



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de toegepaste economische
wetenschappen: handelsingenieur

Masterthesis

Biomethaanmotoren in de landbouw

Pieter Eevers

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur, afstudeerrichting technologie in business

PROMOTOR :

prof. dr. Tom KUPPENS



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be

Universiteit Hasselt
Campus Hasselt:
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt
Campus Diepenbeek:
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

2018
2019



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de toegepaste economische
wetenschappen: handelsingenieur

Masterthesis

Biomethaanmotoren in de landbouw

Pieter Eevers

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur, afstudeerrichting technologie in business

PROMOTOR :

prof. dr. Tom KUPPENS

Dankwoord

Een thesis is een project waar een massa tijd inkruipt, om die reden wou ik een onderwerp dat me lag. Biomethaanmotoren viel onder deze noemer en paste vervolgens ook nog eens perfect binnen de master *Technology in business*. Om aan deze thesis te beginnen had ik echter informatie nodig omtrent de technologie en een promotor die bereid was me bij deze thesis te ondersteunen. Om die reden wil ik alvast Jan Geerts bedanken om me met Gregory Delaere, de *market product marketing specialist* van New Holland Benelux, in contact te brengen, Gregory zelf voor al de geleverde informatie en natuurlijk mijn promotor, prof. dr. Tom Kuppens, om me de mogelijkheid te geven mijn eigen onderwerp te laten onderzoeken en me hierin te ondersteunen.

Ook de UHasselt in het algemeen wens ik te bedanken voor me de kans te geven deze prachtige opleiding te doorlopen.

Buiten me in contact brengen met producten, hebben verscheidene verdelers van landbouwmachines me niet enkel geholpen met informatie te verschaffen, maar ook met enquêtes onder hun klanten af te nemen. Daarom ook dank aan de bedrijven Gejaco, Martens Traktor, Guedens Landbouwmachines, Vahove, Vanneste Agri Services, Vangeloven-Agri en Tom Aerts.

Ook andere bedrijven, instanties en medewerkers aan de UHasselt die me prijzen en informatie hebben verschaft, wens ik via deze weg te bedanken.

Voor de hulp bij het afnemen van enquêtes wens ik ook mijn zus, haar collega's bij Hermoo, mijn vader en mijn medestudent Michiel Mattheussen te bedanken. Zonder jullie had ik nooit voldoende mensen bereikt.

Zoals je ondertussen al merkt, is deze thesis gebouwd op informatie verkregen door connecties, hiervoor wil ik in bijzonder mijn vader en mijn zus bedanken.

Mijn schoonzus, Sophie, wil ik bedanken voor het nalezen. Mijn broer, Wouter, zijn *excel-skills* waren onmisbaar in dit werk, maar ik wil toch zeker mijn allerliefste zusje, Nele, bedanken. Voor alles talloze keren na te lezen, figuren te maken, tips over de kleinste en de grootste dingen te hebben, ... Kortom, om al je kennis omtrent de academische wereld, je connecties en je onvoorwaardelijke steun.

Voor deze onvoorwaardelijke steun wens ik het hele gezin te bedanken, om me nu en dan te bevestigen dat ik nog niet gek was geworden, of jullie het zelf geloofden of niet, als ik weer een theorie had over hoe ik iets wou aanpakken of gewoon stilaan gek aan het worden was. Maar ook bedankt om naar mijn gezaag over de zoveelste dag *thesissen* te luisteren. Specifiek wil ik echter mijn ouders bedanken voor de opvoeding die ik heb gehad, waardoor ik geleerd heb mensen aan te spreken, te gaan voor mijn doelen en zeker nooit op te geven.

Samenvatting

Fossiele brandstoffen vervangen door duurzame energie is een hot topic, ook in de landbouwsector waar dieselmotoren mogelijks vervangen kunnen worden door motoren op biomethaan, een opgewaardeerd biogas met een methaangehalte van 96%.

In deze thesis worden de biomethaanmotoren geanalyseerd op economisch, ecologisch en maatschappelijk niveau vanuit het standpunt van de gebruiker. Er werd ook geëvalueerd in hoeverre de gebruiker bereid is over te schakelen op biomethaan.

Aangezien diesel van landbouwvoertuigen is vrijgesteld van accijnzen en daardoor vrij goedkoop is, blijkt een methaantractor 19% duurder uit te komen dan een dieseltractor over een gebruikstijd van 17 jaar. Wanneer landbouwvoertuigen op reguliere diesel, met accijnzen, zouden rijden, blijkt het methaanalternatief wel ongeveer 26% goedkoper te zijn. De break-even prijs blijkt 0,75 euro per liter diesel te zijn.

