdstuk allereerst een aantal verschillende definities van een emissierecht. Daarna beschrijf ik het Kyotoprotocol en wat het met emissierechten te maken heeft. Ten slotte zal ik een aantal emissierechten beschrijven.

2.1 De definitie van een emissierecht

In deze paragraaf geef ik drie definities van een emissierecht om zo duidelijk te maken wat een emissierecht inhoudt. Zoals Bumpus en Liverman (2008) schrijven, is er geen consensus over de definitie van een emissierecht.

De eerste definitie is opgesteld door Agrawal en Tiwari (2013) en luidt als volgt:

Definitie 1: *“Een emissierecht houdt in dat de houder ervan het recht heeft om één ton koolstofdioxide-equivalent uit te stoten.”*

Deze definitie geeft de kern van een emissierecht duidelijk weer; maar wat houdt één ton koolstofdioxide-equivalent precies in? **Koolstofdioxide-equivalent**, of CO₂e, is een term die gebruikt wordt om de uitstoot van verschillende broeikasgassen uit te drukken. De noodzaak voor een dergelijke eenheid bestaat omdat niet elk broeikasgas dezelfde impact heeft. Zo heeft de uitstoot van een ton methaan dezelfde impact op het broeikaseffect als 28 ton CO₂ (Myhre et al., 2013).

De door Investopedia (2015) gehanteerde definitie voegt een belangrijke eigenschap van emissierechten toe:

Definitie 2: *“Vergunning die de houder ervan het recht geeft om een ton koolstofdioxide uit te stoten [...] die verhandeld kan worden op de internationale markt tegen de huidige marktprijs.”*

In deze definitie wordt een interessant aspect van emissierechten toegevoegd, de mogelijkheid om ze te verhandelen. Een groot deel van dit verslag zal gaan over deze handel. De bovenstaande twee definities beschrijven beide het recht tot het uitstoten van broeikasgassen. De definitie van Collins (2015) beschrijft een emissierecht op een andere manier.

Definitie 3: *“Een certificaat dat bewijst dat een overheid of bedrijf heeft betaald om een bepaalde hoeveelheid koolstofdioxide uit het milieu te laten verwijderen.”*

Volgens deze definitie is een emissierecht niet het recht tot het uitstoten van broeikasgassen, maar het bewijs dat een bepaalde hoeveelheid broeikasgas uit de atmosfeer is verwijderd. In dit verslag zal ik zowel emissierechten volgens de eerste en tweede als volgens de derde definitie behandelen.

2.2 Verplichte en vrijwillige emissiehandel

Zoals ik in de vorige paragraaf heb beschreven, zijn er twee gangbare definities van emissierechten. De eerste definitie definieert een emissierecht als een certificaat dat de houder ervan het recht geeft om een ton CO₂e uit te stoten. De andere definitie definieert een emissierecht als het bewijs dat de uitstoot van een ton CO₂e voorkomen is. In deze paragraaf licht ik toe wat verplichte en vrijwillige emissiehandel inhouden en wat dit te maken heeft met de verschillende definities.

2.2.1 Verplichte emissiehandel

De naam van dit type emissiehandel maakt het al duidelijk, deelname is verplicht. Organisaties die onder een dergelijk systeem vallen, mogen niet langer onbeperkt broeikasgassen uitstoten. Ze moeten hun volledige uitstoot verantwoorden door emissierechten aan te kopen, dit sluit aan bij Definitie 1 en 2 uit de vorige paragraaf.

Het beste voorbeeld van een verplicht systeem is het **European Union Emission Trading Scheme**, oftewel het EU ETS. Dit systeem van emissiehandel is één van de manieren waarop de Europese Commissie de uitstoot van broeikasgassen probeert te beperken. Elke organisatie in de deelnemende landen met een verbrandingsinstallatie waarvan het thermisch vermogen 20MW of meer is, valt er verplicht onder. Dit houdt in dat een onder het EU ETS vallende organisatie haar volledige uitstoot moet verantwoorden met emissierechten. De Europese Commissie bepaalt hoeveel emissierechten er “gecreëerd” worden en op de markt gebracht worden, daarmee kan de uitstoot gestuurd worden.

Uit deze paragraaf en de bijbehorende definities wordt duidelijk dat het controleren van de hoeveelheid uitstoot het doel is van verplichte emissiehandel.

2.2.2 Vrijwillige emissiehandel

De tweede vorm van emissiehandel, vrijwillige, werkt geheel anders. Bij deze vorm van emissiehandel wordt niemand verplicht om emissierechten te kopen. Emissierechten uit een vrijwillig systeem kunnen door elke organisatie gekocht worden die haar uitstoot wilt compenseren.

Waar emissierechten in een verplicht systeem “uit het niets” gecreëerd kunnen worden door de daarvoor verantwoordelijke partij, is dit bij emissierechten in een vrijwillig systeem niet mogelijk. Zoals Definitie 3 beschrijft, worden emissierechten in een vrijwillig systeem toegekend aan partijen die aantoonbaar verantwoordelijk zijn voor een afname in de emissie van een project. De partijen aan wie de rechten toegekend worden, kunnen ze vervolgens verkopen aan andere organisaties die de door hen veroorzaakte emissie vrijwillig willen compenseren. Een voorbeeld van een organisatie die dergelijke rechten koopt, is een bank die een groen imago nastreeft.

	Deelname	Doel	Organiserende partij	Oorsprong
Verplichte emissiehandel	Verplicht	Controleren van emissies.	Overheden	Vastgesteld aantal wordt “gecreëerd” en geveild.
Vrijwillige emissiehandel	Vrijwillig	Beperken van emissies door organisaties de mogelijkheid te geven gemakkelijk te investeren in uitstoot beperkende project.	Non gouvernementele organisaties	Toekenning aan organisaties die een emissie reducerend project organiseren.

Tabel 1: Eigenschappen van de twee verschillende typen emissierechten.

2.3 Het UNFCCC en het Kyoto-protocol

Om goed uit te kunnen leggen waar een groot deel van de emissierechten en de bijbehorende mechanismes uit voortkomen, zal ik de door de Verenigde Naties (1998) gehanteerde definitie van het Kyoto-protocol geven en toelichten.

“Het doel van het Kyoto-protocol is de concentratie broeikasgassen in de atmosfeer te reduceren tot een niveau waarop gevaarlijke invloeden op het milieu, internationale handel en sociale, ecologische en economische invloeden op andere partijen, in het bijzonder ontwikkelingslanden, wordt geminimaliseerd.”

Het in 1997 opgestelde Kyoto-protocol is een onderdeel van het **Klimaatverdrag van de Verenigde Naties**, oftewel UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). Om het protocol in werking te laten treden gold de eis dat minstens 55 landen die gezamenlijk verantwoordelijk zijn voor 55% van de globale uitstoot het protocol ratificeren. Dit gebeurde op 16 februari 2005 waarmee het protocol in werking trad, in het totaal hebben 192 landen het Kyoto-protocol ondertekend. Voor de eerste periode van het protocol, 2008 tot en met 2012, hebben 35 landen een bindende maximum uitstoot afgesproken. Afhankelijk van de economische situatie kan de doelstelling variëren van een 28% afname (Luxemburg) tot een 27% toename (Portugal) ten opzichte van de uitstoot in 1990. Dit maximum is niet alleen bindend doordat de landen het protocol ondertekend hebben, maar ook

doordat het mogelijk is om sancties op te leggen aan landen die hun doelstelling niet halen. Een belangrijke kanttekening hierbij is dat er veel twijfel is over de kracht van de sancties, onder andere beschreven door Grubb (2003).

Alle landen die deelnemen aan het UNFCCC zijn verdeeld in groepen met verschillende rechten en plichten. Een aantal voor dit verslag belangrijke groepen zal ik toelichten, ook worden deze weergegeven in Tabel 2. De eerste groep die ik toelicht is Annex I. Binnen deze groep vallen de geïndustrialiseerde landen en de landen met een overgangseconomie. Laatstgenoemde zijn landen die in de overgang zitten van een centraal geplande economie naar een markteconomie of deze overgang in de recente geschiedenis hebben doorgemaakt. Een deel van Annex I vormt Annex II, deze landen zijn lid van de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling en hebben zichzelf verplicht om ontwikkelingslanden en landen met een economie in overgang op financieel en technisch gebied te ondersteunen. De volgende groep is Non-Annex I, deze bestaat voornamelijk uit ontwikkelingslanden, deze landen kunnen zich voordragen als Annex I land indien ze genoeg ontwikkeld zijn. De laatste groep is Least-developed Countries, in deze groep zitten de 49 minst ontwikkelde landen. Deze landen hebben een speciale status aangezien ze beperkt kunnen reageren op klimaatverandering. In Appendix A geef ik weer welke landen in welke groep zitten.

	Type land	Aantal
Annex I	Geïndustrialiseerde landen en landen met een overgangseconomie.	43
Annex II	Landen waarvan verwacht wordt dat ze ontwikkelingslanden en landen met een overgangseconomie financieel en technisch ondersteunen. Subgroep van Annex I.	24 (inclusief Europese Unie)
Non-Annex I	Ontwikkelingslanden, deze landen kunnen zich voordragen als Annex I land indien ze genoeg ontwikkeld zijn.	154
Least-developed Countries	De 48 minst ontwikkelde landen die deelnemen aan het UNFCCC. Deze landen hebben een speciale status aangezien ze beperkt kunnen reageren op klimaatverandering. Subgroep van Non-Annex I.	48

Tabel 2: De verschillende groepen met landen binnen het Kyoto-protocol.

Om enige flexibiliteit te creëren in hoe landen hun bindende doelstelling kunnen behalen zijn er drie “Flexibility Mechanisms” opgenomen in het protocol: Emission Trading, het Clean Development Mechanism en Joint Implementation.

Emission Trading, oftewel emissiehandel, maakt het mogelijk voor landen om onderling te handelen in emissieruimte. Op deze manier kan een land emissieruimte kopen van een land dat emissieruimte over heeft. Dit zorgt er voor dat de totale emissie gelijk blijft en er flexibiliteit ontstaat voor de deelnemende landen.

Het **Clean Development Mechanism**, oftewel CDM, is een mechanisme dat landen of organisaties in staat stelt emissierechten te verkrijgen door te investeren in emissiereducerende projecten in ontwikkelingslanden. Specifieker gaat het hier om investeringen van Annex I landen in Non-Annex I landen.

Naast het creëren van flexibiliteit in het behalen van doelstellingen is er nog een reden voor het bestaan van dit mechanisme; in ontwikkelingslanden is het relatief goedkoop om een uitstootvermindering te realiseren, maar de lokale organisaties en overheden hebben er het geld niet voor. Dit mechanisme maakt het interessant voor organisaties en Annex I landen om te investeren in dergelijke projecten waardoor de kans groter wordt dat emissiereducerende projecten in ontwikkelingslanden van de grond komen.

Het derde mechanisme kan enkel gebruikt worden door landen. **Joint Implementation**, JI, stelt een Annex I land in staat om in elk ander Annex I land te investeren in emissiereducerende projecten. Het aantal emissierechten van het investerende land neemt toe met de hoeveelheid uitstoot die vermeden wordt door het project. Aangezien de totale emissieruimte van alle landen gelijk moet blijven, gaat de emissieruimte van het land waar het project zich bevindt, omlaag met de hoeveelheid vermeden uitstoot.

2.4 Beschrijving van verschillende emissierechten

Er zijn veel verschillende emissierechten in omloop, in deze paragraaf zal ik een overzicht geven van de meest voorkomende. Eerst behandel ik de emissierechten die bruikbaar zijn voor overheden, daarna zullen de emissierechten aan bod komen die door **non gouvernementele organisaties** (NGO's) gebruikt worden en als laatste de rechten die door beide gebruikt kunnen worden. Om het overzicht te bewaren, herhaal ik in een tabel aan het einde van de paragraaf, de belangrijkste eigenschappen van de verschillende emissierechten.

2.4.1 Emissierechten bruikbaar door overheden

Assigned Amount Unit

De **Assigned Amount Unit**, oftewel AAU, is een emissierecht dat gebruikt wordt door Annex I landen om de in het Kyotoprotocol afgesproken bindende maximale uitstoot te controleren. Dit bindend maximum wordt de Assigned Amount genoemd en is uitgedrukt in een aantal ton CO₂e. Voor iedere ton krijgt het land één Assigned Amount Unit. Een land moet voor elke ton CO₂e uitstoot een AAU hebben, op deze manier worden landen verplicht om zich aan hun doelstelling te houden. Indien een land een lagere uitstoot realiseert dan verwacht, kan het land AAU's verkopen aan andere landen, maar als een land te weinig AAU's heeft, moet het AAU's bijkopen of een boete betalen.

Removal Unit

Een **Removal Unit**, RMU, is het tweede door Annex I landen gebruikte emissierecht. RMU's worden toegekend aan landen voor de absorptie van broeikasgassen door landgebruik en de verandering daarvan. In het Kyotoprotocol wordt dit LULUCF genoemd: **Land Use, Land-use Change and Forestry**. Een mooi voorbeeld hiervan is het aanleggen van een bos, als bomen groeien, leggen ze CO₂ vast en verdwijnt het dus uit de atmosfeer. Verdergaande op hetzelfde voorbeeld, is het belangrijk dat het bos voor een langere tijd blijft staan, anders komt de CO₂ weer vrij. Het laatste belangrijk punt bij het toekennen van RMU's is dat de verandering van het landgebruik niet plaats gevonden zou hebben zonder inmenging. Als er bijvoorbeeld op een stuk land vanzelf bomen gaan groeien kunnen daar geen rechten voor verkregen worden. RMU's zijn verhandelbaar en geven een land dezelfde rechten als Assigned Amount Units, het recht om een ton CO₂e uit te stoten.

Emission Reduction Unit

Zoals beschreven in Paragraaf 2.3 kunnen Annex I landen emissierechten verkrijgen door te investeren in uitstoot beperkende projecten in andere Annex I landen. De rechten die het investerende land ontvangt, gaan ten laste van de hoeveelheid AAU's van het gastland. Echter zijn het niet AAU's die aan het investerende land worden toegekend. Voor elke ton CO₂e minder uitstoot, moet het gastland één AAU inleveren en ontvangt het investerende land één **Emission Reduction Unit**, oftewel een ERU. Deze ERU's worden bij het aantal AAU's van het land opgeteld op het moment dat er wordt bepaald of het land haar doelstelling heeft behaald.

2.4.2 Emissierechten bruikbaar door non gouvernementele organisaties

European Union Allowance

De **European Union Allowance**, EUA, is het standaard emissierecht binnen het EU ETS, een verplicht systeem voor emissiehandel binnen de Europese Unie. Een groot deel van mijn onderzoek zal gaan over het EU ETS, ik zal daarom hier kort uitleggen wat een EUA inhoudt. In Hoofdstuk 4 ga ik er uitgebreider op in door ook het gehele systeem uitgebreid te beschrijven.

Alle organisaties die onder het EU ETS vallen, moeten genoeg EUA's hebben om hun volledige uitstoot te dekken, elke EUA geeft het recht om één ton CO₂e uit te stoten. EUA's zijn vrij verhandelbaar en worden veelal op een exchange verhandeld. Een deel van de op een exchange aangeboden EUA's komt van organisaties die een overschot hebben. Het andere deel wordt op de exchange geveild door de Europese Commissie. Langs die weg worden nieuwe rechten op de markt gebracht. Het aantal nieuwe rechten wordt bepaald door de Europese Commissie, op deze manier dan de EC bepalen wat de totale uitstoot gaat zijn van de organisaties onder het EU ETS.

Verified Carbon Unit

De **Verified Carbon Unit**, VCU, is het emissierecht binnen de vrijwillige **Verified Carbon Standard**. Dit systeem is volgens Gonzales en Peter-Stanley (2014) het meest gebruikte vrijwillige systeem. De VCS is in gebruik sinds 2008 en sindsdien zijn er 181 miljoen Verified Carbon Units, VCU's, uitgegeven, deze rechten komen voort uit 1.008 projecten (VCS Project Database, 2016). De VCU is dus de eenheid die wordt gebruikt binnen de VCS, een VCU staat voor één ton vermeden CO₂e emissie.

Doordat de VCS geen onderdeel is van de verplichte markt maar van de vrijwillige markt worden de rechten anders gebruikt. Als voorbeeld van het nut van een vrijwillig emissierecht kan men denken aan een bedrijf dat graag CO₂ neutraal wil zijn om zijn reputatie te verbeteren. Aangezien het voor een bedrijf zeer lastig is om daadwerkelijk geen CO₂ uit te stoten, kan het vrijwillige emissierechten opkopen. Door voor elke ton CO₂ uitstoot een emissierecht te kopen is een bedrijf CO₂ neutraal. In Hoofdstuk 5 ga ik uitgebreider in op de Verified Carbon Standard en beschrijf ik een door mij uitgevoerde casestudy.

2.4.3 Emissierechten bruikbaar door overheden en non gouvernementele organisaties

Certified Emission Reduction

Het tweede type emissierecht dat binnen het EU ETS gebruikt kan worden, is de **Certified Emission Reduction**, CER. Deze rechten zijn te verkrijgen via het Clean Development Mechanism, hoe dit precies gebeurt heb ik in Paragraaf 2.3 beschreven.

Onder het CDM mogen organisaties investeren in de verduurzaming van projecten in niet Annex I landen. De hoeveelheid CO₂e die door de investering in het project minder wordt uitgestoten ten opzichte van het project zonder de investering, wordt in de vorm van deze emissierechten aan de investerende partij overhandigd. Deze CER's kunnen daarna door de investerende partij gebruikt worden ter vervanging van EUA's of AAU's. Binnen het EU ETS kan een organisatie maximaal 10% van zijn uitstoot verantwoorden door middel van CER's, de rest dient verantwoord te worden door EUA's.

2.4.4 De voor Ekwadraat interessante emissierechten

In het verdere verslag ga ik in op de twee voor Ekwadraat meest interessante emissierechten. Ik behandel de European Union Allowance, omdat het EU ETS verreweg het grootste systeem is in Europa. Daarnaast behandel ik de Verified Carbon Unit, het emissierecht dat mogelijk verkrijgbaar wordt voor een groot aantal opdrachtgevers van Ekwadraat.

		Oorsprong	Systeem	Methode van verkrijgen	Controlerende organisatie	Verplichte deelname	Te gebruiken in verplicht systeem	Opmerking
Overheid	Assigned Amount Unit (AAU)	Kyoto	-	Elk land met een bindende doelstelling krijgt evenveel AAU's als de doelstelling bedraagt.	Conference of the Parties of the Kyoto convention	Ja	Ja	
	Removal Unit (RMU)	Kyoto	-	Uitgifte aan landen voor de absorptie van broeikasgassen door landgebruik en de verandering daarvan.	Conference of the Parties of the Kyoto convention	Nee	Ja	
	Emission Reduction Unit (ERU)	Kyoto (flexibility mechanism)	Joint Implementation (JI)	Emissiereducerende projecten in geïndustrialiseerde landen (Annex I).	Joint Implementation Supervisory Committee	Nee	Ja	Elke uitgegeven ERU gaat ten koste van het aantal AAU's van het gastland.
Beide	Certified Emission Reduction (CER)	Kyoto (flexibility mechanism)	Clean Development Mechanism (CDM)	Emissiereducerende projecten in ontwikkelingslanden (Non-Annex I).	CDM executive Board	Nee	Ja	
Non gouvernementale organisaties	European Union Allowance (EUA)	European Union	European Union Emission Trading Scheme	Door de Europese Commissie bepaalde hoeveelheid wordt geveild.	Europese Commissie	Ja	Ja	Van toepassing op organisaties met een installatie groter dan 20 MW thermisch vermogen.
	Verified (of Voluntary) Emissions Reduction (VER)	Onafhankelijk	-	Emissiereducerende projecten.	Onafhankelijke derde partij	Nee	Nee	Emissiereducerende projecten worden regelmatig VER gecertificeerd in afwachting op een CDM of JI certificatie.
	Verified Carbon Unit (VCU)	Onafhankelijk	Verified Carbon Standard	Emissiereducerende projecten.	Verified Carbon Standard en derde partij ter controle	Nee	Nee	

Tabel 3: Tabel met een aantal relevante emissierechten en de bijbehorende eigenschappen

Hoofdstuk 3: Theoretisch kader

In dit hoofdstuk kijk ik naar de theoretische kant van mijn onderzoek. Dit houdt in dat ik de theorie beschrijf achter het intertemporeel optimalisatiemodel. Deze theorie gebruik ik in het volgende hoofdstuk om het toekomstig prijsverloop van European Union Allowances te modelleren.

