

BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN

*master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur: technologie-, innovatie- en
milieumanagement*

2 0 1 0
2 0 1 1

Masterproef

*Onderzoek naar de economische haalbaarheid van
CO2-reducerende maatregelen in een recyclagebedrijf voor
papier en karton.
Toepassing voor het bedrijf Bongaerts Recycling.*

Promotor :
Prof. dr. Theo THEWYS

Greet Bongaerts

*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de toegepaste
economische wetenschappen: handelsingenieur, afstudeerrichting technologie-, innovatie-
en milieumanagement*

BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN

*master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur: technologie-, innovatie- en
milieumanagement*

Masterproef

*Onderzoek naar de economische haalbaarheid van
CO₂-reducerende maatregelen in een recyclagebedrijf voor
papier en karton.*

Toepassing voor het bedrijf Bongaerts Recycling.

Promotor :

Prof. dr. Theo THEWYS

Greet Bongaerts

*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de toegepaste
economische wetenschappen: handelsingenieur , afstudeerrichting technologie-, innovatie-
en milieumanagement*

Woord Vooraf

Deze masterproef wordt voorgedragen voor het behalen van het diploma Toegepaste Economische Wetenschappen: Handelsingenieur in Technologie-, innovatie-, en milieumanagement met optie Marketing aan de Universiteit Hasselt.

Mijn bekommernis om het milieu en het feit dat de opwarming van de aarde de laatste jaren meer en meer aandacht verkrijgt en bovendien nodig heeft, zette me aan tot het kiezen van een eigen onderwerp. Het leek me interessant en zinvol om na te gaan wat een KMO kan doen om zijn invloed op de opwarming van de aarde te beperken. De KMO in kwestie is het recyclagebedrijf van mijn ouders, Bongaerts Recycling.

Graag zou ik dan ook mijn promotor Prof. Dr. Theo Thewys willen bedanken die me toeliet dit eigen gekozen onderwerp uit te werken en me steeds heeft bijgestaan met zijn adviezen en eigen ervaringen.

De totstandkoming van deze masterproef was een uitermate boeiende ervaring, doch was het niet altijd even gemakkelijk. Vandaar dat ik enkele woorden van dank wil uiten naar allen die op een of andere manier hebben bijgedragen aan de realisatie van mijn onderzoek. Zo wil ik mijn dank uitdrukken aan allen die mij toelieten een interview af te nemen en die ik steeds voor verdere informatie kon bereiken. In het bijzonder wil ik Dhr. Simons van Groep Jam Mercedes-Benz, Dhr. Brutsaert en Dhr. Swolfs van BUGA Limburg, Dhr. Tavernier van Scania België, Dhr. Biesemans van IVECO België, Mevr. van Dosselaer van MAN Truck en Bus en Dhr. Verhulst van Ecofillco bedanken. Verder wil ik Patrick Vanierschot van Bongaerts Recycling bedanken voor alle gegevens die hij mij ter beschikking stelde.

Uiteraard wil ik ook mijn ouders bedanken om mij te kans te geven om deze universitaire studie aan te vatten en te voltooien en voor de steun die ze mij de afgelopen vijf jaar hebben gegeven. Voor deze steun wil ik ook mijn vriend, mijn zus en broers bedanken alsook mijn vrienden die van mijn studietijd een prachtige ervaring maakten.

Greet Bongaerts

Samenvatting

De opwarming van de aarde is een globaal probleem dat tegenwoordig niet meer uit de actualiteit is weg te slaan. Eén van de broeikasgassen die het opwarmingseffect induceren, is koolstofdioxide (CO₂). Met een aandeel van 87% in de totale broeikasgasuitstoot van België is dit het meest geproduceerde broeikasgas. De enorme stijging van de hoeveelheid van dit gas sinds de industriële evolutie en toenemende reguleringen van allerhande bevoegde instanties, zet aan tot het ondernemen van actie. Dit geldt ook voor bedrijven. Deze stoten in Vlaanderen een vijfde van de totale hoeveelheid CO₂ uit. Dit percentage is ten opzichte van 1990 slechts met 3% gedaald. Bedrijven moeten daarom, zoals ook ieder individu, meehelpen aan de duurzame ontwikkeling van de maatschappij. Ze gaan steeds meer op zoek naar duurzame oplossingen, zoals ook het bedrijf uit de gevalstudie, Bongaerts Recycling.

Indien men CO₂-uitstoot wil verlagen, moet men eerst bepalen hoeveel deze bedraagt. In de literatuur is er veel onenigheid over hoe men een CO₂-voetafdruk berekent en wat deze term precies inhoudt. Zo rijst onder andere de vraag of men enkel CO₂ of ook andere broeikasgassen moet opnemen. Een methode waarnaar vaak verwezen wordt door de literatuur en organisaties, is deze van het GHG Protocol Initiative. Volgens deze standaard moet men eerst de emissies identificeren en categoriseren. Vervolgens moet men per bron het energieverbruik bepalen om daar dan een gepaste emissiefactor op toe te passen. Van deze methode werd gebruikgemaakt om de CO₂-uitstoot van Bongaerts Recycling te bepalen. Er werden twee voetafdrukken berekend: een CO₂-voetafdruk en een ruimere broeikasgasvoetafdruk. Aangezien er bij het bedrijf Bongaerts vooral verbranding van fossiele brandstoffen plaatsvindt waarbij voornamelijk CO₂ vrijkomt, leidden beiden niet tot verschillende conclusies. De conclusie is dat 63% van de CO₂-uitstoot van 1 983,77 ton gerecupereerd papier en karton tweegebracht wordt door de vrachtwagens die instaan voor het aan- en afvoeren van de afvalstromen.

Om een duurzame oplossing te vinden, werd gebruikgemaakt van de gedachtegang bekend als de Trias Energeticas. Dit is een driestappenplan dat gebruikt kan worden om CO₂-neutraal te worden. Een oplossing voor de eerste vraag van de Trias Energeticas, energiebesparing, is het concept van eco-driving. Aangezien dit een investering in menselijk kapitaal behelst en niet in vast kapitaal, dat steeds in het bezit van het bedrijf zal blijven, werd in eerste instantie niet gekozen voor deze oplossing. Ook zijn er een aantal tips van eco-driving waaraan het bedrijf uit de gevalstudie moeilijk kan voldoen. Een oplossing voor de tweede vraag, hoe duurzame energie in te schakelen, is het gebruik van zonne-energie. Dit focust evenwel niet op de zwaarst vervuilende categorie van het bedrijf uit de gevalstudie en aangezien men al groene stroom gebruikt, besloten we hier niet verder op in te gaan. Pure plantaardige olie (PPO) als transportbrandstof was wel een antwoord op deze tweede vraag. Omwille van het CO₂-neutraal karakter, leek dit de oplossing bij uitstek. Er

bleken echter een aantal technische nadelen verbonden te zijn aan deze brandstof. Een andere mogelijkheid, namelijk het rijden op aardgas, bleek omwille van verschillende voordelen een oplossing om verder te onderzoeken. Bovendien leverde het antwoord op de laatste vraag van de Trias Energeticas, hoe fossiele energie zo efficiënt mogelijk te gebruiken, geen oplossingen op.

Aardgas als transportbrandstof bestaat in twee vormen, samengeperst (CNG) en vloeibaar (LNG). Daarnaast kan aardgas in een vrachtwagen op twee manieren gebruikt worden. Een eerste mogelijkheid is dat de vrachtwagen alleen op aardgas rijdt. Dit is het mono-fuel-principe. Daarnaast is er ook nog het dual-fuel-principe. Hierbij wordt een combinatie van aardgas en diesel verbruikt. In de literatuur was er betrekkelijk veel te vinden over aardgas als transportbrandstof. Op economisch vlak werd vastgesteld dat de CNG-prijs lager is dan de dieselprijs. Dit zou bovendien in de toekomst behouden blijven. Het probleem indien men wil overschakelen op aardgas, is echter dat men genoodzaakt is zelf een tankstation te plaatsen aangezien publieke tankstations vooralsnog ontbreken. In de eigen uitgevoerde economische analyse werd de kost van een tankstation mee in rekening genomen en werden twee types aardgasvrachtwagens onderzocht. Het betrof enerzijds een af-fabriekvrachtwagen op CNG (mono-fuel) en anderzijds een omgebouwde bestaande vrachtwagen die rijdt op een combinatie van CNG en diesel (dual-fuel). In de analyse was de CNG-kost (€/kWh), die bestaat uit de prijs van aardgas en de kost van het comprimeren, ongeveer 46% van deze van diesel. Er werd hierbij rekening gehouden met het verschil in calorische waarde. Het verschil in brandstofkost leverde een brandstofbaat (€/km) op. Daarnaast is er een meerkost verbonden aan de aanschaf van een af-fabriekaardgasvrachtwagen of het ombouwen van een bestaande vrachtwagen in vergelijking met een conventionele dieselvrachtwagen. Er zouden zich geen andere extra kosten voordoen. Als men de kosten en baten in overweging neemt en rekening houdt met de tijds waarde van het geld door de methode van de netto contante waarde (NCW) toe te passen, kan nagegaan worden of de brandstofbaat de meer- of ombouwkost (extra-investering) kan dekken. Dit was zowel voor de mono-fuel als de dual-fuel het geval. Het is echter zo dat er op dit moment tevens geïnvesteerd moet worden in een tankinstallatie. De kost hiervan is relatief groot. Dit zorgt ervoor dat de totale NCW van de investering in het tankstation en de meerkost van de vrachtwagen, zeer negatief wordt. Een oplossing hiervoor is meerdere vrachtwagens aankopen of meer kilometers afleggen, zodat de brandstofbaat stijgt. Een andere oplossing zou zijn, wachten tot er publieke tankstations komen. Als men immers CNG kan gaan tanken, is de NCW positief voor beide type vrachtwagens. Om de invloed van bepaalde parameters te achterhalen, werden de resultaten onderworpen aan een sensitiviteitsanalyse. Hieruit bleek dat de meerprijs en de ombouwkost invloedrijke parameters zijn. Ook accijnzen hebben een grote invloed op de NCW. Voor de dual-fuel-situatie is nog een andere parameter, met name de 'hoeveelheid vervangen diesel', zeer invloedrijk.

Aardgas heeft de laagste koolstofwaterstofratio van alle fossiele brandstoffen en is hierdoor de schoonste fossiele brandstof. Als men alleen de verbranding in beschouwing neemt, wordt er

ongeveer 23% minder CO₂ uitgestoten in vergelijking met diesel. Indien echter rekening gehouden wordt met de energie-efficiëntie is er verschil tussen een diesel- en benzinemotor. Zo zou de eerste efficiënter zijn dan de tweede. Aangezien aardgasmotoren gebaseerd zijn op het principe van een benzinemotor, kan het voordeel teniet gedaan worden. Bij de dual-fuel-vrachtwagen zou dit dan weer niet het geval zijn, maar de reductiemogelijkheid is hoe dan ook beperkt, aangezien er maar een beperkte hoeveelheid dieselbrandstof vervangen wordt door aardgas. Uit de eigen analyses kon vastgesteld worden dat de levenscyclus-emissiefactor van CNG bestaat uit (i) de emissie van de compressie en (ii) de levenscyclus-emissiefactor van aardgas. De overschakeling van diesel naar CNG betekent een besparing van 16,50% broeikasgassen. Als er rekening gehouden wordt met efficiëntie dan kan omschakeling naar een mono-fuel-vrachtwagen op aardgas een reductie tot 21,68% opleveren. Bij een dual-fuel-vrachtwagen bedraagt dit maximaal 6,54%. Deze vermindering levert niet enkel een baat op voor het bedrijf, maar ook voor de maatschappij in zijn geheel. Het omzetten van de CO₂-reductie in monetaire termen, kan een manier zijn om aan deze sociale baat waarde te geven. Dit kan met behulp van de prijs van de CO₂-emissierechten.

Tot slot werden de theoretische modellen getoetst aan de praktijk. Voor Bongaerts Recycling werden met behulp van specifieke bedrijfsgegevens de NCW's en de CO₂-reducties berekend van de overschakeling naar CNG. Er werd vastgesteld dat de brandstofbaat kleiner is dan in het basismodel. Dit komt door een lagere dieselprijs. Bovendien is steun van de overheid mogelijk onder de vorm van de ecologiepremie. De conclusie is echter dat de mono-fuel-vrachtwagen geen positieve NCW oplevert, het ombouwen van een aantal types vrachtwagens naar dual-fuel wel. De totale NCW van het ombouwen van alle types vrachtwagens met een positieve NCW en het installeren van een tankstation bedraagt 67 943,13 euro en de kans hierop 92,05%. Indien de accijnzen uit de analyse verwijderd worden, stijgt de kans zelfs naar 99,95%. Ten slotte kan Bongaerts Recycling een reductie van 5,5% van zijn totale broeikasgasuitstoot bewerkstelligen. Doordat men gebruikmaakt van groene stroom is dit meer dan theoretisch verwacht. Deze reductie zou kunnen leiden tot een daling van 1% van de totale CO₂-uistoot in de keten vanaf inzameling van oud papier en karton tot en met de productie van nieuw krantenpapier.

Inhoudsopgave

Woord Vooraf	I
Samenvatting	III
Inhoudsopgave	VII
Lijst van figuren	XI
Lijst van tabellen.....	XIII
Hoofdstuk 1: Inleiding.....	1
Hoofdstuk 2: Probleemstelling	5
2.1 Praktijkprobleem	5
2.1.1 Situering	5
2.1.2 Verantwoording.....	6
2.2 Onderzoeksvragen.....	7
2.3 Onderzoeksopzet.....	7
Hoofdstuk 3: CO₂-voetafdruk.....	9
3.1 Theoretisch model	9
3.1.1 Kritiek.....	10
3.1.2 Berekening voor bedrijven.....	10
3.1.3 Conclusie	15
3.2 Berekening CO ₂ -voetafdruk Bongaerts Recycling	15
3.2.1 CO ₂ -uitstoot	19
3.2.2 GHG-uitstoot	22
3.2.3 Conclusie	23
Hoofdstuk 4: Zoektocht naar CO₂-reducerende maatregelen.....	25
4.1 Trias Energeticas.....	25
4.1.1 Energiebesparing	26
4.1.1.1 Eco-driving.....	26
4.1.2 Duurzame energiebron.....	28
4.1.2.1 Pure Plantaardige Olie	28
4.1.2.2 Aardgas	30

4.1.2.3 Zonne-energie	31
4.1.3 Efficiënt gebruik van fossiele brandstoffen	31
4.2 Conclusie.....	32
Hoofdstuk 5: Aardgas als mogelijkheid tot CO₂-reductie	33
5.1 Wat is aardgas?	33
5.2 Aardgas als transportbrandstof	34
5.2.1 Technologie	35
5.2.1.1 Ombouwen.....	35
5.2.1.2 Motoren.....	36
5.2.1.3 Aanbod van aardgasvrachtwagens	37
5.2.2 Populatie van aardgasvoertuigen.....	38
5.2.2.1 Wereld.....	38
5.2.2.2 Europa	40
5.2.2.3 België.....	42
5.3 Waarom aardgas als transportbrandstof?.....	42
5.3.1 Economische motieven.....	42
5.3.1.1 Aanbod van aardgas.....	43
5.3.1.2 Prijs van aardgas	44
5.3.1.3 Meerprijs	47
5.3.2 CO ₂ -reductiepotentieel.....	48
5.3.3 Andere milieuvoordelen.....	56
5.3.3.1 Lokale pollutie	56
5.3.3.2 Geluid	57
5.3.3.3 Veilig.....	57
5.3.4 Beschikbaarheid van de voertuig- en brandstoftechnologie	57
5.3.4.1 Voertuigen	58
5.3.4.2 Brandstof.....	59
5.4 Waarom zijn er zo weinig aardgasvoertuigen?.....	59
5.5 Aardgas als transitiebrandstof naar een duurzame energiemix	61

Hoofdstuk 6: Economische analyse	63
6.1 Kosten en baten	64
6.1.1 Brandstofkost diesel	64
6.1.2 Brandstofkost CNG	67
6.1.3 Investerings in aardgastankstation	70
6.1.4 Investerings in aardgasvrachtwagen	72
6.1.4.1 Meerprijs	72
6.1.4.2 Extra kosten.....	73
6.1.4.3 Restwaarde	74
6.1.5 Baten.....	74
6.1.5.1 Brandstofbaat.....	74
6.1.5.2 Andere extra baten	75
6.2 Kosten-batenanalyse	77
6.3 Berekening Netto Contante Waarde (NCW)	78
6.4 Sensitiviteitsanalyse	85
6.5 Conclusie.....	91
Hoofdstuk 7: CO₂-reductie-analyse	95
7.1 Emissiefactor CNG	96
7.2 Reductiebepaling	97
7.2.1 Reductiemogelijkheid case 1: mono-fuel	97
7.2.2 Reductiemogelijkheid case 2: dual-fuel	99
7.3 Sociale baat.....	100
7.4 Conclusie.....	102
Hoofdstuk 8: Toepassing voor Bongaerts Recycling	105
8.1 Economische analyse	105
8.1.1 Gegevens	105
8.1.2 Berekening NCW	105
8.1.3 Sensitiviteitsanalyse	112
8.1.4 Conclusie	115
8.2 CO ₂ -reductie-analyse	117

8.2.1	Berekening	117
8.2.2	Sensitiviteitsanalyse	119
8.2.3	Sociale baat.....	121
8.2.4	Conclusie	122
8.3	Praktische aspecten	122
Hoofdstuk 9: Conclusies en aanbevelingen.....		125
Lijst van geraadpleegde werken.....		129
Bijlagen		147

Lijst van figuren

Figuur 1: Aandeel van de verschillende broeikasgassen in de totale uitstoot (in %) (2009).....	1
Figuur 2: Aandeel van de verschillende sectoren in de CO ₂ -emissie in Vlaanderen (2009) (in %)...	2
Figuur 3: Schematische voorstelling van carbon-footprint-toepassingen en overeenstemmende methoden.....	9
Figuur 4: Overzicht van de scopes en emissies in de waardeketen.....	12
Figuur 5: Stappen in het identificeren en berekenen van broeikasgasemissies.....	12
Figuur 6: Vereenvoudigde weergave van het bedrijfsproces van Bongaerts Recycling.....	17
Figuur 7: Vereenvoudigde weergave van de waardeketen en bijhorende CO ₂ -uitstoot (in g/kg) van gerecycleerd krantenpapier	21
Figuur 8: Procentueel aandeel per categorie van uitstootbronnen in de totale CO ₂ -uitstoot van Bongaerts Recycling	21
Figuur 9: Trias Energeticas	26
Figuur 10: Groei van het aantal gasvoertuigen in de wereld.....	39
Figuur 11: Het aantal CNG-voertuigen per voertuigtype begin 2009.....	40
Figuur 12: Gemiddelde importprijzen van fossiele brandstoffen in Europa.....	45
Figuur 13: Totale broeikasgasuitstoot (g CO ₂ -eq./ km) voor zware voertuigen (geen bussen)	52
Figuur 14: Broeikasgasuitstoot (g CO ₂ -eq./ km) van de levenscyclusanalyse voor voertuigen op B30, CNG en diesel.....	53
Figuur 15: Levenscyclus-broeikasgasemissies (kg CO ₂ -eq./km _{truck}) verdeeld in well-to-tank en tank-to-wheel-emissies	54
Figuur 16: Gemiddelde maximumprijzen diesel excl. BTW van de laatste 22 jaar.....	65
Figuur 17: Formule van de NCW.....	78
Figuur 18: Samenvattende voorstelling van de NCW-berekeningen.....	78
Figuur 19: Sensitiviteit van de NCW van case 1.....	89
Figuur 20: Sensitiviteit van de NCW van case 2.....	91
Figuur 21: Well-to-wheel-emissies (in g CO ₂ -eq.) per kilometer van diesel- en aardgasvrachtwagen case 1, mono-fuel	98
Figuur 22: Well-to-wheel-emissies (in g CO ₂ -eq.) per kilometer van diesel- en aardgasvrachtwagen case 2, dual-fuel	100
Figuur 23: Simulatie van de NCW van Bongaerts Recycling.....	114

Figuur 24: Sensitiviteit van de NCW van Bongaerts Recycling	114
Figuur 25: Simulatie van de NCW van Bongaerts Recycling met het interval van accijnzen versmald naar 0,0101.....	115
Figuur 26: Procentueel aandeel per categorie van uitstootbronnen in de totale GHG-uitstoot en vermindering van de totale GHG-uitstoot van Bongaerts Recycling	118
Figuur 27: Sensitiviteit van de CO ₂ -reductie van Bongaerts Recycling	120
Figuur 28: Simulatie van de CO ₂ -reductie van Bongaerts Recycling.....	121

Lijst van tabellen

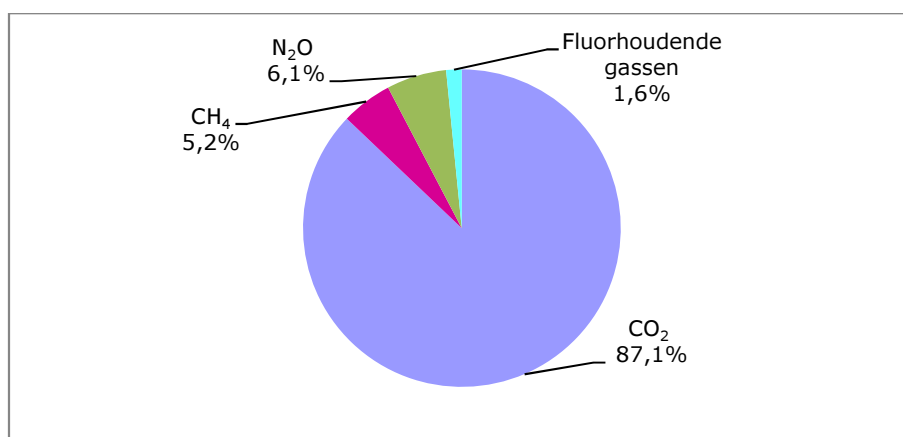
Tabel 1: Standaard-emissiefactoren.....	19
Tabel 2: CO ₂ -uitstoot van Bongaerts Recycling met en zonder groene stroom uitgedrukt in ton CO ₂ per jaar voor het jaar 2009	20
Tabel 3: Levenscyclus-emissiefactoren.....	22
Tabel 4: GHG-uitstoot van Bongaerts Recycling met en zonder groene stroom uitgedrukt in ton CO ₂ -equivalenten per jaar voor het jaar 2009	23
Tabel 5: Typische samenstelling van aardgas voor raffinage	33
Tabel 6: Aardgasvrachtwagens van verschillende merken.....	38
Tabel 7: Top tien van Europese landen met de meeste gasvrachtwagens	42
Tabel 8: Meerprijzen van verschillende vrachtwagenmerken	48
Tabel 9: Rangschikking merken volgens kostprijs (van goedkoop naar duur)	48
Tabel 10: Koolstofinhoud van verschillende brandstoffen.....	49
Tabel 11: Samenstelling dieselprijs (25/01/11)	64
Tabel 12: Variabele kostencomponenten aardgas exclusief BTW (30/03/2010).....	68
Tabel 13: Gegevens NCW-berekening basisscenario case1, mono-fuel	80
Tabel 14: Berekening NCW basisscenario case1, mono-fuel	81
Tabel 15: Gegevens NCW-berekening basisscenario case 2, dual-fuel	82
Tabel 16: Berekening NCW basisscenario case 2, dual-fuel	83
Tabel 17: Gegevens NCW-berekening tankstation	84
Tabel 18: Berekening NCW tankstation	84
Tabel 19: Aantal vrachtwagens zodat NCW totale project 1 en 2 positief is.....	85
Tabel 20: Invloed aantal gereden kilometers en verbruik op NCW project 1 en 2.....	86
Tabel 21: Aantal gereden kilometers en verbruik waarbij NCW project 1 en 2 positief is.....	86
Tabel 22: Interval en waarschijnlijkheidsverdeling van verschillende parameters voor simulatie basismodel case 1	88
Tabel 23: Interval en waarschijnlijkheidsverdeling van verschillende parameters voor simulatie basismodel case 2	90
Tabel 24: NCW en brandstofbaat (in jaar 1) van alle opties	92
Tabel 25: Bijdrage van enkele parameters aan de variatie van de NCW van case 1 en 2.....	93

Tabel 26: Vergelijking emissiefactoren diesel en CNG	97
Tabel 27: Emissies van diesel- en aardgasvrachtwagen case 1, mono-fuel.....	98
Tabel 28: Emissies van diesel- en aardgasvrachtwagen case 2, dual-fuel	99
Tabel 29: Berekening NCW van sociale baat case 1, mono-fuel	101
Tabel 30: Berekening NCW van sociale baat case 2, dual-fuel	101
Tabel 31: Gegevens NCW-berekening basisscenario case 1 Bongaerts Recycling	106
Tabel 32: Berekening NCW basisscenario case 1, distributievrachtwagen	107
Tabel 33: Gegevens NCW-berekening basisscenario case 2a Bongaerts Recycling.....	108
Tabel 34: Berekening NCW basisscenario case 2a, containervrachtwagen.....	109
Tabel 35: Gegevens NCW-berekening tankstation Bongaerts Recycling	110
Tabel 36: Berekening NCW tankstation Bongaerts Recycling	110
Tabel 37: Gegevens NCW-berekening basisscenario case 2b Bongaerts Recycling.....	111
Tabel 38: Interval en waarschijnlijkheidsverdeling van verschillende parameters voor simulatie case 2b Bongaerts Recycling	113
Tabel 39: Gegevens CO ₂ -reductieberekening case 2b Bongaerts Recycling	117
Tabel 40: CO ₂ -vermindering per type vrachtwagen en het totaal van alle vrachtwagens.....	118
Tabel 41: Berekening NCW van sociale baat Bongaerts Recycling	122

Hoofdstuk 1: Inleiding

De laatste jaren is de verandering van het klimaat niet meer uit de actualiteit weg te slaan. Dit komt door het feit dat deze klimaatverandering in de toekomst steeds grotere gevolgen zal hebben voor de temperatuur, het neerslagpatroon, het smelten van de ijskappen en het niveau van de oceanen. Deze hebben vervolgens een effect op de voedselproductie, de waterbevoorrading, de biodiversiteit, het zeeniveau en de menselijke gezondheid (Campbell & Reece, 2004). De oorzaak van de temperatuurstijging die deze problemen tot gevolg heeft, ligt in het verhoogde broeikaseffect. (FOD VVVL, 2009)^a

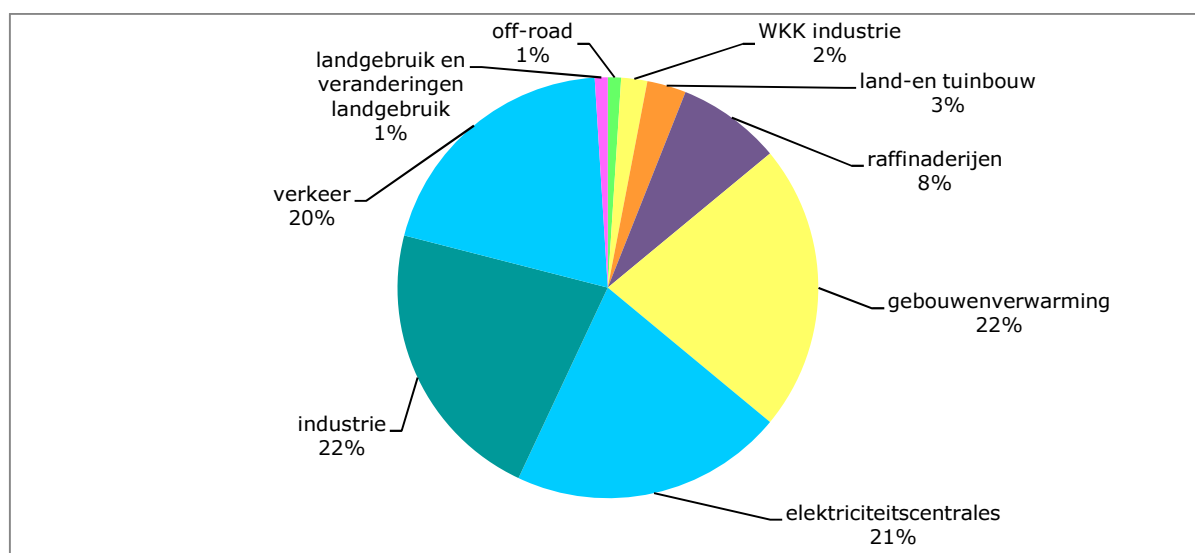
Het broeikaseffect is eerst en vooral een natuurlijk fenomeen. Het opwarmingseffect ontstaat doordat de moleculen van gasen die van nature aanwezig zijn in de atmosfeer het infrarode licht uitgestraald door de aarde absorberen. Zonder broeikaseffect zou de temperatuur op aarde gemiddeld -18°C zijn en zou leven onmogelijk zijn. De gasen die dit effect induceren noemt men broeikasgasen. Men onderscheidt hierin natuurlijke en industriële broeikasgasen. Onder natuurlijke broeikasgasen verstaat men waterdamp (H_2O), koolstofdioxide (CO_2), methaan (CH_4), lachgas of distikstofoxide (N_2O) en ozon (O_3). Deze broeikasgasen komen tot stand door natuurlijke processen. Daarnaast heeft de mens ook een aantal gasen geproduceerd die bijdragen aan de versterking van het broeikaseffect. Gefluoreerde koolwaterstoffen zoals CFK's en zwavelhexafluoride (SF_6) behoren tot deze zogenaamde industriële broeikasgasen. Het probleem is nu echter dat door de menselijke activiteiten de concentratie van enkele natuurlijke broeikasgasen erg is toegenomen en er tevens industriële broeikasgasen zijn geproduceerd. Dit zorgt voor een versterking van het natuurlijke broeikaseffect waardoor de aarde opwarmt. Indien men geen maatregelen zou nemen om de uitstoot van broeikasgasen te verminderen, zal het opwarmingseffect alleen maar groter worden. (FOD VVVL, 2008)



Figuur 1: Aandeel van de verschillende broeikasgasen in de totale uitstoot (in %) (2009)

Bron: Gebaseerd op gegevens van FOD VVVL (2011)

Uit bovenstaande figuur kunnen we afleiden dat koolstofdioxide het meest geproduceerde broeikasgas is. Bovendien heeft het een aandeel van groter dan 50% in het broeikaseffect. (FOD VVVL (2008)) We kunnen dus wel stellen dat CO₂ het belangrijkste broeikasgas is. De planten en de oceaan nemen deze koolstofdioxide op, maar door de enorme toevloed van de laatste 200 jaar kunnen ze deze niet allemaal verwerken. Sinds de industriële revolutie wordt er namelijk steeds meer CO₂ geproduceerd. Dit komt door een steeds grotere vraag naar energie. Het merendeel van deze energie wordt uit fossiele energiebronnen zoals steenkool, aardolie en gas gehaald. Dit gebeurt door verbranding waardoor er koolstofdioxide vrijkomt. Ruw geschat wordt de helft van de totale uitstoot opgenomen, maar de andere helft doet de natuurlijke hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer drastisch verhogen. De CO₂-concentratie is hierdoor sinds de industriële revolutie al met een derde toegenomen. (FOD VVVL, 2009)^b In 2009 werd er in Vlaanderen 73 155 000 ton CO₂ uitgestoten. 22% van deze CO₂-uitstoot werd teweeggebracht door de industrie. Dit is maar liefst een vijfde. Bovendien is deze uitstoot slechts met 3% gedaald ten opzichte van 1990. (VMM, 2009)



Figuur 2: Aandeel van de verschillende sectoren in de CO₂-emissie in Vlaanderen (2009) (in %)

Bron: Gebaseerd op gegevens van VMM (2009)

Er moet dus dringend ingegrepen worden indien we de verdere opwarming van de aarde willen tegengaan en catastrofale gevolgen willen vermijden. De maatschappij bewust maken van het probleem van de klimaatverandering vergt heel veel tijd en inspanning. Eens als het besef er is dat het klimaatprobleem een probleem is van iedereen en dat niemand eraan ontkomt, moet er overgegaan worden tot actie. Doordat er echter verschillende actoren zijn in de maatschappij die elk hun eigen visie hebben op het probleem, wordt het overgaan tot actie bemoeilijkt. Daarom is het noodzakelijk dat er een degelijk sturend beleid is zowel op internationaal, Europees en nationaal niveau. (FOD VVVL, 2010)^a

Op internationaal niveau worden sinds 1979 klimaatconferenties gehouden. Uit een van deze vloeide het alom gekende "Kyoto Protocol" voort. (FOD VVVL, 2010)^b Niet enkel op internationaal niveau, maar ook op Europees niveau worden er maatregelen genomen. Zo voerde de Europese Gemeenschap in 2005 een systeem van emissiehandel in. Het kreeg de naam "European Union Greenhouse Gas Emission Trading System" (EU ETS). (Europese Commissie, 2010)^a In 2010 dan vaardigde de Europese Unie de "2020 doelstellingen" uit. Zo wil men een verlaging van 20% van de broeikasgassen ten opzichte van 1990, een verhoging van 20% van de energie-efficiëntie en 20% van de energie moet op duurzame wijze worden opgewekt. (Europa Nu, z.d.) Op nationaal niveau werd in 1994 voor het eerst aandacht besteed aan een klimaatbeleid. De federale regering besloot namelijk om tegen 2000 de CO₂-uitstoot te verminderen met 5% ten opzichte van 1990. Uit deze beslissing volgde het "Nationaal Programma ter vermindering van de CO₂-uitstoot" waarvan maar weinig elementen werden gerealiseerd. Met het oog op het halen van de Kyoto-norm besliste in 1998 de Interministeriële Conferentie voor het Leefmilieu (ICL) om tegen het einde van 1999 een klimaatplan op te stellen. Later ontstond het "Nationaal Klimaatplan van België 2009-2012". Dit plan omvat een inventaris van de stand van zaken (op 31/12/2008) en van alle bestaande maatregelen van de federale staat en de gewesten. Ook werd op nationaal niveau het "Nationaal Toewijzingsplan" opgesteld door de Belgische overheden. Zoals reeds vermeld is een systeem van emissiehandel binnen de Europese Unie in voege. Aan de betrokken installaties worden op basis van dit plan emissierechten verleend. Deze rechten worden geregistreerd, beheerd en verhandeld via het nationaal register voor broeikasgassen. (Belgische federale overheid, 2010 en FOD VVVL, 2010^c)

Hoofdstuk 2: Probleemstelling

Het is hoog tijd om onze CO₂-uitstoot in kaart te brengen en overwegingen te maken om deze te reduceren als we willen rekening houden met de gevolgen van de grote hoeveelheden CO₂ en de toenemende reguleringen hieromtrent. Vanuit dit perspectief is het dus zeer nuttig om in bedrijfscontext onderzoek te doen naar de economische en technische haalbaarheid van CO₂-reducerende maatregelen.

2.1 Praktijkprobleem

2.1.1 Situering

Het onderzoek met betrekking tot CO₂-uitstoot zal gebeuren voor Bongaerts Recycling. Bongaerts Recycling is een recuperatiebedrijf dat verschillende afvalstromen, waaronder voornamelijk papier en karton, inzamelt en sorteert om vervolgens als grondstof aan te bieden voor de industrie wereldwijd. Het doel 'Wij recupereren om te recyclen' is dan ook overduidelijk; ervoor zorgen dat afvalstoffen terug gerecupereerd worden en als input worden gebruikt in de industrie. (Bongaerts Recycling, z.d.) De recuperatieactiviteiten van Bongaerts Recycling kaderen zich binnen een groter geheel namelijk de levenscyclus van een product. Voor de hoofdactiviteiten oud papier en karton, is dit de papierketen. Deze kunt u terugvinden in bijlage 1.

Papier wordt gemaakt op basis van houtvezels en water. Bij papierrecyclage worden nieuwe houtvezels, uit bomen, gemengd met houtvezels uit gerecupereerd oud papier en karton om papierdeeg te maken. Er worden dus niet enkel nieuwe vezels gebruikt. Tegenwoordig maakt papierrecyclage integraal deel uit van het productieproces van papier en karton. In Europa zijn reeds meer dan 50% van de vezels gebruikt bij papierproductie, afkomstig van gerecupereerd papier. Het is belangrijk dat de papiergevezels van het oud papier niet aangetast worden door allerlei onzuiverheden, anders is het niet meer geschikt voor recyclage. Recuperatiebedrijven, zoals Bongaerts Recycling, spelen hierin een belangrijke rol. Zij zorgen voor de selectieve ophaling en het verwijderen van onzuiverheden zoals plastic, metalen, afval... door middel van sortering. Recuperatie is dus zeer belangrijk en moet steeds beter beheerd worden (Paper Chain Forum, 2006). In België werd er in 2004 gemiddeld 2,1 miljoen ton oud papier en karton gerecupereerd (Paper Chain Forum, 2006). In 2005 is dit cijfer gestegen tot 2,2 miljoen ton (Coberec, z.d.) waarvan 100 787 ton gerecupereerd werd door Bongaerts Recycling. Deze omzet is gestegen tot 175 000 ton in 2010. Hoeveel papier en karton gerecupereerd kan worden, hangt af van de cyclus van de economie, maar over het algemeen kunnen we stellen dat er een stijgende trend is wat recuperatie betreft (Paper Chain Forum, 2006) en dat Bongaerts Recycling hierin een niet onbelangrijke rol speelt.

2.1.2 Verantwoording

Duurzame ontwikkeling betekent volgens de definitie van het rapport van de Commissie Brundtland (1987, geciteerd in Paper Chain Forum, 2006, p. 10): "Een ontwikkeling die tegemoet komt aan de behoeften van de huidige generatie zonder de mogelijkheid voor toekomstige generaties om in hun behoeften te voorzien in gevaar te brengen". Tegenwoordig streeft elke strategie in die zin ernaar economische, sociale en milieueisen te verenigen (Paper Chain Forum, 2006). Op bedrijfsniveau is er dus steeds meer aandacht voor deze drie dimensies van duurzame ontwikkeling waar het milieu er één van is. Bedrijven gaan steeds meer vrijwillig hun verantwoordelijkheid ten opzichte van de maatschappij in zijn geheel opnemen. Dit wordt ook verstaan onder de term 'maatschappelijk verantwoord ondernemen' (MVO Vlaanderen, z.d.). Dit is echter nog lang geen algemene praktijk, maar ondernemingen hebben er wel steeds meer en meer aandacht voor.

Tegenwoordig is de CO₂-uitstoot van een bedrijf, oftewel de carbon footprint een 'hot item' (Lash & Weelington, 2007). Bedrijven gaan hun CO₂-uitstoot in kaart brengen en manieren zoeken om deze te reduceren. Een reductie zou een concrete bijdrage zijn van het bedrijf aan de globale uitdaging van klimaatsveranderingen. Zo kunnen ze bijdragen aan een beter milieu en een betere toekomst voor onze aarde, met andere woorden ze gaan het concept van duurzame ontwikkeling omzetten in de praktijk.

Bongaerts Recycling is zoals reeds aangehaald een bedrijf dat verschillende afvalstromen, waaronder vooral papier en karton, inzamelt en sorteert om vervolgens als grondstof aan te bieden voor de industrie wereldwijd. Bij alle productieprocessen, activiteiten van mensen... wordt er afval geproduceerd. Afval heeft een weerslag op het milieu. Als men deze weerslag wil beperken, zal men het afval goed moeten beheren. Een standaard hiervoor is de ladder van Lansink die de meest milieuvriendelijke verwerkingswijzen prioriteit geeft. De volgorde is als volgt: preventie, recyclage, aanwending als secundaire grondstof, tijdelijke opslag, conditioneren, verbranden en storten (Mira, 2007). Recyclage en aanwending als secundaire grondstof, de hoofdactiviteiten van Bongaerts Recycling, staan bovenaan de ladder en zijn dus milieuvriendelijke verwerkingswijzen. Een manier om deze verwerkingswijzen nog milieuvriendelijker te maken en milieubewuster te werk te gaan, kan door rekening te houden met verschillende milieuaspecten die een rol spelen bij deze verwerkingsmethoden. Een hiervan is de CO₂-uitstoot. Door de berekening van de CO₂-uitstoot, oftewel de carbon footprint, krijgt men een beter beeld van de invloed van de eigen activiteiten op het global warming effect. Een logische volgende stap is het nemen van maatregelen om deze te reduceren. Dit zal vervolgens een meerwaarde betekenen voor het bedrijf, want zo kan men de kosten van dure fossiele energiebronnen drukken en tevens een groener imago verwerven. Deze beide aspecten zullen een competitief voordeel vormen voor het bedrijf. Zo zullen andere bedrijven er steeds meer voor kiezen om met een milieuvriendelijk bedrijf samen te werken. Enerzijds omdat ze verplicht worden door de reguleringen van de overheid met betrekking tot CO₂-uitstoot en de

steeds duurder wordende fossiele brandstoffen en anderzijds omdat hun klanten het vragen. De hele keten zal dan milieuvriendelijker worden omdat telkens de vorige schakel in de waardeketen vraagt om een milieuvriendelijker aanbod. Dit zal op den duur alle bedrijven aansporen en zelfs verplichten indien ze competitief willen blijven, om meer aandacht te hebben voor de opwarming van de aarde (Lash & Weelington, 2007). Deze uitdaging vraagt om een proactief management. Enkel op deze manier kan gewerkt worden aan de vereiste mentaliteitswijziging die nodig is om het bedrijf en de werknemers voor te bereiden op deze nieuwe uitdaging. Dit wordt ook wel verstaan onder de term 'carbon management' of koolstofdioxidebeheer. (CO2logic, z.d.)^a

2.2 Onderzoeksvragen

Uit het voorgaande leiden we de volgende centrale onderzoeksvraag af:

Welke CO₂-reducerende maatregelen zijn haalbaar in een recyclagebedrijf voor papier en karton? Toepassing voor het bedrijf Bongaerts Recycling.

Het objectief van deze masterproef is een antwoord te verschaffen op deze vraag aan de hand van het oplossen van een aantal afgeleide deelvragen:

- **Hoe groot is de CO₂-uitstoot van Bongaerts Recycling?**
- **Welke CO₂-reducerende maatregelen zijn technisch en economisch haalbaar?**
- **Hoeveel CO₂ wordt er met de haalbare alternatieven bespaard?**

2.3 Onderzoekopzet

De opzet van deze eindverhandeling is het zoeken naar economisch en technisch zinvolle maatregelen om de CO₂-uitstoot van een recyclagebedrijf voor papier en karton te verlagen. Hiervoor wordt het recyclagebedrijf Bongaerts Recycling als gevalstudie gebruikt.

Het is nodig om de CO₂-uitstoot te berekenen om te weten waarvoor maatregelen gezocht moeten worden. Om een methodologie voor de berekening te achterhalen wordt gebruikgemaakt van wetenschappelijke literatuur en het internet. Vervolgens wordt deze methodologie toegepast in de praktijk voor de berekening van de CO₂-uitstoot van het bedrijf uit de gevalstudie.

Uit de berekening van de CO₂-uitstoot zal blijken waar de grootste verbeteringen behaald kunnen worden. Vervolgens zal getracht worden met behulp van de literatuur, het internet en gesprekken met bevoorrechte getuigen te achterhalen welke mogelijkheden er zijn. Het na deze verkennende studie meest beloftevolle alternatief zal nader onderzocht worden. Eerst zal de literatuur overlopen

en gegevens uit de praktijk verzameld worden. Vervolgens wordt de opgedane kennis gebruikt in een onderzoek naar de economische en technische haalbaarheid en de mate waarin dit alternatief een reductie kan opleveren.

Voor het onderzoek naar de economische haalbaarheid van het alternatief zal eerst en vooral een theoretisch model uitgewerkt worden. Hiervoor zal gebruikgemaakt worden van een erkende evaluatiemaatstaf voor milieu-investeringen, met name de kosten-batenanalyse. Deze zal uitgevoerd worden aan de hand van gegevens verkregen uit literatuur, gesprekken met bevoorrechte getuigen en het internet. Dit model zal vervolgens getoetst worden aan de praktijk, met de gegevens uit de gevalstudie.

Voor de reductie die de alternatieven kunnen opleveren, zal gebruikgemaakt worden van de methodes gebruikt voor de berekening van de CO₂-uitstoot.

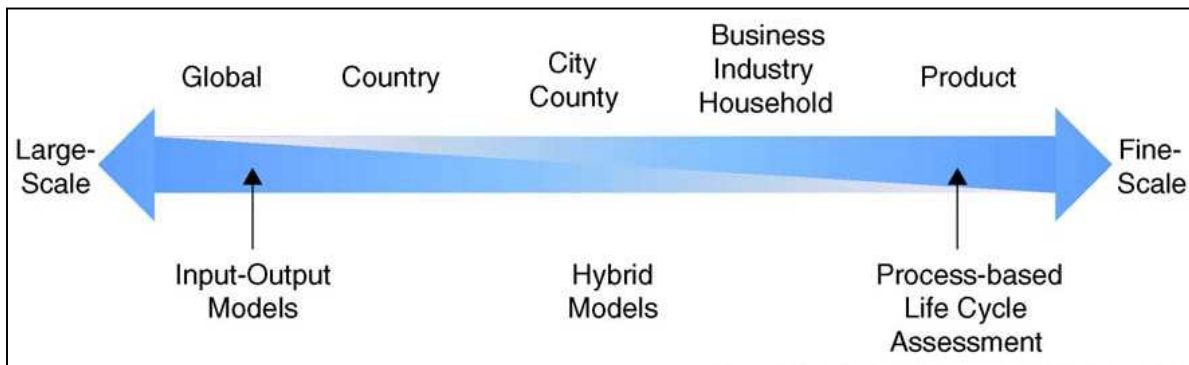
Er wordt veel gebruik gemaakt van wetenschappelijke artikels en hierbij wordt steeds getracht de recentste artikels te gebruiken. Onder wetenschappelijke literatuur worden artikels, studies en boeken verstaan, die teruggevonden kunnen worden in de elektronische bibliotheek van de Universiteit Hasselt. Het internet wordt ook veel geraadpleegd om up-to-date informatie te verkrijgen. Bij het raadplegen van internetteksten is het belangrijk om de accuraatheid te verifiëren. Daarom zal voornamelijk gebruikgemaakt worden van internetteksten van erkende onderzoeksinstituten, organisaties en overheden. Ook zal telkens nagegaan worden wanneer de tekst voor het laatst geüpdatet werd. Bovendien zal er gezorgd worden voor de juiste bronvermelding in de tekst zodat de lezer zelf de bronnen kan raadplegen. Ook in de literatuurlijst kan men alle gebruikte bronnen terugvinden. Naast geschreven bronnen wordt er ook veel informatie verkregen uit interviews met bevoorrechte getuigen. Er worden tevens veel gegevens ontvangen via e-mail en telefonische gesprekken. De informatie verkregen van deze laatste drie bronnen betreft voornamelijk praktische informatie.

Om de theoretische modellen van de CO₂-uitstoot, economische analyse en reductieanalyse te toetsen zullen deze worden toegepast op het bedrijf uit de gevalstudie. Dit wil zeggen dat er veel bedrijfsgegevens vereist zijn. Door het feit dat het onderzoek van de gevalstudie gebeurt voor het recyclagebedrijf van mijn ouders en er zeer veel documentatie beschikbaar is, zullen er zich geen problemen voordoen op het gebied van gegevensverzameling.

Hoofdstuk 3: CO₂-voetafdruk

3.1 Theoretisch model

De carbon footprint is een maatstaf voor de impact van onze activiteiten op het milieu en meer bepaald op het global warming effect (Carbon footprint, 2010). Deze term en zijn vage omschrijving is algemeen gekend en de meesten weten ook wel wat het betekent. Volgens Peters (2010) ontbreekt een algemeen aanvaarde, concrete en eenduidige definitie van de carbon footprint, in het Nederlands CO₂-voetafdruk genaamd. Een omschrijving van wat deze inhoudt, ontbreekt bovendien ook. Het definiëren van het begrip carbon footprint is moeilijk volgens Peters (2010), want hiervoor is het nodig dat men assumpties en een methodologische aanpak vastlegt. Bovendien stelt hij dat men de carbon footprint kan analyseren voor verschillende functionele eenheden (scale of analysis) op verschillende niveaus, gebruikmakend van verschillende methodes.



Figuur 3: Schematische voorstelling van carbon-footprint-toepassingen en overeenstemmende methoden

Bron: Peters (2010)

Bovenstaande figuur geeft een aantal functionele eenheden weer zoals producten, huishoudens, bedrijven, industrieën, regio's, landen... Bovendien zijn er verschillende berekeningsmethoden mogelijk. Over de precieze invulling van deze methodes bestaat echter nog veel onduidelijkheid en er is nood aan consistente methodes. (Peters, 2010)

In de wetenschappelijke literatuur is betrekkelijk weinig te vinden omtrent de wijze waarop de carbon footprint berekend kan worden. Wel vindt men allerhande gelijkaardige artikels zoals dat van Peters (2010) die kritiek geven.

3.1.1 Kritiek

Wiedmann en Minx (2008) stellen net zoals Peters (2010) dat er verschillende methodes zijn die een schatting geven van de CO₂-voetafdruk. Deze gaan volgens hen van basis-online-calculators tot meer gesofisticeerde levenscyclusanalyse of input-output gebaseerde methoden. Zij stellen ook vast dat hoewel de term immens veel wordt gebruikt en een echt 'buzzword' geworden is, er een gebrek is aan academische definities. Zij concludeerden dat er definities zijn in termen van directe CO₂-uitstoot tot emissies van broeikasgassen over de hele levenscyclus. Hierdoor rijst de vraag of de carbon footprint enkel CO₂-emissie moet bevatten of ook andere broeikasgasemissies. Andere onduidelijkheden hebben volgens de auteurs betrekking op welke bronnen opgenomen moeten worden, hoe ver moet men hierin gaan, moeten gehele levenscyclusemissies worden opgenomen, moeten ook indirecte emissies worden opgenomen... Finkbeiner (2009) stelt zich gelijkaardige vragen en roept op tot een wetenschappelijk debat. Ook hij is van mening zoals Wiedmann en Minx (2008) dat de carbon footprint een woord is dat dezer dagen 'in' is en maakt de vergelijking met mode; niet alles wat blinkt is goud.

Als men toch andere broeikasgassen dan koolstofdioxide opneemt, moeten deze wel worden omgezet in CO₂-equivalenten. Dit biedt de mogelijkheid om de voetafdruk uit te drukken in één eenheid namelijk een hoeveelheid koolstofdioxide. De omzetting in CO₂-equivalenten gebeurt op basis van het aardopwarmingsvermogen of global warming potential (GWP) van elk broeikasgas. Dit geeft weer hoeveel potentieel een bepaald broeikasgas heeft om de aarde op te warmen in vergelijking met het meest geproduceerde broeikasgas, koolstofdioxide, over een bepaalde tijdsspanne. Deze bedraagt meestal 100 jaar. (IPCC, 2001)

Er wordt echter nog een ander punt van kritiek gegeven door Wiedmann en Minx (2008). Zij stellen namelijk dat de term 'voetafdruk' niet overeenkomt met wat definities suggereren. De voetafdruk wordt namelijk gemeten in massa-eenheden zoals kilogram, ton.... Er vindt geen conversie plaats naar landeenheden zoals hectare of vierkante meter zoals de voetafdruk insinueert. Deze conversie zou gebaseerd moeten zijn op een aantal assumpties, wat ervoor zorgt dat er nog meer onzekerheden gepaard gaan met de schatting van de voetafdruk. Daarom wordt volgens Wiedmann en Minx (2008) meestal niet overgegaan tot de conversie in landeenheden en wordt de meest geschikte massa-eenheid gebruikt.

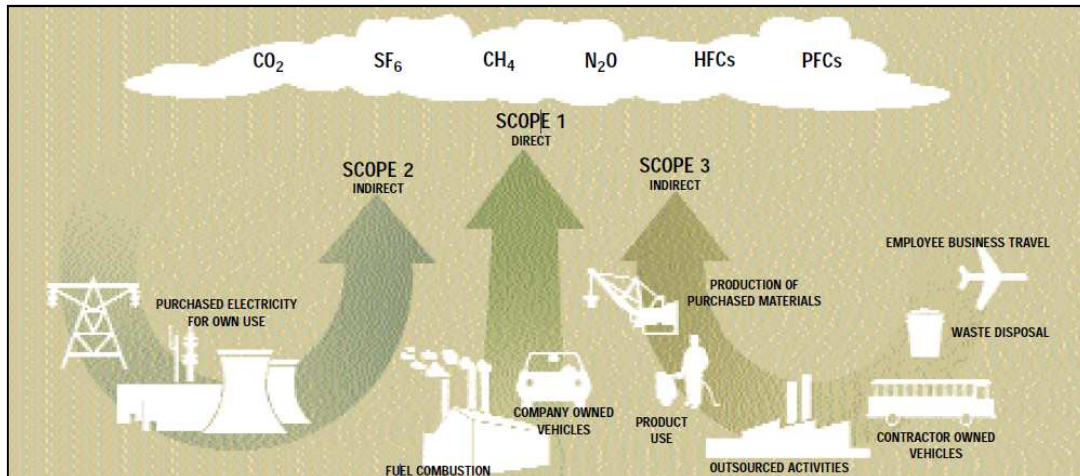
3.1.2 Berekening voor bedrijven

Verschillende organisaties zoals Carbon Trust (2010)^b, Milieubarometer (2007), Zero Emission Solutions (2010), CO2logic (z.d.)^b en Carboncounted (z.d.) alsook Bilan Carbone-methode van ADEME, het Franse milieu- en energiemangement agentschap (ADEME, z.d.)... en tal van wetenschappelijke artikels zoals onder andere dat van Peters (2010) en Finkbeiner (2009)

verwijzen naar het Greenhouse Gas Protocol als hulp bij de berekening van de CO₂-voetafdruk van een onderneming. Het Greenhouse Gas Protocol Initiative heeft namelijk een standaard uitgevaardigd, genaamd het Greenhouse Gas (GHG) Protocol. Dit is een handleiding die hulp biedt aan bedrijven voor het kwantificeren, inventariseren en rapporteren van broeikasgassen. (GHG Protocol Initiative, 2004)

Zo stelt men in deze standaard dat eerst de organisatiegrenzen moeten worden afgebakend. Dit is nodig want meestal heeft een onderneming een aantal subdivisies, dochterondernemingen, joint ventures.... Men kan deze afbakening maken op basis van de bezit- of controleregel. Als deze grenzen vastgelegd zijn, gaat men over tot het bepalen van de operationele grenzen. Dit houdt het identificeren van de emissies in en het categoriseren in direct en indirect. Emissies zijn directe emissies als de bronnen ervan in bezit zijn of gecontroleerd worden door het bedrijf. Men spreekt over indirecte emissies als de bronnen ervan in het bezit zijn van een ander bedrijf. De categorisatie is dus afhankelijk van hoe men de organisatiegrenzen heeft vastgelegd. Deze indirecte en directe emissies worden bijgevolg ondergebracht in verschillende 'scopes'¹. Onder scope één telt men de emissies die eigen zijn aan de bedrijfsactiviteiten van de onderneming. Enkele voorbeelden van deze directe emissies zijn de uitstoot van machines, auto's, vrachtwagens....die in het bezit zijn of gebruikt worden door het bedrijf. Voor scope twee onderzoekt men de indirecte 'offsite' emissies van de geleverde stroom, warmte of stoom. De laatste en derde scope is optioneel. Hier bekijkt men de rest van de indirecte emissies. Hieronder vallen alle overige emissies die ontstaan als gevolg van de activiteiten van het bedrijf. Enkele voorbeelden hiervan zijn de uitstoot van het vervoer van de aangeleverde grondstoffen, van de aangeleverde brandstoffen, van verkochte of aangekochte goederen en diensten... Men moet vervolgens beslissen welke scopes men gaat opnemen. Onder het GHG Protocol is de laatste scope niet vereist, de eerste twee scopes wel. Men stelt wel dat opname van de derde scope de uitkomst meer robuust zou maken. Een overzicht van de scopes vindt men in onderstaande figuur.

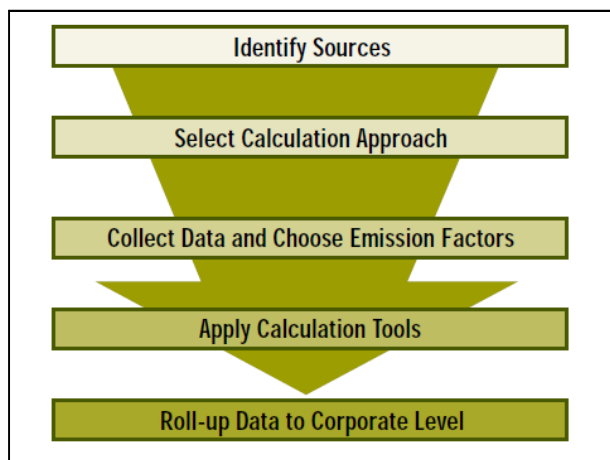
¹ Scope betekent bereik, reikwijdte of toepassingsgebied. Verder zal steeds de term scope gebruikt worden.



Figuur 4: Overzicht van de scopes en emissies in de waardeketen

Bron: GHG Protocol Initiative (2004)

Als de organisatiegrenzen en operationele grenzen vastliggen, zegt men dat de inventarisgrens bepaald is. Vervolgens wordt overgegaan naar de effectieve berekening van de broeikasgasemissies. Hiervoor worden vijf stappen gevolgd die in onderstaande figuur weergegeven zijn.



Figuur 5: Stappen in het identificeren en berekenen van broeikasgasemissies

Bron: GHG Protocol Initiative (2004)

De eerste stap is het identificeren en categoriseren van de emissies binnen de eerder vastgelegde inventarisgrens. De broeikasgasemissies komen meestal van de volgende categorieën: stationaire verbranding, mobiele verbranding, procesemissies en diffuse² emissies. Elk bedrijf heeft processen, producten of diensten die indirecte of directe emissies veroorzaken uit deze categorieën.

² Emissies ten gevolge van bedoelde of onbedoelde lekkages van gassen bijvoorbeeld bij waterzuivering.

Vervolgens moet men voor scope één nagaan wat de emissies zijn uit de vier categorieën van bronnen. Voor scope twee moet men nagaan of er elektriciteit, stoom of warmte wordt aangekocht. Als laatste kan men voor scope drie nagaan wat de rest van de indirecte emissies kunnen inhouden. De laatste scope is eigenlijk een uitbreiding van de inventarisgrens langs de waardeketen van het bedrijf. De zojuist besproken eerste stap overlapt met het bepalen van de inventarisgrens, alleen weet men nu ook tot welke van de vier categorieën de emissie behoort. De tweede stap is het kiezen van een berekeningsmethode. Men kan uitstoot direct meten maar, dit wordt vrijwel nooit gedaan daar dit gespecialiseerde apparatuur vereist. Dit brengt dan extra kosten met zich mee. Accurate emissiedata kunnen ook bekomen worden op basis van brandstofverbruik. Hier past men dan de gepaste emissiefactor op toe en men verkrijgt de uitstoot. De emissiefactoren geven weer hoeveel broeikasgassen vrijkomen per eenheid van activiteit van de emissiebron en zijn uitgedrukt in bijvoorbeeld kWh of MWh. Richtlijnen met betrekking tot berekeningsmethodes en emissiefactoren kan men terugvinden op de site en in publicaties en rapporten van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Dit is een internationale en wetenschappelijke organisatie die zich voornamelijk bezighoudt met nazicht en beoordeling van wetenschappelijke, technische en socio-economische informatie wereldwijd in verband met de opwarming van de aarde. Indien men gegevens van het IPCC gebruikt, kan men zeker zijn dat ze wetenschappelijk gefundeerd zijn (IPCC, z.d.). De derde stap is het verzamelen van de benodigde data en het kiezen van de gepaste emissiefactoren. Voor scope één is de dataverzameling eenvoudig: men neemt de aangekochte of verbruikte hoeveelheid brandstof. Men past hier dan gepubliceerde emissiefactoren op toe naargelang het type van de brandstof. Voor scope twee kijkt men naar het elektriciteitsverbruik en gebruikt men ook gepubliceerde emissiefactoren. Scope drie emissies kunnen berekend worden aan de hand van brandstofverbruik, afgelegde kilometers... ook hier past men vervolgens de gepaste emissiefactoren op toe. Deze emissiefactoren kunnen afkomstig zijn van andere bedrijven. De emissies onder scope drie zijn vaak het moeilijkst te berekenen. Voor de drie scopes geldt dat als er bron- of bedrijfsspecifieke emissiefactoren voorhanden zijn, het beter is deze te gebruiken. Een vierde stap kan het toepassen van één van de berekeningstools van het GHG Protocol zijn. Het GHG Protocol stelt een aantal peer-reviewed tools ter beschikking die van toepassing zijn voor verschillende sectoren. Ze bieden ook sectorspecifieke tools aan. Het is echter niet verplicht deze tools te gebruiken. Bedrijven mogen gebruikmaken van hun eigen berekeningsmethode. De vijfde en laatste stap is rapportering. (GHG Protocol Initiative, 2004)

Verder vindt men in de standaardrichtlijnen met betrekking tot het managen van de broeikasgasinventaris, het in rekening brengen van reducties, de rapportering, de verificatie, het stellen van emissiedoelen en zo veel meer. Verificatie van de broeikasgasinventaris houdt een objectieve controle in van de nauwkeurigheid en de volledigheid van de gerapporteerde broeikasgasinformatie. Men controleert ook of deze informatie conform is met de reeds vastgelegde berekenings- en rapporteringprincipes. Het GHG Protocol stelt dat verificatie nodig is, maar dat deze praktijk nog in volle ontwikkeling is. Zij stellen dat er nood is aan eenduidig algemeen

aanvaarde standaarden. Deze helpen mee om de broeikasgasverificatie uniform, geloofwaardig en algemeen aanvaard te maken. (GHG Protocol Initiative, 2004)

Het GHG Protocol is de meest gebruikte en wijdverspreide tool om broeikasgassen te meten en te managen. Het is ontstaan uit een partnership tussen het World Resources Institute (WRI) en het World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) en werkt nauw samen met overheden, bedrijven en milieugroepen over de hele wereld. (GHG Protocol Initiative, 2010)

Er moet wel opgemerkt worden dat men in deze standaard spreekt over broeikasgassen en dus niet enkel koolstofdioxide. Onder broeikasgassen verstaat men de zes broeikasgassen uit het Kyoto Protocol: koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄), stikstofdioxide (NO₂) of lachgas en drie fluorverbindingen namelijk hydrofluorcarbonaat (HCF's), perfluorcarbonaat (PCF's) en zwavelhexafluoride (SF₆). In deze standaard kan niets teruggevonden worden over de CO₂-voetafdruk of carbon footprint. Er wordt gesproken over een broeikasgasvoetafdruk of een emissievoetafdruk. Peters (2010) stelt echter dat voor het berekenen van de carbon footprint van bedrijven gebruik kan gemaakt worden van het GHG protocol. Ook veel organisaties die CO₂-voetafdrukberekeningen aanbieden maken gebruik van dit protocol.

Het GHG Protocol is het raamwerk voor bijna elk broeikasgasprogramma en elke broeikasgasstandaard in de wereld. Zo is het de basis van de ISO-normen rond broeikasgassen GHG Protocol Initiative (2010). Dit zijn standaarden vastgelegd door ISO of International Organization for Standardization. ISO 14064 is de standaard voor broeikasgasrapportering en -bewaking. ISO 14065 is hier een aanvulling op en geeft weer welke eisen er aan de instellingen die broeikasgasvalidaties of -verificaties uitvoeren, worden opgelegd. Er wordt ook continu gewerkt aan nieuwe standaarden, zo verwacht men binnenkort de ISO 14067 en de ISO 14069 die een handleiding zijn voor de berekening van de carbon footprint. Al deze standaarden behoren tot de familie van de ISO 14000 normen met betrekking tot milieumanagementstandaarden. (ISO, 2009) Een tool die compatibel is met deze ISO 14064-norm en het GHG Protocol is de Bilan Carbone methode (ADEME, z.d.).

Zoals reeds aangehaald verwijzen veel bedrijven die CO₂-berekeningen uitvoeren naar het GHG Protocol en/of de ISO-normen. Dit is echter vaak de enige informatie die men vrijgeeft. Uit eigen vaststellingen kan gesteld worden dat men meestal niet weet hoe de voetafdruk nu effectief wordt berekend: neemt men enkel CO₂ op of alle belangrijke broeikasgassen, welke emissiefactoren gebruikt men, is men nauwkeurig genoeg.... Zo stellen ook Murray en Dey (2008) na het vergelijken van verschillende websites voor bedrijven en individuen vast dat er verschillende uitkomsten bekomen worden. Zij concluderen dat er nood is aan standaardisatie en transparantie van online-berekeningsmethodes.