Op ecologisch vlak blijkt biomethaan echter 6 keer meer bij te dragen aan de opwarming van de aarde als een standaard dieseltractor, deels door het hogere energieverbruik van methaanmotoren, maar voornamelijk door de uitstoot die gepaard gaat met de energie die nodig is om het biogas op te waarden tot biomethaan. Wanneer de volledige milieu-impact gemonetariseerd wordt, geeft dit bij dieseltractoren een resultaat van 80,16 euro per werkuur en bij tractoren op biomethaan 4571,68 euro per werkuur, wat 57 keer zo veel is.

Tenslotte kan er geen eenduidige conclusie worden getrokken over de betalingsbereidheid van gebruikers voor tractoren op biomethaan. Via twee methodes werden tegenstrijdige resultaten bekomen. Wel blijkt dat 73 procent bereid zou zijn mee te werken aan een systeem waar aan de ene zijde biomassa wordt aangeleverd en aan de andere zijde biomethaan als brandstof wordt afgenomen.

Lijst met tabellen

Tabel 1: Beschikbaarheid groenafval (uitgezonderd maaisel)	7
Tabel 2: Beschikbaarheid maaisel.....	7
Tabel 3: Beschikbaarheid voedselstromen	8
Tabel 4: Beschikbaarheid oogstresten	9
Tabel 5: Beschikbaarheid mest.....	9
Tabel 6: Beschikbaarheid overige biomassastromen	10
Tabel 7: Biomassastromen in de landbouwsector.....	10
Tabel 8: Kwaliteitsnormen biomethaan.....	14
Tabel 9: Overzicht van droogmethoden	15
Tabel 10: Productiekost biomethaan	18
Tabel 11: Productiekost en verkoopprijs biomethaan	20
Tabel 12: Werkuren en afschrijving tractoren.....	30
Tabel 13: Aankooprijzen tractoren	30
Tabel 14: Prijzen tractoren na subsidie.....	31
Tabel 15: Onderhoudskosten	32
Tabel 16: Diesel extra-prijzen	33
Tabel 17: Dieselprijzen	33
Tabel 18: Groengasprijzen.....	34
Tabel 19: AdBlueprijzen	34
Tabel 20: WACC.....	35
Tabel 21: Resultaten sensitiviteitsanalyse.....	37
Tabel 22: Uitstoot (g/kWh).....	39
Tabel 23: Uitstoot (g/uur)	39
Tabel 24: Legende vergelijking impact diesel-biomethaan	40
Tabel 25: Schaduwrijzen	42
Tabel 26: Resultaten sensitiviteitsanalyse.....	46
Tabel 27: Berekening reiskost.....	56

Lijst met figuren

Figuur 1: Gemiddelde biogasopbrengst per biomassastroom	6
Figuur 2: Fractie gasverbruik in de landbouwsector	11
Figuur 3: Vergister met verticale continu roerende tank	13
Figuur 4: Energie-inhoud brandstoffen	19
Figuur 5: Oppervlakte landbouwgebied	25
Figuur 6: Broeikasgasemissies gekoppeld aan ILUC	26
Figuur 7: LUC-emissies	27
Figuur 8: Totale kost tractoren.....	36
Figuur 9: Vergelijking impact diesel-biomethaan	40
Figuur 10: Uitstoot verschillende stappen biomethaan.....	41
Figuur 11: Samenstelling gemonetariseerde emissies dieseltractoren.....	44
Figuur 12: Samenstelling gemonetariseerde emissies biomethaantractoren	44
Figuur 13: Totale maatschappelijke kost tractoren.....	45
Figuur 14: Overzicht antwoorden	49
Figuur 15: Procentuele vertegenwoordiging subsectoren	50
Figuur 16: Procentuele vertegenwoordiging intensiviteit	50
Figuur 17: Algemene betalingsbereidheid	51
Figuur 18: Betalingsbereidheid per sector.....	52
Figuur 19: Betalingsbereidheid per gebruiksintensiviteitscategorie	53
Figuur 20: Algemene bereidheid tot verplaatsing.....	54
Figuur 21: Bereidheid tot verplaatsing per sector	54
Figuur 22: Bereidheid tot verplaatsing per gebruiksintensiviteitscategorie	55
Figuur 23: Algemene bereidheid tot medewerking in een coöperatieve.....	56
Figuur 24: Bereidheid tot medewerking in een coöperatieve per sector	57
Figuur 25: Bereidheid tot medewerking in een coöperatieve per gebruiksintensiviteitscategorie ...	58

Inhoudstafel

Dankwoord	I
Samenvatting	III
Lijst met tabellen	V
Lijst met figuren.....	VII
Inhoudstafel	IX
1. Onderzoeksplan.....	1
1.1 Maatschappelijke relevantie.....	1
1.2 Beschrijving van de technologie	1
1.3 Onderzoek	2
1.4 Onderzoeksvragen	3
1.5 Plan van aanpak	3
2. Literatuurstudie.....	5
2.1 Definitie	5
2.2 Biomassa	5
2.2.1 Kwaliteit.....	5
2.2.1 Kwantiteit.....	6
2.3 Productie	12
2.3.1 Biogas.....	12
2.3.2 Biomethaan	13
2.4 Productiekost biomethaan	17
2.5 Vergelijking met conventionele brandstoffen	18
2.5.1 Energie-inhoud.....	18
2.5.2 Verbruik	19
2.5.3 Prijzen	20
2.6 LCA	21
2.6.1 Aardgas - Biomethaan.....	21
2.6.2 Benzine – Biomethaan.....	22
2.6.3 Diesel – Biomethaan bij personenwagens	23
2.6.3 Diesel – Biomethaan bij heavy-duty motoren	23
2.7 Indirect Land Use Change (ILUC)	24
2.7.1 Algemeen	24