3.1 Het intertemporeel optimalisatiemodel

In deze paragraaf leg ik uit hoe ik een intertemporeel optimalisatiemodel ga toepassen in mijn onderzoek. Dit doe ik door allereerst uit te leggen welke aannames ten grondslag liggen aan het model. Daarna zal ik toelichten wat een intertemporeel optimalisatiemodel inhoudt en beschrijf ik het model dat ik gebruik. Het door mij gebruikte model is gebaseerd op een bestaand model van het Planbureau voor de Leefomgeving, de basis van dit model is openbaar. Ik zal daarom het model in twee delen toelichten, eerst het deel dat ik overneem van het Planbureau voor de Leefomgeving en daaropvolgend mijn toevoeging. Het doel van het model, dat ik in de komende paragrafen zal beschrijven, is het modeleren van de prijsontwikkeling van een EUA.

3.1.1 De aannames

Alvorens ik begin met het toelichten van het model, is het nodig om een aantal aannames te formuleren. De volgende vijf veronderstellingen zijn nodig, omdat ze het fundament van het model vormen.

- **Organisaties opereren kosten minimaliserend.** Dit houdt voor mijn model in, dat ze, over alle periodes opgeteld, de goedkoopste manier zullen zoeken, en vinden, om te voldoen aan de opgelegde emissienormen.
- **De markt als geheel functioneert als een perfect geïnformeerde actor die altijd begint met het realiseren van de goedkoopste emissieverminderingen.** In het model bereken ik de prijs van een emissierecht door deze gelijk te stellen aan de marginale kosten van een vermindering in emissie, dit is alleen mogelijk als deze aanname stand houdt. Deze aanname is ook nodig om aan te kunnen nemen dat de goedkoopste manier wordt gevonden om als gehele markt aan de emissienormen te voldoen.
- **Het aantal EUA's dat jaarlijks op de markt gebracht wordt, is bekend en zal niet veranderen.** Deze aanname is nodig aangezien een verandering in dit aantal leidt tot een hogere of lagere prijs van emissierechten. De hoeveelheid op de markt te brengen rechten wordt bepaald door de Europese Commissie en theoretisch gezien kunnen ze deze aanpassen. Maar omdat hier zeer strenge regels voor gelden, om te voorkomen dat markt de verstoord wordt, is het onwaarschijnlijk dat er een aanpassing in het aantal rechten komt. Mocht het aantal rechten wel gewijzigd worden blijft het model kloppen, door de invoervariabelen aan te passen kunnen er nieuwe resultaten verkregen worden.
- **Het benaderen van de markt met een periodiek model levert geen significant ander resultaat op dan een continu model.** De markt die ik modeler is in de werkelijkheid uiteraard continu, maar in mijn onderzoek gebruik ik een periodiek model.
- **De kosten van een reductie in de uitstoot van broeikasgassen zijn vast te stellen.** Het is uiteraard nodig om deze kosten te weten om te kunnen bepalen wat de minimale kosten zijn om aan de emissienormen te voldoen. In Paragraaf 3.1.5 zal ik toelichten hoe ik deze kosten ga bepalen.

3.1.2 Beschrijving van het intertemporeel optimalisatiemodel – deel PBL

Nu duidelijk is wat het doel van het model is en welke aannames eraan ten grondslag liggen zal ik het model toelichten. Eerst zal ik het deel van het model beschrijven dat ik overneem van het PBL (Brink, 2014), daarna zal ik mijn eigen toevoeging toelichten. Het deel van het model dat ik in deze paragraaf beschrijf, heb ik overgenomen van het PBL, in de volgende paragraaf komt mijn toevoeging aan bod.

Voordat ik het model beschrijf, is het belangrijk om op te merken dat alle variabelen die een emissiehoeveelheid representeren, weergegeven zijn in megatonnen CO₂e en het totaal zijn van alle organisaties die onder het EU ETS vallen.

De doelfunctie

Zoals ik heb verteld in de voorgaande paragrafen is het doel van dit model het minimaliseren van de totale kosten veroorzaakt door een restrictie op de uitstoot van broeikasgassen. Logischerwijs komt dit terug in de doelfunctie, weergegeven als Formule (1). De doelfunctie van het model is dient geoptimaliseerd te worden, in dit model is dat minimaliseren. Formule (1) moet het doel van het model weergeven; de totale kosten veroorzaakt door een restrictie op de uitstoot. Om deze totale kosten te berekenen, dienen de kosten voor alle perioden in het model gesommeerd te worden. De jaren in het model worden weergegeven met de variabele t en het laatste jaar is T , dus de sommatie loopt zoals in de functie is weergegeven van $t=1$ tot en met T .

Nu duidelijk is dat er gesommeerd wordt, moeten de te sommeren waardes bepaald worden. De kosten van een emissievermindering worden berekend door de functie C_t met als invoer a_t . De variabele a_t is de hoeveelheid vermindering in uitstoot in jaar t , ten opzicht van de situatie zonder restricties. Een belangrijke opmerking is dat a_t een beslissingsvariabele is. De functie C_t zal ik later in dit hoofdstuk toelichten.

De waardes van $C_t(a_t)$ worden verdisconteerd. Kort gezegd houdt verdisconteren in dat naarmate kosten verder in de toekomst plaatsvinden, ze minder zwaar worden gewogen. De verdisconteringsfactor wordt berekend door de breuk aan het eind van Functie (1). Doordat r per definitie groter of gelijk is aan 0, wordt de verdisconteringsfactor kleiner wordt naarmate t toe neemt. De variabele r bepaalt hoe snel er verdisconteerd wordt, een grotere waarde zorgt voor snellere verdiscontering. Dit heeft als gevolg dat er een sterkere nadruk komt te liggen op de kosten die in eerdere jaren worden gemaakt. Er zijn veel verschillende manieren om r te bepalen, hier zal ik in Paragraaf 4.3.2 verder op in gaan.

$$\text{Minimize } \sum_{t=1}^T C_t(a_t) \frac{1}{(1+r)^t} \quad (1)$$

De uitstoot zonder restrictie

In de vorige paragraaf is duidelijk geworden dat het nodig is om te weten wat de vermindering in uitstoot is ten opzicht van een situatie zonder restricties. Om die vermindering te bepalen is het nodig om te weten hoeveel de uitstoot zou zijn in een situatie zonder restricties, weergegeven met de variabele u_t . Deze variabele wordt berekend door Formule (2), hierin komen twee variabelen voor die een toelichting vergen, u_0 en g . u_0 geeft de emissie in het eerste jaar van het model weer. Deze beginwaarde wordt gebruikt om voor elk jaar de emissie zonder restrictie te bereken, dit gebeurt door u_0 te vermenigvuldigen met $(1+g)^{t-1}$. Hierin staat g voor de jaarlijkse groei in emissies indien er geen restricties zouden zijn. Door $1+g$ te verheffen tot de macht $t-1$ is in de eerste periode Formule (2) gelijk aan u_0 . In de daarop volgende perioden wordt u_0 het juiste aantal maal met g vermenigvuldigd.

$$u_t = u_0(1 + g)^{t-1}, \quad \forall t \quad (2)$$

De waarde van u_0 lit ik later toe in Hoofdstuk 4 bij het bepalen van de invoer voor het model.

De daadwerkelijke emissie

In de vorige paragraaf heb ik uitgelegd hoe de voorspelde emissie zonder restrictie tot stand komt, nu zal ik toelichten hoe de daadwerkelijke emissie voorspeld wordt. De daadwerkelijke emissie wordt weergegeven door de variabele e_t . Deze variabele wordt berekend zoals weergegeven in Formule (3), de emissie zonder restrictie minus de vermindering in uitstoot. Zoals ik eerder heb verteld is a_t in dit geval de beslissingsvariabele. Aangezien een negatieve emissie niet realistisch is, is de randvoorwaarde weergegeven als Formule (4) toegevoegd aan het model. Ook zorgt dit ervoor dat de emissievermindering niet groter kan zijn dan de emissie zonder restrictie.

$$e_t = u_t - a_t, \quad \forall t \quad (3)$$

$$e_t \geq 0, \quad \forall t \quad (4)$$

Banking

Het volgende onderdeel dat ik aan het model toevoeg, is het meenemen van rechten naar een volgende periode, in het EU ETS heet dit banking.

Banking is gemakkelijk in het model te verwerken door een variabele toe te voegen die weergeeft hoeveel ongebruikte rechten er in omloop zijn. Deze variabele, b_t , is gelijk aan de hoeveelheid ongebruikte rechten uit de vorige periode, gecorrigeerd met een mutatie. Deze mutatie is te bepalen aan de hand van het aantal rechten dat op de markt wordt gebracht door de Europese Commissie en de daadwerkelijke emissie. Als de daadwerkelijke emissie hoger is dan het aantal rechten dat op de markt gebracht wordt, dan neemt het aantal ongebruikte rechten af en vice versa. Dit mechanisme wordt weergegeven in Formule (5). In deze formule is b_{t-1} het aantal ongebruikte rechten uit de vorige periode, $\bar{e}_t$ is het aantal rechten dat in het jaar op de markt wordt gebracht en e_t is de daadwerkelijke emissie.

$$b_t = \underbrace{b_{t-1}}_{\text{Vorige periode}} + \underbrace{\bar{e}_t - e_t}_{\text{Mutatie}}, \quad \text{voor } t \in \{2, 3, \dots, T-1\} \quad (5)$$

$$b_1 = b_{start} \quad (6)$$

$$b_t \geq 0, \quad \forall t \quad (7)$$

De waarde van b_{start} leg ik uit in Hoofdstuk 4. Het is belangrijk om de restrictie weergegeven in Formule **Error! Reference source not found.** op te nemen in het model. Zonder deze restrictie zou de waarde van b_t negatief kunnen zijn wat resulteert in een oneindige voorraad emissierechten. Dit zou een voordelige situatie zijn, maar het is natuurlijk niet mogelijk.

3.1.3 Beschrijving van het intertemporeel optimalisatiemodel – eigen toevoeging

De delen van het model die ik vanaf hier toelicht zijn mijn eigen toevoeging aan model van het PBL.

Marktstabiliteitsreserve

De **marktstabiliteitsreserve**, oftewel MSR, is een maatregel van de Europese Commissie (2014) om het overschot aan emissierechten terug te brengen en om stabiliteit te creëren. Dit gebeurt door rechten van de markt te halen of juist extra op de markt te brengen, indien dit nodig is. De rechten die op deze manier van de markt gehaald worden belanden in de reserve, de rechten worden daar uitgehaald als er te weinig rechten op de markt zijn. Mocht het gebeuren dat de reserve leeg is terwijl er te weinig rechten op de markt zijn, dan wordt er niet ingegrepen. Een belangrijk detail is het moment van ingrijpen. Elk jaar publiceert de Europese Commissie in mei de status van het EU ETS, waaronder het

aantal rechten in omloop. Als dit er te veel of te weinig zijn, dan wordt de hoeveelheid te veilen rechten voor het daaropvolgende jaar aangepast. In het model dat ik nu bespreek, is het niet mogelijk om dit peilmoment in mei te leggen aangezien het model werkt met een periode van een jaar. Om dit zo precies mogelijk te modeleren wordt er naar de hoeveelheid rechten in de vorige periode gekeken. Dit houdt in dat de keuze om al dan niet in te grijpen in periode t , afhangt van b_{t-1} .

Om te bepalen wanneer er ingegrepen wordt, is er een onder- en bovengrens vastgelegd, respectievelijk 400 en 833 miljoen EUA's. Naast weten wanneer er ingegrepen wordt, is het ook nodig om te weten hoe sterk er ingegrepen wordt, gelukkig heeft de Europese Commissie ook daar regels voor aangenomen. Als het aantal rechten op de markt in een jaar t hoger is dan de grenswaarde, dan wordt in het daaropvolgende jaar, $t+1$, het te veilen aantal rechten verminderd met 12% van de hoeveelheid rechten op de markt in het jaar t . In de omgekeerde situatie, als er te weinig rechten op de markt zijn, dan worden er 100 miljoen EUA's vanuit de MSR op de markt gebracht.

Nu duidelijk is hoe de marktstabiliteitsreserve functioneert, zal ik uitleggen hoe ik het verwerk in het model. Uiteraard dient er een variabele toegevoegd te worden om bij te houden uit hoeveel rechten de MSR bestaat, dit is m_t . De waarde van deze variabele bestaat uit drie verschillende factoren, "vorige periode", "toevoegen aan MSR" en "verwijderen uit MSR". De eerste factor is uiteraard het niveau van de reserve in de voorgaande periode, in Formule (8) weergegeven als m_{t-1} . De tweede factor is een eventuele toename van de reserve. Als dit plaatsvindt, is de booleaanse variabele p_{t-1} gelijk aan 1, in elke andere situatie is p_{t-1} gelijk aan 0. In de formule wordt gekeken naar p_{t-1} , omdat het al dan niet ingrijpen op het aantal rechten afhangt van de hoeveelheid rechten in omloop in de vorige periode. De laatste factor van de formule is de mutatie voor de situatie waarin er rechten vanuit de reserve naar de markt worden verplaatst. Deze toevoeging lijkt veel op de vorige, wederom is er een booleaanse variabele, in dit geval q_{t-1} . Deze variabele is gelijk aan 1 als er rechten vanuit de reserve naar de markt worden gebracht en gelijk aan 0 in elke andere situatie. Dit komt er dus op neer dat er 100 miljoen rechten extra naar de markt worden gebracht als er in de voorgaande periode minder dan 400 miljoen EUA's in omloop zijn. Indien er voor een langere periode minder dan 400 miljoen rechten op de markt zijn, doet zich waarschijnlijk de situatie voor dat de MSR leeg is. Om te garanderen dat de variabele m_t in die situatie geen negatieve waarde aanneemt is de restrictie weergegeven in Formule (9) toegevoegd.

$$m_t = \underbrace{m_{t-1}}_{\text{Vorige periode}} + \underbrace{\frac{p_{t-1} * 0.12 * b_{t-1}}{\text{Toevoegen aan MSR}}}_{\text{Toevoegen aan MSR}} - \underbrace{\frac{q_{t-1} * 100}{\text{Verwijderen uit MSR}}}_{\text{Verwijderen uit MSR}}, \quad \text{voor } t \in \{t_{MSR} + 1, \dots, T\} \quad (8)$$

$$m_t \geq 0, \quad \forall t \quad (9)$$

Zoals te zien valt, geldt Formule (8) niet in elke periode. De reden hiervoor is dat de reserve niet direct vanaf het begin van het model in operationeel is. Volgens het besluit van de Europese Commissie treedt de MSR vanaf 2019 in werking, t_{MSR} is het jaar waarin de reserve voor het eerst operationeel is. De jaren hiervoor is de reserve leeg en is m_t gelijk aan 0, het is nodig om dit door middel van Formule (10) als restrictie aan het model toe te voegen, anders zou de beginwaarde groter dan 0 worden, omdat dit een gunstige invloed heeft op de kosten.

$$m_t = 0, \quad \text{voor } t \in \{1, 2, \dots, t_{MSR} - 1\} \quad (10)$$

Formule (10) loopt tot één jaar voordat de MSR operationeel wordt en Formule (8) begint het jaar nadat de reserve operationeel wordt. De reden dat er een aparte formule is voor periode t_{MSR} heeft te maken met het besluit van de Europese Commissie om een zogenaamde backloading toe te passen. Als onderdeel van deze backloading wordt een deel van het aantal te veilen rechten in 2014, 2015 en 2016 niet geveild. Deze rechten worden achtergehouden en in de reserve geplaatst in de periode dat

deze operationeel wordt. In die periode geldt daarom Formule (11), de backloading is aangegeven met BL .

$$m_t = m_{t-1} + p_{t-1} * 0.12 * b_{t-1} - q_{t-1} * 100 + BL, \quad \text{voor } t = t_{MSR} \quad (11)$$

De hoeveelheid rechten in omloop, b_t , heb ik tot nu gemodelleerd zoals weergegeven in Formule (5), maar die formule houdt geen rekening met de MSR en moet daarom aangepast worden. Net zoals in Formule (8) moet er een deel toegevoegd worden om rechten van en naar de MSR te kunnen verplaatsen. In Formule (8) heb ik een onderscheid gemaakt tussen drie verschillende termen, vorige periode, Toevoegen aan MSR en Verwijderen uit MSR. Van deze termen moeten de tweede en de derde ook toegevoegd worden aan Formule (5) maar met een omgekeerd teken. Dit is logisch aangezien alle rechten die van de markt gehaald worden er in de reserve bij moeten komen en vice versa. Het resultaat hiervan is weergegeven als Formule (12), vanaf t_{MSR} wordt deze gebruikt in plaats van Formule (5).

$$b_t = b_{t-1} + \bar{e}_t - e_t - p_{t-1} * 0.12 * b_t + q_{t-1} * 100, \quad \text{voor } t \in \{t_{MSR}, \dots, T-1\} \quad (12)$$

Booleaanse variabelen en de Big-M Method

In de vorige paragraaf heb ik de twee booleaanse variabelen p_t en q_t geïntroduceerd. Deze variabelen worden gebruikt om de toenames en afnames van de MSR te modeleren. Als het aantal rechten op de markt hoger is dan 833 miljoen moet p_t de waarde 1 krijgen en als het aantal lager is dan 400 miljoen moet q_t de waarde 1 krijgen. Om dit te modeleren zal ik gebruik maken van de door Winston en Goldberg (2004) beschreven “Big M Method”. Deze methode geeft de mogelijkheid om een “als, dan” constructie te modelleren. Om te zorgen dat de variabelen q_t en p_t de goede waardes aannemen zijn vier formules nodig. Formule (13) en (14) om de waarde van p_t te regelen en Formule (15) en (16) om q_t te sturen. In al deze formules komt de “Big M” terug met een waarde van 25.000, dit is een arbitrair getal. De enige vereiste is dat de “Big M” groter is dan de mogelijke waardes van b_t .