3.1.3 Conclusie

Na nazicht van de wetenschappelijke literatuur en definities gehanteerd door verschillende organisaties (Carbon footprint, 2010, Climate Neutral Group, z.d., CO₂-neutraal, z.d., Carbon trust 2010^a, Milieubarometer 2007 en Milieucentraal, z.d.) kan er geconcludeerd worden dat door gebrek aan eenduidige definities voor de CO₂-voetafdruk, er zeer veel onduidelijkheid bestaat omtrent de invulling ervan. Dit geldt voor alle functionele eenheden waarvoor men de voetafdruk kan berekenen. Er is een gebrek aan consistente methodes en emissiestandaarden. Dit heeft onder andere tot gevolg dat men niet weet of men enkel koolstofdioxide of ook andere broeikasgassen moet opnemen. Wiedmann en Minx (2007) bevestigen dit nogmaals. Zij doorzochten namelijk de literatuur en het internet en vonden tal van definities die stellen dat enkel koolstofdioxide vervat mag zijn (Grub & Ellis (2007), Global Footprint Network (2007) en Energetics (2007), in Wiedmann & Minx, 2007). In andere definities stelden Wiedmann en Minx (2008) vast dat ook andere broeikasgassen opgenomen moeten worden (Carbon Trust (2007), Paliamentary Office of Science and Technology (2006) en Environmental Technologies Action Plan (2007), in Wiedmann & Minx, 2008). Hierbij aanvullend werd bovendien vastgesteld dat, tijdens onze zoektocht naar een consistente methode in de literatuur, er een verschil is tussen bedrijven en individuen wat betreft de opname van broeikasgassen. Voor bedrijven wordt de voetafdruk namelijk meestal uitdrukt in CO₂-equivalenten en beweert men ook andere broeikasgassen dan koolstofdioxide op te nemen. Tevens zijn er voor deze onderzoekseenheid een aantal hulpmiddelen zoals de GHG Protocol (GHG Protocol Initiative, 2004) en de ISO-normen beschikbaar (ISO, 2009). Voor individuen daarentegen lijkt het echter, zoals Kenny en Gray (2009) stellen, dat enkel de koolstofdioxide in rekening genomen wordt.

3.2 Berekening CO₂-voetafdruk Bongaerts Recycling

Nu de literatuur is doorgenomen en we een beeld hebben van wat de carbon footprint kan inhouden, gaan we over tot de omzetting in praktijk. Daar er onzekerheid is over welke broeikasgassen moeten worden opgenomen, zullen er voor Bongaerts Recycling twee verschillende voetafdrukken worden berekend: een van enkel de CO₂-emissies van de activiteiten van Bongaerts Recycling en een andere die meerdere broeikasgassen opneemt. Deze zullen we de 'Greenhouse Gas'-uitstoot afgekort GHG-uitstoot noemen. Het enige verschil in de berekening is dat er andere emissiefactoren gebruikt zullen worden. Het is enkel de bedoeling om de emissie van de eigen activiteiten van Bongaerts Recycling in kaart te brengen, niet de emissies ten gevolge van de activiteiten van derden voor Bongaerts Recycling, emissies die ontstonden tijdens de productie van goederen die men gebruikt.... Een voetafdruk wordt veelal berekend over de periode van één jaar en voor Bongaerts Recycling zal dit het jaar 2009 zijn. Verder zal er gebruikgemaakt worden van

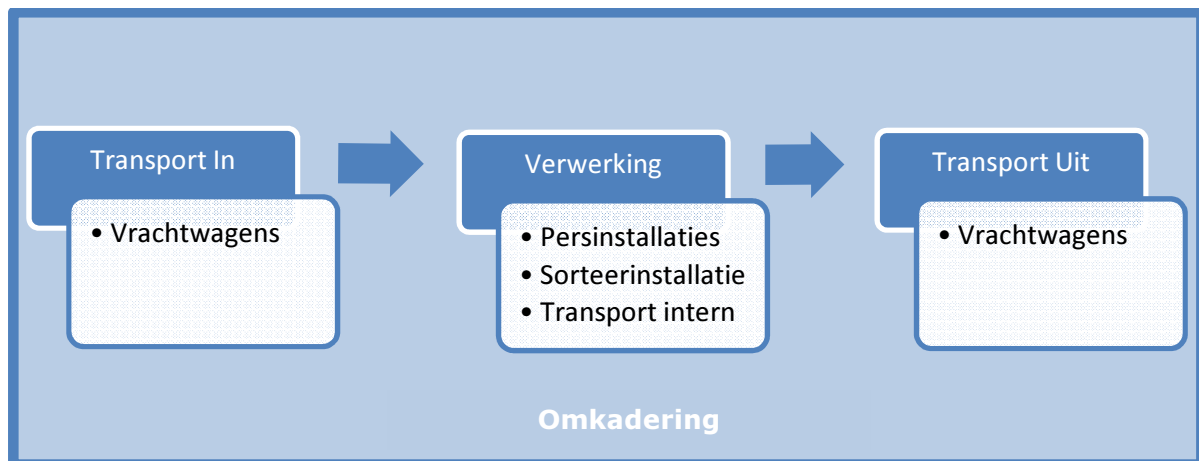
het GHG Protocol (GHG Protocol Initiative, 2004) als hulpmiddel voor het identificeren en categoriseren van de emissies.

Eerst zal een beknopte omschrijving gegeven worden van het bedrijfsproces van Bongaerts Recycling om een weergave te geven van de activiteiten waarvoor men zelf instaat. Vervolgens zullen met behulp van het GHG Protocol de bronnen van emissies van deze activiteiten in kaart worden gebracht (GHG Protocol Initiative, 2004). Als laatste stap worden gepubliceerde emissiefactoren toegepast. Hiermee zal een schatting van de uitstoot bekomen worden.

Bongaerts Recycling is een recuperatiebedrijf waarbij alles start met de selectieve ophaling van de afvalstromen, waaronder voornamelijk papier en karton, bij de klant. Deze worden vervoerd door vrachtwagens naar één van de sites van Bongaerts Recycling waar de verwerking plaatsvindt. De verwerking op de sites houdt in dat het papier en het karton worden gescheiden en dat onzuiverheden worden verwijderd door middel van sortering. De deels geautomatiseerde sortering gebeurt in verschillende fasen afhankelijk van de vereiste kwaliteit van het eindproduct. Zuiver papier en karton, die de eindproducten zijn, moet vervolgens zodanig geconditioneerd worden zodat het wereldwijd vervoerd kan worden. Dit gebeurt met behulp van persinstallaties. Het papier en karton wordt in balen van ongeveer 800 kg per stuk geperst. Een andere mogelijkheid is dat het papier niet geperst wordt, maar los wordt vervoerd. Om de afvalstromen te vervoeren binnen het bedrijf wordt vooral gebruikgemaakt van heftrucks, maar ook van verreikers, kranen en een wiellader (bulldozer). Deze zullen we steeds benoemen onder de categorie 'transport intern'. Hiermee worden de transportbanden gevuld en de balen gestapeld en geladen. Het transport van het bedrijf naar de volgende schakel in de waardeketen gebeurt deels door Bongaerts Recycling en deels door derden. Vaak is het ook dat het papier en karton of andere afvalstromen verscheept worden, maar voor deze activiteit staat het bedrijf niet zelf in.

In het GHG Protocol (GHG Protocol Initiative, 2004) stelt men dat eerst de organisatiegrenzen moeten worden vastgelegd. Het vastleggen van deze grenzen is niet moeilijk voor Bongaerts Recycling. Het bedrijf is namelijk (in 2009) in het volle bezit van twee vestigingen in Peer en Houthalen. De emissies zullen voor deze twee sites samen berekend worden. Voor het vastleggen van de operationele grenzen is het nodig de emissies van het bedrijfsproces te identificeren en te categoriseren. Het bedrijfsproces kan opgedeeld worden in verschillende **deelactiviteiten** die een uitstoot teweegbrengen al naargelang het type energieverbruik. Zo kan men uit de beschrijving van het bedrijfsproces afleiden dat er vier deelactiviteiten zijn: het transport van de klant naar het bedrijf (transport in), de verwerking, het transport van het bedrijf naar een verwerker (transport uit) en de omkadering ter ondersteuning van deze activiteiten. De verwerking en de omkadering kan men nog verder opsplitsen. Zo bestaat de verwerking uit een sorteerinstallatie, persinstallaties en vervoer van afvalstromen binnen het bedrijf. De omkadering omvat het elektriciteitsverbruik, gasverbruik en stookolieverbruik van de kantoren en gebouwen en het gebruik van auto's voor

personenvervoer en onderhoud. Een schematische weergave van het bedrijfsproces kan men terugvinden in onderstaande figuur. Onderstaande figuur werd aangevuld met fotomateriaal zodat een duidelijker beeld bekomen kan worden. Dit kan men terugvinden in bijlage 2. We maken een opsplitsing van het bedrijfsproces in verschillende deelactiviteiten om vervolgens voor elk apart de uitstoot te berekenen. Op deze manier kan men goed waarnemen welke een relatief hoge uitstoot hebben en waar het best kan ingegrepen worden als men een hoge reductie wil bekomen.



Figuur 6: Vereenvoudigde weergave van het bedrijfsproces van Bongaerts Recycling

Bron: Eigen weergave

Als men deze deelactiviteiten nader bekijkt, kan men ze categoriseren in directe en indirecte emissies. Zo is het transport om de afvalstoffen aan (in) en af (uit) te voeren een directe emissie. De **bron van de emissies** is namelijk de vrachtwagen van het bedrijf die de fossiele brandstof diesel verbrandt. Deze emissie is onder directe controle en in het bezit van het bedrijf. Ook de auto's voor personenvervoer en onderhoud en het intern transport zijn bronnen van directe emissies. Zij verbranden ook direct een fossiele brandstof namelijk diesel. De aangekochte gas en stookolie die wordt verstoekt om de kantoren te verwarmen, is een volgende bron directe van emissie. Een indirecte bron van emissie is de aangekochte elektriciteit. Bij de opwekking van de elektriciteit komen namelijk emissies vrij, niet bij het gebruik van deze elektriciteit. De persinstallaties en de sorteerinstallatie die onder de deelactiviteit verwerking behoren, draaien volledig op elektriciteit en de rest van de elektriciteit wordt verbruikt door de kantoren die behoren tot de deelactiviteit omkadering.

Vervolgens worden deze directe en indirecte emissie verdeeld onder de **scopes** uit de GHG Protocol (GHG Protocol Initiative, 2004). Onder scope één telt men de directe emissies die eigen zijn aan de bedrijfsactiviteiten en onder controle zijn van het bedrijf. Voor Bongaerts Recycling zijn dit de emissies van het transport voor de aanvoer en afvoer van de afvalstoffen en voor het vervoer intern, de emissies van personenwagens en lichte vrachtauto's en de emissies van de verbranding

van gas en stookolie. Onder scope twee behoren de indirecte emissies van de aangekochte elektriciteit om onder andere de sorteerinstallatie en persinstallaties te laten werken. Andere indirecte emissies die behoren onder scope drie worden niet opgenomen, daar we enkel de emissies van de eigen activiteiten van Bongaerts Recycling in kaart trachten te brengen. Deze scope is ook optioneel onder het GHG Protocol (GHG Protocol Initiative, 2004). Een overzicht van de indeling van het bedrijfsproces volgens de deelactiviteiten, bronnen en scopes kunt u terugvinden in bijlage 3.

Nu we weten welke emissies er zijn, gaan we deze in kaart brengen. We zullen de emissies niet direct meten daar dit gespecialiseerde apparatuur vereist. We zullen echter gebruikmaken van de hoeveelheid energieverbruik, want hiermee kan men ook accurate emissiedata bekomen. Voor scope één is de dataverzameling eenvoudig. Er wordt gekeken hoeveel deze bronnen van directe emissie hebben verbruikt gedurende het jaar 2009 waarvoor de emissies berekend worden. Bij Bongaerts Recycling houdt men het verbruik en het aantal gereden kilometers of uren van alle voertuigen nauwlettend bij. Deze kunt u terugvinden in bijlage 4. Hierdoor was het eenvoudig om de totale hoeveelheid verbruikte brandstof te bepalen. Alle voertuigen, behalve deze voor intern transport, rijden op dezelfde fossiele brandstof, meer bepaald diesel. De heftrucks, verreikers, kranen en wiellader rijden op industriële diesel. Het is eigenlijk eenvoudiger de aankoopfacturen van diesel en industriële diesel te nemen en op basis hiervan verder te rekenen. Het nadeel hiervan is dat men dan één globale uitstoot heeft per type brandstof. Men kan bijgevolg niet nagaan welke voertuigen precies zorgen voor deze uitstoot. We verkiezen deze methode niet, want als men over wil gaan tot CO₂-reductie is het belangrijk te weten welke deelactiviteit, voertuigen... de grootste bijdrage leveren aan de uitstoot. Op deze wijze is het mogelijk doelgericht te werk gaan. Voor het gas- en stookolieverbruik neemt men de aangekochte hoeveelheid gas en stookolie. Om de hoeveelheid verbruikte elektriciteit in kaart te brengen voor scope twee wordt gebruikgemaakt van de aangekochte hoeveelheid elektriciteit. Dit werd berekend aan de hand van de ontvangen facturen. Het gas-, stookolie- en elektriciteitsverbruik van 2009 kan teruggevonden worden in bijlage 5.

Na de dataverzameling met betrekking tot het energieverbruik kan overgegaan worden tot de effectieve berekening van de uitstoot. Zoals reeds vermeld zullen twee verschillende uitstoten berekend worden, namelijk de CO₂-uitstoot en de GHG-uitstoot. Hiervoor is het nodig dat verschillende emissiefactoren worden toegepast. Er moet wel opgemerkt worden dat er geen groot verschil tussen beide uitstoten wordt verwacht. Uit het voorgaande blijkt namelijk dat Bongaerts Recycling geen machines bezit die bijkomende broeikasgassen produceren waardoor de emissies voornamelijk zullen komen van de verbranding van fossiele brandstoffen (diesel, stookolie, elektriciteitsproductie...). Daar er door de verbranding van fossiele brandstoffen voornamelijk koolstofdioxide vrijkomt, zal de totale broeikasgasuitstoot van Bongaerts Recycling ook grotendeels

bestaan uit CO₂. Het verschil tussen de CO₂-uitstoot en de GHG-uitstoot wordt bijgevolg verwacht relatief te klein zijn.

3.2.1 CO₂-uitstoot

Voor de berekening van de totale CO₂-uitstoot van de activiteiten zullen we gebruikmaken van de emissiefactoren van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) uit de '2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventory' (IPCC, 2006)^a. Men vindt tal van emissiefactoren, maar deze van het IPCC werden verkozen omdat ze het meest betrouwbaar zijn omwille van de sterke wetenschappelijke basis. Bovendien werd er vastgesteld dat er tussen de emissiefactoren van bijvoorbeeld diesel die enkel koolstofdioxide opnemen, geen extreem grote verschillen zijn, slechts enkele honderdsten na de komma (zie bijlage 6). In onderstaande tabel vindt men de emissiefactoren. Deze worden standaard-emissiefactoren genoemd en bevatten enkel de emissie bij de finale verbranding. Voor elektriciteit werd de specifieke emissiefactor voor België genomen van de Europese Commissie (2010)^b.

Tabel 1: Standaard-emissiefactoren

Type	Standaard-emissiefactor (t CO ₂ / MWh)
Aardgas	0,202
Zware stookolie	0,279
Diesel	0,267
Elektriciteit	0,285

Bron: IPCC (2006)^a, IPCC (2006)^b en Europese Commissie (2010)^b (tabel 5 p.13)

De verzamelde gegevens voor diesel, industriële diesel en stookolie zijn uitgedrukt in liters, bijgevolg moeten deze liters met behulp van de gepaste conversiefactor omgezet worden zodat deze dezelfde eenheid hebben als de emissiefactoren namelijk MWh. Voor diesel wordt de conversiefactor van het IPCC (2006)^a gebruikt, deze bedraagt 10 kWh per liter. Stookolie en industriële diesel is bij Bongaerts Recycling hetzelfde. Voor beide wordt dezelfde conversiefactor gebruikt als deze van diesel. Dit werd nagevraagd bij de brandstofleverancier van Bongaerts Recycling en de calorische waarde³ zou dan ook steeds rond de 10 tot 11 kWh per liter schommelen. In principe hebben we de emissiefactor voor elektriciteit niet nodig, want Bongaerts Recycling gebruikt op elk van zijn drie sites 100% groene elektriciteit sinds 2008. Bij nader onderzoek via navraag bij Luminus blijkt dat deze stroom van verschillende hernieuwbare energiebronnen is en werkelijk voor 100% CO₂-neutraal is. Deze moet dus niet meegerekend worden. Na het toepassen van de emissiefactoren bekomt men de totale CO₂-uitstoot. Voor

³ Energetische inhoud van de brandstof.

Bongaerts Recycling bedroeg deze 1 983,77 ton in 2009. In onderstaande tabel kan men dit getal terugvinden en kan men zien welke bronnen deze uitstoot teweegbrengen. In bijlage 7 kan men de volledige uitwerking van de berekening terugvinden. De aankoop van groene elektriciteit leverde Bongaerts Recycling maar liefst een besparing van 231,31 ton CO₂ op in 2009. Dit stemt overeen met een procentuele daling van de CO₂-uitstoot van 11%.

Tabel 2: CO₂-uitstoot van Bongaerts Recycling met en zonder groene stroom uitgedrukt in ton CO₂ per jaar voor het jaar 2009

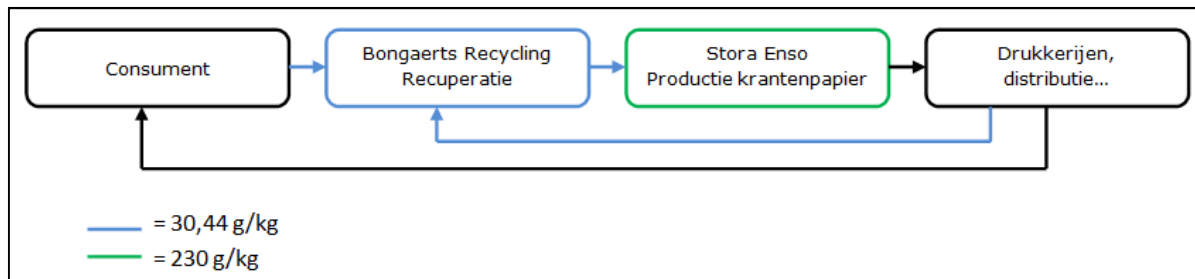
	2009 met groene stroom	2009 zonder groene stroom
Vrachtwagens	1 240,35	1 240,35
Transport intern	663,76	663,76
Auto's voor onderhoud	17,09	17,09
Auto's voor personenvervoer	20,57	20,57
Gas	33,63	33,63
Stookolie	8,37	8,37
Elektriciteit	0,00	231,31
Totale CO₂-uitstoot	1 983,77	2 212,15

Bron: Tabellen in bijlage 7

De totale koolstofdioxide-uitstoot van 1 983,77 ton kan vervolgens toegewezen worden aan de totale omzet afvalstromen in 2009. Op deze manier kan een beeld verkregen worden van de CO₂-impact van één kilogram afvalstof dat het bedrijfsproces van Bongaerts Recycling doorloopt. Niet elke afvalstroom ondergaat echter alle deelactiviteiten van dit bedrijfsproces. Het is mogelijk dat een afvalstof niet altijd wordt verwerkt of getransporteerd. Papier en karton is de enige soort die in 2009 het volledige bedrijfsproces doorliep, wat logisch is daar het inzamelen van papier en karton de hoofdactiviteit is en deze soort 97% bedraagt van de totale omzet. Zo bracht Bongaerts Recycling in 2009 per kilogram papier en karton dat ingevoerd, verwerkt, intern getransporteerd, omkaderd en afgevoerd werd een CO₂-uitstoot teweeg van ongeveer 30,44 g. De verwerking kan per afvalstof verschillen, maar gegeven het feit dat de verwerking geen uitstoot teweegbrengt en alle overige activiteiten voor alle afvalstromen dezelfde zijn, zou voor elke kilogram afvalstof die het volledige proces zou doorlopen een hoeveelheid van 30,44 g de lucht ingaan. De berekening van deze uitstoot kunt u terugvinden in bijlage 8. Een grote afnemer van Bongaerts Recycling is Stora Enso. Papierproducent Stora Enso, brengt een uitstoot van 230 kg CO₂ per ton⁴ geproduceerd krantenpapier teweeg. De basis voor dit papier is enkel gerecycleerd papier en dus geen nieuwe houtvezels. (zie bijlage 9) Als men de CO₂-impact wil kennen vanaf het moment dat de consument zijn oude krant in de container gooit tot er een nieuw vel krantenpapier van de band rolt dan moet men de CO₂-uitstoot per kg ingezameld en gesorteerd papier en karton bij de uitstoot van de productie van nieuw krantenpapier optellen. De totale uitstoot bedraagt dan 260,44 g per

⁴ = 230 g/kg

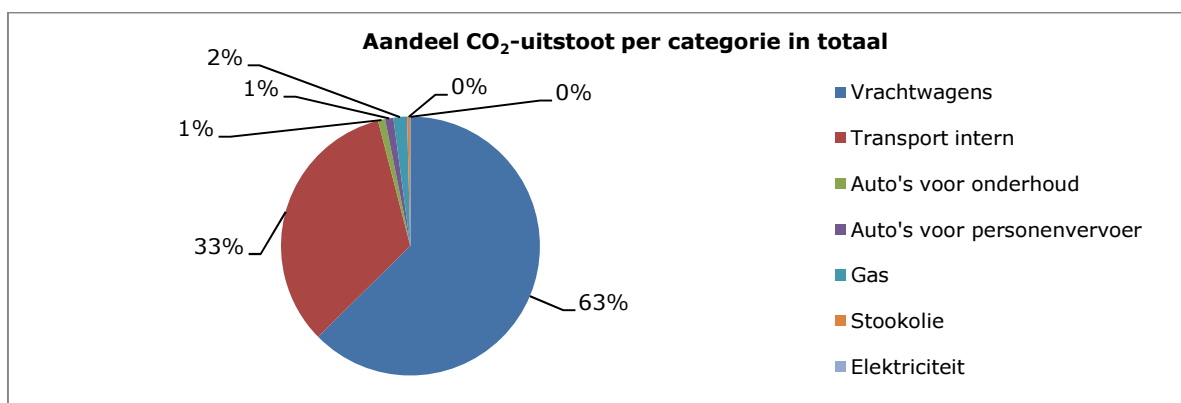
kg papier⁵. Het aandeel van Bongaerts Recycling hierin bedraagt 11,69%⁶. Een vereenvoudigde weergave van de waardeketen en de bijhorende CO₂-uitstoot van gerecycleerd krantenpapier kan men terugvinden in onderstaande figuur.



Figuur 7: Vereenvoudigde weergave van de waardeketen en bijhorende CO₂-uitstoot (in g/kg) van gerecycleerd krantenpapier

Bron: Eigen weergave

Daar we de CO₂-uitstoot per bron hebben berekend, kunnen we duidelijk zien welke bronnen een grote bijdrage leveren aan de uitstoot. In onderstaande figuur kan men zien dat de vrachtwagens die instaan voor de aan- en afvoer van de afvalstoffen 63% vertegenwoordigen. In deze categorie kan men bijgevolg de grootste reductie bekomen. Verder kunnen we 33% van de uitstoot toewijzen aan het intern transport. Hieruit blijkt dat dit naast de vrachtwagens een niet onbelangrijke categorie is. Aan de overige categorieën is maar een kleine bijdrage toe te schrijven: 2% door gasverbruik, 1% door auto's voor personenvervoer alsook 1% door auto's voor onderhoud. De bijdrage van elektriciteit is nul vanwege zijn CO₂-neutraal karakter en de bijdrage van stookolie is nihil.



Figuur 8: Procentueel aandeel per categorie van uitstootbronnen in de totale CO₂-uitstoot van Bongaerts Recycling

Bron: Tabel 2

⁵ 230 g/kg + 30,44 g/kg = 260,44 g/kg

⁶ 30,44 g/kg / 260,44 g/kg = 0,1169

3.2.2 GHG-uitstoot

Voor een schatting van de tweede voetafdruk namelijk deze van de broeikasgasemissies van de activiteiten van Bongaerts Recycling zullen we gebruikmaken van de levenscyclus-emissiefactoren van de European Reference Life Cycle Database (ELCD) van het Joint Research Centre (JRC) van de Europese Commissie (2009). Het JRC geeft wetenschappelijk en technisch advies en ondersteunt het totale Europese beleid. Hiervoor is het noodzakelijk dat het JRC onafhankelijk is van nationale of private belangen wat het een betrouwbare en onvertekende bron maakt.

In de levenscyclus-emissiefactoren van de ELCD zijn de voornaamste (meest aanwezige) broeikasgassen opgenomen, namelijk koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄) en stikstofdioxide (NO₂) of lachgas. De emissiefactoren bevatten alle emissies van elke stap in de levenscyclus inclusief de finale verbranding in het geval van brandstoffen. Er wordt niet enkel rekening gehouden met koolstofdioxide vandaar dat de eenheid CO₂-equivalenten is. In onderstaande tabel vindt men de emissiefactoren. De emissiefactor van elektriciteit is specifiek voor België.

Tabel 3: Levenscyclus-emissiefactoren

Type	LCA-emissiefactor (t CO ₂ -eq/ MWh)
Aardgas	0,237
Zware stookolie	0,31
Diesel	0,305
Elektriciteit	0,402

Bron: JRC (2009)

Ook hier zijn de verzamelde gegevens voor diesel, industriële diesel en stookolie uitgedrukt in liters, bijgevolg moet er een conversie plaatsvinden naar MWh. Voor diesel wordt de conversiefactor van het IPCC (2006)^a gebruikt, deze bedraagt 10 kWh per liter. Voor stookolie en industriële diesel wordt dezelfde conversiefactor gebruikt.

Vermits bij de berekening van deze voetafdruk rekening wordt gehouden met de emissies langs de waardeketen, moet er ook voor groene elektriciteit emissies worden aangerekend. Deze emissies komen tot stand tijdens transport, exploitatie... Voor deze emissies bestaat er volgens de JRC (2009) geen standaard levenscyclus-emissiefactor omdat deze emissies sterk afhankelijk zijn van waaruit je groene stroom precies bestaat. Ook dit is niet altijd hetzelfde. Na nazicht van de facturen en navraag bij de leverancier blijkt dat de groene stroom niet altijd uit dezelfde combinatie van hernieuwbare energiebronnen bestaat. Dit is afhankelijk van de portefeuille aan hernieuwbare energiebronnen van de leverancier. Deze verandert daarenboven continu. Het is

bijgevolg moeilijk hiervoor een emissiefactor te bepalen. Deze emissiefactor zal in ieder geval relatief klein zijn in vergelijking met deze van fossiele brandstoffen, wat maakt dat deze geen doorslaggevende invloed zal hebben op de totale voetafdruk en dus de conclusies niet significant beïnvloed zullen worden. Om deze redenen stellen we deze emissiefactor in deze berekening gelijk aan nul. Hierbij moet opgemerkt worden dat in tal van commerciële CO₂-meters zoals die van de milieubarometer, groene stroom ook niet wordt opgenomen terwijl daar ook gewerkt wordt met levenscyclus-emissiefactoren. Na het toepassen van de emissiefactoren werd een broeikasgasemissie van 2 266,89 ton CO₂-equivalenten verkregen voor het jaar 2009. De volledige berekening is dezelfde als deze van de CO₂-uitstoot in bijlage 7, alleen moeten er andere emissiefactoren worden toegepast.

Tabel 4: GHG-uitstoot van Bongaerts Recycling met en zonder groene stroom uitgedrukt in ton CO₂-equivalenten per jaar voor het jaar 2009

	2009 met groene stroom	2009 zonder groene stroom
Vrachtwagens	1 416,88	1 416,88
Transport intern	758,23	758,23
Auto's voor onderhoud	19,52	19,52
Auto's voor personenvervoer	23,50	23,50
Gas	39,46	39,46
Stookolie	9,30	9,30
Elektriciteit	0,00	326,27
Totale GHG-uitstoot	2 266,89	2 593,16

Bron: Berekeningen gelijkaardig aan bijlage 7

Als we bovenstaande tabel vergelijken met de tabel van de CO₂-uitstoot kan men concluderen dat er een verschil is tussen de CO₂-uitstoot en de GHG-uitstoot. Dit verschil leidt zoals voorspeld niet tot andere conclusies. Zo blijkt dat dezelfde emissiebronnen, namelijk de vrachtwagens en het transport intern, bij beide voetafdrukken een doorslaggevende invloed hebben.

3.2.3 Conclusie

We kunnen concluderen dat voor Bongaerts Recycling koolstofdioxide zoals verwacht het belangrijkste broeikasgas is en dat het leeuwenaandeel in de totale uitstoot afkomstig is van de vrachtwagens die instaan voor de aan- en afvoer van de afvalstoffen. Als we willen overgaan tot reductie, zullen hier de grootste winsten bekomen worden. Een tweede belangrijke emissiebron is het transport intern. De vrachtwagens en het transport intern verklaren samen ongeveer 95% van de totale uitstoot. De totale uitstoot komt dus grotendeels tot stand door de verbranding van fossiele brandstoffen.

Hoofdstuk 4: Zoektocht naar CO₂-reducerende maatregelen

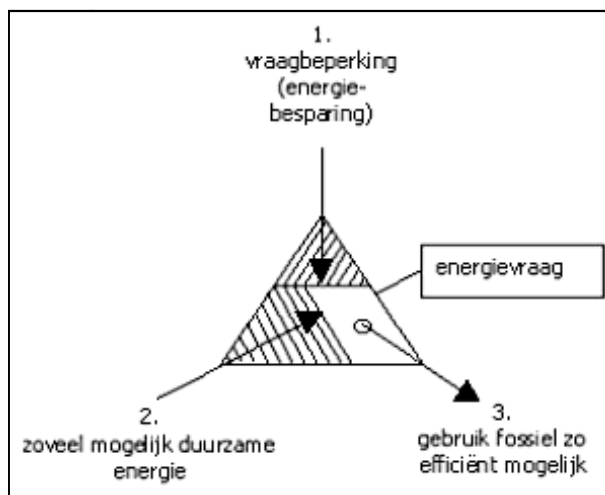
Na de berekening van de CO₂-uitstoot is het duidelijk waar men kan ingrijpen om reductie te bekomen en kan men effectief op zoek gaan naar maatregelen. Het feit dat het voor het bedrijf belangrijk en tevens zinvol is dat de alternatieven werkelijk en vlot ingezet kunnen worden, bemoeilijkte de zoektocht naar CO₂-reducerende maatregelen. Er werd vooral gebruikgemaakt van de opgedane kennis door de gekozen richting technologie-, innovatie- en milieumanagement, het internet, gesprekken met bevoorrechte getuigen en literatuuronderzoek om alles te staven.

Indien in een bedrijf, zoals Bongaerts Recycling, het merendeel van de koolstofdioxide-uitstoot teweeg wordt gebracht door de verbranding van fossiele brandstoffen, moeten hiervoor oplossingen gezocht worden. Enkel deze zullen leiden tot een drastische verlaging van de uitstoot. Binnen de categorie van de verbranding van fossiele brandstoffen leveren de vrachtwagens bij Bongaerts Recycling de grootste bijdrage. Er werd getracht hiervoor alternatieven te vinden door gebruik te maken van de gedachtegang achter de Trias Energeticas.

4.1 Trias Energeticas

Trias Energeticas is een strategie voor het bereiken van een zo duurzaam mogelijke energievoorziening en werd geïntroduceerd door Novem⁷ in 1996. Het is een driestappenplan voor bedrijven, individuen, huishoudens... om een zo duurzaam mogelijk energieverbruik te creëren. Bovendien kan men dit ook gebruiken om klimaatneutraal te worden, wat bruikbaar is voor de zoektocht naar CO₂-reducerende maatregelen. Eerst en vooral moet men proberen het energieverbruik te beperken door beperking van de vraag. Men moet dus overgaan tot energiebesparing. Stap twee houdt in dat men voor het overige verbruik duurzame energiebronnen moet inzetten. De laatste en derde stap is het zo efficiënt mogelijk gebruikmaken van de eindige energiebronnen die toch nog nodig zijn nadat de vorige stappen doorlopen zijn. (SenterNovem, 2009)

⁷ Novem is de Nederlandse Organisatie voor Energie en Milieu en is gefusioneerd met Senter. SenterNovem is nu een agentschap van het Nederlandse ministerie van Economische Zaken.



Figuur 9: Trias Energeticas

Bron: SenterNovem (2009)

Arteconi, Brandoni, Evangelista en Polonara (2010) stellen dat er om broeikasgasemissies van zware voertuigen te verlagen, twee potentiële remedies zijn. Een eerste remedie is het gebruik van vrachtwagens die een hogere brandstofefficiëntie hebben. Een tweede is het gebruik van brandstoffen met een lagere koolstofinhoud. Deze twee oplossingen sluiten naar onze mening aan bij de Trias Energeticas en zullen de zoektocht naar alternatieven sturen.

Allereerst werd besloten op internet te zoeken naar alternatieven. Al snel doken er een aantal mogelijkheden zoals pure plantaardige olie en eco-driving op. Vervolgens werd FEBETRA, de Koninklijke Federatie van Belgische Transporteurs en Logistieke Dienstverleners aangesproken. We dachten dat zo een overkoepelende organisatie informatie zou kunnen verschaffen over de relatie tussen milieu en transport en wat een logistieke dienstverlener kan doen om zijn vloot te vergroenen. Er werden hen enkele concrete vragen voorgelegd over mogelijke alternatieven zoals eco-driving, pure plantaardige olie, aardgas... Jammer genoeg kregen we geen respons op de vragen. Door een combinatie van informatie uit gesprekken met getuigen en vertegenwoordigers van verschillende vrachtwagenmerken en een eerste verkennend literatuuronderzoek om de mogelijkheden te staven, kwamen we toch tot een aantal toepassingen om de CO₂-uitstoot van vrachtwagens te verminderen.

4.1.1 Energiebesparing

4.1.1.1 Eco-driving

Volgens een studie van VITO (2005), de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek, daalt het verbruik en wordt er CO₂ gereduceerd als de maximumsnelheid van vrachtwagens afneemt. Een andere oplossing is die van Logistiek.nl (2009)^a. Zij stellen dat door een betere planning van

het transport de uitstoot verlaagd kan worden. Beide oplossingen houden eigenlijk een gedragsverandering in, wat de grondslag is van energiebesparing. Een gedragsverandering zit ook vervat in het principe van eco-driving. Zo stelt Barkenbus (2009) dat door het rijgedrag aan te passen er brandstof bespaard wordt wat een positief effect heeft op de CO₂-uitstoot. Dit fenomeen wordt eco-driving genoemd en wordt geïntroduceerd aan de hand van trainingen. (Mobimix.be, z.d., Het Nieuwe Rijden z.d.^b, Ecodrive.org z.d. en Barkenbus, 2009) Er zouden niet alleen ecologische, maar ook nog andere voordelen aan verbonden zijn, zoals kostenbesparingen door verlaagd verbruik en een verhoogde veiligheid. Feedback is volgens Barkenbus (2009) wel een vereiste om een blijvend resultaat te bekomen. Dit alternatief werd niet van doorslaggevende aard bevonden om een aantal redenen. Een eerste reden is dat men door eco-driving de mogelijkheid tot reductie in handen legt van je personeel, namelijk de vrachtwagenchauffeurs. Een investering in eco-driving is eigenlijk een investering in menselijk kapitaal. Er wordt namelijk geïnvesteerd in een werknemer, wat voor deze een persoonlijk voordeel oplevert. Dit persoonlijk voordeel is volgens ons enkel een voordeel voor het bedrijf als deze persoon dit voordeel inzet tijdens de werkuren. Indien deze werknemer echter het bedrijf verlaat, is men het voordeel kwijt. Door het personeelsverloop moeten er nieuwe mensen aangeworven worden die vervolgens ook weer getraind moeten worden. Eco-driving zal een bedrijf met een gezond personeelsverloop naar onze mening telkens geld blijven kosten. Bovendien is het te investeren bedrag⁸ relatief groot en sterk afhankelijk van de gewenste intensiteit van de training en de sector waarin het bedrijf zich bevindt. Tevens moet er naast de trainingen ook geïnvesteerd worden in een degelijk feedbacksysteem zodat de trainingen ook effectief iets opleveren voor het bedrijf. Het feedbacksysteem moet van elke vrachtwagen het verbruik meten en er moet persoonlijk advies en bijsturing zijn voor iedere chauffeur. Dit brengt dan weer extra kosten met zich mee. Naast de kosten denken we ook dat er zich negatieve neveneffecten kunnen voordoen. Zo denken we dat er tussen de vrachtwagenbestuurders concurrentie zal ontstaan om het laagste verbruik en dat continue stress ten gevolge van deze competitie zou kunnen leiden tot slechtere prestaties. Ook is het zo dat in bedrijven, zoals Bongaerts Recycling, vaak verschillende types en merken vrachtwagens in gebruik zijn waardoor het verbruik van verschillende vrachtwagens en dus verschillende vrachtwagenbestuurders niet onderling vergeleken kan worden. Bovendien is er ook een verschil in de gebruiksduur van de verschillende vrachtwagens wat ook zorgt voor een verschil in verbruik. Een laatste reden die specifiek geldt voor het bedrijf uit de gevalstudie is dat het type van transport, namelijk geen lange afstanden en just-in-time, een invloed heeft op de mogelijk te behalen reducties. Zo is een van de belangrijkste rijstijtips van eco-driving: rijd aan een constante snelheid. (Het Nieuwe Rijden, z.d.)^a Dit is praktisch onmogelijk bij Bongaerts Recycling doordat er vooral korte afstanden worden afgelegd met veel start-en-stop-verkeer. Hierdoor komt het rijden aan constante snelheid bijna niet voor waardoor er aan deze verbetering niet voldaan kan worden. Een andere tip betreft de voorbereiding van de rit. Deze tip stelt dat men de route zorgvuldig moet kiezen, tijdig moet

⁸ Vanaf 295 tot 17 880 euro volgens Het Nieuwe Rijden (z.d.)^c en 1000 tot 1200 euro (excl. BTW) volgens Ecolife (z.d.)^a en Ecolife (z.d.)^b.

vertrekken en zoveel mogelijk de spits moet vermijden. (Het Nieuwe Rijden, z.d.)^a De dienstverlening bij Bongaerts Recycling verloopt volgens een soort just-in-time principe in tegenstelling tot transportbedrijven die vaak vaste ritten hebben die op voorhand gepland kunnen worden. Als een klant belt, worden praktisch direct de containers opgehaald. Er kan dus niet lang op voorhand gepland worden en bijna geen rekening gehouden worden met spitsmomenten, waardoor deze tip niet toegepast kan worden. Met het zorgvuldig plannen van de route wordt naar onze mening altijd rekening gehouden. De kortste route is immers meestal ook de route met de minste CO₂-uitstoot. Al de tips voor eco-driving van Het Nieuwe Rijden, de organisatie waar Barkenbus (2009) in zijn studie naar verwijst, kunnen teruggevonden worden in bijlage 10. Om de voornoemde redenen zijn we van mening dat men best eerst kan investeren in duurzamere transportbrandstoffen in plaats van in een gedragsverandering. Deze investering hangt namelijk niet af van persoonlijke inzet en kan bijgevolg dus niet verloren gaan. De mogelijke economische en ecologische voordelen van dit alternatief zullen dan ook niet nader onderzocht worden. Hiermee wordt echter niet ontkend dat er geen mogelijkheden tot reductie zouden kunnen zijn. Na het invoeren van een duurzamer alternatief kan er eventueel wel overgegaan worden tot energiebesparing om het voordeel van het duurzame alternatief verder uit te buiten.

4.1.2 Duurzame energiebron

4.1.2.1 Pure Plantaardige Olie

Pure plantaardige olie (PPO) kan verkregen worden uit plantenzaden zoals koolzaad, zonnebloempitten, katoenzaden, lijnzaad... (Sidibé, Blin, Vaitilingom & Azoumah, 2010). Het is een milieuvriendelijke brandstof omdat het onder andere biologisch afbreekbaar en niet giftig is. Maar het grootste ecologisch voordeel komt van het feit dat PPO afkomstig is van planten waardoor de verbranding ervan CO₂-neutraal is doordat planten deel uitmaken van de korte CO₂-cyclus. PPO is dus afkomstig van biomassa en bijgevolg een hernieuwbare energiebron. Bovendien gedraagt PPO zich als dieselolie daar beide ongeveer dezelfde eigenschappen bezitten.

Allerhande organisaties zoals PPO.be, Plantenolie, PPO Mobiel, Nederlandse PPO Associatie, PPO.eu, Elsbett, Pureplantaardigeolie.nl en Opek Nederland hebben het over de toepassing van pure plantaardige olie als biobrandstof. Ook veel wetenschappelijke studies zoals die van Demirbas (2007), Canacki en Sanli (2008), Atadashi, Aroua en Aziz (2010), Singh en Singh (2009), Shahid en Jamal (2007), Barabas, Todorut en Baldean (2010) en Demirbas (2009) handelen over de mogelijkheden van biobrandstoffen en meer specifiek PPO. Het grote voordeel blijkt de CO₂-neutraliteit. Ook op economisch vlak lijkt PPO voordelig, zo zou het goedkoper zijn dan diesel. Aan het gebruik van pure plantaardige olie als transportbrandstof blijken echter ook een aantal minpunten verbonden, zowel op ecologisch, technisch als economisch vlak. Zo blijkt de roetuitstoot aan de hoge kant te zijn en zorgt de relatief hoge viscositeit van PPO in vergelijking met dieselolie

voor problemen in de motor. Door de hoge viscositeit is er een slechte verdunning van PPO, een onvolledige verbranding, de mogelijkheid tot het aankoeken van PPO in de verbrandingskamer en vermengen van PPO met smeerolie. Een ander probleem dat kan opduiken is verstopping van de filters die de PPO zuiveren voor het de motor in gaat. Ook zou PPO door zijn hogere zuurgraad, in vergelijking met diesel, delen van de motor aanvreten, waardoor deze onderdelen beschadigd geraken en vroegtijdig verslijten. Uit het literatuuronderzoek van Sidibé, et al. (2010) blijkt dat problemen in verband met PPO op verschillende manieren kunnen verhinderd worden. Zo kan men PPO opmengen met diesel tot een bepaalde verhouding zonder dat er problemen ontstaan. Men kan ook gebruikmaken van dual-fuelling waar er twee aparte brandstoffen verbruikt worden. De motor wordt dan eerst opgestart op basis van diesel. Wanneer de temperatuur in de verbrandingskamer hoog genoeg is, wordt er pas PPO geïnjecteerd. De verhoogde temperatuur moet de verbranding van olie mogelijk maken. Er moeten voor deze methode wel een aantal aanpassingen aan de motor doorgevoerd worden. Een andere mogelijke oplossing is een aanpassing van de verbrandingskamer van de motor. Sidibé et al. (2010) stellen wel dat er in de literatuur geen eensgezindheid bestaat over mogelijke oplossingen voor de technische problemen. Het oplossen van deze technische problemen brengt dan weer extra kosten teweeg.

Een groot deel van bovenstaande minpunten werd bevestigd door Dhr. Swolfs van autobedrijven BUGA uit Hasselt die vrachtwagens van het merk Scania verkoopt. Hij stelde uit eigen ervaring dat de motoren moeten worden omgebouwd en dat er zeer snel slijtage optreedt, wat de totale kostprijs relatief hoog maakt. Een bijkomend nadeel is dat de ombouw niet uitgevoerd wordt door de fabrikanten en eventueel bestaande garanties hierdoor vervallen. Door het feit dat de olie eerst gefilterd moet worden vooraleer hij in de motor gaat, zitten de filters van de vrachtwagen bovendien snel verstopt en moet men dus regelmatig onderhoud voorzien. Dit levert ook weer bijkomende kosten op. Ook wist hij uit ervaring te vertellen dat er twee brandstoftanks voorzien moeten worden omdat de olie eerst moet opgewarmd worden vooraleer deze kan geïnjecteerd worden in de motor. Het vermogen van een vrachtwagen op pure plantaardige olie zou ook dalen. Bovendien zouden er zich mogelijk bacteriën in de olie kunnen bevinden wat voor problemen zorgt.

Ook de Vlaamse vervoersmaatschappij De Lijn heeft een aantal jaren onder impuls van toenmalig voogdijminister Kathleen Van Brempt op PPO gereden. Maar omdat er medio 2008 veel controverse is geweest rond biobrandstoffen over wat betreft de concurrentie ervan met voedsel en de CO₂-balans, werd er midden 2008 beslist om bij De Lijn voorlopig geen biobrandstoffen meer te gebruiken. (VITO, 2007)

Na verschillende bronnen geraadpleegd te hebben, leek PPO ondanks zijn CO₂-vriendelijk karakter niet vlot technisch inzetbaar. Ook door het feit dat er geen vrachtwagen af-fabriek beschikbaar is, schrikt bedrijven volgens ons af om over te gaan tot implementatie. Daarom besloten we PPO niet

verder te onderzoeken als een mogelijkheid, maar verder te zoeken naar andere alternatieven voor de fossiele brandstof, diesel.

4.1.2.2 Aardgas

Via enkele contacten van de bedrijfsleider van Bongaerts Recycling, namelijk een verkoper van aardgasvrachtwagens en een bedrijf dat zelf het alternatief overweegt, kwamen we bij de alternatieve brandstof aardgas terecht. Deze brandstof is niet hernieuwbaar en dus ook **niet duurzaam** waardoor het eigenlijk niet onder deze categorie thuishoort. Aardgas zou echter wel een CO₂-reductie kunnen opleveren. Vervolgens werd contact opgenomen met Dhr. Simons van Groep Jam uit Hasselt die aardgasvrachtwagens van Mercedes promoot. Tijdens een afspraak legde hij de voor- en nadelen van een aardgasvrachtwagen uit. Hij stelde dat een aardgasmotor onder andere minder fijn stof uitstoot en dat ook de CO₂-uistoot lager is dan bij een dieselmotor. Ook zou volgens hem een motor op aardgas minder lawaai maken. Naar zijn mening zijn er echter naast deze ecologische voordelen ook economische voordelen. Zo zou een aardgasmotor minder verbruiken dan een dieselmotor en tevens zou aardgas goedkoper zijn dan diesel. Dit zou dus op economisch vlak twee keer winst betekenen. Hij stelde zelfs dat een aardgasvrachtwagen wel rendabel zou zijn terwijl dat met een hybride vrachtwagen volgens hem niet het geval is. Omdat de uitleg van deze verkoper verbloemd is door het commerciële karakter en we toch het gevoel hadden dat er potentieel in deze alternatieve brandstof kan zitten, werd er besloten andere bronnen te zoeken die dit verhaal konden bevestigen alvorens het alternatief in overweging te nemen. Enkele wetenschappelijke artikels waren vol lof over aardgas als transportbrandstof terwijl andere het ecologische voordeel dan weer afvlakten. Dit was ook zo na een bevraging bij vrachtwagenverkopers. Zo waren Dhr. Brutsaert, verkoopafgevaardigde en Dhr. Tavernier, support manager Benelux voor overheidsaankopen en speciale projecten van Scania, niet vol lof over aardgas zowel op ecologisch als economisch vlak. Vervolgens werd hen dan ook de vraag gesteld wat een bedrijf dat een sterke logistieke dienstverlening aanbiedt, kan doen om de CO₂-uitstoot van zijn vloot te verlagen. Ze stelden dat het beste wat een bedrijf op dit moment op ecologisch vlak kan doen, het aanschaffen van een vrachtwagen is met de beste Europese Emissiestandaard⁹ die er op de markt is. Een overzicht van de emissienormen is weergegeven in bijlage 10. Volgens hen spelen vrachtwagenbouwers in op verschillende alternatieven zoals aardgas maar ook ethanol, hybride... omdat ze niet weten wat de toekomst zal brengen. Ook geen enkel van deze alternatieven is volgens hen zo ver gevorderd dat het probleemloos op grote schaal kan worden toegepast. Zij zijn van mening dat één van deze alternatieven het zal worden in de toekomst, alleen weet men niet welk. Vrachtwagenbouwers willen dus met onderzoek naar verschillende alternatieven het pad naar de toekomst openhouden. Enkele bronnen echter waren van mening dat

⁹ Op dit moment is de beste Europese Emissiestandaard Euro 5. Euro 6 wordt voor zware voertuigen in 2013 geïmplementeerd. Als tussenstap tussen de Euro 5 en de Euro 6 is er de enhanced environmentally friendly vehicle (EEV). (Departement LNE, z.d.)^b

door het inzetten van aardgas een weg naar de toekomst wordt vrijgehouden. Ze stelden namelijk dat aardgas een transitiebrandstof is naar een duurzame energiemix.

4.1.2.3 Zonne-energie

Er is ook een oplossing die praktisch voor elk bedrijf mogelijk is om een CO₂-reductie te verwezenlijken. Dit is namelijk het inzetten van de duurzame energiebron zonlicht. Hiermee wordt niet noodzakelijk gefocust op de grootste vervuilers zoals vrachtwagens dat zijn bij transportbedrijven. Het opwekken van groene stroom is mogelijk door het plaatsen van zonnepanelen, ook wel fotovoltaïsche cellen genoemd. Deze cellen zetten licht om in elektriciteit. De opgewekte elektriciteit wordt groene elektriciteit genoemd omdat de energiebron, de zon, een hernieuwbare energiebron is. Bij de omzetting van licht naar elektriciteit komen er geen broeikasgassen vrij. Door het vervangen van de traditionele grijze stroom, die opgewekt is via de verbranding van fossiele brandstoffen, door groene stroom, wordt dus een koolstofdioxidereductie verkregen. Men moet wel in het achterhoofd houden dat de productie en afbraak van zonnepanelen ook een koolstofdioxide-uitstoot teweegbrengt.

Het inzetten van een duurzame energiebron zoals groene stroom kan tegenwoordig vrij eenvoudig door de reeds vergevorderde technologie. Bovendien is het vaak economisch interessant door de toegekende subsidies van de Vlaamse overheid waarin groenestroomcertificaten de meest doorslaggevende rol spelen. Voor bedrijven zijn er echter nog enkele eenmalige voordelen zoals de verhoogde investeringsaftrek van de federale overheid. Mogelijk komt men ook nog in aanmerking voor plaatselijke steunmaatregelen van de gemeente. (Ode, z.d.)

Voor Bongaerts Recycling is het plaatsen van zonnepanelen om de CO₂-uitstoot te verlagen geen optie, want op elk van de sites wordt groene stroom gebruikt die voor 100% CO₂-neutraal is. Het bedrijf beschikt over enkele dakoppervlaktes en het plaatsen van zonnepanelen wordt echter wel in beschouwing genomen omwille van het rendement dat de investering op dit moment biedt. Misschien zou dit later wel een rol kunnen spelen indien er een mogelijkheid bestaat tot CO₂-compensatie. Dit wil zeggen dat de CO₂-reductie die het opwekken van groene stroom oplevert, zou ingeruild kunnen worden voor de CO₂ die bijvoorbeeld de vrachtwagens teweegbrengen. Hierdoor daalt de totale CO₂-uitstoot van het bedrijf.

4.1.3 Efficiënt gebruik van fossiele brandstoffen

Tijdens de zoektocht werden niet direct mogelijkheden gevonden om de verbrandingsefficiëntie van vrachtwagenmotoren te verhogen. Wel vertelde Dhr. Tavernier dat een verhoging van de Europese emissiestandaard niet noodzakelijk gepaard gaat met minder brandstofverbruik. Zo trachtte men vroeger telkens het verbruik naar beneden te halen om zo minder brandstof te verbranden en de

uitstoot te reduceren. Op den duur zag men echter dat doordat er te weinig brandstof werd geïnjecteerd in de motor er een slechte verbranding ontstond waardoor er meer uitgestoten werd. Het was bijgevolg nodig andere manieren te zoeken om de uitstoot te verlagen. Een te laag verbruik heeft dus volgens Dhr. Tavernier negatieve gevolgen voor de uitstoot. Gegeven het voorgaande en het feit dat de motor, dan nog gebaseerd is op de fossiele brandstof diesel, werd het niet prioritair bevonden om hier verder op in te gaan. Bovendien is het zo dat een verhoogde efficiëntie altijd goed is en dus ook voor motoren die werken met een duurzamere transportbrandstof.

4.2 Conclusie

Na het in overweging nemen van een aantal mogelijkheden, komen we tot de conclusie dat er in aardgas op het eerste zicht wel potentieel zit om de uitstoot van een vloot vrachtwagens te verminderen. Enerzijds omdat er ecologische en economische voordelen aan verbonden zouden zijn en anderzijds omdat de technische haalbaarheid vergemakkelijkt wordt omdat er reeds af-fabriek vrachtwagens beschikbaar zijn. Ook is het mogelijk om deze transportbrandstof te gebruiken voor andere voertuigen zoals personenwagens en vrachtauto's. Het feit dat aardgas als transitiebrandstof zou gebruikt kunnen worden naar meer duurzame oplossingen, geeft de overweging om aardgas als alternatieve brandstof te onderzoeken meer kracht. In wat hierna volgt, zal dan ook een uiteenzetting gedaan worden van aardgas als CO₂-reducerende maatregel voor vrachtwagens in het algemeen en toegepast voor Bongaerts Recycling. Er wordt getracht een kritische kijk te werpen op de beoordelingen, er de juiste conclusies uit te trekken en na te gaan of het wel degelijk een ecologisch en economisch voordeel kan opleveren.

Bovenstaande lijst van mogelijkheden kan hoogst waarschijnlijk nog uitgebreid worden, maar omwille van het zich voordoen van een beloftevol alternatief dat technisch inzetbaar lijkt voor de gevalstudie, werd deze niet verder vervolledigd.

Hoofdstuk 5: Aardgas als mogelijkheid tot CO₂-reductie

In dit hoofdstuk worden de resultaten weergegeven van een doorgedreven literatuurstudie die gekoppeld werd aan de praktijk door middel van interviews met bevoorrechte getuigen. Er wordt een beeld gegeven van aardgas in het algemeen en als transportbrandstof over verschillende facetten waaronder economische, ecologische en technologische. Van de verkregen gegevens zal vervolgens gebruikgemaakt worden in de analyses van de volgende hoofdstukken.

5.1 Wat is aardgas?

Aardgas is net zoals aardolie een fossiele brandstof. Het gas wordt door de natuur op aarde gemaakt vandaar de benaming 'aardgas' (KVGB, 2010). Het is een brandbaar mengsel van koolwaterstofgassen dat grotendeels bestaat uit methaan (CH₄). Andere gassen waaruit aardgas bestaat, hetzij in mindere mate, zijn ethaan (C₂H₆), propaan (C₃H₈) en butaan (C₄H₁₀). Onderstaande tabel geeft een typische samenstelling van aardgas voor raffinage weer. De exacte samenstelling is echter afhankelijk van waar het aardgas afkomstig is. (NaturalGas.org, 2010)^a

Tabel 5: Typische samenstelling van aardgas voor raffinage

Stof	Formule	%
Methaan	CH ₄	70-90%
Ethaan	C ₂ H ₆	0-20%
Propaan	C ₃ H ₈	
Butaan	C ₄ H ₁₀	
Koolstofdioxide	CO ₂	0-8%
Zuurstof	O ₂	0-0,2%
Distikstof	N ₂	0-5%
Waterstofsulfide	H ₂ S	0-5%
Overige gassen	A, He, Ne, Xe	sporen

Bron: NaturalGas.org (2010)^a

Aardgas is van nature kleurloos en geurloos. Voordat het aan de eindconsument wordt geleverd, wordt er een onaangename geur aan toegevoegd. Dit wordt gedaan opdat men aardgas zou ruiken indien het vrijkomt, anders zouden er levensbedreigende situaties kunnen ontstaan. (KVGB, 2010) Overigens is aardgas een veilige energie en dit om verschillende redenen. Ten eerste is aardgas¹⁰ lichter dan lucht¹¹, wat maakt dat het snel vervliegt en verdunt, wat het explosiegevaar drastisch verlaagt. Tevens kan aardgas pas ontvlammen als de juiste hoeveelheid¹² zuurstof aanwezig is. Het

¹⁰ 0,8 kg /m³

¹¹ 1,23 kg/m³

¹² Deze hoeveelheid ligt tussen de 95% en 85%.

luchtgasmengsel is maar ontvlambaar als het tussen de 5% en 15% aardgas bevat. Bovendien is er een temperatuur van boven de 650°C nodig om dit mengsel te laten ontvlammen. Een laatste reden waarom aardgas veilig is, is dat het geen koolstofmonoxide (CO) bevat. Hierdoor is het niet giftig in tegenstelling tot andere gassen. (Iveg, 2004)

5.2 Aardgas als transportbrandstof

Fossiele brandstoffen zoals aardolie, steenkool en aardgas kunnen ongeveer voor dezelfde toepassingen gebruikt worden, hoewel dit dan gepaard zou kunnen gaan met een vermindering van de efficiëntie. (Economides & Wood, 2009) Een toepassing van aardgas die nog niet algemeen gekend is, is het gebruik ervan als transportbrandstof. Met aardgas als transportbrandstof werd reeds geëxperimenteerd in 1930. Aardgas wordt dus al geruime tijd beschouwd als alternatieve brandstof voor diesel en benzine. (NaturalGas.org, 2010)^b Na de eerste oliecrisis, in 1973, vond er pas een significante groei plaats in het gebruik van aardgas als brandstof voor transportmotoren. De technologie evolueert sindsdien en voertuigen op aardgas, ook wel NGV's (Natural Gas Vehicles) genoemd, worden op en van de markt gebracht respectievelijk gehaald. (IEA, 2010)

Door het feit dat aardgas een gas is, neemt het meer volume in dan de traditionele brandstoffen. Om praktische redenen is het bijgevolg nodig om het volume te verminderen. Dit kan gebeuren op twee manieren, namelijk door het samendrukken of vloeibaar maken. Aardgas wordt dus in die twee vormen gebruikt als transportbrandstof. Dit zijn ook de twee vormen waarin aardgas wordt getransporteerd. De chemische samenstelling blijft uiteraard dezelfde. (IEA, 2010)

Ten eerste is er **Compressed Natural Gas (CNG)**. Dit is tevens de gemakkelijkste vorm om aardgas als transportbrandstof te gebruiken. Hierbij wordt aardgas onder druk samengeperst tot een volume dat één procent bedraagt van het volume onder atmosferische druk terwijl de gasvormige toestand behouden wordt. De druk kan verschillen afhankelijk van het type tankstation, maar bedraagt ongeveer 200 tot 250 bar (NGVA Europe z.d.^a, IEA, 2010 en Ecofillco, 2010). Dit samenpersen is niet enkel nodig om het volume te verkleinen, maar ook om een voldoende grote energie-inhoud te bekomen. (AFDC, 2010)^a

Tevens wordt er gebruikgemaakt van **Liquefied Natural Gas (LNG)**. Dit is aardgas dat wordt afgekoeld tot ongeveer - 162°C waardoor het vloeibaar wordt. Hiervoor is het nodig dat alle onzuiverheden zoals zand, water... verwijderd zijn. Het volume dat dit vloeibaar gas inneemt, is 614 keer kleiner dan in de gastoestand. Dit zorgt ervoor dat voor een bepaalde hoeveelheid energie minder volume nodig is. Hierdoor kan er in een tank meer getankt worden ten op zichte van CNG. De tankinhoud wordt dus 'groter' waardoor de actieradius vergroot wordt. LNG is hierdoor meer toepasbaar voor vrachtwagens dan CNG omdat ze voor transportmogelijkheden een

voldoende grote actieradius nodig hebben. (NGVA Europe z.d.^a, Engerer & Horn, 2010 en IEA, 2010) Door zijn vloeibare vorm wordt LNG verkocht per liter terwijl dit bij CNG per kg of m³ is.

Het verschil tussen een voertuig op CNG en LNG is enkel de opslag van de brandstof. Zo wordt CNG opgeslagen in tanks van ongeveer 200 tot 250 bar, terwijl LNG wordt opgeslagen in een soort thermos om de vloeistof koel te houden. Voor een weergave hiervan, zie bijlage 12. LNG wordt terug gasvormig door het op te warmen voor het de motor ingaat. Dit maakt dat het terug gelijkgesteld wordt met CNG net voor de verbranding plaatsvindt. (NVG America, 2010, Beer, Grant, Williams, & Watson, 2002 en IVECO, 2010) Er zou echter een groot nadeel verbonden zijn aan LNG. De tank is namelijk een soort thermos en zoals algemeen geweten gaat de temperatuur in een thermos na een tijd stijgen tot de temperatuur in haar omgeving. Hierdoor gaat het LNG opwarmen waardoor het volume toeneemt en het gasvormig wordt. Het is bijgevolg nodig om op deze tank een overdrukklep te plaatsen zodat dit gas kan ontsnappen. Het gevolg hiervan is dat als men LNG tankt, er ook verbruik moet zijn, anders zal de tank leeglopen. Indien men het gas onder permanente koeling zou plaatsen in plaats van in een thermos, zou dit niet het geval zijn, maar de kostprijs van zo een installatie is niet te verantwoorden. (FUELSwitch, z.d.^a, Rolande LNG, 2010 en IVECO, 2010)

Naast aardgas bestaat er nog een 'gasvormige' brandstof namelijk Liquefied Petroleum Gas (LPG). Dit mag niet verward worden met LNG of CNG. Beide producten zijn totaal verschillend. LPG is een restproduct van olie- en gasproductie en het bestaat voornamelijk uit propaan en butaan. Dit in tegenstelling tot LNG of CNG dat voornamelijk uit methaan bestaat. LPG is net zoals LNG vloeibaar. De vloeibaarmaking gebeurt echter op een andere wijze namelijk door het bij buitenluchttemperatuur onder druk te brengen. (DCMR, z.d. en IEA, 2010)

5.2.1 Technologie

Aardgas kan gebruikt worden voor uiteenlopende transportmogelijkheden zoals wegtransport, off-roadtransport, spoortransport, zeetransport en luchttransport. (IEA, 2010, NGV Global, 2007^c en NGV Global, 2008^b) Deze brandstof is dus toepasbaar voor een breed spectrum van voertuigen. De allereerste gasvoertuigen waren voertuigen waarvan de conventionele motor werd omgebouwd. Originele voertuigen kwamen pas op de markt wanneer de technologie en het volume productie toelieten. (Flynn, 2002 en IEA, 2010)

5.2.1.1 Ombouwen

Tegenwoordig kunnen er steeds meer af-fabriekgasvoertuigen aangeschaft worden, maar tot op heden is het ook nog mogelijk om een diesel- of benzinemotor aan te passen. Volgens het IEA (2010), Engerer en Horn (2010), Korakianitis et al. (2011) en andere bronnen zijn er bij

benzinemotoren of otto-motoren de minste aanpassingen nodig en zijn deze dus in eerste instantie het meest geschikt. Dit is logisch gegeven de chemische samenstelling van aardgas. De samenstelling bestaat voornamelijk uit methaan en het zijn de eigenschappen hiervan die ervoor zorgen dat verbranding moet ontstaan als gevolg van een vonk of ontsteking zoals bij benzine. Een brandstof kan gekarakteriseerd worden door een octaan- en cetaangetal. Het octaangetal geeft de klopvastheid¹³ van de brandstof weer terwijl het cetaangetal de neiging tot zelfontbranding refereert. Beide getallen geven de bruikbaarheid van de brandstof weer in respectievelijk een benzine- en dieselmotor. Methaan, waaruit aardgas grotendeels bestaat, heeft een hoog octaangetal, maar een zeer laag cetaangetal. Aardgas is dus geschikt voor een benzinemotor, maar niet voor een dieselmotor zonder vonk. Aardgas kan namelijk niet ontbranden door de warmte die ontstaat als gevolg van samenpersing. Volgens Engerer en Horn (2010) zijn er zelfs geen fundamentele veranderingen nodig aan een benzinemotor. Benzine gaat immers als een gasmengsel de otto-verbrandingsmotor in. De benzine wordt daarvoor eerst verdund en gemengd met lucht. Bovendien kan aardgas veel meer samengedrukt worden dan benzine omwille van zijn hoge klopvastheid. Dit kan leiden tot een hogere thermische efficiëntie en een lager energieverbruik in vergelijking met benzine. De ombouw van een dieselmotor of interne verbrandingsmotor zou ook mogelijk zijn, maar dan moet er een ontsteking of vonk voorzien worden. Volgens Korakianitis et al. (2011) en het IEA (2010) is het wel belangrijk om zowel bij benzine- als bij dieselmotoren, de motor en de brandstofinspuiting verder te optimaliseren en te verfijnen om maximale voordelen te bekomen.