2.7.2 Europese Unie.....	26
2.7 Conclusie	27
3. Empirische studie	29
3.1 Techno-economische analyse.....	29
3.1.1 Werkuren en afschrijving.....	29
3.1.2 Aankooprijzen en voorwaarden.....	30
3.1.3 Subsidies.....	31
3.1.4 Belastingen.....	31
3.1.5 Onderhoudskost	32
3.1.6 Brandstof- en AdBlueverbruik	32
3.1.7 Brandstof- en AdBlueprijzen.....	32
3.1.8 Verzekering	34
3.1.9 Verdisconteringsvoet.....	34
3.1.10 Netto actuele kost dieseltractor	35
3.1.11 Netto actuele kost methaantractor	35
3.1.12 Interpretatie resultaten.....	35
3.1.13 Sensitiviteitsanalyse.....	36
3.2 Levenscyclusanalyse.....	38
3.2.1 Doel en reikwijdte	38
3.2.2 Inventarisatie	38
3.2.3 Impactanalyse	39
3.3 Maatschappelijke techno-economische analyse	42
3.3.1 Schaduwrijzen.....	42
3.3.2 Discontovoet.....	43
3.3.3 Resultaten	43
3.3.4 Sensitiviteitsanalyse	45
3.4 Visie van de gebruiker	47
3.4.1 Onderzoeksopzet.....	47
3.4.2 Resultaten	49
3.4.3 Conclusie gebruikersvisie.....	58
3.5 Toekomstperspectieven	59
4. Conclusie.....	61
Bijlages.....	63

Bijlage 1: Gantt-chart planning	63
Bijlage 2: NAW dieseltractoren	64
Bijlage 3: NAW biomethaantractor	65
Bijlage 4: Veronderstellingen sensitiviteitsanalyse 10 procent variatie	66
Bijlage 5: Resultaten sensitiviteitsanalyse TEA 10 procent variatie	76
Bijlage 6: Resultaten sensitiviteitsanalyse vergelijking TEA 10% variatie	79
Bijlage 7: Resultaten maatschappelijke sensitiviteitsanalyse TEA 10% variatie	81
Bijlage 8: Resultaten maatschappelijke sensitiviteitsanalyse vergelijking TEA 10% variatie	83
Bijlage 9: Veronderstellingen sensitiviteitsanalyse werkelijke variaties	85
Bijlage 10: Resultaten sensitiviteitsanalyse TEA werkelijke variatie	94
Bijlage 11: Resultaten sensitiviteitsanalyse vergelijking TEA werkelijke variatie	97
Bijlage 12: Resultaten maatschappelijke sensitiviteitsanalyse TEA werkelijke variatie	99
Bijlage 14: Impact assessment diesel-biomethaan	103
Bijlage 15: LCA netwerk biomethaan	104
Bijlage 16: LCA netwerk diesel	105
Bijlage 17: Bijdrage verschillende stappen productieproces biomethaan	106
Bijlage 18: Bijdrage verschillende impacts maatschappelijke kosten	106
Bijlage 19: Maatschappelijke NAW dieseltractor	107
Bijlage 20: Maatschappelijke NAW biomethaantractor	108
Bijlage 21: Vragenlijst	109
Bijlage 22: Verdeling sectoren	111
Bijlage 23: Verdeling gebruiksintensiviteit	112
Bijlage 24: Algemene WTP	112
Bijlage 25: Statistische beschrijving WTP (per sector)	112
Bijlage 26: WTP per sector	113
Bijlage 27: ANOVA-test WTP sectoren	113
Bijlage 28: ANOVA-test WTP sectoren zonder groente- en fruitteelt	113
Bijlage 29: WTP per intensiviteitscategorie	114
Bijlage 30: Statistische beschrijving WTP (per gebruiksintensiviteit)	114
Bijlage 31: ANOVA-test WTP gebruiksintensiviteit	114
Bijlage 32: Algemeen af te leggen afstand	115
Bijlage 33: Statistische beschrijving af te leggen afstand (per sector)	115
Bijlage 34: Af te leggen afstand per sector	115