Formule (13) zorgt ervoor dat q_t gelijk is aan 1 als b_t onder de 400 zakt. Als b_t een dergelijk lage waarde aanneemt, dan is de linkerkant van de formule groter dan nul. De rechterkant van de formule moet groter dan of gelijk aan de linkerkant zijn, de enige mogelijkheid daartoe is met een q_t van 1.

$$400 - b_t \leq 25000q_t, \quad \text{voor } t \in \{t_{MSR}, \dots, T\} \quad (13)$$

Met enkel de bovenstaande formule is er nog geen sturing op de waarde van q_t als b_t groter is dan 400, Formule (14) brengt daar verandering in. Deze formule lijkt veel op de vorige formule, maar werkt precies andersom. Als b_t groter is dan 400, dan is de linkerkant van de formule groter dan 0, de rechterkant moet dus ook groter dan 0 zijn. Dit is alleen het geval als q_t de waarde 0 heeft. Op deze manier zorgen Formule (13) en (14) er samen voor dat de waarde van q_t altijd juist is.

$$b_t - 400 \leq 25000(1 - q_t), \quad \text{voor } t \in \{t_{MSR}, \dots, T\} \quad (14)$$

De volgende twee formules, (15) en (16), bepalen de waarde van p_t . Deze formules zijn opgesteld volgens dezelfde logica als de vorige twee formules. Formule (15) zorgt dat p_t de waarde 1 aanneemt als b_t groter is dan 833 en de laatste formule garandeert dat p_t gelijk is aan nul in elke andere situatie.

$$b_t - 833 \leq 25000p_t, \quad \text{voor } t \in \{t_{MSR}, \dots, T\} \quad (15)$$

$$833 - b_t \leq 25000(1 - p_t), \quad \text{voor } t \in \{t_{MSR}, \dots, T\} \quad (16)$$

3.1.4 Het oplossen van het model

In het model dat ik zojuist heb beschreven wordt Mixed Integer Nonlinear Programming, oftewel MINLP, toegepast om tot een oplossing te komen. Om dit complexe model op te lossen zal ik gebruik

maken van het programma AIMMS waarin de Artelys Knitro software aangeroepen wordt. Artelys Knitro is speciaal ontworpen om complexe wiskundige optimalisatieproblemen op te lossen.

3.1.5 De kostenfunctie $C_t(a_t)$ van een vermindering in uitstoot

In de vorige paragraaf heb ik de werking van het gehele model toegelicht. Het enige dat nu rest is een methode om een functie te bepalen die de kosten van het voldoen aan de emissienormen berekent. Ik zal eerst een korte uitleg geven over het principe achter een dergelijke kostenfunctie en hoe deze valt te bepalen, daarna zal ik verklaren hoe de prijs van een emissierecht bepaald kan worden aan de hand van deze kostenfunctie.

Wat is een “Abatement Cost Curve” en hoe valt deze te bepalen?

In deze paragraaf leg ik uit wat een **Abatement Cost Curve**, of afgekort ACC, weergeeft en hoe deze valt te bepalen. Zoals ik heb toegelicht in Paragraaf 3.1.2 wordt de ACC gebruikt in de doelfunctie van het door mij toegelichte model, hierin wordt de curve weergegeven als $C_t(a_t)$. Een ACC is een functie die de kosten weergeeft van een emissievermindering. Oftewel, C_t berekent de kosten van een vermindering in emissies ten opzichte van de situatie zonder restricties, a_t , in het jaar t .

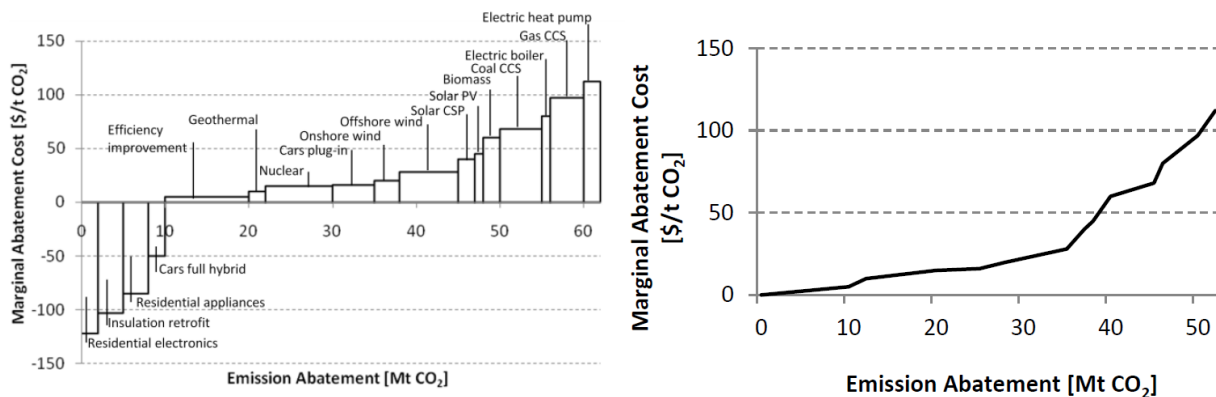
Ik zal nu kort de drie benodigde stappen beschrijven om een Abatement Cost Curve te definiëren, daarna zal ik deze stappen uitgebreider behandelen. De eerste stap is het verkrijgen van de benodigde data, deze data kunnen verkregen worden via een top-down of bottom-up methode. De benodigde data bestaan uit de marginale kosten per ton vermindering in uitstoot. Oftewel, de kosten van de laatste ton vermindering voor een aantal verschillende hoeveelheden vermindering in uitstoot (Kesicki & Strachan, 2011). De volgende stap is het bepalen van een functie die de marginale kosten uit de vorige stap goed benadert, de **Marginal Abatement Cost Curve**, MACC. De laatste stap is het bepalen van de Abatement Cost Curve aan de hand van de MACC.

De eerste stap: Het verkrijgen van de data

Nu duidelijk is uit welke stappen het bepalen van een ACC bestaat, zal ik de stappen uitgebreider behandelen, te beginnen met de eerste stap: het verkrijgen van data. Er zijn twee methodes om de marginale kosten te verkrijgen, bottom-up en top-down (Kesicki F., 2010; Klepper & Peterson, 2006). De bottom-up methode wordt ook expert-derived genoemd, aangezien de kennis van een expert vaak gebruikt wordt om deze methode uit te voeren. Volgens een bottom-up methode worden de kosten bepaald door te kijken naar de oorzaken van de emissie op microniveau. Dit houdt in dat er wordt gekeken naar verschillende technieken die een vermindering in uitstoot kunnen opleveren en de bijbehorende kosten (Decaux & Ellerman, 1998). Deze methode wordt vooral gebruikt in onderzoeken naar een specifieke sector of installatie. De bottom-up methode is lastig te gebruiken voor een gehele economie, het aantal aanwezige installaties en technieken is daarvoor te hoog. Een voorbeeld van een MACC gebaseerd op een bottom-up methode is weergegeven in de linker grafiek van Figuur 4.

Een top-down methode is het tegenovergestelde van de bottom-up methode, er wordt gekeken naar de emissies op macroniveau. Er wordt hierbij vaak gebruik gemaakt van macro-economische evenwichtsmodellen (Criqui, Mima, & Viguier, 1999). Dit zijn modellen die trachten een complete economie te modelleren door ervanuit te gaan dat elke prijs naar een evenwichtssituatie beweegt (Durlauf & Blume, 2008). Een dergelijk model kan op twee manieren worden gebruikt om de kosten van een emissievermindering te benaderen. De eerste methode is het plaatsen van een restrictie op de uitstoot en de invloed op de economische situatie analyseren. De tweede methode is het heffen van een belasting op emissies. Door dit met een aantal verschillende belastingniveaus te doen en te kijken naar de invloed hiervan op emissies, kunnen de kosten van een emissievermindering benaderd worden.

Een voorbeeld van een MACC gebaseerd op een top-down methode is weergegeven in de rechter grafiek van Figuur 4. Volgens Kesicki (2010) is het nadeel van het gebruik van een top-down methode is het gebrek aan technologisch inzicht dat er uit voort komt, er wordt niet duidelijk met welke technieken een vermindering verwezenlijkt kan worden. Voor het onderzoek dat ik uitvoer is dit geen belemmering, het is niet nodig om te weten hoe een vermindering in uitstoot behaald wordt, enkel de kosten zijn van belang. Het voordeel dat Kesicki (2010) noemt is dat het mogelijk is om macro-economische invloeden te verwerken in een evenwichtsmodel en daarmee in de MACC.



Figuur 4: Grafisch weergegeven voorbeelden van een Marginal Abatement Cost Curve, volgens een bottom-up methode (l) en een top-down methode (r) (Kesicki F., 2010).

Het resultaat van deze stap bestaat uit de kosten van de laatste ton vermindering voor een aantal verschillende hoeveelheden vermindering in uitstoot. Oftewel de marginale kosten van een vermindering in uitstoot.

De tweede stap: Het vinden van een passende functie

Om de in de vorige stap bepaalde kosten te gebruiken in het model is het nodig om de datapunten om te zetten in een functie, de Marginal Abatement Cost Curve. Om de best passende functie te bepalen kan de kleinstekwadratenmethode gebruikt worden. Dit is een rekenmethode om bij een gegeven puntenverzameling een best passende curve te selecteren uit een verzameling curven. Een dergelijke verzameling bevat curven van hetzelfde type, bijvoorbeeld lineair of exponentieel. Het is daardoor nodig om voor het toepassen van de methode een passend type curve te kiezen. Het toepassen van deze methode resulteert in de Marginal Abatement Cost Curve.

De derde stap: Het bepalen van de Abatement Cost Curve

De derde en laatste stap is het bepalen van de daadwerkelijke Abatement Cost Curve. Dit gebeurt aan de hand van de in de vorige stap bepaalde Marginal Abatement Cost Curve. Aangezien een marginale kostenfunctie per definitie gelijk is aan de eerste afgeleide van de bijbehorende kostenfunctie, kan de ACC uit de marginale kostenfunctie worden herleid. Dit gebeurt door de primitieve functie van de marginale kostenfunctie te berekenen.

3.1.6 Prijsbepaling van een emissierecht

In deze paragraaf licht ik het laatste onderdeel van het model toe: de prijs bepalen van een emissierecht. Om de theorie die ik daarvoor gebruik stand te kunnen laten houden zijn de in Paragraaf 3.1.1 gemaakte aannames van belang. Voornamelijk de aannames dat de aan het EU ETS deelnemende organisaties winst optimaliserend opereren en dat de voordeligste mogelijkheden om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen als eerst gerealiseerd worden. Zolang deze aannames stand houden zal de prijs van een EUA gelijk zijn aan de marginale kosten van een ton CO₂e uitstoot vermindering, deze methode voor de prijsbepaling is afkomstig van het Planbureau voor de Leefomgeving (Brink, 2014).

Dit valt als volgt te beredeneren: als een organisatie haar volledige emissieruimte heeft gebruikt, zijn er twee mogelijke oplossingen, de uitstoot kan tegen een bepaalde prijs verminderd worden of er kunnen emissierechten bijgekocht worden. Aangezien de organisatie streeft zijn kosten te minimaliseren, zal de goedkoopste mogelijkheid gekozen worden. Als dit een ton CO₂e minder uit te stoten is, zullen de actoren op de markt die oplossing kiezen. Aangezien het steeds lastiger wordt om de uitstoot terug te brengen, zal de prijs hiervan stijgen, dit zal blijven gebeuren tot de prijs hiervan hoger is dan de prijs van een emissierecht. Zodra dit gebeurt, zullen de marktactoren emissierechten kopen om een grotere emissieruimte te verkrijgen. Dit proces heeft als gevolg dat aangenomen kan worden dat prijs van een emissierecht gelijk is aan de kosten van een emissieafname van een ton CO₂-equivalent. Oftewel, de Marginal Abatement Cost Curve is ook de functie die de prijs van een emissierecht weergeeft.

Hoofdstuk 4: Analyse van het European Union Emission Trading Scheme

In dit hoofdstuk analyseer ik het European Union Emission Trading Scheme, dit zal ik doen in drie delen. Het eerste hiervan zal een korte omschrijving zijn van de vier fases waar het EU ETS uit bestaat. Daarom zal ik kijken hoe de prijs van een emissierecht zich heeft ontwikkeld sinds het in werking treden van het systeem. Als het verleden duidelijk is, is het tijd om te gaan kijken naar de toekomst, dat zal ik dan ook in het laatste deel van dit hoofdstuk doen.

Eerst een korte introductie over het grootste emissiehandelsysteem ter wereld. Het “European Union Emission Trading Scheme” is in werking getreden op 1 januari 2005 en is het eerste grootschalige emissierechtenplatform ter wereld (Ellerman & Buchner, 2007). Op het moment van schrijven wordt er in 31 landen gebruik gemaakt van het EU ETS, dit zijn de 28 EU landen plus IJsland, Liechtenstein en Noorwegen. In totaal vallen 11.000 installaties onder het EU ETS, gezamenlijk verantwoordelijk voor ongeveer 45% van de uitstoot van CO₂ binnen de EU (Europese Commissie, 2013). Het EU ETS is geen vrijwillig systeem, elke installatie die een thermisch vermogen heeft van 20MW of meer valt er verplicht onder.

4.1 De vier fases van het EU ETS

Zoals ik zojuist heb verteld, zal ik nu allereerst de fases van het EU ETS kort omschrijven. Fase I liep van 2005 tot 2007, de bedoeling hiervan was het testen van het systeem en het verkrijgen van de benodigde informatie over alle installaties in de 15 deelnemende landen. De tweede fase heeft gelopen van 2008 tot 2012 en had als doel om het systeem significant uit te breiden. De twee belangrijkste toevoegingen in deze fase zijn het Clean Development Mechanism (CDM) en Joint Implementation (JI), beschreven in Paragraaf 2.3.

De derde fase is begonnen in 2013 en zal volgens planning lopen tot 2020. In de derde fase neemt het aantal beschikbare emissierechten lineair af met 1,74% op jaarbasis. In Fase III zijn wederom een aantal wijzigingen doorgevoerd in het EU ETS. De eerste belangrijke wijziging is de invoering van een Europees maximum aan het aantal uit te geven emissierechten in plaats van het hiervoor geldende nationale maximum. Het grootste deel van dit Europees maximum zal worden geveild in plaats van gratis toegekend. Daarnaast wordt er tijdens de derde fase een marktstabiliteitsreserve ingesteld, dit is een reserve waar emissierechten in opgeslagen kunnen worden als er teveel rechten op de markt zijn. Dit systeem zorgt ervoor dat de prijs van emissierechten beter op peil gehouden kan worden, in Paragraaf 3.1.3 heb ik deze reserve beschreven.

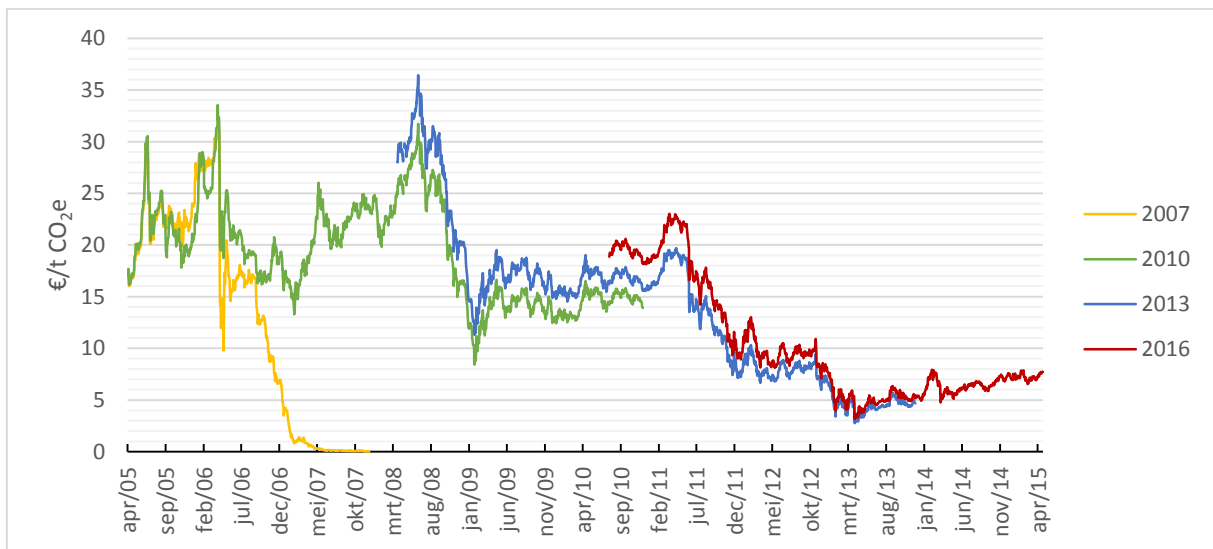
Na 2020 gaat Fase IV van start, het aantal emissierechten neemt dan lineair met 2,2% per jaar af. Daarnaast wordt er gekeken naar het uitbreiden van het EU ETS systeem door emissiemarkten van andere landen, bijvoorbeeld Australië, te koppelen aan het Europese systeem, zodat er een globale markt ontstaat.

Volgens de regels van het EU ETS is het niet mogelijk om emissierechten uit de ene fase te gebruiken in een latere fase. De enige manier waarop hiervan afgeweken kan worden, is per besluit van de Europese Commissie. Zo is bijvoorbeeld besloten dat emissierechten van Fase II gebruikt mogen worden in Fase III van het EU ETS. Phaneuf en Requate (2002) beschrijven twee mogelijke effecten van het toestaan van banking. Het eerste beschreven gevolg is dat organisaties rechten in kopen om te gebruiken voor banking in plaats van het geld te investeren in uitstoot beperkende technologieën. Het tweede beschreven effect is een toename van marktefficiëntie doordat organisaties een grotere intertemporele vrijheid krijgen.

4.2 Analyse van de prijsontwikkeling van 2005 tot en met 2015

In deze paragraaf analyseer ik het prijsverloop vanaf 2005 van een EUA. Dit zal ik doen door de prijs van april 2005 tot en met april 2015 weer te geven en het verloop daarvan te verklaren.

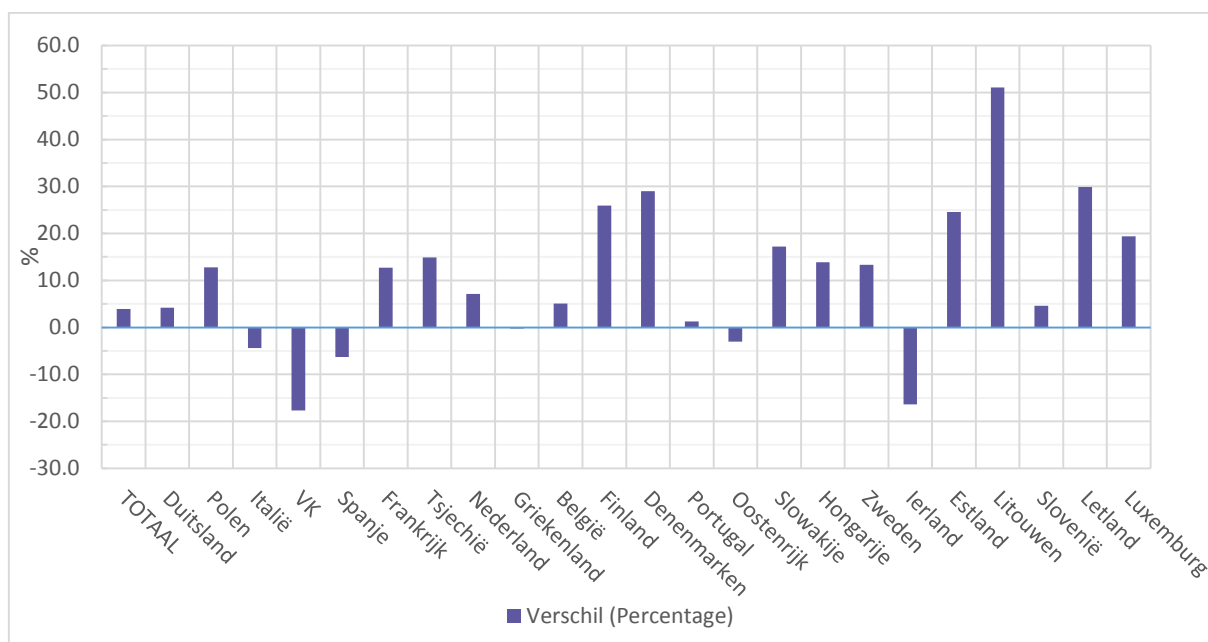
Voor de beeldvorming heb ik in Figuur 5 de prijsontwikkeling van een aantal EUA futures weergegeven, van april 2005 tot en met april 2015. EUA's worden veelal verhandeld door middel van futures, hierbij wordt het emissierecht niet direct overgedragen, maar wordt de afspraak gemaakt om op een vaststaand moment in de toekomst het over te dragen. Figuur 5 bevat vier verschillende reeksen, elke reeks geeft de prijs weer van een future met een ander levermoment. Per future is in de legenda aangegeven in welk jaar geleverd wordt, allemaal leveren ze in december van het betreffende jaar. Ik heb gekozen voor degene met een levering in december aangezien dat type het grootste verhandelde volume heeft, daarnaast is dit het enige type waarvan de handel al in 2005 aangevangen is.