5.2.1.2 Motoren

Er zijn drie manieren van gebruik van aardgas in een motor. Ten eerste zijn er motoren die alleen op aardgas werken. De zogenaamde mono-fuel-motoren. Daarnaast zijn er ook die kunnen werken op verschillende brandstoffen die ontstoken moeten worden zoals aardgas, benzine of een andere brandstof zoals ethanol. Dit zijn de bi-fuel-motoren. Beide motoren werken volgens het principe van een benzinemotor. Een dual-fuel-motor daarentegen is gebaseerd op een dieselmotor. De reden is dat deze efficiënter zijn en een hogere kracht kunnen leveren dan benzinemotoren. De dual-fuel-technologie maakt gebruik van een mengsel van twee brandstoffen namelijk gas en diesel. Het aardgas-luchtmengsel wordt hier ontstoken door de diesel (in plaats van een ontsteking zoals bij een benzinemotor) die eerst ingespoten wordt en door compressie ontbrandt. Diesel dient hier dus als een soort pilootvloeistof. De rest van de diesel die normaliter gebruikt zou worden, wordt vervangen door aardgas. Het voldoende hoog octaangetal van aardgas zorgt ervoor dat samenpersing onder hoge druk mogelijk is. De hoeveelheid diesel die wordt vervangen, hangt af van de belasting van de motor. Er is weinig energie vereist wanneer de motor stationair of onbelast draait. De energie kan dan volledig geleverd worden door de eerst ingespoten hoeveelheid diesel. Er wordt dan nog geen aardgas verbruikt. Meer en meer energie is nodig wanneer de belasting

¹³ De mate waarin een brandstof kan worden samengeperst zonder tot zelfontbranding te komen.

verhoogd wordt. Om aan dit verhoogd energieverbruik tegemoet te komen wordt er steeds meer aardgas ingespoten. Door het feit dat bij weinig belasting weinig aardgas wordt gebruikt, is deze methode niet echt een optie voor start-en-stop- of stadstransport, maar eerder voor langeafstandsvervoer over de weg. (IEA, 2010 en NGV Global, 2008^b)

Een groot voordeel verbonden aan zowel de bi-fuel als de dual-fuel is de onafhankelijkheid van de beschikbaarheid van aardgas omdat deze motoren ook werken op de conventionele brandstoffen benzine en diesel. (IEA, 2010 en NGV Global, 2008^b) Een minpunt is echter dat het gebruik van de dual-fuel-technologie in principe nog niet toegelaten is. Er is namelijk op dit moment een gebrek aan formele erkenning binnen Europa. (AMT, 2009) Dit wordt bevestigd door Volvo en MAN die bezig zijn met de ontwikkeling en praktijktesten van de dual-fuel-technologie.

5.2.1.3 Aanbod van aardgasvrachtwagens

Vrachtwagens kunnen omgebouwd worden, maar er zijn tegenwoordig ook af-fabriekmodellen op de markt. Het IEA (2010) stelt dat door het aanbod van deze klasse van voertuigen, dit niet langer een bottleneck vormt in de marktontwikkeling. Zo stellen ze dat Mercedes, Iveco, Ford, Volvo, MAN, Isuzu en Nissan op dit moment zware voertuigen op aardgas aanbieden. Bovendien is naast de mono-fuel-technologie ook de dual-fuel-technologie mogelijk voor vrachtwagens.

Enkele Nederlandse organisaties zoals FUELswitch (z.d.)^b en Aardgasinuwagenspark.nl (z.d.)^b geven op hun websites een, weliswaar beperkte, lijst van aardgasvrachtwagens. We hebben zelf ook enig onderzoek verricht naar aardgasvrachtwagens bij verdelers van vrachtwagens. Hierdoor wordt bevestigd dat van de merken die in België worden aangeboden Mercedes, IVECO, Scania en Renault aardgasvrachtwagens in hun gamma hebben. Van fabrikant MAN werd vernomen dat men aan het testen is met de dual-fuel-technologie. Ze werken niet met af-fabriekmodellen maar met ombouw van nieuwe of bestaande vrachtwagens. Hiervoor werken ze in Nederland samen met Prins Autogassystemen. Dit is een bedrijf dat zich bezighoudt met het ontwikkelen van alternatieve brandstofsysteem. Ze hebben een systeem ontwikkeld waardoor vrachtwagens kunnen omgebouwd worden naar dual-fuel. (Prins Autogassystemen, 2008) Volvo is tevens bezig met de ontwikkeling van een af-fabriekvrachtwagen met het dual-fuel-principe. Bij DAF echter lijken ze niet bezig te zijn met aardgas. Er was geen informatie over terug te vinden.

Na navraag bij elk van de merken werd vastgesteld dat enkel IVECO en Mercedes in België te verkrijgen of reeds in gebruik zijn. MAN en Renault daarentegen richten de commercialisering op dit moment enkel op de Nederlandse markt. Ook Scania gaat de eerste testen met zijn vrachtwagen uitvoeren in Nederland. Dit geldt tevens voor Volvo waarvan de vrachtwagen nog in ontwikkeling is en in 2011 zou uitkomen.

Tabel 6: Aardgasvrachtwagens van verschillende merken

Merk	Brandstof	Verbranding
IVECO	CNG en/of LNG	Mono-fuel
Mercedes	CNG of LNG	
Renault	CNG	
Scania	CNG of LNG	
Volvo	Diesel en LNG (of CNG)	Dual-fuel
MAN*	Diesel en CNG	
DAF	/	/

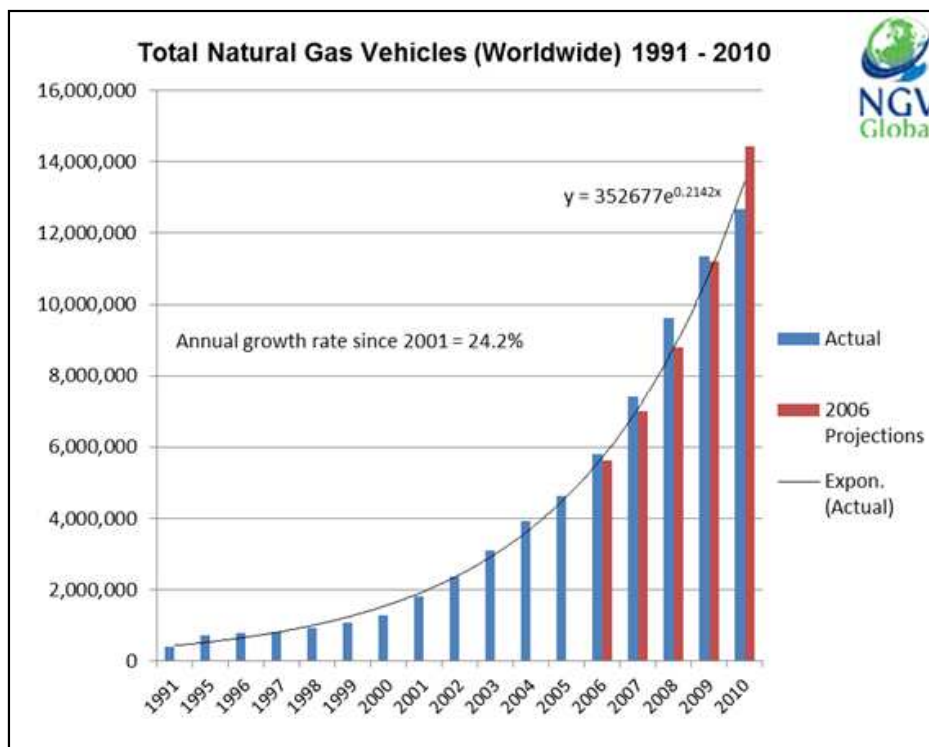
Bron: Eigen informatieverzameling

* Ombouwen van een bestaande dieselvrachtwagen

5.2.2 Populatie van aardgasvoertuigen

5.2.2.1 Wereld

NVG Global is een internationaal forum voor de industrie van gasvoertuigen dat groei van het aantal NGV's nastreeft, maar zich ook inzet voor productontwikkeling, veiligheid en beleid. Sinds hun oprichting in 1986 hebben ze het aantal gasvoertuigen zien groeien van nul tot meer dan 12 miljoen in oktober 2010. Het laatste decennium vond er dan ook een enorme groei plaats in het aantal gasvoertuigen. NGV Global verwacht dat het huidig aantal gasvoertuigen nog zal stijgen. Ze schatten dat er in 2020 50 tot 65 miljoen gasvoertuigen zullen rondrijden. (NGV Global, 2010^a) Deze schatting hebben ze samen uitgevoerd met NVGA Europe, een organisatie die zich vooral focust op gasvoertuigen in Europa. Bovendien verwachten ze dat er in 2030 tussen de 100 tot 200 miljoen gasvoertuigen zullen zijn. (NVGA Europe, z.d.^c)



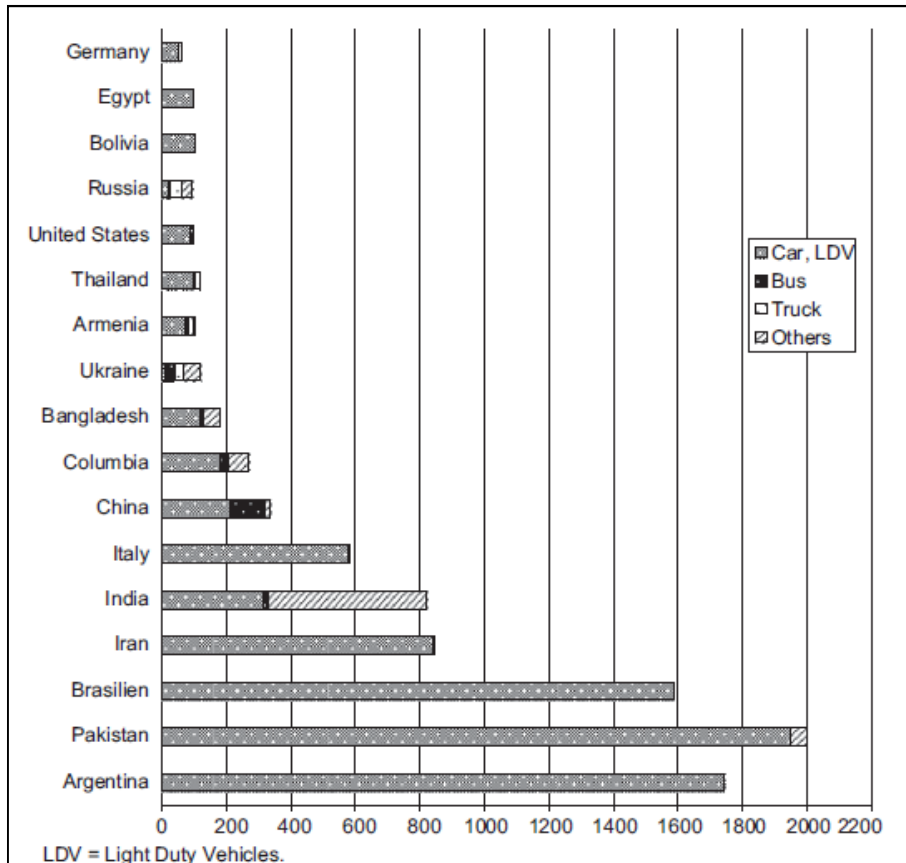
Figuur 10: Groei van het aantal gasvoertuigen in de wereld

Bron: NGV Global (2010)^b

Op het einde van 2008 bestonden er wereldwijd 9,5 miljoen aardgasvoertuigen. Dit stemde overeen met 1% van het totaal aantal voertuigen in de wereld. (Engerer & Horn ,2010) Eén van de landen die jaarlijks een grote groei kent, is Iran. Iran behoort tot de top van landen waar de markt het best ontwikkeld is. Tot deze top behoren ook Argentinië, Brazilië, India en Pakistan. De hoeveelheid gasvoertuigen is dus niet gelijk verdeeld over de wereld. De vijf besproken landen vertegenwoordigen namelijk 70% van het totaal aantal gasvoertuigen. De OECD-landen vertegenwoordigen slechts ongeveer 1 miljoen en hiervan rijdt er meer dan de helft rond in Italië. (IEA, 2010) In bijlage 13 kan een wereldkaart met het aantal gasvoertuigen op het einde van 2010 teruggevonden worden.

De wereldvloot bestaat volgens het IEA (2010) voornamelijk uit personenwagens en lichte vrachtauto's, hoewel er regionale verschillen zijn. Zo rijdt het merendeel van de gasvrachtwagens in Rusland en het Gemenebest van Onafhankelijke Staten (GOS) en rijden er vooral in Azië driewielers en tuktuks op gas. Latijns-Amerika telt dan weer 40% van de personenwagens op gas in de wereld. IEA (2010) Het EIA stelt in een jaarlijks rapport "Annual Energy outlook 2010", dat marktpenetratie van aardgas als brandstof gebruikt door voertuigen die op de weg rijden, slechts 0,2% bedroeg in 2008. Voor zware vrachtwagens bedroeg deze ook slechts 0,2%. (EIA 2010) Dat het overgrote deel van de gasvoertuigen personenwagens en lichte vrachtauto's zijn, wordt ook bevestigd door Engerer en Horn (2010). In alle landen, behalve in India, waar aardgas als

transportbrandstof ingeburgerd is, bestaat de vloot bijna volledig uit personenwagens en lichte vrachtwagens. Hoewel er ook bussen en vrachtwagens bestaan op aardgas, worden deze veel minder tot helemaal niet gebruikt.



Figuur 11: Het aantal CNG-voertuigen per voertuigtype begin 2009

Bron: Engerer en Horn (2010)

5.2.2.2 Europa

NVGA Europe stelt dat Europa een aandeel van om en bij de 10% in het totaal aantal aardgasvoertuigen heeft, terwijl het een aandeel van 36% heeft in het totaal aantal voertuigen. Voor 1995 werd de Europese NGV-markt vooral gedomineerd door Italië. De jaren nadien steeg het aantal gasvoertuigen ook in andere landen van Europa. Deze stijging zal zich volgens NVGA Europe verderzetten en zelfs groter worden ten gevolge van het Europees beleid met betrekking tot alternatieve brandstoffen en broeikasgasemissies. Ze durven te voorspellen op basis van de voorgaande groei dat de Europese markt zal stijgen tot ongeveer 15 miljoen gasvoertuigen in 2020 en 30 miljoen in 2030. (NGVA Europe, z.d.^a en NGVA Europe, z.d.^b)

Het Europees Economisch en Sociaal Comité (EESC) was in 2006 ook positief over aardgas in Europa zoals NVGA Europe. Aardgas zal volgens hen van de 20% alternatieve brandstoffen die er tegen 2020 moeten zijn, een aandeel van 10% vertegenwoordigen in 2020. Engerer en Horn (2010) stellen dat om deze target te halen het aantal gasvoertuigen moet stijgen met 30% per jaar. Het is echter nog de vraag of dit bereikt zal worden. In 2011 is men in Europa nog steeds positief over de mogelijkheid van aardgas. Recent kwam een nieuwe "White paper" van de Europese Commissie uit. Dit is een plan met 40 concrete initiatieven om een competitief transportsysteem uit te bouwen dat mobiliteit verhoogt en tevens emissie verlaagt. Op deze manier wil men onder andere de afhankelijkheid van olie-import verlagen en de CO₂-uitstoot met 60% verlagen tegen 2050. (Europese Commissie, 2011) Methaan, zowel biogas als aardgas, wordt gezien als een van de alternatieven om dit te verwezenlijken. (NGVA Europe, 2011)^a

Binnen Europa behoren Italië, Duitsland en Zweden tot de top wat betreft het aantal gasvoertuigen. Ook Nederland heeft een behoorlijk aantal aardgasvoertuigen. Ongeveer 3502 in juni 2010 en dit aantal groeit gestaag. Als men enkel het aantal aardgasvrachtwagens bekijkt, dan heeft Duitsland met 3650 de meeste vrachtwagens op gas binnen Europa. Italië en Spanje volgen op respectievelijk de tweede en derde plaats. (NGVA Europe, 2010) Als men echter naar de relatieve aandelen kijkt, met name het aandeel van het aantal vrachtwagens ten opzichte van de totale vloot van gastransportvoertuigen, kan men zien dat er in het Verenigd Koninkrijk voornamelijk vrachtwagens op gas rijden. Het aandeel bedraagt 88,24% van het totaal aantal gasvoertuigen. Andere landen met een hoog aandeel van aardgasvrachtwagens binnen de totale vloot van gasvoertuigen zijn Letland en Spanje met respectievelijk 82,38% en 40,10%. We kunnen hieruit concluderen dat het in Europa niet noodzakelijk zo is dat in landen met relatief veel gasvoertuigen er ook een groot aandeel hiervan vrachtwagens zijn. Zo heeft het Verenigd Koninkrijk relatief weinig gasvoertuigen waarvan het merendeel vrachtwagens zijn. In Duitsland is het net omgekeerd.

Tabel 7: Top tien van Europese landen met de meeste gasvrachtwagens

Land	LD+MD +HD Transportvoertuig [*]	MD + HD trucks	Aandeel
Duitsland	88015	3650	4,15%
Italië	698500	1200	0,17%
Spanje	2496	1001	40,10%
Frankrijk	13300	1000	7,52%
Zweden	28092	480	1,71%
Letland	227	187	82,38%
Verenigd Koninkrijk	170	150	88,24%
Nederland	3502	150	4,28%
Griekenland	520	108	20,77%
Zwitserland	9219	56	0,61%

Bron: Gebaseerd op cijfers van NGVA Europe (2010)¹⁴

*Auto's, bussen en vrachtwagens

5.2.2.3 België

Onze buurlanden Nederland, Duitsland en Frankrijk maken een opwaartse beweging in het aantal aardgasvoertuigen. Het aantal in België blijft daarentegen relatief klein. Volgens NGVA Europe telde België in juni 2010 566 gasvoertuigen. Dit is bijzonder weinig in vergelijking met andere Europese landen en de wereld. Van de 566 voertuigen zijn er daarenboven 560 auto's. Er zijn volgens NGVA Europe bijgevolg slechts 6 vrachtwagens op aardgas in gebruik in België. (NGVA Europe, 2010^a)

5.3 Waarom aardgas als transportbrandstof?

Er zouden zowel economische en technologische redenen als milieuredenen verbonden zijn aan het gebruik van aardgas als transportbrandstof. In hoofdstuk 6 en 7 zal nagegaan worden wat de economische voordelen zijn en hoeveel de eventuele CO₂-reductie bedraagt.

5.3.1 Economische motieven

De overschakeling op aardgas als transportbrandstof zou onder andere gestuurd worden door economische redenen. Zo zou het feit dat aardgas nog relatief voorradig is en de gunstige prijs van aardgas ten opzichte van diesel als motivatie dienen om de meerprijs van een aardgasvoertuig te verantwoorden en na verloop van tijd kosten te besparen. Eerst zal het aanbod van aardgas en de implicaties hiervan op de prijs onderzocht worden en nadien de eventuele meerprijs.

¹⁴ Dit werd per land op verschillende tijdstippen waargenomen. De data zijn voornamelijk van 2010 maar er zijn er ook van 2009 en 2008 en enkele van 2007.

5.3.1.1 Aanbod van aardgas

Aangezien aardgas net zoals aardolie een fossiele brandstof is en dus ontstaan is als gevolg van geologische processen miljoenen jaren geleden, moet men in het achterhoofd houden dat deze brandstof niet hernieuwbaar is. Aardgas is met andere woorden niet onuitputtelijk zoals duurzame energiebronnen.

Sinds het begin van de jaren '70 stijgen nochtans de wereldaardgasreserves gestaag met ongeveer 5% per jaar. Tevens zijn het aantal landen die in het bezit zijn van reserves fors gestegen van 40 in 1960 tot ongeveer 85 in 2005. Volgens cijfers uit de studie van Economides en Wood (2009) die gebaseerd zijn op de "Statistical Review of Energy Resources" uit 2008 van de energiemaatschappij British Petroleum (BP) voeren Rusland, Iran, Qatar, Saudi-Arabië en de Verenigde Arabische Emiraten de top vijf aan van landen met de meeste reserves in 2007. (Economides & Wood, 2009) Anno 2010 is de top vijf van landen met de grootste reserves slechts minimaal veranderd als we deze van BP uit 2007 vergelijken met de rangorde van de Central Intelligence Agency (CIA). De top drie blijft weliswaar onveranderd, maar op de vierde plaats staat volgens hen Turkmenistan en Saoedi-Arabië verschuift naar de vijfde plaats. Ook Europa beschikt volgens deze bron over aardgasreserves en staat op de 18^{de} plaats op de wereldranglijst. Binnen Europa beschikt Nederland over een groot deel van de aardgasreserves en staat daardoor op de 24^{ste} plaats. (CIA, 2010)

Wat betreft de productie van aardgas was volgens gegevens van de studie van Economides en Wood (2009) de ratio van reserves op productie ongeveer 60 jaar in 2007. Dit is het aantal jaar voordat de reserves uitgeput zullen zijn indien men het huidige productieniveau aanhoudt. Het is echter mogelijk dat de wereldaardgasreserves groter worden, ook al wordt er globaal meer geproduceerd en geconsumeerd, doordat er nieuwe reserves ontdekt worden. Verbeteringen in de exploitatietechnologieën, veranderingen van marktcondities, investeringen in infrastructuur en nieuwe technologieën kunnen hier ook voor zorgen. Het is volgens Economides en Wood (2009) zelfs mogelijk dat over 60 jaar de ratio van reserves-tot-productie nog steeds 60 jaar is. Volgens het "Statistical Review of World Energy" van BP uit 2010 is de ratio van reserves-tot-productie van aardgas in 2009 zelfs meer dan 60 jaar, terwijl deze van aardolie slechts ongeveer 45 jaar is. (British Petroleum, 2010) Dit kunt u waarnemen in bijlage 14 en 15. Aardgas zal dus langer voorradig zijn dan aardolie indien er geen drastische wijzigingen plaatsvinden in de productie en reserves. Volgens Aguilera (2010) is het debat met betrekking tot slinkende aardgasreserves nochtans bijna zo hevig als dat van het minder voorradige aardolie. In Europa wordt dit nog versterkt omwille van de afhankelijkheid van andere landen voor fossiele brandstoffen buiten de Eurozone. Volgens het onderzoek van Aguilera (2010) blijkt dat er mogelijk meer aardgas in Europa ter beschikking is dan wordt gedacht. Dit komt door het feit dat er nog veel gebieden zijn die nog niet onderzocht werden of omdat de aangroei van bestaande reserves niet onder

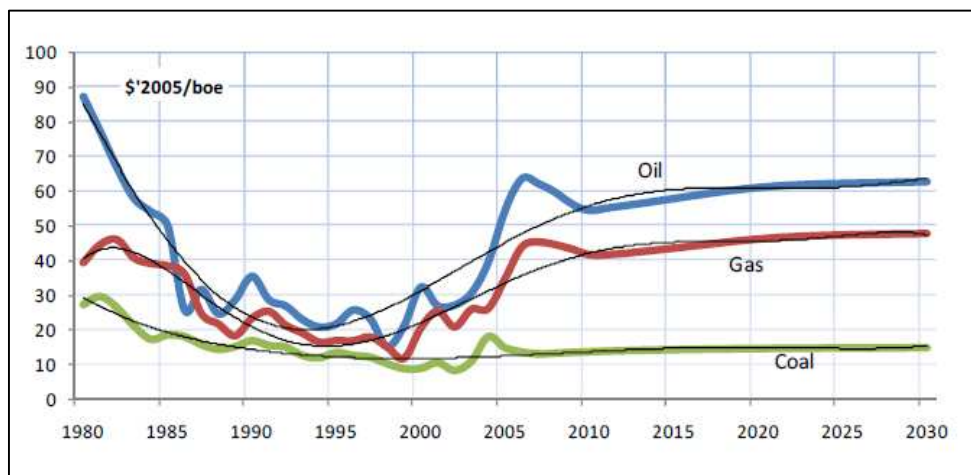
beschouwing genomen wordt. Bovendien blijkt het economisch verantwoord om de aardgasreserves te ontginnen. Bijgevolg is er dan ook meer onderzoek nodig naar het gegeven van aardgas in Europa. (Aguilera, 2010) Een voorbeeld van recent onderzoek dat in België werd opgestart, is dat naar de haalbaarheid van het ontginnen van methaangas uit het Kempisch steenkoolbekken. De Limburgse Reconversie Maatschappij, LRM, heeft daarop samen met het Australische Dart Energy de nv Limburg Gas opgericht. Dit bedrijf zou het methaangas uit het steenkoolbekken gaan ontginnen. Volgens hen zou de Limburgse ondergrond 7,7 miljard m³ winbaar aardgas bevatten. (LRM, 2011)

Uit het voorgaande kunnen we stellen dat aardgas relatief voorradig is in vergelijking met aardolie en de aardgasreserves meer verspreid zijn over de wereld in tegenstelling tot deze van aardolie, die zich vooral situeren in het Midden-Oosten. Deze **relatief goede voorradigheid** van aardgas blijkt een belangrijke reden te zijn voor het gebruik van en dus de vraag naar aardgas als transportbrandstof. Dit geldt zowel voor landen die afhankelijk zijn van buitenlandse reserves als voor landen met eigen reserves. Aardgasgebruik van eigen reserves levert immers een prijsvoordeel en zou tevens positieve effecten kunnen hebben op de current account van het land (Yeh, 2007). Zo kunnen landen met gasreserves hun olie-import verlagen en kunnen landen met zowel aardgas- als aardoliereserves hun olie-export verhogen. Landen met eigen aardgasreserves worden door de verlaagde olie-import minder afhankelijk van olie-exporterende landen. Dit geldt niet alleen voor landen met aardgasreserves. Het feit dat aardgasreserves **meer verspreid zijn over de wereld** dan deze van aardolie, leidt immers tot geopolitieke voordelen. Hierdoor is er ook voor landen zonder reserves meer onafhankelijkheid. Deze onafhankelijkheid leidt tot meer prijs- en aanbodgarantie en is ook een reden om over te stappen op aardgas als transportbrandstof. (Hekkert et al., 2005)

5.3.1.2 Prijs van aardgas

De prijs van deze fossiele brandstof is volatiel. Dit wil zeggen dat de prijs per moment kan variëren net zoals deze van andere brandstoffen zoals aardolie. De Europese Commissie publiceerde in 2008 "European Energy and Transport-Trends to 2030-update 2007" waarin wordt aangenomen dat de aardgasprijs gekoppeld is aan de aardolieprijs. Lange-termijn-aardgasbevoorradingscontracten indexeren namelijk de aardgasprijzen aan de aardolieprijzen, maar ook marktmechanismen verantwoorden deze link op de lange termijn. In onderstaande figuur kan men de gemiddelde importprijzen van respectievelijk aardolie, aardgas en steenkool terugvinden geprojecteerd tot 2030. De prijzen van aardolie en aardgas maken een gelijkaardige beweging en zijn dus schijnbaar aan elkaar gekoppeld. Het positieve nieuws is dat de aardgas- en aardolievoorraden nog voldoende zouden zijn om een geleidelijke prijsevolutie te garanderen. (Europese Commissie, 2008) Vermits bovendien de gasreserves wijd verspreid zijn over de wereld in tegenstelling tot aardoliereserves, geeft dit ook nog geopolitieke voordelen. Hierdoor is er meer onafhankelijkheid en dus ook meer

prijsgarantie. (Hekkert et al., 2005) De prijzen van aardgas en aardolie zullen wel relatief hoog blijven, vergeleken met het niveau tussen 1990 en 2002. Het verschil tussen deze prijzen zal na verloop van tijd wel stabiliseren. De ratio van de aardgasprijs tot de aardolieprijs zal namelijk na een tijd hetzelfde blijven. De competitiviteit tussen beide brandstoffen zal dus niet stijgen. (Europese Commissie, 2008)



Figuur 12: Gemiddelde importprijzen van fossiele brandstoffen in Europa

Bron: Europese Commissie (2008)

Het EIA (2010)^a kwam tot gelijkaardige vaststellingen in haar jaarlijks rapport, "Annual Energy Outlook" ¹⁵. In de publicatie van 2010 stelde men vast dat de prijzen van ruwe aardolie en aardgas in de U.S. gelijkaardige bewegingen maakten tussen 1995 en 2005. Men stelde ook vast dat er zich een schijnbaar gebrek aan responsiviteit van de aardgasprijs aan de veranderende aardolieprijs kan voordoen in de toekomst. De oorzaak hiervan kan het veranderd gebruik van de twee fossiele brandstoffen zijn. Daarnaast kunnen de mogelijkheden om aardolie te vervangen door aardgas gelimiteerd worden door hoge infrastructuurinvesteringen. Deze investeringen zouden ervoor moeten zorgen dat substitutie op grote schaal mogelijk is zodat de prijzen van beide producten gelijkaardig worden. Indien er geen grote investeringen gebeuren, verwacht het EIA dat de kloof tussen beide prijzen groot zal blijven. De competitiviteit tussen beide brandstoffen neemt dus niet toe, maar stabiliseert door een gebrek aan mogelijke substitutie. Hierdoor blijft er een leemte tussen beide prijzen. (EIA, 2010)^a Het EIA en de Europese commissie komen dus tot gelijkaardige vaststellingen, met name dat het prijsverschil tussen aardgas en aardolie zal blijven bestaan en zelfs zal stabiliseren en dat de markten van de twee brandstoffen aan elkaar gekoppeld zijn.

Vermits aardgas goedkoper is dan aardolie en CNG aardgas enkel gecompriemd is terwijl aardolie nog vele stappen moet ondergaan voordat men diesel en benzine heeft, kan men logischerwijze

¹⁵ Hierin worden voorspellingen en analyses met betrekking tot de Amerikaanse energieprijzen, energievraag en -aanbod gemaakt. Deze bevat een referentiecasi en enkele alternatieve cases.

stellen dat CNG goedkoper is dan deze brandstoffen. Deze prijsverschillen tussen traditionele brandstoffen en gecompriemd aardgas in het voordeel van aardgas zijn volgens Engerer en Horn (2010) een sterke drijfveer voor het gebruik van aardgasvoertuigen. Dit prijsverschil wordt zelfs vaak gezien als de belangrijkste factor om gebruikers aan te trekken om over te schakelen (Dondero & Goldemberg (2005), Gwilliam (2000), Janssen, Lienin, Grassmann, & Wokaun (2006), Matic (2005), in Yeh, 2007).

Dat de CNG-prijs lager is dan deze van benzine en diesel, bevestigt ook NVGA Europe. Ze geven de prijzen van verschillende brandstoffen van verschillende landen weer en maken per land de vergelijking met CNG. In België zou **CNG** ongeveer **47%** en **55% goedkoper** zijn dan respectievelijk **diesel** en **benzine**. Deze gegevens dateren van juni 2010. In Nederland is het prijsverschil groter. Hier betaalt men 53% en 68% minder voor respectievelijk diesel en benzine. (NGVA Europe, 2010 en NGVA Europe, 2011^b) Het is niet onbelangrijk dat NGVA Europe bij de prijsvergelijkingen rekening houdt met de verschillen in energetische waarde tussen de brandstoffen. Wanneer men een prijsvergelijking wil maken tussen verschillende brandstoffen, moet men er immers rekening mee houden dat deze een verschillende energetische waarde hebben. Zo zal er om een bepaalde hoeveelheid energie of warmte te verkrijgen niet van alle brandstoffen dezelfde hoeveelheid nodig zijn. Volgens NGV Global zou één m³ CNG ongeveer dezelfde energetische inhoud hebben als één liter diesel. Ze stellen dat in sommige landen rekening wordt gehouden met de verschillende calorische waarden. Zo zou CNG en LNG verkocht worden in diesel- of benzine-equivalenten zodat men direct de prijzen kan vergelijken. (NGV Global, 2007^b)

Yeh (2007) stelt dat het relatieve prijsverschil tussen benzine en CNG afhankelijk is van twee factoren. De eerste factor, die tamelijk voor de hand ligt, is het inherente verschil tussen de kostprijs van aardgas en aardolie voor belastingen. De tweede factor zijn de belastingen en subsidies. Dat de prijs van aardgas als transportbrandstof sterk afhankelijk is van verschillende factoren, stelt ook het IEA (2010). Zo zegt men tevens dat de CNG-prijs afhankelijk is van nationale subsidies en belastingen. Er zouden ook verschillen zijn tussen de CNG-prijzen van verschillende landen als gevolg van regionale prijssystemen van de Amerikaanse, Europese en Aziatische aardgasmarkt.

Over de prijs van LNG aan de pomp is echter niet zo veel terug te vinden als van CNG. LNG wordt dan ook praktisch niet aangeboden. De omzetting van aardgas in LNG vereist immers veel energie wat deze vorm uiteraard duurder maakt dan CNG. Hierdoor verkleint het prijsverschil met de traditionele brandstoffen. Bovendien is volgens Dhr. Verhulst van Ecofillco een LNG-tankstation veel duurder dan een CNG-station. In België zou zo een station nog helemaal niet rendabel zijn. De meeste voertuigen op aardgas rijden bovendien op CNG en niet op LNG. Bij enkele vrachtwagens is er wel de mogelijkheid om te rijden op LNG omdat het de actieradius vergroot.

5.3.1.3 Meerprijs

Het nadeel van een aardgasvrachtwagen is dat deze over het algemeen een meerprijs heeft in vergelijking met conventionele voertuigen. Het IEA (2010) stelt dat data over prijsverschillen voor zware voertuigen op gas schaars zijn. Ze stelden vast dat de meerkost, hoewel deze kan verschillen van land tot land, tussen de 30 000 en 35 000 euro zou bedragen. Conversiekosten daarentegen zouden slechts de helft van deze meerkost zijn. Volgens de organisatie Aardgasinuwagenpark.nl is het prijsinterval iets ruimer en zou de meerprijs voor trucks en bussen tussen de 30 000 en 50 000 euro bedragen (Aardgasinuwagenspark.nl, 2010)^a.

Zelf hebben we ook enige navraag gedaan met betrekking tot een mogelijke meerprijs. Als men de verschillende opties (mono-fuel, dual-fuel, CNG, LNG) bekijkt, moet men een onderscheid maken tussen een af-fabriekvoertuig enerzijds en het ombouwen van een voertuig anderzijds. Voor wat betreft de af-fabriekvrachtwagens werd er vastgesteld dat de meerprijzen sterk variëren. Ten eerste valt het op dat de meerprijs voor een Mercedes op aardgas in vergelijking met een op diesel nul is. Door offertes op te vragen van twee identieke vrachtwagens met een verschillende brandstof kon dit duidelijk waargenomen worden. Dit is merkwaardig omdat er bij de andere merken telkens gesproken wordt van een meerprijs. Tussen de merken met een meerprijs zijn dan weer grote verschillen waar te nemen. Zo hebben Renault en Scania een relatief hoge meerprijs. Bij Scania gaf men als verklaring voor de hoge meerprijs het feit dat er gebruikgemaakt moet worden van een andere versnellingsbak. Als er daarentegen gekozen wordt voor ombouw, kan men een bestaande of nieuwe vrachtwagen laten ombouwen. De reden waarom MAN voor de dual-fuel-technologie en ombouw kiest, is dat men van mening is dat zo de meerprijs beperkt blijft. Bovendien kan er momenteel enkel ombouw naar CNG plaatsvinden. Hierdoor wil men ook de meerprijs beperken aangezien LNG-tanks veel duurder zijn. Onderstaande meerprijzen zijn voor CNG-voertuigen. Indien men een LNG-voertuig wenst, zal de meerprijs hoger zijn omwille van de hoge kost van de tanks.

Tabel 8: Meerprijzen van verschillende vrachtwagenmerken

Merk	Verbranding	Brandstof	Meerprijs
IVECO	Mono-fuel	CNG	€ 25 000
Mercedes ⁽¹⁾	Mono-fuel	CNG	€ 0
Renault	Mono-fuel	CNG	€ 45 000
Scania	Mono-fuel	CNG	€ 40 000 – 45 000
Volvo ⁽³⁾	Dual-fuel	LNG (of CNG) + diesel	/
MAN ⁽²⁾	Dual-fuel	CNG + diesel	€ 10 250
DAF	/	/	/

Bron: Eigen informatieverzameling

- (1) Op basis van een verkregen offerte
- (2) Ombouwen van een dieselvrachtwagen
- (3) Meerprijs niet kunnen verkrijgen

Er moet wel een kritische bemerking gemaakt worden bij de uiteenlopende meerprijzen van de af-fabriekvrachtwagens. Men is immers geneigd te denken dat er een relatie is tussen de meerprijs en de eigenlijke kost van de vrachtwagen. Zo heeft bijvoorbeeld een Mercedes geen meerprijs en denkt men dat dit merk een hoge kostprijs heeft waardoor men zou kunnen verwachten dat de totale kost van een aardgasvrachtwagen gelijkaardig is aan deze van een ander merk. Als men onderstaande rangschikking van de merken volgens kostprijs in beschouwing neemt, kan dit nochtans niet bevestigd worden. Zo is bijvoorbeeld Scania een duurdere vrachtwagen en is tevens de meerprijs relatief hoog.

Tabel 9: Rangschikking merken volgens kostprijs (van goedkoop naar duur)

Rangschikking kostprijs
Iveco
Renault
Mercedes
Man
Volvo
Scania

Bron: Smeets & Zonen (2011)

5.3.2 CO₂-reductiepotentieel

Volgens allerhande bronnen biedt aardgas naast economische voordelen ook verschillende milieuvoordelen in de brede betekenis van het woord. In deze eindverhandeling wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheden tot CO₂-reductie. We zullen ons dan ook voornamelijk toeleggen op literatuur met betrekking tot de CO₂-vermindering die aardgas als transportbrandstof kan opleveren voor vrachtwagens. Ter volledigheid zal in een volgende paragraaf ook enige uitleg gegeven worden bij de andere mogelijke voordelen omdat deze ook een belangrijke rol blijken te

spelen in de transitie naar aardgas. In hoofdstuk 7 zal een analyse van de mogelijkheid tot CO₂-reductie uitgevoerd worden.

Aardgas bestaat voor het grootste deel uit methaan. Uit de chemische formule, CH₄, van een methaanmolecule kan men afleiden dat het molecule één waterstofatoom bevat omringd door vier koolstofatomen. Aardgas is de schoonste fossiele brandstof omdat het de laagste koolstofwaterstofratio heeft. Het heeft namelijk in vergelijking met bezine en diesel minder koolstofatomen per waterstofatoom. Als men verschillende brandstoffen vergelijkt, wordt er dus minder koolstofdioxide gevormd per eenheid energie bij de verbranding. Zo komt er bij de verbranding van aardgas, dat praktisch geheel uit methaan bestaat, **23% minder koolstofdioxide** vrij. (IEA, 2010, NGVA Europe, 2009, Dena, 2010 en Cursor, 2007)

Tabel 10: Koolstofinhoud van verschillende brandstoffen

Brandstof	H/C-ratio	g CO ₂ per MJ brandstof	%
Diesel, benzine	1,85:1	73	100
LPG (50 propaan/50 butaan)	2,52:1	66	90
Puur methaan CH₄	4:1	56	77
Mengsel CH ₄ +30%H ₂	4,86:1	50	68
Puur waterstof	-	-	-

Bron: NGVA Europe (2009)

Andere bronnen die CO₂-reductie toewijzen aan de hogere waterstofkoolstofratio van aardgas zijn Korakianitis et al. (2011) en Zarante en Sodr  (2009). Korakianitis et al. (2011) onderzochten de prestaties en emissies van motoren met een vonkontsteking (SI)¹⁶ en motoren met compressieontsteking (CI)¹⁷ op aardgas. De CO₂-uitstoot van goed omgebouwde SI-motoren zou, weliswaar in beperkte mate, lager zijn dan deze van een conventionele benzinemotor. Dit komt volgens de auteurs door de stoichiometrie¹⁸ van de verbranding. 1 gram methaan produceert volgens hen 2,8 gram CO₂ terwijl dit voor benzine 3 gram is. Wat betreft de CI-motoren die aardgas verbranden via de dual-fuel-methode wordt een reductie in de CO₂-uitstoot teweeggebracht omwille van de hogere waterstofkoolstofratio van aardgas ten opzichte van diesel. Bij een stoichiometrische verbranding produceert 1 gram diesel volgens hen 3,2 gram CO₂. (Korakianitis et al., 2011) Reductiepercentages werden in deze studie van Korakianitis et al. (2011) niet gegeven. Als men het aantal gram uitgestoten CO₂ wil vergelijken, moet men ermee rekening houden dat er verschillen zijn in energetische waarden en dus niet zomaar de vergelijking gemaakt mag worden tussen 1 gram aardgas en 1 gram diesel of benzine. Zarante en Sodr  (2009) onderzochten enkel het effect van het gebruik van aardgas in plaats van benzine op de

¹⁶ Benzine

¹⁷ Diesel

¹⁸ Als chemisch de exacte hoeveelheid brandstof wordt toegevoegd aan de lucht zodat wanneer de verbranding is vervolledigd ook de chemische formule voltooid is, spreekt men van stoichometrische verbranding. (NGV Global, 2007^a)

koolstofmonoxide- en koolstofdioxide-uitstoot. Experimenten werden uitgevoerd met een 1,4 l benzinemotor met vier cilinders en 8 kleppen op benzine en aardgas. Voor de werking op aardgas werd de motor omgebouwd. Een verlaging in de koolstofdioxide-uitstoot van 33% werd vastgesteld. Dit komt ook volgens Zarante en Sodr  (2009) door de lage koolstofwaterstofratio van aardgas in vergelijking met benzine. Ze concluderen ten slotte dat aardgas als transportbrandstof een belangrijk alternatief is om broeikasgasemissies te verlagen. (Zarante en Sodr , 2009)

Ook het gekende IEA deed onderzoek naar broeikasgasemissies van gasvoertuigen. Ze stellen dat er voor dieselloertuigen en zware voertuigen zoals vrachtwagens en bussen nog niet veel vergelijkingen gebeurd zijn. Bovendien lijken de resultaten sterk af te hangen van het type voertuig. In sommige gevallen zou er een significante verlaging van de CO₂-uitstoot in vergelijking met diesel mogelijk zijn, maar in andere gevallen stoten dieselloertuigen dan weer minder uit. Ook stelt men dat men niet enkel rekening moet houden met de tank-to-wheel-emissies¹⁹, die bepaald worden door de koolstofinhoud van de brandstof en het verbruik van het voertuig, maar ook met de well-to-tank-emissies²⁰. Deze kunnen namelijk sterk variëren afhankelijk van de oorsprong van het aardgas en het aantal stappen in de waardeketen. Zo kunnen de well-to-tank-emissies een betrekkelijke invloed op de totale well-to-wheel-emissies hebben. Het IEA (2010) concludeert dat aardgas een significante rol kan spelen in het verlagen van de koolstofdioxide-uitstoot. Zeker voor zware voertuigen zou dit een belangrijke mogelijkheid zijn omdat andere alternatieven zoals elektriciteit gelimiteerd zijn. Het potentieel om broeikasgassen te verlagen door het vervangen van grote hoeveelheden diesel door aardgas in zware voertuigen is echter onderbenut. Ten slotte stelt het IEA (2010) dat aardgas kan helpen in het decarboniseren van het transport en deel kan uitmaken van de plannen naar een duurzaam transport. (IEA, 2010)

Een andere organisatie, met name NGVA Europe, stelt in een positiepaper uit 2009 dat voor wegtransport en zeker voor zware voertuigen, aardgas vergeleken moet worden met diesel. Ze stellen dat aardgas de reputatie heeft om meer CO₂ uit te stoten dan diesel terwijl dit niet juist is. Ze willen dit dan ook weerleggen aan de hand van deze paper. Indien men aardgas zou gebruiken, zou de uitstoot van CO₂ verlagen met een vierde als gevolg van het verschil in waterstofkoolstofratio. Ze veronderstellen hier een bi-fuel-motor op aardgas en benzine. Als de motor echter enkel voor aardgas geoptimaliseerd was, zou de reductie nog groter zijn. Vermits dieselmotoren tussen de 20% en 25% efficiënter zijn dan een ontstekingsmotor, wordt de reductie tenietgedaan. NGVA Europe stelde dus op het moment dat de paper gepubliceerd werd, in 2009, dat aardgas en diesel dezelfde koolstofdioxide-uitstoot hebben. Daarnaast is men van mening dat de CNG-technologie een 'jongere' technologie is dan deze van diesel met een snelle stijging in efficiëntie terwijl deze van de dieselmotoren eerder lijkt af te stevenen op een asymptoot. Er wordt een effici ntiestijging van 7% tot 10% verwacht wat ervoor zal zorgen dat de CO₂-reductie in

¹⁹ Emissies van de verbranding van de brandstof.

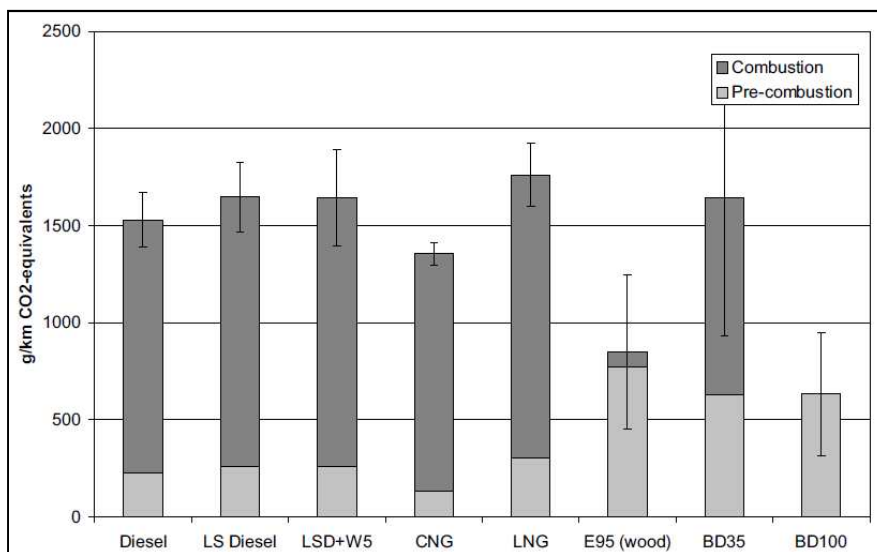
²⁰ Emissies die voor de verbranding plaatsvinden bijvoorbeeld van ontginning, productie en transport van de brandstof.

vergelijking met diesel ongeveer 10% zal bedragen. Voor wat de well-to-tank-emissies betreft, is men ervan overtuigd dat aardgas minder energie vereist. Als men dan de totale well-to-wheel-emissies bekijkt, zal er in de toekomst volgens NGVA Europe zeker een voordeel weggelegd zijn voor aardgas. (NVGA Europe, 2009)

De redening met betrekking tot de koolstofwaterstofratio (zie tabel 10) houdt geen rekening met de mate van efficiëntie van de verbrandingsmotor. Benzinemotoren waarop aardgasmotoren gebaseerd zijn, zouden een lagere efficiëntie hebben dan dieselmotoren. (NGVA Europe 2009 en IEA, 2010) Bij Scania wordt dit verhoogd verbruik als gevolg van deze lagere efficiëntie als reden gegeven waarom het inzetten van aardgas volgens Scania niet leidt tot een CO₂-reductie. (Scania, 2007 en Scania, 2010) Men kan echter ook aardgas in een dieselmotor inbrengen op basis van het dual-fuel-principe. Hierdoor kan er gebruikgemaakt worden van de hogere verbrandingsefficiëntie. (IEA, 2010)

De meeste studies maken de vergelijking tussen aardgas, benzine en diesel. Voor zware vrachtwagens is het echter enkel nuttig een vergelijking te maken tussen aardgas en diesel zoals NGVA Europe (2009) aangeeft. Zware voertuigen hebben namelijk een hoog vermogen nodig wat niet kan geleverd worden door benzine, maar enkel door diesel. Een volgende studie onderzoekt dan ook de emissies van zware vrachtwagens. De studie van Beer et al. (2002) trachtte de verwachte levenscyclus-broeikasgasemissies²¹ van verschillende alternatieve brandstoffen gebruikt in zware voertuigen in Australië te kwantificeren. Ze voerden hiervoor een levenscyclusanalyse (LCA) uit en de brandstoffen onder beschouwing zijn diesel met een laag zwavelgehalte, diesel met een extra laag zwavelgehalte, CNG, LNG, LPG, ethanol, biodiesel en beide vormen van diesel toegevoegd met gerecycleerde afvalolie. Na het uitvoeren van de LCA kwamen Beer et al. (2002) tot de conclusie dat in Australië broeikasgasemissies voor zware voertuigen, dus zowel bussen als trucks, over de hele levenscyclus van de gasvormige brandstoffen CNG en LPG, weliswaar in beperkte mate, kleiner waren dan deze van diesel. De emissies bedroegen tussen de 88% en 92% van deze van diesel. In tegenstelling tot CNG waren de emissies voor LNG hoger dan voor elke onderzochte brandstof. Ze geven als reden aan dat het vloeibaar maken en koelen van aardgas om LNG te maken veel energie vereist wat veel broeikasgasemissies teweeg brengt. De auteurs merken wel op dat de resultaten bijzonder gevoelig waren voor de gemaakte assumpties. (Beer et al., 2002)

²¹ CO₂, NO₂ en CH₄

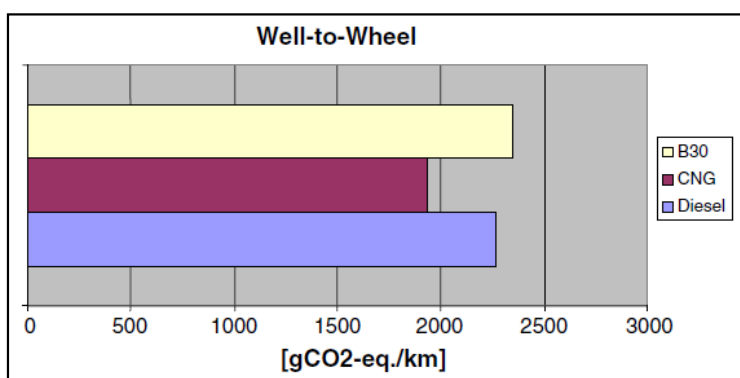


Figuur 13: Totale broeikasgasuitstoot (g CO₂-eq./ km) voor zware voertuigen (geen bussen)
Bron: Beer et al. (2002)

Beer et al. (2002) bekeken ook enkele resultaten van andere studies hoewel er volgens hen maar weinig studies met betrekking tot levenscyclus-broeikasgasemissies van zware voertuigen uitgevoerd zijn. Ze vergeleken deze studies met de door hen bekomen resultaten. Zo vonden ze dat Delucchi (1993, 1997, in Beer et al., 2002) tot het besluit kwam dat aardgas als transportbrandstof niet leidt tot een vermindering in de well-to-wheel-broeikasgasemissies. Deze resultaten waren gebaseerd op het gebruik van CNG in een ontstekingsmotor met een bijhorende lagere efficiëntie dan een dieselmotor. Beer et al. (2002) stellen echter dat evolutie in de technologie (1993,1997) ervoor zorgt dat de huidige (2002) CNG-voertuigen minder broeikasgassen over de levenscyclus uitstoten dan zware dieselveertuigen. Ook andere studies zoals deze van Wang en Huang (1999, in Beer et al., 2002) en van General Motors Corporation (2001, in Beer et al., 2002) stellen gelijkaardige conclusies als Delucchi (1993,1997, in Beer et al., 2002), hoewel het verschil tussen aardgas en diesel kleiner is. Dit komt reeds door technologische verbeteringen volgens Beer et al. (2002).

Een andere studie, weliswaar iets meer praktijkgericht, is deze van López, Gómez, Aparicio en Sánchez (2009). Zij onderzochten en vergeleken het energieverbruik en de broeikasgasuitstoot van twee types vrachtwagenmotoren en drie verschillende brandstoffen. Deze brandstoffen waren diesel, biodiesel B30 (30% methylester en 70% diesel) en CNG. De eerste twee brandstoffen werden getest met een motor met compressieontsteking zoals ook een dieselmotor werkt. Aardgas werd getest met een onstekingsmotor. De testen werden gedaan met drie vrachtwagens. Elk van de drie vrachtwagens reed op een verschillende brandstof. De IVECO 240 E 26 reed op aardgas en was gebaseerd op een benzinemotor. De IVECO 240 E 25 reed op diesel en was gebaseerd op een dieselmotor. Eenzelfde vrachtwagen reed op biodiesel (30%). Om de CO₂-uitstoot in gram per

kilometer te berekenen, werd gebruikgemaakt van de stoichiometrie van de chemische reactie. Zo bekwam men, weliswaar in een tank-to-wheel-analyse, tot een uitstoot van CNG van 1,75136 kg CO₂-eq./km in vergelijking met 2,00977 kg CO₂-eq./km en 2,29820 kg CO₂-eq./km voor respectievelijk diesel en biodiesel. Net zoals NGVA Europe (2009) beweert, hebben volgens López et al. (2009) de huidige zware CNG-motoren, onstekingsmotoren die gebaseerd zijn op een otto-cyclus, een lagere thermische efficiëntie dan dieselmotoren. Doordat aardgas echter uit minder koolstof bestaat en meer waterstof dan diesel, wordt de lagere efficiëntie gecompenseerd en is zelfs de CO₂-uitstoot bij verbranding lager dan bij diesel. Ten slotte werden de well-to-wheel-emissies berekend. Hieruit bleek zoals bij Beer et al. (2002), dat CNG van de drie brandstoffen het minste broeikasgas²² veroorzaakte over de gehele cyclus. (López et al., 2009)



Figuur 14: Broeikasgasuitstoot (g CO₂-eq./ km) van de levenscyclusanalyse voor voertuigen op B30, CNG en diesel

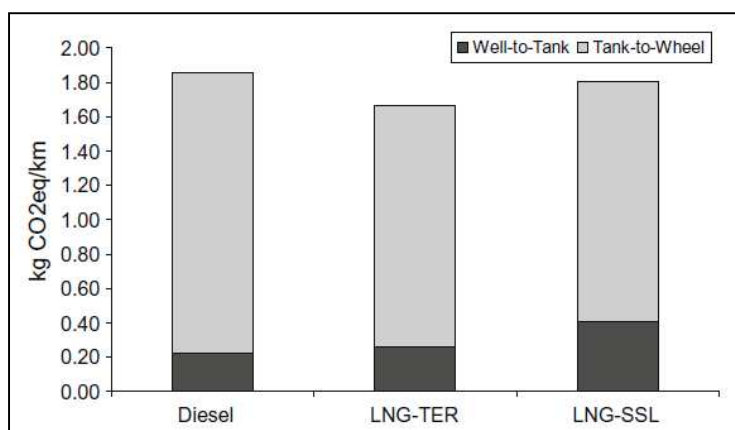
Bron: López et al. (2009)

Voorgaande studies maakten gebruik van het mono-fuel-principe. Een volgende studie maakt een vergelijking tussen diesel en aardgas op basis van de dual-fuel-technologie. Arteconi et al. (2010) vergeleken namelijk de levenscyclus-broeikasgasemissies van diesel en LNG voor vrachtwagens op de Europese markt. Volgens hen is er nog geen enkele studie die het gebruik van LNG voor zware vrachtwagens in Europa evalueert. Er werd eerst een literatuuronderzoek gedaan en ze kwamen tot de conclusie dat de broeikasgasemissiereducties van de onderzochte studies verschilden. Dit kwam voornamelijk door de aangenomen assumpties en het referentiescenario. Vervolgens trachtten ze zelf aan de hand van een levenscyclusanalyse de emissies²³ van LNG en diesel te achterhalen en te vergelijken. Ze onderzochten drie scenario's. Het eerste betrof de levenscyclus van diesel. Het tweede scenario is dat van LNG dat verscheept werd naar Europa met een methaananker en opgehaald in vloeibare vorm aan de hervergassingsterminal (LNG-TER). Het laatste scenario omvat de levenscyclus van LNG dat geproduceerd werd in kleine vloeibaarmakingsfabriekjes bij tankstations (LNG-SSL). Voor de LNG-scenario's werd de dieselvrachtwagen omgebouwd, gebruikmakend van het dual-fuel-principe. Deze vrachtwagen

²² Er werden geen waarden gegeven voor deze emissies enkel de figuur.

²³ Van broeikasgassen: CO₂, CH₄ en NO₂.

verbruikt 8,6% diesel en 91,4% aardgas. Bij Graham, Rideout, Rosenblatt, en Hendren (2008) die een gelijkaardige studie verrichtten en waarvan de verbruiksgegevens van deze studie afkomstig zijn, werd geen rekening gehouden met de uitstoot van de pilootvloeistof diesel. Deze uitstoot werd hier wel mee in beschouwing genomen, hoewel deze relatief klein is. De globale resultaten tonen aan dat het grootste deel van de levenscyclus-broeikasgasemissies teweeggebracht wordt bij de verbranding van de brandstof. Als enkel diesel werd verbruikt (diesel-scenario), was er bij verbranding ongeveer 14% meer uitstoot dan in de andere scenario's. Wanneer echter over de gehele levenscyclus werd gekeken, dan verminderde dit naar 10% tussen diesel en LNG-TER. Voor LNG-SSL daarentegen waren de totale emissies over de levenscyclus ongeveer gelijk als bij diesel. Dit komt door de hogere emissies die vrijkomen tijdens de productie van LNG, vanwege de lagere efficiëntie van kleinschalige omzettingssystemen (fabriekjes) en de impact van gasvoorziening via pijpleidingen. Het aardgas dat via pijpleidingen is aangevoerd, is namelijk al eens vloeibaar gemaakt en daarna terug vergast. In de scenario's van LNG is de uitstoot ten gevolge van de pilootvloeistof diesel slechts telkens 1% van de globale emissies. Ten slotte stellen Arteconi et al. (2010) dat het heel onwaarschijnlijk is dat de emissies ten gevolge van productie en distributie van diesel zullen dalen, omdat de gebruikte technologieën reeds een hoge mate van efficiëntie en maturiteit behaald hebben. Ze stellen dat er daarentegen wel kansen zijn om de emissies bij verbranding te verlagen. Dit kan onder andere door het gebruik van diesel met een laag koolstofgehalte²⁴, hoewel de productie hiervan meer energie vergt. Voor LNG kunnen er als gevolg van grote marktpenetratie wel verdere verminderingen in de uitstoot over de gehele levenscyclus verwacht worden. Dit kan onder andere gebeuren door een efficiëntieverhoging van de omzetting van gas naar vloeistof in de kleine vloeibaarmakingsfabriekjes, maar ook in de verbrandingsfase kunnen uitstootverminderingen verwacht worden doordat de technologie, die zich nu in een vroeg stadium bevindt, verder zal evalueren. (Arteconi et al., 2010)



Figuur 15: Levenscyclus-broeikasgasemissies (kg CO₂-eq./km_{truck}) verdeeld in well-to-tank en tank-to-wheel-emissies

Bron: Arteconi et al. (2010)

²⁴ LCFS diesel: low-carbon fuel standard diesel

De voorgaande studie van Arteconi et al. (2010) maakte gebruik van de schattingen van de studie van Graham et al. (2008) in verband met de uitstoot bij de verbranding van LNG en diesel. Hieruit bleek dat LNG bij verbranding 13% minder CO₂-equivalenten uitstoot²⁵ dan diesel. Meer specifiek wordt er ten opzichte van diesel minder CO₂ uitgestoten, maar wel meer CH₄ en NO₂. De CO₂-reductie compenseert dus ruimschoots de verhoging in de andere twee broeikasgassen. Graham et al. (2008) concludeerden dat het gebruik van aardgas zowel samengeperst, vloeibaar als gemengd met waterstof, leidt tot broeikasgasreducties bij de verbranding van ongeveer 10% tot 20% in vergelijking met diesel.

Conclusie

Tijdens de zoektocht naar relevante literatuur hebben we geconstateerd dat er vooral veel informatie ter beschikking is met betrekking tot de uitstoot van auto's op aardgas. Gegevens met betrekking tot zware vrachtwagens zijn beperkt en er was dus enig zoekwerk nodig.

Uit het nazicht van de beschikbare wetenschappelijke literatuur kan er geconcludeerd worden dat er uiteenlopende resultaten zijn wat betreft de mogelijke CO₂-reductie ten opzichte van diesel en benzine. Sommige studies stellen dat er zich geen reductie voordoet, andere bekomen dan weer positieve resultaten. Wat eerst en vooral opvalt, is dat rekening moet gehouden worden met de levenscyclusemissies, dus zowel de emissies van well-to-tank en van tank-to-wheel. Zo ziet men dat er een onderscheid is tussen CNG en LNG. De well-to-tank-emissies van LNG zijn relatief hoog in vergelijking met diesel omdat het vloeibaar maken veel energie vereist (Arteconi et al., 2010). Hierdoor kan een mogelijk voordeel van de tank-to-wheel-emissies tenietgedaan worden (Beer et al., 2002 en Arteconi et al., 2010). De hoge well-to-tank-emissies zouden in de toekomst kunnen verlagen naarmate de marktpenetratie van dit soort aardgas toeneemt (Arteconi et al., 2010). De well-to-tank-emissies van CNG zijn dan weer relatief laag ten opzichte van diesel omdat de ontginning, raffinage en het vervoer relatief weinig energie vereisen in vergelijking met diesel. Voor wat betreft de tank-to-wheel-emissies kan worden gesteld dat aardgas, dus zowel CNG als LNG, de laagste koolstofinhoud van alle fossiele brandstoffen heeft en daardoor de schoonste fossiele brandstof is. Bij verbranding komt er immers ongeveer 23% minder koolstofdioxide vrij. Er moet echter ook rekening gehouden worden met de efficiëntie van de motor. Zo is een dieselmotor efficiënter dan een benzinemotor. Aardgasmotoren zijn in eerste instantie gebaseerd op een benzinemotor omwille van de chemische eigenschappen van methaan. In vergelijking met benzine zou aardgas een CO₂-reductie opleveren. De reductiepercentages zijn verschillend afhankelijk van de bron en de gemaakte assumpties. In vergelijking met diesel echter zijn de meningen over een mogelijke koolstofdioxidereductie verdeeld. Zo zou de hogere efficiëntie van de dieselmotor in vergelijking met een op benzine gebaseerde aardgasmotor het voordeel van 23% tenietdoen (NVGA Europa, 2009). In de toekomst worden echter verbeteringen verwacht daar de

²⁵ Hierbij werd de uitstoot van de pilootvloeistof niet opgenomen.

aardgastecnologie nog kan 'groeien', terwijl dit bij de dieseltecnologie minder het geval is. Sommigen zijn positief over het vervangen van diesel door aardgas. Zo stelde Beer et al. (2002) reeds in 2001 dat tussen de 8% en 12% vermindering kan optreden bij het gebruik van CNG. Ook López et al. (2009) bekomen gelijkaardige resultaten. Als men daarentegen gebruikmaakt van de dieseltecnologie via het dual-fuel-principe in plaats van een op benzine gebaseerde motor, zou er ten opzichte van diesel wel een redelijke reductie ontstaan. Zo vonden Arteconi et al. (2010) een reductie van 14% en Graham et al. (2008) stellen dat reducties tussen de 10% en 20% mogelijk zijn. Bovendien is het zo, dat men voor zware vrachtwagens de vergelijking moet maken met diesel en niet met benzine. Er rijden namelijk geen zware vrachtwagens op benzine.

Indien men niet enkel naar CO₂ kijkt, maar ook naar twee andere belangrijke broeikasgassen zoals methaan (CH₄) en stikstofdioxide (NO₂), dan werd in verschillende studies zoals deze van Korakianitis et al. (2011), Graham et al. (2008) en IEA (2010) waargenomen dat deze stegen, in vergelijking met de conventionele brandstoffen. Als men al deze broeikasgassen in overweging nam, werd er toch een reductie bekomen omdat de koolstofdioxidereductie voldoende groot was om de stijging in methaan en stikstofdioxide teniet te doen.

Wat tevens vastgesteld werd, is dat door een verbetering van de aardgastecnologie het CO₂-reductiepotentieel verhoogd is in vergelijking met de eerste voertuigen op aardgas. Enkele bronnen zoals Beer et al. (2002) en NGVA Europe (2009) stellen dat dit nog zal verbeteren in de toekomst daar de technologie nog de mogelijkheid heeft tot verdere ontwikkeling.

5.3.3 Andere milieuvordelen

Zoals reeds aangehaald, zijn er naast de mogelijkheid tot CO₂-reductie nog andere milieugerichte motieven om over te schakelen op aardgas. Ter volledigheid worden deze in deze paragraaf opgenomen.

5.3.3.1 Lokale pollutie

Als men de invloed van transport op het milieu breder bekijkt, dan spreekt men niet enkel van CO₂-uitstoot. Men maakt een onderscheid tussen broeikasgassen die het global warming effect induceren en die dus een invloed op wereldniveau hebben en de stoffen zoals koolstofmoxide (CO), fijn stof (PM), nitraatoxides (NO_x) en koolwaterstoffen (HC) die de lokale luchtkwaliteit beïnvloeden. Volgens het IEA (2010) stoten zware voertuigen op aardgas gemiddeld 34% minder CO, 24% minder NO_x en 79% minder PM uit dan zware voertuigen op diesel. Hoewel er 28% meer HC's worden uitgestoten als methaan niet in beschouwing wordt genomen. Als methaan daarentegen wel wordt opgenomen, is de HC-uitstoot zelfs zes keer groter dan bij een dieselvrachtwagen. Dat aardgasvrachtwagens minder CO, minder NO_x, en minder PM uitstoten,

bevestigen ook Yeh (2007), Korakianitis et al. (2011) en Zarante en Sodré (2009). Wat betreft de koolwaterstoffen is er echter geen eenduidigheid. Zo stelt het IEA (2010) dat deze uitstoot verhoogt, terwijl Yeh (2007) en Korakianitis et al. (2011) dan weer het tegendeel vaststelden. Over een bepaalde koolwaterstof, methaan, was er eensgezindheid over het feit dat deze uitstoot verhoogt (Yeh, 2007, IEA, 2010 en Korakianitis et al., 2011).