Bijlage 35: ANOVA-test af te leggen afstand sectoren	116
Bijlage 36: Af te leggen afstand per intensiviteitscategorie	116
Bijlage 37: Statistische beschrijving af te leggen afstand (per gebruikintensiviteit).....	116
Bijlage 38: ANOVA-test af te leggen afstand gebruikintensiviteit	117
Bijlage 39: Algemeen bereidheid medewerking coöperatieve.....	117
Bijlage 40: Bereidheid medewerking coöperatieve per sector	117
Bijlage 41: Bereidheid medewerking coöperatieve per intensiviteitscategorie	117
Literatuurlijst	119

1. Onderzoeksplan

1.1 Maatschappelijke relevantie

Duurzame mobiliteit is één van de grootste en moeilijkste uitdagingen van de hedendaagse maatschappij. De overheid probeert hierin te voorzien door onder andere het opleggen van Euro-normen op nieuwe voertuigen en het oprichten van lage emissiezones. Bedrijven zoals Tesla proberen hierop in te spelen door vernieuwende technologieën en voertuigen op de markt te brengen. Hoewel men meestal op personenvoertuigen focust, stoten ook landbouwmachines vrij veel uitlaatgassen uit door het zware werk dat ze verrichten (Lal, 2004). Ook dit probeert de overheid te beperken door het invoeren van de Europese Stage-normen, of de beter gekende en alom gebruikte Amerikaanse Tier-normen (EUROPEAN COMMISSION, 2019; United States Environmental Protection Agency, 2019). Dit zijn allen industriële tegenhangers van de Euro-normen bij personenvoertuigen. Op vlak van vernieuwende technologieën, op het alom ingevoerde AdBlue na, bleef het in deze sector echter vrij rustig. Nu heeft New Holland, deel van de overkoepelende CNH-groep, echter een prototype van zijn methaantractor uitgebracht.

1.2 Beschrijving van de technologie

De methaantractor is uniek omwille van het feit dat hij volledig op methaangas rijdt. Dit blijkt binnen de landbouwsector een primeur op de markt te zijn. In de automobielsector zijn er al eerder prototypes die rijden op biomethaan op de markt gebracht, dit onder andere door Toyota (Lim et al., 2015). Ook in de wegtransportsector is er reeds onderzoek gaande naar het gebruik van biomethaan. In 2015 waren de bedrijven Volvo AB, Iveco, Scania en Daimler, dat in Europa Mercedes vrachtwagens verdeelt, reeds bezig met het ontwikkelen van prototypes (Alamia, 2015). Merk op dat het vrachtwagenmerk Iveco deel uitmaakt van de eerder vermelde CNH-groep, waar ook New Holland toe behoort (CNH, 2018).

Methaan kan door middel van vergisting van onder andere dierlijk mest gewonnen worden binnen de landbouw. Op deze manier kan de sector op vlak van brandstof zelfvoorzienend worden en een stapje dichter richting CO₂-neutraliteit zetten. De vergisting draagt dus ook bij aan de duurzaamheid van de veeteelt (Massé, Talbot, & Gilbert, 2011). Rijden op biomethaan zou de uitstoot van broeikasgassen namelijk met 71 tot 76 procent verlagen ten opzichte van rijden op diesel (Bordelanne et al., 2011). Een bijkomend voordeel is dat methaangas vrij snel kan getankt worden, dit in tegenstelling tot het opladen van een batterij bij elektrisch aangedreven voertuigen, en bovendien een gelijkaardige werkingsduur heeft in vergelijking tot dieselmotoren, opnieuw in tegenstelling tot elektrische voertuigen waar de werkingsduur vaak beperkt is tot enkele uren. Omdat in oogstseizoenen landbouwmachines nagenoeg de klok rond worden gebruikt, is elektrisch rijden in de praktijk hoe dan ook nagenoeg onmogelijk. Een nadeel van biomethaan is dat het vaak uit de vergisting van gewassen wordt gewonnen. Dit heeft meerdere negatieve gevolgen. Zo gaat de vraag naar gewassen stijgen wat er op zijn beurt voor zorgt dat de voedselprijzen stijgen door de beperkte hoeveelheid landbouwgrond die beschikbaar is (Wiggins & Levy, 2008). Verder bestaat er het probleem van *Indirect Land Use Change*, beter bekend als ILUC. Concreet is dit het effect van verandering van bodemgebruik als gevolg van de productie van biobrandstoffen. Als

vruchtbare grond namelijk gebruikt wordt om gewassen te telen die voor de productie van biobrandstoffen dienen, moet er ergens anders voor de nodige voedselvoorziening worden gezorgd (Sanchez et al., 2012). Het bekendste voorbeeld hiervan is de omvorming van het Amazonewoud naar landbouwgebied als gevolg van de productie van biobrandstoffen in Brazilië (Arima, Richards, Walker, & Caldas, 2011).