Figuur 5: Prijsontwikkeling van 2005 tot en met 2015 van futures met een verschillend levermoment voor een EUA, de levermomenten staan vermeld in de legenda (Intercontinental Exchange Database, 2015).

4.2.1 De crash aan het eind van Fase I

Uit Figuur 5 blijkt direct al een merkwaardigheid, de prijs van futures die leveren in 2007 begint vanaf het eind van 2006 sterk te dalen, terwijl de prijs van futures die leveren in 2010 dit niet doet. Dit prijsverloop heeft te maken met de fases van het EU ETS en met banking, beschreven in Paragraaf 3.1.2. De prijsdaling begon in april 2006 op het moment dat de Europese Commissie publiceerde hoeveel rechten landen toegewezen hebben gekregen ten opzicht van de daadwerkelijke emissie van die landen. Deze gegevens zijn procentueel weergegeven in Figuur 6, een positief percentage betekent dat een land meer rechten heeft gekregen dan dat het land nodig had om zijn volledige uitstoot te verantwoorden. Uit deze cijfers blijkt dat er in het totaal 4% meer rechten uitgegeven zijn dan dat er nodig waren in 2005. Dit samen met het feit dat de rechten van de eerste fase niet meegenomen konden worden naar de tweede fase, banking was niet toegestaan, heeft gezorgd voor een flinke prijsdaling. In de vier dagen nadat deze gegevens bekend zijn gemaakt daalde de prijs met 54% (Alberola et al., 2008). In 2006 was er wederom een overschot aan EAU's, veroorzaakt door de lager dan verwachte uitstoot. Het gevolg hiervan was dat de prijs voor een EUA bruikbaar in de eerste fase de €0 naderde (Trück et al., 2014). De Europese Commissie heeft besloten banking wel toe te staan aan het einde van de tweede fase, hierdoor is er aan het eind van die fase geen prijsdaling te zien.



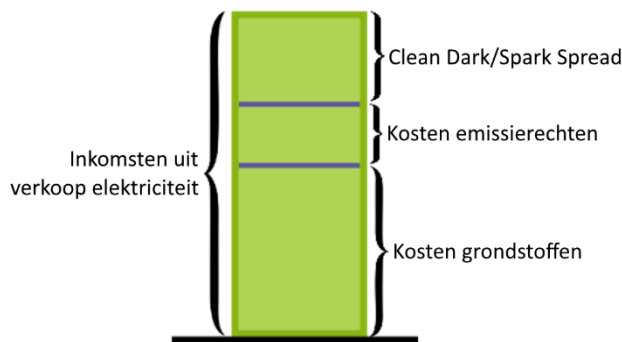
Figuur 6: Overzicht van de hoeveelheid te veel of te weinig gealloceerde EUA's in 2005 in percentages per land. Als een land meer rechten toegekend heeft gekregen dan er nodig zijn om de volledige uitstoot te dekken is er een overschot, dit wordt weergegeven met een positief percentage.

Volgens de huidige plannen zal banking ook aan het einde van Fase III toegestaan worden, maar in de literatuur is er een oproep om dit niet meer toe te staan (Neuhoff et al., 2012). Door het huidige grote overschot aan emissierechten, zou het niet toestaan van banking een grote prijsschok teweeg brengen.

4.2.2 De invloed van de aardgasprijs

In de literatuur worden er vele verschillende factoren genoemd die een invloed hebben op de prijs van EUA's, één van de invloeden die veelvuldig genoemd wordt, is de prijs van aardgas. Deze invloed heeft te maken met het wisselen van de fossiele brandstof die gebruikt wordt om elektriciteit op te wekken. Het effect hiervan op de prijs van emissierechten wordt beschreven door Convery en Redmond (2007) en is statistisch aangetoond door Bunn en Fezzi (2007) en later door Hintermann (2010). Bunn en Fezzi gebruiken de prijs van day-ahead UK aardgas, Hintermann gebruikt de prijs van month-ahead contracten. Dit zijn contracten die respectievelijk over een dag en een maand leveren. De invloed van de prijs van aardgas, die tot en met 2010 duidelijk aanwezig is, lijkt in de daarop volgende jaren geen significant effect meer te hebben (Koch et al., 2014). In deze paragraaf zal ik de achterliggende reden van dit verband toelichten en inzichtelijk maken.

De totale uitstoot van broeikasgassen binnen de Europese Unie is, volgens het Europees Milieu Agentschap (2015), in 2013 voor 30% veroorzaakt door het opwekken van elektriciteit. Deze elektriciteit wordt grotendeels opgewekt door het verbranden van aardgas en kolen. Bij het gebruik van kolen in plaats van aardgas, komt er bij het opwekken van een gelijke hoeveelheid energie 83% tot 96% meer CO₂ vrij (U.S. Energy Information Administration, 2015). Een gevolg hiervan is uiteraard dat er voor het opwekken van elektriciteit uit kolen, in plaats van aardgas, meer emissierechten ingekocht moet worden.



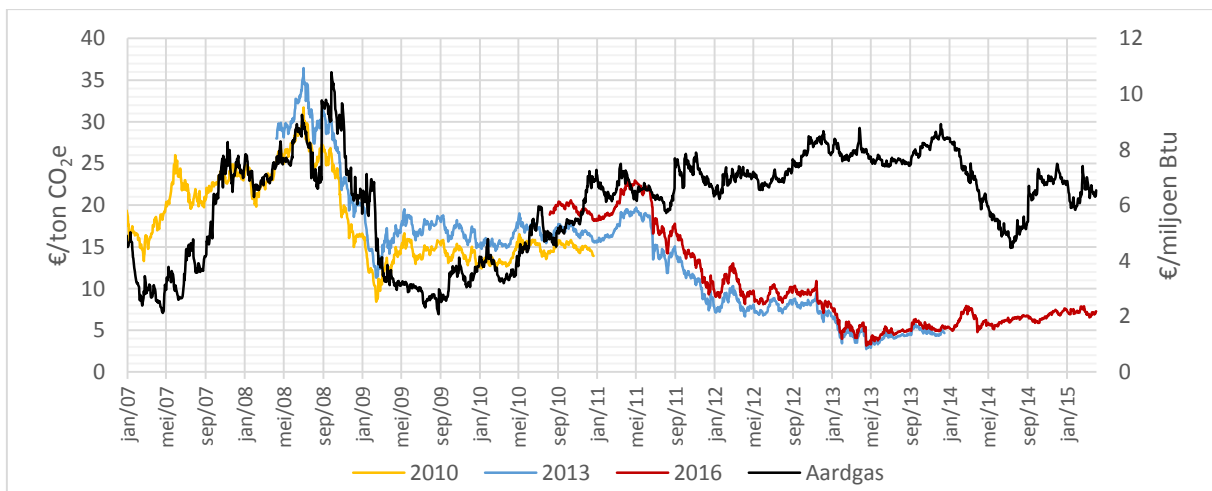
Figuur 7: Schematische weergave van de Clean Dark/Spark

Figuur 7. De Clean Spark Spread geeft dit weer voor aardgas en de Clean Dark Spread voor kolen. Aangezien energieproducenten winstoptimaliserend opereren, zullen ze indien mogelijk kiezen voor de brandstof met de hoogste Spread.

Uit de definitie van de Clean Spark Spread blijkt dat als de prijs van aardgas stijgt, de Clean Spark Spread lager zal worden. Zodra deze lager is dan de Clean Dark Spread zullen elektriciteitsproducenten overstappen naar elektriciteitsopwekking uit kolen. Voor elektriciteitsopwekking uit kolen zijn meer emissierechten nodig dan opwekking uit aardgas, er moeten daarom meer emissierechten ingekocht worden, waardoor de vraag naar emissierechten stijgt.

Om de relatie tussen de prijs van aardgas en die van EUA's inzichtelijk te maken, heb ik zowel de prijs van aardgas als van EUA's weergegeven in Figuur 8. In deze grafiek is op de linker-as het prijsverloop van een aantal verschillende EUA futures weergegeven in euro per ton CO₂e. Op de rechter-as is de prijs van month-ahead UK aardgas weergegeven in euro per miljoen Btu. De afkorting Btu staat voor "British Thermal Unit" en geeft een energiehoeveelheid weer.

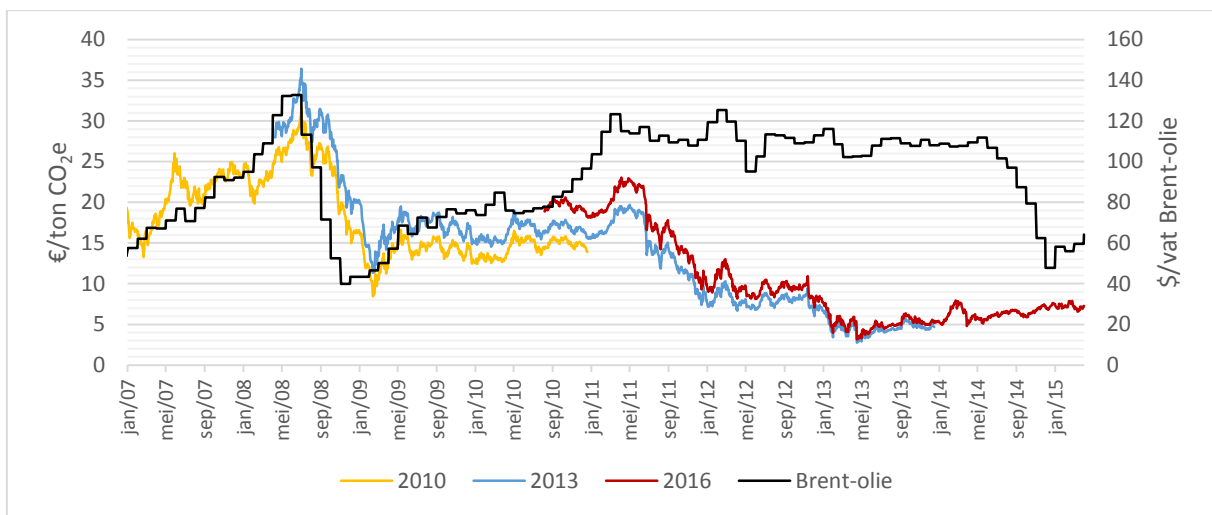
In eerste instantie had ik het plan om de prijs van EUA's te vergelijken met de prijs van Henry Hub aardgas. De Henry Hub is een groot aardgasknooppunt in Noord-Amerika, de daar gebruikte prijs is een belangrijke wereldwijde graadmeter. Sinds 2009 is er in Noord-Amerika veel schaliegas gewonnen, dit heeft ervoor gezorgd dat de prijs van aardgas op de Henry Hub sterk is gedaald, in Europa hebben die schaliegasboringen vele malen minder invloed. Dit heeft als gevolg dat de prijs in Europa niet meer overeenkomt met die van de Henry Hub en de prijs van EUA's specifiek met Europese aardgas prijzen vergeleken moet worden. In Europa is de prijs van UK aardgas een belangrijke graadmeter.



Figuur 8: Grafiek met de prijs van UK month-ahead aardgas in euro per miljoen Btu op de rechter-as (Wereldbank Database, 2015) en de prijs van EUA futures in euro per ton CO₂e (linker-as) met levermomenten december 2010, 2013 en 2016 (Intercontinental Exchange Database, 2015).

Uit de grafiek wordt duidelijk dat de prijsontwikkeling van EUA futures en die van aardgas tot het einde van 2011 veel op elkaar lijken. Na 2011 is er juist een tegenovergesteld prijsverloop, de prijs van EUA's daalt, terwijl de prijs van aardgas stijgt. Figuur 8 onderbouwt daarom het vermoeden dat er tot en met 2011 een positief verband was tussen de prijs van aardgas en de prijs van EUA's.

Volgens British Petroleum (2015), beter bekend als BP, bewegen de prijs van olie en die van aardgas met elkaar mee, om deze reden heb ik Figuur 9 toegevoegd. Dit is een grafiek met op de linker-as de prijs van dezelfde EUA futures als in Figuur 8, daarnaast staat op de rechter-as de prijs van Brent-olie in dollars per vat. Te zien is dat de prijsontwikkeling van Brent-olie tot het einde van 2010 inderdaad veel lijkt op die van EUA futures. Dit wordt niet veroorzaakt door een verband tussen de prijs van olie en EUA's, maar indirect door het verband tussen de prijs van olie en aardgas.



Figuur 9: Grafiek met de prijs per vat Brent-olie in dollars op de rechter-as (Federal Reserve System, 2015) en de prijs van EUA futures met levermomenten december 2010, 2013 en 2016 in euro's op de linker-as (Intercontinental Exchange Database, 2015).

4.2.3 De theorie achter de prijsdaling in 2011 – 2013

Uit het prijsverloop van EUA's, weergegeven in Figuur 5, blijkt duidelijk dat er vanaf halverwege 2011 tot en met halverwege 2013 een structurele prijsdaling plaatsvindt. In de literatuur worden een aantal verschillende oorzaken van deze prijsdaling genoemd, deze zal ik in deze paragraaf benoemen.

Een veel genoemde oorzaak die voor de hand ligt, is de lange en diepe wereldwijde economische crisis (Aldy & Stavins, 2012; Europese Commissie, 2013). Door deze crisis loopt de groei van de economie een aantal jaren achter op de verwachtingen. Het gevolg hiervan is dat de uitstoot van broeikasgassen lager is dan verwacht en daarmee de vraag naar emissierechten.

Een andere reden die in de literatuur genoemd wordt, is de invloed van extra nationale maatregelen om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen (Fankhauser, Hepburn, & Park, 2010; Van den Bergh, Delarue, & D'haeseleer, 2013). Als een nationale overheid het verminderen van de uitstoot buiten het EU ETS om verder stimuleert, daalt als gevolg daarvan de vraag naar emissierechten en daarmee ook de prijs van emissierechten. Aangezien dit geen invloed heeft op de totale uitstoot onder het EU ETS maar wel op de prijs van de rechten is het lastig om te zeggen of deze invloed daadwerkelijk kwaad kan.

De derde en laatste reden die ik behandel is dat het overschot aan rechten groter is dan de totale hoeveelheid rechten die organisaties nodig hebben om prijsrisico's te dekken. Volgens Neuhoof et al. (2012) zullen hierdoor steeds meer rechten gekocht worden met een speculatieve reden. De Partijen die met die reden investeren, zijn pas bereid rechten te kopen als de prijs ver gedaald is. De oorzaak

hiervan heeft te maken met de discountfactor. Organisaties die rechten kopen om ze daadwerkelijk te gebruiken, hanteren een discountfactor van ongeveer 5%, dit reflecteert de kosten van het kapitaal dat is vastgelegd in de voorraad. In het geval van speculatieve aankoop wordt er een hogere discountfactor toegepast van 10% tot 15%. Hierdoor worden emissierechten lager gevalueerd door speculatieve investeerders en zullen ze bij een lagere prijs over gaan tot aankoop.

4.2.4 Futures in contango

Opvallend aan het prijsverloop dat is weergegeven in Figuur 5 is dat de prijs van een future is hoger is naarmate deze op een later moment levert, dit wordt een future in contango genoemd. Volgens Trück et al. (2014) zijn er drie hoofdredenen waarom deze markt zich in contango bevindt. De eerste reden die zij aandragen is de lage rente in de Eurozone. Het niveau van de rente heeft een grote invloed op de “cost-of-carry”, oftewel de kosten van het aanhouden van een voorraad. Dit komt doordat een groot deel van deze kosten bestaat uit het niet ontvangen van rente op geld dat vastzit in een voorraad. Door de lage rente zijn deze kosten laag en zullen organisaties geneigd zijn een grotere voorraad rechten aan te houden en deze eerder aan te schaffen. Het gevolg hiervan is dat de prijs van futures stijgt.

De volgende reden die aangedragen wordt, is dat organisaties het risico op een stijgende prijs van emissierechten af willen dekken. Dit wordt voornamelijk gedaan door het kopen van futures aangezien dat er voor zorgt dat de prijs van emissierechten die in de toekomst nodig zijn vastligt. Het resultaat van de grote vraag naar futures is dat de prijs ervan stijgt.

De derde en laatste reden is het toenemende overschot aan emissierechten. Dit groter wordende overschot heeft als gevolg dat organisaties gemiddeld steeds meer emissierechten op voorraad hebben. Dit heeft een negatieve invloed op de zogenaamde “convenience yield”, dit is de meerwaarde die het heeft om een eenheid extra op voorraad te hebben om bijvoorbeeld aan onverwachte vraag te voldoen. Volgens Trück, Härdle en Weron (2014) is het overschot aan emissierechten zo groot geworden dat organisaties liever iets meer betalen om de rechten later geleverd te krijgen, hetgeen een prijs opstuwend effect heeft op futures.

4.2.5 Conclusie

In het prijsverloop van EUA's is in 2006 een flink neerwaartse trend te zien. Deze prijsdaling begon in april 2006 op het moment dat de Europese Commissie publiceerde hoeveel rechten landen toegewezen hebben gekregen ten opzicht van de daadwerkelijke emissie van die landen. Uit deze cijfers blijkt dat er teveel rechten zijn toegekend.

Een andere invloed komt van de prijs van aardgas, deze invloed is tot en met 2010 duidelijk aanwezig, maar lijkt in de daarop volgende jaren geen significant effect meer te hebben. De invloed van de prijs van aardgas wordt veroorzaakt doordat energieproducenten vaak de mogelijkheid hebben om verschillende brandstoffen te gebruiken.

Ik heb meerdere redenen gevonden waarom de prijs van EUA's sinds 2011 tot en met 2013 structureel is gedaald. De eerste oorzaak is de lange economische crisis waardoor de vraag naar emissierechten daalde. Een andere oorzaak is dat er sinds 2011 veel niet aan het EU ETS verbonden nationale projecten zijn om emissies terug te dringen, theoretisch heeft dit een negatief effect op de prijs van EUA's. De laatste reden is dat emissierechten steeds vaker worden gekocht met speculatieve redenen. In dat geval wordt er met steeds hogere discountfactoren gerekend waardoor de prijs mogelijk is gaan dalen.

De laatste bevinding is dat de prijs van een EUA future hoger is naarmate deze op een later moment levert, dit wordt een future in contango genoemd. De voornaamste reden hiervoor is dat er veel vraag is naar futures om het risico van een toekomstige prijsstijging te dekken.

4.3 De toekomst, 2015 en daar voorbij

In de vorige paragraaf heb ik de prijsontwikkeling van 2005 tot en met 2015 binnen het EU ETS onderzocht, nu zal ik naar de toekomst kijken. Dit doe ik aan de hand van het model beschreven in Paragraaf 3.1. Om dit model te kunnen gebruiken zal ik eerst de kostenfuncties bepalen die gebruikt gaan worden in het model. Nadat ik deze functies heb uitgerekend ga ik kijken naar de overige invoer van het model, hier valt bijvoorbeeld de verwachte economische groei onder. Tot slot zal ik uiteraard gaan kijken naar de resultaten van het model en daar conclusies uit trekken.