5.3.3.2 Geluid

Geluidsvermindering wordt volgens het IEA (2010) en verschillende vrachtwagenmerken zoals IVECO, Mercedes en Scania als een van de grootste voordelen van aardgasvoertuigen gezien. Zo zouden aardgasvrachtwagens veel stiller zijn dan conventionele dieselvrachtwagens. Dieselmotoren zijn hoe dan ook luidruchtiger dan aardgas- of benzinemotoren omwille van het feit dat er een ontploffing plaatsvindt. Voor stedelijke en nachtelijke distributie, waarbij vaak gesproken wordt van geluidshinder, zou aardgas dus een oplossing kunnen zijn. Het gaat dan wel alleen om voertuigen die enkel op aardgas rijden (mono-fuel) en die dus niet werken op basis van het dual-fuel-principe.

5.3.3.3 Veilig

Aardgas is 'veilig' voor het milieu in vergelijking met vloeibare brandstoffen. Doordat het gasvormig is, kan er immers bij lekkage geen uitloging in de ondergrond voorkomen, wat bij vloeibare brandstoffen wel het geval is. Dit kan ernstige gevolgen hebben voor de omringende ecosystemen. Men moet natuurlijk wel kritisch zijn en stellen dat bij een aardgaslek er puur methaan de lucht ingaat, wat het broeikasgaseffect vergroot. Een ander aspect van aardgas als transportbrandstof, wat weliswaar niet direct gerelateerd is aan het milieu, is het feit dat het een veilige transportbrandstof is. Dit komt doordat aardgas op zich relatief veilig is (zie paragraaf 5.2). Hierbij komt nog dat de CNG-tanks en -voertuigen ook zeer veilig zijn. Ze ondergaan namelijk zware crashtests en moeten voldoen aan specifieke regelgeving, namelijk de Europese CNG R110 regelgeving. (MAN, 2011 en Ecofillco, 2010) In tegenstelling tot CNG-tanks hebben LNG-tanks een veel lagere werkdruk. Deze bedraagt rond de 15 bar in tegenstelling tot 200 tot 300 bar voor CNG-tanks.

5.3.4 Beschikbaarheid van de voertuig- en brandstoftechnologie

Een niet te onderschatten aspect in de overweging om over te schakelen naar aardgas zijn de voordelen op het gebied van technologie, zowel wat betreft de voertuigen als de brandstof. Het IEA (2010) stelt namelijk dat de voertuig- en brandstoftechnologie voor aardgas beschikbaar is vandaag. Ook Brett Jarman, executive director van NGV Global (2010)^c stelt in een presentatie over aardgasvoertuigen op de 16^{de} klimaatconferentie begin december 2010 in Cancùn, Mexico, de beschikbaarheid van de technologie als één van de redenen waarom men moet overschakelen.

5.3.4.1 Voertuigen

Het grote pluspunt is dat er af-fabriekvoertuigen beschikbaar zijn. Hierdoor kan men genieten van fabrieksgaranties en moet men zelf geen onnodige risico's nemen. Bovendien heeft de voertuigtechnologie al een bepaalde maturiteit bereikt doordat er in verschillende andere landen al gebruik van gemaakt wordt. Hierdoor bevindt de technologie zich niet meer in een beginstadium en is de kans op falen klein. Bovendien is het aanbod van verschillende types voertuigen ook niet bepaald beperkt.

Wat betreft onderhoud zouden de meeste modellen voorzien zijn. Zo stelt men bij IVECO, die als een van de eerste CNG-voertuigen aanbode, dat onderhoud geen enkel probleem vormt. In elke hoofdgarage is men namelijk getraind om met de CNG-technologie om te gaan. Ook MAN stelt dat in Nederland, waar er wel al vrachtwagens rondrijden in tegenstelling tot in België, de dealers getraind zijn om service en onderhoud te kunnen voorzien. Bij Scania echter weet men nog niet hoe men dit gaat aanpakken. Ook Mercedes kon ons hierop geen eenduidig antwoord geven.

Aan de huidige technologie zijn echter voor vrachtwagens ook een aantal nadelen verbonden. Zo is een nadeel, verbonden aan het rijden op aardgas en in het bijzonder CNG, de beperkte actieradius. Bij mono-fuel-vrachtwagens op CNG is de actieradius gevoelig kleiner dan bij dieselvrachtwagens. Dit komt omdat men beperkt is in de hoeveelheid gas dat men kan meenemen. Gas neemt namelijk meer volume in dan diesel. Hierbij komt ook nog dat er, zeker in België, nog maar enkele tankstations zijn, wat de afhankelijkheid vergroot. Aardgasvrachtwagens zouden op dit moment dus enkel geschikt zijn voor distributie over korte afstanden en een bijkomende voorwaarde is dat men een eigen tankinstallatie moet installeren. Bij LNG daarentegen heeft men het probleem van de actieradius in mindere mate. Doordat aardgas vloeibaar gemaakt is, neemt het een veel kleiner volume in, waardoor er meer brandstof kan meegenomen worden. Dit biedt een oplossing voor langeafstandsverkeer. Het probleem van het gebrek aan tankstations geldt echter ook (en zelfs meer) voor dit soort gas. Bij een dual-fuel-vrachtwagen daarentegen heeft men het probleem van de beperkte actieradius niet of in mindere mate. Als het gas op is, kan men immers gewoon verder rijden op diesel.

Een ander minpunt is dat met een mono-fuel-motor geen hoge vermogens gehaald kunnen worden zoals bij een dieselmotor. Het maximale vermogen van deze vrachtwagens ligt op dit moment rond de 300 pk. Dit komt doordat een mono-fuel-aardgasmotor werkt volgens het principe van een benzinemotor met een ontsteking. Hierdoor is deze motor niet in staat om een hoge kracht, ook wel koppel, te leveren. Het IEA (2010), Korakianitis et al. (2011) en Dhr. Swolfs bevestigen dit. Als men hogere vermogens wil bekomen, moet men de cilinderinhoud vergroten. Hierdoor ontstaan er veel grotere motoren, wat bij een vrachtwagen niet mogelijk is doordat men steeds gelimiteerd is

in de plaats die men heeft, namelijk de grootte van de cabine. (Dhr. Swolfs van Scania, 2010) Een oplossing voor het probleem van de lage vermogens is het gebruik van aardgas in combinatie met diesel. Door deze combinatie kunnen wel hoge vermogens gehaald worden omdat het dual-fuel-principe gebaseerd is op een dieselmotor. De ontploffing in de dieselmotor brengt de grote koppel of kracht teweeg. Volgens MAN zijn er geen restricties aan het vermogen. Ze stellen dit ook als een van de voordelen van hun product ten opzichte van de motoren die enkel draaien op aardgas.

5.3.4.2 Brandstof

De contactgroep voor alternatieve brandstoffen, opgericht door het Europees Economisch en Sociaal Comité, kwam in 2003 tot een toch wel opmerkelijke conclusie: "Aardgas is de enige alternatieve brandstof waarvan het marktaandeel in 2020 ruim boven de 5% kan liggen en die op een volwassen markt zou kunnen concurreren met traditionele brandstoffen." Aardgas is dus volgens hen (anno 2006) duidelijk een van de alternatieven die het meest haalbaar is tegen 2020. (EESC, 2006) Uit deze bron, verschillende andere bronnen en de zoektocht naar duurzame alternatieven kan gesteld worden dat aardgas op dit moment een van de best beschikbare alternatieve brandstoffen is als men iets wil doen voor het milieu. Aardgas is verkrijgbaar²⁶, in tegenstelling tot bijvoorbeeld biogas, ethanol of pure plantaardige olie. Deze zijn niet in dezelfde mate beschikbaar en kunnen vaak nog niet op grote schaal geproduceerd worden.

Ook wat betreft de infrastructuur is er de mogelijkheid om gebruik te maken van aardgas. Zo zorgt het aardgasnetwerk ervoor dat aardgas beschikbaar is. Bovendien beschikt België over een aardgasnet dat vrij goed ontwikkeld is en nog uitgebreid wordt. Om vervolgens het aardgas te comprimeren of vloeibaar te maken, zijn er specifieke tankinstallaties nodig. Ook dit vormt geen probleem. Zo zijn er in België enkele installateurs zoals Ecofillco en Dats24. In Nederland zijn er ook aanbieders waarvan Orangegas en CNG Net enkele voorbeelden zijn. Men kan dus stellen dat de brandstoftechnologie aanwezig is. Feit is wel dat er nog maar weinig gaspompen geïnstalleerd zijn in België (zie paragraaf 5.4).

Een laatste en niet te onderschatten voordeel dat de aardgastechnologie van zowel de voertuigen als de brandstof biedt, is de mogelijkheid tot overschakelen op echt duurzame brandstoffen in de toekomst (zie paragraaf 5.5).

5.4 Waarom zijn er zo weinig aardgasvoertuigen?

Een vraag die zich al voordeed van zodra het alternatief van aardgas als transportbrandstof onder de loep genomen werd, is waarom er zo weinig voertuigen rijden op aardgas. De hierboven

²⁶ Niet CNG maar (onbewerkt) aardgas.

beschreven technologische nadelen van de voertuigen en een gebrek aan publieke tankfaciliteiten deden al vermoedens rijzen.

Zo blijkt uit de studie van Flynn (2002) dat een gebrek aan tankinfrastructuur een belangrijke oorzaak was voor de beperkte marktdekking van gasvoertuigen in Canada en de VS tussen 1984 en 1986. Maar ook de hoge prijs van het ombouwen zorgde voor een falen van de markt. Bovendien zou een gebrek aan promotie voor deze alternatieve brandstof en overdreven economische en ecologische voordelen die voorgesteld werden, ertoe hebben geleid dat gasvoertuigen geen succes werden in deze twee staten. Volgens Engerer en Horn (2010) is de hoofdreden voor het kleine aantal gasvoertuigen in Europa dan weer de afhankelijkheid van de regio van aardgasimport, maar ook, zoals Flynn (2002) en Yeh (2007) vaststelden, het gebrek aan infrastructuur zoals tankstations. Deze infrastructuur is namelijk de voorwaarde voor aardgasvoertuiggebruik. In Europa is de drijfveer voor de schaarse gasvoertuigen die er zijn eerst en vooral ecologisch, maar ook economische redenen zoals de hoge aardolieprijzen en subsidies van de Europese Unie spelen een niet onbelangrijke rol. Toch wordt in Europa een gasvoertuig nog steeds niet aanschouwd als een degelijk alternatief en hinken we volgens Engerer en Horn (2010) achterop in de globale ontwikkeling. De economische en ecologische redenen moeten volgens hen ondersteund worden door de voornaamste stimulans, namelijk het politiek beleid. Engerer en Horn (2010) stellen dat het beleid in Europa te zeer de focus legt op elektrische voertuigen, hoewel deze technologie nog in volle ontwikkeling is. De CNG-technologie is daarentegen veel meer geavanceerd, verder gevorderd en in tegenstelling tot elektriciteit, toepasbaar voor vrachtwagens. De technologie is aanwezig, maar het grote probleem is de afhankelijkheid van aardgasimport in Europa. Deze reden verzwakt volgens Engerer en Horn (2010) door het feit dat deze afhankelijkheid verlaagd kan worden door een verhoging van de energie-efficiëntie en het gebruik van hernieuwbare energie. Zo kan aardgas namelijk vervangen worden door hernieuwbaar biogas. Aardgasvoertuigen kunnen volgens hen dus wel degelijk beschouwd worden als een optie voor Europa. Engerer en Horn (2010) adviseren dat Europa zich de komende jaren moet focussen op onderzoek en ontwikkeling van elektrische voertuigen en tegelijkertijd marktpenetratie van aardgasvoertuigen moet stimuleren, zowel voor auto's als zware voertuigen.

Voorgaande studies handelden voornamelijk over aardgasvoertuigen in het algemeen. Bij vrachtwagens zijn er nog een aantal bijkomende redenen. Het EIA (2010)^a somt een aantal redenen op waarom aardgas als een transportbrandstof voor vrachtwagens maar een beperkte aanvaarding en marktpenetratie kent in de Verenigde Staten. Ondanks het prijsvoordeel van aardgas ten opzichte van diesel zouden de hogere voertuigkost, lagere actieradius en beperkte tankfaciliteiten hiertoe geleid hebben. Ook de onzekerheid over de restwaarde van de vrachtwagens op de secundaire markt speelt een rol. Bovendien stelt men dat de aankoopbeslissing ook kan beïnvloed worden door andere factoren, zoals gewichtsbepalingen op

wegen en bruggen, die ervoor zorgen dat het extra gewicht van de CNG- en LNG-tanks een nadeel vormen. (EIA, 2010)^a

Bij het bedrijf uit de gevalstudie, Bongaerts Recycling, is er vooral terughoudendheid omwille van het feit dat de mono-fuel-vrachtwagens niet echt geschikt zijn voor hun bedrijfsactiviteiten. Het vermogen van deze vrachtwagens stemt namelijk niet overeen met het vermogen van de (meeste) dieselvrachtwagens die zij in gebruik hebben. Hierdoor is substitutie onmogelijk. Het lage vermogen als belemmering voor de overgang, kon nergens als reden in de literatuur teruggevonden worden.

Tijdens de zoektocht naar duurzame transportmiddelen werd er gesproken met vertegenwoordigers van verschillende vrachtwagenmerken en een bedrijf dat misschien een aardgasvrachtwagen zal aanschaffen in 2013. Ze geven als belangrijkste redenen het gebrek aan infrastructuur aan. Dit versterkt bovendien het nadeel van de beperkte actieradius. De literatuur wordt zodoende bevestigd in de praktijk. Een bedrijf of individu in België dat een aardgasvoertuig wil aanschaffen, wordt belemmerd doordat er bijna geen tankfaciliteiten zijn. Er zouden slechts een drietal publieke stations zijn en een tiental private (juni 2010) (NGVA Europe, 2010 en NGVA Europe, 2011^b). Voor tankstationverkopers en -uitbaters is het daarentegen niet rendabel om te investeren in een tankinstallatie, indien deze niet de zekerheid heeft dat er voldoende afname zal zijn. Er doet zich een 'kip-en-het-ei'-situatie voor. Om hieruit te geraken is er een stimulans nodig. Deze kan geleverd worden door de overheid. Ze kan namelijk maatregelen nemen om het aantal aardgasvoertuigen te doen groeien om zo uit deze onzekere situatie te geraken. Zo kan de wisselwerking tussen de verschillende belanghebbenden die betrokken zijn bij de introductie van een alternatieve brandstof, in evenwicht gebracht worden. (Dena, 2010)

5.5 Aardgas als transitiebrandstof naar een duurzame energiemix

Er wordt regelmatig gezegd dat we ons in een soort transitieperiode, overgangperiode, bevinden naar een duurzame energiemix. Het beste wat men in zo een transitieperiode kan doen, is veranderingen doorvoeren die mogelijkheden voor de toekomst openhouden, maar tegelijkertijd toch rekening houden met de huidige milieuproblemen, zoals de opwarming van de aarde. De verandering van op aardolie gebaseerde transportbrandstoffen naar deze gebaseerd op aardgas, zou toekomstmogelijkheden openhouden en tevens broeikasgassen verminderen. Aardgas wordt immers volgens verschillende bronnen zoals AFDC (2009)^b, EESC (2006), DENA (2010) en IEA (2010) beschouwd als een transitiebrandstof. Men is van mening dat aardgas het pad openhoudt voor andere en meer duurzame mogelijkheden zoals waterstof en biogas. Waterstof kan vermengd worden met aardgas en aangezien de chemische samenstelling van biogas gelijkaardig is als deze

van aardgas, kunnen aardgasvoertuigen²⁷ ook rijden op biogas. Op deze manier zou aardgas een brug kunnen slaan naar echt duurzaam transport. Een verbetering van of een investering in de technologie van vandaag, verhindert in dit geval niet dat een echt duurzame oplossing in de toekomst gebruikt wordt. De 'wet van de remmende voorsprong' is hier dus niet van toepassing.

Ook verschillende bedrijven zoals Delrue Group, Vos Logistics en Clean Mat, die de overgang naar aardgas voor hun vrachtwagens hebben gemaakt of zullen maken in de toekomst, benadrukken de mogelijkheid tot het overstappen op biogas. Ze beschouwen aardgas als een tussenstap naar biogas. Bovendien is een tankstation, zoals dat van Ecofillco, ook geschikt voor biogas. Enkele voorbeelden van bedrijven in België en in Nederland die rijden op aardgas, kunt u terugvinden in bijlage 16.

Een deel van een studie van Hekkert et al. in 2005 betrof onderzoek naar het feit of aardgas deel kan uitmaken van een transitiestrategie naar duurzaam transport. Daarbij vergeleken ze verschillende mogelijkheden van het inzetten van aardgas. Brandstofcellen die werken op aardgasgebaseerde brandstoffen zouden de meeste koolstofdioxidereductie opleveren. Door de benodigde grote veranderingen die hiervoor nodig zijn, kan men echter niet verwachten dat men kan overspringen van de huidige positie naar deze innovatieve oplossing zonder intermediaire stadia. Hekkert et al. (2005) zien dan ook aardgas als een belangrijke transitiebrandstof op korte en middellange termijn, omdat meer milieuvriendelijke aandrijvingen, zoals brandstofcellen maar ook biogas, hierop gebaseerd kunnen worden en het tevens al een behoorlijke uitstootvermindering zou bieden.

²⁷ Er zijn wel eventueel enkele kleine aanpassingen nodig.

Hoofdstuk 6: Economische analyse

De opgedane kennis door het nazicht van de literatuur en gesprekken met bevoorrechte getuigen uit de praktijk, zal gebruikt worden voor het ontwikkelen van een theoretisch model voor de economische analyse van aardgas als transportbrandstof en meer bepaald de samengeperste vorm, CNG. Er zal gebruikgemaakt worden van de erkende evaluatiemaatstaf voor milieu-investeringen, met name de **kosten-batenanalyse**. Met deze maatstaf kan een afweging gemaakt worden tussen de verwachte kosten en baten van meerdere opties zodat de voordeligste optie gekozen kan worden.

De investeringsbeslissing die zich voordoet, is het investeren in een vrachtwagen op aardgas. Er zijn twee mogelijke opties: een mono-fuel-vrachtwagen die enkel rijdt op CNG en een dual-fuel-vrachtwagen die rijdt op een combinatie van CNG en diesel. De eerste technologie betreft een af-fabriekvrachtwagen. Voor de tweede kan men de keuze maken tussen een nieuwe of bestaande vrachtwagen die omgebouwd wordt²⁸. Er werd gekozen om twee cases uit te werken. De **eerste case** betreft de aanschaf van een af-fabriekvrachtwagen op CNG. In een **tweede case** daartegen zal ervan uitgegaan worden dat een bestaande vrachtwagen omgebouwd wordt. Per case doen er zich twee alternatieven voor. Een vrachtwagen die rijdt op aardgas, mono- of dual-fuel, of een vrachtwagen die rijdt op diesel. Er moet dus een afweging gemaakt worden tussen twee alternatieven die elkaar wederzijds uitsluiten. Hiervoor gaat men best op een relatieve wijze tewerk. Er wordt immers een vergelijking gemaakt tussen een aanvaardbaar project, met name de investering in de dieselvrachtwagen, en een nieuw project. Dit wil zeggen dat men de twee alternatieven gaat vergelijken door het verschil in investeringsbedrag te vergelijken met het verschil in kasstromen, met name de kosten en baten. Er zal nagegaan worden of de meerprijs die voor een aardgasvrachtwagen betaald wordt en de eventuele extra exploitatiekosten die deze investering teweegbrengt, gedekt kunnen worden door de mogelijke baten die deze omschakeling oplevert over de levensduur van de vrachtwagen. Eerst en vooral zal een algemeen theoretisch model uitgewerkt worden, wat vervolgens kan gebruikt worden voor het toetsen van de mogelijkheid bij de gevalstudie. Een samenvattende voorstelling van de economische analyse wordt in paragraaf 6.3 gegeven.

Er zal enkel rekening gehouden worden met projectstromen, met name kosten en baten, die het project teweegbrengen. Er zal dus geen rekening gehouden worden met de financiering van het project, zoals aflossingen en interesten.

²⁸ Volvo brengt als enige een af-fabriekvrachtwagen met het dual-fuel-principe uit. Hiervoor kon nog geen meerprijs verkregen worden waardoor deze situatie niet onderzocht kon worden.

6.1 Kosten en baten

6.1.1 Brandstofkost diesel

Het alternatief waarmee vergeleken wordt, is een dieselvrachtwagen. De prijs van diesel vormt een belangrijke kostencomponent van transport. Voor petroleumproducten worden er door de Federale Overheidsdienst Energie van het Ministerie van Economische Zaken maximumprijzen berekend. Dit gebeurt volgens de programmaovereenkomst²⁹. Deze maximumprijs bestaat uit verschillende componenten.

Tabel 11: Samenstelling dieselprijs (25/01/11)

Geldig vanaf 25/1/11		
Diesel 10 ppm EUR/l		
Prijs ex-raffinaderij	0,5318	39,36%
Distributiemarge	0,1625	
Prijs (excl. taksen)	0,6943	51,39%
Bijdrage APETRA	0,0095	0,70%
Bijdrage BOFAS	0,0020	0,15%
Accijnzen + energiebijdrage	0,4107	30,40%
Prijs (excl. BTW)	1,1165	82,64%
BTW (21 %)	0,2345	17,36%
Maximumprijs (BTW incl.)	1,351	100,00%

Bron: Belgische Petroleum Federatie (2010)^d

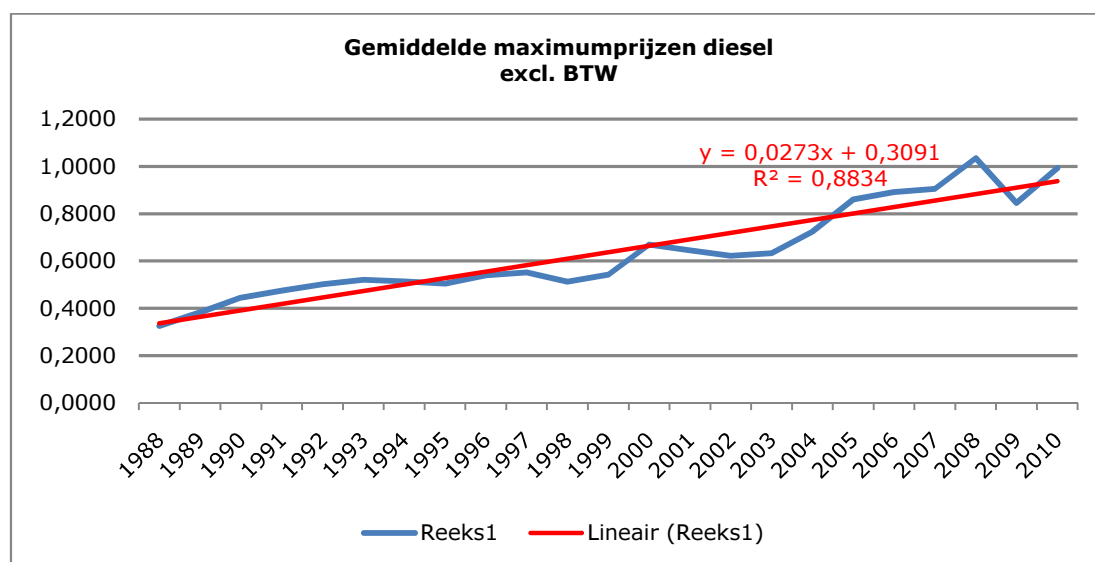
De 'prijs ex-raffinaderij' omvat de kostprijs van de diesel. Deze is gebonden aan de internationale noteringen, die uitgedrukt worden in dollar per ton, van de afgewerkte petroleumproducten op de markt van Rotterdam. Door de conversie naar euro per 1000 liter wordt de prijs ook nog beïnvloed door de wisselkoers. Bovenop deze kostprijs komt vervolgens een bedrag voor de distributie. Deze maximale brutomarge is een bedrag in absolute waarde en dekt alle distributiekosten om de diesel van de raffinaderij tot bij de eindverbruiker te brengen. De marge wordt tweemaal per jaar, op 1 april en 1 oktober, geïndexeerd volgens een formule bepaald in de programmaovereenkomst. Vervolgens bevat de maximumprijs ook twee bijdragen. De eerste is de APERTA-bijdrage. Deze bijdrage wordt in absolute waarden vastgelegd en wordt ieder trimester geïndexeerd. APERTA staat voor "Agence PETRolière – PETRoleumAgentschap", de Nationale Stockagemaatschappij. Deze beheert de strategische olievoorraad van België en moet ervoor zorgen dat deze behouden blijft. Zo kan ze garanderen dat er voldaan wordt aan de internationaal opgelegde voorraadverplichting, die een voorraad van minstens 90 dagen van het nationaal verbruik verplicht. De tweede bijdrage is de BOFAS-bijdrage. Ook deze bijdrage wordt in absolute waarden vastgelegd. BOFAS

²⁹ De programmaovereenkomst legt de methode vast voor de berekening van de maximumprijzen van de petroleumproducten. (Belgische Petroleum Federatie, 2010)^e

representeert het bodemsaneringsfonds voor tankstations. Het tracht een financiële ondersteuning te geven bij bodemsanering. Dit wordt mogelijk gemaakt door deze bijdrage, maar ook door bijdragen van de petroleumsector. Naast deze bijdragen zijn er natuurlijk ook nog belastingen. Er zijn twee belastingen. De eerste zijn de accijnzen. Deze worden ook in absolute waarden vastgelegd maar in dit geval door de federale overheid. Ze representeren een groot deel van de maximumprijs. De tweede belasting is de belasting over de toegevoegde waarde (BTW). Deze bedraagt 21% en wordt aangerekend op al de voorgaande elementen. Aangezien al de verschillende componenten, distributiemarge, bijdragen en accijnzen, worden berekend in absolute waarden, heeft een prijsschommeling op de markt van Rotterdam en een wijziging van de wisselkoers enkel invloed op de 'prijs ex-raffinaderij' en de BTW. (Belgische Petroleum Federatie, 2010)^c

In 2010 bedroeg volgens de Belgische Petroleum Federatie (2011)^b de gemiddelde maximumprijs **1,2018 euro per liter**. Dit is inclusief BTW. Voor bedrijven echter is deze belasting geen extra kost daar deze kan teruggevorderd worden. De plafondprijs exclusief BTW wordt dan **0,9932 euro per liter**.

De prijs van diesel blijft niet stabiel, net zoals die van geen enkele grondstof. Hiermee moet rekening gehouden worden bij een investeringsbeslissing. Men moet over de levensduur van de vrachtwagen mogelijke prijswijzigingen van de diesel incalculeren. Om een beeld te krijgen van de evolutie van de prijs, werden de prijzen sinds 1988 uitgezet in een grafiek.



Figuur 16: Gemiddelde maximumprijzen diesel excl. BTW van de laatste 22 jaar
Bron: Belgische Petroleum Federatie (2011)^b

Men kan niet zeggen dat er jaar na jaar een stijging plaatsvindt van de dieselprijs. Wel kan men waarnemen dat globaal genomen over de verschillende jaren heen de prijs stijgt en lijkt het dat deze zal blijven stijgen. Als men op de gegevens een lineaire trendlijn toepast, kan men zien dat de jaarlijkse procentuele groei 2,73% bedraagt. Naar alle waarschijnlijkheid zal deze trend zich voortzetten, hoewel men dit natuurlijk niet helemaal zeker weet. Aangezien bovendien de fit³⁰ van de trendlijn met de achterliggende data vrij goed is, werd besloten een jaarlijkse groeivoet voor de dieselprijs van 2,73% te nemen.

Om ten slotte de totale brandstofkost van diesel te bekomen per vrachtwagen, moet er nog vermenigvuldigd worden met het verbruik en de jaarlijks afgelegde kilometers. Er moet hiervoor een opsplitsing gemaakt worden tussen de twee cases.

Case 1: mono-fuel

Aangezien er in case 1 gebruikgemaakt wordt van het mono-fuel-principe, gaat het om een relatief lichte vrachtwagen van 180 pk. Volgens de verkregen gegevens van de **Mercedes Diesel NGT 1929 LL** verbruikt deze vrachtwagen theoretisch gezien **32 liter** diesel per 100 kilometer in distributieverkeer. Het aantal jaarlijks afgelegde kilometers in het theoretische model zal vastgelegd worden op 65 000. Het aantal jaarlijks afgelegde kilometers van een overeenstemmende vrachtwagen van Bongaerts Recycling bedraagt 15 000 kilometer. Dit is niet veel omdat het meeste werk door zwaardere containerwagens wordt gedaan. Bijgevolg kan deze waarde dan ook niet gebruikt worden als maatstaf voor het theoretische model. Gemiddeld wordt bij Bongaerts Recycling jaarlijks **65 000 kilometer** per vrachtwagen afgelegd. Dit is het gemiddelde van alle type vrachtwagens. Dit gemiddelde zal gehandhaafd worden als maatstaf, hoewel we er ons van bewust zijn dat dit niet representatief is voor andere recyclage- en transportbedrijven. Zo hebben andere recyclagebedrijven misschien een kleinere of een grotere reikwijdte, waardoor de afstand die moet afgelegd worden, verschilt. Voor transportbedrijven zal het aantal gereden kilometers hoe dan ook hoger zijn. De hoofdactiviteit van zo een bedrijf bestaat immers uit transport terwijl dat bij een recyclagebedrijf niet het geval is.

Case 2: dual-fuel

Bij gebruik van het dual-fuel-principe is men in staat om hoge vermogens te halen in tegenstelling tot het mono-fuel-principe. Voor deze case zal dan ook als voorbeeld een relatief zware vrachtwagen van ongeveer 400 pk genomen worden. Het verbruik is afhankelijk van het type vrachtwagen en de belasting en is dus moeilijk in te schatten. Aangezien lichte vrachtwagens een verbruik tot ongeveer 35 liter per 100 kilometer kunnen hebben en de zware vrachtwagens bij Bongaerts Recycling een gemiddeld verbruik van 46 liter per 100 kilometer hebben, werd besloten om voor dit basismodel een verbruik van **40 liter** per 100 kilometer te handhaven. Ook is het om

³⁰ R² is een maat voor de fit, ligt tussen 0 en 1 en is best zo groot mogelijk. Het geeft weer in welke mate de gegevens door middel van de trendlijn geschat kunnen worden.

gelijkaardige redenen moeilijk om in dit geval een gemiddeld aantal jaarlijks gereden kilometers te bepalen. Het aantal jaarlijks afgelegde kilometers van een overeenstemmende vrachtwagen van Bongaerts Recycling bedraagt ongeveer **60 000 kilometer**. Deze waarde zal gehanteerd worden als maatstaf in dit theoretisch model. Ook hier geldt dezelfde opmerking; er kan geen vergelijking gemaakt worden met een transportbedrijf.

6.1.2 Brandstofkost CNG

De alternatieve brandstof is aardgas in samengeperste vorm. Voor aardgas wordt in tegenstelling tot andere brandstoffen zoals diesel, benzine en LPG geen maximumprijs berekend. Ook de samenstelling van de aardgasprijs bestaat niet uit dezelfde elementen als bij diesel. Zo worden er op aardgas net zoals op LPG, op dit moment geen accijnzen geheven.

De aardgasprijs aan de eindverbruiker bevat sinds de liberalisering vijf verschillende componenten voor alle consumenten: leveranciersprijs, transport (exclusief openbare heffingen), distributie (exclusief openbare heffingen), openbare heffingen, BTW en energiebelasting. (CREG, 2010) De leveranciersprijs, ook wel energieprijs of energiekost genaamd, is de prijs van aardgas zelf. Deze prijs omvat de kosten van invoer, waarbij de marge van de leverancier wordt gevoegd en is tevens het enige onderdeel waar prijsconcurrentie is. Bovenop de energiekost komen de transporttarieven, ook wel transmissietarieven genoemd. Deze worden aangerekend opdat de kosten van het aansluiten op het transportnet en het gebruik van ondersteunende diensten gedekt kunnen worden. Deze tarieven worden bepaald door FLUXYS, de transmissiesysteemoperator, op basis van de methodologie bepaald door het koninklijk besluit van 8 juni 2007 en onder goedkeurend oog van de Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas (CREG). Naast deze transmissietarieven kunnen er ook nog distributietarieven zijn, die kosten van de aansluiting op het distributienetwerk en ondersteunende diensten moeten verantwoorden. Ook deze tarieven die de distributiesysteembeheerder bepaalt volgens het Koninklijk Besluit van 2 september 2008, moeten goedgekeurd worden door de CREG. Ten slotte zijn er nog de belastingen, heffingen en toeslagen. De BTW bedraagt net zoals bij diesel 21%. Tevens is er nog een heffing op energie, een federale heffing en een toeslag voor de residentiële beschermde klanten. Op regionaal vlak zijn er ook nog verschillende toelagen voor de financiering van openbare diensten en royalty's voor het gebruik van openbare voorzieningen. (FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2010)

Ook hier geldt dat de BTW geen kost is en mag de prijs exclusief BTW gebruikt worden. Op 30 maart 2010 bedroeg de prijs exclusief BTW, die betaald werd door Bongaerts recycling 0,040848 euro per kWh. Deze prijs zal toegepast worden in het basismodel omdat het moeilijk is een algemeen gangbare **aardgasprijs** te bepalen, daar deze sterk afhankelijk is van het verbruik zoals

dat ook bij elektriciteit het geval is³¹. De prijs omvat enkel de variabele kosten. Hierbij komen echter nog een aantal vasten kosten. Deze worden niet in beschouwing genomen. Het aardgasverbruik van een voertuig wordt uitgedrukt in kilogram per 100 kilometer. Er is dus een conversie nodig van kWh naar kilogram. Hiervoor is het nodig het soortelijk gewicht en de calorische waarde van aardgas te kennen. Het soortelijk gewicht bedraagt 0,83300 kilogram per m³ (Iveg, 2004). De calorische waarde van het aardgas kan verschillen afhankelijk vanwaar het afkomstig is. Bij Bongaerts Recycling bedroeg deze 9,983 kWh per m³ op 30 maart 2010. Dit kon afgeleid worden uit de gasfactuur. Als men vervolgens de prijs exclusief BTW per kWh vermenigvuldigt met de calorische waarde en deelt door het soortelijk gewicht, bekomt men de prijs per kilogram. Deze bedroeg op 30 maart 2010 **0,4895 euro per kilogram**.

Tabel 12: Variabele kostencomponenten aardgas exclusief BTW (30/03/2010)

<i>30-3-2010</i>	
Aardgas	
Energiekosten	0,029744 €/kWh
Distributiekosten	0,009752 €/kWh
Energietaks	0,000989 €/kWh
Toeslag beschermende klanten	0,000213 €/kWh
Federale bijdrage	0,000150 €/kWh
Totale variabele prijs	0,040848 €/kWh

Bron: Op basis van factuur Bongaerts Recycling

Ook bij aardgas moet net zoals bij diesel rekening gehouden worden met mogelijke prijswijzigingen over de looptijd van de investering. Aangezien uit de literatuur (zie paragraaf 5.3.1) kon vastgesteld worden dat zowel het EIA (2010)^a als de Europese Commissie (2008) stellen dat de aardgas- en de aardolieprijs aan elkaar gekoppeld zijn en dus gelijkaardige bewegingen maken, zal op aardgas de groeivoet van diesel toegepast worden, namelijk 2,73%. Aardolie is immers de grondstof voor diesel. Ook het feit dat de leemte tussen beide prijzen behouden zou blijven in de toekomst, verantwoordt deze keuze. Tevens stelde Dhr. Verhulst van Ecofillco dat de aardgasprijs deze van diesel volgt, weliswaar met een vertraagde beweging.

Om vervolgens de prijs van gecomprimeerd aardgas CNG te verkrijgen, moet men de **kosten** van het **comprimeren** bij de aardgasprijs tellen. Aangezien er nog bijna geen publieke tankstations in België zijn, is men genoodzaakt te investeren in een tankinstallatie. De kosten van het comprimeren hebben we trachten te schatten door het elektriciteitsverbruik van zo een tankinstallatie, die zorgt voor de compressie, te vermenigvuldigen met de kost van elektriciteit. De installatie onder beschouwing, die later meer in detail uitgelegd zal worden, heeft twee

³¹ Dit werd vastgesteld uit de statistieken van FOD economie, KMO, Middenstand en Energie (2008).

compressoren met elk een verbruik van 9 kW. Deze compressoren worden alternerend in werking gesteld waardoor het verbruik op 9 kW blijft. Dit is geen verbruik over de tijd, maar is een maximumverbruik. De compressor zal immers niet gedurende het hele uur 9 kW verbruiken. In principe moet men het verbruik van de compressor over de tijd meten en op basis daarvan het verbruik per uur bepalen. Er zal echter uitgegaan worden dat er 9 kW per uur wordt verbruikt, hoewel we er ons van bewust zijn dat dit een worst-case-scenario weergeeft. Als er dan per uur ongeveer 20 m³ samengedrukt kan worden dan komt dit neer op een elektriciteitsverbruik van 0,45 kWh per m³. Als we deze waarde vermenigvuldigen met een elektriciteitskost van 0,1136 euro per kWh³², wordt een extra kost van 0,0445 euro per m³ bekomen. Gegeven het feit dat het verbruik van voertuigen uitgedrukt wordt in kilogram, moet er gebruikgemaakt worden van het soortelijk gewicht van aardgas. Zo verkrijgt men een bijkomende kost van **0,0613 euro per kilogram**. Aangezien ook de prijs van de elektriciteit jaarlijks stijgt, moet ook hiermee rekening gehouden worden over de looptijd van de investering. Het EIA (2010)^b schat dat deze prijs jaarlijks met ongeveer 3,5% stijgt.

Als men de aardgasprijs van 0,4895 euro per kilogram samentelt met de kost van het comprimeren, 0,0613 euro per kilogram, wordt de **totale kostprijs** voor het CNG **0,5508 euro per kilogram** exclusief BTW.

Om ten slotte de totale brandstofkost van CNG te bekomen, zal er nog vermenigvuldigd moeten worden met het verbruik en de jaarlijks afgelegde kilometers. Er moet hiervoor, zoals dat bij de brandstofkost van diesel is, een opsplitsing gemaakt worden tussen de twee cases.

Case 1: mono-fuel

In de mono-fuel-case wordt het volledige dieselverbruik vervangen door aardgas. Volgens de gegevens verkregen van de Mercedes Econic NGT 1928 LL, verbruikt deze vrachtwagen theoretisch gezien **25 kilogram** aardgas per 100 kilometer. Als men het dieselverbruik van dezelfde vrachtwagen, namelijk 32 liter per 100 kilometer, vermenigvuldigt met het soortelijk gewicht van aardgas, 0,83300 kilogram per m³, verkrijgt men een iets hoger verbruik van 26,7 kg per 100 kilometer. Er zal echter verder gerekend worden met het theoretisch verkregen verbruik. Het aantal gereden kilometers wordt, zoals bij de dieselvariant, vastgelegd op 65 000.

Case 2: dual-fuel

Bij dual-fuel wordt slechts een bepaald percentage van de diesel vervangen door aardgas. Om te weten hoeveel aardgas er in de plaats van de hoeveelheid vervangen diesel wordt verbruikt, is het nodig te weten hoeveel kilogram aardgas overeenkomt met 1 liter diesel. Door gebruik te maken van de energetische inhoud van diesel, 10 kWh per liter (IPCC, 2006)^a, en deze van aardgas, 9,983

³² Gemiddelde prijs van 2010 van Bongaerts Recycling.

kWh per m³ ³³, verkrijgt men dat een liter diesel overeenstemt met 0,8344 kg aardgas. Als men dan weet hoeveel diesel er vervangen wordt door aardgas, kan men onmiddellijk het aardgasverbruik berekenen. Volgens fabrikant MAN zou het te vervangen percentage diesel maximaal 40% kunnen bedragen, afhankelijk van de motorbelasting en het toerental. Het verbruik van een dieselvrachtwagen werd in dit theoretisch model vastgelegd op **40 liter** per 100 kilometer. Als hiervan dan 40% wordt vervangen door aardgas, komt men op een aardgasverbruik van 13,35 kilogram en een resterend dieselvebruik van 24 liter per 100 kilometer.

Ten slotte moet er opgemerkt worden dat er in beide cases gebruik wordt gemaakt van de verkregen verbruiken van aardgas. Dit zijn theoretische waarden. Aangezien aardgas kan verschillen in calorische waarde afhankelijk van waar het aardgas afkomstig is, kan er in de praktijk wel een verschil optreden in dit verbruik. Als het aardgas immers laagcalorisch is, zal de vrachtwagen meer verbruiken dan wanneer het aardgas een hoge calorische waarde heeft. Er werd echter beslist om met de opgegeven verbruiken van de leverancier verder te werken.

6.1.3 Investing in aardgastankstation

Uit de literatuur- en praktijkstudie bleek duidelijk dat een belangrijke bottleneck voor de omschakeling naar aardgas, het gebrek aan aardgastankstations is. Indien men, zeker in Limburg, wil investeren in een aardgasvoertuig, is men op dit moment genoodzaakt om tevens te investeren in een tankinstallatie. Het gaat hier niet over een keuze tussen twee alternatieven: een tankinstallatie voor diesel of aardgas. Men gaat of kan ³⁴ namelijk niet het gehele wagenpark vervangen door (alleen) aardgas (mono-fuel) of in het geval van de dual-fuel-vrachtwagen moet men nog steeds diesel kunnen tanken. Men heeft dus nood aan twee pompen en daarom moet er rekening gehouden worden met het gehele investeringsbedrag van een pompinstallatie en niet enkel de meerprijs in vergelijking met een dieselveersie. De gehele investering in een aardgastankstation zal dan ook opgenomen worden.

Er bestaan verschillende types vulstations met elk een verschillende laadsnelheid. Vermits het aardgas onder hoge druk, ongeveer 200 bar, getankt moet worden, moet er voldoende compressie zijn. Het vermogen van de compressoren, hun aantal alsook de mogelijkheid tot bufferopslag bepalen de laadsnelheid. Men onderscheidt twee hoofdtypes van tankstations: slow-fill en fast-fill. Bij slow-fill is er geen opslag van het CNG. Het aardgas wordt tijdens het tanken gecompriëerd. Hierdoor neemt het tanken zeer veel tijd in beslag. Er zijn verschillende slow-fill-installaties. De maximale laadsnelheid van een installatie van Ecofillco, is 20 m³ per uur met een compressor van 9 kW. Als men gebruikmaakt van het soortelijk gewicht van aardgas, 0,83300 kilogram per m³

³³ Volgens factuur Bongaerts Recycling (30/03/2010).

³⁴ Omwille van het lichte vermogen van een mono-fuel-vrachtwagen kan er (zoals bij Bongaerts Recycling) een beperking optreden met betrekking tot de inzetbaarheid. Niet alle types vrachtwagens kunnen dan vervangen worden door een mono-fuel-vrachtwagen op aardgas. (zie paragraaf 5.4 en 8.1.2)

(Iveg, 2004), dan bedraagt de vultijd voor een kilogram CNG ongeveer 3,6 minuten. Als een mono-fuel-aardgasvrachtwagen een tankinhoud heeft tussen de 100 en 180 kilogram, komt dit al snel neer op 6 tot 11 uur. Dit is heel lang als men dit vergelijkt met een dieselpomp. Deze slow-fill van Ecofillco kost 26 850 euro. Er zijn ook modellen met een veel lager debiet, maar voor een vrachtwagen zou dit (helemaal) niet praktisch haalbaar zijn. Tijdens de tankduur kan de vrachtwagen immers niet gebruikt worden en (meer dan) 11 uur stilstand zou erg veel onbruikbare tijd betekenen. Een fast-fill, het woord zegt het zelf, vult de tank relatief snel en komt dus dicht in de buurt bij de snelheid van een dieseltankstation. Deze heeft namelijk maar 6 seconden nodig per kilogram aardgas door de bufferopslag die aanwezig is. Bovendien heeft deze een compressor van 30 kW. Het tanken van de mono-fuel-vrachtwagen zou dan maar enkele minuten in beslag nemen. Dit komt doordat er in de bufferopslag gecompriemd aardgas voorradig is. Hierdoor moet er niet tijdens het tanken nog aardgas gecompriemd worden zoals dat wel het geval is bij een slow-fill. Dhr. Verhulst van Ecofillco raadt echter niet aan een dergelijke installatie aan te kopen vermits de kostprijs zeer hoog is en de juridische omgeving implementatie bemoeilijkt. De installatie valt namelijk onder de VLAREM 1-wetgeving³⁵ die uitermate complex is. Hierdoor kan het een heel lange tijd aanslepen voordat er uiteindelijk een station mag geplaatst worden of kan het zelfs zijn dat het niet toegestaan wordt. Bovendien kan er ook nog een technisch probleem optreden. De druk van het aardgas uit de leidingen moet voldoende hoog zijn, wat mogelijk niet het geval is. Ecofillco heeft een oplossing bedacht voor deze problemen. Om toch te komen tot een relatief snelle laadtijd heeft men de voordelen van slow-fill en fast-fill gecombineerd. Het voordeel van de slow-fill is dat deze onder VLAREM 3 valt. Er is dan enkel een meldingsplicht. De wetgeving voor dit station is dus beperkt. Het voordeel van de fast-fill is de bufferopslag wat zorgt voor een snelle tanktijd. Men heeft de slow-fill als basis gebruikt, maar men heeft hier dan een tweede compressor van 9 kW en buffervaten aan toegevoegd. De compressoren werken alternerend. Doordat er aan deze configuratie ook nog buffervaten zijn toegevoegd, stijgt de tanksnelheid en komt deze in de buurt van een fast-fill. Men kan een vrachtwagen tanken in enkele minuten. Deze configuratie kost wel een pak meer dan de snelste slow-fill. De kostprijs van de installatie (module ECOFILLCO BOX 40) bedraagt tussen de 150 000 en 160 000 euro afhankelijk van welke opties men verlangt. Het gemiddelde, namelijk **155 000 euro**, wordt als investeringsbedrag genomen. Dit type van tankstation wordt opgenomen omdat een eenvoudige slow-fill uitbreiding van het wagenpark op aardgas praktisch onmogelijk is door de lange laadtijd. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat het hier om een zeer groot investeringsbedrag gaat en dat op basis van het gevoel gesteld kan worden dat er serieuze baten nodig zijn om dit bedrag terug te verdienen.

Naast de kostprijs van de installatie zijn er nog een aantal bijkomende kosten. Om een tankstation te installeren moet er eerst en vooral een gasaansluiting voorzien worden. Deze aansluiting zou **500 euro** kosten. Eens de installatie vervolledigd is, moet deze gekeurd worden. Dit levert een bijkomende kost op van gemiddeld **2750 euro**. Bovenop deze kosten komt dan nog eens een

³⁵ Als het debiet groter is dan 20 m³ valt men onder deze wetgeving.

bedrag van maximaal **2500 euro** voor het onderhoud. Soms zou ook een bodemonderzoek nodig zijn, maar vermits dit niet vaak zou voorkomen, wordt deze kost niet opgenomen. De werkingskost, met name de kost van het elektriciteitsverbruik, werd opgenomen in de CNG-prijs.

Voor wat betreft de afschrijvingsduur wordt een periode van 15 jaar verondersteld. Het is zo dat de levensduur van het tankstation de levensduur van de vrachtwagen overstijgt. Om hiermee rekening te houden, werd beslist om slechts een deel van de kostprijs van het tankstation op te nemen. Namelijk één derde van het totale bedrag, aangezien de vrachtwagen maar 5 jaar meegaat in vergelijking met 15 jaar voor het tankstation. Na 5 jaar moet men een nieuwe vrachtwagen aankopen. Als men dan kiest voor één op aardgas, kan het volgende deel van het investeringsbedrag hieraan toegeschreven worden. Waarschijnlijk zal men dan nog kiezen voor een aardgasvrachtwagen anders kan men beter niet investeren in een tankstation. De investeringskost is dan immers niet te verantwoorden.

6.1.4 Investering in aardgasvrachtwagen

6.1.4.1 Meerprijs

Eerst en vooral is er de extra investeringskost, de meerprijs verbonden aan de aanschaf van een aardgasvrachtwagen in vergelijking met een conventionele dieselvrachtwagen. Wat betreft deze meerprijs moet logischerwijze een onderscheid gemaakt worden tussen beide cases. Zie hiervoor ook paragraaf 5.3.1 in tabel 8.

Case 1: mono-fuel

Binnen de categorie van merken die een af-fabriekvrachtwagen aanbieden blijkt de meerprijs sterk te variëren, namelijk tussen de 0 en de 45 000 euro. De prijs van Mercedes is gebaseerd op een verkregen offerte. De andere meerprijzen zijn richtlijnen die verkregen werden aan de hand van interviews met vertegenwoordigers van de verschillende merken. Als basismeerprijs wordt een gemiddelde van deze meerprijzen genomen. Dit is ongeveer **28 000 euro**.

Case 1: dual-fuel

De prijs van ombouw zou volgens MAN, die de ombouw laat uitvoeren door een gespecialiseerd bedrijf, met name Prins Autogassystemen BV³⁶, tussen de 8000 en de 12500 euro bedragen. Hiervan wordt het gemiddelde van **10 250 euro** gebruikt als basiskost voor het ombouwen. Aangezien Volvo af-fabriek-dual-fuel-voertuigen zal aanbieden die enkel op LNG rijden, wordt hiermee geen rekening gehouden.

³⁶ Ze doen ook ombouw van andere vrachtwagenmerken.

6.1.4.2 Extra kosten

Wat betreft het **onderhoud** nemen we aan dat er geen extra kosten ontstaan. Sommigen zeggen dat het onderhoud gelijk blijft, anderen zeggen dat een aardgasmotor minder onderhoud vereist dan een dieselmotor omdat deze minder trilt doordat er geen explosie plaatsvindt. Hierdoor zou er minder snel slijtage optreden. Bovendien zou de zuivere verbranding van aardgas ervoor zorgen dat de olie minder snel ververst moet worden, wat leidt tot minder onderhoudskosten. (Ecoauto.be, 2009, Rijdenopaardgas.nl, z.d.) Er zijn er echter ook die beweren dat het onderhoud hoger kan zijn, maar dit zou maar in beperkte mate zijn. Dit zou voornamelijk het geval zijn bij omgebouwde motoren. (FUELswitch, z.d.) Delrue Group, die zelf de eerste aardgasvrachtwagen in België in gebruik heeft en dus weet welke extra kosten er aan de vrachtwagen verbonden zijn, deelde mee dat ze geen extra onderhoudskosten ondervinden aan hun vrachtwagen. Bij fabrikant MAN zeggen ze dat de onderhoudsintervallen gelijk blijven. In het basisscenario zal ervan uitgegaan worden dat er zich geen extra onderhoudskosten voordoen zowel voor de dual-fuel als voor de mono-fuel.

Een volgende mogelijke extra kost is belasting. De **belastingen** op een vrachtwagen bestaan uit twee componenten. Eerst en vooral is er de verkeersbelasting. Deze wordt berekend op basis van het aantal assen, de aard van de ophanging en de maximaal toegelaten massa van de vrachtwagen. Vermits er een vergelijking gemaakt wordt tussen twee vrachtwagens met dezelfde functionaliteiten, treedt er geen verschil op in deze component van belastingen. De tweede component, het eurovignet, is enkel van toepassing voor vrachtwagens met een maximaal toegelaten massa boven de 12 ton. Hieraan wordt voldaan door de vrachtwagens uit beide cases en dit zal dus meegenomen worden in de analyse. Deze belasting wordt bepaald door het aantal assen van het voertuig en de graad van vervuiling, gekarakteriseerd door de euronorm. Het eerste criterium blijft gelijk voor beide alternatieven. Bij het tweede criterium daarentegen zou er een verschil kunnen zijn daar aardgasvrachtwagens minder vervuilend zijn. Ze worden echter gelijkgesteld met de laatste euronormen, namelijk euro 5 of EEV. Hierdoor ontstaat er ook op het vlak van eurovignet geen verschil tussen een nieuwe of recente dieselvechtwagen met een euro 5 of EEV motor en een aardgasvrachtwagen. Bovendien wordt er bij het toe te kennen belastingsbedrag enkel een onderscheid gemaakt tussen drie categorieën van euronormen: niet euro, euro 1 en euro 2 en meer. Het maakt dus niet uit of de nieuwe of bestaande (ombouw) vrachtwagen euro 5 of EEV heeft. Het te betalen bedrag verschilt immers niet. (FOD Financiën, 2011) Er kan dus geconcludeerd worden dat de belastingen voor vrachtwagens op diesel dezelfde zijn als voor deze op aardgas. Hierdoor ontstaat er op het vlak van belasting geen kostenverhoging of -verlaging ten opzichte van diesel. Delrue Group, die de eerste vrachtwagen op aardgas in België in gebruik heeft, kon dit vanuit de praktijk bevestigen.

De **verzekeringskosten** van een aardgasvrachtwagen zouden niet verschillen van deze van een dieselvrachtwagen volgens de ervaringen van Delrue Group. Ook wat betreft de **technische keuring** zou er zich geen verschil voordoen. Dit werd bevestigd door Scania en Delrue Group.

6.1.4.3 Restwaarde

Voor de restwaarde moet een onderscheid gemaakt worden tussen de twee cases omdat deze drastisch kan verschillen.

Case 1: mono-fuel

Wat betreft de restwaarde van dit type is er grote onzekerheid. Men weet namelijk niet wat de toekomst zal brengen. Indien rijden op aardgas ingeburgerd geraakt, zal de vrachtwagen over vijf jaar misschien nog een degelijke restwaarde hebben omdat men deze aan de markt kwijt kan. Als er echter geen tweedehandsmarkt voor aardgasvoertuigen ontstaat, bedraagt de restwaarde enkel de som van de waarden van de verschillende nog bruikbare onderdelen. Deze wordt geschat tussen de 2000 en de 3000 euro (Smeets & Zonen, 2011), maar is in principe sterk afhankelijk van merk tot merk en dus moeilijk in te schatten aangezien het hier om een algemene analyse gaat waarbij gegevens van verschillende merken gebruikt worden. De restwaarde zal dus veel minder zijn dan een vergelijkbare vrachtwagen op diesel. Er bestaat echter wel een mogelijkheid dat de vrachtwagen geëxporteerd kan worden naar Italië of Duitsland, waar rijden op aardgas al meer ingeburgerd is. Hierdoor kan er misschien wel nog een degelijke restwaarde verkregen worden. Omwille van de verschillende onzekerheden werd besloten de restwaarde niet op te nemen in het basismodel. We zullen ervan uitgaan dat zowel de dieselvrachtwagen als de aardgasvrachtwagen volledig afgeschreven worden en er dus geen restwaarde is voor beide vrachtwagens. We zijn ons ervan bewust dat dit in principe niet staft met de werkelijkheid en dat er in de praktijk bij een investeringsbeslissing rekening gehouden wordt met de eventuele restwaarde na de gebruiksduur. Vaak zal men ook kiezen voor een bepaald merk omdat men weet dat hiervan de restwaarde relatief hoog is in vergelijking met andere merken.

Case 2: dual-fuel

Bij de dual-fuel is het grote voordeel dat de restwaarde van de vrachtwagen behouden blijft. Dit komt door het feit dat de vrachtwagen nog steeds enkel op diesel kan rijden.

6.1.5 Baten

6.1.5.1 Brandstofbaat

Als men de totale jaarlijkse brandstofkost van diesel vergelijkt met deze van aardgas, ontstaat er een brandstof(kost)baat in het voordeel van aardgas. Als men het verbruik en het aantal gereden

kilometers niet in beschouwing neemt en enkel kijkt naar de **dieselprijs van 0,9932 euro per liter** en de **CNG-prijs van 0,5508 euro per kilogram**, lijkt er een kostenvoordeel te zijn voor aardgas. Het is echter niet mogelijk om deze prijzen met elkaar te vergelijken. Deze brandstoffen hebben namelijk een verschillende energetische inhoud. Eén liter diesel heeft ongeveer dezelfde energetische inhoud als een m³ aardgas. Als men de prijs van aardgas in euro per kilogram door middel van het soortelijk gewicht van 0,83300 kg per m³ omrekent, dan verkrijgt men **0,4588 euro per m³**. Als men nu wel de vergelijking maakt, ziet men dat er wel degelijk een kostenvoordeel is voor aardgas. Dit bedraagt 53,81% omdat de CNG-kost 46,19% is van deze van diesel. Hoeveel precies het totale bedrag van de brandstofbaat in euro per kilometer bedraagt, hangt af van hoeveel diesel vervangen wordt door aardgas, wat op zijn beurt afhankelijk is van **het verbruik** en het **aantal gereden kilometers**. Dit verschilt dus bij beide cases. Binnen elke case zijn er echter ook een aantal parameters die de baat beïnvloeden, zoals de **groei-voet van de diesel-, aardgas- en elektriciteitsprijs**. Door deze parameters te veranderen kunnen verschillende scenario's uitgewerkt worden. Een andere parameter die kan variëren, is de **accijns op CNG**. Op dit moment worden er op aardgas geen belastingen geheven, maar dit zou wel eens kunnen veranderen in de toekomst. In het basisscenario van de twee cases worden geen accijnzen opgenomen omdat er op dit moment ook geen accijnzen worden geheven. In een latere sensitiviteitsanalyse zal dit wel opgenomen worden.

6.1.5.2 Andere extra baten

Voor beide cases geldt dat de investeringskost zorgt voor verhoogde **afschrijvingen**. Dit levert een belastingvoordeel op over de levensduur van de vrachtwagen.

Een andere baat die ontstaat in vergelijking met een dieselvrachtwagen, is het ontvangen van een **ecologiepremie**. Dit is een financiële tegemoetkoming voor ecologie-investeringen die gerealiseerd zullen worden in het Vlaamse Gewest. Alle kleine, middelgrote en grote ondernemingen met een aanvaardbare activiteit komen in aanmerking voor de premie. Er moet wel aan een heel aantal voorwaarden voldaan worden. Hiervoor willen we graag verwijzen naar het 'besluit van 17 december 2010 van de Vlaamse Regering tot toekenning van steun aan ondernemingen voor ecologie-investeringen in het Vlaamse gewest' in het Belgisch Staatsblad van 28 januari 2011. De investeringen die in aanmerking komen voor de premie, kan men terugvinden in de limitatieve technologieënlijst. Dit is een lijst van een 150-tal technologieën. De grootte van de steun is afhankelijk van de performantie van de technologie. Deze performantie wordt uitgedrukt in een eco(logie)getal. Dit getal geeft aan in welke mate de technologie bijdraagt aan de Kyoto-doelstellingen of de milieudoelstellingen van de Vlaamse overheid. Op basis van dit ecologiegetal vindt er een indeling plaats in een ecklasse (A, B, C en D) met een bijhorend subsidiepercentage.

Bovendien wordt de hoogte van de subsidie ook bepaald door de grootte van de onderneming³⁷. Het bedrag van de steun kan oplopen tot maximaal 1 750 000 euro per aanvraag. De verkregen premie is fiscaal vrijgesteld waardoor er geen belastingen op betaald moeten worden. Bovendien mag het totale investeringsbedrag afgeschreven worden en moet dus de premie niet in mindering gebracht worden van het totale investeringsbedrag voor afschrijving. (Agentschap Ondernemen, 2011)

Om te weten welke subsidie mogelijk is voor een aardgasvoertuig, moet een onderscheid gemaakt worden tussen het af-fabriekaankopen en ombouwen van een vrachtwagen. Een af-fabriekaardgasvoertuig kan in de limitatieve technologieënlijst teruggevonden worden onder het codenummer 100030. In de lijst van 1 februari 2011 is het ecogetal 3 en wordt een meerkost van 20% van het aankoopbedrag van het voertuig aangenomen. Dit betekent dat slechts 20% van het aankoopbedrag in aanmerking komt voor steun. De ombouwset naar een aardgasvrachtwagen kan in de limitatieve technologieënlijst teruggevonden worden onder het codenummer 100031. In de lijst van 1 februari 2011 is het ecogetal hetzelfde als dat van een af-fabriekvrachtwagen, namelijk 3 en wordt een meerkost van 100% van de kost van het ombouwen verondersteld. Net zoals voor een aardgasvrachtwagen is er ook voor een aardgastankstation steun mogelijk. Tankinfrastructuur voor CNG kan men terugvinden onder het codenummer 100032. De meerkost bedraagt 100%. Dit betekent dat het gehele investeringsbedrag en dus alle investeringscomponenten in aanmerking komen voor steun. Een tankstation valt net zoals de vrachtwagens onder het ecogetal 3. Aangezien het echter van een aantal andere factoren, zoals de grootte van het bedrijf, afhangt of deze premies toegekend worden en hoeveel deze premies zullen bedragen, zullen deze niet opgenomen worden in dit theoretisch model.

Naast de ecologiepremie is nog een andere vorm van steun mogelijk namelijk een **verhoogde investeringsaftrek**. Dit is mogelijk voor allerlei investeringen zoals milieuvriendelijke investeringen in onderzoek en ontwikkeling en voor energiebesparende investeringen. Het bedrag van deze verhoogde investeringsaftrek in 2011 is 13,50% van het investeringsbedrag. (FOD Financiën, 2010) Vermits de voorwaarden voor de toestemming hiervan niet teruggevonden konden worden, werd dit nagevraagd bij een accountancykantoor³⁸. Zij stelden dat aan de verhoogde investeringsaftrek niet echt voorwaarden zijn verbonden. Er moet op het einde van het boekjaar een formulier ingevuld worden en daarna komt men te weten of steun mogelijk is. Ze stelden dat het waarschijnlijk wel mogelijk is deze steun te verkrijgen. Aangezien het niet voor 100% zeker is dat men dit voordeel ontvangt, zal dit niet opgenomen worden.

³⁷ Als men onder de categorie van de grote ondernemingen valt moet men voldoen aan een bijkomende voorwaarde: men moet het stimulerend effect van de steun bewijzen.

³⁸ De Graef-Linsen & Co.

6.2 Kosten-batenanalyse

Nadat alle kosten en baten gekend zijn, kan overgegaan worden tot een analyse hiervan, zodat het voordeligste alternatief gekozen kan worden. Aangezien voorgaande kosten en baten niet in hetzelfde jaar vallen, moet er rekening gehouden worden met de tijdswaarde van het geld. Het is namelijk zo dat één euro die men nu bezit meer waard is dan één euro die men in de toekomst zal ontvangen. De reden hiervoor is dat we die ene euro die we nu ontvangen, kunnen beleggen wat interest opbrengt, terwijl dat voor die euro van later niet kan. Om kasstromen die op verschillende tijdstippen ontstaan te kunnen vergelijken, moeten toekomstige kasstromen verdisconteerd worden. Er moet dus rekening gehouden worden met de opportuiniteitskost oftewel de alternatieve beleggingsopbrengst, met name de interest.

Een evaluatiemaatstaf die rekening houdt met de tijdswaarde van het geld, is de **Netto Contante Waarde (NCW)** ook wel Net Present Value (NPV) genaamd. De NCW-methode biedt als groot voordeel dat het zonder problemen kan worden toegepast op allerlei soorten investeringen. Bovendien is het resultaat eenduidig: de investering is aanvaardbaar als de NCW gelijk is aan nul of positief. Tevens wordt in het geval van elkaar wederzijds uitsluitende projecten, de situatie die zich in dit geval voordoet, meestal gebruikgemaakt van het NCW-criterium. De NCW-methode houdt in dat men de huidige waarde van de kasstromen van het project berekent door de kasstromen te verdisconteren tegen een gekende kapitaalkost, ook wel interestvoet, rentevoet of discontovoet genoemd. Men brengt de kosten en opbrengsten dus terug naar een eenzelfde referentiejaar, wat meestal het jaar van de initiële investering is. Vermits het hier gaat om een keuze tussen elkaar wederzijds uitsluitende projecten, wordt er gewerkt met de relatieve kasstromen. Hiermee wordt het verschil in kosten en opbrengsten tussen beide projecten bedoeld.

In onderstaande figuur kunt u de formule van de NCW terugvinden die zal toegepast worden voor beide cases, om te analyseren of de meerkost die geïnvesteerd moet worden, gedekt wordt door de baten die de investering in een aardgasvrachtwagen in vergelijking met een dieselvrachtwagen zal opbrengen. De meerprijs of prijs van de ombouw is eigenlijk ook een kost en wordt onder de kosten van het project in jaar 0 opgenomen.

$$NCW = - I_0 + \frac{\sum_{t=1}^T [(1-b)*(B_t - K_t) + b*A_t]}{(1+r)^{t-1}}$$

met

- I_0 : Initiële meerprijs- of ombouwinvestering
- T : Loopduur van de investering in jaren
- r : Nominale interestvoet
- b : Belastingvoet
- B_t : Baten van het project in jaar t
- K_t : Kosten van het project in jaar t
- A_t : Afschrijvingen van het project in jaar t

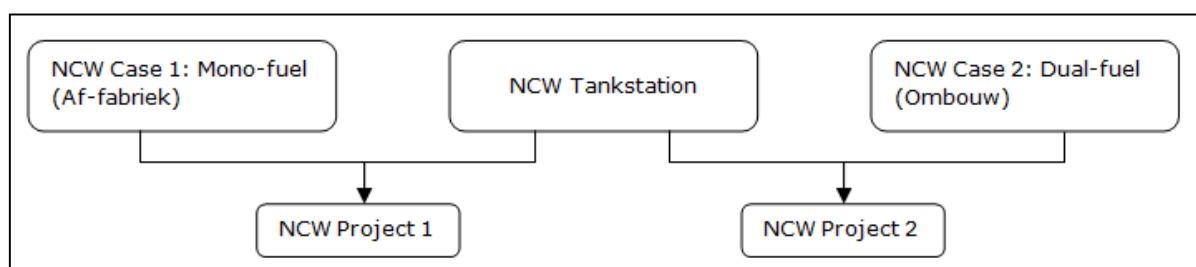
Figuur 17: Formule van de NCW

Bron: Mercken (2004)

Voor de investering in het aardgastankstation, wat voor beide cases van toepassing is, zal een gelijkaardige formule gehanteerd worden. Er wordt niet gewerkt met een meerprijs, maar met het gehele investeringsbedrag om de reeds vermelde reden dat er zich hier geen keuze voordoet. Ook doen er zich geen baten voor. De baat van het brandstofvoordeel ten opzichte van diesel wordt toegerekend aan de vrachtwagen.