Op economisch vlak blijkt biomethaan echter minder interessant. Wanneer we de kost van biomethaan vergelijken met deze van aardgas wanneer deze in ons gasnetwerk wordt geïnjecteerd, zien we dat zelfs in de beste scenario's biomethaan nog steeds 19 procent duurder is dan klassiek aardgas (Paturaska, Repele, & Bazbauers, 2015). Wanneer dit biomethaan echter als brandstof voor voertuigen wordt gebruikt, gaan de transportkosten wel anders liggen. Er is namelijk geen nood meer om een connectie op het gasnetwerk te kopen en misschien zelfs mogelijk om een tankstation te plaatsen op de productiesite, waardoor er geen transport nodig is.

1.3 Onderzoek

Om het project van een biomethaantractor in de praktijk te doen slagen, zijn er verschillende vereisten. Een eerste stap is natuurlijk de technische haalbaarheid. Aangezien New Holland zijn prototype reeds heeft uitgebracht, is dit duidelijk mogelijk. Bovendien behoort ook het vrachtwagen- en bussenmerk Iveco tot de CNH-groep. Dit merk produceert al enkele jaren op grote schaal voertuigen op methaangas. De technische kennis en knowhow binnen de groep is in dit geval dus geen probleem. Om deze reden behoeft de technische haalbaarheid geen verder onderzoek.

Een tweede punt is de economische haalbaarheid. Dit kan zowel vanuit het standpunt van New Holland als uit het standpunt van de gebruiker. Indien het concept aanslaat, belooft New Holland dat de prijs per tractor in lijn ligt van degene met dieselmotoren. We kunnen dus aannemen dat de economische relevantie voor New Holland reeds intern berekend is en haalbaar bevonden. Voor de landbouwer moet er echter rekening gehouden worden met verschillende componenten. Voorbeelden hiervan zijn het verbruik, de kost van het methaan, eventuele subsidies en extra onderhoudskosten. Dit alles moet onderzocht worden met als referentie de standaard dieselmotoren met een gelijkaardig vermogen (Ally & Pryor, 2016). In praktijk wordt dit onderzocht aan de hand van een Techno-Economische Analyse (TEA).

Een verder onderzoekswaardig punt is de ecologische relevantie. Er kan geëvalueerd worden in hoeverre er werkelijk vooruitgang wordt geboekt op vlak van verminderde belasting op het milieu. Dit kan gebeuren door het uitvoeren van een levenscyclusanalyse (LCA) (Ally & Pryor, 2007; López, Gómez, Aparicio, & Javier Sánchez, 2009).

Een laatste punt, waarbij dit programma bovendien staat of valt, is de medewerking van de landbouwers en loonwerkers. Het is historisch bekend dat het moeilijk is om mensen te laten overstappen op alternatieve brandstoffen (Yeh, 2007). Daarenboven is het waarschijnlijk niet haalbaar dat iedere landbouwer zijn eigen brandstof produceert, dus moet er bekeken worden in hoeverre men bereid is een zekere afstand af te leggen om te gaan tanken, gezien de landbouwer dit nu meestal op zijn eigen erf kan. Hiervoor kan een bevraging onder de doelgroep gebeuren.

1.4 Onderzoeksvragen

De centrale onderzoeksvraag luidt als volgt: "Wat zijn de marktkansen van biomethaanmotoren in de landbouw?" Deze centrale onderzoeksvraag vertaalt zich vervolgens in de volgende deelvragen:

- 1) In welke mate zijn biomethaanmotoren een economisch interessant alternatief voor dieselmotoren vanuit het perspectief van landbouwers?
- 2) Wat is de milieu-impact van biomethaanmotoren in vergelijking met dieselmotoren voor zelfvoorzienende toepassingen in de landbouw?
- 3) Welke factoren bepalen de bereidheid van gebruikers van landbouwvoertuigen om over te schakelen op biomethaan?

Aan de hand van deze drie deelvragen krijgen we een zicht op zowel de economische haalbaarheid als de ecologische impact van biomethaanmotoren, alsook een zicht op hoe deze vernieuwing in de praktijk zou onthaald en geïmplementeerd worden. Dit alles zorgt voor een vrij complete beoordeling van de belangrijkste beïnvloedende factoren op de marktkansen voor biomethaanmotoren in de landbouw.

1.5 Plan van aanpak

Als plan van aanpak, wordt er begonnen met het onderzoeksplan. Hier staan de maatschappelijke relevantie de beschrijving van de technologie centraal. Vervolgens wordt overgegaan op een literatuurstudie. Voor het vinden van literatuur wordt voornamelijk *Google Scholar* gebruikt. Wanneer hier geen volledige artikels beschikbaar zijn, zal verder gegaan worden naar *Ebscohost*, gezien hier volledige toegang aan UHasselt-studenten wordt verleend. Zoektermen zullen wellicht een combinatie zijn van *life cycle assessment, life cycle analysis, LCA, techno-economic assessment, techno-economic analysis, TEA, economic analysis* of *economic assessment* met zoektermen als *biomethane, bio-CNG, alternative fuels, diesel-biomethane, ...*

De literatuurstudie zal zijn opgebouwd uit de volgende elementen:

- Definitie biomethaan
- Biomassa
- ILUC
- Productie
- Technische mogelijkheden
- Kost productie
- Kost diesel
- Efficiëntie biomethaan
- Vergelijking kosten en efficiëntie
- LCA Biomethaan - Diesel
- LCA Voertuigen biomethaan – fossiele brandstoffen

Binnen deze studie zal er getracht worden zo veel mogelijk vergelijkend te werken om eventuele incorrectheden uit de onderzoeken te kunnen halen.