4.3.1 Het bepalen van de kostenfunctie

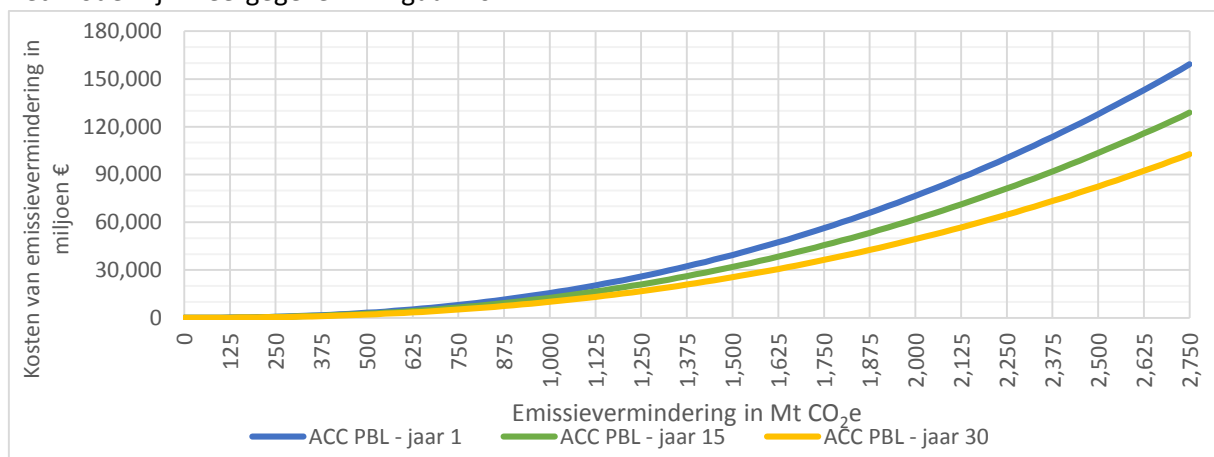
Zoals ik heb beschreven in het Theoretisch Kader heeft het model een functie nodig die de kosten van een vermindering in uitstoot berekent, de Abatement Cost Curve, of ACC. Om de nauwkeurigheid van de kostenfunctie zo goed mogelijk te verantwoorden, zal ik twee van elkaar onafhankelijke kostenfuncties bespreken. Eén van de twee is een bestaande kostenfunctie uit de literatuur, de andere zal ik zelf herleiden uit een dataset over de impact van uitstootvermindering verkregen uit het macro-economisch EPPA model door Morris, Paltsev en Reilly (2012). Beide functies zijn gebaseerd op een top-down methode.

Bestaande kostenfunctie van het Planbureau voor de Leefomgeving

De eerste kostenfunctie die ik bespreek is de Abatement Cost Curve van het Planbureau voor de Leefomgeving, deze is gebruikt in het model waar ik op voort heb gebouwd (Brink, 2014). Deze kostenfunctie is weergegeven in Formule (17). Deze formule is zo gekozen dat de kosten van een emissiereductie bij benadering overeenstemmen met de kosten die blijken uit het macro-economische model WorldScan (Verdonk, Brink, Vollebergh, & Roelfsma, 2013).

$$ACC_{PBL} = C_t(a_t) = 0.0045 \cdot \frac{a_t^{2.3}}{2.3} \cdot 0.985^{t-1} \quad (17)$$

In Formule (17) geeft de invoervariabele a_t weer hoeveel Mt CO₂e minder is uitgestoten in jaar t ten opzicht van de situatie zonder restricties. Daarnaast gaat het PBL ervanuit dat de kosten van een vermindering in uitstoot na de eerste periode elk jaar met 1,5% dalen, vandaar de toevoeging van 0.985^{t-1} . De kosten die resulteren uit Formule (17) voor het eerste, vijftiende en dertigste jaar van het model zijn weergegeven in Figuur 10.



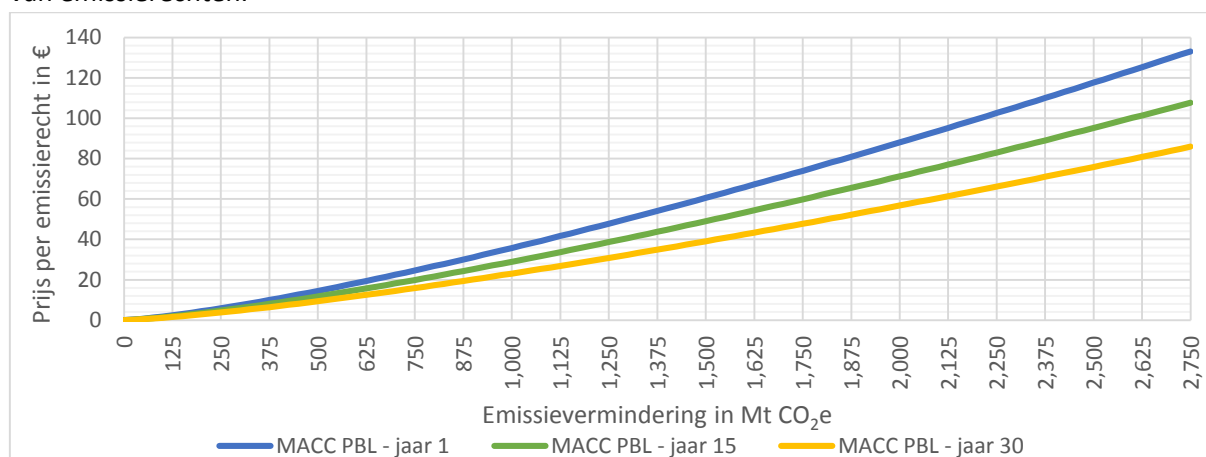
Figuur 10: Weergave van de kosten als het gevolg van een vermindering in uitstoot in het eerste, vijftiende en dertigste jaar van het model, berekend aan de hand van de Abatement Cost Curve (Brink, 2014).

In Paragraaf 3.1.5 heb ik verteld dat het mogelijk is om voor de prijs van emissierechten een formule op te stellen, de Marginal Abatement Cost Curve. Deze MACC kan bepaald worden door de Abatement

Cost Curve, weergegeven in Formule (17), te differentiëren, het resultaat hiervan heb ik weergegeven in Formule (18).

$$MACC_{PBL} = C'_t(a_t) = 0.0045 \cdot 0.985^{t-1} a_t^{1.3} \quad (18)$$

In Figuur 11 is te zien hoeveel een emissierecht waard is bij verschillende hoeveelheden vermindering in uitstoot ten opzicht van de situatie zonder restricties op uitstoot, weergegeven is de prijs in het eerste, vijftiende en dertigste jaar van het model. Aangezien de prijs later in het model lager is bij een zelfde reductie is het duidelijk dat het effect van technologische vooruitgang ook geldt voor de prijs van emissierechten.



Figuur 11: Weergave van de kosten per emissierecht bij verschillende hoeveelheden vermindering in uitstoot in het eerste, vijftiende en dertigste jaar van het model (Brink, 2014).

Kostenfunctie gebaseerd op resultaten uit het EPPA model

Naast de door het Planbureau van de Leefomgeving opgestelde kostenfuncties die ik zojuist heb beschreven zal ik zelf een MACC en ACC opstellen. Hiervoor ga ik de drie stappen gebruiken die ik in Paragraaf 3.1.5 van het Theoretisch Kader omschreven heb. De eerste stap is het verkrijgen van de juiste data, de volgende stap is het bepalen van een bij de data passende Marginal Abatement Cost Curve. In de derde en laatste stap bereken ik de Abatement Cost Curve.

De eerste stap: Het verkrijgen van de data

De data die ik nodig heb om een MACC op te stellen zijn door Morris et al. (2012) verkregen uit het macro-economische EPPA model. Zij hebben voor verschillende regio's onderzocht wat het plaatsen van een prijs op het uitstoten van broeikasgassen voor invloed heeft op de in het model gerealiseerde emissie. Doordat dit voor meerdere prijzen is gedaan ontstaat er een goed beeld over de kosten per ton CO₂e uitstoot vermindering, deze resultaten zijn weergegeven in Tabel 4 en als de reeks "Resultaat EPPA Model" in Figuur 12. Om tot deze reeks te komen heb ik de gegevens uit het artikel om moeten rekenen van dollars naar euro's, hiervoor heb ik de wisselkoers van de dag waarop het artikel is gepubliceerd gebruikt: 1,20 US dollar per euro (XE - Currency exchange, 2015).

Uitstoot vermindering in Mt CO ₂ e	Marginale kosten per ton vermindering in CO ₂ e uitstoot
0	€ 0,00
56	€ 0,00
259	€ 0,03
513	€ 2,83
1024	€ 20,49
1535	€ 42,82
2046	€ 49,70
2557	€ 56,60

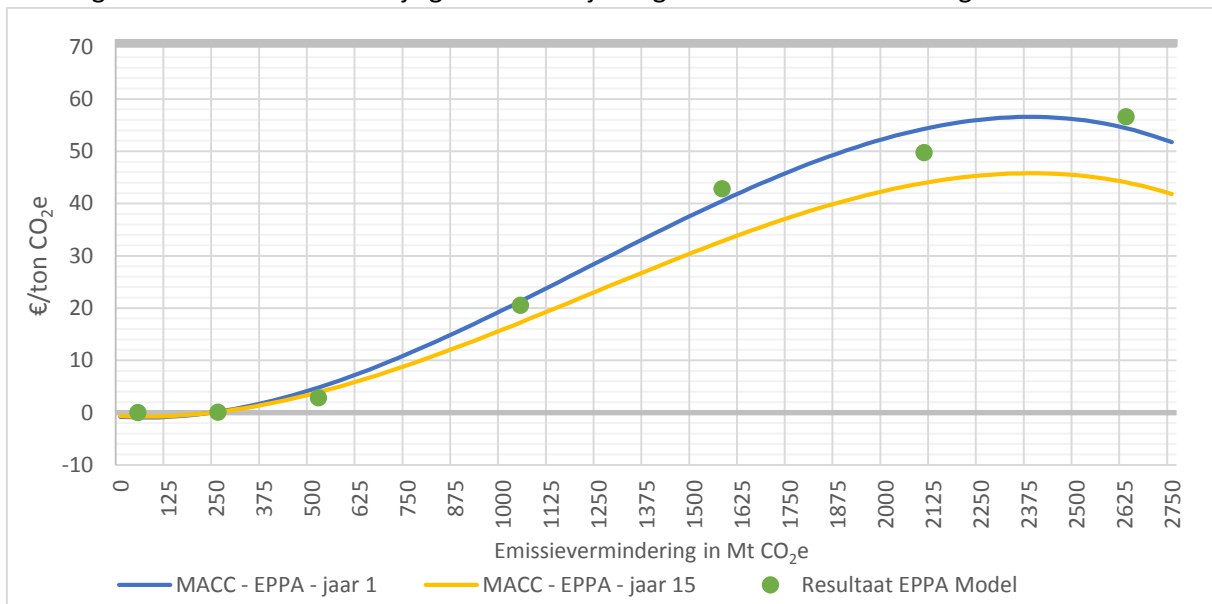
Tabel 4: Marginale kosten per ton CO₂e uitstoot voor verschillende hoeveelheden vermindering in uitstoot volgens het EPPA model (Morris et al., 2012).

De tweede stap: Het vinden van een passende functie

Nu de benodigde data vergaard zijn, kan de tweede stap uitgevoerd worden, het bepalen van een passende Abatement Cost Curve. Om de ACC te bepalen zal ik de best passende functie zoeken met behulp van het wiskundige programma Wolfram Alpha. Specifieker omschreven is de best passende functie diegene met een R^2 het dichtst bij 1,0. R^2 geeft informatie over de mate waarin de benaderende functie de daadwerkelijke data benadert, als R^2 gelijk is aan 1,0 zijn de benaderde waarden gelijk aan de daadwerkelijke waarden. Het benaderen van de reeks heeft Formule (19) als resultaat, weergegeven in Figuur 12 als de reeks “MACC – EPPA – jaar 1”. Te zien is dat de data inderdaad goed worden benaderd, dit komt terug in de R^2 met een waarde van 0,991.

$$MACC_{EPPA} = -9,27 \cdot 10^{-9}a_t^3 + 3,40 \cdot 10^{-5}a_t^2 - 0,00430a_t - 0,799 \quad (19)$$

Opvallend aan deze formule is dat de marginale kosten beginnen te dalen als de uitstootvermindering groter is dan 2.375 Mt. In de data verkregen uit het onderzoek van Morris et al. is te zien dat de stijging van de marginale kosten afneemt na het datapunt bij de 1.535 Mt. Maar het valt niet te verifiëren of de marginale kosten daadwerkelijk gaan dalen bij een grote emissievermindering.



Figuur 12: Grafiek van de marginale kosten voor een ton vermindering in CO₂e uitstoot gegeven een bepaalde vermindering in uitstoot. De reeks “Resultaat EPPA Model” geeft de door Morris et al. (2012) uit het EPPA model verkregen data weer. “Benadering MACC” is het resultaat van het benaderen van deze reeks.

De door mij bepaalde Formule (19), houdt geen rekening met technologische vooruitgang. De MACC die is opgesteld door het PBL doet dit wel. Het is te verwachten dat er inderdaad vooruitgang plaats zal vinden die de kosten van emissieverminderingen verlagen. Daarom heb ik besloten om de technologische vooruitgang ook te verwerken in de door mij bepaalde MACC. Dit doe ik op dezelfde wijze waarop het verwerkt is in de MACC van het PBL: door de MACC te vermenigvuldigen met 0.985^{t-1} . Dit resulteert in Formule (20). In Figuur 12 is te zien hoe groot de invloed van technologische vooruitgang is.

$$MACC_{EPPA} = (-9,27 \cdot 10^{-9}a_t^3 + 3,40 \cdot 10^{-5}a_t^2 - 0,00430a_t - 0,799) \cdot 0.985^{t-1} \quad (20)$$

De derde stap: Het bepalen van de Abatement Cost Curve

Nu de Marginal Abatement Cost Curve bekend is, kan ik aan de laatste stap beginnen, het bepalen van de Abatement Cost Curve. Hiervoor is het nodig om de marginale kostenfunctie om te zetten in een kostenfunctie. Zoals ik heb verteld in Paragraaf 3.1.5 gebeurt dit door de MACC te primitiveren. Het

resultaat hiervan is weergegeven in Formule (21). Aangezien het aannemelijk is dat er pas kosten zijn als er begonnen wordt met het verminderen van de uitstoot, is het niet nodig om een constante term toe te voegen.

$$ACC_{EPPA} = (-2,32 \cdot 10^{-9}a_t^4 + 1,13 \cdot 10^{-5}a_t^3 + 0,00215a_t^2 - 0,799a_t) \cdot 0,985^{t-1} \quad (21)$$

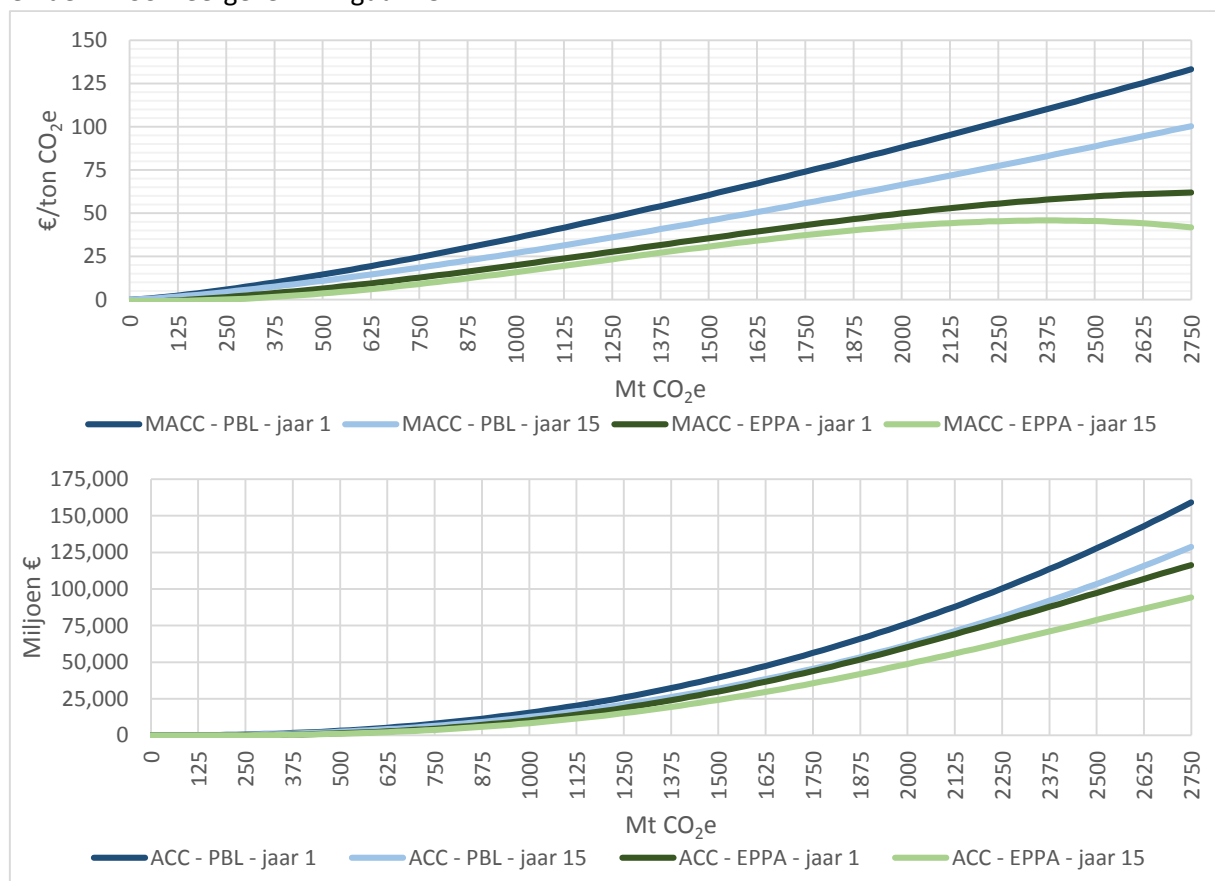
Nu de derde stap afgerond is, is duidelijk wat de ACC en MACC zijn volgens twee verschillende methoden. In de volgende paragraaf zal ik kijken naar de voor en nadelen van beide sets kostenfuncties.

4.3.2 Invoer van het model

Voordat ik het model uitkomsten kan laten berekenen is het uiteraard nodig om de juiste invoer te bepalen, dit zal ik in deze paragraaf doen. De invoer is onder te verdelen in vier verschillende categorieën, het selecteren van de te gebruiken (Marginal) Abatement Cost Curve, een voorspelling maken van de economische groei, het kiezen van een geschikte discount factor en nog een aantal invloeden door het beleid van de Europese Commissie.

Welke (Marginal) Abatement Cost Curve gaat in het model gebruikt worden

Allereerst zal ik gaan kijken naar welke van de in de vorige paragraaf beschreven kostenfuncties ik in het model ga verwerken. Om een duidelijk beeld te geven van de alternatieven zal ik van beide de ACC en de MACC weergeven in Figuur 13.



Figuur 13: Twee grafieken ter vergelijking van de (M)ACC opgesteld door het PBL en de (M)ACC opgesteld door mij aan de hand van resultaten verkregen door Morris et al. (2012) uit het EPPA model. Gezien het effect van technologische vooruitgang heb ik ze weergegeven voor het eerste en het vijftiende jaar.

In het model ga ik gebruik maken van de kostenfuncties opgesteld door het PBL. Ik heb hier twee redenen voor. Het eerste argument is de oorsprong van deze functies. Het Planbureau voor de

Leefomgeving heeft de kostenfuncties specifiek opgesteld voor het model dat ik als basis gebruik. Dit schept vertrouwen in het combineren van de betreffende kostenfuncties en het model.