6.3 Berekening Netto Contante Waarde (NCW)

Door de investeringskost, de baten en andere kosten hierboven vastgelegd, in te vullen in de formule van de NCW kan men oordelen of de case (case 1 of case 2) aanvaardbaar is. Bij de NCW van iedere case wordt vervolgens de NCW van het aardgastankstation geteld om tot de NCW van het totale project te komen. Op deze manier kan men ook duidelijk de invloed van de investering in een aardgastankstation op de NCW van de investering in een vrachtwagen waarnemen. In onderstaande figuur kan men een samenvattende voorstelling terugvinden van de indeling van de economische analyse.



Figuur 18: Samenvattende voorstelling van de NCW-berekeningen

Bon: Eigen weergave

Vermits er steeds inflatie kan optreden, moet men hiermee rekening houden. Het is hierbij belangrijk dat men consistent te werk gaat. Er is namelijk een onderscheid tussen nominaal en reëel. Nominaal wil zeggen dat er rekening gehouden wordt met inflatie in tegenstelling tot reëel. Als men de NCW wil berekenen, moet men een keuze maken: ofwel drukt men de kapitaalkost en de kasstromen uit in nominale termen, ofwel drukt men alles uit in reële termen. Beide berekeningen van de NCW zullen tot hetzelfde resultaat leiden. In de basisscenario's is alles uitgedrukt in nominale termen aangezien de kasstromen van beide cases nominaal zijn. Het effect van prijsverhogingen zit er immers in vervat (dieselprijs, aardgasprijsstijging, elektriciteitsprijsstijging). Het is bijgevolg dan ook nodig een nominale interestvoet (r) te gebruiken. Dit is een rentevoet waarin rekening gehouden is met de verwachte inflatie. Een schatting maken van de verwachte inflatie (j) op basis van de voorbije 50 jaar door middel van een trendanalyse is niet representatief. Er zijn namelijk serieuze pieken en dieptepunten in het verloop, waardoor globaal genomen de inflatie negatief en dus deflatie geschat wordt over verschillende jaren heen. De laatste jaren echter is er voornamelijk inflatie geweest. Vervolgens werd besloten om de **inflatie** van 2010, namelijk **2,19%**, te nemen als maatstaf. Als we een **reële interestvoet** (i) van **4%**³⁹ vereisen en rekening houden met de inflatie, dan komt dit neer op een **nominale interestvoet** van **6,28 %**⁴⁰, die gebruikt zal worden in het basisscenario van beide cases.

Indien er een baat ontstaat in vergelijking met een dieselvrachtwagen, wil dat zeggen dat de belastbare winst toeneemt. Er zullen dus meer belastingen betaald moeten worden. Het percentage van **belastingen** bedraagt **33,9%**. In wat hierna volgt, wordt de formule van NCW voor elke case ingevuld en uitgewerkt.

Ten slotte bedraagt de **looptijd** van de investering in de vrachtwagen **vijf jaar**. Een vrachtwagen is een materieel vast actief en wordt gewoonlijk afgeschreven op vijf jaar. Alle kosten en baten die een investering in een vrachtwagen teweegbrengen, zullen dan ook over deze periode in overweging moeten genomen worden.

Case 1: mono-fuel

In onderstaande tabel kan men de gegevens van het basisscenario voor case 1 terugvinden.

³⁹ Deze interestvoet wordt door Bongaerts Recycling beschouwd als realistisch. De laatste jaren was bovendien de private interestvoet zeer laag omwille van het herstelbeleid dat werd gevoerd om de economie te stimuleren na de financiële crisis van 2007. Hierdoor is de private interestvoet praktisch gelijk aan de sociale interestvoet (zie paragraaf 7.3).

⁴⁰ $r = i + j + i*j$ (Mercken, 2004)

Tabel 13: Gegevens NCW-berekening basisscenario case1, mono-fuel

	Gegevens basisscenario	Case 1
(1)	Meerprijs (€)	28 000
(2)	Ecologiepremie (%)	0
(3)	Verhoogde investeringsaftrek (%)	0
(4)	Aantal km (km)	65 000
(5)	Verbruik diesel (liter/100 km)	32
(6)	Verbruik CNG (kg/100 km)	25
(7)	Prijs diesel excl. BTW (€/liter)	0,9932
(8)	Groeivoet dieselprijs (%)	2,73
(9)	Prijs aardgas excl. BTW (€/kg)	0,4898
(10)	Groeivoet aardgasprijs (%)	2,73
(11)	Kosten comprimeren ((€/kg)	0,0613
(12)	Groeivoet kost comprimeren (%)	3,5
(13)	Accijnzen CNG (€/kg)	0
(14)	Extra onderhoud (€)	0
(15)	Extra verzekering (€)	0
(16)	Extra Eurovignet (€)	0
(17)	Extra verkeersbelasting (€)	0
(18)	Extra Technische keuring (€)	0
(19)	Verschil in restwaarde (€)	0
(20)	Nominale interestvoet (%)	6,28
(21)	Belastingsvoet (%)	33,9

Bron: Eigen informatieverzameling

In onderstaande tabel kan een eenvoudige voorstelling van de berekening van de NCW teruggevonden worden. In jaar 1 bedraagt de totale kost van diesel 21 222,54 euro in tegenstelling tot slechts 9 203,64 voor CNG. Er ontstaat in jaar 1 dan ook een brandstofbaat van **0,1849 euro per kilometer** en een totale brandstofbaat van 12 018,90 euro. Deze baat zou zich ook in de toekomst voordoen en zelfs groter worden. Van deze baat worden vervolgens mogelijke kosten afgetrokken en baten bij opgeteld. Een baat betreft het belastingsschild van de afschrijvingen door het feit dat er in vergelijking met een dieselvrachtwagen verhoogde afschrijvingen zijn door de meerprijs waarin geïnvesteerd moet worden. Wat betreft extra kosten in vergelijking met een dieselvansie kunnen we stellen dat deze zich niet voordoen. Om ten slotte tot de NCW te komen moeten de vermindering in belastingen door het belastingsschild op de afschrijvingen, de kasstromen en de brandstofbaat, verdisconteerd worden en moet de investeringskost hiervan in mindering gebracht worden. Na deze bewerkingen bedraagt de NCW **14 855,72 euro**. Deze is groter dan 0 en is bovendien zeer positief waardoor case 1 aanvaard kan worden. Zoals reeds vermeld zal het nodig zijn om tevens te investeren in een tankstation. Later zullen we zien of het totale project een NCW heeft die groter is dan 0.

Tabel 14: Berekening NCW basisscenario case1, mono-fuel

	Jaar	0	1	2	3	4	5
(1): uit tabel 13 (1)	Investeringskost	-28 000,00					
(2): (1)/5	Afschrijvingen		5 600,00	5 600,00	5 600,00	5 600,00	5 600,00
(3): (2)* uit tabel 13 (21)	Belastingsschild afschrijvingen		1 898,40	1 898,40	1 898,40	1 898,40	1 898,40
(4): uit tabel 13 (4)	Aantal km		65 000	65 000	65 000	65 000	65 000
(5): (4)*uit tabel 13 (6)/100	Aantal kg CNG		16 250,00	16 250,00	16 250,00	16 250,00	16 250,00
(6): uit tabel 13 (((9)+(13))*((1+(10))^jaar))+((11))*((1+(12))^jaar))	Prijs CNG		0,5664	0,5823	0,5987	0,6156	0,6329
(7): (5)*(6)	Kost CNG		9 203,64	9 462,84	9 729,40	10 003,52	10 285,42
(8): (4)*uit tabel 13 (5)/100	Aantal liter diesel		20 800,00	20 800,00	20 800,00	20 800,00	20 800,00
(9): uit tabel 13 (7)*((1+(8))^jaar)	Prijs diesel		1,0203	1,0482	1,0768	1,1062	1,1364
(10): (8)*(9)	Kost diesel		21 222,54	21 801,91	22 397,11	23 008,55	23 636,68
(11): (10)-(7)	Totale brandstofbaat		12 018,90	12 339,07	12 667,71	13 005,03	13 351,26
(12): (11)/(4)	Brandstofbaat per km		0,1849	0,1898	0,1949	0,2001	0,2054
(13): (11)* (1-uit tabel 13 (21))	Netto brandstofbaat		7 944,49	8 156,13	8 373,36	8 596,32	8 825,18
(14): uit tabel 13 (14)	Onderhoud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15): uit tabel 13 (15)	Verzekering		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16): uit tabel 13 (16)	Eurovignet		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17): uit tabel 13 (17)	Verkeersbelasting		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18): uit tabel 13 (18)	Technische keuring		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19): (1)+(3)+(13)+(14)+(15)+(16)+(17)+(18)	Totaal	-28 000,00	9 842,89	10 054,53	10 271,76	10 494,72	10 723,58
(20): (19)/(1+0,0628)^jaar	Actuele waarden	-28 000,00	9 261,49	8 901,81	8 556,96	8 226,29	7 909,18
(21): som rij (20)	Netto contante waarde	14 855,72					

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 13

Case 2: dual-fuel

De gegevens van het basisscenario voor case 2 zijn ongeveer hetzelfde als deze van case 1. De enige verschillen zijn het brandstofverbruik van de vrachtwagens, het aantal afgelegde kilometers en de ombouwkost.

Tabel 15: Gegevens NCW-berekening basisscenario case 2, dual-fuel

	Gegevens basisscenario	Case 2
(1)	Kost ombouw (€)	10 500
(2)	Ecologiepremie (%)	0
(3)	Verhoogde investeringsaftrek (%)	0
(4)	Aantal km (km)	60 000
(5)	Verbruik diesel (liter/100 km)	40
(6)	Hoeveelheid vervangen diesel (%)	40
(7)	Omzettingsfactor (kg aardgas/liter diesel)	0,8344
(8): (5)*(1-(6))	Verbruik diesel (liter/100 km)	24
(9): (5)*(6)*(7)	Verbruik CNG (kg/100 km)	13,35
(10)	Prijs diesel excl. BTW (€/liter)	0,9932
(11)	Groeivoet dieselprijs (%)	2,73
(12)	Prijs aardgas excl. BTW (€/kg)	0,4898
(13)	Groeivoet aardgasprijs (%)	2,73
(14)	Kosten comprimeren ((€/kg)	0,0613
(15)	Groeivoet kost comprimeren (%)	3,5
(16)	Accijnzen CNG (€/kg)	0
(17)	Extra onderhoud (€)	0
(18)	Extra verzekering (€)	0
(19)	Extra Eurovignet (€)	0
(20)	Extra verkeersbelasting (€)	0
(21)	Extra Technische keuring (€)	0
(22)	Verschil in restwaarde (€)	0
(23)	Nominale interestvoet (%)	6,28
(24)	Belastingsvoet (%)	33,9

Bron: Eigen informatieverzameling

In onderstaande tabel kan een eenvoudige voorstelling van de berekening van de NCW teruggevonden worden. In jaar 1 bedraagt de totale kost van diesel 24 487,54 euro in tegenstelling tot een totale kost van het alternatief van 4 536,92 euro voor de CNG en 14 692,53 voor het overige diesilverbruik. Dit brengt de totale brandstofkost in jaar 1 voor het alternatief op 19 229,45 euro voor 60 000 kilometer of een brandstofbaat van **0,0876 euro per kilometer**. Er ontstaat in jaar 1 dan een totale brandstofbaat van 5 258,09 euro. Deze baat is kleiner dan bij case 1, wat vanzelfsprekend is omdat er minder diesel vervangen wordt door aardgas. Hier geldt dat de baat zich ook in de toekomst zal voordoen en zelfs groter worden. Na het optellen van de baten en het aftrekken van de kosten, terwijl er rekening gehouden wordt met de tijds waarde van het geld, bedraagt de NCW **7 929,54 euro**. Deze is groter dan 0 en is bovendien positief waardoor de case op zich aanvaard kan worden. Zoals reeds vermeld onder case 1 zal het nodig zijn om tevens te investeren in een tankstation. De invloed hiervan op de NCW zullen we later waarnemen.

Tabel 16: Berekening NCW basisscenario case 2, dual-fuel

	Jaar	0	1	2	3	4	5
(1): uit tabel 15 (1)	Investeringskost	- 10 250					
(2): (1)/5	Afschrijvingen		2 050,00	2 050,00	2 050,00	2 050,00	2 050,00
(3): (2)* uit tabel 15 (24)	Belastingsschild afschrijvingen		694,95	694,95	694,95	694,95	694,95
(4): uit tabel 15 (4)	Aantal km		60 000	60 000	60 000	60 000	60 000
(5): (4)*uit tabel 15 (9)/100	Aantal kg CNG		8 010,42	8 010,42	8 010,42	8 010,42	8 010,42
(6): uit tabel 15 (((12)+(16))*((1+(13))^jaar r))+((14))*((1+(15))^jaar))	Prijs CNG		0,5664	0,5823	0,5987	0,6156	0,6329
(7): (5)*(6)	Kost CNG		4 536,92	4 664,70	4 796,09	4 931,22	5 070,19
(8): (4)*uit tabel 15 (8)/100	Resterend aantal liter diesel		14 400,00	14 400,00	14 400,00	14 400,00	14 400,00
(9): (4)*uit tabel 15 (5)/100	Aantal liter diesel		24 000,00	24 000,00	24 000,00	24 000,00	24 000,00
(10): uit tabel 15 (10)*((1+ (11))^jaar)	Prijs diesel		1,0203	1,0482	1,0768	1,1062	1,1364
(11): (8)*(10)	Kost resterende diesel		14 692,53	15 093,63	15 505,69	15 928,99	16 363,86
(12): (9)*(10)	Kost diesel		24 487,54	25 156,05	25 842,81	26 548,32	27 273,09
(13): (12)-((7)+(11))	Totale brandstofbaat		5 258,09	5 397,73	5 541,03	5 688,11	5 839,05
(14): (13)/(4)	Brandstofbaat per km		0,0876	0,0900	0,0924	0,0948	0,0973
(15): (13)*(1- uit tabel 15 (24))	Netto brandstofbaat		3 475,60	3 567,90	3 662,62	3 759,84	3 859,61
(16): uit tabel 15 (17)	Onderhoud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17): uit tabel 15 (18)	Verzekering		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18): uit tabel 15 (19)	Eurovignet		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19): uit tabel 15 (20)	Verkeersbelasting		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20): uit tabel 15 (21)	Technische keuring		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21): (1)+(3)+(15)+(16)+(17)+ (18)+(19)+ (20)	Totaal	-10 250,00	4 170,55	4 262,85	4 357,57	4 454,79	4 554,56
(22): (21)/(1+0,0628)^jaar	Actuele waarden	-10 250,00	3 924,20	3 774,12	3 630,11	3 491,89	3 359,22
(23): som rij (22)	Netto contante waarde	7 929,54					

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 15

Tankstation

Aangezien men in beide cases gebruik zal moeten maken van een aardgastankstation zal de NCW hiervan apart berekend worden. Deze NCW zal bij beide cases geteld moeten worden om de NCW van het totale project, vrachtwagen en tankstation te bekomen.

Tabel 17: Gegevens NCW-berekening tankstation

	Gegevens basisscenario	Tankstation
(1)	Investering (€)	51 666,67
(2)	Ecologiepremie (%)	0
(3)	Verhoogde investeringsaftrek (%)	0
(4)	Jaarlijks onderhoud (€)	2 500
(5)	Keuring (€)	2 750
(6)	Gasaansluiting (€)	500
(7)	Nominale interestvoet (%)	6,28
(8)	Belastingsvoet (%)	33,9

Bron: Eigen informatieverzameling

De actuele waarde van de investering in een aardgastankstation bedraagt **-50 723,38 euro** als men enkel het deel van het investeringsbedrag over de looptijd van de vrachtwagen in rekening brengt.

Tabel 18: Berekening NCW tankstation

	Jaar	0	1	2	3	4	5
(1): uit tabel 17 (1)	Investeringskost	-51 666,67					
(2): (1)/5	Afschrijvingen		10 333,33	10 333,33	10 333,33	10 333,33	10 333,33
(3): (2)*uit tabel 17 (8)	Belastingsschild afschrijvingen		3 503,00	3 503,00	3 503,00	3 503,00	3 503,00
(4): uit tabel 17 (4)	Jaarlijks onderhoud		-2 500,00	-2 500,00	-2 500,00	-2 500,00	-2 500,00
(5): uit tabel 17 (5)	Keuring	-2 750,00	-	-	-	-	-
(6): uit tabel 17 (6)	Gasaansluiting	- 500,00	-	-	-	-	-
(7): (4)+(5)+(6)	Totale kosten	-3 250,00	-2 500,00	-2 500,00	-2 500,00	-2 500,00	-2 500,00
(8): (1)+(3)+(7)	Totaal	-54 916,67	1 003,00	1 003,00	1 003,00	1 003,00	1 003,00
(9): (8)/(1+0,0628)^jaar	Actuele waarden	-54 916,67	943,75	888,01	835,56	786,20	739,76
(10): som rij 9	Netto contante waarde	-50 723,38					

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 17

Gegeven dat de NCW van case 1 14 855,72 euro is, komt men op een totale NCW van het project van **-35 867,66 euro**. Deze is negatief, wat maakt dat investering in een tankstation in combinatie met de aanschaf van één vrachtwagen meer kost dan het investeren in een dieselvrachtwagen. Dit was uiteraard te verwachten daar men genoodzaakt is te investeren in een redelijk kostelijke tankinstallatie. Omdat in case 2 minder diesel vervangen wordt door aardgas, zal hier de NCW nog negatiever zijn. Deze bedraagt namelijk **- 42 793,84 euro**.

Men kon voor de berekening van de NCW'en al inschatten dat de investering in het tankstation te groot is om tot een positieve NCW van het totale project te kunnen leiden. Deze berekeningen werden toch gemaakt omdat dit model de basis vormt voor de toepassing voor het bedrijf uit de gevalstudie.

6.4 Sensitiviteitsanalyse

Op basis van het gevoel kan men stellen dat het prijsverschil tussen aardgas en diesel een belangrijke factor is, die een invloed heeft op de NCW van het totale project alsmede, hieraan gekoppeld, het aantal afgelegde kilometers. Beide factoren bepalen namelijk de brandstofbaat die optreedt. Om te achterhalen welke parameters nu precies een belangrijke invloed hebben op de NCW, zal een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd worden. Hierbij worden een aantal parameters gevarieerd waardoor kan waargenomen worden wat hun invloed is op het resultaat. Hierdoor kan men rekening houden met de onzekerheid die inherent is aan toekomstvoorspellingen. Een kosten-batenanalyse en dus ook een NCW-berekening wordt immers uitgevoerd met behulp van voorspelde gegevens. Door een sensitiviteitsanalyse kan men nagaan welke invloed het variëren van bepaalde parameters heeft op de NCW en in welke mate invloedrijke parameters kunnen variëren opdat het project nog economisch interessant is.

Er zijn een aantal parameters die een gelijkaardige invloed hebben op beide **projecten**. Een eerste belangrijke parameter van het totale project van case 1 en 2 zijn het **aantal vrachtwagens**. In het basisscenario werd ervan uitgegaan dat het bedrijf slechts één nieuwe vrachtwagen aankocht of een vrachtwagen laat ombouwen, in combinatie met het aanschaffen van een tankstation. Als we er nu van uitgaan dat een bedrijf om de vijf jaar niet één maar meerdere nieuwe vrachtwagens aankoopt, dan kunnen we nagaan hoeveel aardgasvrachtwagens er aangekocht moeten worden opdat de NCW van het totale project positief is. Voor project 1 moeten er drie extra vrachtwagens, in het totaal dus vier, aangekocht worden opdat de NCW van het totale project positief wordt. Dit valt nog mee in vergelijking met project 2. Hiervoor moeten in totaal minstens zeven vrachtwagens omgebouwd worden opdat de NCW positief wordt.

Tabel 19: Aantal vrachtwagens zodat NCW totale project 1 en 2 positief is

Case	Aantal extra aan te kopen/om te bouwen vrachtwagens (tov basisscenario)
Case 1	3
Case 2	6

Bron: Eigen berekeningen op basis van NCW case 1 en 2

Een tweede belangrijke parameter is het **aantal gereden kilometers**. De invloed hiervan werkt eigenlijk via de NCW van de cases. Zo worden in principe deze NCW'en beïnvloed, wat op zijn beurt een weerslag heeft op de NCW'en van de totale projecten. Zo bepaalt het aantal gereden kilometers hoe groot de brandstofbaat is als de CNG-prijs lager is dan de dieselprijs. Deze brandstofbaat zorgt er op zijn beurt voor dat de investering in de vrachtwagen terugverdiend kan worden. Overige extra baten kunnen er dan voor zorgen dat het tankstation terugverdiend kan worden. Als dus het aantal kilometers stijgt ceteris paribus, dan stijgt ook de NCW. Indien echter

de dieselprijs lager zou liggen dan de CNG-prijs heeft dit natuurlijk een omgekeerd effect; de NCW daalt. Zoals reeds aangehaald is het weinig waarschijnlijk dat dit laatste scenario zich voordoet de eerst komende jaren. Het EIA (2010)^a en de Europese Commissie (2008) stellen namelijk dat het prijsverschil tussen aardgas en diesel behouden blijft (zie paragraaf 5.3.1). Een parameter met een vergelijkbare invloed als het aantal gereden kilometers is het **verbruik**. Als het verbruik stijgt, kan er meer diesel vervangen worden door CNG, wat ervoor zorgt dat indien de CNG-prijs lager is dan de dieselprijs, de brandstofbaat en dus de NCW stijgt.

Tabel 20: Invloed aantal gereden kilometers en verbruik op NCW project 1 en 2

	Aantal gereden kilometers/Verbruik	NCW
CNG-prijs < dieselprijs	stijgt	stijgt
CNG-prijs > dieselprijs	stijgt	daalt

Bron: Eigen berekeningen op basis van NCW case 1 en 2

In beide cases was de NCW van het totale project kleiner dan nul. Als men nu weet dat wanneer het verbruik en het aantal gereden kilometers stijgen de NCW per case en dus ook van het totale project stijgt, kan men nagaan hoeveel beide ceteris paribus moeten stijgen opdat de projecten economisch interessant worden. Voor project 1 wil dit zeggen dat het aantal kilometers moet stijgen tot 131 765,88 kilometers per jaar of een verbruik van 64,87 liter per 100 kilometer. Voor project 2 neemt dit logischerwijze grotere waarden aan. Zo moeten er jaarlijks 288 103,21 kilometers afgelegd worden of moet er per 100 kilometer 152,07 liter verbruikt worden. Het aantal kilometers lijkt theoretisch haalbaar voor een transportbedrijf dat internationaal vervoer doet, zeker voor project 1⁴¹, maar het verbruik daarentegen is onrealistisch. Praktisch gezien is het maken van veel kilometers echter niet haalbaar. Deze vrachtwagens keren namelijk niet regelmatig terug naar de basis om te tanken en omwille van de beperkte actieradius van CNG en het gebrek aan tankstations is dit niet praktisch haalbaar voor dit type van bedrijven.

Tabel 21: Aantal gereden kilometers en verbruik waarbij NCW project 1 en 2 positief is

Project	Aantal gereden kilometers (km)	Verbruik (liter/100km)
Project 1	131 765,88	64,87
Project 2	288 103,21	152,07

Bron: Eigen berekeningen op basis van NCW case 1 en 2

Voor het verdere verloop van de sensitiviteitsanalyse werd er gekozen voor een **analyse per case** en niet van het totale project, aangezien de NCW van het aardgastankstation niet afhankelijk is van invloedrijke en onzekere parameters zoals de diesel-, aardgas- of elektriciteitsprijs. Ook zorgt de investering in het tankstation dat de NCW steeds negatief is. De investering in een aardgasvrachtwagen wordt dus in de verdere sensitiviteitsanalyse losgekoppeld van de investering

⁴¹ Volgens gegevens van FEBETRA bedraagt het gemiddeld jaarlijks aantal afgelegde kilometers ongeveer 110 000 voor nationaal/internationaal transport. (Mevr. De Maegt van FEBETRA, 2011)

in een tankstation. Zo verkrijgt men een algemeen beeld van de invloedrijke parameters, los van de investering in een tankstation. In de toekomst is het immers misschien niet meer nodig om te investeren in een tankinstallatie als er meer publieke tankstations komen, of worden tankstations misschien goedkoper.

In werkelijkheid **variëren parameters** bovendien **gelijktijdig** en het is dus zinloos om per parameter de invloed te berekenen en te bekijken. Een verandering van de waarde van één enkele parameter zal immers nooit voorkomen. Een software die hulp biedt bij dit soort analyse, is Crystal Ball. Met behulp van deze software van Oracle werd een **scenarioanalyse** uitgevoerd. Deze tool werkt volgens het principe van de Monte-Carlo-simulatie en voert herhaaldelijk berekeningen van de NCW uit. Bij elke berekening wordt willekeurig een waarde uit het interval of 'range' van de parameters dat men heeft bepaald, gekozen. De waarschijnlijkheid van het voorkomen van de waarden van de verschillende parameters wordt weergegeven door een waarschijnlijkheidsverdeling die men zelf heeft gekozen. Een driehoeksverdeling wordt toegepast als men van oordeel is dat de middelste waarde de meest waarschijnlijke is. Als men daarentegen voor een uniforme verdeling kiest, gaat men er vanuit dat de kans dat de parameter een van de waarden binnen het vastgelegde interval, aanneemt even groot is. Verder zijn er nog andere verdelingen mogelijk zoals de normaalverdeling, lognormaalverdeling, binomiaalverdeling en discrete uniforme verdeling. Vermits in beide cases niet alle parameters dezelfde zijn, wordt voor elke case afzonderlijk een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd.

Er zijn wel een aantal parameters die in beide cases voorkomen en die op gelijkaardige wijze gevarieerd zullen worden. Zo zal het **aantal gereden kilometers** en **het verbruik** voor beide cases met 5% gevarieerd worden. De **dieselprijs**, die gebaseerd is op cijfers van de Belgische Petroleumfederatie, krijgt dan weer enkel een verhoging van 1% omdat het onwaarschijnlijk lijkt dat deze zal dalen in de toekomst. De **groeiwoet van de dieselprijs** wordt toegelaten te schommelen met 1%-punt. Bovendien is het moeilijk deze groeiwoet te bepalen. Vermits de **aardgasprijs** gebaseerd is op deze van de gevalstudie, kan het zijn dat er in andere gevallen⁴² een lagere of een hogere aardgasprijs zich voordoet. Vandaar dat een schommeling van 1%-punt rond het gemiddelde wordt toegelaten. De groeiwoet van de aardgasprijs is gelijk aan deze van diesel en varieert dus automatisch in dezelfde mate. Bij de **kost van het comprimeren** wordt een interval toegekend om dezelfde reden als bij de aardgasprijs. De kost van het comprimeren werd namelijk ook berekend op basis van bedrijfsspecifieke gegevens. De groeiwoet van de kost van het comprimeren hangt af van de elektriciteitsprijsgroei, deze wordt toegelaten te variëren met 1%-punt.

⁴² De prijs verschilt erg en is afhankelijk van tot welke verbruikscategorie men behoort. (FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2008)

Op dit moment worden er op CNG geen **accijnzen** geheven, net zoals dat bij LPG het geval is. Dit zou in de toekomst wel eens kunnen veranderen, vandaar dat hiermee ook rekening gehouden moet worden. Accijnzen worden vastgelegd in een absoluut bedrag door de federale overheid. Om hiervan een schatting te maken, werd gebruikgemaakt van het verleden en de accijns op LPG en diesel. Vermits LPG ook een gasvormige brandstof is, lijkt het ons geschikt om informatie hieromtrent te gebruiken. Op LPG worden nu geen accijnzen meer geheven. De laatste keer was in 1983. Toen bedroeg deze accijns op LPG 38,12% van deze op diesel, in 1981 was dat 47,05%. In de voorgaande jaren kon er geen duidelijk stramien waargenomen worden. Als we ervan uitgaan dat de accijnzen op aardgas de helft zullen bedragen van deze op diesel op 4 januari 2011⁴³, dan moet er een bedrag van 0,2023 euro per kilogram CNG geteld worden. (Belgische Petroleum Federatie, 2011)^a

Voor het **onderhoud** en de andere **overige kosten** konden geen mogelijke waardes teruggevonden worden. We veronderstellen ook hier dat deze 0 blijven.

Case 1: mono-fuel

Voor wat betreft de **meerprijs** kon vastgesteld worden dat deze sterk varieert afhankelijk van merk tot merk. Er wordt een interval toegelaten van de minimummeerprijs 0 euro tot de maximummeerprijs 45 000 euro. In onderstaande tabel kan men voor case 1 de toegelaten intervallen voor de verschillende parameters terugvinden evenals de gekozen waarschijnlijkheidsverdeling.

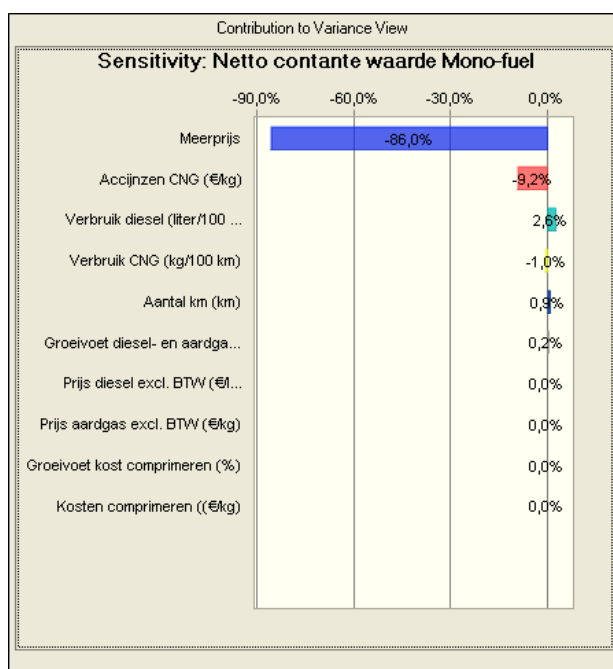
Tabel 22: Interval en waarschijnlijkheidsverdeling van verschillende parameters voor simulatie basismodel case 1

Parameters simulatie	Verdeling	Verandering	Minimum	Waarde basismodel	Maximum
Meerprijs	Driehoek	uiterst gegeven prijzen	0	28000	45000
Aantal km (km)	Driehoek	+/- 5%	61750	65000	68250
Verbruik diesel (liter/100 km)	Driehoek	+/- 5%	30,4	32	33,6
Verbruik CNG (kg/100 km)	Driehoek	+/- 5%	23,75	25	26,25
Prijs diesel excl. BTW (€/liter)	Uniform	+1%	0,9932	0,9932	1,00313
Groeivoet diesel- en aardgasprijs (%)	Driehoek	+/- 1%	1,73	2,73	3,73
Prijs aardgas excl. BTW (€/kg)	Uniform	+/- 1%	0,484902	0,4898	0,4947
Kosten comprimeren ((€/kg)	Uniform	+/- 1%	0,060687	0,0613	0,06191
Groeivoet kost comprimeren (%)	Driehoek	+/- 1%	2,50	3,50	4,50
Accijnzen CNG (€/kg)	Driehoek	Helft Accijns Diesel	0	0	0,2023

Bron: Eigen veronderstellingen

⁴³ Accijnzen op diesel op 4 januari 2011 bedroegen 0,4045 euro per liter. (Belgische Petroleum Federatie, 2011)^a

Het resultaat van de sensitiviteitsanalyse kan waargenomen worden op onderstaande figuur. Zo is de meerprijs veruit de invloedrijkste parameter. Deze bepaalt de grootte van de investering die gedekt moet worden door de brandstofbaat en heeft bij stijging dus een grote negatieve invloed. Het feit dat deze een dergelijke grote invloed heeft, kan ook komen doordat het toegelaten interval zeer breed is. Als we het interval echter versmallen, waarbij de maximumprijs 35 000 euro bedraagt, dan blijkt dat de meerprijs nog steeds een zeer grote invloed heeft (zie bijlage 17). De meerprijs is dus een zeer belangrijke parameter. Een andere en tweede belangrijke factor zijn accijnzen op CNG. Indien er accijnzen zouden worden ingevoerd, zou dit een groot negatief effect hebben op de NCW. Een derde factor die een belangrijke invloed heeft, is het dieselverbruik. Een vierde factor die nog net een invloed heeft van 1%, is het CNG-verbruik. Deze beide parameters hebben bij stijging een positieve en respectievelijk negatieve invloed op de NCW. Het aantal gereden kilometers blijkt afgerond ook nog een invloed van 1% te hebben. De overige factoren blijken een effect te hebben dat bijna nihil is ten opzichte van de voorgaande factoren.



Figuur 19: Sensitiviteit van de NCW van case 1
Bron: Crystal Ball, scenarioanalyse op NCW van case 1

Case 2: dual-fuel

Voor wat betreft de **ombouwkost** werd van MAN een interval verkregen, de kost zou namelijk kunnen liggen tussen 8000 en 12500 euro. We laten de ombouwkost toe te variëren binnen dit interval. Een andere factor die gevarieerd kan worden voor deze case, is de 'hoeveelheid vervangen diesel'. In het basismodel werd deze vastgelegd op 40%, op grond van gegevens verkregen van producent MAN. Dit percentage verschilt echter naargelang de belasting van de motor. Zoals reeds aangehaald, stijgt dit percentage als de belasting toeneemt (zie paragraaf

5.2.1). Bij fabrikant Volvo stellen ze dat een gasinspuiting van maximaal 80% en minimaal 35% mogelijk is. Het betreft hier wel een af-fabriekmodel. In een studie van Graham et al. (2008) werd getest met een omgebouwde vrachtwagen met een groot vermogen van 450 pk en met een verbruik van 62,7 liter. Men nam een procentueel verbruik van 8,6% diesel en 91,4% aardgas. Deze waarden liggen veel hoger dan die van MAN en zullen een positief effect hebben op de NCW. We zullen een interval toelaten tussen van 35% tot 90%. In onderstaande tabel kan men voor case 2 de toegelaten intervallen voor de verschillende parameters terugvinden evenals de gekozen waarschijnlijkheidsverdeling.

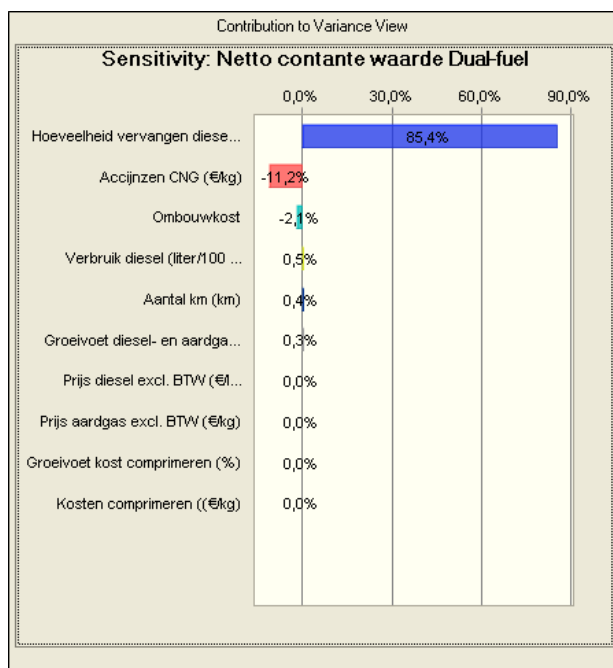
Tabel 23: Interval en waarschijnlijkheidsverdeling van verschillende parameters voor simulatie basismodel case 2

Parameters simulatie	Verdeling	Verandering	Minimum	Waarde basisscenario	Maximum
Ombouwkost	Driehoek	uiterst gegeven prijzen	8000	10250	12500
Aantal km (km)	Driehoek	+/- 5%	57000	60000	63000
Verbruik diesel (liter/100 km)	Driehoek	+/- 5%	38	40	42
Hoeveelheid vervangen diesel (%)	Driehoek	Volvo en Graham et al. (2008)	35,00	40,00	90,00
Prijs diesel excl. BTW (€/liter)	Uniform	+1%	0,9932	0,9932	1,003132
Groeivoet diesel- en aardgasprijs (%)	Driehoek	+/- 1%	1,73	2,73	3,75
Prijs aardgas excl. BTW (€/kg)	Uniform	+/- 1%	0,4849	0,4898	0,494698
Kosten comprimeren ((€/kg)	Uniform	+/- 1%	0,06069	0,0613	0,061913
Groeivoet kost comprimeren (%)	Driehoek	+/- 1%	2,50	3,50	4,50
Accijnzen CNG (€/kg)	Driehoek	Helpt Accijnzen Diesel	0	0	0,2023

Bron: Eigen veronderstellingen

Het resultaat van de sensitiviteitsanalyse kan waargenomen worden op onderstaande figuur. In deze case is de 'hoeveelheid vervangen diesel' de invloedrijkste parameter. Deze factor vertegenwoordigt het merendeel van de variatie. Het feit dat deze parameter zo een grote invloed heeft, komt deels door het feit dat het toegelaten interval vrij breed is. Als we het interval versmallen en enkel een schommeling van plus en min 5% toelaten, dan zien we dat deze parameter verschuift naar de tweede plaats en dus nog steeds belangrijk is (zie bijlage 18). De 'hoeveelheid vervangen diesel' is dus een invloedrijke parameter voor de dual-fuel-case. Een andere en tweede belangrijke factor zijn de accijnzen. Dit is ook zo het geval voor de mono-fuel-case. Als er accijnzen geheven worden, dan daalt het prijsverschil tussen CNG en diesel, waardoor de totale brandstofbaat en dus de NCW verkleint. Het feit dat deze zo een grote invloed heeft, komt deels doordat de waarde voor de accijnzen vrij hoog ligt. Een andere en derde belangrijke factor is de ombouwkost. Deze bepaalt de grootte van de investering die gedekt moet worden door de brandstofbaat. Als deze parameter stijgt, dan daalt de NCW. Een derde en vierde factor zijn het verbruik en het aantal gereden kilometers. Bij een stijging hebben deze een positieve invloed op de

NCW. De overige factoren blijken een effect te hebben dat praktisch nul is ten opzichte van de voorgaande factoren.



Figuur 20: Sensitiviteit van de NCW van case 2

Bron: Crystal Ball, scenarioanalyse op NCW van case 2

6.5 Conclusie

Een overzicht van de NCW-berekeningen kan teruggevonden worden in tabel 24. De kosten en baten die in beschouwing moeten genomen worden om de alternatieven van een aardgasvrachtwagen en een dieselvrachtwagen te vergelijken, zijn eerst en vooral de brandstofkosten van diesel en CNG. Er werd in dit basismodel uitgegaan van een dieselprijs van 0,9932 euro per liter. Dit is de gemiddelde maximumprijs van 2010. (Belgische Petroleumfederatie, 2010) De kost van CNG bestaat uit de prijs van aardgas en de kost van het comprimeren. De prijs van aardgas, exclusief BTW, werd vastgelegd op 0,4895 euro per kilogram terwijl de kost van het comprimeren 0,0613 euro per kilogram bedraagt. Zo komt men tot een totale kost van CNG van 0,5508 euro per kilogram, exclusief BTW. Door het prijsverschil tussen diesel en aardgas ontstaat er een brandstof(kost)baat in het voordeel van CNG. Naast de brandstofkosten doen er zich geen andere (extra) kosten voor. Zo zou namelijk het onderhoud, de technische keuring, de verzekering, de verkeersbelasting en het eurovignet gelijkaardig zijn aan deze van een dieselvrachtwagen. Met een mogelijk verschil in restwaarde werd geen rekening gehouden. Het te investeren bedrag is de meerprijs van een af-fabriekvrachtwagen of de ombouwkost van een bestaande vrachtwagen. Deze bedragen respectievelijk 28 000 en 10 250 euro. Hierdoor ontstaan er verhoogde afschrijvingen waardoor een baat ontstaat. Om de kosten en baten van de twee alternatieven te vergelijken en

tevens rekening te houden met de tijds waarde van het geld, werd gebruikgemaakt van de methode van de NCW voor beide cases.

Als men vervolgens enkel en alleen naar de NCW van de cases kijkt, dan zijn deze positief. De brandstofbaat per kilometer van de mono-fuel-vrachtwagen bedraagt dan 0,1849 euro per kilometer in jaar 1 en deze van de dual-fuel 0,0876 euro per kilometer ten opzichte van de dieselvariant (zie tabel 24). Door het feit dat men echter een tankstation moet plaatsen, wordt de totale NCW van een investering in een vrachtwagen en het plaatsen van een tankstation zeer negatief. Dit komt, zoals verwacht, door de enorm hoge kostprijs van de tankinstallatie. Bijgevolg is het nodig om voor het totale project tot een positieve cashflow te komen, voldoende kilometers af te leggen zodat de brandstofbaat voldoende is om de investering in de vrachtwagen en deze in het tankstation te dekken. Dit effect kan ook verkregen worden door een combinatie van voldoende aantal gereden kilometers en een voldoende hoog verbruik. Aangezien de berekeningen gebaseerd zijn op gegevens van een recyclagebedrijf, is het aantal afgelegde kilometers beperkt waardoor het economisch niet interessant is te investeren in een vrachtwagen in combinatie met een tankstation. Transportbedrijven daarentegen leggen veel meer kilometers af, maar doordat de vrachtwagens niet steeds terugkeren naar het bedrijf om te tanken en de actieradius van CNG beperkt is, is dit niet praktisch haalbaar voor hen. Een positieve NCW voor het totale project kan tevens verkregen worden door tegelijkertijd te investeren in meerdere vrachtwagens. Voor case 1 zouden er drie extra vrachtwagens aangekocht moeten worden en voor case 2, zes.

Tabel 24: NCW en brandstofbaat (in jaar 1) van alle opties

		Berekening NCW	Brandstofbaat (€/km) Eigen CNG	Brandstofbaat (€/km) Publieke CNG
(1)	Case 1: mono-fuel	14 855,72	0,1849	0,1320
(2)	Case 2: dual-fuel	7 929,54	0,0876	0,0594
(3)	Tankstation	-50 723,38		
(1)+(3)	Project 1: tankstation + mono-fuel	-35 867,66		
(1)+(2)	Project 2: tankstation + dual-fuel	-42 793,84		

Bron: Uit tabel 14, 16,18 en bijlage 19 en 20

Als men de investering in de vrachtwagen apart bekijkt en dus de investering in het tankstation even buiten beschouwing laat, kan men nog een aantal invloedrijke parameters waarnemen. Bij beide cases zijn de investering in de vrachtwagen en de accijns op aardgas invloedrijke parameters. Bij case 1 is de meerprijs de invloedrijkste parameter en als tweede de accijnzen. Bij case 2 is de 'hoeveelheid vervangen diesel' de belangrijkste parameter en ook hier zijn de accijnzen de tweede invloedrijkste parameter. Het extra te investeren bedrag, met name de ombouwkost, komt hier slechts op de derde plaats. Het is opmerkelijk dat de volgorde van case 2 verschilt van deze van case 1. Dit is waarschijnlijk te verklaren doordat het interval van de meerprijs veel breder

genomen is dan het interval van de ombouwkost. Het feit dat het interval van de parameter 'hoeveelheid vervangen diesel' tamelijk breed is, zal wellicht ook een rol spelen.

Tabel 25: Bijdrage van enkele parameters aan de variatie van de NCW van case 1 en 2

Parameter case 1	%	Parameter case 2	%
Meerprijs	86,02%	Hoeveelheid vervangen diesel (%)	85,38%
Accijnzen CNG (€/kg)	9,17%	Accijnzen CNG (€/kg)	11,21%
Verbruik diesel (liter/100 km)	2,64%	Ombouwkost	2,08%
Verbruik CNG (kg/100 km)	0,97%	Verbruik diesel (liter/100 km)	0,50%
Aantal km (km)	0,90%	Aantal km (km)	0,44%

Bron: Crystal Ball, scenarioanalyse op NCW van case1 en case 2

Aangezien de investering in het tankstation zeer zwaar doorweegt op de NCW van het totale project, leek het ons zinvol na te gaan wat de NCW zou zijn als het plaatsen van een tankstation niet nodig is en men dus CNG publiek kan gaan tanken. Op 10 februari 2011 bedroeg de CNG-prijs aan de pomp 1,02 euro per kilogram in Brugge en 0,95 euro per kilogram in Anzegem (Dhr. Verhulst van Ecofillco, 2010). Deze prijzen zijn inclusief BTW. Aangezien voor een bedrijf de BTW terugvorderbaar is, moet hiermee geen rekening gehouden worden. Deze prijzen worden dan exclusief BTW 0,8058 euro per kilogram voor Brugge en 0,7505 euro per kilogram voor Anzegem. De prijs die zal toegepast worden, is het gemiddelde van beide prijzen, namelijk 0,7782 euro per kilogram. Dit is 0,2118⁴⁴ euro per kilogram of 37%⁴⁵ meer dan eigen gecompriemd aardgas. Er moet wel opgemerkt worden dat de prijs die voor CNG betaald wordt, verschilt afhankelijk van de calorische waarde van het aardgas. Zo zal hoogcalorisch aardgas duurder zijn omdat het een hogere energie-inhoud heeft. Als een gemiddelde CNG-prijs van 0,7782 euro per kilogram wordt toegepast op de NCW van de beide cases (al de rest gelijkblijvend) wordt een netto contante waarde van 4 886, 46 euro voor case 1 en 3 015,20 euro voor case 2 verkregen (zie bijlage 19 en 20). De brandstofbaat per kilometer daalt en bedraagt 0,1320 en 0,0594 euro per kilometer voor respectievelijk case 1 en 2 (zie tabel 24). Er is in dit geval geen bijkomende investering nodig waardoor deze brandstofbaat nodig is om enkel de investering in de vrachtwagen te dekken. De conclusie is dat als men niet in een tankstation investeert maar CNG gaat tanken, dit duidelijk een positieve NCW oplevert.

⁴⁴ $0,7782 - 0,5664$ (uit tabel 14 rij (6)) = 0,2118

⁴⁵ $0,2118 / 0,5664 = 0,3739$

Hoofdstuk 7: CO₂-reductie-analyse

Naast de economische is er ook nog een ecologische kant aan het investeren in duurzamere transportmiddelen. Uit de literatuur, doorgenomen in paragraaf 5.3.2, bleek dat er geen eensgezindheid bestaat over hoeveel CO₂ er gereduceerd kan worden door het inzetten van aardgas in plaats van diesel. In dit hoofdstuk zal getracht worden te achterhalen wat de CO₂-reductiemogelijkheid is van aardgas en meer bepaald van de twee cases uit de economische analyse.

Er zal, net zoals bij de berekening van de CO₂-uitstoot, gebruikgemaakt worden van het GHG Protocol (GHG Protocol Initiative, 2004). In deze standaard wordt gesteld dat het energieverbruik van de activiteit waarvan men de uitstoot wil berekenen, moet genomen worden. Op dit verbruik moet men vervolgens een gepaste emissiefactor toepassen om de uitstoot van de activiteit te kennen. In paragraaf 3.2 werd gebruikgemaakt van twee verschillende emissiefactoren: een standaard-emissiefactor, waar enkel koolstofdioxide die vrijkomt bij finale verbranding in vervat zit en een tweede emissiefactor, waarin de meest aanwezige broeikasgassen opgenomen werden, namelijk koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄) en stikstofdioxide (NO₂) of lachgas, van elke stap in de levenscyclus tot en met de finale verbranding. Deze laatste factor is een levenscyclus-emissiefactor. Uit de resultaten van paragraaf 3.2 bleek dat het verschil tussen de twee uitstoten, gebaseerd op de twee verschillende emissiefactoren, geen beduidende invloed had op de conclusie. Dit komt doordat er voornamelijk verbranding van fossiele brandstoffen plaatsvond. Bij verbranding hiervan komt namelijk vooral koolstofdioxide vrij. Aardgas is ook een fossiele brandstof, maar het moet eerst samengeperst worden alvorens het getankt kan worden. Deze compressie brengt ook een uitstoot teweeg. De in rekening te brengen uitstoot ontstaat dus niet enkel ten gevolge van de verbranding van aardgas (well-to-wheel), maar ook voordat het aardgas verbrand wordt (tank-to-well). Het samenpersen moet dus als een extra stap in de levenscyclus, waardeketen van aardgas gezien worden. Deze uitstoot moet mee in rekening gebracht worden. Als men dit niet doet, weet men hoe dan ook dat aardgas bij verbranding minder CO₂ uitstoot, omdat het de kleinste waterstofkoolstofratio van alle fossiele brandstoffen heeft (zie paragraaf 5.3.2). Bijgevolg is het ook nodig voor diesel de emissiefactor over de levenscyclus toe te passen. Deze levenscyclus-emissiefactor van diesel is gekend. De levenscyclus-emissiefactor van CNG daarentegen moet nog bepaald worden.

Het energieverbruik van de diesel- en aardgasvrachtwagens, waarop de emissiefactoren worden toegepast, is niet moeilijk te bepalen, daar dit overeenstemt met het verbruik van de vrachtwagens. Dit kunnen we afleiden uit de gegevens van de economische analyse.

7.1 Emissiefactor CNG

CNG is aardgas dat uit de aardgasleidingen komt en is samengeperst tot tussen de 200 en 250 bar, afhankelijk van het type tankstation. (NVGA Europe z.d.^a, IEA, 2010 en Ecofillco, 2010) Om de emissiefactor van CNG te bepalen is het dus nodig de emissiefactor van aardgas en de emissie die de compressie teweegbrengt te kennen. De **emissiefactor van aardgas** werd reeds toegepast voor de GHG-uitstootberekening in paragraaf 3.2.2 (zie tabel 3). Deze bedraagt 0,237 ton CO₂ per MWh. Vermits het verbruik van een aardgasvrachtwagen wordt uitgedrukt in kilogram, is conversie van MWh naar kilogram nodig. Hiervoor wordt allereerst gebruikgemaakt van de calorische waarde van aardgas. Deze bedraagt 9,983 kWh per m³⁴⁶. Dezelfde waarde werd gebruikt bij de economische analyse. Vervolgens moet nog het soortelijk gewicht⁴⁷ van aardgas toegepast worden om te komen tot een emissie van 0,0028403 ton CO₂ per kilogram of **2,8403 kilogram per kilogram** aardgas. Hierbij moet vervolgens de emissie van de compressie geteld worden.

Compressie van aardgas gebeurt met een compressor. Om de emissie ten gevolge van de compressie te bepalen, moet men het elektriciteitsverbruik van de compressor vervat in de tankinstallatie kennen. Hierop wordt dan de levenscyclus-emissiefactor van elektriciteit toegepast. Om deze emissie te bepalen, zullen we ons baseren op het tankstation dat bij de economische analyse in beschouwing werd genomen. Zoals reeds aangehaald onder paragraaf 6.1.2, bevat deze installatie twee compressors van elk 9 kW die alternerend in werking treden. Hierdoor blijft het verbruik op 9 kW. De compressor zal echter niet gedurende het hele uur 9 kW verbruiken, vermits dit geen verbruik over de tijd maar een maximumverbruik is. Men moet dus eigenlijk het verbruik van de compressor over de tijd meten en op basis daarvan het verbruik per uur bepalen. We zullen er ook hier van uitgaan dat er 9 kW per uur wordt verbruikt, hoewel we er ons van bewust zijn dat dit een worst-case-scenario weergeeft. Als er per uur ongeveer 20 m³ samengedrukt kan worden, dan komt dit neer op een elektriciteitsverbruik van 0,45 kWh per m³. De emissiefactor van elektriciteit bedraagt 0,000402 ton CO₂ per kWh (zie tabel 3). Dit brengt de emissie van het comprimeren op 0,0001809 ton CO₂ per m³. Vermits CNG uitgedrukt wordt in kilogram, wordt na het toepassen van het soortelijk gewicht van aardgas de **uitstoot van compressie** 0,0002170 ton CO₂ per kilogram of **0,2172 kilogram CO₂ per kilogram** aardgas. De berekeningen kunt u terugvinden in bijlage 21.

De totale CO₂-uitstoot per kilogram CNG is de som van de CO₂-uitstoot per kilogram aardgas en de CO₂-uitstoot van het samenpersen van 1 kilogram aardgas. Dit bedraagt **3,0575 kilogram CO₂ per kilogram CNG** (zie bijlage 21). Nu deze emissiefactor gekend is, kan overgegaan worden tot het bepalen van de mogelijke CO₂-reductie.

⁴⁶ Factuur Bongaerts Recycling (30/03/2010).

⁴⁷ Soortelijk gewicht van aardgas is 0,83300 kg/m³. (Iveg, 2004)

7.2 Reductiebepaling

De emissiefactor van diesel bedraagt 0,305 ton CO₂ per MWh (zie tabel 3). Vermits het verbruik van een dieselvrachtwagen uitgedrukt wordt in liters, is conversie naar liters nodig. Hiervoor wordt gebruikgemaakt van de conversiefactor van het IPCC (2006)^a. Deze bedraagt 10 liter per kWh. De emissiefactor van diesel wordt dan **3,05 kilogram CO₂ per liter** diesel. Zoals bij prijsvergelijkingen mag ook hier een liter diesel niet vergeleken worden met een kilogram aardgas. Deze hebben namelijk een verschillende energetische inhoud. Een liter diesel stemt niet overeen met een kilogram aardgas, maar wel met ongeveer een m³ aardgas⁴⁸. Als we gebruik maken van het soortelijk gewicht van aardgas⁴⁹ dan bekomen we een uitstoot van **2,5469 kilogram CO₂ per m³**. Vergelijken we dit met de uitstoot van diesel, dan stoot de compressie en verbranding van aardgas 0,5031 kilogram of **16,50%** minder koolstofdioxide uit. Dit lijkt toch al een serieuze besparing. Er moet opgemerkt worden dat dit geen rekening houdt met de verbruiken (energie-efficiëntie) van de vrachtwagenmotoren (diesel ten opzichte van aardgas). Dit verschilt bovendien per case en dus is verdere analyse per case nodig.

Tabel 26: Vergelijking emissiefactoren diesel en CNG

	Emissie
Diesel	3,05 kg CO ₂ -eq./l
CNG	2,5469 kg CO ₂ -eq./m ³
Verschil	0,5031 kg CO₂-eq.

Bron: Tabel 3 en eigen berekeningen

7.2.1 Reductiemogelijkheid case 1: mono-fuel

Er wordt uitgegaan van de gegevens uit het basismodel van case 1 van de economische analyse (zie tabel 13). Als het verbruik van een dieselvrachtwagen 32 liter per 100 kilometer bedraagt en hierop de emissiefactor van diesel wordt toegepast, dan bekomt men een uitstoot per kilometer van 0,976 kilogram of 976 gram. Voor de CNG-vrachtwagen is deze uitstoot een stuk lager. Deze bedraagt 0,764 kilogram per kilometer. Dit is **21,68%**⁵⁰ lager dan de dieselvrachtwagen. Als men het totaal aantal gereden kilometers van het basismodel toepast, verkrijgt men een totale CO₂-reductie van **13,76 ton CO₂ per jaar**. Als men dus een CNG-vrachtwagen met dezelfde specificaties als in het basismodel aankoopt in plaats van een gelijkaardige dieselvrachtwagen, zal dit zeker een verminderde koolstofdioxide-uitstoot betekenen.

⁴⁸ 1 liter diesel = 10 kWh en 1 m³ aardgas Bongaerts Recycling = 9,983 kWh.

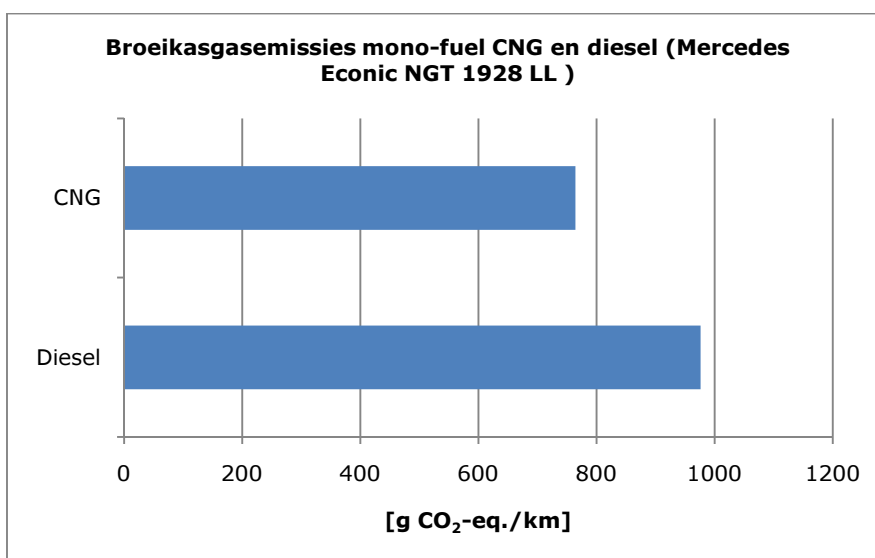
⁴⁹ 0,83300 kg/m³ (Iveg, 2004)

⁵⁰ 1 - (0,7644 / 0,976) = 0,2168

Tabel 27: Emissies van diesel- en aardgasvrachtwagen case 1, mono-fuel

		Diesel	CNG
(1): uit tabel 13 (5) en (6)	Verbruik (liter of kg/ 100km)	32	25
(2)	Emissiefactor (kg CO ₂ -eq./liter of kg)	3,05	3,0575
(3): (1)*(2)/100	Emissie per kilometer (kg CO₂-eq./km)	0,9760	0,7644
(4): uit tabel 13 (4)	Aantal kilometers (km)	65 000	65 000
(5): (3)* (4)/1000	Totale emissie (ton CO ₂ -eq.)	63,44	49,68
(6): (5) Diesel – (5) CNG	Reductie (ton CO ₂ -eq.)		13,76

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 13



Figuur 21: Well-to-wheel-emissies (in g CO₂-eq.) per kilometer van diesel- en aardgasvrachtwagen case 1, mono-fuel

Bron: Tabel 27

Uit de berekeningen blijkt dat de reductie 21,68% bedraagt. Dit in tegenstelling tot de 16,50% berekend zonder rekening te houden met de verbruiken van beide vrachtwagens. Als men het dieselverbruik van 32 liter per 100 kilometer omrekent naar gasverbruik, door te stellen dat dezelfde hoeveelheid energie vereist is, dan bekomt men 26,7 kilogram per 100 kilometer⁵¹ (zie paragraaf 6.1.2.). Dit is een groter verbruik dan het opgegeven verbruik voor deze vrachtwagen van Mercedes. Een verklaring hiervoor kan zijn dat een mono-fuel aardgasmotor niet werkt volgens het principe van een dieselmotor, maar wel volgens het principe van een benzinemotor, dit zorgt voor een verschil in verbruik. Ook verschillen in calorische waarde van aardgas kunnen zorgen voor verschillen in het verbruik.

⁵¹ $((32 \text{ l}/100\text{km} * 10 \text{ kWh/l})/9,983 \text{ kWh/m}^3)*0,833 \text{ kg/m}^3 = 26,7014 \text{ kg}/100\text{km}$

7.2.2 Reductiemogelijkheid case 2: dual-fuel

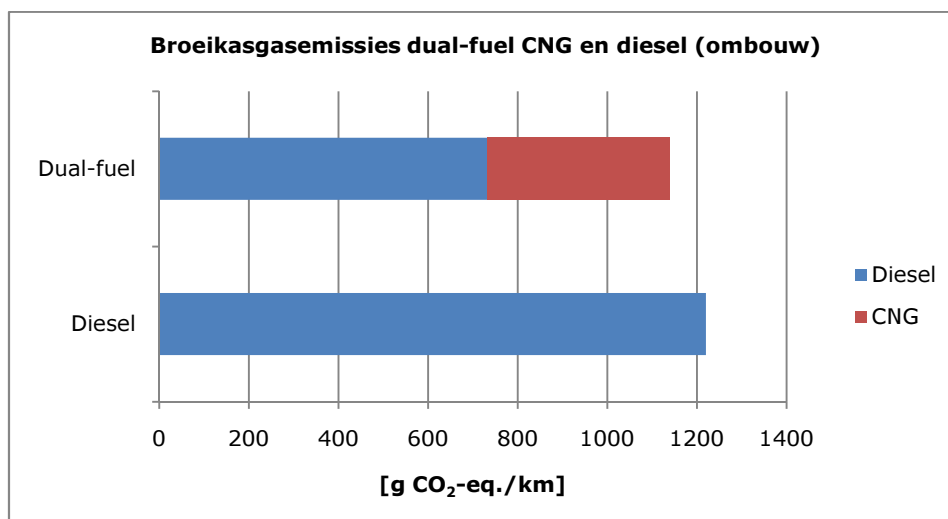
Ook voor deze case wordt uitgegaan van de gegevens uit het basismodel van de economische analyse (zie tabel 15). Als het verbruik van de dieselvrachtwagen 40 liter per 100 kilometer bedraagt en hierop de emissiefactor van diesel wordt toegepast, dan verkrijgt men een uitstoot per kilometer van 1,220 kilogram. Voor de omgebouwde vrachtwagen geldt dat er 40% van de diesel vervangen wordt door aardgas. Er blijft dan nog een verbruik van 24 liter diesel over, wat een uitstoot van 0,732 kilogram per kilometer teweegbrengt. De rest van de diesel wordt vervangen door aardgas. Het verbruik van aardgas is 13,35 kilogram per 100 kilometer. Dit brengt een uitstoot van 0,408 kilogram per kilometer teweeg. De totale uitstoot van de dual-fuel-vrachtwagen bedraagt dan 1,140 kilogram per kilometer. Dit betekent een reductie van **6,54%**⁵² ten opzichte van een gelijkaardige vrachtwagen die volledig op diesel rijdt. Als men vervolgens het aantal gereden kilometers in rekening brengt, komt men tot een totale reductie van **4,79 ton CO₂ per jaar**. Er kan dus wel gesteld worden dat reductie mogelijk is. De mogelijkheid tot reductie van deze vrachtwagen is wel vrij beperkt daar de reductie van de mono-fuel-vrachtwagen bijna drie keer zo groot is (absoluut gezien).

Tabel 28: Emissies van diesel- en aardgasvrachtwagen case 2, dual-fuel

		Traditioneel	Dual-fuel	
		Diesel	Diesel'	CNG
(1): uit tabel 15 (5), (8) en (9)	Verbruik (liter of kg/ 100km)	40	24	13,35
(2)	Emissiefactor (kg CO ₂ -eq./liter of kg)	3,05	3,05	3,0575
(3): (1)*(2)/100	Emissie per kilometer (kg CO₂-eq./km)	1,2200	0,7320	0,4082
(4): uit tabel 15 (4)	Aantal kilometers (km)	60 000	60 000	60 000
(5): (3)* (4)/1000	Totale emissie (ton CO ₂ -eq.)	73,20	43,92	24,49
(6): (5) Diesel – ((5) Diesel' + (5) CNG))	Reductie (ton CO ₂ -eq.)	4,79		

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 15

⁵² $1 - ((0,732 + 0,4082) / 1,220) = 0,6541$



Figuur 22: Well-to-wheel-emissies (in g CO₂-eq.) per kilometer van diesel- en aardgasvrachtwagen case 2, dual-fuel
Bron: Tabel 28

7.3 Sociale baat

We kunnen het investeren in duurzaam transport niet enkel en alleen vanuit het standpunt van het bedrijf bekijken. Dit is het *privaat* standpunt. Als een bedrijf namelijk zijn CO₂-uitstoot wenst te verlagen, draagt dit bij aan het tegengaan van de opwarming van de aarde. Hier heeft de hele wereld baat bij. Het investeren in duurzame oplossingen heeft dus niet enkel economische gevolgen voor het bedrijf alleen, maar ook gevolgen voor de maatschappij in zijn geheel. Deze gevolgen⁵³ worden meestal niet opgenomen in economische analyses. De baten worden daarom ook wel **externe of sociale baten** genoemd.