Voor het empirisch deel zal het belangrijk zijn om connecties binnen de sector te vinden, gezien veel informatie niet publiek verspreid is. Allereerst is het belangrijk contact te krijgen met de producent van de methaantractoren, dit zou mogelijk moeten zijn via een kennis die deze tractoren verkoopt. Deze producent is nodig om informatie te leveren voor zowel de TEA als de LCA. Voor de TEA gaat het verder ook nodig zijn informatie in te winnen omtrent belastingen en subsidies, waarvan gehoopt wordt dat deze online beschikbaar is. Verder zullen er prijzen van brandstoffen moeten verzameld worden, mogelijks via internet, mogelijks via contact met verdelers. Om al deze informatie samen te brengen, is het belangrijk te weten hoeveel landbouwers hun tractoren gebruiken en op welke tijd deze worden afgeschreven. Voor de discontovoet te bepalen zal informatie omtrent de kapitaalkost van landbouwers gezocht worden. Hier wordt gehoopt dat databases van de Europese Unie en de Belgische overheid enige informatie verschaffen. Indien niet zullen hier assumpties aangegaan moeten worden. Na het samenbrengen van alle deze informatie kan diesel met biomethaan vergeleken worden. Voor de robuustheid van het onderzoek is het aangeraden nog een sensitiviteitsanalyse uit te voeren.

De LCA zou mogelijk moet zijn met de gegevens geleverd door de producent en de databases in de software *Simapro*. De schaduw prijzen van de emissies zullen wellicht uit de literatuur moeten komen, waar gezocht gaat worden naar *monetized LCA, life cycle impact assessment, LCIA, shadow prices emissions, ...* De output kan vervolgens vergeleken worden met deze van diesel. Voor de robuustheid kan ook hier een sensitiviteitsanalyse worden uitgevoerd.

Voor het opstellen en afnemen van de vragenlijsten wordt tot slot teruggedaan naar het bachelorvak *onderzoeksmethoden*. Het gebruikte handboek zou genoeg informatie moeten leveren omtrent steekproefgroottes, representativiteit, ... Specifieke methodes kunnen verder ook nog via literatuur worden onderzocht. Na het opstellen van de vragenlijst is het dan belangrijk om personen te vinden die deze willen afnemen, hiervoor zal alweer beroep moeten gedaan worden op kennissen, gezien het moeilijk is zelf in contact te komen met zo grote aantallen van de doelgroep. Voor de statistische verwerking zal getracht worden een licentie van het statistische programma *Stata* te bemachtigen via de UHasselt. Vervolgens wordt er getracht een totale betalingsbereidheid op te stellen aan de hand van twee gebruikte methodes: betalingsbereidheid via *bidding game* en de reiskostenmethode. Er kan eventueel gevraagd worden of gebruikers bereid zijn mee te werken aan een systeem waar biomassa wordt geruild voor brandstof, maar dit is eerder om een indruk te krijgen of men geïnteresseerd is in het gehele plaatje.

In bijlage 1 valt een *Gantt-chart* terug te vinden met de planning.

2. Literatuurstudie

2.1 Definitie

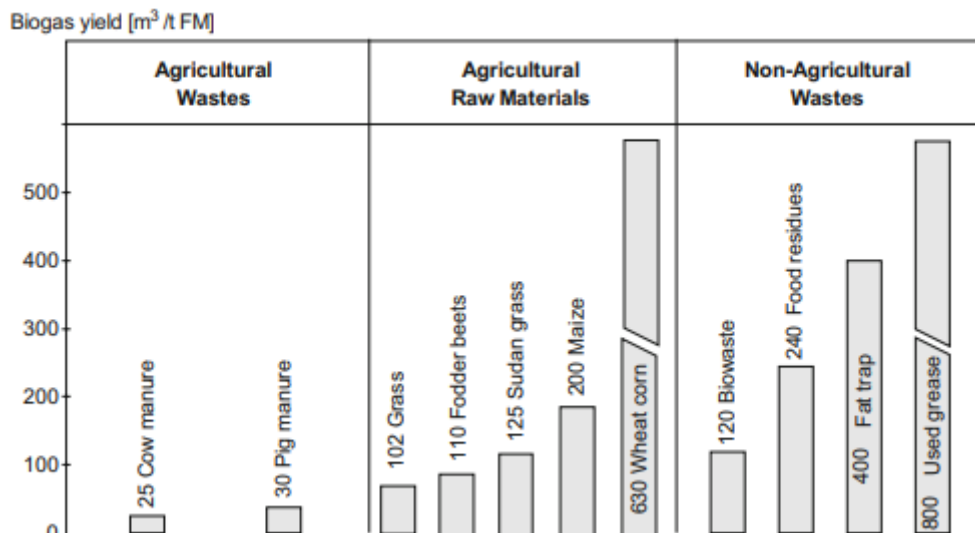
Voor we aan deze literatuurstudie beginnen, kijken we wat biomethaan nu net inhoudt. Hier zien we dat biomethaan eigenlijk biogas is dat eerst gezuiverd wordt en vervolgens opgewaardeerd. Dit opwaarderen houdt in dat we de calorische waarde gaan verhogen totdat het gas voldoet aan de normen om als brandstof voor voertuigen te worden gebruikt of om in het gasnetwerk te worden geïnjecteerd. Synergrid, de federatie van elektriciteits- en gasnetbeheerders in België, geeft de volgende definitie: "Biogas waarvan de eigenschappen werden gewijzigd als gevolg van een fysische en/of chemische behandeling om het uitwisselbaar te maken met aardgas van het net of het aardgas gebruikt voor voertuigen." (Ryckebosch, Drouillon, & Vervaeren, 2011; Synergrid, 2016).