Het tweede argument om te kiezen voor de kostenfuncties van het PBL is de simpelere wiskundige vorm. Dit zorgt ervoor dat het model in een kortere tijd te optimaliseren is. Dit duurt, afhankelijk van het scenario, ongeveer een half uur als de functies van het PBL gebruikt worden. Bij het hanteren van de door mij opgestelde kostenfuncties wordt dit significant langer.

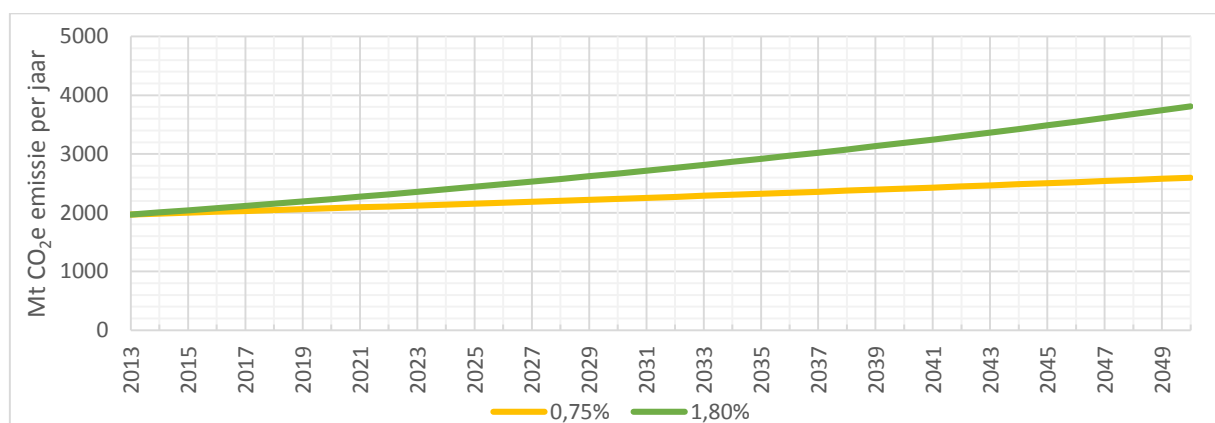
Concluderend, naar mijn mening hebben de kostenfuncties opgesteld door het PBL de voorkeur. De twee door mij omschreven voordelen van de PBL kostenfuncties zijn dat ze door het PBL gebruikt zijn in een model dat sterk lijkt op het model dat ik gebruik en als de functies van het PBL hebben een eenvoudigere wiskundige vorm.

Het niveau van toekomstige emissies in de situatie zonder restricties

De volgende invoer die ik zal gaan bepalen is de groei van de emissies in de situatie zonder restricties. Doordat er al jaren veel wordt gewerkt aan een vermindering in uitstoot is het lastig om precies te bepalen wat er met het uitstootniveau zou gebeuren als er geen restricties op geplaatst zouden zijn.

In het artikel van het Planningsbureau voor de Leefomgeving (Brink, 2014), waar het door mij gebruikte model op gebaseerd is, wordt een groeivoet van 0,75% gebruikt. Dit zal daarom één van de waardes zijn waar ik het model mee door reken. Daarnaast wordt in hetzelfde artikel de emissie zonder restrictie in 2013, u_0 , op 1970 Mt CO₂e gezet en de hoeveelheid rechten in omloop aan het begin van het model, b_{start} , op 2100 Mt CO₂e.

De tweede waarde waar ik mee zal rekenen is gebaseerd op een veelvuldig geciteerd artikel van Holz-Eakin en Selden (1995), in dit artikel wordt een jaarlijkse groei van 1,80% in emissies voorspeld. Juist omdat dit artikel uit een periode komt waarin minder aandacht besteed werd aan het terugbrengen van de broeikasgassen uitstoot verwacht ik dat dit de emissiegroei zonder restricties goed weergeeft. In Figuur 14 heb ik voor 2015 tot en met 2035 de voorspelde emissies weergegeven bij een groeivoet van 1,80% en 0,75%.



Figuur 14: Weergave van de emissie zonder restrictie met een groeivoet van 0,75% en 1,80% per annum.

Toe te passen discountfactor

Aangezien het model de kosten in de toekomst verdisconteert is het nodig om een geschikte discountfactor te bepalen. Om deze te vast te stellen zal ik wederom eerst kijken naar het artikel van het PBL, hierin wordt een factor van 6% gebruikt (Brink, 2014). Dit is niet de enige waarde waar ik mee zal gaan rekenen, in het artikel van Neuhoof et al. (2012) wordt namelijk over heel andere waardes gesproken. Zij spreken over getallen tussen de 3% en 5% zolang rechten worden gekocht om prijsrisico's af te dekken, zodra rechten gekocht worden voor speculatieve redenen, spreken ze over

een discountfactor van ongeveer 10%. Ik heb meer beschreven over het verband tussen de speculatieve aankoop van emissierechten en de discountfactor in Paragraaf 4.2.3.

Aangezien de gevonden waarden ver uit elkaar liggen, bepaal ik drie verschillende factoren om mee verder te rekenen. In het model zal ik discountfactoren gebruikt van 3% en 10% zoals beschreven door Neuhoff et al., daarnaast ga ik rekenen met een waarde van 6% aangezien deze door het PBL gebruikt is.

Vaststaande beleidsmatige invloeden

Naast de door mij vastgestelde waarden, zijn er ook een aantal beleidsbeslissingen die invloed hebben op de uitkomst van het model. Eén van de belangrijkste is uiteraard het aantal rechten dat jaarlijks op de markt gebracht gaat worden, weergegeven met de variabele $\bar{e}_t$. De Europese Commissie heeft hier een beslissing over genomen, hierdoor staan deze waarden vast tot en met het einde van het EU ETS in 2050 (Europese Raad, 2014). In 2013 is het aantal op de markt gebrachte rechten goed voor een uitstoot van 2.084 Mt CO₂e, dit aantal zal tot en met 2020 lineair afnemen met 1,74% per jaar, oftewel met 38,26 Mt CO₂e. Na 2020 tot het einde van de looptijd van het EU ETS zal het aantal rechten jaarlijks afnemen met 2,22%, dit is goed voor een jaarlijkse afname van 48,38 Mt CO₂e aan beschikbare rechten. Het precieze aantal rechten dat per jaar op de markt gebracht gaat worden zal ik weergeven in Appendix B.

Een andere al gemaakte beslissing die invloed heeft op het model, is het ingangsjaar van de Marktstabiliteitsreserve. In Paragraaf 3.1.3 heb ik uitgebreid beschreven wat het doel en functioneren is van deze reserve. De MSR zal opgericht worden in 2018 en zal in 2019 operationeel worden (Europese Raad, 2015), de variabele t_{MSR} zal dus gelijk zijn aan 7. Ook is besloten dat de backload van 900 Mt CO₂e aan emissierechten in 2018 in de MSR geplaatst zal worden.

4.3.3 Resultaten uit het model

In Paragraaf 3.1 heb ik de precieze werking en opbouw van het model beschreven en in de vorige paragraaf heb ik de benodigde invoer bepaald. Dit betekent dat alle benodigde gegevens bekend zijn en het model geoptimaliseerd kan worden, de resultaten hiervan zal ik in deze paragraaf analyseren. Dit zal ik doen door een aantal onderwerpen apart te beschrijven. Allereerst zal ik gaan kijken naar het aantal emissierechten dat zich op de verschillende plaatsen in het model bevindt en de invloed die dit heeft op de prijs van een emissierecht. Het tweede onderwerp is de invloed die de discountfactor heeft op de uitkomsten van het model, hiervoor zal ik de verschillen factoren toepassen die in Tabel 5 zijn weergegeven. Ten slotte zal ik het effect van de emissies zonder restrictie en daarmee het effect van economische groei beschrijven. Wederom zal ik hier de verschillende percentages gebruiken die ik heb aangegeven in Tabel 5.

Tabel 5: Weergave van de scenario's die ik ga onderzoeken met het model beschreven in Paragraaf 3.1.

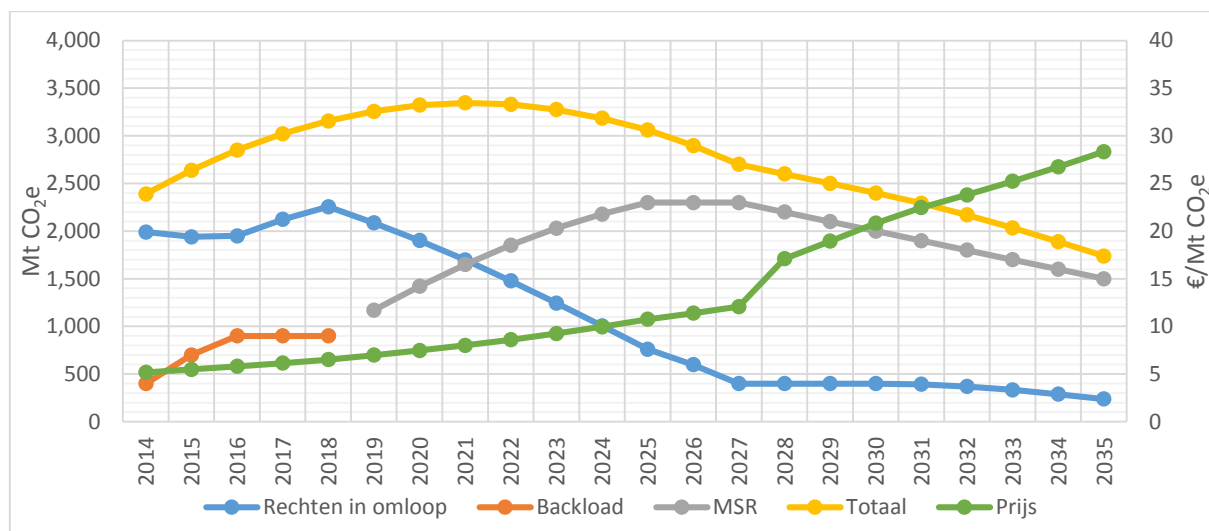
	Groei in uitstoot zonder restricties	Discountfactor
Scenario 1	0,75%	0,03
Scenario 2	0,75%	0,06
Scenario 3	0,75%	0,10
Scenario 4	1,80%	0,03
Scenario 5	1,80%	0,06
Scenario 6	1,80%	0,10

Ontwikkeling van het aantal emissierechten en de invloed daarvan

Een belangrijk resultaat van het model is uiteraard de prijs van een emissierecht, maar ook het aantal emissierechten dat bestaat en waar deze zich bevinden. Dit laatste is interessant om te weten aangezien rechten zich in omloop, in een backload of in de Marktstabiliteitsreserve kunnen bevinden. In Figuur 15 geef ik per locatie per jaar het aantal rechten in Mt CO₂e maar ook het totaal aantal rechten per jaar. Daarnaast zal ik de prijs van een EUA weergeven in de grafiek om zo de mogelijkheid te scheppen om invloeden hierop te zien.

Zoals ik heb beschreven in Paragraaf 3.1.3 zal in 2019 de MSR operationeel worden. Dit houdt in dat er een volume gelijk aan 12% van het aantal rechten in omloop minder geveild wordt als er in het voorgaande jaar meer dan 833 miljoen rechten in omloop zijn. De rechten die minder geveild worden, zullen in de reserve geplaatst worden en hier geleidelijk, 100 miljoen per jaar, uitgehaald worden als er 400 miljoen of minder rechten in omloop zijn. De rechten die zich tot en met 2018 in de backload bevinden worden zodra de reserve operationeel wordt daarin geplaatst. Figuur 15 laat goed zien wat de invloed van de MSR is, vanaf 2019 is duidelijk te zien dat het aantal rechten in omloop sterk begint af te nemen en dat ze verplaatst worden naar de toenemende reserve. Toch is het lastig om aan te tonen dat dit direct een invloed heeft op de prijs, er vindt in een aantal scenario's wel een kleine positieve trendbreuk plaats in de prijsstijging per jaar maar de precieze oorzaak daarvan is niet duidelijk.

In 2025 is het aantal rechten in omloop voor het eerst onder de 833 miljoen en als logisch gevolg hiervan neemt de MSR in 2026 niet meer toe. Vanaf 2028 begint de reserve zelfs te dalen met 100 miljoen rechten per jaar doordat het aantal rechten vanaf 2027 gelijk aan of lager dan 400 miljoen is. Dit lage aantal rechten in omloop heeft een duidelijke invloed op de prijs vanaf 2027, dit is te herkennen aan de gelijktijdige trendbreuk in de prijs en in de hoeveelheid rechten in omloop.

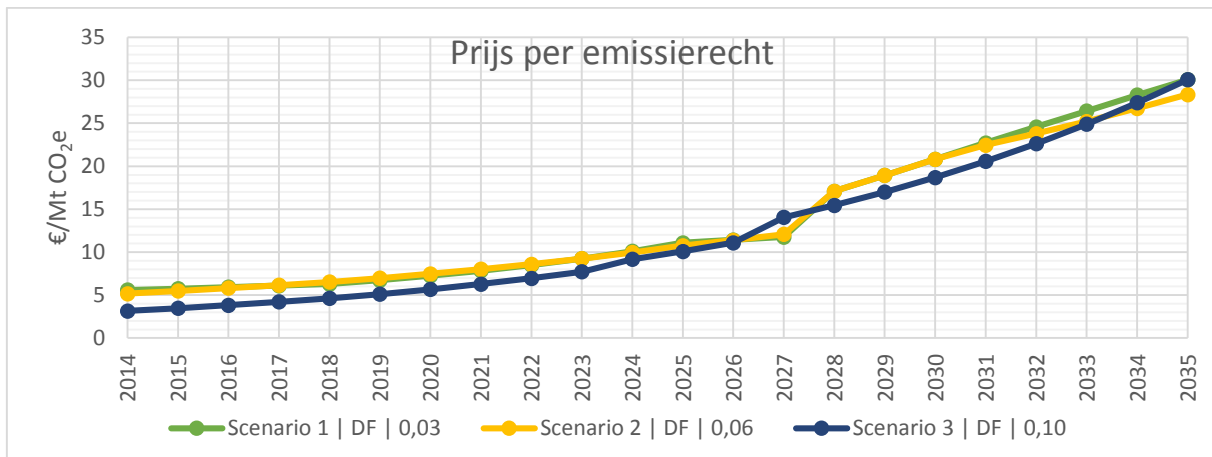


Figuur 15: Weergave van het aantal rechten dat zich in omloop, de backload en de Marktstabiliteitsreserve (MSR) bevindt, ook is het totaal aantal rechten weergegeven (linker as). Op de rechter as is de prijs van een emissierecht weergegeven. De gegevens zijn verkregen met een discountfactor van 6% en een groei in emissies zonder restricties van 0,75% per jaar.

Opvallend aan Figuur 15 is dat het aantal rechten in omloop een lange tijd stabiel blijft op 400 miljoen. De reden daarachter is dat zo het maximale aantal rechten in omloop mee naar het volgende jaar genomen kan worden waarvoor er nog steeds een deel van de reserve vrij komt.

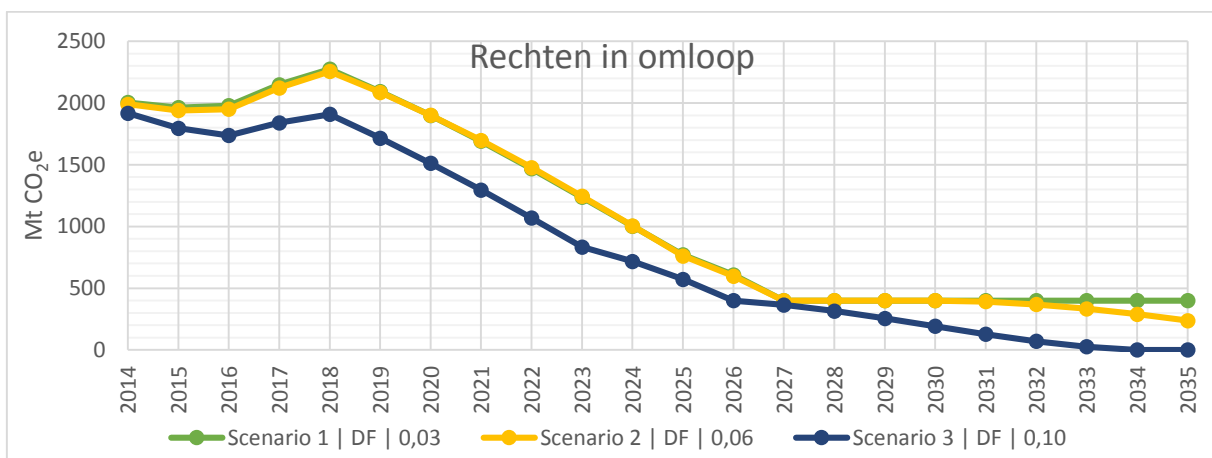
Invloed van discountfactor

In Paragraaf 4.3.2 heb ik drie verschillende discountfactoren benoemd die interessant zijn om toe te passen in dit model. In deze paragraaf kijk ik naar de invloed die de verschillende discountfactoren hebben op de resultaten. Om te kijken naar deze invloed zal ik de resultaten van drie verschillende scenario's vergelijken, scenario 1, 2 en 3. De details over deze scenario's staan in Tabel 5.



Figuur 16: Grafiek van de prijs berekend aan de hand van drie verschillende scenario's met verschillende discountfactoren maar dezelfde verwachte groei in emissies, 0,75% per annum.

Uit Figuur 16 blijkt direct dat de discountfactor weinig invloed heeft op het prijsverloop van EUA's. De prijsontwikkeling met een factor van 0,03 en 0,06 is nagenoeg identiek. Verdisconteren met een factor 0,10 heeft daarentegen wel een kleine invloed op de prijs, deze is in dat scenario iets lager. Bij een hogere discountfactor worden uitgaven in de toekomst minder zwaar meegewogen, hierdoor zullen minder rechten vastgehouden worden voor toekomstig gebruik. Dit zorgt voor een grotere beschikbaarheid in het heden en dus voor een lagere prijs per emissierecht. Het gevolg hiervan is dat de prijs later in het model hoger is, dit komt pas na 2040 tot uiting en is niet meegenomen in de hier weergegeven resultaten.



Figuur 17: De hoeveelheid rechten in omloop berekend aan de hand van drie verschillende scenario's met verschillende discountfactoren maar dezelfde verwachte groei in emissies, 0,75% per annum.

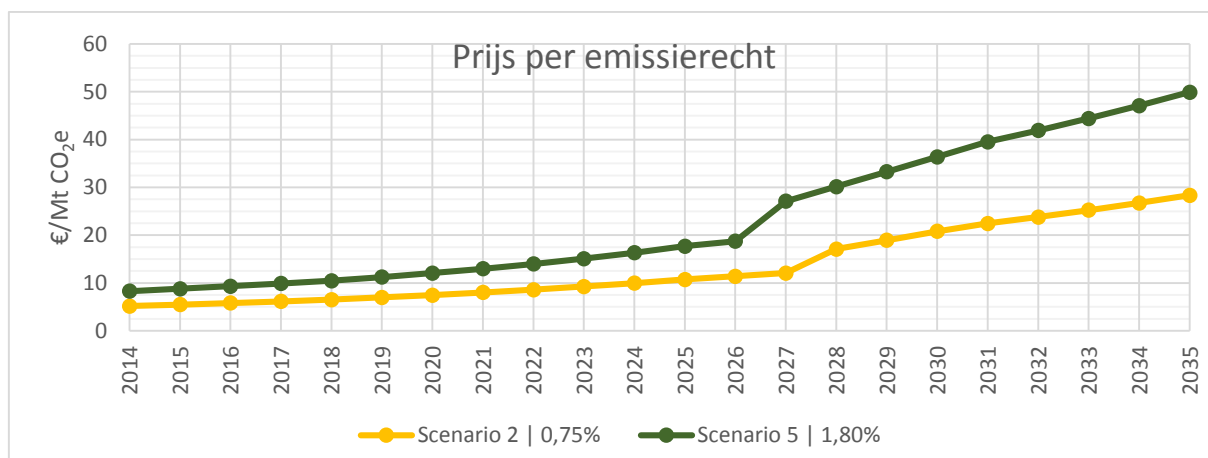
Het zojuist beschreven effect komt ook in Figuur 17 terug, uit de grafiek blijkt duidelijk dat er bij een hogere discountfactor minder rechten in omloop zijn. Zoals ik zojuist heb verteld, wordt dit veroorzaakt doordat er minder emissierechten bewaard worden voor toekomstig gebruik.