Het omzetten van de CO₂-reductie in monetaire termen, kan een manier zijn om aan deze sociale baat waarde te geven. Dit kan met behulp van de prijs van de CO₂-emissierechten. De prijs hiervan schommelt momenteel (maart, 2011) rond de 17 euro per ton CO₂. De Deutsche Bank verwacht dat deze prijs eind 2011, 18 euro per ton CO₂ wordt. Prognoses voor 2020 liggen gemiddeld rond de 30 euro per ton CO₂. De toekomstige prijs is echter sterk afhankelijk van de groei van de economie en het toekomstig beleid van de Europese Unie en dus moeilijk in te schatten. Er zal in de berekening van de sociale baat een prijs van 18 euro verondersteld worden. (Emissierechten.nl, 2011)

De totale nominale baat bekomen we door de reductie te vermenigvuldigen met de prijs van een ton CO₂. Net zoals bij de berekening van de NCW van de private baten moet ook hier rekening

⁵³ Kosten of baten

gehouden worden met de tijdswaarde van het geld, door gebruik te maken van een nominale interestvoet (r). Er is normaal gezien een verschil tussen de private en de sociale tijdsvoorkeur of interestvoet. De reële sociale tijdsvoorkeur (s) bestaat uit verschillende componenten (zie bijlage 22) en ligt meestal rond de 3 tot 4%. Als we deze vastleggen op 4% en de formule in paragraaf 6.3 toepassen met een inflatie van 2,19%, wordt dit nominaal 6,28%. De nominale interestvoet voor de sociale baat is dus in dit geval gelijk aan deze van de private baat⁵⁴ (zie paragraaf 6.3).

Case 1: mono-fuel

Als een reductie van 13,76 ton CO₂ per jaar wordt verondersteld voor een vrachtwagen die jaarlijks 65 000 kilometer aflegt, dan is de NCW van de baten over de vijf jaar **1035,20 euro**.

Tabel 29: Berekening NCW van sociale baat case 1, mono-fuel

	Jaar	0	1	2	3	4	5
(1): zie tabel 27 (6)	Aantal ton CO ₂		13,76	13,76	13,76	13,76	13,76
(2)	Prijs CO ₂ per ton		18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
(3): (2)*(1)	Totaal		247,61	247,61	247,61	247,61	247,61
(4): (3)/ (1+ 0,0628) ^ jaar	Actuele waarden		232,98	219,22	206,27	194,09	182,63
(5): som rij (4)	Netto contante waarde	1 035,20					

Bron: Berekeningen op basis van tabel 27

Case 2: dual-fuel

Als een reductie van 4,79 ton CO₂ per jaar wordt verondersteld voor een vrachtwagen die jaarlijks 60 000 kilometer aflegt, dan is de NCW van de baten over de vijf jaar **360,39 euro**.

Tabel 30: Berekening NCW van sociale baat case 2, dual-fuel

	Jaar	0	1	2	3	4	5
(1): uit tabel 28 (6)	Aantal ton CO ₂		4,79	4,79	4,79	4,79	4,79
(2)	Prijs CO ₂ per ton		18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
(3): (2)*(1)	Totaal		86,20	86,20	86,20	86,20	86,20
(4): (3)/ (1+ 0,0628) ^ jaar	Actuele waarden		81,11	76,32	71,81	67,57	63,58
(5): som rij (4)	Netto contante waarde	360,38					

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 28

Er kan vastgesteld worden dat de sociale baten veel kleiner zijn dan de private baten (zonder tankstation). Bovendien zijn de sociale baten, zoals in de economische analyse, afhankelijk van het aantal gereden kilometers. Voor transportbedrijven zal deze baat dus veel hoger zijn. Een andere parameter die een belangrijke invloed kan hebben, is het gasverbruik van de vrachtwagens. Tevens moet opgemerkt worden dat de berekende bedragen niet de gehele sociale baat in rekening brengen, maar enkel de baat van CO₂-reductie. Dit is mogelijk doordat emissierechten verhandeld kunnen worden waardoor er een markt en dus ook een prijs voor een ton CO₂ bestaat. Voor andere

⁵⁴ Meestal is de private interestvoet groter dan de sociale interestvoet (zie paragraaf 6.3).

mogelijke voordelen, zoals vermindering van fijn stof en geluid, is het moeilijker een schatting te maken van deze baat, daar dit niet als een goed verhandeld wordt.

7.4 Conclusie

De standaard-emissiefactoren van aardgas en diesel zijn respectievelijk 0,202 ton CO₂ per MWh en 0,267 ton CO₂ per MWh. (IPCC, 2006)^a Als men deze vergelijkt, dan kan men vaststellen dat bij de verbranding van aardgas ongeveer 24%⁵⁵ minder CO₂ de lucht in gaat. Dit is ook wat de literatuur suggereert als zijnde de CO₂-vermindering, als men enkel naar de verbranding kijkt en geen rekening houdt met energie-efficiëntie. Diesel is een product dat af is en zo getankt kan worden, aardgas daarentegen niet. Dit moet eerst voldoende samengeperst worden alvorens tanken mogelijk is. De uitstoot die de compressie teweegbrengt, moet dus ook in rekening gebracht worden. Hierdoor is het nodig om ook voor diesel met levenscyclus-emissiefactoren te werken. De totale levenscyclus-emissiefactor van CNG bedroeg 2,5469 kilogram CO₂ per m³ en van diesel 3,05 kilogram CO₂ per liter. Als men deze twee waarden met elkaar vergelijkt, levert aardgas een reductie van 16,50% op. Dit is 7,5% minder dan wanneer de uitstoot van compressie niet in rekening wordt gebracht en enkel rekening gehouden wordt met CO₂ bij verbranding. Het feit dat het aardgas nog samengeperst moet worden, zorgt ervoor dat het reductiepotentieel verlaagt. Als de emissiefactoren worden toegepast op de verbruiken van de verschillende cases, kan vastgesteld worden dat de reductiemogelijkheid sterk verschilt. Zo zou het aanschaffen van een mono-fuel-vrachtwagen op aardgas in plaats van een dieselvrachtwagen, een reductie van 21,68% kunnen opleveren. Voor een omgebouwde vrachtwagen daarentegen zou dit slechts 6,54% bedragen.

De reductie van de mono-fuel-vrachtwagen is relatief groot in vergelijking met wat in de literatuur terug te vinden is. Beer et al. (2002) kwamen na het uitvoeren van een levenscyclusanalyse op een reductie tussen de 12% en de 8%. López et al. (2009) vonden een tank-to-wheel-reductie van 12,8%. NGVA Europe (2009) verwacht dan weer dat dit rond de 10% ligt.

De relatief kleine well-to-wheel-reductie voor de omgebouwde dual-fuel-vrachtwagen stemt ook niet overeen met wat in de literatuur gevonden werd. Zo stelden Graham et al. (2008) al tank-to-wheel-reducties van 10% tot 20% vast voor een omgebouwde dual-fuel-vrachtwagen. Volgens Arteconi et al. (2010) bedroegen deze ongeveer 14%. De well-to-wheel-reductie verlaagde volgens deze studie naar 0% tot 10%, afhankelijk van het type LNG. Deze studies gaan er vanuit dat er 91,4% aardgas en 8,6% diesel wordt ingespoten, in tegenstelling tot de 40% gasinspuiting die verondersteld werd. Dit kan een reden zijn waarom de reducties hoger zijn. Een tweede opmerking die gemaakt moet worden is dat Arteconi et al. (2010) en Graham et al. (2008) de broeikasgasuitstoot van LNG onderzochten en niet van CNG. Andere studies zoals de studie van

⁵⁵ $1 - (0,202 / 0,267) = 0,2434$

Beer et al. (2002) stellen dat LNG een hogere levenscyclus-uitstoot teweegbrengt dan CNG, omdat het vloeibaar maken van aardgas zeer veel energie vereist. Hierdoor zou dus eigenlijk het reductiepotentieel van CNG hoger moeten zijn in vergelijking met LNG. Dit blijkt echter niet zo als we de resultaten vergelijken met deze van Arteconi et al. (2010) en Graham et al. (2008). Hieruit kan vastgesteld worden dat de hoeveelheid ingespoten aardgas waarschijnlijk een grote invloed heeft op het reductiepotentieel. Zoals reeds aangehaald is dit percentage afhankelijk van de belasting van de motor en dus moeilijk in te schatten. In een latere sensitiviteitsanalyse van de gevalstudie zal nagegaan worden of dit inderdaad een invloedrijke parameter is.

Vermits voor beide cases de reducties geenszins overeenstemmen met wat in de literatuur vastgesteld werd, is het moeilijk om een algemene conclusie te stellen. Het verschil met de literatuur is volgens ons te wijten aan het verschil in vrachtwagens en dus een verschil in de technologie. Dit is ook wat het IEA (2010) vaststelt. Ze stellen namelijk dat de reductie sterk afhankelijk is van het type voertuig. Ook het feit dat in dit geval de uitstoot niet effectief gemeten werd maar enkel berekend, kan er volgens ons voor zorgen dat er verschillen zijn met andere studies. Bovendien geeft het IEA (2010) nog een andere reden waarom er grote verschillen kunnen optreden. Zo kunnen de well-to-tank-emissies sterk variëren afhankelijk van waar het aardgas van afkomstig is en hoeveel stappen er in de waardeketen er zijn.

Ten slotte is het mogelijk deze CO₂-reductie, die een baat is voor de hele maatschappij, uit te drukken in monetaire termen. Voor case 1 en case 2 worden sociale baten van respectievelijk 1035,20 euro en 360,39 euro gevonden, maar ook deze uitkomsten zijn onderhevig aan onzekerheid.

Hoofdstuk 8: Toepassing voor Bongaerts Recycling

8.1 Economische analyse

8.1.1 Gegevens

Bij Bongaerts Recycling reden er in 2009, het basisjaar van de CO₂-voetafdrukberekening, 17 vrachtwagens. Dit zijn vrachtwagens van verschillende types. Het merendeel van de vloot bestaat uit containervrachtwagens. Het aantal bedraagt 10. Daarnaast zijn er ook nog twee schuifzeilvrachtwagens en drie trekkers. Ook is er nog één persvrachtwagen en één distributievrachtwagen. Om over te gaan tot het onderzoeken van de economische haalbaarheid voor het inzetten van aardgasvrachtwagens voor Bongaerts Recycling, is het nodig een opdeling te maken tussen de twee cases uit hoofdstuk 7 en na te gaan welke vrachtwagens onder welke case horen. De afschrijvingsduur van de vrachtwagens wordt zoals in het basisscenario vastgelegd op 5 jaar. De levensduur kan soms wel de afschrijvingsduur overschrijden, maar zoals waargenomen in het theoretisch (basis)model komt dit de NCW enkel maar ten goede omdat er dan meer brandstofbaten ontstaan. Hier wordt echter geen rekening mee gehouden.

Er zijn een aantal gegevens die voor beide cases gelijk blijven aan deze van het theoretisch model. Zo blijft de aardgasprijs voor beide cases gelijk aan deze van het theoretisch model aangezien deze gebaseerd is op gegevens van Bongaerts Recycling. Dit komt doordat de aardgasprijs moeilijk in te schatten is omdat er prijsverschillen zijn tussen de verbruikerscategorieën van industriële gebruikers. Tevens blijven de kosten van het comprimeren gelijk aan deze in het basisscenario om dezelfde reden. Ook de groeivoet van zowel de diesel- als de aardgasprijs blijven gelijk, alsook de groeivoet van de kosten van het comprimeren.

De dieselprijs verschilt van deze van het basisscenario voor beide cases. De plafondprijs exclusief BTW uit het basisscenario van het theoretisch model bedroeg in 2010 gemiddeld 0,9932 euro per liter. Vermits Bongaerts Recycling een grote afnemer is van diesel, worden er hoeveelheidskortingen toegekend. Hierdoor ligt de prijs een heel stuk lager. Zo bedroeg de dieselprijs exclusief BTW in 2010 gemiddeld **0,8665 euro per liter**.

8.1.2 Berekening NCW

Case 1: mono-fuel

Aangezien de mono-fuel-technologie enkel ingezet kan worden voor relatief lichte vrachtwagens, kan hiervan slechts in mindere mate gebruikgemaakt worden door Bongaerts Recycling. Er rijdt maar één relatief lichte vrachtwagen, namelijk de distributievrachtwagen. Er zou dus maar

maximaal één vrachtwagen vervangen kunnen worden door een nieuwe mono-fuel-aardgasvrachtwagen. Het aantal jaarlijks afgelegde kilometers voor deze vrachtwagen bedraagt ongeveer **15 000 kilometer**. Wat betreft de **ecologiepremie**, werd er vastgesteld dat deze voor Bongaerts Recycling van toepassing is. Aangezien het bedrijf onder de categorie van de KMO's valt, is een totale premie van 10% van 20% van de aankoopprijs⁵⁶ mogelijk. Voor het bepalen van de hoogte van deze steun, is het nodig de aanschafprijs te kennen. Volgens de verkregen offerte bedraagt deze van de Mercedes Econic NGT 1928 LL **94 649,00 euro** exclusief BTW. De kostprijs van de Mercedes Econic NGT 1928 LL wordt als richtlijn genomen om de hoogte van de ecologiepremie te bepalen. We zijn ons ervan bewust dat deze aanschafprijs kan variëren van merk tot merk, zoals dat ook bij de meerprijs het geval is. Na navraag blijkt Mercedes gemiddeld, tot lager dan gemiddeld te scoren wat betreft kostprijs (zie tabel 9). Aangezien het de bedoeling is een algemene economische analyse uit te voeren van een aardgasvrachtwagen, onafhankelijk van welk merk, is het goed om met gemiddeldes te werken.

Tabel 31: Gegevens NCW-berekening basisscenario case 1 Bongaerts Recycling

	Gegevens basisscenario	Case 1
(1)	Meerprijs (€)	28 000
(2)	Ecologiepremie (%)	2
(3)	Verhoogde investeringsaftrek (%)	0
(4)	Aantal km (km)	15 000
(5)	Verbruik diesel (liter/100 km)	32
(6)	Verbruik CNG (kg/100 km)	25
(7)	Prijs diesel excl. BTW (€/liter)	0,8556
(8)	Groeivoet dieselprijs (%)	2,73
(9)	Prijs aardgas excl. BTW (€/kg)	0,4898
(10)	Groeivoet aardgasprijs (%)	2,73
(11)	Kosten comprimeren ((€/kg)	0,0613
(12)	Groeivoet kost comprimeren (%)	3,5
(13)	Accijnzen CNG (€/kg)	0
(14)	Extra onderhoud (€)	0
(15)	Extra verzekering (€)	0
(16)	Extra Eurovignet (€)	0
(17)	Extra verkeersbelasting (€)	0
(18)	Technische keuring (€)	0
(19)	Verschil in restwaarde (€)	0
(20)	Nominale interestvoet (%)	6,28
(21)	Belastingsvoet (%)	33,9

Bron: Eigen informatieverzameling

⁵⁶ Dit is 2% van de aanschafprijs.

Zoals kan waargenomen worden in onderstaande tabel is ondanks het verkrijgen van steun ter hoogte van 1892,98 euro, de NCW niet groter dan in het theoretisch model. Dit komt onder andere doordat er in vergelijking met het basismodel 45 000 kilometer minder gereden wordt. Het feit dat de dieselkost veel lager is dan in het theoretisch model, met name 13,85%⁵⁷, zorgt er bovendien voor dat de netto brandstofbaat niet erg groot is, namelijk slechts 2095,27 euro in jaar 1. Hierdoor kan de meerprijs niet gedekt worden. De NCW van case 1 bedraagt – **12 085,30 euro**. Deze case kan bijgevolg, zelfs als het tankstation nog niet in beschouwing wordt genomen, niet aanvaard worden.

Tabel 32: Berekening NCW basisscenario case 1, distributievrachtwagen

	Jaar	0	1	2	3	4	5
(1): uit tabel 31 (1)	Investeringskost	-28 000,00					
(2): uit tabel 31(2) * 94 649,00	Ecologiepremie	-1 892,98					
(3): (1)-(2)	Netto investeringskost	-26 107,02					
(4): (1)/5	Afschrijvingen		5 600,00	5 600,00	5 600,00	5 600,00	5 600,00
(5): (4)*uit tabel 31 (21)	Belastingsschild afschrijvingen		1 898,40	1 898,40	1 898,40	1 898,40	1 898,40
(6): uit tabel 31 (4)	Aantal km		15 000	15 000	15 000	15 000	15 000
(7): (4)*uit tabel 31 (6)/100	Aantal kg CNG		3 750,00	3 750,00	3 750,00	3 750,00	3 750,00
(8): uit tabel 31 (((9)+(13))*((1+(10))^jaar)))+((11)*((1+(12))^jaar))	Prijs CNG		0,5664	0,5823	0,5987	0,6156	0,6329
(9): (7)*(8)	Kost CNG		2 123,92	2 183,73	2 245,25	2 308,50	2 373,56
(10): (4)*uit tabel 31 (5)/100	Aantal liter diesel		4 800,00	4 800,00	4 800,00	4 800,00	4 800,00
(11): uit tabel 31 (7)*((1+(8))^jaar)	Prijs diesel		0,8790	0,9030	0,9276	0,9530	0,9790
(12): (10)*(11)	Kost diesel		4 219,18	4 334,37	4 452,70	4 574,25	4 699,13
(13): (12)-(9)	Totale brandstofbaat		2 095,27	2 150,64	2 207,45	2 265,75	2 325,57
(14): (13)/(6)	Brandstofbaat per km		0,1397	0,1434	0,1472	0,1511	0,1550
(15): (13)* (1-uit tabel 31 (21))	Netto brandstofbaat		1 384,97	1 421,57	1 459,12	1 497,66	1 537,20
(16): uit tabel 31 (14)	Onderhoud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17): uit tabel 31 (15)	Verzekering		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18): uit tabel 31 (16)	Eurovignet		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19): uit tabel 31 (17)	Verkeersbelasting		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20): uit tabel 31 (18)	Technische keuring		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21): (3)+(5)+(15)+(16)+(17)+ (18)+(19)+(20)	Totaal	-26 107,02	3 283,37	3 319,97	3 357,52	3 396,06	3 435,60
(22): (21)/(1+0,0628)^jaar	Actuele waarden	-26 107,02	3 089,43	2 939,35	2 797,01	2 662,00	2 533,93
(23): som rij (22)	Netto contante waarde	-12 085,30					

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 31

Case 2a: dual-fuel

Bij Bongaerts Recycling rijden voornamelijk zware vrachtwagens van ongeveer 400 pk. Aangezien de dual-fuel-technologie ingezet kan worden voor relatief zware vrachtwagens, biedt dit een oplossing voor het probleem van de mono-fuel-technologie. Er rijden wel verschillende types zware vrachtwagens bij Bongaerts Recycling. Zo rijden er een tiental containervrachtwagens. Daarnaast zijn er ook nog twee schuifzeilvrachtwagens, drie trekkers en één persvrachtwagen. Vermits de

⁵⁷ $1-(0,8556/0,9932)=13,85$

containervrachtwagens het merendeel van de vloot uitmaken en het grootste verbruik hebben, zal eerst en vooral hiervoor bekeken worden wat de economische haalbaarheid is van het vervangen van deze vrachtwagens door aardgasmodellen.

Het aantal jaarlijks afgelegde kilometers bedraagt voor een containervrachtwagen gemiddeld **60 000 kilometer**. Deze vrachtwagens verbruiken relatief veel, ongeveer **46 liter per 100 kilometer**, wat 6 liter per 100 kilometer meer is dan in het basismodel. Hierdoor kan er in vergelijking met het theoretisch model, absoluut gezien, meer diesel vervangen worden door aardgas. Het verbruik van de omgebouwde aardgasvrachtwagen is 27,6 liter diesel en 15,4 kilogram aardgas. Verder is ook hier steun door middel van de ecologiepremie mogelijk. De steun voor KMO's bedraagt 10% van de meerkost. Hierdoor kan 10% van de aanschafprijs, namelijk **1025 euro** als subsidie ontvangen worden.

Tabel 33: Gegevens NCW-berekening basisscenario case 2a Bongaerts Recycling

	Gegevens basisscenario	Case 2
(1)	Kost ombouw (€)	10 250
(2)	Ecologiepremie (%)	10
(3)	Verhoogde investeringsaftrek (%)	0
(4)	Aantal km (km)	60 000
(5)	Verbruik diesel (liter/100 km)	46
(6)	Hoeveelheid vervangen diesel (%)	40
(7)	Omzettingfactor (kg aardgas/liter diesel)	0,8344
(8): (5)* (1-(6))	Verbruik diesel (liter/100 km)	27,6
(9): (5)*(6)*(7)	Verbruik CNG (kg/100 km)	15,35
(10)	Prijs diesel excl. BTW (€/liter)	0,8556
(11)	Groeivoet dieselprijs (%)	2,73
(12)	Prijs aardgas excl. BTW (€/kg)	0,4898
(13)	Groeivoet aardgasprijs (%)	2,73
(14)	Kosten comprimeren ((€/kg)	0,0613
(15)	Groeivoet kost comprimeren (%)	3,5
(16)	Accijnzen CNG (€/kg)	0
(17)	Extra onderhoud (€)	0
(18)	Extra verzekering (€)	0
(19)	Extra Eurovignet (€)	0
(20)	Extra verkeersbelasting (€)	0
(21)	Technische keuring (€)	0
(22)	Verschil in restwaarde (€)	0
(23)	Nominale interestvoet (%)	6,28
(24)	Belastingsvoet (%)	33,9

Bron: Eigen informatieverzameling

Ondanks het feit dat er absoluut gezien meer aardgas vervangen wordt door diesel en er een subsidie ontvangen wordt, is de NCW kleiner in vergelijking met het theoretisch model. Deze blijft, in tegenstelling tot case 1, wel positief. De daling van de NCW komt doordat de brandstofbaat (per kilometer) verkleind is omdat de diesel in de gevalstudie veel goedkoper is dan in het basismodel. Hierdoor wordt het moeilijker om de investeringskost te dekken en extra baten te genereren.

Tabel 34: Berekening NCW basisscenario case 2a, containervrachtwagen

Jaar	0	1	2	3	4	5
(1): uit tabel 33 (1)	Investeringskost	-10 250,00				
(2): uit tabel 33 (2)*(1)	Ecologiepremie	1 025,00				
(3): (1)-(2)	Netto investeringskost	-9 225,00				
(4): (1)/5	Afschrijvingen	2 050	2 050	2 050	2 050	2 050
(5): (4)* uit tabel 33 (24)	Belastingsschild afschrijvingen	694,95	694,95	694,95	694,95	694,95
(6): uit tabel 33 (4)	Aantal km	60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00
(7): (6)*uit tabel 33 (9)/100	Aantal kg CNG	9 211,98	9 211,98	9 211,98	9 211,98	9 211,98
(8): uit tabel 33 (((12)+(16))*((1+(13))^jaar))+((14))*((1+(15))^jaar)	Prijs CNG	0,5664	0,5823	0,5987	0,6156	0,6329
(9): (7)*(8)	Kost CNG	5 217,46	5 364,40	5 515,51	5 670,91	5 830,71
(10): (6)*uit tabel 33 (8)/100	Resterend aantal liter diesel	16 560,00	16 560,00	16 560,00	16 560,00	16 560,00
(11): (6)*uit tabel 33 (5)/100	Aantal liter diesel	27 600,00	27 600,00	27 600,00	27 600,00	27 600,00
(12): uit tabel 33 (10)*((1+(11))^jaar)	Prijs diesel	0,8790	0,9030	0,9276	0,9530	0,9790
(13): (10)*(12)	Kost resterende diesel	14 556,19	14 953,57	15 361,80	15 781,18	16 212,00
(14): (11)*(12)	Kost diesel	24 260,31	24 922,62	25 603,00	26 301,96	27 020,01
(15): (14)-((9)+13))	Totale brandstofbaat	4 486,66	4 604,65	4 725,69	4 849,88	4 977,29
(16): (15)/(6)	Brandstofbaat per km	0,0748	0,0767	0,0788	0,0808	0,0830
(17): (15)*(1- uit tabel 33 (24))	Netto brandstofbaat	2 965,68	3 043,67	3 123,68	3 205,77	3 289,99
(18): uit tabel 33 (17)	Onderhoud	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19): uit tabel 33 (18)	Verzekering	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20): uit tabel 33 (19)	Eurovignet	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21): uit tabel 33 (20)	Verkeersbelasting	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22): uit tabel 33 (21)	Technische keuring	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23): (3)+(5)+(17)+(18)+(19)+(20)+(21)+(22)	Totaal	-9 225,00	3 660,63	3 738,62	3 818,63	3 900,72
(24): (23)/(1+0,0628)^jaar	Actuele waarden	-9 225,00	3 444,41	3 310,00	3 181,14	3 057,58
(25): som rij (24)	Netto contante waarde	6 707,22				

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 33

Vermits er een tiental containervrachtwagens bij Bongaerts Recycling in gebruik zijn, moet deze NCW van **6 707,22 euro** vermenigvuldigd worden met 10 als men alle vrachtwagens in een keer laat ombouwen. De totale NCW bedraagt dan **67 072,16 euro**.

Tankstation

Aangezien het plaatsen van een aardgastankstation op dit moment een voorwaarde voor CNG-gebruik is, zal de NCW hiervan voor Bongaerts Recycling ook berekend worden. Het enige verschil met de NCW-berekening van het tankstation uit het basismodel is het opnemen van de ecologiepremie. Zoals reeds aangehaald, is Bongaerts Recycling een KMO die deze premie kan ontvangen wanneer deze aangevraagd wordt. De steun voor KMO's bedraagt op dit moment 10%

van de meerkost. De aanschafkost van een aardgastankstation wordt geheel gezien als meerkost. Hierdoor kan 10% van de aanschafprijs van 155 000 euro als subsidie ontvangen worden. Dit betekent een steun van 15 500 euro. Vermits de investering werd opgenomen in verhouding tot het aantal jaar waarop de vrachtwagen en installatie worden afgeschreven, namelijk 1 op 3, leek het logisch ook enkel de steun in verhouding op te nemen.

Tabel 35: Gegevens NCW-berekening tankstation Bongaerts Recycling

	Gegevens basisscenario	Tankstation
(1)	Investering (€)	51 666,67
(2)	Ecologiepremie (%)	10
(3)	Verhoogde investeringsaftrek (%)	0
(4)	Jaarlijks onderhoud (€)	2 500
(5)	Keuring (€)	2 750
(6)	Gasaansluiting (€)	500
(7)	Nominale interestvoet (%)	6,28
(8)	Belastingsvoet (%)	33,9

Bron: Eigen informatieverzameling

De NCW van de investering in een aardgastankstation bedraagt - **47 443,28 euro**. Dit kan u waarnemen in onderstaande tabel.

Tabel 36: Berekening NCW tankstation Bongaerts Recycling

	Jaar	0	1	2	3	4	5
(1): uit tabel 35 (1)	Investeringskost	-51 666,67					
(2): (1)* uit tabel 35 (2)	Ecologiepremie	5 166,67					
(3): (1)-(2)	Netto investeringskost	46 500,00					
(4): (1)/5	Afschrijvingen		10 333,33	10 333,33	10 333,33	10 333,33	10 333,33
(5): (4)* uit tabel 35 (8)	Belastingsschild afschrijvingen		3 503,00	3 503,00	3 503,00	3 503,00	3 503,00
(6): uit tabel 35 (4)	Jaarlijks onderhoud		-2 500,00	-2 500,00	-2 500,00	-2 500,00	-2 500,00
(7): uit tabel 35 (5)	Keuring	-2 750,00	-	-	-	-	-
(8): uit tabel 35 (6)	Gasaansluiting	- 500,00	-	-	-	-	-
(9): (6)+(7)+(8)	Totale kosten	-3 250,00	-2 500,00	-2 500,00	-2 500,00	-2 500,00	-2 500,00
(10): (3)+(5)+(9)	Totaal	43 250,00	1 003,00	1 003,00	1 003,00	1 003,00	1 003,00
(11): (10)/(1+0,0628)^jaar	Actuele waarden	43 250,00	943,75	888,01	835,56	786,20	739,76
(12): som rij (11)	Netto contante waarde	-47 443,28					

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 35

Daar men in beide cases rekening moet houden met een NCW van - 47 443,28 euro voor het plaatsen van het tankstation, moet men deze optellen bij de NCW van elke case afzonderlijk. Voor case 1 is de NCW van de combinatie hoe dan ook negatief omdat de NCW van de vrachtwagen op zich al negatief is. De **mono-fuel-technologie** is dus **niet economisch haalbaar** voor Bongaerts Recycling.

Ook voor case 2a leidt het opnemen van de NCW van het aardgastankstation in combinatie met het ombouwen van één vrachtwagen, zoals verwacht, tot een negatief bedrag namelijk **-40 736,07**

euro. Het ombouwen van één vrachtwagen en het tegelijk aanschaffen van een tankstation is ook hier niet economisch haalbaar door de hoge kost van het tankstation. Als men echter alle containervrachtwagens in een keer zou laten ombouwen, bedraagt de NCW **19 628,88 euro**. Aangezien het ombouwen van alle containervrachtwagens in combinatie met het plaatsen van een tankstation een grote positieve NCW oplevert, is het waarschijnlijk nog interessanter de hele vloot om te bouwen.

De gegevens voor de berekening van de NCW van het ombouwen van de gehele vloot blijven hetzelfde als in case 2a, alleen komen hierbij nog de verbruik- en kilometergegevens van de andere vrachtwagens. We gaan ervan uit dat de ombouwkost voor elke vrachtwagen gelijk blijft alsook het percentage vervangen diesel. We zijn ons ervan bewust dat dit percentage afhankelijk is van de belasting van de motor en dus van het type vrachtwagen. Hierdoor moet in principe dit percentage verschillen per type vrachtwagen. Dit zou men uit de praktijk moeten kunnen waarnemen, maar hiervan werden geen gegevens teruggevonden.

Tabel 37: Gegevens NCW-berekening basisscenario case 2b Bongaerts Recycling

Type vrachtwagen	Aantal	Verbruik diesel (liter/100 km)	Aantal km (km)
Containervrachtwagen	10	46	60 000
Trekker	3	34	110 000
Schuifzeilvrachtwagen	2	41	66 000
Persvrachtwagen	1	42	39 000
Distributievrachtwagen	1	20	15 000

Bron: Eigen informatieverzameling

Als men de NCW van elk type vrachtwagen apart berekent zoals in case 2a, verkrijgt men **11 332,68 euro per trekker, 6 452,34 euro per schuifzeilvrachtwagen, 1 411,53 euro voor de persvrachtwagen** en **-4 903,64 euro voor de distributievrachtwagen**. Hierbij komt dan nog **6 707,22 euro** per containervrachtwagen, berekend in case 2a. Als men vervolgens rekening houdt met het aantal vrachtwagens, verkrijgt men een totale NCW van **110 482,78 euro**. Dit zorgt ervoor dat de NCW van het totale project positief wordt, namelijk **63 039,50 euro**. Het is dus wel economisch haalbaar om de gehele vloot van Bongaerts Recycling om te bouwen en tevens te investeren in een tankinstallatie. De combinatie van de NCW'en is positief, maar zoals men kan vaststellen en zoals verwacht is de NCW van de distributievrachtwagen negatief. Dit komt wederom door het te laag aantal gereden kilometers en verbruik, zoals in case 1 ook al het geval was voor. Logischerwijze heeft men liefst een zo hoog mogelijke NCW en investeert men niet indien de NCW kleiner is dan nul. Als vervolgens de negatieve NCW uit de combinatie worden gelaten, verkrijgt men een hogere NCW, namelijk **67 943,13 euro**. De berekeningen van de verschillende NCW'en kunnen teruggevonden worden in bijlage 23.

Tot slot is het interessant om na te gaan hoeveel vrachtwagens er minimaal omgebouwd moeten worden opdat de NCW van het totale project positief is. Door het feit dat elk type vrachtwagen een andere NCW oplevert, zijn er verschillende combinaties mogelijk. Het ombouwen van drie trekkers en drie containervrachtwagens levert de grootste NCW op waarbij het minst aantal vrachtwagens omgebouwd moeten worden.

8.1.3 Sensitiviteitsanalyse

Een positieve NCW van **67 943,13 euro** zoals in case 2b wanneer alle containerwagens, trekkers, schuifzeilvrachtwagens en de perswagens vervangen zijn en een tankstation geplaatst wordt, is voor het bedrijf enkel zinvol als men er zeker van is dat deze positief is en blijft in de toekomst. Aangezien de berekeningen van case 2b gebaseerd zijn op puntschattingen, is men niet voor 100% zeker dat deze NCW zich zal voordoen in de toekomst. Dit komt door de onzekerheid die inherent is aan voorspellingen. Een bedrijf verlangt echter naar een bepaalde zekerheid om het risico op een negatieve uitkomst zoveel mogelijk te vermijden. Met behulp van simulaties (Monte-Carlo-simulatie, Crystal Ball, zie paragraaf 6.4) kunnen we nagaan hoe groot de kans is dat de NCW positief is wanneer een aantal belangrijke parameters tegelijk variëren binnen een bepaald interval of 'range' en welke parameters een grote invloed hebben op de NCW.

Een eerste parameter die we toestaan te variëren is de ombouwkost. Deze hebben we laten variëren tussen de grenzen opgegeven door fabrikant MAN, waarbij het gemiddelde de meeste kans heeft om voor te komen. Vermits het aantal kilometers en het verbruik kunnen verschillen, werd ook gekozen hierop een variatie toe te laten. Deze bedraagt 5%. Uit de gegevens blijkt dat het aantal gereden kilometers en het verbruik bij Bongaerts Recycling erg verschillend zijn tussen de vrachtwagens. Zo zijn er containervrachtwagens die 80 000 kilometer per jaar afleggen, maar er zijn er ook met slechts 52 000 kilometer. Ook over verschillende jaren is er een verschil. Het is dus moeilijk een interval te bepalen voor alle containervrachtwagens. Dit geldt ook voor de andere types vrachtwagens. De grenzen van de 'hoeveelheid vervangen diesel' worden vastgesteld op 35% en 45%. Zoals reeds aangehaald zijn deze afhankelijk van de motorbelasting en werden hiervoor uiteenlopende waarden gevonden. Uit de sensitiviteitsanalyse van het theoretisch (basis)model bleek deze parameter een grote invloed te hebben, ook indien dit klein interval vastgelegd werd. Vervolgens laten we ook nog de diesel- en aardgasprijs variëren. Ook de groeivoet van de dieselprijs laten we toe te veranderen. Hierdoor varieert ook de aardgasprijs-groeivoet, aangezien deze aan elkaar gekoppeld zijn. De groeivoet van de kost van het comprimeren wordt tevens toegestaan te schommelen. Ten slotte is het in de toekomst steeds mogelijk dat er accijnzen op aardgas komen. In het theoretisch model bleek deze factor bovendien een grote invloed te hebben. Het interval hiervan werd vastgelegd op basis van de accijns bepaald in de sensitiviteitsanalyse van het theoretisch model. In onderstaande tabel kan men de toegelaten

intervallen voor de verschillende parameters terugvinden evenals de gekozen waarschijnlijkheidsverdeling.

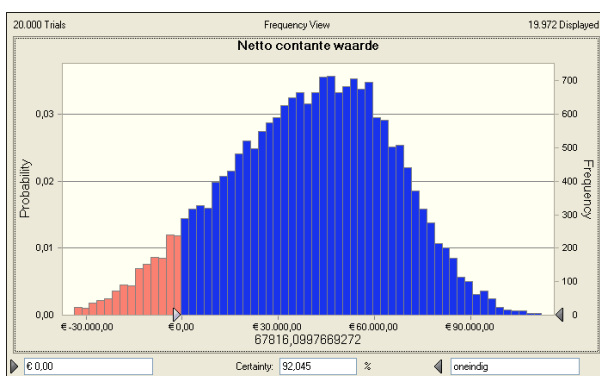
Tabel 38: Interval en waarschijnlijkheidsverdeling van verschillende parameters voor simulatie case 2b Bongaerts Recycling

Parameters simulatie	Verdeling	Verandering	Minimum	Basiswaarden	Maximum
Ombouwkost	Driehoek	uiterst gegeven prijzen	8000	10250	12500
Gemiddeld aantal km (km) containervrachtwagen	Driehoek	+/- 5%	57000	60000	63000
Gemiddeld aantal km (km) trekker	Driehoek	+/- 5%	104500	110000	115500
Gemiddeld aantal km (km) schuifzeilvrachtwagen	Driehoek	+/- 5%	62700	66000	69300
Gemiddeld aantal km (km) perswagen	Driehoek	+/- 5%	37050	39000	40950
Gemiddeld verbruik diesel (liter/100 km) containervrachtwagen	Driehoek	+/- 5%	43,7	46	48,3
Gemiddeld verbruik diesel (liter/100 km) trekker	Driehoek	+/- 5%	32,3	34	35,7
Gemiddeld verbruik diesel (liter/100 km) schuifzeilvrachtwagen	Driehoek	+/- 5%	38,95	41	43,05
Gemiddeld verbruik diesel (liter/100 km) persvrachtwagen	Driehoek	+/- 5%	39,9	42	44,1
Hoeveelheid vervangen diesel (%)	Driehoek	+/- 5%	35,00	40,00	45,00
Prijs diesel excl. BTW (€/liter)	Uniform	+1%	0,8556	0,8556	0,8642
Groeiwet diesel- en aardgasprijs (%)	Driehoek	+/- 1%	1,73	2,73	3,73
Prijs aardgas excl. BTW (€/kg)	Uniform	+/- 1%	0,4849	0,4898	0,4947
Kosten comprimeren ((€/kg)	Uniform	+/- 1%	0,0607	0,0613	0,0619
Groeiwet kost comprimeren (%)	Driehoek	+/- 1%	2,50	3,50	4,50
Accijnzen CNG (€/kg)	Driehoek	Helft Accijnzen Diesel	0	0	0,2023

Bron: Eigen veronderstellingen

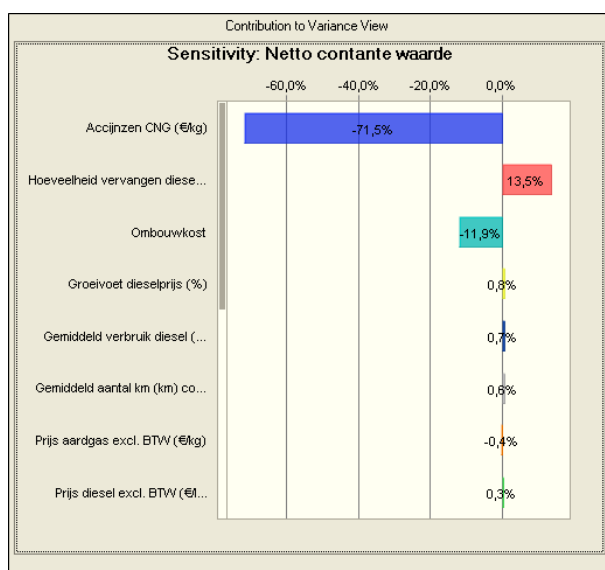
Uit de simulatie met 20 000 herhalingen blijkt dat de **kans op een positieve NCW**, wanneer bovenstaande intervallen en waarschijnlijkheidsverdelingen voor de verschillende parameters in acht genomen zijn, **92,05%** bedraagt. Er is dus grote zekerheid over de positieve waarde van de NCW gegeven de assumpties. Als we nu willen weten welke parameters een grote invloed hebben op de NCW, moeten we de sensitiviteitsgrafiek (en bijlage 24) bekijken. Deze geeft weer wat de invloed is van elke assumptie op de NCW en rangschikt deze volgens invloed. We zien dat de **accijnzen** op CNG de grootste invloed van alle parameters hebben en het merendeel van de variatie in NCW verklaren. Dit komt doordat de accijnzen het prijsverschil tussen diesel en CNG bepalen en hierdoor de brandstofbaat. Een tweede belangrijke parameter is de 'hoeveelheid

vervangen diesel'. Dit is te verklaren doordat dit ook de brandstofbaat bepaalt. Als men het interval aanpast met informatie van andere bronnen zoals van producent Volvo en Graham et al. (2008) en de grenzen vastlegt op 35% en 90%, zoals in het theoretisch model, dan wordt deze zoals verwacht veruit de belangrijkste factor (zie bijlage 25). Een derde belangrijke factor is de ombouwkost. Deze bepaalt het bedrag dat gedekt moet worden door de brandstofbaat en is dus vanzelfsprekend belangrijk. De groeivoet van de dieselprijs, het gemiddeld aantal gereden kilometers en verbruik van de containervrachtwagens zijn in veel mindere mate invloedrijke parameters. De overige factoren hebben slechts een zeer kleine invloed.



Figuur 23: Simulatie van de NCW van Bongaerts Recycling

Bron: Crystal Ball, scenarioanalyse op NCW van Bongaerts Recycling

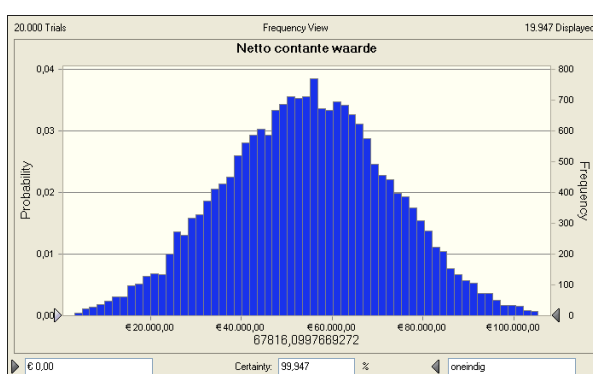


Figuur 24: Sensitiviteit van de NCW van Bongaerts Recycling

Bron: Crystal Ball, scenarioanalyse op NCW van Bongaerts Recycling

Uit het voorgaande blijken de accijnzen op aardgas een zeer invloedrijke factor te zijn. Op dit moment worden er echter nog geen accijnzen geheven op aardgas en lijkt het ook vrij

onwaarschijnlijk dat dit de eerst komende jaren zal toegepast worden. Indien men namelijk accijnzen wil heffen, zal men moeten weten hoeveel aardgas een bedrijf als transportbrandstof gebruikt en zal er dus specifieke meetapparatuur moeten komen op de eigen tankinstallaties. Dit vereist waarschijnlijk de ontwikkeling van een juridisch kader, wat veel tijd en moeite vereist. Bovendien worden op LPG ook geen accijnzen geheven, terwijl er relatief veel gebruik van gemaakt wordt in vergelijking met aardgas. Daarnaast moet nog opgemerkt worden dat het interval van de accijnzen vrij ruim genomen werd. Er werd van uitgegaan dat de accijnzen de helft zouden bedragen van deze op diesel. Als er toch accijnzen geïntroduceerd zouden worden, lijkt het ons echter niet erg voor de hand liggend dat deze direct zo hoog zullen zijn. Als de accijnzen voor de helft in de simulatie worden opgenomen en al de rest gelijk blijft, is de kans op een positieve NCW **99,95%**.



Figuur 25: Simulatie van de NCW van Bongaerts Recycling met het interval van accijnzen versmald naar 0,0101

Bron: Crystal Ball, scenarioanalyse op NCW van Bongaerts Recycling

Ten slotte is het interessant om na te gaan hoeveel de NCW bedraagt als er niet zelf een tankstation geplaatst moet worden, maar als er de mogelijkheid bestaat om te gaan tanken. Hiervoor wordt een **CNG-prijs van 0,7782 euro per kilogram exclusief BTW** opgenomen (zoals in het theoretisch model). De aardgasprijs en de kost van het comprimeren worden vervangen door de CNG-prijs en al de overige parameters blijven gelijk. Na berekeningen blijkt dat de totale NCW sterk positief is, namelijk **21 461,15 euro**. Als men echter de NCW per type vrachtwagen bekijkt, kan men waarnemen dat deze van de perswagens negatief is. Als men vervolgens deze vrachtwagen niet ombouwt en dus uit de berekening verwijdert, wordt de NCW **23 403,65 euro**. De berekeningen van de NCW'en kunt u terugvinden in bijlage 26.

8.1.4 Conclusie

Een eerste algemene conclusie, die ook voorkwam bij het theoretisch model, betreft de grootte van de investeringskost van de tankinstallatie. Dit is en blijft relatief gezien een groot bedrag, dat door

voldoende baten gedekt moet kunnen worden. De baten van de overschakeling naar aardgas voor alleen één vrachtwagen zijn dan ook in geen enkel geval (mono-fuel- en dual-fuel-vrachtwagen) voldoende.

Voor Bongaerts Recycling is het mono-fuel-principe zelfs zonder het tankstation in beschouwing te nemen, niet aantrekkelijk. Door de lage vermogens die dit type van vrachtwagens biedt, is de inzetbaarheid beperkt. Er kan maar maximaal één vrachtwagen vervangen worden. Bovendien rijdt deze vrachtwagen heel weinig kilometers per jaar, omdat het werk dat hiermee verricht wordt slechts een klein deel van de activiteiten uitmaakt. Door het ontoereikend aantal afgelegde kilometers kan er geen voldoende grote brandstofbaat behaald worden om de meerprijs te dekken. De tweede optie, de ombouw van bestaande vrachtwagens naar dual-fuel, levert een positieve NCW op in vergelijking met een dieselvrachtwagen. Hier moet nog de NCW van het tankstation bij opgeteld worden, wat ervoor zorgt dat de ombouw van één vrachtwagen in combinatie met het installeren van een tankstation negatief wordt. Als men vervolgens alle vrachtwagens ombouwt, komt men niet tot een positieve NCW voor elk type vrachtwagen. Dit komt door het feit dat er door het type met een negatieve NCW onvoldoende kilometers worden afgelegd. Als men enkel de vrachtwagens waarvan de NCW op zich positief is, ombouwt, komt men tot een totale NCW van 67 943,13 euro. Het is economisch interessant voor Bongaerts Recycling om de tien containervrachtwagens, de twee schuifzeilvrachtwagens, drie trekkers en de perswagens om te bouwen. Er is echter een grote 'wat als' aan verbonden. Als bepaalde parameters in de analyse namelijk andere waarden aannemen, zou de NCW positief moeten blijven. Om rekening te houden met deze onzekerheid, die inherent is aan de toekomst, werd een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd. Hieruit blijkt dat, net zoals in het theoretisch model, de 'hoeveelheid vervangen diesel' een belangrijke parameter is. Verder werden accijnzen mee opgenomen in de analyse, omdat er onzekerheid bestaat over een mogelijke invoering. De accijnzen blijken een grote invloed te hebben op de NCW. Ook de ombouwkost is een belangrijke factor. Wat de kans op een positieve NCW betreft, kan gesteld worden dat deze groot is, namelijk 92,05%. Als de accijnzen uit de analyse verwijderd worden, stijgt de kans zelfs naar 99,95%. Er kan dan met 'zekerheid' gezegd worden dat de NCW positief zal zijn. Investeren in het ombouwen van alle containervrachtwagens, trekkers, schuifzeilvrachtwagens en perswagens en het aanschaffen van een tankstation zal een positieve cashflow opleveren in vergelijking met de conventionele dieselvrachtwagens. Een andere optie zou zijn dat men de mogelijkheid heeft om te kunnen gaan tanken. Dit levert een positieve NCW op van 23 403,65 euro. Het ombouwen van de perswagens is in dit geval niet economisch voordelig en werd buiten beschouwing gelaten.

8.2 CO₂-reductie-analyse

8.2.1 Berekening

In hoofdstuk 7 werd er berekend hoeveel CO₂-equivalenten 1 kilogram CNG teweegbrengt over de volledige levenscyclus. Hiervoor werd de uitstoot ten gevolge van compressie opgeteld bij de levenscyclus-emissiefactor van aardgas. Aangezien Bongaerts Recycling voor 100% gebruik maakt van groene stroom, is er geen emissie van compressie en kan enkel de levenscyclus-emissiefactor van aardgas genomen worden. In hoofdstuk 6 was de conclusie dat het ombouwen van in totaal 16 vrachtwagens de hoogst mogelijke NCW opleverde. Voor deze 16 vrachtwagens zal de CO₂-reductie berekend worden. Het percentage vervangen diesel wordt, net zoals in het basismodel economische analyse, vastgelegd op 40%. Ook de rest van de gegevens, nodig voor deze berekening, blijft gelijk aan deze van case 2b.

Tabel 39: Gegevens CO₂-reductieberekening case 2b Bongaerts Recycling

Type vrachtwagen	Aantal	Verbruik diesel (liter/100 km)	Verbruik CNG (kg/100 km)	Verbruik diesel (liter/100 km)	Aantal km (km)
Containervrachtwagen	10	46	15,35	27,6	60 000
Trekker	3	34	11,35	20,4	110 000
Schuifzeilvrachtwagen	2	41	13,68	24,6	66 000
Perswagen	1	42	14,02	25,2	39 000

Bron: Eigen informatieverzameling

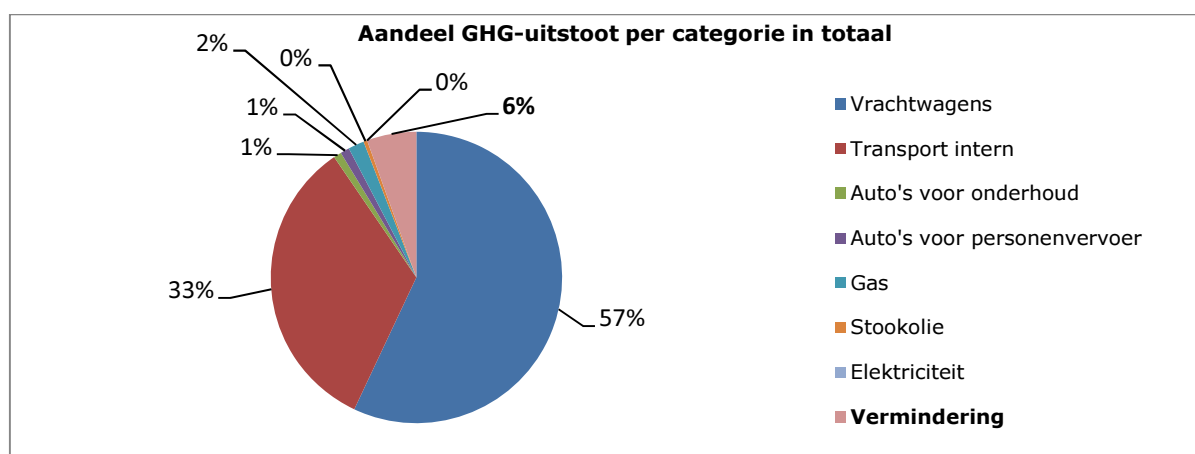
In de algemene analyse werd vastgesteld dat voor elke vrachtwagen een reductie van 6,54% mogelijk is. Deze reductie zal nu echter hoger zijn omdat de emissiefactor van CNG lager is. Om de absolute hoeveelheid te bepalen, zal gebruikgemaakt worden van de gedachtegang achter het GHG Protocol (GHG Protocol Initiative, 2004). Door de emissiefactoren uit tabel 3 toe te passen op het verbruik van de vier types van vrachtwagens, verkrijgt men per vrachtwagen de uitstoot per kilometer voor enerzijds diesel en anderzijds de combinatie van diesel en CNG. Als men het verschil hiervan vermenigvuldigt met het jaarlijks aantal gereden kilometers per type vrachtwagen en het aantal vrachtwagens per type in rekening brengt, verkrijgt men de CO₂-reductie per type vrachtwagen. De som van deze vormt dan de totale CO₂-verlaging en bedraagt **124,77 ton CO₂-equivalenten per jaar**. Daarnaast bedraagt de **reductie per vrachtwagen 8,92%**. De berekeningen kunnen teruggevonden worden in bijlage 27.

Tabel 40: CO₂-vermindering per type vrachtwagen en het totaal van alle vrachtwagens

Type vrachtwagen	Aantal	CO ₂ -eq./jaar	Totaal CO ₂ -eq./jaar
Containervrachtwagen	10	7,51	75,07
Trekker	3	10,17	30,52
Schuifzeilvrachtwagen	2	7,36	14,72
Perswagen	1	4,46	4,46
			124,77

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 39 en 28

Aangezien er met de levenscyclus-emissiefactoren gewerkt werd, moet men de hoeveelheid van 124,77 ton CO₂-equivalenten per jaar in mindering brengen van de GHG-uitstoot (tabel 4 paragraaf 3.2.2). Indien al de 16 vrachtwagens zouden omgebouwd worden, zou de uitstoot van de categorie vrachtwagens dalen van 1 416,88 naar 1 292,12 ton CO₂-equivalenten per jaar. Dit betekent een reductie van 8,81%⁵⁸ van de uitstoot van de vrachtwagens en 5,5%⁵⁹ van de totale uitstoot. Hierdoor daalt de impact van de vrachtwagens op de totale uitstoot van 62,50% naar 57%.



Figuur 26: Procentueel aandeel per categorie van uitstootbronnen in de totale GHG-uitstoot en vermindering van de totale GHG-uitstoot van Bongaerts Recycling

Bron: Tabel 40 en tabel 4

Als Bongaerts Recycling echter geen groene stroom zou aankopen, kan de emissiefactor, berekend in hoofdstuk 7 wel gebruikt worden (in de berekeningen van bijlage 27). Er is dan slechts een reductie van 4,04% of 91,82 ton CO₂-equivalenten per jaar mogelijk. De aankoop van groene stroom levert dus een voordeel van 32,95 ton CO₂-equivalenten per jaar.

Als we willen nagaan wat deze reductie oplevert voor de papierketen, moeten we beschikken over de uitstoot in CO₂ en niet in CO₂-equivalenten. De gegevens van de papierproducent zijn namelijk

⁵⁸ $124,77/1416,88 = 0,08806$

⁵⁹ $124,77/2266,89 = 0,0550$

uitgedrukt in deze eenheid. Aangezien er groene stroom verbruikt wordt, moet er geen emissie voor de compressie geteld worden en kunnen de standaard-emissiefactoren toegepast worden. Door het gebruik (in de berekeningen van bijlage 27) van deze emissiefactoren van aardgas en diesel uit tabel 1, verkrijgen we een vermindering van 119,62 ton van de CO₂-uitstoot van 1983,77 ton (zie paragraaf 3.2.1). De uitstoot per kilogram papier en karton verzameld, verwerkt en afgevoerd door Bongaerts Recycling, bedraagt nu 28 gram. Dit is 2,43 gram of 8,0%⁶⁰ minder dan voorheen. Dit levert een reductie van afgerond 1%⁶¹ van de CO₂ in de keten van inzameling, sortering en afvoer van oud papier en karton tot productie van nieuw krantenpapier (zie figuur 7).

8.2.2 Sensitiviteitsanalyse

De parameters die gebruikt werden voor de berekening van de CO₂-reductie zijn puntschattingen. Deze kunnen in werkelijkheid steeds afwijkingen vertonen. Het is daarom nuttig een gevoeligheidsanalyse uit te voeren zoals ook gedaan werd bij de economische analyse. Zo kan men te weten komen welke parameters de belangrijkste invloed hebben op de hoeveelheid CO₂-reductie en wat de kans op de berekende CO₂-reductie is. Er wordt net zoals in paragraaf 8.1.3 een simulatie (Monte-Carlo) uitgevoerd met Crystal Ball (Oracle).

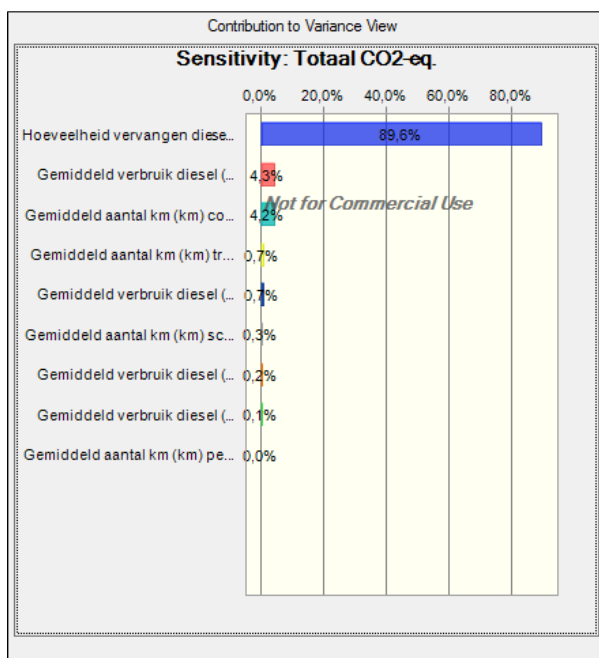
Een eerste parameter die niet gevarieerd zal worden, is de emissiefactor van diesel. Deze is wetenschappelijk gebaseerd en wordt dan ook verondersteld juist te zijn. Dit geldt ook zo voor de emissiefactor van aardgas en elektriciteit. De emissies ten gevolge van compressie zouden eventueel wel gevarieerd kunnen worden door het verbruik van de compressor aan te passen. Er werd uitgegaan van een worst-case-scenario door het vermogen van 9 kW per uur te nemen. De leverancier Ecofillco stelt 9 kW per uur ook voor als het elektriciteitsverbruik van de compressoren, daarom zullen we deze waarde blijven hanteren. Dit is niet volledig correct, maar technische kennis ontbreekt om hier verder op in te gaan.

Het is belangrijk om de invloed van de parameter 'hoeveelheid vervangen diesel' na te gaan. Er is immers onzekerheid over hoeveel dit percentage nu precies bedraagt omdat dit afhankelijk is van de motorbelasting. In het basismodel werd dit vastgelegd op 40%, op grond van gegevens verkregen van fabrikant MAN. We zullen hetzelfde interval toekennen aan deze parameter als in de toegepaste economische analyse. Dit wil zeggen dat er een minimale inspuiting van 35% mogelijk is en een maximale gasinspuiting van 45%. Twee andere parameters die onzeker zijn, zijn 'gemiddeld verbruik diesel' en 'gemiddeld aantal km'. Deze worden gelijkaardig gevarieerd als in de (toegepaste) economische analyse (zie tabel 38). Er wordt dus een 'range' van -5% en +5% toegestaan.

⁶⁰ $2,43/30,44 = 0,0798$

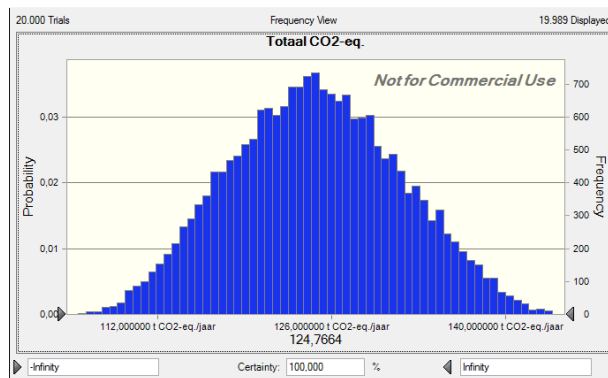
⁶¹ $2,43/(260,44) = 0,0093$

Uit de sensitiviteitsanalyse blijkt dat, zoals verwacht, de 'hoeveelheid vervangen diesel' een zeer grote invloed heeft op de totale CO₂-reductie. Dit is vanzelfsprekend daar deze factor bepaalt hoeveel aardgas wordt verbruikt. Ook het verbruik van de containervrachtwagens heeft een invloed, alsook het aantal gereden kilometers van deze vrachtwagens. De parameters van de overige vrachtwagens hebben een relatief kleine invloed. De percentages en parameters die in onderstaande figuur worden weergegeven, kunt u ook terugvinden in bijlage 28.



Figuur 27: Sensitiviteit van de CO₂-reductie van Bongaerts Recycling
 Bron: Crystal Ball, scenarioanalyse op CO₂-reductie van Bongaerts Recycling

Als we de parameters variëren zoals hierboven aangegeven dan blijft de CO₂-reductie steeds groter dan nul.



Figuur 28: Simulatie van de CO₂-reductie van Bongaerts Recycling

Bron: Crystal Ball, scenarioanalyse op CO₂-reductie van Bongaerts Recycling

Aangezien Graham et al. (2008) een gasinspuiting van 91,4% veronderstellen en Volvo een interval van 35% tot 80% meedeelt, is er onzekerheid omtrent het percentage te vervangen diesel. Vandaar dat de aangenomen bovengrens voor deze factor verhoogd wordt tot 90%. Uit de sensitiviteitsanalyse blijkt dat er in dit geval meer kans is op een grotere CO₂-reductie dan 124,77 ton CO₂-equivalenten per jaar als in de vorige simulatie (zie bijlage 29). Dit was wel te verwachten omdat de veranderde parameter invloedrijk is.

8.2.3 Sociale baat

De totale CO₂-reductie die Bongaerts Recycling jaarlijks zou kunnen bewerkstelligen door over te schakelen op CNG bedraagt **124,77 ton CO₂-equivalenten per jaar**. Op dit moment houdt dit geen financiële voordelen in, daar Bongaerts Recycling niet behoort tot de industrieën die verplicht zijn te voldoen aan CO₂-normen en emissierechten toegekend krijgen. Hierdoor maakt het niet uit of Bongaerts Recycling zijn hoeveelheid uitgestoten CO₂ reduceert. Dit is wel enkel zo als de motoren van de vrachtwagens niet te oud zijn. In het geval de motoren oud zijn en behoren tot de categorie van euronormen, niet-euro of euro 1 moet er meer belasting⁶² betaald worden. Dit is geen probleem voor Bongaerts Recycling. Er rijden immers voornamelijk vrachtwagens met vrij recente euronormen. Indien Bongaerts Recycling toch CO₂-emissierechten toebedeeld zou krijgen in de toekomst, zouden er wel financiële voordelen verbonden zijn aan de omschakeling naar CNG. Als een prijs van 18 euro per ton CO₂ (Emissierechten.nl, 2011) verondersteld wordt, dan zou dit een sociale baat van **9389,09 euro** kunnen opleveren.

⁶² Eurovignet

Tabel 41: Berekening NCW van sociale baat Bongaerts Recycling

Jaar	0	1	2	3	4	5	
(1): uit tabel 40	Aantal ton CO ₂		124,77	124,77	124,77	124,77	124,77
(2)	Prijs CO ₂ per ton		18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
(3): (2)*(1)	Totaal		2245,80	2245,80	2245,80	2245,80	2245,80
(4): (3)/(1+ 0,0628) ^ jaar	Actuele waarden		2113,14	1988,32	1870,88	1760,37	1656,39
(5): som rij (4)	Netto contante waarde	9389,09					

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 41

8.2.4 Conclusie

De CO₂-reductie door het ombouwen van 16 bestaande vrachtwagens van Bongaerts Recycling is beperkt. Een daling van 'slechts' 5,5% van de broeikasgasuitstoot zou bewerkstelligd kunnen worden. Als men geen groene stroom zou gebruiken, zou dit percentage lager liggen. Deze reductie is bovendien sterk afhankelijk van de motorbelasting van de vrachtwagen. Deze is moeilijk in te schatten waardoor het moeilijk is de exacte hoeveelheid vermeden CO₂ te bepalen. Een hoeveelheid vermeden CO₂ van 124,77 ton CO₂-equivalenten per jaar zou een sociale baat van 9398,09 euro, exclusief belastingen, kunnen opleveren.

8.3 Praktische aspecten

Naast de economische en ecologische aspecten van de investering is het ook belangrijk om na te gaan of overschakeling naar CNG praktisch mogelijk is voor het bedrijf.

Een eerste praktische beperking is dat de mono-fuel-technologie niet geschikt is voor de bedrijfsactiviteiten van Bongaerts Recycling, de dual-fuel-technologie daarentegen wel. Ook aan deze technologie is evenwel een moeilijkheid verbonden. Aangezien de Europese wetgeving dual-fuelling formeel nog niet toelaat⁶³ (AMT,2009), is de implementatie ervan op dit moment in principe nog onmogelijk (zie paragraaf 5.2.1). Een ander praktisch aspect is dat er duidelijke afspraken gemaakt moeten worden wat betreft de garantie op de omgebouwde (bestaande) vrachtwagens, zowel met het bedrijf dat de ombouw uitvoert als de fabrikant van de vrachtwagens.

Een volgende praktische implicatie betreft het plaatsen van een tankstation. Hiervoor moet namelijk plaats voorzien worden en moeten er aardgasleidingen aanwezig zijn. Dit zou voor Bongaerts Recycling geen probleem vormen. Op de sites in Houthalen is namelijk aardgas aanwezig en zou er plaats beschikbaar zijn. Een ander mogelijk praktisch probleem met betrekking tot het tankstation is de tijd die nodig is om de buffervaten te vullen. Deze buffervaten zorgen

⁶³ Dual-fuelling is nog niet eenduidig omschreven in de Europese wetgeving. (Ecomix, z.d.)

ervoor dat de tanksnelheid van een aardgastankstation vergelijkbaar is met een dieseltankstation. De totale tijd die nodig is om de buffervaten te vullen hangt af van het CNG-verbruik. Dit verbruik (CNG-afname) is afhankelijk van de grootte van de CNG-tanks van de omgebouwde vrachtwagens. Dit wordt bepaald door de mogelijkheden bij de ombouw. Zo kan het zijn dat er relatief weinig brandstoftanks bijgeplaatst kunnen worden. Verder onderzoek zal moeten uitwijzen wat de mogelijkheden zijn bij ombouw voor Bongaerts Recycling en de gevolgen hiervan voor de tankmogelijkheden. Indien blijkt dat er veel verbruik is en de buffervaten dus regelmatig gevuld moeten worden, zal men moeten nagaan hoeveel vrachtwagens de tankinstallatie, meer specifiek de bufferopslag, onder beschouwing kan voorzien. Ook zal er hierdoor, nog meer dan voorheen, gepland moeten worden wanneer de vrachtwagens getankt zullen worden. Dit kan eventueel extra logistieke problemen met zich meebrengen.