Biogas wordt op zijn beurt gedefinieerd als "een gas dat resulteert uit de anaerobe transformatie van organische ruwe materialen, voornamelijk groenafval, huishoudelijk afval, agrarisch afval en industrieel afval en is daardoor een 100% hernieuwbare energiebron" (Engie, 2018).

2.2 Biomassa

2.2.1 Kwaliteit

Deze verschillende bronnen van biomassa hebben ook verschillende energetische waardes en bijgevolg verschillende biogasopbrengsten. Zo zien we in de tak van de landbouwproducten dat gras een veel lagere opbrengst heeft dan bijvoorbeeld zuivere maïskorrels of graan bij een reactor met dezelfde efficiëntie. Dit valt te verklaren door de hoge hoeveelheid lignine in gras, dat niet (of zeer moeilijk) getransformeerd kan worden. Mest heeft op zijn beurt dan weer een nog veel lagere opbrengst, namelijk ongeveer 4% van deze van maïskorrels of graan, doordat dit grotendeels bestaat uit reeds verteerde materie en stro, wat weer bij de grasachtigen kan gerekend worden. We kunnen dus besluiten dat datgene dat de meeste waarde in de voedingsindustrie heeft, ook de meeste waarde als bron van vergisting heeft (Figuur 1)(dos Santos, Vieira, de Nóbrega, Barros, & Tiago Filho, 2018; Weiland, 2010).



Figuur 1: Gemiddelde biogasopbrengst per biomassastroom (Weiland, 2010)

2.2.1 Kwantiteit

Ook binnen Vlaanderen zijn al deze stromen beschikbaar. Wanneer we de plaatselijke stroom van groenafval bekijken, zien we dat dit in vier subcategorieën wordt opgedeeld. Merk op dat het in dit hoofdstuk gaat over totale hoeveelheden biomassa en dus niet over de voor biogas beschikbare hoeveelheden. Sommige delen van deze stromen wordt namelijk al nuttig gebruikt. Zo wordt 28 procent van het groenafval van huishoudens door henzelf gebruikt als diervoeding voor kippen, honden, ... Deze hoeveelheid wordt echter wel opgenomen in de totale hoeveelheid biomassa (Tessens, 2018; Wille, Braekevelt, Roels, Smeets, & Vandaele, 2017). De verschillende stromen worden hieronder verder in detail besproken.

2.2.1.1 Groenafval en maaisel

Het groenafval van huishoudens en dat van bedrijven, uitgezonderd het maaisel van hun bermen en pleinen, wordt uitgedrukt in de jaarlijks beschikbare tonnages. Verder heeft iedere biomassastroom een biogaspotentieel, dit is hoeveel normaal-kubieke meter biogas die er gewonnen kan worden per ton biomassa. Voor groenafval is dit voor Vlaanderen vastgelegd op $47,65 \text{ Nm}^3/\text{ton}$, voor bermmaaisel is $274,5 \text{ Nm}^3/\text{ton}$ bepaald. Het methaangehalte van dit biogas is vervolgens ook weer afhankelijk van de biomassastroom. Voor groenafval en bermmaaisel is dit bijvoorbeeld 51,7 procent en 59,5 procent. Wanneer we de totale hoeveelheid biomassa vermenigvuldigen met het biogaspotentieel en dit vervolgens weer met het methaangehalte verkrijgen we de theoretische hoeveelheid biomethaan die uit de biomassastroom kan gehaald worden. Om tot slot een beter beeld te hebben op wat dit nu juist inhoudt, kunnen we dit uitdrukken op vlak van energie-inhoud. Biomethaan heeft namelijk een verbrandingswaarde van 36 megajoule per Nm^3 of 0,036 gigajoule per Nm^3 . Wanneer we dus de totale theoretische hoeveelheid biomethaan vermenigvuldigen met 0,036, bekomen we de totale theoretische energie-inhoud in GJ. (Molino, Nanna, Ding, Bikson, & Braccio, 2013; Ruben Gybels, 2012; Tessens, 2018).