Concluderend is er nagenoeg geen verschil tussen een discountfactor van 0,03 en 0,06. Pas als er met een factor van 0,10 wordt gerekend zijn er kleine veranderingen te zien. Zo wordt bij een hoge discountfactor de prijs iets lager en daalt het aantal rechten in omloop.

Invloed van de emissies zonder restrictie

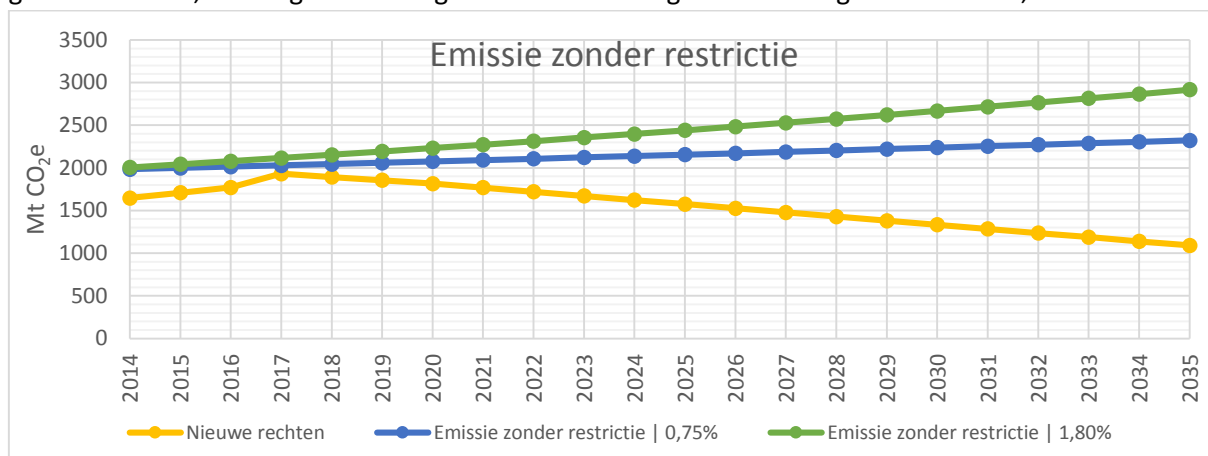
De scenario's die ik heb weergegeven in Tabel 5 variëren niet alleen op discountfactor, maar ook op de groei van de emissies zonder restrictie. Er wordt gerekend met een groeivoet van 0,75% en 1,80% per annum, waarom ik deze percentages heb gekozen is omschreven in Paragraaf 4.3.2.

Uit Figuur 18 blijkt direct dat de groeivoet van de emissie zonder restricties een grote invloed heeft op de prijs. Een emissierecht in 2015 kost €5,48 bij een groeivoet van 0,75% en €8,80 als er gerekend wordt met 1,80% groei per jaar. Dit verschil in prijs blijft toenemen, zo zijn in 2030 de prijzen respectievelijk €20,82 en €36,37.



Figuur 18: Weergave van de prijsontwikkeling van een emissierecht in een scenario met 0,75% en een scenario met 1,80% groei van emissies zonder restrictie per jaar. Beide scenario's hebben een discountfactor van 6%.

Naarmate het verschil tussen het aantal nieuwe rechten op de markt en de emissie zonder restrictie groter wordt, zal de vraag naar en de prijs van emissierechten stijgen. In Figuur 19 geef ik weer wat het verschil in groeivoet betekent voor het jaarlijkse niveau van de emissie zonder restrictie. Te zien is dat het verschil tussen de emissie zonder restrictie en het aantal nieuwe rechten op de markt voor een groeivoet van 1,80% ongeveer 50% groter is dan in het geval van een groeivoet van 0,75%.



Figuur 19: Grafiek met de emissie zonder restricties met een groeivoet van 0,75% en 1,8%, ook is het aantal nieuwe rechten dat op de markt komt weergegeven.

Samenvattend heeft de emissie zonder restricties een grote invloed op de prijs. Een verhoging in de jaarlijkse groeivoet van 0,75% naar 1,80% zorgt voor meer dan 50% toename in de prijs van emissierechten. De toekomstige economische groei gaat de grootste invloed hebben op de prijs van emissierechten aangezien het de emissie zonder restrictie zeer sterk beïnvloedt.

4.3.4 Conclusie

In deze paragraaf heb ik aan de hand van het in Paragraaf 3.1 beschreven model onderzocht hoe de markt voor EUA's zich in de toekomst gaat ontwikkelen. Hier zijn een aantal belangrijke bevindingen uitgekomen. De eerste is dat in elk door mij onderzocht scenario de prijs van een EUA sterk zal stijgen. Hoeveel deze stijging is, ligt voor het overgrote deel aan hoe de economie zich in de toekomst gaat ontwikkelen. Bij een groeivoet van 0,75% per jaar, voor de emissie zonder restrictie, is de prijs per

emissierecht in 2020 €7,47 en in 2030 zelfs €20,82. Bij een groeivoet van 1,80% zijn deze prijzen respectievelijk zelfs €12,07 en €36,37.

Een tweede belangrijke bevinding is dat het invoeren van de Markstabiliteitsreserve een groot effect heeft op het verloop van het EU ETS. Het aantal rechten in omloop zal door de reserve, in 2018 zijn piek bereiken van, afhankelijk van het scenario, 1.908 tot 2.755 Mt CO₂e. Na deze piek zal het aantal sterk dalen en tussen 2024 en 2025 voor het eerst onder de 833 Mt CO₂e zakken, onder dit aantal zal de Markstabiliteitsreserve niet meer verder aangevuld worden.

Een laatste meer technische conclusie is dat de discountfactor weinig invloed heeft op de uitkomst van het model. Pas bij een factor van 10% is een invloed merkbaar, die dan nog steeds klein is. De prijs en het aantal rechten in omloop zullen beide iets lager zijn bij het gebruik van een hoge discountfactor. Beide zullen wel hetzelfde patroon blijven volgen.

Als slot van deze conclusie wil ik graag opmerken dat het model een benadering blijft. Het is belangrijk om vooral te kijken naar de trend in de verschillende grafieken en de trendbreuken daarin.

Hoofdstuk 5: Verified Carbon Standard

In dit hoofdstuk kijk ik naar een ander emissierecht dan de European Union Allowance, namelijk de Verified Carbon Unit. Dit emissierecht is geheel anders dan de EUA, ik behandel het voornamelijk omdat het voor de opdrachtgevers van Ekwadraat een zeer interessant emissierecht is. In Paragraaf 2.4.2 heb ik het emissierecht binnen de Verified Carbon Standard kort beschreven, in dit hoofdstuk wordt het uitvoerig beschreven. Dit zal ik doen door de werking van de VCS te beschrijven en specifiek hoe ze verkregen kunnen worden. Daarna leg ik uit waarom het in Nederland momenteel lastig is om rechten volgens de VCS te verkrijgen. Hiervoor gebruik ik een casestudy, door mij uitgevoerd bij Netwerk Mestvergisting Zuid-Nederland. Het resultaat daarvan is positief, de verwachting is dat het mogelijk gaat worden om vrijwillige emissierechten te verkrijgen voor mestvergistingsinstallaties.

5.1 Het belang voor Ekwadraat

Ekwadraat heeft veel kennis op het gebied van mestvergisting en veel van de opdrachtgevers zijn in het bezit van een mestvergistingsinstallatie. Als het Netwerk Mestvergisting Zuid-Nederland er in slaagt om mestvergisters te certificeren onder de VCS, is het voor een groot deel van de opdrachtgevers van Ekwadraat mogelijk om dit voorbeeld te volgen. Dit zou betekenen dat ze door de emissierechten te verkopen extra inkomsten kunnen verkrijgen. Voor Ekwadraat is het daarom belangrijk om de ontwikkelingen op de voet te volgen.

5.2 Werking van de Verified Carbon Standard

Het eerste dat duidelijk moet zijn, is dat de VCS geheel anders werkt dan het EU ETS. Waar een emissierecht in het EU ETS het recht geeft om een ton CO₂e uit te stoten, staat één VCU voor één ton vermeden CO₂e emissie. Doordat de VCS geen onderdeel is van de verplichte markt maar van de vrijwillige, worden de rechten anders gebruikt. Als voorbeeld van het nut van een vrijwillig emissierecht kan gedacht worden aan een bedrijf dat graag CO₂ neutraal wil zijn om zijn reputatie te verbeteren. Aangezien het voor een bedrijf nagenoeg onmogelijk is om daadwerkelijk geen CO₂ uit te stoten, kan het vrijwillige emissierechten kopen. Op deze manier kan een alsnog CO₂ neutraal zijn.

5.2.1 Het verkrijgen van Verified Carbon Units

VCU's worden toegekend aan projecten die een vermindering in uitstoot teweeg brengen, dit kan bijvoorbeeld door het duurzaam opwekken van elektriciteit. Om in aanmerking te komen voor een certificering volgens de Verified Carbon Standard dient een project aan de volgende vijf kenmerken te voldoen.

- **Werkelijk** – De vermindering in uitstoot moet daadwerkelijk plaatsvinden en dit moet te bewijzen zijn.
- **Meetbaar** – Om de hoeveelheid vermindering in uitstoot te bepalen dienen goedgekeurde rekenmethodes gebruikt te worden.
- **Permanent** – De vermindering in uitstoot moet definitief zijn. Het mag niet zo zijn dat de uitstoot slechts tijdelijk vermeden is.
- **Additioneel** – Het moet aantoonbaar zijn dat de behaalde vermindering in uitstoot toe te rekenen is aan het project en zonder het project niet behaald zou zijn.
- **Onafhankelijk geverifieerd** – De uitstootreductie moet door een derde partij geverifieerd worden.

Voordat de VCU's daadwerkelijk toegekend worden aan een partij dienen een aantal stappen doorlopen te worden. De eerste stap, het certificeren, moet per project één keer uitgevoerd worden. Tijdens het certificeren wordt gekeken of de installatie aan alle regels voldoet om in aanmerking te komen voor een registratie onder de VCS en hoeveel uitstoot het project theoretisch gezien zou

kunnen voorkomen. Het certificeren van een project wordt gedaan door een derde partij. De partijen die hiertoe in staat zijn en een vestiging binnen Europa hebben, zijn vermeld in Appendix C. Het certificeren dient te gebeuren binnen een jaar na aanvang van het project. Deze regel is in het leven geroepen om te zorgen dat het nog mogelijk is om de situatie zonder het project te bepalen, die situatie wordt gebruikt als baseline om de uitstootvermindering te bepalen. De certificering geschiedt aan de hand van een scenario. Een scenario is een algemene beschrijving van, en rekenmethode voor, een project. Zo is er bijvoorbeeld een scenario waar mestvergistingsinstallaties gebruik van kunnen maken. Mocht het benodigde scenario nog niet bestaan, kan een nieuwe scenario ingediend worden.

De tweede stap voor het verkrijgen van VCU's is het valideren, dit dient elk jaar te gebeuren. Tijdens de validatie wordt gekeken hoeveel uitstoot er daadwerkelijk is vermeden in een jaar. Dit verschilt vaak van de certificering, bijvoorbeeld omdat een installatie niet het gehele jaar draait. Het valideren dient ook te gebeuren door een derde partij. De partijen die projecten mogen certificeren hebben ook het recht om deze te valideren.

De laatste stap die jaarlijks doorlopen moet worden is de uitgifte. Dit is de stap waarbij de rechten daadwerkelijk worden toegekend aan de organisatie achter het project. Tijdens deze stap wordt er door de VCS organisatie een laatste controle uitgevoerd en worden daarna, als alles klopt, de rechten toegekend. Elke VCU krijgt bij het toekennen een uniek nummer en wordt geregistreerd in het APX of Markit register.

5.2.2 De handel in Verified Carbon Units

De rechten binnen de VCS worden veelal op een andere manier verhandeld dan de EUA's van het EU ETS. VCU's worden vaak aangeboden per project, met een uitgebreide beschrijving. Dit wordt gedaan omdat veel organisaties die vrijwillige emissierechten gebruiken, een voorkeur hebben voor bepaalde projecten. Bijvoorbeeld omdat ze graag rechten hebben die verkregen zijn uit lokale projecten om daarmee een imago op te bouwen. Dat er onderscheid wordt gemaakt tussen verschillende projecten zorgt ervoor dat niet elke VCU dezelfde waarde heeft. Uit een gesprek met Climex, een bedrijf dat handelt in VCU's, blijkt dat de prijs uiteen loopt van €1 tot €8 per ton CO₂e.

Doordat de rechten voor het grootste deel per project verhandeld worden, wordt er weinig gebruik gemaakt van exchanges. De handel vindt veelal "over the counter" plaats, dit houdt in dat er direct tussen twee partijen gehandeld wordt zonder tussenkomst van een beurs. Een gevolg hiervan is dat er weinig informatie is te vinden over de prijs die gevraagd wordt voor een VCU. Daarom raad ik Ekwadraat aan om contact op te nemen met een bedrijf als Climex om te kijken naar te behalen prijzen.

5.3 Netwerk Mestvergisting Zuid-Nederland

In deze paragraaf komen de problemen aan bod die er momenteel zijn met het verkrijgen van VCU's uit Nederlandse projecten. Dit doe ik door te kijken naar de situatie die zich voordoet bij het Netwerk Mestvergisting Zuid-Nederland. Dit is een samenwerkingsverband tussen vijf mestvergistingsinstallaties gevestigd in het zuiden van Nederland. Het netwerk is onder andere opgericht om onderling kennis te delen, maar ook om gezamenlijk te werken aan het certificeren van de behaalde uitstootvermindering. Op verzoek van het Netwerk Mestvergisting zullen er geen exacte details of locaties worden behandeld van de installaties.

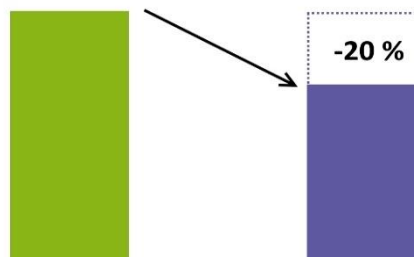
Tot en met 2008 is het Netwerk Mestvergisting Zuid-Nederland gelukt om jaarlijks de installaties te laten valideren en de VCU's te laten uitgeven. Bij mestvergisting wordt elektriciteit opgewekt waarbij slechts een geringe hoeveelheid CO₂ vrijkomt. Het verschil in tonnen CO₂e uitstoot tussen conventionele manieren van elektriciteitsopwekking en opwekking uit mestvergisting is de

hoeveelheid rechten die werden verkregen. In het verleden heeft het Netwerk rechten toegekend gekregen, maar na 2008 ontstond er een probleem bij het valideren van de installaties.

5.3.1 Het probleem

De oorsprong van het probleem ligt in het Kyoto-protocol, hierin zijn de afspraken beschreven tussen een aantal landen om de uitstoot te reduceren tot een afgesproken niveau. Sinds 2005 hebben genoeg landen het verdrag geratificeerd waardoor de eerste periode van het verdrag in 2008 is begonnen. Deze liep tot 2012 en een tweede termijn is afgesproken tot 2020. Om te kunnen beoordelen of een land voldoet aan de afspraken, brengt elk land jaarlijks een rapport uit waarin wordt beschreven hoeveel er uitgestoten wordt en waar deze uitstoot vandaan komt, het National Inventory Report, of afgekort NIR. Er zijn internationale afspraken over de manier waarop de uitstoot berekend moet worden en over welke vormen van uitstoot wel en niet in het rapport worden meegeteld.

Het probleem ontstaat door de redentie van de instantie achter de VCS: een land met een doelstelling in het Kyoto-protocol zal zorgen dat het deze doelstelling haalt. Dit heeft als gevolg dat een vermindering in uitstoot niet valt toe te schrijven aan het specifieke project, aangezien een vermindering in uitstoot hoe dan ook verwezenlijkt zou zijn. De te behalen vermindering in Nederland is 20% minder uitstoot. Het opwekken van elektriciteit uit de vergisting van mest valt ook binnen het NIR. Hierdoor ziet de instantie achter de VCS het niet meer als een extra vermindering.



Figuur 20: schematische weergave van de reductie in uitstoot te behalen door Nederland volgens het Kyoto-protocol.

5.3.2 Oplossing

Het Netwerk Mestvergisting Zuid-Nederland heeft bedacht dat uitstootarme elektriciteitsopwekking niet de enige manier is waarop een mestvergistingsinstallatie voor een vermindering in emissies zorgt. De mest die wordt vergist, zou zonder de installatie namelijk worden uitgereden op weilanden. Uit uitgereden mest komt veel methaan vrij, door het voorkomen daarvan te certificeren, kunnen mogelijk alsnog emissierechten verkregen worden. Aangezien methaan een gas is dat een 28 keer zo sterke impact heeft op klimaatverandering als CO₂, kan er een ongeveer gelijk aantal VCU's verkregen worden als in de tot 2008 geldende situatie (Myhre, et al., 2013).

Het vrijkomen van methaan als gevolg van het uitrijden van mest, wordt niet meegenomen in het National Inventory Report. Je zou zodoende verwachten dat het mogelijk is om voor deze vermindering in uitstoot emissierechten te verkrijgen, maar dit valt helaas tegen. De certificatie van het project is al jaren in orde, maar de validatie laat op zich wachten. De instantie achter de VCS heeft het nog niet willen goedkeuren, hier is geen duidelijke reden voor. Netwerk Mestvergisting Zuid-Nederland is momenteel in gesprek met de Nederlandse overheid om een zogenaamde Green Deal aan te gaan. Dit zijn samenwerkingen tussen de overheid en het bedrijfsleven om duurzame projecten te ondersteunen. In deze Green Deal zal zwart op wit komen te staan dat de Nederlandse overheid de emissiereductie behaald door het Netwerk Mestvergisting Zuid-Nederland, niet meetelt. De verwachting is dat de instantie achter de VCS de vermindering in methaanuitstoot zal valideren als dit ondersteund wordt door deze Green Deal met de Nederlandse overheid.

Het is hierbij belangrijk om op te merken dat de certificering volgens de VCS moet gebeuren binnen een jaar na aanvang van het project. Als er voor wordt gekozen om installaties niet te certificeren bestaat het risico dat dit in de toekomst niet meer mogelijk is. Om zeker te zijn dat zoveel mogelijk installaties rechten kunnen verkrijgen, zou Ekwadraat kunnen overwegen om nieuwe projecten te

laten certificeren volgens de VCS. Als het in de nabije toekomst mogelijk wordt om de rechten te laten valideren, kan hier in dat geval direct mee begonnen worden.

Hoofdstuk 6: Conclusies en aanbevelingen

Nu ik de analyse van het European Union Emission Trading Scheme en de Verified Carbon Standard heb afgerond is het tijd om de hoofdvraag te beantwoorden.