Hoofdstuk 9: Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste conclusies van het onderzoek, die men reeds per hoofdstuk kan terugvinden, aangehaald en in samenhang met elkaar besproken. Daarnaast zullen enkele aanbevelingen gedaan worden.

Om over te gaan tot CO₂-reducerende maatregelen voor een specifiek bedrijf is het eerst en vooral nodig de CO₂-uitstoot in kaart te brengen. Een eerste conclusie hieromtrent is het gebrek aan consistente methodes en emissiestandaarden om de CO₂-voetafdruk te berekenen (zie paragraaf 3.1.1). Volgens ons is hier naar de toekomst toe meer standaardisatie nodig. Indien er immers CO₂-emissierechten zullen worden toegekend aan alle bedrijven, is een juiste, consistente en objectieve meting noodzakelijk. Er is wel een standaard die veel gebruikt wordt door allerhande organisaties en wetenschappelijke bronnen, namelijk deze van het Greenhouse Gas Protocol (zie paragraaf 3.1.2). Voor Bongaerts Recycling, het bedrijf waarvoor op zoek gegaan wordt naar CO₂-reducerende maatregelen, worden twee voetafdrukken op basis van deze standaard berekend (zie paragraaf 3.2): een voetafdruk met standaard-emissiefactoren en een voetafdruk met levenscyclus-emissiefactoren. De eerste bevat enkel de CO₂-uitstoot bij de finale verbranding terwijl de tweede de emissie van de voornaamste broeikasgassen over de gehele levenscyclus incalculeert. Er is een verschil tussen beide voetafdrukken. Dit verschil is echter niet noemenswaardig doordat er bij Bongaerts Recycling vooral verbranding van fossiele brandstoffen plaatsvindt waarbij hoofdzakelijk CO₂ uitgestoten wordt. Er moet opgemerkt worden dat er bij het bedrijf gebruikgemaakt wordt van groene stroom, wat ervoor zorgt dat voor het elektriciteitsverbruik geen emissies gerekend worden. De vaststelling is dat de vrachtwagens die instaan voor de aan- en afvoer van de afvalstromen, het merendeel van de uitstoot vertegenwoordigen. De recuperatie van oud papier en karton is de hoofdactiviteit van Bongaerts Recycling en representeert dan ook 97% van de omzet. Bongaerts Recycling stoot per ingezamelde, gesorteerde en afgevoerde kilogram papier en karton 30,44 gram CO₂ uit. Als men dit vergelijkt met de uitstoot van de productie van nieuw krantenpapier, namelijk 230 gram per kilogram is het aandeel van Bongaerts Recycling in de cyclus van inzameling tot het van de band rollen van nieuw krantenpapier 11,69%. Een vermindering in CO₂-uitstoot kan dus bijdragen tot een duurzamere waardeketen van krantenpapier.

Tijdens de zoektocht naar duurzame oplossingen (zie hoofdstuk 4) kwamen we tot de vaststelling dat het voor bedrijven, actief in logistieke dienstverlening, moeilijk is om inzetbare alternatieven te vinden. Er wordt wel een gamma van mogelijke alternatieven voorgesteld door vrachtwagenfabrikanten zoals hybride vrachtwagens, vrachtwagens op aardgas (zowel CNG als LNG), biogas, ethanol... Omdat men niet weet welk alternatief het in de toekomst zal worden, tracht men op verschillende mogelijkheden in te spelen om zo elke weg naar een duurzame

oplossing open te houden. Eén van de alternatieven, namelijk aardgas lijkt een optie. Het probleem is echter dat men genoodzaakt is zelf een tankstation te plaatsen aangezien publieke tankstations, zeker in België, vooralsnog ontbreken (zie hoofdstuk 5). In de eigen uitgevoerde economische analyse werd de kost van het installeren van een tankstation mee in rekening gebracht en werden twee types aardgasvrachtwagens onderzocht (zie hoofdstuk 6 en figuur 18). Het betrof enerzijds een af-fabriekvrachtwagen op CNG (mono-fuel) en anderzijds een omgebouwde bestaande vrachtwagen die rijdt op een combinatie van CNG en diesel (dual-fuel). Het verschil in de NCW van een investering in deze twee vrachtwagens, in vergelijking met investering in een conventionele dieselvrachtwagen, was steeds positief (zie tabel 14 en tabel 16). Met andere woorden, de brandstofbaat, het verschil in diesel- en CNG-prijs rekening houdend met het verbruik, was steeds groot genoeg om de (extra-)investering in de vrachtwagens te dekken. Er doen zich geen bijkomende kosten voor. De hoge investeringskost van een tankinstallatie daarentegen, zorgt ervoor dat de overschakeling op aardgas niet economisch interessant is voor één vrachtwagen. De NCW wordt namelijk zeer negatief (zie tabel 24). Een oplossing hiervoor is het aanschaffen of ombouwen van meerdere vrachtwagens. Het komt erop neer dat er voldoende kilometers afgelegd moeten worden opdat de brandstofbaat de kost van het tankstation en de meerkost van de aanschaf of ombouw van een vrachtwagen kan dekken. Voor bedrijven die niet beschikken over een grote vloot van vrachtwagens, is het bijgevolg economisch niet haalbaar. (zie paragraaf 6.5) Er moet dus gezocht worden naar oplossingen. Een oplossing die we voorstellen, is het aangaan van partnerships met andere bedrijven om zo de kost van de tankinstallatie te kunnen spreiden over meerdere partners. Bij Bongaerts Recycling bijvoorbeeld, komen veel (transport)bedrijven afvalstoffen brengen en afhalen. Deze bedrijven zouden dan op de site van Bongaerts Recycling aardgas kunnen tanken. Een andere manier om de kost van de installatie te spreiden, kan zijn het aanschaffen van auto's of andere vervoersmiddelen (zoals heftrucks) op aardgas. Een alternatieve oplossing zou zijn, wachten tot er publieke tankstations komen. Als men immers CNG kan gaan tanken, is de NCW positief voor beide types vrachtwagens. Een laatste oplossing, die minst voor de hand ligt en het meeste risico inhoudt is het zelf plaatsen van een publiek tankstation. Men heeft dan geen zicht op mogelijke afname, wat zorgt voor een groot risico. Bedrijven en individuen willen namelijk geen aardgasvoertuig aanschaffen juist omwille van het gebrek aan tankfaciliteiten. Er is dus een stimulans nodig van buitenaf. De overheid kan hiervoor instaan.

In de economische analyse werd rekening gehouden met een afschrijvingsduur van 5 jaar voor een vrachtwagen. Het is mogelijk dat een vrachtwagen na 5 jaar nog verder in gebruik blijft. Hierdoor worden de baten van de overschakeling op aardgas groter dan waarmee rekening gehouden werd in onze NCW-berekening.

Om de invloed van bepaalde parameters te achterhalen op de haalbaarheid van de omschakeling naar CNG, werden de resultaten onderworpen aan een sensitiviteitsanalyse (zie paragraaf 6.4). Hieruit bleek dat de meerprijs en de ombouwkost invloedrijke parameters zijn. Wat opviel tijdens

de gegevensverzameling is dat bovendien de meerprijs sterk verschilt van merk tot merk. Ook accijnzen hebben een grote invloed op de NCW. Op dit moment worden er op CNG geen accijnzen geheven. In de toekomst zou dit echter wel eens kunnen veranderen. Indien er accijnzen worden ingevoerd, is het mogelijk dat de brandstofbaat drastisch verkleint of zelfs nul wordt. Het is daarom nodig dat de overheid een standpunt inneemt met betrekking tot toekomstige accijnzen. Alleen dan kunnen deze ingecalculeerd worden in investeringsanalyses zodanig dat deze laatste met meer zekerheid berekend kunnen worden. Voor de dual-fuel-vrachtwagen is nog een andere parameter belangrijk, met name de 'hoeveelheid vervangen diesel'. Voor de waarde van deze parameter werden in de literatuur verschillende intervallen gevonden. Dit komt door het feit dat de 'hoeveelheid vervangen diesel' sterk afhankelijk is van de belasting van de motor en hierdoor moeilijk op voorhand te bepalen is.

Naast economische voordelen heeft aardgas ook ecologische voordelen (zie paragraaf 5.3.2). Uit de eigen analyses (zie hoofdstuk 7) kon vastgesteld worden dat de overschakeling van diesel naar CNG, reeds enkel omwille van verschillende emissiefactoren, een besparing van 16,50% broeikasgassen betekent. Als er bovendien rekening gehouden wordt met de energie-efficiëntie van de motor, kan de overschakeling naar een mono-fuel-vrachtwagen een reductie tot 21,68% opleveren. Voor de dual-fuel-situatie bedraagt dit slechts 6,54%. Deze reductie is niet goed te bepalen omdat deze sterk afhankelijk is van de hoeveelheid vervangen diesel die op zijn beurt afhankelijk is van de motorbelasting. Om de effectieve hoeveelheid CO₂-reductie te bepalen zijn volgens ons praktijktesten nodig om het percentage vervangen diesel te bepalen. Andere voordelen die vaak als een belangrijke drijfveer in de literatuur worden aangehaald zijn de geluidsreductie en de vermindering van fijn stof (zie paragraaf 5.3.3).

Ook de technische haalbaarheid werd, weliswaar beperkt, onderzocht. Aangezien het ons hiertoe aan technische kennis ontbreekt, was het moeilijk hier diepgaand op in te gaan en is verder onderzoek nodig. Wat wel zeker is, is dat het aanbod van vrachtwagens de implementatie van aardgas als brandstof niet belemmert. Zo biedt bijna elke vrachtwagenfabrikant tegenwoordig een aardgasmodel aan of is men bezig met de ontwikkeling ervan (zie tabel 8). Een reden waarom bedrijven terughoudend kunnen zijn, is de grote onzekerheid met betrekking tot de restwaarde. Ook het feit dat een mono-fuel-vrachtwagen geen grote vermogens kan leveren kan leiden tot beperkte inzetbaarheid. (zie paragraaf 5.4) Wat betreft de dual-fuel-toepassing is er dan weer nader onderzoek met betrekking tot een eenduidig juridisch kader nodig (zie paragraaf 5.2.1). Zo is er op dit moment binnen Europa een gebrek aan formele erkenning van deze toepassing. Aardgas op zich is beschikbaar maar een ander heikel punt is, zoals reeds aangehaald, het gebrek aan tankstations (zie paragraaf 5.3.4).

Het grote voordeel verbonden aan de aardgastechnologie, zowel wat betreft de voertuigen als de tankinstallatie, is dat deze ingezet kan worden voor echt duurzame brandstoffen zoals biogas of

waterstof (zie paragraaf 5.5). Aardgas kan dus beschouwd worden als een transitiebrandstof die het pad opent voor meer duurzame alternatieven. De vraag die zich dan aandient is: 'is biogas wel de brandstof van de toekomst?' of 'kan er wel voldoende biogas geproduceerd worden in de toekomst?'. We denken dat biogas niet noodzakelijk de toekomstige brandstof is voor alle soorten voertuigen. In de toekomst zal men volgens ons moeten komen tot een duurzame energiemix, een samenvoeging van verschillende technologieën om tot een duurzame samenleving te komen. Er zal niet één oplossing zijn voor alles, maar groepen van oplossingen voor verschillende problemen.

Ten slotte kunnen we concluderen dat het op dit moment voor Bongaerts Recycling op alle vlakken (economisch, ecologisch en technologisch) interessant is om 16 vrachtwagens om te bouwen naar dual-fuel en tevens een tankstation te plaatsen (zie paragraaf 8.1.2, 8.2.1 en 8.3). We moeten wel bovenstaande onzekerheden alsook enkele praktische aspecten (zie paragraaf 8.3) in het achterhoofd houden. Ook de aanbevelingen als reactie op deze onzekerheden, kunnen voor Bongaerts Recycling mogelijk een meerwaarde betekenen in de overschakeling naar CNG. Hoewel er 'maar' een reductie van 5,5% van de broeikasgasuitstoot bewerkstelligd kan worden, is dit al een eerste stap naar een echt duurzame oplossing. Bovendien zou deze reductie kunnen leiden tot een daling van 1% van de totale CO₂-uitstoot in de waardeketen (zie figuur 7) van de recuperatie en productie van krantenpapier (zie paragraaf 8.2.1).

Lijst van geraadpleegde werken

Bevoorrechte getuigen

- Diederik Brutsaert, Peter W.M. Tavernier en Frans Swolfs van BUGA Limburg (Scania)
- Geert Biesemans van IVECO België
- Herman Bongaerts, Bernadette Aegten en Patrick Vanierschot van Bongaerts Recycling
- Hilde Creemers van Luminus Hasselt
- Ine Van Dosselaer van MAN Truck & Bus
- Isabelle De Maegt van FEBETRA
- Marc Dockx van Stora Enso
- Marc Paesen van Volvo Trucks Paesen
- Patrick Simons van Groep Jam Mercedes-Benz
- Philippe Jacquemyns van Volvo Trucks Belgium
- Pieter Smeets van Smeets & Zonen
- Robin Verhulst van Ecofillco
- Wim De Graef van De Graef-Linsen & Co

Bezochte beurzen

- Truck en Transport bezocht op zondag 16 januari 2011 te Brussel

Geraadpleegde artikelen

- Aguilera, R. F. (2010). The future of the European natural gas market: A quantitative assessment [Elektronische versie]. *Energy*, 32, 3332-3339.
- Arteconi, A., Brandoni, C., Evangelista, D., & Polonara, F. (2010). Life-cycle greenhouse gas analysis of LNG as a heavy vehicle fuel in Europe [Elektronische versie]. *Applied Energy*, 87, 2005-2013.
- Arteconi, A., Brandoni, C., Evangelista, D., & Polonara, F. (2010). Life-cycle greenhouse gas analysis of LNG as a heavy vehicle fuel in Europe [Elektronische versie]. *Applied Energy*, 87, 2005-2013.
- Atadshi, I.M., Aroua, M.K., & Aziz, A.A. (2010). High quality biodiesel and its diesel engine application: A review [Elektronische versie]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 1999-2008.
- Barabas, I., Todorut, A., & Baldean D. (2010). Performance and emission characteristics of an CI engine fueled with diesel-biodiesel-bioeethanol blends [Elektronische versie]. *Fuel*, 89, 3827-3832.
- Barkenbus, J.N. (2010). Eco-driving: An overlooked climate change initiative [Elektronische versie]. *Energy Policy*, 38, 762-769.
- Beer, T., Grant, T., Williams, D., & Watson, H. (2002). Fuel-cycle greenhouse gas emissions from alternative fuels in Australian heavy vehicles [Elektronische versie]. *Atmospheric Environment*, 36, 753-763.
- Canakci, M., & Sanli, H. (2008). Biodiesel production from various feedstocks and their effects on the fuel properties [Elektronische versie]. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 35, 431-441.
- Coveny, I., Gerber, J., Hartley, M., Hill, R., & Lyon, D. (2008). Low-Carbon future [Elektronische versie]. *Engineering & Technology*, 3, 48-51.
- Demirbas, A. (2007). Importance of biodiesel as transportation fuel [Elektronische versie]. *Energy Policy*, 35, 4461-4670.

- Demirbas, A. (2009). Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review [Elektronische versie]. *Applied Energy*, 86, 108-117.
- Economides, M.J., & Wood, D.A. (2009). The state of natural gas [Elektronische versie]. *Journal of Natural Gas Science Engineering*, 1, 1-13.
- Engerer, H., & Horn, M. (2010). Natural gas vehicles: An option for Europe [Elektronische versie]. *Energy Policy*, 38, 1017-1029.
- Finkbeier, M. (2009). Carbon footprinting-opportunities and threats [Elektronische versie]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14, 91-94.
- Flynn, P.C. (2002). Commercializing an alternative vehicle fuel: lessons learned from natural gas for vehicles [Elektronische versie]. *Energy Policy*, 30, 613-619.
- Graham, L.A., Rideout, G., Rosenblatt, D., & Hendren, J. (2008). Greenhouse gas emissions from heavy-duty vehicles [Elektronische versie]. *Atmospheric Environment*, 42, 4665-4681.
- Hekkert, M.P., Hendriks, F.H.J.F., Faaij, A.P.C., & Neelis M.L. (2005). Natural gas as an alternative to crude oil in automotive fuel chains well-to-wheel analysis and transition strategy development [Elektronische versie]. *Energy Policy*, 33, 579-594.
- Kenny, T., & Gray, N.F. (2009). Comparative performance of six carbon footprint models for use in Ireland [Elektronische versie]. *Environmental Impact Assessment Review*, 29, 1-6.
- Korakianitis, T., Namasivayam, A.M., & Crookes, R.J. (2011). Natural-gas fueled spark-ignition (SI) and compression-ignition (CI) engine performance and emissions [Elektronische versie]. *Progress in Energy and Combustion Science*, 37, 89-112.
- Lash, J., & Weelington, F. (2007). Competitive advantage on a warming planet [Elektronische versie]. *Harvard Business Review*, 85(3), 94-102.
- López, J.M., Gómez, A., Aparicio, F., & Sánchez, J. (2009). Comparison of GHG emissions from diesel, biodiesel and natural gas refuse trucks of the City of Madrid [Elektronische versie]. *Applied Energy*, 86, 610-615.
- Murray, J., & Dey, C. (2008). The carbon neutral free for all [Elektronische versie]. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 3, 237-248.

- Padgett, J.P., Steinemann A.C., Clarke, J.H., & Vandenberg, M.P. (2007). A comparison of carbon calculators [Elektronische versie]. *Environmental Impact Assessment Review*, 28, 106-115.
- Peters, G.P. (2010). Carbon footprints and embodied carbon et multiple scales [Elektronische versie]. *Environmental Sustainability*, 2, 245-250.
- Shahid, E.M., & Jamal, Y. (2008). A review of biodiesel as vehicular fuel [Elektronische versie]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 2484-2494.
- Sidibé, S.S., Blin, J., Vaitilingom, G., & Azoumah, Y. (2010). Use of crude filtered vegetable oil as a fuel in diesel engines state of the art: Literature review [Elektronische versie]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2748-2759.
- Singh, S.P., & Singh, D. (2009). Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review [Elektronische versie]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 200-216.
- Yeh, S. (2007). An empirical analysis on the adoption of alternative fuel vehicles: The case of natural gas vehicles [Elektronische versie]. *Energy Policy*, 35, 5865-5875.
- Zarate, P.H.B., & Sodr , J.R. (2009). Evaluating carbon emissions reduction by use of natural gas as engine fuel [Elektronische versie]. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 1, 216-220.

Boeken

- Campbell, N.A., & Reece, J.B. (2004). *Biology*. San Francisco: Benjamin Cummings.
- Mercken, R. (2004). *De investeringsbeslissing, een beleidsgerichte analyse*. Antwerpen: Garant.
- Thewys T. (2011). *Cursus milieubeleid, Master TEW-BM, Fac. BEW*. Universiteit Hasselt.
- Wiedmann, T. and Minx, J. (2008). A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C. Pertsova (Eds.), *Ecological Economics Research Trends* (pp. 1-11), Hauppauge NY, USA: Nova Science Publishers.

Magazines van vakbladen

- Recycling Magazine Benelux (2010). Eerste huisvuilauto op aardgas in verhuurvloot Clean Mat. *Recycling Magazine Benelux*, 7, 6.

Internetteksten

- Aardgasinuwwagenpark.nl (2010)^a. *Over aardgas en groen gas*. Opgevraagd op 10 december, 2010, via http://aardgasinuwwagenpark.nl/index.php?option=com_content&task=view&id=27&Itemid=48.
- Aardgasinuwwagenpark.nl (2010)^b. *Welke aardgaswagen kiest u?* Opgevraagd op 30 november, 2010, via http://aardgasinuwwagenpark.nl/index.php?option=com_content&task=view&id=26&Itemid=50.
- ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) (z.d.). *Presentation of the method*. Opgevraagd op 23 april, 2010, via <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=23674&m=3&catid=23678>.
- AFDC (Alternative Fuels and Advanced Vehicle Data Center) (2010)^a. *CNG and LNG: Alternative Fuels*. Opgevraagd op 2 november, 2010, via http://www.afdc.energy.gov/afdc/fuels/natural_gas_cng_lng.html.
- AFDC (Alternative Fuels and Advanced Vehicles Data Center) (2009)^b. *Hydrogen/natural gas (HCNG) fuel blends*. Opgevraagd op 20 december, 2010, via http://www.afdc.energy.gov/afdc/fuels/natural_gas_blends.html.
- Agentschap Ondernemen (2011). *Call premie, algemene informatie*. Opgevraagd op 25 januari, 2011, via <http://ewbl-publicatie.vlaanderen.be/Uploads/EP-call%20Algemene%20infoteksten%2020100115,0.htm>.
- AMT (Auto & Motor TECHNIEK) (2009). *Volvo Trucks kiest voor Dual Fuel*. Opgevraagd op 30 november, 2010, via <http://www.amt.nl/Nieuws/Volvo-Trucks-kiest-voor-Dual-Fuel.htm>.
- Belgische federale overheid (2010). *Nationaal Register voor Broeikasgassen*. Opgevraagd op 5 oktober, 2010 via http://www.climateregistry.be/NL/index_nl.htm.

- Belgische Petroleum Federatie (2011)^a. *Evolutie van de belastingen op petroleumproducten in België*. Opgevraagd op 5 januari, 2011, via http://www.petrolfed.be/dutch/cijfers/evolutie_belastingen.htm.
- Belgische Petroleum Federatie (2011)^b. *Evolutie van de maximumprijzen van brandstoffen in België*. Opgevraagd op 5 januari, 2011, via http://www.petrolfed.be/dutch/cijfers/evolutie_maximumprijzen.htm.
- Belgische Petroleum Federatie (2011)^c. *Maximumprijs petroleumproducten begrijpen*. Opgevraagd op 5 januari, 2011, via http://www.petrolfed.be/dutch/factsheets/fs_maxprijs_petroleumproducten_begrijpen.htm.
- Belgische Petroleum Federatie (2011)^d. *Samenstelling van de maximumprijs van de brandstoffen*. Opgevraagd op 5 januari, 2011, via http://www.petrolfed.be/dutch/cijfers/maximumprijs_voornaamste_petroleumproducten.htm.
- Belgische Petroleum Federatie (2011)^e. *Wat is de programmeervereenkomst?* Opgevraagd op 5 januari, 2011, via http://www.petrolfed.be/dutch/faq/faq_PO.htm.
- Bongaerts Recycling (z.d.). *Verwerking*. Opgevraagd op 16 februari, 2010, via <http://www.bongaertsrecycling.be/index2.htm>.
- British Petroleum (2010). *BP Statistical Review of World Energy June 2010*. Opgevraagd op 10 december, 2010, via http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/2010_downloads/statistical_review_of_world_energy_full_report_2010.pdf.
- Carbon footprint (2010). *What is a carbon footprint?* Opgevraagd op 23 april, 2010, via <http://www.carbonfootprint.com/carbonfootprint.html>.
- Carbon Trust (2010)^a. *Carbon footprinting*. Opgevraagd op 22 april, 2010, via <http://www.carbontrust.co.uk/cut-carbon-reduce-costs/calculate/carbon-footprinting/pages/carbon-footprinting.aspx>.
- Carbon Trust (2010)^b. *Organizational Carbon Footprints*. Opgevraagd op 23 april, 2010, via <http://www.carbontrust.co.uk/cut-carbon-reduce-costs/calculate/carbon-footprinting/pages/organisation-carbon-footprint.aspx>.

- Carboncounted (z.d.). *What are the advantages of the carboncounted calculation approach?* Opgevraagd op 24 april, 2010, via <http://www.carboncounted.com/index.php/information/businesses/what-are-the-advantages-of-the-carboncounted-calculation-approach/>.
- CIA (Central Intelligence Agency) (2010). *The World fact book*. Opgevraagd op 10 december, 2010, via <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2179rank.html>.
- Climate Neutral Group (z.d.). *Inventarisatie CO2 uitstoot*. Opgevraagd op 22 april, 2010, via <http://www.climateneutralgroup.com/ShowContent.aspx?page=Calculations&lang=NL>.
- CNG Net (z.d.). *Home*. Opgevraagd op 10 december, 2010, via <http://www.cngnet.nl/>.
- CO2logic (z.d.)^a. *Business Action*. Opgevraagd op 17 februari, 2010, via <http://www.co2logic.com/home.aspx/en/business+action>.
- CO2logic (z.d.)^b. *Our services*. Opgevraagd op 24 april, 2010, via <http://www.co2logic.com/home.aspx/en/business+action/services>.
- CO2-neutraal (z.d.). *Aanpak bij bedrijven en non-profit organisaties*. Opgevraagd op 22 april, 2010, via <http://www.co2-neutraal.nu/nonprofit.php>.
- Coberec (z.d.). *Cijfergegevens papier en karton*. Opgevraagd op 5 februari, 2010, via http://www.coberec.be/home_ned.html.
- CREG (Commissie voor Regulering van de Elektriciteit en het Gas) (2010). *Studie over componenten van de elektriciteits- en gasprijzen*. Opgevraagd op 5 januari, 2011, via <http://www.creg.info/pdf/Studies/F934NL.pdf>.
- Cursor (2007). *Aardgas wint het nog steeds van diesel*. Opgevraagd op 20 december, 2010, via <http://web.tue.nl/cursor/internet/jaargang50/cursor01/opinie/opinie.php?page=op4>.
- Dar (2009). *Dar neemt vuilniswagen met aardgasmotor in gebruik*. Opgevraagd op 21 januari, 2010, via [http://www.dar.nl/DAR_C01/Default.asp?CustID=659&ComID=1&ModID=123&ItemID=44660&SessionID=-1&bottest=.](http://www.dar.nl/DAR_C01/Default.asp?CustID=659&ComID=1&ModID=123&ItemID=44660&SessionID=-1&bottest=)

- DATS24 (z.d.)^a. *DATS24 opent eerste commerciële tankstation met CNG in België.* Opgevraagd op 10 december, 2010, via http://www.dats24.be/dats/static/cng-in-halle_n.shtml.
- DATS24 (z.d.)^b. *Opening eerste CNG-tankstation voor vracht- en personenvervoer.* Opgevraagd op 20 december, 2010, via http://www.dats24.be/dats/static/cng-in-antwerpen_n.shtml.
- DATS24 (z.d.)^c. *Waar tanken?* Opgevraagd op 20 december, 2010, via http://www.dats24.be/dats/static/waar_tanken_n.shtml.
- DCMR (Milieudienst Rijnmond) (z.d.). *Wat is LNG?* Opgevraagd op 2 november, 2010, via <http://www.dcmr.nl/nl/faq/LNGgas.html>.
- Dena (Deutsche Energie-Agentur) (2010). *The role of natural gas and biomethane in the fuel mix of the future in Germany.* Opgevraagd op 20 december, 2010, via <http://www.ngvaeurope.eu/downloads/studies/Natural-Gas-and-Biomethane-in-the-Fuel-Mix-of-the-Future.pdf>.
- Departement LNE (Departement Leefmilieu, Natuur en Energie van de Vlaamse overheid) (z.d.)^a. *CO2-meter.* Opgevraagd op 22 april, 2010, via <http://www.lne.be/themas/klimaatverandering/toncontract/CO2-meter/?searchterm=CO2-meter>.
- Departement LNE (Departement Leefmilieu, Natuur en Energie van de Vlaamse overheid) (z.d.)^b. *Emissienormen voor voertuigen.* Opgevraagd op 15 december, 2010, via http://www.lne.be/themas/milieu-en-mobiliteit/milieuvriendelijke-voertuigen/ecoscore-en-euronormen/euronormen-voor-voertuigen/euronormen-voor-voertuigen/#Emissienormen_voor_vrachtwagens.
- Ecoauto.be (2009). *Rijden op (aard)gas. De toekomst van tanken?* Opgevraagd op 20 januari, 2011, via <http://ecoauto.wordpress.com/2009/06/27/rijden-op-aardgas-de-toekomst-van-tanken/>.
- Ecodrive.org (z.d.). *What is ecodriving?* Opgevraagd op 28 december, 2010, via http://www.ecodrive.org/en/what_is_ecodriving/.
- Ecofillco (z.d.). *Wist u dat u met Ecofillco in de toekomst aardgas kan tanken!* Opgevraagd op 10 oktober, 2010, via <http://www.ecofillco.be/ecofillco.htm>.

- Ecolife (z.d.)^a. *Ecodriving event*. Opgevraagd op 28 december, 2010, via <http://www.ecolife.be/producten/ecodriving-event>.
- Ecolife (z.d.)^b. *Ecodriving workshop*. Opgevraagd op 28 december, 2010, via <http://www.ecolife.be/producten/ecodriving-workshop>.
- EcoLPG (2010). *CO2-uitstoot*. Opgevraagd op 22 april, 2010, via <http://www.ecolpg.nl/nl/rijden-op-autogas/co2-uitstoot>.
- Ecomix (z.d.). *Wet en regelgeving/RDW*. Opgevraagd op 4 mei, 2011, via <http://www.ecomixnl.nl/wet-en-regelgeving-RDW.html>
- EESC (Europees Economisch en Sociaal Comité) (2006). *Advies van het Europees Economisch en Sociaal Comité over De ontwikkeling en bevordering van alternatieve brandstoffen voor het wegvervoer in de EU*. Opgevraagd op 3 december, 2010, via <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2006:195:0075:0079:NL:PDF>.
- EIA (U.S. Energy Information Association) (2010)^a. *Annual Energy outlook 2010*. Opgevraagd op 3 december, 2010, via [http://www.eia.doe.gov/oiaf/archive/aeo10/pdf/0383\(2010\).pdf](http://www.eia.doe.gov/oiaf/archive/aeo10/pdf/0383(2010).pdf).
- EIA (U.S. Energy Information Association) (2010)^b. *Short-Term Energy Outlook*. Opgevraagd op 6 januari, 2011, via <http://www.eia.doe.gov/emeu/steo/pub/contents.html>.
- Elsbett (z.d.). *Vegetable Oil-Information*. Opgevraagd op 10 november, 2010, via <http://www.elsbett.com/gb/vegetable-oil/information.html>.
- Emissierechten.nl (2011). *CO2-markt Up-To-Date: 'Back in bussiness again'*. Opgevraagd op 25 maart, 2011, via <http://www.emissierechten.nl/marktanalyse.htm>.
- EPA (United States Environmental Protection Agency) (2005)^a. *Emission Facts: Average Carbon Dioxide Emissions Resulting from Gasoline and Diesel Fuel*. Opgevraagd op 22 april, 2010, via <http://www.epa.gov/oms/climate/420f05001.pdf>.
- EPA (United States Environmental Protection Agency) (2005)^b. *Emission Facts: Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle*. Opgevraagd op 5 oktober, 2010, via <http://www.epa.gov/otaq/climate/420f05004.htm>.

- EPA (United States Environmental Protection Agency) (2010). *Tools, Analysis and Publications*. Opgevraagd op 29 september, 2010, via <http://www.epa.gov/oms/climate/publications.htm>.
- Europa Nu (z.d.). *EU 2020-strategie*. Opgevraagd op 30 oktober, 2010 via http://www.europa-nu.nl/id/vicyffri83lm/eu_2020_strategie.
- Europese Commissie (2008). *European energy and transport trends to 2030-update 2007*. Opgevraagd op 10 december, 2010, via http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/figures/trends_2030_update_2007/energy_transport_trends_2030_update_2007_en.pdf.
- Europese Commissie (2010)^a. *Emissions Trading System*. Opgevraagd op 30 oktober, 2010 via http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm.
- Europese Commissie (2010)^b. *How to develop a Sustainable Energy Action Plan, Part 2*. Opgevraagd op 15 april, 2010, via http://www.eumayors.eu/IMG/pdf/seap_guidelines_en.pdf.
- Europese Commissie (2011). *White paper 2011*. Opgevraagd op 15 april, 2011, via http://ec.europa.eu/transport/strategies/2011_white_paper_en.htm.
- Express (2010). *Colruyt praat over aardgas voor autovloot bedrijven*. Opgevraagd op 20 december, 2010, via <http://www.express.be/sectors/nl/retail/colruyt-praat-over-aardgas-voor-autovloot-bedrijven/132585.htm>.
- Febetra (z.d.). *Home*. Opgevraagd op 10 november, 2010, via http://www.febetra.be/modules/mmpages/?sel_lang=nl.
- FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (Federale overheidsdienst economie, KMO, Middenstand en Energie) (2008). *De energiemarkt in 2008*. Opgevraagd op 10 december, 2010, via http://economie.fgov.be/nl/binaries/energiemarkt_2008_tcm325-112137.pdf.
- FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (Federale overheidsdienst economie, KMO, Middenstand en Energie) (2010). *Prijsvorming voor aardgas*. Opgevraagd op 6 januari, 2011, via http://statbel.fgov.be/nl/ondernemingen/energie/gaz_naturel/prijzen/Prijsvorming_aardgas/.

- FOD Financiën (Federale Overheidsdienst Financiën) (2010). *Algemene fiscale maatregelen – federaal*. Opgevraagd op 25 januari, 2011, via http://statbel.fgov.be/nl/binaries/4_3_1_NL_tcm325-28413.pdf.
- FOD Financiën (Federale Overheidsdienst Financiën) (2011). *Camions*. Opgevraagd op 25 januari, 2011, via <http://koba.minfin.fgov.be/commande/pdf/folder-camions-2010-2011.pdf>.
- FOD VVWL (Federale overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu) (2008). *De verschillende broeikasgassen*. Opgevraagd op 7 oktober, 2010 via http://www.klimaat.be/spip.php?article162&var_recherche=broeikasgassen.
- FOD VVWL (Federale overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu) (2009)^a. *Klimaatverandering*. Opgevraagd op 6 oktober, 2010 via <http://www.klimaat.be/spip.php?rubrique4>.
- FOD VVWL (Federale overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu) (2009)^b. *Invloed van de mens*. Opgevraagd op 8 oktober, 2010 via [http://www.klimaat.be/spip.php?rubrique189&fs=.](http://www.klimaat.be/spip.php?rubrique189&fs=)
- FOD VVWL (Federale overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu) (2010)^a. *Klimaatbeleid*. Opgevraagd op 7 oktober, 2010 via [http://www.klimaat.be/spip.php?rubrique146&fs=.](http://www.klimaat.be/spip.php?rubrique146&fs=)
- FOD VVWL (Federale overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu) (2010)^b. *Internationaal klimaatbeleid*. Opgevraagd op 7 oktober, 2010 via [http://www.klimaat.be/spip.php?rubrique7&fs=.](http://www.klimaat.be/spip.php?rubrique7&fs=)
- FOD VVWL (Federale overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu) (2010)^c. *Belgisch klimaatbeleid*. Opgevraagd op 8 oktober, 2010 via [http://www.klimaat.be/spip.php?rubrique9&fs=.](http://www.klimaat.be/spip.php?rubrique9&fs=)
- FOD VVWL (Federale overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu) (2011). *De bijdrage van de verschillende broeikasgassen aan de totale uitstoot en hun evolutie*. De verschillende broeikasgassen. Opgevraagd op 7 maart, 2011 via <http://www.klimaat.be/spip.php?article180>.
- FUELswitch (z.d.)^a. *Vloeibaar groen gas en aardgas*. Opgevraagd op 2 november, 2010, via <http://www.fuelswitch.nl/index.php?mod=pages&cat=38>.

- FUELswitch (z.d.)^b. *Voertuigen op gas en aardgas*. Opgevraagd op 30 november, 2010, via <http://www.fuelswitch.nl/index.php?mod=pages&item=24>.
- GHG Protocol Initiative (Greenhouse Gas Protocol Initiative) (2004). *A Corporate Accounting and Reporting Standard*. Opgevraagd op 30 september, 2010, via <http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/ghg-protocol-revised.pdf>.
- GHG Protocol Initiative (Greenhouse Gas Protocol Initiative) (2010). *About the GHG Protocol*. Opgevraagd op 30 september, 2010, via <http://www.ghgprotocol.org/about-ghgp>.
- Het Nieuwe Rijden (z.d.)^a. *Tips voor Het Nieuwe Rijden voor vrachtauto's*. Opgevraagd op 15 december, 2010, via <http://www.hetnieuwerijden.nl/rijstijltips/vrachtautos/>.
- Het Nieuwe Rijden (z.d.)^b. *Training volgen*. Opgevraagd op 15 december, 2010, via <http://www.hetnieuwerijden.nl/training-volgen/introductie/>.
- Het Nieuwe Rijden (z.d.)^c. *Voorbeelden bij rekentool terugverdientijd trainingen Het Nieuwe Rijden*. Opgevraagd op 15 december, 2010, via <http://www.hetnieuwerijden.nl/fileadmin/klanten/hnr/hnr-rekenmodule-terugverdientijd-trainingen-voorbeelden.pdf>.
- IEA (International Energy Agency) (2010). *The contribution of natural gas vehicles to sustainable transport*. Opgevraagd op 20 november, 2010 via http://www.iea.org/papers/2010/natural_gas_vehicles.pdf.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001). *Direct GWP's*. Opgevraagd op 30 september, 2010, via http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg1/248.htm.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2006)^a. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Opgevraagd op 15 april, 2010, via <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2006)^b. *Find EF-Results*. Opgevraagd op 15 november, 2010, via http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (z.d.). *Organisation*. Opgevraagd op 30 september, 2010, via <http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml>.

- ISO (International Organization for Standardization) (2009). *Environmental Management, the ISO 14000 family of International Standards*. Opgevraagd op 30 september, 2010, via http://www.iso.org/iso/theiso14000family_2009.pdf.
- Iveg (2004). *Aardgas en veiligheid, een zaak van iedereen*. Opgevraagd op 1 november, 2010 via http://www.iveg.be/iveg/communicatief/pdf/Iveg_brochure_veiligheid_aardgas.pdf.
- JRC (Europese Commissie – Joint Reseach Centre) (2009). *ELCG core database version II*. Opgevraagd op 30 september, 2010, via <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetArea.vm>.
- KVGB (Koninklijke Vereniging van Belgische Gasvaklieden) (2010). *Oorsprong en samenstelling van aardgas*. Opgevraagd op 1 november, 2010, via <http://www.aardgas.be/consumenten/over-aardgas/aardgasproductie-en-de-energiemarkt/oorsprong-en-samenstelling>.
- KW.be (2008). *Eerste publieke aardgastankstation geopend*. Opgevraagd op 20 december, 2010, <http://kw.rnews.be/nl/regio/wvl/nieuws/algemeen/eerste-publieke-aardgastankstation-geopend/article-1194722206972.htm>.
- Logistiek.nl (2009)^a. *Hoe gedragsverandering kan leiden tot CO2-reductie?* Opgevraagd op 15 december, 2010, via <http://www.logistiek.nl/supply-chain/logistieke-dienstverlening/did12284-hoe-gedragsverandering-kan-leiden-tot-co2-reductie.html>.
- Logistiek.nl (2009)^b. *Simon Loos kiest voor trekker op aardgas*. Opgevraagd op 10 januari, 2011, via <http://www.logistiek.nl/nieuws/nid9291-simon-loos-kiest-voor-trekker-op-aardgas-.html>.
- Logistiek.nl (2010). *Vos Logistics opent eerste LNG-vulstation*. Opgevraagd op 10 januari, 2011, via <http://www.logistiek.nl/distributie/duurzaamheid-regelgeving/nid10701-vos-logistics-opent-eerste-Ing-vulstation.html>.
- LRM (Limburgse Reconversie­maatschappij) (2011). *Kempisch steenkoolbekken opnieuw belangrijke energiebron*. Opgevraagd op 3 mei, 2011, via <http://www.lrm.be/nieuws/kempisch-steenkoolbekken-opnieuw-belangrijke-energiebron>.
- Mercedes-Benz (2010). *Econic Profile*. Opgevraagd op 15 december, 2010, via www.mercedes-benz.nl/...aardgastrekker.../100830_Econic_Profile_Amsterdam_RZ-NL.pdf.

- Milieubarometer (2007). *CO₂-meter*. Opgevraagd op 23 april, 2010, via <http://www.milieubarometer.nl/co2meter>.
- Milieucentraal (z.d.). *Bereken uw CO₂-uitstoot*. Opgevraagd op 22 april, 2010, via <http://www.milieucentraal.nl/pagina.aspx?onderwerp=Bereken+uw+CO2+uitstoot>.
- Mira (Milieurapport Vlaanderen) (2007). *Achtergronddocument thema beheer afvalstoffen*. Opgevraagd op 17 februari, 2010, via http://www.milieurapport.be/Upload/Main/MiraData/MIRA-T/02_THEMAS/02_17/AG_BEHEER_AFVALSTOFFEN.PDF.
- Mobimix.be (2008). *Electrabel opent aardgastankstations voor publiek*. Opgevraagd op 20 december, 2010, <http://www.mobimix.be/inhoud/electrabel-opent-aardgastankstations-voor-publiek>.
- Mobimix.be (2010). *Electrabel neemt CNG-wagens op in het wagenpark*. Opgevraagd op 20 december, 2010, <http://www.mobimix.be/inhoud/2010/10/26/2008>.
- Mobimix.be (z.d.). *Ecodriving*. Opgevraagd op 15 december, 2010, via <http://www.mobimix.be/thema/eco-driving>.
- MVO Vlaanderen (Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen Vlaanderen) (z.d.). *Wat is MVO?* Opgevraagd op 17 februari, 2010, via <http://www.mvovlaanderen.be/over-mvo/wat-is-mvo/>
- NaturalGas.org (2010)^a. *Background*. Opgevraagd op 1 november, 2010, via <http://www.naturalgas.org/overview/background.asp>.
- NaturalGas.org (2010)^b. *Natural gas in the transportation sector*. Opgevraagd op 1 november, 2010 via http://www.naturalgas.org/overview/uses_transportation.asp.
- Nederlandse PPO Associatie (z.d.). *Welkom bij de Nederlands PPO Associatie NPPOA*. Opgevraagd op 10 november, 2010, via <http://www.nppoa.nl/>.
- NVG America (Natural Gas Vehicles for America) (2010). *Technologies*. Opgevraagd op 1 november, 2010 via http://www.ngvc.org/tech_data/index.html.
- NVGA Europe (Natural & bio Gas Vehicle Association) (2009). *Position Paper: Natural Gas and CO₂, Natural gas is a champion in road transport and also saving CO₂ emissions*.

Opgevraagd op 20 december, 2010, via <http://www.ngvaeurope.eu/downloads/NGVA-Europe-Position-Paper-CNG-CO2.pdf>.

- NVGA Europe (Natural & bio Gas Vehicle Association) (2010)^a. *European NGV statistics*. Opgevraagd op 3 december, 2010, via <http://www.ngvaeurope.eu/european-ngv-statistics>.
- NVGA Europe (Natural & bio Gas Vehicle Association) (2011)^a. *Transport 2050: NGVA Europe supports White Paper and the push to use more alternative fuels*. Opgevraagd op 15 april, 2011, via <http://www.ngvaeurope.eu/transport-2050-commission-outlines-ambitious-plan-to-increase-mobility-and-reduce-emissions>.
- NVGA Europe (Natural & bio Gas Vehicle Association) (2011)^b. *Worldwide NGV statistics*. Opgevraagd op 3 december, 2010, via <http://www.ngvaeurope.eu/worldwide-ngv-statistics>.
- NVGA Europe (Natural & bio Gas Vehicle Association) (z.d.)^a. *LNG (Liquified Natural Gas) Technologies*. Opgevraagd op 2 november, 2010, via <http://www.ngvaeurope.eu/lng-liquefied-natural-gas-technologies>.
- NVGA Europe (Natural & bio Gas Vehicle Association) (z.d.)^b. *Market growth in Europe (1995-2010)*. Opgevraagd op 3 december, 2010, via <http://www.ngvaeurope.eu/ngv-market-growth-in-europe-1995-2010>.
- NVGA Europe (Natural & bio Gas Vehicle Association) (z.d.)^c. *Our Vision*. Opgevraagd op 3 december, 2010, via <http://www.ngvaeurope.eu/our-vision>.
- NGV Global (International Association for Natural Gas Vehicles) (2007)^a. *Engine technology*. Opgevraagd op 20 december, 2010, via <http://www.iangv.org/natural-gas-vehicles/engine-technology.html>.
- NGV Global (International Association for Natural Gas Vehicles) (2007)^b. *Natural Gas*. Opgevraagd op 10 december, 2010, via <http://www.iangv.org/natural-gas-vehicles/natural-gas.html>.
- NGV Global (International Association for Natural Gas Vehicles) (2007)^c. *Natural Gas Vehicles*. Opgevraagd op 10 december, 2010, via <http://www.iangv.org/natural-gas-vehicles.html>.
- NGV Global (International Association for Natural Gas Vehicles) (2008)^a. *Vehicle Types*. Opgevraagd op 20 november, 2010, via <http://www.iangv.org/natural-gas-vehicles/vehicle-types.html>.

- NGV Global (International Association for Natural Gas Vehicles) (2008)^b. *Engine Types*. Opgevraagd op 20 november, 2010, via <http://www.iangv.org/natural-gas-vehicles/engine-types.html>.
- NGV Global (International Association for Natural Gas Vehicles) (2010)^a. *About NVG Global*. Opgevraagd op 3 december, 2010, via <http://www.iangv.org/about-iangv.html>.
- NGV Global (International Association for Natural Gas Vehicles) (2010)^b. *Natural gas vehicles statistics*. Opgevraagd op 3 december, 2010, via <http://www.iangv.org/tools-resources/statistics.html>.
- NGV Global (International Association for Natural Gas Vehicles) (2010)^c. *Natural Gas – The Sleeping Giant in the Quest to Reduce Transport Related GHG Emissions*. Opgevraagd op 10 december, 2010, via <http://www.igu.org/cop-15/cop16-pdfs-cancun-5-dec-2010/NGV%20Global.pdf/view?searchterm=vehicle>.
- Ode (Organisatie voor Duurzame Energie Vlaanderen) (z.d.). *Steunmaatregelen*. Opgevraagd op 15 november, 2010, via <http://www.ode.be/zonnestroom/praktische-gids/steunmaatregelen>.
- Opek Nederland (Organisatie voor plantenziekten en ecologische krachtbronnen) (z.d.). *OPEK Nederland Organisatie voor plantenziekten en ecologische krachtbronnen*. Opgevraagd op 10 november, 2010, via <http://www.opek.nl/>.
- Orange gas (z.d.). *Home*. Opgevraagd op 10 december, 2010, via <http://www.orangegas.nl/home>.
- Paper Chain Forum (2006). *Papier en leefmilieu: een steeds duurzamere relatie*. Opgevraagd op 17 april, 2010, via <http://www.paperchainforum.org/pdf/ecotripweb.pdf>.
- Plantenziekten bvba (2006). *Plantenziekten*. Opgevraagd op 10 november, 2010, via <http://www.plantenziekten.be/?id=4>.
- Port of Antwerp (2010). *Haven van Antwerpen krijgt eerste aardgastankpunt (persbericht)*. Opgevraagd op 10 januari, 2011, via http://www.havenvanantwerpen.be/portal/pls/portal/!PORTAL.wwpob_page.show?_docname=972006.PDF.

- *PPO Mobiel*. (2008). *Wat is PPO?* Opgevraagd op 10 november, 2010, via <http://www.ppomobiel.nl/index.php?id=413>.
- *PPO.be*. (2010). *Wie zijn wij?*. Opgevraagd op 10 november, 2010, via <http://www.ppo.be>.
- *PPO.eu*. (2007). *Home*. Opgevraagd op 10 november, 2010, via <http://www.ppo-eu.org/>.
- Prins Autogassystemen (2008). *Dieselblend systemen*. Opgevraagd op 2 februari, 2011, via <http://www.prinsautogas.com/nl/producten/dieselblend/dieselblend.html>.
- *Pureplantaardigeolie.nl* (z.d.). *Wat is pure plantaardige olie (PPO)?* Opgevraagd op 10 november, 2010, via <http://www.pureplantaardigeolie.nl/index1024.php>.
- *Rijdenopaardgas.nl* (z.d.). *Waarom rijden op aardgas?* Opgevraagd op 20 januari, 2011, via http://www.ngv-holland.nl/content_roa_01_2.php.
- Rolande LNG (2010). *De Trucks*. Opgevraagd op 2 november, 2010, via <http://www.rolandelng.nl/nl/de-trucks.htm>.
- Scania (2007). *Geen reden meer om te wachten: nu overschakelen op hernieuwbare brandstoffen!* Opgevraagd op 20 december, 2010, via http://www.scania.com/Images/P07X08NL%20Viable%20fuels_tcm10-178757_81086.pdf.
- SenterNovem (2009). *Energiebesparing en Duurzame Energieconcepten*. Opgevraagd op 10 december, 2010, via http://www.senternovem.nl/duurzameenergie/DE-technieken/Energiebesparing_en_DEconcepten/Index.asp.
- Time for change (z.d.). *What is a carbon footprint-definition*. Opgevraagd op 22 april, 2010, via <http://timeforchange.org/what-is-a-carbon-footprint-definition>.
- VITO (Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek) (2005). *Studie VITO: Maximum 80 km/uur voor vrachtwagens: tot 15% CO2 minder*. Opgevraagd op 15 januari, 2011, via <http://www.mobielvlaanderen.be/persberichten/artikel.php?id=90>.
- VITO (Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek) (2007). *Vergelijkende metingen van emissies en verbruik aan een bus van De Lijn rijdend op PPO, biodiesel en diesel*. Opgevraagd op 15 januari, 2011, via http://www.lne.be/themas/milieu-en-mobiliteit/downloads/studie-en-onderzoek/eindrapport_ppobus.pdf.

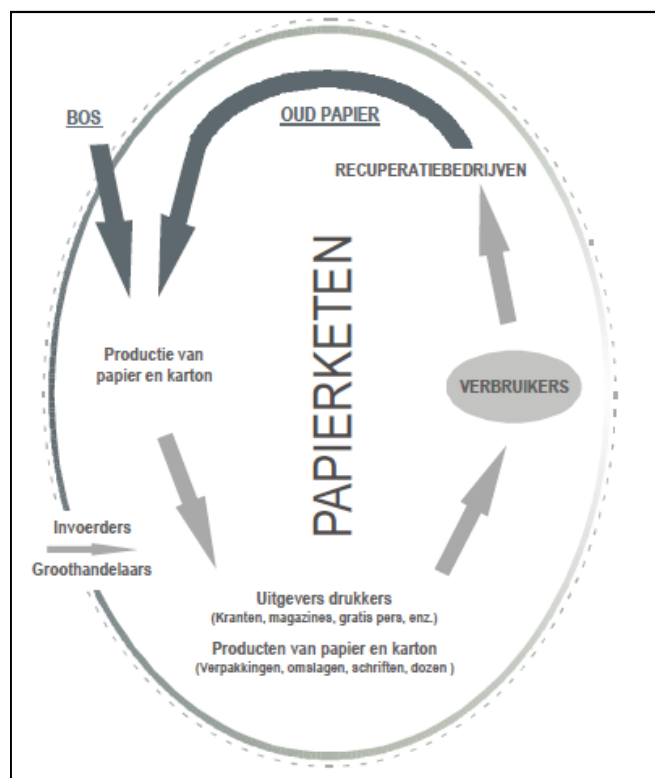
- VMM (Vlaamse milieumaatschappij) (2009). *Lozingen in de lucht 1990-2009*. Opgevraagd op 7 april, 2011 via http://www.vmm.be/pub/jaarverslag-lozingen-in-de-lucht-1990-2009/lozingen_rapport_2009_TW.pdf#page=259.
- Volvo (2011). *Volvo Gas Trucks, from concept to reality in just 3 years*. Opgevraagd op 17 mei, 2011, via <http://www.volvotrucks.com/SiteCollectionDocuments/VTC/Corporate/About%20us/Environment/Volvo%20gas%20truck.pdf>.
- VREG (Vlaams Regulator van de Elektriciteits- en Gasmarkt) (z.d.). *Begrippen*. Opgevraagd op 25 maart, 2011, via http://vreg.org/nl/02_tools/04_begrippen/l.asp.
- Zero Emissions Solutions (2010). *Rapportering*. Opgevraagd op 24 april, 2010, via <http://www.zeroemissionsolutions.com/nl/co2-neutraliteit.htm>.

Bijlagen

Bijlage 1: Levenscyclus van papier	149
Bijlage 2: Weergave van het bedrijfsproces van Bongaerts Recycling	149
Bijlage 3: Overzicht van de indeling van het bedrijfsproces van Bongaerts Recycling volgens de deelactiviteiten, bronnen en scopes	150
Bijlage 4: Verbruik en aantal kilometers per jaar of aantal uur per dag per voertuig bij Bongaerts Recycling (2009)	150
Bijlage 5: Gas-, stookolie- en elektriciteitsverbruik per jaar van Bongaerts Recycling (2009)	151
Bijlage 6: Standaard emissiefactoren diesel	151
Bijlage 7: Berekening CO ₂ -uitstoot per bron van Bongaerts Recycling (2009)	152
Bijlage 8: CO ₂ -uitstoot per ton gerecupereerd papier en karton door Bongaerts Recycling	154
Bijlage 9: CO ₂ -uitstoot per ton geproduceerd krantenpapier bij Stora Enso	155
Bijlage 10: Tips voor het nieuwe rijden, eco-driving met vrachtwagens	156
Bijlage 11: Emissienormen voor vrachtwagens	157
Bijlage 12: CNG-tanks en LNG-tank	157
Bijlage 13: Aantal gasvoertuigen in de wereld (einde 2010)	158
Bijlage 14: De reserves ten opzichte van de productie van aardgas (2009)	158
Bijlage 15: De reserves ten opzichte van de productie van aardolie (2009)	159
Bijlage 16: Enkele voorbeelden van bedrijven in België en Nederland die rijden op aardgas	160
Bijlage 17: Sensitiviteit NCW case 1 met verandering van het interval van de meerprijs (0 euro tot 35 000 euro)	161
Bijlage 18: Sensitiviteit NCW case 2 met verandering van het interval van de 'hoeveelheid vervangen diesel' (35% tot 45%)	161
Bijlage 19: Berekening NCW case 1, mono-fuel met prijs CNG aan de pomp	162
Bijlage 20: Berekening NCW case 2, dual-fuel met prijs CNG aan de pomp	163
Bijlage 21: Berekening emissiefactor CNG	164
Bijlage 22: Sociale tijdsvoorkeur	164
Bijlage 23: Berekening NCW van de verschillende types vrachtwagens van Bongaerts Recycling	165
Bijlage 24: Bijdrage van enkele parameters aan de variatie van de NCW van Bongaerts Recycling	169

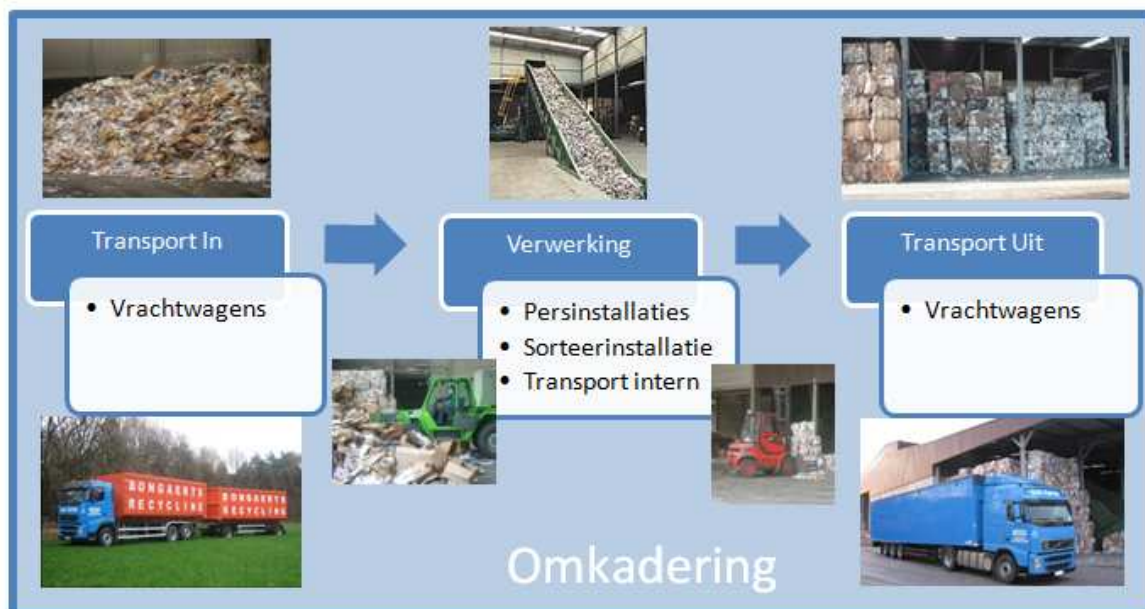
Bijlage 25: Sensitiviteit NCW Bongaerts Recycling met verandering van het interval van de 'vervangen hoeveelheid diesel' (35% tot 90%)	169
Bijlage 26: Berekening NCW van de verschillende types vrachtwagens van Bongaerts Recycling met prijs CNG aan de pomp	170
Bijlage 27: CO ₂ -vermindering per type vrachtwagen voor Bongaerts Recycling	174
Bijlage 28: Bijdrage van enkele parameters aan de variatie van de CO ₂ -reductie van Bongaerts Recycling	176
Bijlage 29: Simulatie van de CO ₂ -reductie van Bongaerts Recycling met verandering van het interval van de 'vervangen hoeveelheid diesel' (35% tot 90%)	176

Bijlage 1: Levenscyclus van papier



Bron: Paper Chain Forum (2006)

Bijlage 2: Weergave van het bedrijfsproces van Bongaerts Recycling



Bron: Eigen informatieverzameling

Bijlage 3: Overzicht van de indeling van het bedrijfsproces van Bongaerts Recycling volgens de deelactiviteiten, bronnen en scopes

Deelactiviteit	Bron	Scope
TRANSPORT IN en UIT	Vrachtwagens	SCOPE 1
VERWERKING	Transport intern (heftrucks, verreiker, kranen en wiellader)	
OMKADERING	Auto's voor onderhoud	
	Auto's voor personenvervoer	
	Gas (verwarming)	
	Stookolie (verwarming)	
VERWERKING	Elektriciteit (kantoren)	SCOPE 2
VERWERKING	Elektriciteit (persinstallaties en sorteerinstallatie)	

Bron: Eigen weergave

Bijlage 4: Verbruik en aantal kilometers per jaar of aantal uur per dag per voertuig bij Bongaerts Recycling (2009)

Gebruik	Verbruik	Km/jaar of uur/dag
Bandenkraan	14,00 L/uur	5,00 uur/dag
Bandenkraan	12,00 L/uur	2,00 uur/dag
Containervrachtwagen met aanhangwagen	46,14 L/100 km	52 044 km
Containervrachtwagen met aanhangwagen	45,95 L/100 km	56 450 km
Containervrachtwagen met aanhangwagen	45,11 L/100 km	52 020 km
Containervrachtwagen met aanhangwagen	45,26 L/100 km	47 304 km
Containervrachtwagen met aanhangwagen	48,74 L/100 km	51 000 km
Containervrachtwagen met aanhangwagen	46,74 L/100 km	57 000 km
Containervrachtwagen met aanhangwagen	44,27 L/100 km	32 000 km
Containervrachtwagen met aanhangwagen	48,74 L/100 km	87 000 km
Containervrachtwagen met aanhangwagen	44,52 L/100 km	84 000 km
Containervrachtwagen met aanhangwagen	48,23 L/100 km	80 172 km
Distributievrachtwagen met laadklep	20,11 L/100 km	14 568 km
Heftruck met balenklem	8,00 L/uur	4,00 uur/dag
Heftruck met balenklem	8,00 L/uur	3,00 uur/dag
Heftruck met balenklem	9,00 L/uur	2,00 uur/dag
Heftruck met balenklem	9,00 L/uur	3,00 uur/dag
Heftruck met balenklem	10,00 L/uur	4,00 uur/dag
Heftruck met balenklem	10,00 L/uur	4,00 uur/dag
Heftruck met balenklem	12,00 L/uur	8,00 uur/dag
Heftruck met balenklem	12,00 L/uur	7,00 uur/dag
Heftruck met balenklem	13,00 L/uur	9,00 uur/dag
Heftruck met balenklem	13,00 L/uur	9,00 uur/dag
Heftruck met balenklem	9,50 L/uur	3,00 uur/dag
Heftruck met balenklem	9,50 L/uur	4,00 uur/dag
Heftruck met vorken	10,00 L/uur	0,50 uur/dag
Heftruck met vorken + roteerder	7,00 L/uur	3,00 uur/dag
Heftruck met vorken + roteerder	8,00 L/uur	3,00 uur/dag

Heftruck met vorken + roteerder	10,00 L/uur	8,00 uur/dag
Lichte vrachtwagen	6,00 L/100 km	10 000 km
Lichte vrachtwagen	11,00 L/100 km	9 000 km
Lichte vrachtwagen	17,00 L/100 km	5 000 km
Lichte vrachtwagen	7,00 L/100 km	25 000 km
Lichte vrachtwagen	6,50 L/100 km	14 000 km
Lichte vrachtwagen	6,50 L/100 km	20 000 km
Personenwagen	6,50 L/100 km	12 000 km
Personenwagen	7,00 L/100 km	25 000 km
Personenwagen	7,50 L/100 km	29 000 km
Personenwagen	10,00 L/100 km	30 000 km
Perswagen	41,91 L/100 km	38 544 km
Schuifzeilvrachtwagen met wipkar	38,87 L/100 km	54 732 km
Schuifzeilvrachtwagen met wipkar	42,05 L/100 km	76 692 km
Trekker met zelflossende oplegger	32,92 L/100 km	93 372 km
Trekker met zelflossende oplegger	34,16 L/100 km	119 520 km
Trekker met zelflossende oplegger	35,32 L/100 km	117 264 km
Verreiker	12,00 L/uur	0,50 uur/dag
Verreiker	12,00 L/uur	4,00 uur/dag
Verreiker	15,00 L/uur	2,00 uur/dag
Verreiker	17,00 L/uur	4,00 uur/dag
Wiellader (Bulldozer)	20,00 L/uur	4,00 uur/dag

Bron: Bongaerts Recycling (2010)

Bijlage 5: Gas-, stookolie- en elektriciteitsverbruik per jaar van Bongaerts Recycling (2009)

Type	Verbruik per jaar
Gas	166,48 MWh/jaar
Stookolie	3 000,00 L/jaar
Elektriciteit	811,61 MWh/jaar

Bron: Bongaerts Recycling (2010)

Bijlage 6: Standaard emissiefactoren diesel

Bron	Diesel
Departement LNE (z.d.) ^a	2,6435 kg/L
EcoLPG (2010)	2,6400 kg/L
EPA (2005)	2,6600 kg/L
Time for change (z.d.)	2,7000 kg/L

Bijlage 7: Berekening CO₂-uitstoot per bron van Bongaerts Recycling (2009)

Vrachtwagens

Gebruik	Verbruik (L/100km)	Km/jaar	Totaal verbruik (L/jaar)	CO ₂ -uitstoot (ton/jaar)
	Gegeven	Gegeven	= Verbruik * Km/jaar	= Totaal verbruik*10kWh/L* standaard emissiefactor diesel (0,00267 ton/kWh)
Containervrachtwagen met aanhangwagen	46,14	52044	24013,1016	64,11
Containervrachtwagen met aanhangwagen	45,95	56450	25938,775	69,26
Containervrachtwagen met aanhangwagen	45,11	52020	23466,222	62,65
Containervrachtwagen met aanhangwagen	45,26	47304	21409,7904	57,16
Containervrachtwagen met aanhangwagen	48,74	51000	24857,4	66,37
Containervrachtwagen met aanhangwagen	46,74	57000	26641,8	71,13
Containervrachtwagen met aanhangwagen	44,27	32000	14166,4	37,82
Containervrachtwagen met aanhangwagen	48,74	87000	42403,8	113,22
Containervrachtwagen met aanhangwagen	44,52	84000	37396,8	99,85
Containervrachtwagen met aanhangwagen	48,23	80172	38666,9556	103,24
Distributievrachtwagen met laadklep	20,11	14568	2929,6248	7,82
Perswagen	41,91	38544	16153,7904	43,13
Schuifzeilvrachtwagen met wipkar	38,87	54732	21274,3284	56,80
Schuifzeilvrachtwagen met wipkar	42,05	76692	32248,986	86,10
Trekker met zelflossende oplegger	32,92	93372	30738,0624	82,07
Trekker met zelflossende oplegger	34,16	119520	40828,032	109,01
Trekker met zelflossende oplegger	35,32	117264	41417,6448	110,59
				1240,35

Bron: Bijlage 4, tabel 1 en eigen berekeningen

Transport intern

Gebruik	Verbruik (L/uur)	Uur/dag	Dag/jaar	Totaal verbruik (L/jaar)	CO ₂ -uitstoot (ton/jaar)
	Gegeven	Gegeven	Gegeven	= Verbruik*Uur/dag* Dag/jaar	= Totaal Verbruik*conversiefactor (10kWh/L)* standaard emissiefactor diesel (0,00267 ton/kWh)
Heftruck met balenklem	8	4	240	7680	20,51
Heftruck met balenklem	8	3	240	5760	15,38
Heftruck met balenklem	9	2	240	4320	11,53
Heftruck met balenklem	9	3	160	4320	11,53
Heftruck met balenklem	10	4	180	7200	19,22
Heftruck met balenklem	10	4	180	7200	19,22
Heftruck met balenklem	12	8	200	19200	51,26
Heftruck met balenklem	12	7	240	20160	53,83
Heftruck met balenklem	13	9	240	28080	74,97
Heftruck met balenklem	13	9	240	28080	74,97
Heftruck met balenklem	9,5	3	180	5130	13,70
Heftruck met balenklem	9,5	4	180	6840	18,26
Heftruck met vorken	10	0,5	220	1100	2,94
Heftruck met vorken + roteerder	7	3	190	3990	10,65
Heftruck met vorken + roteerder	8	3	200	4800	12,82
Heftruck met vorken + roteerder	10	8	240	19200	51,26
Verreiker	12	0,5	150	900	2,40
Verreiker	12	4	240	11520	30,76
Verreiker	15	2	200	6000	16,02
Verreiker	17	4	240	16320	43,57
Wiellader	20	4	240	19200	51,26
Bandenkraan	14	5	240	16800	44,86
Bandenkraan	12	2	200	4800	12,82
					663,76

Bron: Bijlage 4, tabel 1 en eigen berekeningen

Auto's voor onderhoud

Gebruik	Verbruik (L/100km)	Km/jaar	Totaal verbruik (L/jaar)	CO ₂ -uitstoot (ton/jaar)
	Gegeven	Gegeven	= Verbruik * Km/jaar	= Totaal verbruik*conversiefactor (10kWh/L)* standaard emissiefactor diesel (0,00267 ton/kWh)
Lichte vrachtwagen	6	10000	600	1,60
Lichte vrachtwagen	11	9000	990	2,64
Lichte vrachtwagen	17	5000	850	2,27
Lichte vrachtwagen	7	25000	1750	4,67
Lichte vrachtwagen	6,5	14000	910	2,43
Lichte vrachtwagen	6,5	20000	1300	3,47
				17,09

Bron: Bijlage 4, tabel 1 en eigen berekeningen

Auto's voor personenvervoer

Gebruik	Verbruik (L/100km)	Km/jaar	Totaal verbruik (L/jaar)	CO ₂ -uitstoot (ton/jaar)
	Gegeven	Gegeven	= Verbruik * Km/jaar	= Totaal verbruik*conversiefactor (10kWh/L)* standaard emissiefactor diesel (0,00267 ton/kWh)
Personenwagen	6,5	12000	780	2,08
Personenwagen	7	25000	1750	4,67
Personenwagen	7,5	29000	2175	5,81
Personenwagen	10	30000	3000	8,01
				20,57

Bron: Bijlage 4, tabel 1 en eigen berekeningen

Elektriciteit, gas en stookolie

Gebruik	Verbruik	Conversiefactor	Standaard emissiefactor	CO ₂ -uitstoot (ton/jaar)
	Gegeven	IPCC (2006)	Zie tabel 3	= Verbruik*conversiefactor* standaard emissiefactor
Elektriciteit	811,612 MWh/jaar	/	0,285 t CO ₂ /MWh	231,31 t CO₂/jaar
Gas	166,481 MWh/jaar	/	0,202 t CO ₂ /MWh	33,63 t CO₂/jaar
Stookolie	3.000,000 L/jaar	10,000 kWh/L	0,00279 t CO ₂ /kWh	8,37 t CO₂/jaar

Bron: Bijlage 5, tabel 1 en eigen berekeningen

Bijlage 8: CO₂-uitstoot per ton gerecupereerd papier en karton door Bongaerts Recycling

	Bron	CO₂ ton/jaar	ton afvalstoffen	ton CO₂/ton afvalstof
(1)	Vrachtwagens	1 240,35 ton/jaar	98 059,34 ton/jaar	0,01265 ton CO ₂ /ton
(2)	Transport intern	663,76 ton/jaar	143 686,44 ton/jaar	0,00462 ton CO ₂ /ton
(3)	Auto's voor onderhoud	17,09 ton/jaar	152 147,05 ton/jaar	0,00011 ton CO ₂ /ton
(4)	Auto's voor personenvervoer	20,57 ton/jaar	152 147,05 ton/jaar	0,00014 ton CO ₂ /ton
(5)	Gas	33,63 ton/jaar	152 147,05 ton/jaar	0,00022 ton CO ₂ /ton
(6)	Stookolie	8,37 ton/jaar	152 147,05 ton/jaar	0,00006 ton CO ₂ /ton
	Totale CO₂-uitstoot	1 983,77 ton/jaar		


	Deelactiviteit	Papier & Karton*
(8): (3)+(4)+(5)+(6)	Omkadering	0,0005236 ton CO ₂ /ton
(9): (2)	Transport intern	0,0046195 ton CO ₂ /ton
(10): (1)	Transport Uit	0,0126490 ton CO ₂ /ton
(11): (1)	Transport In	0,0126490 ton CO ₂ /ton
(12): (8)+(9)+(1)+(11)+(12)	Totale uitstoot	0,0304411 ton CO ₂ /ton
(13): (13)*1000	Uitstoot g per kg	30,44109 g CO₂/kg

* Als papier en karton zowel ingevoerd, uitgevoerd, verwerkt, intern getransporteerd als omkaderd wordt, wordt deze uitstoot teweeggebracht.