Hoe kan Ekwadraat zo goed mogelijk inspelen op toekomstige ontwikkelingen, op het gebied van prijs en beleid, van de voor Ekwadraat, en de opdrachtgevers van Ekwadraat, relevante emissierechten?

Dit doe ik door conclusies te trekken en aanbevelingen aan Ekwadraat te doen. In dit hoofdstuk zal ik eerst de conclusies over het EU ETS kort herhalen en daaromtrent een aantal aanbevelingen doen. Daarna zal ik de VCS op een gelijke manier beschrijven.

6.1 European Union Emission Trading Scheme

De eerste conclusie is dat de prijs van EUA's tot en met 2011 zeer sterk gecorreleerd was aan de prijs van aardgas. Dit werd veroorzaakt door het effect van het wisselen van brandstof om elektriciteit op te wekken. Na 2010 is dit effect niet meer significant.

Ook heb ik gezocht naar redenen voor de structurele prijsdaling van 2011 tot en met 2013. De eerste oorzaak is de lange economische crisis waardoor de economische groei achter is gaan lopen op de voorspellingen. Hierdoor is de vraag naar emissierechten gedaald en daarmee de prijs. Een andere oorzaak zou kunnen zijn dat er sinds 2011 veel losstaande nationale projecten zijn om emissies terug te dringen, theoretisch heeft dit een negatief effect op de prijs van EUA's.

Eén van de belangrijkste conclusies van dit onderzoek komt uit het intertemporeel optimalisatiemodel. In elk door mij onderzocht scenario stijgt de prijs van een EUA sterk. Hoeveel deze stijging is, ligt voor het overgrote deel aan hoe de economie zich in de toekomst gaat ontwikkelen. Bij een groeivoet van 0,75% per jaar voor de emissie zonder restrictie is de prijs per emissierecht in 2020 €7,47 en in 2030 zelfs €20,82. Met een groeivoet van 1,80% zijn deze prijzen respectievelijk €12,07 en €36,37.

Een andere belangrijke bevinding uit het model is dat het invoeren van de Markstabiliteitsreserve een groot effect heeft op het verloop van het EU ETS. Het aantal rechten in omloop zal in 2018 zijn piek bereiken van, afhankelijk van het scenario, 1.908 tot 2.755 Mt CO₂e. Na deze piek zal dit aantal sterk dalen door MSR. In 2024 of 2025 zal het aantal voor het eerst onder de 833 Mt CO₂e zakken, bij dit aantal zal de Markstabiliteitsreserve niet meer verder aangevuld worden. Twee jaar later zullen er voor het eerst rechten vanuit de reserve de markt op gebracht worden.

Als slot van deze conclusie wil ik graag opmerken dat het model een benadering blijft. Het is belangrijk om vooral te kijken naar de trend in de verschillende grafieken en de bijbehorende trendbreuken.

6.1.1 Aanbevelingen

Mijn eerste aanbeveling is om de prijs van een EUA goed in de gaten te houden. Momenteel is deze nog redelijk laag waardoor hij een kleine invloed heeft op de bedrijfsvoering van organisatie. Met behulp van de invloeden op de prijs die ik in mijn verslag beschrijf is het mogelijk om de verwachte prijsontwikkelingen bij te stellen.

Ondanks dat de prijs van een emissierecht in het EU ETS laag is, kan het voor sommige bedrijven toch voordelig zijn om een uitstootvermindering na te streven. Vanwege de expertise van Ekwadraat op het vlak van duurzame projecten, ligt er hier een kans om bedrijven te helpen met het realiseren van deze vermindering. Bij deze aanbeveling zie ik een mogelijkheid voor een interessant vervolgonderzoek. Namelijk achterhalen bij welk niveau de prijs van emissierechten een significante impact gaat hebben

op de bedrijfsvoering van organisaties. Een dergelijk onderzoek kan Ekwadraat helpen om in te schatten wanneer het interessant wordt om advies over het EU ETS te gaan geven.

De laatste aanbeveling die ik heb is het doen van een onderzoek naar wat er gebeurt als de Europese Commissie besluit om banking niet toe te staan aan het einde van Fase III in 2020. Ik verwacht dat een dergelijke beslissing een grote prijsschok teweeg zal brengen, het kan zeer waardevol zijn om daar goede voorspellingen over te kunnen uitvoeren.

6.2 Verified Carbon Standard

De Verified Carbon Standard is voor projecten in Nederland momenteel een lastige zaak. Vanwege de Kyoto doelstellingen is het momenteel onmogelijk om rechten te verkrijgen voor projecten die mee worden genomen in de National Inventory Report, NIR. Deze doelstelling zijn in 2008 in werking getreden, sindsdien is het Netwerk Mestvergisting Zuid-Nederland aan het kijken naar een andere manier om toch nog rechten te verkrijgen voor het vergisten van mest.

Tot en met 2008 heeft het Netwerk rechten verkregen voor het emissiearm opwekken van elektriciteit maar doordat dit binnen de NIR valt is dit niet langer mogelijk. Nu wordt er gekeken naar het certificeren van de emissie die vermeden wordt doordat er minder mest op weiland wordt uitgereden. Doordat er minder mest uitgereden wordt, komt er minder van het zeer potente broeikasgas methaan vrij. Deze nieuwe methode is gecertificeerd door een derde partij, maar de validatie is lastig. Momenteel is het Netwerk in gesprek met de Nederlandse overheid om een zogenaamde Green Deal op te zetten. In deze afspraak verklaart de overheid dat het vrijkomen van methaan als gevolg van het uitrijden van mest inderdaad niet wordt meegenomen in de NIR.

Tijdens mijn onderzoek heb ik proberen te achterhalen wat de prijs is van een Verified Carbon Unit. Dit bleek lastig doordat de handel in deze rechten niet op exchanges plaatsvindt en de prijs verschilt per project. Dit verschil in prijs komt bijvoorbeeld doordat bedrijven graag rechten uit de lokale regio kopen of van een bepaald type project. Daarnaast is de prijs van een VCU ook lager naarmate deze ouder is. Uit een gesprek met Climex, een partij die handelt in VCU's, ben ik te weten gekomen dat de prijs kan variëren tussen de €1 en €8 per ton CO₂e.

6.2.1 Aanbevelingen

Gezien de onduidelijkheid over de mogelijkheid om in Nederland rechten te kunnen krijgen volgens de Verified Carbon Standard, is mijn belangrijkste aanbeveling om de situatie van het Netwerk Mestvergisting Zuid-Nederland goed in de gaten te houden.

Het is hierbij belangrijk om op te merken dat de certificering volgens de VCS moet gebeuren binnen een jaar na aanvang van het project. Om zeker te zijn dat zo veel mogelijk installaties eventueel rechten kunnen verkrijgen, kan overwogen worden om nieuwe projecten alvast te laten certificeren. Ik raad aan om contact op te nemen met een partij die een dergelijke certificering kan uitvoeren om informatie te krijgen over de kosten van certificatie.

Daarnaast raad ik het aan om contact op te nemen met partijen die handelen of interesse hebben in de aankoop van VCU's om zo een indicatie te kunnen krijgen over wat een emissierechten uit de project die Ekwadraat begeleidt op kan leveren. Als hierbij de kosten van de certificatie betrokken worden kan een goede afweging gemaakt worden over het al dan niet certificeren van projecten.

Referenties

- Agrawal, S., & Tiwari, G. (2013). Overall energy, exergy and carbon credit analysis by different type of hybrid photovoltaic thermal air collectors. *Energy Conversion & Management*, 65, 628-636.
- Alberola, E., Chevallier, J., & Chèze, B. (2008). Price drivers and structural breaks in European carbon prices 2005–2007. *Energy Policy*, 36, 787-797.
- Aldy, J., & Stavins, R. (2012). The Promise and Problems of Pricing Carbon: Theory and Experience. *Journal of Environment & Development*, 21, 152-180.
- Brink, C. (2014). *Raming CO2-prijs in de Nationale Energie Verkenning 2014*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- British Petroleum. (2015, December 6). Natural Gas Prices vs. Crude.
- Bumpus, A. G., & Liverman, D. M. (2008). Accumulation by Decarbonization and the Governance of Carbon Offsets. *Economic Geography*, 84, 127-155.
- Bunn, D., & Fezzi, C. (2007). Interaction of European Carbon Trading and Energy Prices. *Eni Enrico Mattei Foundation*, 2, 53-69.
- Collins. (2015, September 28). *Defintion of "carbon credit"*. Retrieved from Collins Dictionary: <http://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/carbon-credit>
- Convery, F., & Redmond, L. (2007). Market and Price Developments in the European Union Emissions Trading Scheme. *Review of Environmental Economics & Policy*, 1, 88-111.
- Criqui, P., Mima, S., & Viguier, L. (1999). Marginal abatement costs of CO2 emission reductions, geographical flexibility and concrete ceilings: an assessment using the POLES model. *Energy Policy*, 27, 585-601.
- Decaux, A., & Ellerman, A. (1998). *Analysis of Post-Kyoto CO2 Emissions Trading Using Marginal Abatement Curves*. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Chang.
- Delarue, E., & D'haeseleer, W. (2007). Price determination of ETS allowances through the switching level of coal and gas in the power sector. *International Journal of Energy Research*, 31, 1001-1015.
- Durlauf, S. N., & Blume, L. (2008). *The New Palgrave Dictionary of Economics* (2nd ed.). Basingstoke: Palgrave Macmillan.
- Ellerman, A. D., & Buchner, B. K. (2007). The European Union Emissions Trading Scheme: Origins, Allocation, and Early Results. *Review of Environmental Economics & Policy*, 1, 66-87.
- Europees Milieu Agentschap. (2015, September 5). *EEA greenhouse gas - data viewer*. Retrieved from <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>
- Europese Commissie. (2013). Green Paper. A 2030 Framework for Climate and Energy Policies.
- Europese Commissie. (2013). *The EU emissions trading scheme system (EU ETS)*. doi:10.2834/55480
- Europese Commissie. (2014). Proposal for a Decision of the European Parliament and of the Council Concerning the Establishment and Operation of a Market Stability Reserve for the Union Greenhouse Gas Emission Trading Scheme and Amending Directive 2003/87/EC. Brussel, België.

- Europese Raad. (2014, Oktober 23/24). 2030 Climate and Energy Policy Framework. Brussel.
- Europese Raad. (2015). DECISION (EU) 2015/1814 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 6 October 2015 concerning the establishment and operation of a market stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading scheme and amending Directive 2003/87/EC. *Official Journal of the European Union*.
- Fankhauser, S., Hepburn, C., & Park, J. (2010). *Combining multiple climate policy instruments: how not to do it. Working Paper no. 48*. London/Leeds: Centre for Climate Change Economics and Policy.
- Federal Reserve System. (2015, December 6). Federal Reserve Economic Data Crude Oil Prices: Brent - Europe.
- Gonzales, G., & Peters-Stanley, M. (2014). *Sharing the stage state of the voluntary carbon markets 2014*. Forest Trends' Ecosystem Marketplace, Washinton DC.
- Grubb, M. (2003). The Economics of the Kyoto Protocol. *World Economics*, 4, 143-190.
- Hintermann, B. (2010). Allowance price drivers in the first phase of the EU ETS. *Journal of Environmental Economics and Management*, 59, 43-56.
- Holtz-Eakin, D., & Selden, T. (1995). Stoking the fires? CO2 emissions and economic growth. *Journal of Public Economics*, 57(1), 85-101.
- Intercontinental Exchange Database. (2015, April). ICE EUA Futures.
- Investopedia. (2015, September 28). *Carbon Credit Definition*. Retrieved from Investopedia: http://www.investopedia.com/terms/c/carbon_credit.asp
- Kesicki, F. (2010). Marginal abatement cost curves for poicy making - expert-based vs. model-derived curves. *IAEE's 2010 International Conference*. Rio de Janeiro.
- Kesicki, F., & Strachan, N. (2011). Marginal abatement cost (MAC) curves: confronting theory and practice. *Environmental Science & Policy*, 14, 1195-1204.
- Klepper, G., & Peterson, S. (2006). Marginal abatement cost curves in general equilibrium: The influence of world energy prices. *Resource and Energy Economics*, 28, 1-23.
- Koch, N., Fuss, S., Grosjean, G., & Edenhofer, O. (2014). Causes of the EU ETS price drop: Recession, CDM, renewable policies or a bit of everything?—New evidence. *Energy Policy*, 73, 676-685.
- Morris, J., Paltsev, S., & Reilly, J. (2012). Marginal Abatement Costs and Marginal Welfare Costs for Greenhouse Gas Emissions Reductions: Results form the EPPA Model. *Environmental Modeling & Assessment*, 17(4), 325-336.
- Myhre, G., Schindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestvedt, J., & et al. (2013). Anthropogenic and natural radiative forcing. *Climate change*, 423.
- Neuhoff, K., Schopp, A., Boyd, R., Stelmakh, K., & Vasa, A. (2012). *Banking of surplus emissions allowances - does the volume matter?* Berlijn: German Institute for Economic Research.
- Phaneuf, D., & Requate, T. (2002). Incentives for investment in advanced pollution abatement technology in emission permit markets with banking. *Environmental and Resource economics*, 22, 369-390.

- Trück, S., Hardle, W., & Weron, R. (2014). The relationship between spot and futures CO2 emission allowance prices in the EU-ETS. In M. Gronwald, & B. Hintermann, *Emissions Trading as a Policy Instrument*. MIT Press.
- U.S. Energy Information Administration. (2015, September 12). *U.S. Energy Information Administration - FAQ*. Retrieved from <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=73>
- Van den Bergh, K., Delarue, E., & D'haeseleer, W. (2013). Impact of renewables deployment on the CO 2 price and the CO 2 emissions in the European electricity sector. *Energy Policy*, 63, 1021-1031.
- VCS Project Database. (2016, januari 18). Retrieved from VCS Project Database: <http://www.vcsprojectdatabase.org/>
- Verdonk, M., Brink, C., Vollebergh, H., & Roelfsma, M. (2013). *Evaluation of policy options to reform the EU Emissions Trading System*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Verenigde Naties. (1998). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*.
- Wereldbank Database. (2015, December 6). World Bank Cross Country Data - Natural gas Price, Europe, \$/mmbtu.
- Winsten, W. L., & Goldberg, J. B. (2004). *Operations research: applications and algorithms*. Boston: Duxbury press.
- XE - Currency exchange. (2015, December 12). *XE Currency Charts (EUR/USD)*. Retrieved from <http://www.xe.com/currencycharts/?from=EUR&to=USD&view=5Y>

Appendices

Appendix A – Landen per groep in het Kyotoprotocol

Deze appendix is een toevoeging op Hoofdstuk 2.3 over het Kyotoprotocol, daarin heb ik de in deze appendix gebruikte termen uitgelegd. Zoals ik heb beschreven in Hoofdstuk 2.3 zijn de landen die deelnemen aan de UNFCCC verdeeld in verschillende groepen. In deze appendix geef ik weer welke landen tot welke groep behoren. De Non-Annex I groep zal ik hier niet weergeven aangezien die groep uit meer dan 150 landen bestaat.

Annex I en Annex II

Alle onderstaande landen zijn geïndustrialiseerd of hebben een overgangseconomie en vallen daarom in Annex I. Een deel van Annex I vormt Annex II, deze zijn aangegeven met een ². De landen die Annex II vormen zijn lid van de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling en hebben zichzelf verplicht om ontwikkelingslanden en landen met een economie in overgang op financieel en technisch gebied te ondersteunen. De landen aangemerkt met een ¹ zijn landen met een overgangseconomie.

Australië ²	Griekenland ²	Polen ¹
Oostenrijk ²	Hongarije ¹	Portugal ²
Wit-Rusland ¹	IJsland ²	Roemenië ¹
België ²	Ierland ²	Rusland ¹
Bulgarije ¹	Italië ²	Slowakije ¹
Canada ²	Japan ²	Slovenië ¹
Kroatië ¹	Letland ¹	Spanje ²
Cyprus	Liechtenstein	Zweden ²
Tsjechische Republiek ¹	Litouwen ¹	Zwitserland ²
Denemarken ²	Luxemburg ²	Turkije
Estland ¹	Malta	Oekraïne ¹
Europese Unie ²	Monaco	Verenigd Koninkrijk en Noord-Ierland ²
Finland ²	Nederland ²	Verenigde Staten van Amerika ²
Frankrijk ²	nieuw Zeeland ²	
Duitsland ²	Noorwegen ²	

Least Developed Countries

De onderstaande 48 landen zijn de minst ontwikkelde landen die deelnemen aan het UNFCCC. Deze landen hebben een speciale status aangezien ze beperkt kunnen reageren op klimaatverandering.

Afghanistan	Angola	Bangladesh
Benin	Bhutan	Burkina Faso
Boeroendi	Cambodja	Centraal Afrikaanse Republiek
Tsjaad	Comoren	Democratische Republiek Congo
Djibouti	Equatoriaal-Guinea	Eritrea
Ethiopië	Gambia	Guinea
Guinee-Bissau	Haïti	Kiribati
Lao Democratische Volksrepubliek	Lesotho	Liberia
Madagascar	Malawi	Mali
Mauritanië	Mozambique	Myanmar
Nepal	Niger	Rwanda
Sao Tome en Principe	Senegal	Sierra Leone
Solomon eilanden	Somalië	Zuid-Soedan
Soedan	Oost-Timor	Gaan
Tuvalu	Verenigde Republiek	Oeganda
Vanuatu	Tanzania	Zambia
	Jemen	

Appendix B – Jaarlijkse hoeveelheid op de markt gebrachte EUA's

In deze Appendix geef ik weer hoeveel emissierechten binnen het EU ETS er per jaar op de markt zullen komen. Dit is gebaseerd op de huidige beslissing van de Europese Commissie om het aantal nieuwe emissierechten met 1,74% lineair per jaar af te bouwen tot en met 2020. Na 2020 gaat het percentage omhoog naar 2,20%.

Jaar	Aantal op de markt te brengen EUA's in miljoenen per jaar
2013	2.084,30
2014	2.046,04
2015	2.007,77
2016	1.969,51
2017	1.931,24
2018	1.892,98
2019	1.854,72
2020	1.816,45
2021	1.768,07
2022	1.719,69
2023	1.671,31
2024	1.622,93
2025	1.574,55
2026	1.526,17
2027	1.477,79
2028	1.429,41
2029	1.381,03
2030	1.332,65
2031	1.284,27
2032	1.235,89
2033	1.187,51
2034	1.139,13
2035	1.091,00
2036	1.042,00
2037	994,00
2038	946,00
2039	897,00
2040	849,00
2041	800,00
2042	752,00
2043	704,00
2044	655,00
2045	607,00
2046	559,00
2047	510,00
2048	462,00
2049	413,00
2050	365,00

Appendix C – VCS certificeringsinstellingen binnen Europa

De instellingen in de onderstaande tabel zijn bevoegd tot het certificeren van projecten volgens de Verified Carbon Standard.

Naam	Land
Bureau Veritas Certification Holding SAS	Frankrijk
Ecocert S.A.	Frankrijk
ERM Certification and Verification Services Ltd.	Verenigd Koninkrijk
Germanischer Lloyd Certification GmbH	Duitsland
LGAI Technological Center, S.A. (Applus+)	Spanje
Lloyd's Register Quality Assurance Ltd (LRQA)	Verenigd Koninkrijk
RINA S.p.A	Italië
SGS United Kingdom Ltd.	Verenigd Koninkrijk
Spanish Association for Standardisation and Certification (AENOR)	Spanje
Swiss Association for Quality and Management Systems	Zwitserland
TÜV Nord Cert GmbH	Duitsland
TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH	Duitsland