Werkwijze: Per bron werd de CO₂-uitstoot (uit tabel 2) gedeeld door het totaal aantal ton afvalstoffen die in 2009 deze bron teweegbrachten. Op basis hiervan werd vervolgens per deelactiviteit de emissie bepaald en de som hiervan gemaakt om tot de totale uitstoot (g CO₂/kg) te komen. De emissie van het elektriciteitsverbruik werd verwijderd vermits deze 0 was (zie tabel 2). Hierdoor heeft dit geen impact op de emissie van verwerking waardoor deze ook werd weggelaten. Er is ook geen impact van het elektriciteitsverbruik op de emissie van de omkadering.

Bijlage 9: CO₂-uitstoot per ton geproduceerd krantenpapier bij Stora Enso

paper profile



Product

Company

Mill

NewsPress 40 – 52 g/m²

Stora Enso Publication Paper

Langerbrugge Mill

Information gathered from

1 Jan 2009 to 31 Dec 2009

Date of issue

29 April 2010

Environmental product declaration for paper

Environmental Management

Certified environmental management system at the mill: ISO 14001

Company systems ensure traceability of the origin of wood yes no **100% recovered paper**

Certified Chain of Custody system in place at the mill: FSC and PEFC.


<http://www.storaenso.com/sustainability/certificates/Pages/certificates.aspx>

Environmental parameters

The figures are based on methods and procedures of measurement approved by the local (or national) environmental regulators at the production site. The figures include both paper and pulp production.

Water	COD	1.9	kg/tonne
	AOX	0.002	kg/tonne
	N_{tot}	0.042	kg/tonne
	P_{tot}	0.011	kg/tonne
Air	SO₂	0.011	kg/tonne
	NO_x	0.55	kg/tonne
	CO₂ (fossil)	230	kg/tonne
	Solid waste landfilled	17	BDkg/tonne
	Purchased electricity consumption		
/tonne of final product		893	kWh

Product composition



More information

Contact person **Luc De Smet**

Address SE Langerbrugge Mill, Wondelgemkaai
200, 9000 Gent, Belgium

Phone +32 92577211

E-mail luc.desmet@storaenso.com

For more information about Paper Profile, call us on +32 92577211 or visit www.storaenso.com

Bron: Stora Enso (2011)

Bijlage 10: Tips voor het nieuwe rijden, eco-driving met vrachtwagens

TIPS

Rijstijl

- Schakel zo vroeg mogelijk, tussen 1000 en 1500 toeren, naar een hogere versnelling. Het groene gebied op de toerenteller geeft het ideale toerental aan.
- Rijd zoveel mogelijk met een gelijkmatige snelheid met een laag toerental in de hoogste versnelling waarin de motor soepel loopt.
- Kijk zo ver mogelijk vooruit en anticipeer op wat het overige verkeer gaat doen.
- Houd voldoende afstand
- Ziet u dat u snelheid moet minderen of moet stoppen voor een verkeerslicht, laat dan tijdig gas los, ontkoppel niet en laat de vrachtauto in de versnelling van dat moment uitrollen.
- Houd u aan de geldende snelheidslimiet.
- Zet de motor uit wanneer het kan. Het loont al bij een stop van een minuut.
- Vermijd energieverpilling door onnodig gebruik van elektrische apparatuur.

Vorbereiding van de rit

- Kies de route met zorg, vertrek op tijd en vermijd zoveel mogelijk de spits.
- Zorg dat afdekzeilen goed vastzitten en niet flapperen.
- Dek vracht in een open laadbak goed af.
- Laat geen lading onnodig uitsteken.
- Verdeel de lading steeds zo gelijkmatig mogelijk.

Banden en technisch onderhoud

- Controleer maandelijks de bandenspanning.
- Overweeg de aanschaf van banden met lage rolweerstand.
- Rijd niet onnodig lang door op winterbanden; wissel tijdig weer naar zomerbanden.
- Onderhoud de vrachtauto volgens voorschrift; daarmee blijft de vrachtauto in goede conditie en voorkomt u dat hij minder zuinig gaat lopen.

Brandstofbesparende accessoires

- Maak, indien mogelijk, gebruik van brandstofbesparende accessoires, zoals toerenteller, cruise control en boordcomputer.
- Vertrouw op de toerenteller als leidraad voor het schakelen.
- De cruise control bespaart brandstof en maakt rijden comfortabeler.

Investeren

- Bedrijven die investeren in zuinig rijgedrag van chauffeurs, kunnen veel besparen op brandstofkosten.
- Gesloten zijafscherming en dakspoilers verminderen de luchtweerstand. Dat is gunstig voor het brandstofverbruik.
- Weeg bij de aankoop van een nieuwe vrachtauto zorgvuldig de voor- en nadelen af van conventionele vrachtauto's en vrachtauto's met een alternatieve aandrijftechniek.

Bron: Het Nieuwe Rijden (z.d.)^a

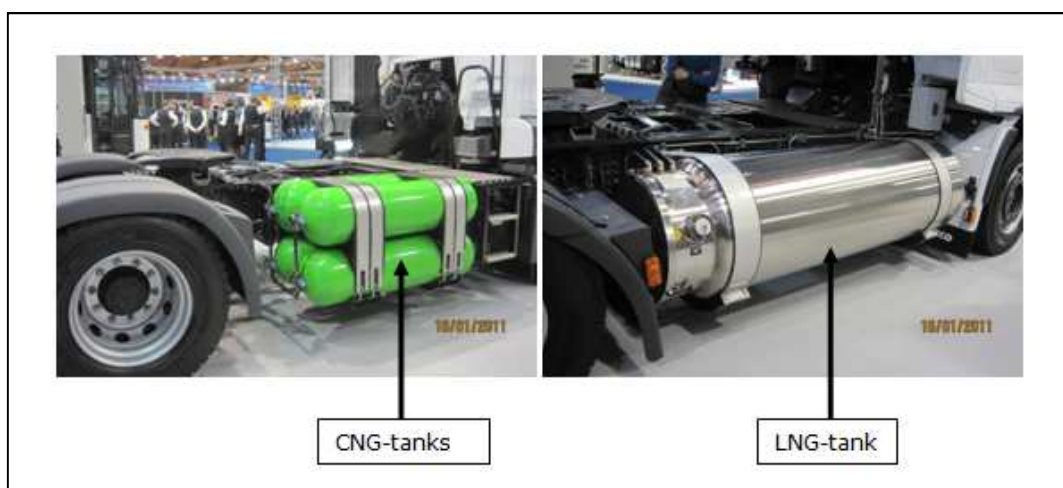
Bijlage 11: Emissienormen voor vrachtwagens

EU Emissie Standaarden Zwaar Vervoer Diesel motoren, g/kWh							
Tier	Date & Category	Test Cycle	CO	HC	NOx	PM	Smoke
Euro I	1992, <85 kW	ECE R-49	4.5	1.1	8.0	0.612	
	1992, >85 kW		4.5	1.1	8.0	0.36	
Euro II	1996.10		4.0	1.1	7.0	0.25	
	1998.10		4.0	1.1	7.0	0.15	
Euro III	1999.10, <i>EEVs only</i>	ESC & ELR	1.5	0.25	2.0	0.02	0.15
	2000.10	ESC&ELR	2.1	0.66	5.0	0.10 0.13*	0.8
Euro IV	2005.10	ESC&ELR	1.5	0.46	3.5	0.02	0.5
Euro V	2008.10		1.5	0.46	2.0	0.02	0.5
Euro VI	2013.01		ESC	1.5	0.13	0.4	0.01

* - for engines of less than 0.75 dm³ swept volume per cylinder and a rated power speed of more than 3000 min⁻¹

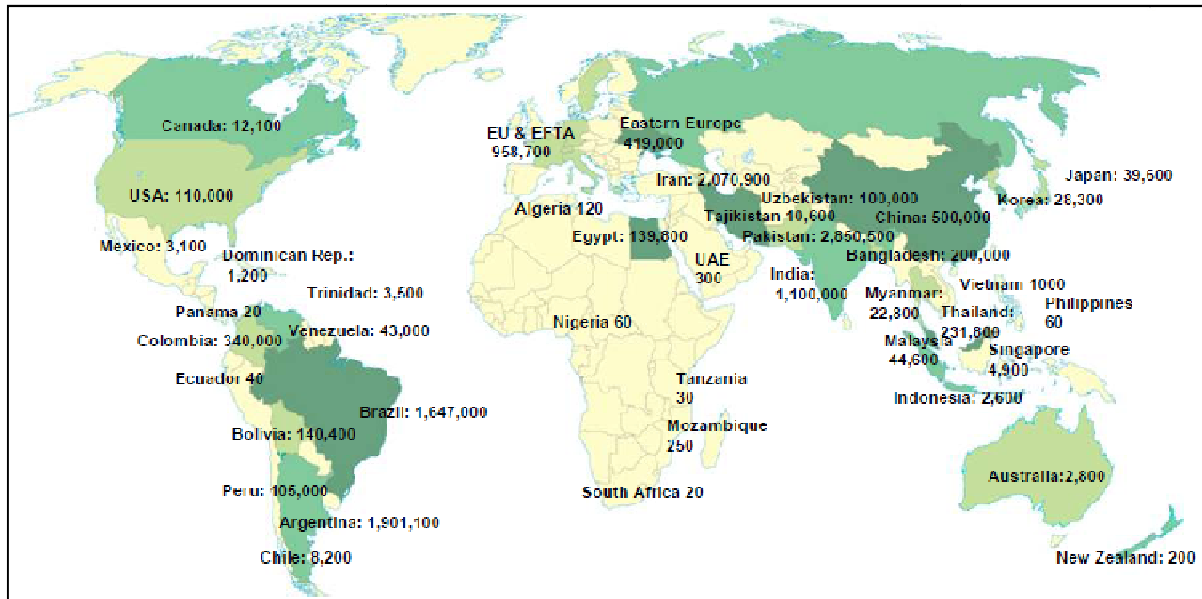
Bron: Departement LNE (z.d.)^b

Bijlage 12: CNG-tanks en LNG-tank



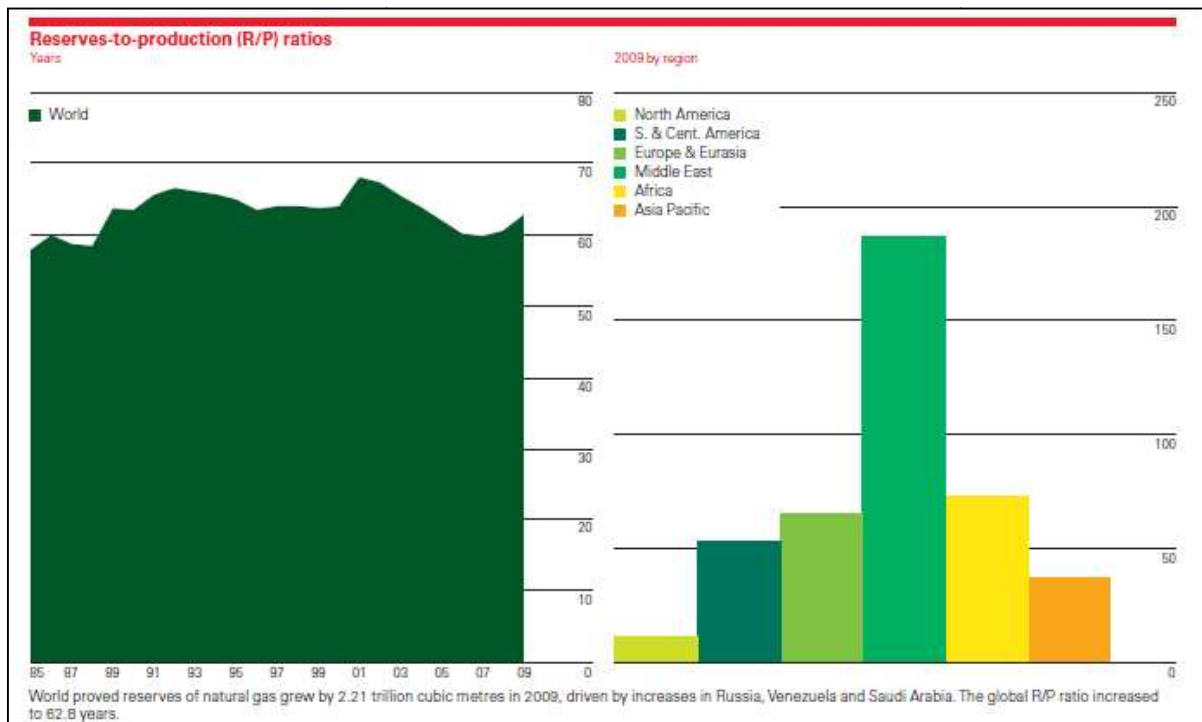
Bron: Truck en Transport (2011)

Bijlage 13: Aantal gasvoertuigen in de wereld (einde 2010)



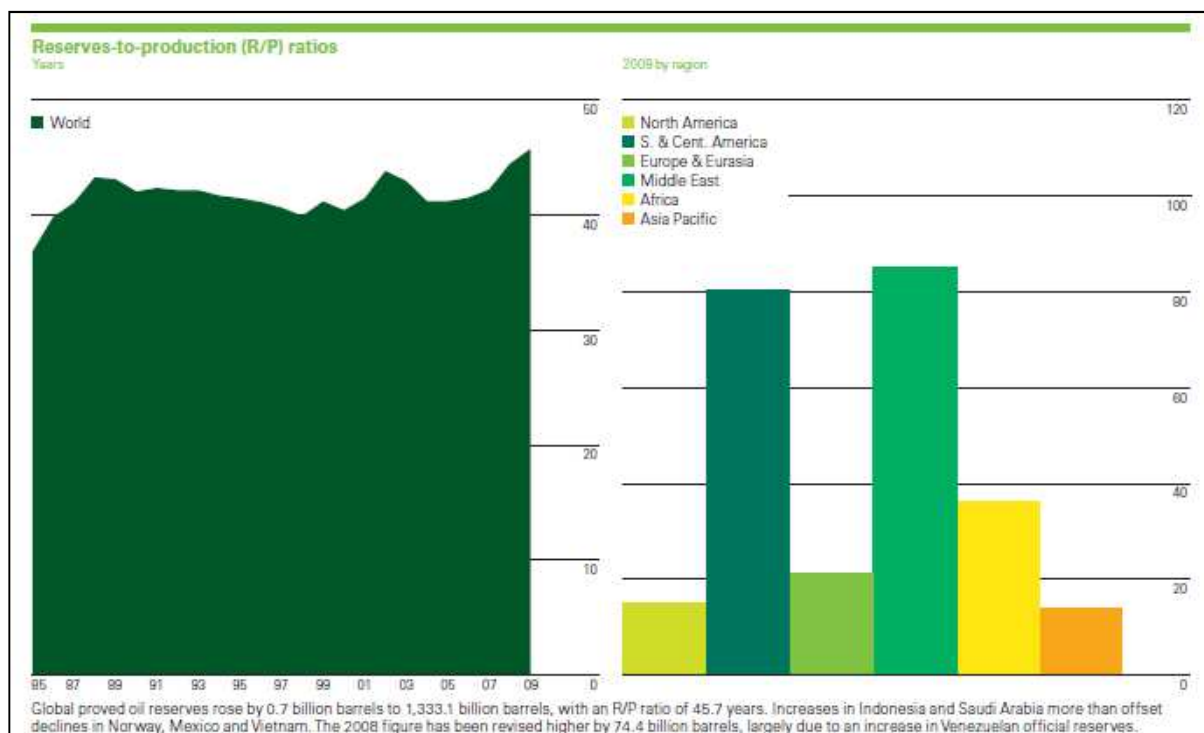
Bron: NVGA Europe (2011)^b

Bijlage 14: De reserves ten opzichte van de productie van aardgas (2009)



Bron: British Petroleum (2010)

Bijlage 15: De reserves ten opzichte van de productie van aardolie (2009)



Bron: British Petroleum (2010)

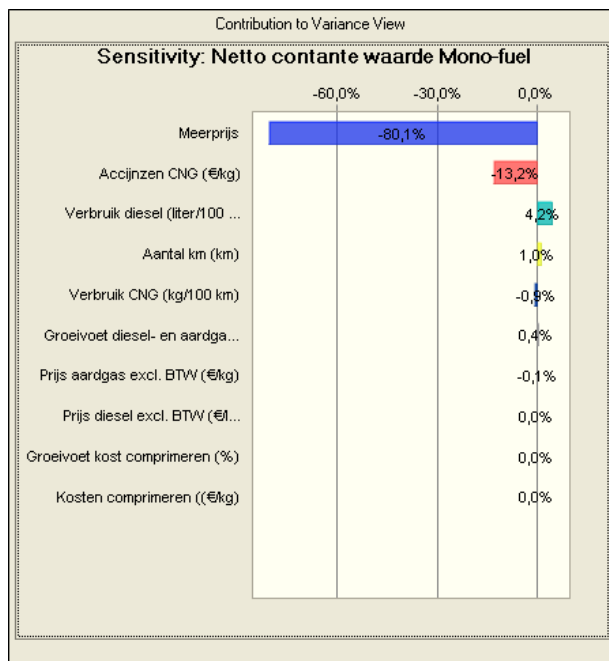
Bijlage 16: Enkele voorbeelden van bedrijven in België en Nederland die rijden op aardgas

Voorals in Nederland kan men een aantal voorbeelden van bedrijven vinden die recentelijk het alternatief van aardgas in beschouwing hebben genomen of nemen. Zo heeft **Vos logistics** in samenwerking met een aantal partners de stap gezet naar LNG. Dit werd gedaan door het plaatsen van een LNG-tankstation en het aankopen van LNG-vrachtwagens. Hierdoor wil men milieuvriendelijk rijden met vrachtwagens mogelijk maken. Bovendien wordt ook het lager geluidsniveau en de mogelijkheid tot overstap naar vloeibaar biogas (LBG) als pluspunt aangehaald. (Logistiek.nl, 2010) **Simons Loos**, een transportbedrijf van levensmiddelen in binnensteden, heeft maar liefst 30 vrachtwagens op aardgas ingezet om voor een schone en stille distributie te zorgen (Mercedes-Benz, 2010 en Logistiek.nl, 2009^b). Een ander Nederlands bedrijf, **Clean Mat**, heeft in 2010 een vuilniswagen op aardgas in gebruik genomen. Met deze huurvrachtwagen wil het bedrijf particulieren en overheidsinzamelbedrijven de mogelijkheid bieden om ervaring op te doen met een milieuvriendelijker inzamelvoertuig, zonder daarvoor zelf te moeten investeren. (Recycling Magazine Benelux, 2010) Ook **Dar**, een bedrijf dat verschillende diensten aanbiedt op het gebied van reiniging en afval, maakt gebruik van aardgas voor een vuilniswagen (Dar, 2009). Een ander voorbeeld is de Nederlandse detailhandelaar **Albert Hein**. Deze zou echter voornamelijk omwille van het gunstig geluidsniveau geïnteresseerd zijn (Scania, 2010). Ook **Lekkerland**, verdeler van voornamelijk snoepgoed en drank, rijdt op aardgas.

In Nederland vindt men dus tal van voorbeelden en bovenstaande lijst is niet volledig. Ook in België zijn er enkele voorbeelden. Zo tracht de alom gekende **Colruyt Groep** om publieke aardgastankstations te plaatsen via zijn DATS24-tankstations. Ze openden dit jaar een eerste CNG-tankstation in Halle en een tweede in Antwerpen. Tankstations in Ninove en Anderlecht zouden later dit jaar geplaatst worden. Men zou zelfs plannen hebben om meer dan 25 stations te installeren. (DATS24, z.d.^a, DATS24, z.d.^b, DATS24, z.d.^c, Express, 2010, Port of Antwerp, 2010) Het eerste publieke tankstation dat in België werd geopend, in 2008, is van **Elektrabel**. Zij engageren zich zodoende sinds 2008 ook om CNG bekend te maken bij het brede publiek. (Mobimix.be, 2008 en KW.be, 2008) Ook rijden er sinds 2010 wagens op CNG (Mobimix.be, 2010). Een ander groot bedrijf, het koeriersbedrijf **DHL**, rijdt reeds in verschillende landen, waaronder ook in België, op aardgas. Het gaat hier niet om vrachtwagens en het betreft ook geen vestigingen in Limburg (Ecofillco, 2010). Dit is tevens het geval voor **Hendriks**, een bedrijf dat gespecialiseerd is in gehandicaptenvervoer. Zij rijden met busjes op aardgas. De eerste gecommmercialiseerde vrachtwagen op aardgas in België werd in gebruik genomen op 3 november 2010 door **Delrue Group**. Dit is de groep waartoe ook Ecofillco, een verdeler van aardgastankstation behoort. (Ecofillco, 2010)

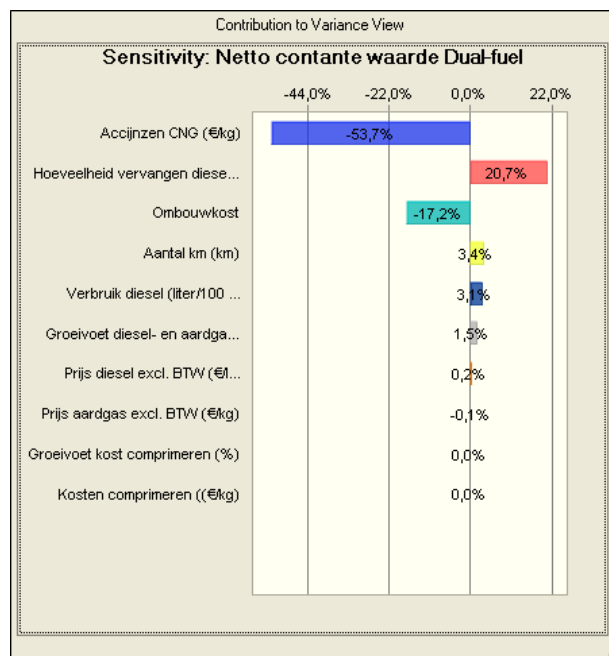
In de gesprekken met vertegenwoordigers van verschillende vrachtwagenmerken werd telkens getracht te polsen naar het feit of er vraag is naar dit alternatief. Het antwoord is eenduidig; men merkt dat bedrijven op zoek zijn en vragen naar duurzame alternatieven waaronder ook aardgas.

Bijlage 17: Sensitiviteit NCW case 1 met verandering van het interval van de meerprijs (0 euro tot 35 000 euro)



Bron: Crystal Ball, scenarioanalyse op NCW van case 1

Bijlage 18: Sensitiviteit NCW case 2 met verandering van het interval van de 'hoeveelheid vervangen diesel' (35% tot 45%)



Bron: Crystal Ball, scenarioanalyse op NCW van case 2

Bijlage 19: Berekening NCW case 1, mono-fuel met prijs CNG aan de pomp

Jaar	0	1	2	3	4	5
(1): uit tabel 13 (1)	Investeringskost	-28 000,00				
(2): (1)/5	Afschrijvingen		5 600,00	5 600,00	5 600,00	5 600,00
(3): (2)* uit tabel 13 (21)	Belastingsschild afschrijvingen		1 898,40	1 898,40	1 898,40	1 898,40
(4): uit tabel 13 (4)	Aantal km		65 000	65 000	65 000	65 000
(5):(4)*uit tabel 13 (6)/100	Aantal kg CNG		16 250,00	16 250,00	16 250,00	16 250,00
(6): (0,7782) *(1+ uit tabel 13 (10))^jaar-1	Prijs CNG		0,7782	0,7994	0,8213	0,8437
(7): (5)*(6)	Kost CNG		12 645,75	12 990,98	13 345,63	13 709,97
(8): (4) uit tabel 13*(5)/100	Aantal liter diesel		20 800,00	20 800,00	20 800,00	20 800,00
(9): uit tabel 13 (7)*((1+(8))^jaar)	Prijs diesel		1,0203	1,0482	1,0768	1,1062
(10): (8)*(9)	Kost diesel		21 222,54	21 801,91	22 397,11	23 008,55
(11): (10)-(7)	Totale brandstofbaat		8 576,79	8 810,94	9 051,47	9 298,58
(12): (11)/(4)	Brandstofbaat per km		0,1320	0,1356	0,1393	0,1431
(13): (11)* (1-uit tabel 13 (21))	Netto brandstofbaat		5 669,26	5 824,03	5 983,02	6 146,36
(14): uit tabel 13 (14)	Onderhoud		0,00	0,00	0,00	0,00
(15): uit tabel 13 (15)	Verzekering		0,00	0,00	0,00	0,00
(16): uit tabel 13 (16)	Eurovignet		0,00	0,00	0,00	0,00
(17): uit tabel 13 (17)	Verkeersbelasting		0,00	0,00	0,00	0,00
(18): uit tabel 13 (18)	Technische keuring		0,00	0,00	0,00	0,00
(19): (1)+(3)+(13)+(14)+(15)+(16)+(17)+(18)	Totaal	-28 000,00	7 567,66	7 722,43	7 881,42	8 044,76
(20): (19)/(1+0,0628)^jaar	Actuele waarden	-28 000,00	7 120,65	6 837,08	6 565,68	6 305,89
(21): som rij (20)	Netto contante waarde	4 886,46				

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 13 en 14

Bijlage 20: Berekening NCW case 2, dual-fuel met prijs CNG aan de pomp

	Jaar	0	1	2	3	4	5
(1): uit tabel 15 (1)	Investeringskost	- 10 250					
(2): (1)/5	Afschrijvingen		2 050,00	2 050,00	2 050,00	2 050,00	2 050,00
(3): (2)* uit tabel 15 (24)	Belastingsschild afschrijvingen		694,95	694,95	694,95	694,95	694,95
(4): uit tabel 15 (4)	Aantal km		60 000	60 000	60 000	60 000	60 000
(5): (4)*uit tabel 15 (9)/100	Aantal kg CNG		8 010,42	8 010,42	8 010,42	8 010,42	8 010,42
(6): 0,7782 *(1+uit tabel 15 (13)) ^{jaar-1})	Prijs CNG		0,7782	0,7994	0,8213	0,8437	0,8667
(7): (6)*(4)	Kost CNG		6 233,71	6 403,89	6 578,71	6 758,31	6 942,81
(8): (4)*uit tabel 15 (8)/100	Resterend aantal liter diesel		14 400,00	14 400,00	14 400,00	14 400,00	14 400,00
(9): (4)*uit tabel 15 (5)/100	Aantal liter diesel		24 000,00	24 000,00	24 000,00	24 000,00	24 000,00
(10):uit tabel 15 (10)*((1+(11)) ^{jaar})	Prijs diesel		1,0203	1,0482	1,0768	1,1062	1,1364
(11): (8)*(10)	Kost resterende diesel		14 692,53	15 093,63	15 505,69	15 928,99	16 363,86
(12): (9)*(10)	Kost diesel		24 487,54	25 156,05	25 842,81	26 548,32	27 273,09
(13): (12)-((7)+(11))	Totale brandstofbaat		3 561,31	3 658,53	3 758,41	3 861,02	3 966,42
(14): (13)/(4)	Brandstofbaat per km		0,0594	0,0610	0,0626	0,0644	0,0661
(15): (13)*(1- uit tabel 15 (23))	Netto brandstofbaat		2 354,03	2 418,29	2 484,31	2 552,13	2 621,81
(16): uit tabel 15 (17)	Onderhoud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17): uit tabel 15 (18)	Verzekering		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18): uit tabel 15 (19)	Eurovignet		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19): uit tabel 15 (20)	Verkeersbelasting		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20): uit tabel 15 (21)	Keuring		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21):							
(1)+(3)+(15)+(16)+(17)+(18)+(19)+(20)	Totaal	-10 250,00	3 048,98	3 113,24	3 179,26	3 247,08	3 316,76
(22): (21)/(1+0,0628) ^{jaar}	Actuele waarden	-10 250,00	2 868,88	2 756,32	2 648,51	2 545,23	2 446,27
(23): som rij (22)	Netto contante waarde	3 015,20					

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 15 en 16

Bijlage 21: Berekening emissiefactor CNG

COMPRESSIE	
9 kW per uur voor 20 m³ (Ecofillco solution 'Fast Fill')	
(1): 9 kWh/20m ³	Elektriciteitsverbruik comprimeren 0,45 kWh/m ³
(2): zie tabel 3	LCA emissie elektriciteit (per MWh) 0,4020 t CO ₂ / MWh
(3): (2)/1000	LCA emissie elektriciteit (per kWh) 0,000402 t CO ₂ / kWh
(4): (1)*(3)	Emissie comprimeren (t CO₂/m³) 0,0001809 t CO₂/m³
(5): (Iveg, 2004)	Soortelijk gewicht aardgas 0,8330 kg/m ³
(6): (4)/(5)	Emissie comprimeren (t CO₂/kg) 0,0002172 t CO₂/kg
(7): (6)*1000	0,2172 kg CO ₂ /kg
AARDGAS	
(8): zie tabel 3	LCA emissiefactor (t CO ₂ / MWh) 0,2370 t CO ₂ / MWh
(9): (8)/1000	LCA emissiefactor (t CO ₂ / kWh) 0,0002370 t CO ₂ /kWh
(10): Factuur Bongaerts Recycling	Calorische waarde (kWh/m ³) 9,983 kWh/m ³
(11): (9)*(10)	Emissie aardgas (t CO₂/m³) 0,0023660 t CO₂/m³
(12): (Iveg, 2004)	Soortelijk gewicht aardgas 0,83300 kg/m ³
(13): (11)/(12)	Emissie aardgas (t CO₂/kg) 0,0028403 t CO₂/kg
(14): (13)*1000	2,8403 kg CO ₂ /kg
(15): (6)+(13)	Emissie CNG (t CO₂/kg) 0,0030575 t CO₂/kg
(16): (13)*1000	3,0575 kg CO ₂ /kg

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 3 en verzamelde informatie

Bijlage 22: Sociale tijdsvoorkeur

Schatten van de sociale tijdsvoorkeur	
De sociale tijdsvoorkeur wordt gegeven door de volgende formule	
$s = p + u * (1 + g)$	
waarbij: s = de sociale tijdsvoorkeur	
p = de pure tijdsvoorkeur, de voet <i>waartegen nut gediscoteerd wordt</i>	
u = de voet waarmee het <i>marginale nut vermindert</i> als de consumptie toeneemt	
g = de verwachte groei in de consumptie per hoofd	
Berekeningen omtrent	
p: zijn min of meer arbitrair: verschillende studies produceerden resultaten tot 2%.	
g: kan gebaseerd worden projecties van inkomen en bevolking	
u: verschillende studies (alhoewel betwist) ramen dit op 1 à 2%	
Voorbeeld:	
$s = 0,02 + 0,015 * (1 + 0,01) = 0,035 = 3.5\%$	

Bron: Thewys (2011)

Bijlage 23: Berekening NCW van de verschillende types vrachtwagens van Bongaerts Recycling

De berekening is voor elk type vrachtwagen hetzelfde als deze van de containervrachtwagens uit tabel 34. Er werd gebruik gemaakt van de gegevens uit tabel 37.

Trekker

Jaar	0	1	2	3	4	5
Investeringskost	-10 250,00					
Ecologiepremie	1 025,00					
Netto investeringskost	-9 225,00					
Afschrijvingen		2 050,00	2 050,00	2 050,00	2 050,00	2 050,00
Belastingsschild afschrijvingen		694,95	694,95	694,95	694,95	694,95
Aantal km		110 000,00	110 000,00	110 000,00	110 000,00	110 000,00
Aantal kg CNG		12 482,90	12 482,90	12 482,90	12 482,90	12 482,90
Prijs CNG		0,5664	0,5823	0,5987	0,6156	0,6329
Kost CNG		7 070,04	7 269,15	7 473,91	7 684,49	7 901,04
Resterend aantal liter diesel		22 440,00	22 440,00	22 440,00	22 440,00	22 440,00
Aantal liter diesel		37 400,00	37 400,00	37 400,00	37 400,00	37 400,00
Prijs diesel		0,8790	0,9030	0,9276	0,9530	0,9790
Kost resterende diesel		19 724,69	20 263,17	20 816,35	21 384,64	21 968,44
Kost diesel		32 874,48	33 771,95	34 693,92	35 641,07	36 614,07
Totale brandstofbaat		6 079,75	6 239,63	6 403,65	6 571,94	6 744,59
Brandstofbaat per km		0,0553	0,0567	0,0582	0,0597	0,0613
Netto brandstofbaat		4 018,72	4 124,39	4 232,82	4 344,05	4 458,17
Onderhoud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verzekering		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eurovignet		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verkeersbelasting		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Technische keuring		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Totaal	-9 225,00	4 713,67	4 819,34	4 927,77	5 039,00	5 153,12
Actuele waarden	-9 225,00	4 435,24	4 266,82	4 105,11	3 949,82	3 800,68
Netto contante waarde	11 332,68					

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 34 en 37

Schuifzeilvrachtwagen

Jaar	0	1	2	3	4	5
Investeringskost	-10 250,00					
Ecologiepremie	1 025,00					
Netto investeringskost	-9 225,00					
Afschrijvingen		2 050,00	2 050,00	2 050,00	2 050,00	2 050,00
Belastingsschild afschrijvingen		694,95	694,95	694,95	694,95	694,95
Aantal km		66 000,00	66 000,00	66 000,00	66 000,00	66 000,00
Aantal kg CNG		9 031,75	9 031,75	9 031,75	9 031,75	9 031,75
Prijs CNG		0,5664	0,5823	0,5987	0,6156	0,6329
Kost CNG		5 115,38	5 259,45	5 407,60	5 559,95	5 716,63
Resterend aantal liter diesel		16 236,00	16 236,00	16 236,00	16 236,00	16 236,00
Aantal liter diesel		27 060,00	27 060,00	27 060,00	27 060,00	27 060,00
Prijs diesel		0,8790	0,9030	0,9276	0,9530	0,9790
Kost resterende diesel		14 271,39	14 661,00	15 061,24	15 472,42	15 894,81
Kost diesel		23 785,65	24 435,00	25 102,07	25 787,36	26 491,36
Totale brandstofbaat		4 398,88	4 514,55	4 633,23	4 754,99	4 879,91
Brandstofbaat per km		0,0666	0,0684	0,0702	0,0720	0,0739
Netto brandstofbaat		2 907,66	2 984,12	3 062,57	3 143,05	3 225,62
Onderhoud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verzekering		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eurovignet		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verkeersbelasting		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Technische keuring		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Totaal	-9 225,00	3 602,61	3 679,07	3 757,52	3 838,00	3 920,57
Actuele waarden	-9 225,00	3 389,81	3 257,28	3 130,23	3 008,42	2 891,61
Netto contante waarde	6 452,34					

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 34 en 37

Persvrachtwagen

Jaar	0	1	2	3	4	5
Investeringskost	-10 250,00					
Ecologiepremie	1 025,00					
Netto investeringskost	-9 225,00					
Afschrijvingen		2 050,00	2 050,00	2 050,00	2 050,00	2 050,00
Belastingsschild afschrijvingen		694,95	694,95	694,95	694,95	694,95
Aantal km		39 000,00	39 000,00	39 000,00	39 000,00	39 000,00
Aantal kg CNG		5 467,11	5 467,11	5 467,11	5 467,11	5 467,11
Prijs CNG		0,5664	0,5823	0,5987	0,6156	0,6329
Kost CNG		3 096,45	3 183,66	3 273,33	3 365,56	3 460,40
Resterend aantal liter diesel		9 828,00	9 828,00	9 828,00	9 828,00	9 828,00
Aantal liter diesel		16 380,00	16 380,00	16 380,00	16 380,00	16 380,00
Prijs diesel		0,8790	0,9030	0,9276	0,9530	0,9790
Kost resterende diesel		8 638,78	8 874,62	9 116,90	9 365,79	9 621,47
Kost diesel		14 397,97	14 791,03	15 194,83	15 609,64	16 035,79
Totale brandstofbaat		2 662,74	2 732,76	2 804,60	2 878,30	2 953,91
Brandstofbaat per km		0,0683	0,0701	0,0719	0,0738	0,0757
Netto brandstofbaat		1 760,07	1 806,35	1 853,84	1 902,56	1 952,54
Onderhoud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verzekering		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eurovignet		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verkeersbelasting		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Technische keuring		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Totaal	-9 225,00	2 455,02	2 501,30	2 548,79	2 597,51	2 647,49
Actuele waarden	-9 225,00	2 310,01	2 214,54	2 123,29	2 036,05	1 952,65
Netto contante waarde	1 411,53					

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 34 en 37

Distributievrachtwagen

Jaar	0	1	2	3	4	5
Investeringskost	-10 250,00					
Ecologiepremie	1 025,00					
Netto investeringskost	-9 225,00					
Afschrijvingen		2 050,00	2 050,00	2 050,00	2 050,00	2 050,00
Belastingsschild afschrijvingen		694,95	694,95	694,95	694,95	694,95
Aantal km		15 000,00	15 000,00	15 000,00	15 000,00	15 000,00
Aantal kg CNG		1 001,30	1 001,30	1 001,30	1 001,30	1 001,30
Prijs CNG		0,5664	0,5823	0,5987	0,6156	0,6329
Kost CNG		567,12	583,09	599,51	616,40	633,77
Resterend aantal liter diesel		1 800,00	1 800,00	1 800,00	1 800,00	1 800,00
Aantal liter diesel		3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00
Prijs diesel		0,8790	0,9030	0,9276	0,9530	0,9790
Kost resterende diesel		1 582,19	1 625,39	1 669,76	1 715,35	1 762,17
Kost diesel		2 636,99	2 708,98	2 782,94	2 858,91	2 936,96
Totale brandstofbaat		487,68	500,50	513,66	527,16	541,01
Brandstofbaat per km		0,0325	0,0334	0,0342	0,0351	0,0361
Netto brandstofbaat		322,36	330,83	339,53	348,45	357,61
Onderhoud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verzekering		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eurovignet		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verkeersbelasting		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Technische keuring		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Totaal	-9 225,00	1 017,31	1 025,78	1 034,48	1 043,40	1 052,56
Actuele waarden	-9 225,00	957,22	908,18	861,78	817,87	776,31
Netto contante waarde	-4 903,64					

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 34 en 37

Totaal

Type vrachtwagen	Aantal	NCW	Totale NCW	Totale NCW
Containervrachtwagen	10	6 707,22	67 072,16	67 072,16
Trekker	3	11 332,68	33 998,03	33 998,03
Schuifzeilvrachtwagen	2	6 452,34	12 904,69	12 904,69
Persvrachtwagen	1	1 411,53	1 411,53	1 411,53
Distributievrachtwagen	1	-4 903,64	-4 903,64	0,00
			110 482,78	115 386,41
Tankstation			-47 443,28	-47 443,28
Totaal			63 039,50	67 943,13

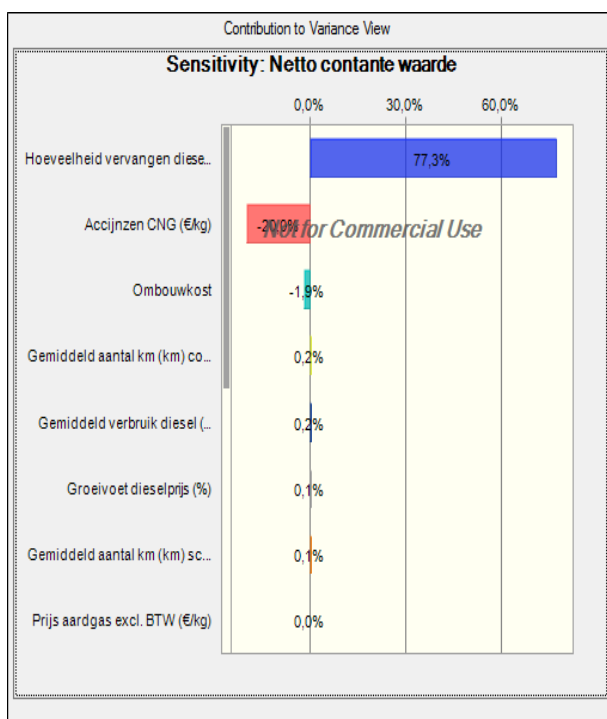
Bron: Eigen berekeningen op basis van bovenstaande tabellen en tabel 34

Bijlage 24: Bijdrage van enkele parameters aan de variatie van de NCW van Bongaerts Recycling

Parameters	%
Accijnzen CNG (€/kg)	71,50%
Hoeveelheid vervangen diesel (%)	13,55%
Ombouwkost	11,91%
Groeivoet dieselprijs (%)	0,80%
Gemiddeld verbruik diesel (liter/100 km) containervrachtwagen	0,68%

Bron: Crystal Ball, scenarioanalyse op NCW van Bongaerts Recycling

Bijlage 25: Sensitiviteit NCW Bongaerts Recycling met verandering van het interval van de 'vervangen hoeveelheid diesel' (35% tot 90%)



Bron: Crystal Ball, scenarioanalyse op NCW van Bongaerts Recycling

Bijlage 26: Berekening NCW van de verschillende types vrachtwagens van Bongaerts Recycling met prijs CNG aan de pomp

Containervrachtwagen

	Jaar	0	1	2	3	4	5
(1): uit tabel 33 (1)	Investeringskost	-10 250,00					
(2): uit tabel 33 (2)*(1)	Ecologiepremie	1 025,00					
(3): (1)-(2)	Netto investeringskost	-9 225,00					
(4): (1)/5	Afschrijvingen		2 050	2 050	2 050	2 050	2 050
(5): (2)* uit tabel 33 (24)	Belastingsschild afschrijvingen		694,95	694,95	694,95	694,95	694,95
(6): uit tabel 33 (4)	Aantal km		60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00
(7): (6)*uit tabel 33 (9)/100	Aantal kg CNG		9 211,98	9 211,98	9 211,98	9 211,98	9 211,98
(8): 0,7782 *((1+ uit tabel 33 (13))^jaar-1)	Prijs CNG		0,7782	0,7994	0,8213	0,8437	0,8667
(9): (7)*(8)	Kost CNG		7 168,76	7 364,47	7 565,52	7 772,06	7 984,24
(10): (6)*uit tabel 33 (8)/100	Resterend aantal liter diesel		16 560,00	16 560,00	16 560,00	16 560,00	16 560,00
(11): (6)*uit tabel 33 (5)/100	Aantal liter diesel		27 600,00	27 600,00	27 600,00	27 600,00	27 600,00
(12): uit tabel 33 (10)*((1+(12))^jaar)	Prijs diesel		0,8790	0,9030	0,9276	0,9530	0,9790
(13): (10)*(12)	Kost resterende diesel		14 556,19	14 953,57	15 361,80	15 781,18	16 212,00
(14): (11)*(12)	Kost diesel		24 260,31	24 922,62	25 603,00	26 301,96	27 020,01
(15): (14)-((9)+13))	Totale brandstofbaat		2 535,36	2 604,58	2 675,68	2 748,73	2 823,77
(16): (15)/(4)	Brandstofbaat per km		0,0423	0,0434	0,0446	0,0458	0,0471
(17): (15)*(1- uit tabel 33 (24))	Netto brandstofbaat		1 675,87	1 721,62	1 768,62	1 816,91	1 866,51
(18): uit tabel 33 (17)	Onderhoud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19): uit tabel 33 (18)	Verzekering		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20): uit tabel 33 (19)	Eurovignet		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21): uit tabel 33 (20)	Verkeersbelasting		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22): uit tabel 33 (21)	Technische keuring		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23): (3)+(5)+(17)+(18)+(19)+(20)+(21)+(22)	Totaal	-9 225,00	2 370,82	2 416,57	2 463,57	2 511,86	2 561,46
(24): (23)/(1+0,0628)^jaar	Actuele waarden	-9 225,00	2 230,78	2 139,52	2 052,30	1 968,92	1 889,20
(25): som rij (24)	Netto contante waarde	1 055,73					

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 33 en 34

De berekening is voor elk type vrachtwagen hetzelfde als deze van de containervrachtwagens uit bovenstaande tabel.

Trekker

Jaar	0	1	2	3	4	5
Investeringskost	-10 250,00					
Ecologiepremie	1 025,00					
Netto investeringskost	-9 225,00					
Afschrijvingen		2 050,00	2 050,00	2 050,00	2 050,00	2 050,00
Belastingsschild afschrijvingen		694,95	694,95	694,95	694,95	694,95
Aantal km		110 000,00	110 000,00	110 000,00	110 000,00	110 000,00
Aantal kg CNG		12 482,90	12 482,90	12 482,90	12 482,90	12 482,90
Prijs CNG		0,7782	0,7994	0,8213	0,8437	0,8667
Kost CNG		9 714,19	9 979,39	10 251,83	10 531,70	10 819,22
Resterend aantal liter diesel		22 440,00	22 440,00	22 440,00	22 440,00	22 440,00
Aantal liter diesel		37 400,00	37 400,00	37 400,00	37 400,00	37 400,00
Prijs diesel		0,8790	0,9030	0,9276	0,9530	0,9790
Kost resterende diesel		19 724,69	20 263,17	20 816,35	21 384,64	21 968,44
Kost diesel		32 874,48	33 771,95	34 693,92	35 641,07	36 614,07
Totale brandstofbaat		3 435,60	3 529,39	3 625,74	3 724,72	3 826,41
Brandstofbaat per km		0,0312	0,0321	0,0330	0,0339	0,0348
Netto brandstofbaat		2 270,93	2 332,93	2 396,61	2 462,04	2 529,26
Onderhoud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verzekering		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eurovignet		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verkeersbelasting		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Technische keuring		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Totaal	-9 225,00	2 965,88	3 027,88	3 091,56	3 156,99	3 224,21
Actuele waarden	-9 225,00	2 790,69	2 680,74	2 575,45	2 474,61	2 378,01
Netto contante waarde	3 674,50					

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel containervrachtwagen en tabel 37

Schuifzeilvrachtwagen

Jaar	0	1	2	3	4	5
Investeringskost	-10 250,00					
Ecologiepremie	1 025,00					
Netto investeringskost	-9 225,00					
Afschrijvingen		2 050,00	2 050,00	2 050,00	2 050,00	2 050,00
Belastingsschild afschrijvingen		694,95	694,95	694,95	694,95	694,95
Aantal km		66 000,00	66 000,00	66 000,00	66 000,00	66 000,00
Aantal kg CNG		9 031,75	9 031,75	9 031,75	9 031,75	9 031,75
Prijs CNG		0,7782	0,7994	0,8213	0,8437	0,8667
Kost CNG		7 028,50	7 220,38	7 417,50	7 620,00	7 828,02
Resterend aantal liter diesel		16 236,00	16 236,00	16 236,00	16 236,00	16 236,00
Aantal liter diesel		27 060,00	27 060,00	27 060,00	27 060,00	27 060,00
Prijs diesel		0,8790	0,9030	0,9276	0,9530	0,9790
Kost resterende diesel		14 271,39	14 661,00	15 061,24	15 472,42	15 894,81
Kost diesel		23 785,65	24 435,00	25 102,07	25 787,36	26 491,36
Totale brandstofbaat		2 485,76	2 553,62	2 623,33	2 694,95	2 768,52
Brandstofbaat per km		0,0377	0,0387	0,0397	0,0408	0,0419
Netto brandstofbaat		1 643,08	1 687,94	1 734,02	1 781,36	1 829,99
Onderhoud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verzekering		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eurovignet		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verkeersbelasting		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Technische keuring		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Totaal	-9 225,00	2 338,03	2 382,89	2 428,97	2 476,31	2 524,94
Actuele waarden	-9 225,00	2 199,93	2 109,70	2 023,47	1 941,06	1 862,27
Netto contante waarde	911,43					

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel containervrachtwagen en tabel 37

Persvrachtwagen

Jaar	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Investeringskost	-10 250,00					
Ecologiepremie	1 025,00					
Netto investeringskost	-9 225,00					
Afschrijvingen		2 050,00	2 050,00	2 050,00	2 050,00	2 050,00
Belastingsschild afschrijvingen		694,95	694,95	694,95	694,95	694,95
Aantal km		39 000,00	39 000,00	39 000,00	39 000,00	39 000,00
Aantal kg CNG		5 467,11	5 467,11	5 467,11	5 467,11	5 467,11
Prijs CNG		0,7782	0,7994	0,8213	0,8437	0,8667
Kost CNG		4 254,51	4 370,65	4 489,97	4 612,55	4 738,47
Resterend aantal liter diesel		9 828,00	9 828,00	9 828,00	9 828,00	9 828,00
Aantal liter diesel		16 380,00	16 380,00	16 380,00	16 380,00	16 380,00
Prijs diesel		0,8790	0,9030	0,9276	0,9530	0,9790
Kost resterende diesel		8 638,78	8 874,62	9 116,90	9 365,79	9 621,47
Kost diesel		14 397,97	14 791,03	15 194,83	15 609,64	16 035,79
Totale brandstofbaat		1 504,68	1 545,76	1 587,96	1 631,31	1 675,84
Brandstofbaat per km		0,0386	0,0396	0,0407	0,0418	0,0430
Netto brandstofbaat		994,59	1 021,75	1 049,64	1 078,30	1 107,73
Onderhoud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verzekering		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eurovignet		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verkeersbelasting		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Technische keuring		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Totaal	-9 225,00	1 689,54	1 716,70	1 744,59	1 773,25	1 802,68
Actuele waarden	-9 225,00	1 589,75	1 519,88	1 453,34	1 389,96	1 329,57
Netto contante waarde	-1 942,50					

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel containervrachtwagen en tabel 37

Totaal

Type vrachtwagen	Aantal	NCW	Totale NCW	Totale NCW
Containervrachtwagen	10	1 055,73	10 557,28	10 557,28
Trekker	3	3 674,50	11 023,51	11 023,51
Schuifzeilvrachtwagen	2	911,43	1 822,86	1 822,86
Persvrachtwagen	1	-1 942,50	-1 942,50	0,00
			21 461,15	23 403,65
Tankstation			-47 443,28	-47 443,28
Totaal			21 461,15	23 403,65

Bron: Eigen berekeningen op basis van bovenstaande tabellen

Bijlage 27: CO₂-vermindering per type vrachtwagen voor Bongaerts Recycling

Containervrachtwagen

		DIESEL			
(1): zie tabel 39	Verbruik	46,00 L/100km			
(2): zie tabel 26	Emissiefactor	0,0030500 t CO ₂ /L			
(3): (1)*(2)/100	Emissie per km	0,001403 t CO ₂ /km			
(4): (3)*1000*1000		1 403,00 g CO ₂ /km			
(5): (4)*60 000 (aantal km) (zie tabel 39)	Totale emissie	84,18 t CO ₂			
		CNG			
(6): zie tabel 39	Verbruik	15,35 kg/100km			
(7): zie paragraaf 7.1	Emissiefactor	0,0028403 t CO ₂ /kg			
(8): (6)*(7)	Emissie per km	0,000436 t CO ₂ /km			
(9): (8)*1000*1000		436,08 g CO ₂ /km			
(10): (4)* 60 000 (aantal km) (zie tabel 39)	Totale emissie	26,16 t CO ₂			
		RESTERENDE DIESEL			
(11): zie tabel 39	Verbruik	27,6 L/100km			
(12): zie tabel 26	Emissiefactor	0,0030500 t CO ₂ /L			
(13): (11)*(12)	Emissie per km	0,000842 t CO ₂ /km			
(14): (13)*1000*1000		841,80 g CO ₂ /km			
(15): (4)*60 000 (aantal km) (zie tabel 39)	Totale emissie	50,51 t CO ₂			
		REDUCTIE			
(19): (3)-(16)	Per km	0,000125 t CO ₂ /km			
(20): (4)-(17)		125,12 g CO ₂ /km			
(21): (5)-(18) = (19)*60 000 (aantal km) (zie tabel 39)	Totaal	7,51 t CO₂			
(22): (19)/(3)*100	%	8,92%			

TOTAAL DUAL-FUEL		
Emissie per km	0,001278 t CO ₂ /km	(16): (8)+(13)
	1 277,88 g CO ₂ /km	(17): (9)+(14)
Totale emissie	76,67 t CO ₂	(18): (16)+(17)

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 39, tabel 26 en eigen verzamelde informatie

Trekker

		DIESEL			
(1): zie tabel 39	Verbruik	34,00 L/100km			
(2): zie tabel 26	Emissiefactor	0,003050 t CO ₂ /L			
(3): (1)*(2)/100	Emissie per km	0,001037 t CO ₂ /km			
(4): (3)*1000*1000		1 037,00 g CO ₂ /km			
(5): (4)*110 000 (aantal km) (zie tabel 39)	Totale emissie	114,07 t CO ₂			
		CNG			
(6): zie tabel 39	Verbruik	11,35 kg/100km			
(7): zie paragraaf 7.1	Emissiefactor	0,002840 t CO ₂ /kg			
(8): (6)*(7)	Emissie per km	0,000322 t CO ₂ /km			
(9): (8)*1000*1000		322,32 g CO ₂ /km			
(10): (4)*110 000 (aantal km) (zie tabel 39)	Totale emissie	35,46 t CO ₂			
		RESTERENDE DIESEL			
(11): zie tabel 39	Verbruik	20,40 L/100km			
(12): zie tabel 26	Emissiefactor	0,003050 t CO ₂ /L			
(13): (11)*(12)	Emissie per km	0,000622 t CO ₂ /km			
(14): (13)*1000*1000		622,20 g CO ₂ /km			
(15): (4)*110 000 (aantal km) (zie tabel 39)	Totale emissie	68,44 t CO ₂			
		REDUCTIE			
(19): (3)-(16)	Per km	0,000092 t CO ₂ /km			
(20): (4)-(17)		92,48 g CO ₂ /km			
(21): (5)-(18) = (19)*110 000 (aantal km) (zie tabel 39)	Totaal	10,17 t CO₂			
(22): (19)/(3)*100	%	8,92%			

TOTAAL DUAL-FUEL		
Emissie per km	0,000945 t CO ₂ /km	(16): (8)+(13)
	944,52 g CO ₂ /km	(17): (9)+(14)
Totale emissie	103,90 t CO ₂	(18): (16)+(17)

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 39, tabel 26 en eigen verzamelde informatie

Schuifzeilvrachtwagen

DIESEL	
(1): zie tabel 39	Verbruik 41,00 L/100km
(2): zie tabel 26	Emissiefactor 0,003050 t CO ₂ /L
(3): (1)*(2)/100	Emissie per km 0,001251 t CO ₂ /km
(4): (3)*1000*1000	1 250,50 g CO ₂ /km
(5): (4)*66 000 (aantal km) (zie tabel 39)	Totale emissie 82,533000 t CO ₂
CNG	
(6): zie tabel 39	Verbruik 13,68 kg/100km
(7): zie paragraaf 7.1	Emissiefactor 0,002840 t CO ₂ /kg
(8): (6)*(7)	Emissie per km 0,000389 t CO ₂ /km
(9): (8)*1000*1000	388,68 g CO ₂ /km
(10): (4)*66 000 (aantal km) (zie tabel 39)	Totale emissie 25,65 t CO ₂
RESTERENDE DIESEL	
(11): zie tabel 39	Verbruik 24,60 L/100km
(12): zie tabel 26	Emissiefactor 0,003050 t CO ₂ /L
(13): (11)*(12)	Emissie per km 0,000750 t CO ₂ /km
(14): (13)*1000*1000	750,30 g CO ₂ /km
(15): (4)*66 000 (aantal km) (zie tabel 39)	Totale emissie 49,52 t CO ₂
REDUCTIE	
(19): (3)-(16)	Per km 0,000112 t CO ₂ /km
(20): (4)-(17)	111,52 g CO ₂ /km
(21): (5)-(18) = (19)*66 000 (aantal km) (zie tabel 39)	Totaal 7,36 t CO₂
(22): (19)/(3)*100	% 8,92%

TOTAAL DUAL-FUEL	
Emissie per km	0,001139 t CO ₂ /km (16): (8)+(13)
	1 138,98 g CO ₂ /km (17): (9)+(14)
Totale emissie	75,17 t CO ₂ (18): (16)+(17)

Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 39, tabel 26 en eigen verzamelde informatie

Persvrachtwagen

DIESEL	
(1): zie tabel 39	Verbruik 42,00 L/100km
(2): zie tabel 26	Emissiefactor 0,003050 t CO ₂ /L
(3): (1)*(2)/100	Emissie per km 0,001281 t CO ₂ /km
(4): (3)*1000*1000	1 281,00 g CO ₂ /km
(5): (4)*39 000 (aantal km) (zie tabel 39)	Totale emissie 49,96 t CO ₂
CNG	
(6): zie tabel 39	Verbruik 14,02 kg/100km
(7): zie paragraaf 7.1	Emissiefactor 0,002840 t CO ₂ /kg
(8): (6)*(7)	Emissie per km 0,000398 t CO ₂ /km
(9): (8)*1000*1000	398,16 g CO ₂ /km
(10): (4)*39 000 (aantal km) (zie tabel 39)	Totale emissie 15,53 t CO ₂
RESTERENDE DIESEL	
(11): zie tabel 39	Verbruik 25,20 L/100km
(12): zie tabel 26	Emissiefactor 0,003050 t CO ₂ /L
(13): (11)*(12)	Emissie per km 0,000769 t CO ₂ /km
(14): (13)*1000*1000	768,60 g CO ₂ /km
(15): (4)*39 000 (aantal km) (zie tabel 39)	Totale emissie 29,975400 t CO ₂
REDUCTIE	
(19): (3)-(16)	Per km 0,000114 t CO ₂ /km
(20): (4)-(17)	114,24 g CO ₂ /km
(21): (5)-(18) = (19)*39 000 (aantal km) (zie tabel 39)	Totaal 4,46 t CO₂
(22): (19)/(3)*100	% 8,92%

TOTAAL DUAL-FUEL	
Emissie per km	0,001167 t CO ₂ /km (16): (8)+(13)
	1 166,76 g CO ₂ /km (17): (9)+(14)
Totale emissie	45,50 t CO ₂ (18): (16)+(17)

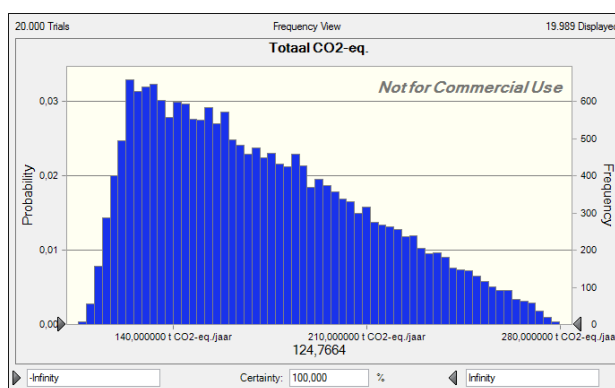
Bron: Eigen berekeningen op basis van tabel 39, tabel 26 en eigen verzamelde informatie

Bijlage 28: Bijdrage van enkele parameters aan de variatie van de CO₂-reductie van Bongaerts Recycling

Parameters	%
Hoeveelheid vervangen diesel (%)	89,56%
Gemiddeld verbruik diesel (liter/100 km) containervrachtwagen	4,27%
Gemiddeld aantal km (km) containervrachtwagen	4,23%
Gemiddeld aantal km (km) trekker	0,74%
Gemiddeld verbruik diesel (liter/100 km) trekker	0,65%

Bron: Crystal Ball, scenarioanalyse op CO₂-reductie van Bongaerts Recycling

Bijlage 29: Simulatie van de CO₂-reductie van Bongaerts Recycling met verandering van het interval van de 'vervangen hoeveelheid diesel' (35% tot 90%)



Bron: Crystal Ball, scenarioanalyse op CO₂-reductie van Bongaerts Recycling

Auteursrechtelijke overeenkomst

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

Onderzoek naar de economische haalbaarheid van CO2-reducerende maatregelen in een recyclagebedrijf voor papier en karton. Toepassing voor het bedrijf Bongaerts Recycling.

Richting: **master in de toegepaste economische wetenschappen: handelsingenieur-technologie-, innovatie- en milieumanagement**

Jaar: **2011**

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

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

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

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

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

Voor akkoord,

Bongaerts, Greet