Merk op dat de uitdrukking van het biogaspotentieel en de totale hoeveelheid biomethaan normaal kubieke meter bevat. Dit is het volume van het gas bij een druk van 1,01325 bar en een temperatuur van 15 graden Celcius (International Organization for Standardization, 1992).

$$\text{theoretische hoeveelheid biomethaan (Nm}^3\text{)} = \text{biomassa (ton)} \times \frac{\text{Nm}^3\text{biogas}}{\text{ton biomassa}} (\text{Nm}^3) \times \text{metaangehalte (\%)}$$

$$\text{totale energetische energie – inhoud (Gj)} = \text{theoretische hoeveelheid biomethaan (Nm}^3\text{)} \times 0,036 \text{ Gj/Nm}^3$$

Tabel 1 geeft de tonnages weer, de hoeveelheid biomethaan die uit de beschikbare biomassastroom kan gehaald worden en tot slot de totale energie-inhoud.

Tabel 1: Beschikbaarheid groenafval (uitgezonderd maaisel) (Tessens, 2018)

	Groenafval (ton/jr.)	Biomethaan (Nm ³ /jr.)	Energie-inhoud (GJ)
Huishoudens	544 738,00	13 419 647,87	483 107,32
Bedrijven (excl. Maaisel)	79 012,66	1 946 480,83	70 073,31
Totaal	623 750,66	15 366 128,70	553 180,63

Het maaisel van graslanden, waaronder natuurgebieden, luchthavens, havens en golfterreinen, en het maaisel van bermen, waartoe ook de bermen van water- en spoorwegen behoren, wordt uitgedrukt in ton droge stof per jaar. De hoeveelheid droge stof kan berekend worden door de totale massa te vermenigvuldigen met het droge stofgehalte. Dit droge stofgehalte is het procentueel gewicht van het totale gewicht dat een biomassa zou wegen indien al het water verwijderd zou zijn en er dus enkel nog "droge stof" overblijft (Tessens, 2018; Youdim, 2016).

In Tabel 2 vinden we deze tonnages en de andere gegevens voor het maaisel zoals in Tabel 1 voor het groenafval. Van de totale beschikbare stroom, groenafval en maaisel samen wordt tot op de dag van vandaag slechts een fractie gebruikt voor vergisting (Tessens, 2018).

Tabel 2: Beschikbaarheid maaisel (Tessens, 2018)

	Maaisel (ton (DS)/jr.)	Biomethaan (Nm ³ /jr.)	Energie-inhoud (GJ)
Maaisel van graslanden	109 634,91	17 886 825,93	646 810,16
Maaisel van bermen	106 293,34	17 341 652,13	621 430,35
Totaal	215 928,25	35 228 478,06	1 268 240,51

2.2.1.2 Voedselresten

Naast groenafval en maaisel brengen ook voedselresten grote stromen teweeg. De noemer voedselresten heeft echter verduidelijking nodig. Het gaat hier namelijk om de verzameling van grondstoffen die uit de agrovoedingsketen, bedoeld voor menselijke consumptie, verdwijnen. Men bekijkt dit echter pas vanaf het moment dat de voedingsstof geoogst of geslacht wordt. Daardoor behoort bijvoorbeeld het stro dat achterblijft op het land na het oogsten van graan niet tot de noemer voedselresten, maar de kleine, resterende fractie kaf die bij de verwerking nog wordt gescheiden, wel (Roels et al., 2017).

Verder blijkt ook dat in de voedingsindustrie in Vlaanderen een grote fractie reeds nuttig wordt gebruikt; om onder te werken op het land om het koolstofgehalte in de bodem op peil te houden, als veevoerders of voor vergisting. Voedselresten blijken verder vrij geschikt voor de biomethaanproductie, maar moeten mogelijks wel eerst mechanisch of biologisch gezuiverd worden indien ze niet apart worden opgehaald (J. D. Browne & Murphy, 2013; Kiran, Trzcinski, Ng, & Liu, 2014; Wille et al., 2017).

Tabel 3 toont enkele logische stroombronnen, zoals visserij en landbouw, maar ook onrechtstreekse bronnen die niet zo voor de hand liggend zijn, zoals veilingen. Op een veiling komt namelijk een grote hoeveelheid fruit en groenten samen, die, na selectie, een voedselstroom met zich meebrengt. Merk op dat de voedselstroom uit de visserij niet bijdraagt tot potentieel voor biomethaan. Al deze reststromen worden namelijk in zee geloosd waardoor ze niet meer kunnen gebruikt worden als biomassa. Zoals verwacht draagt de voedingsindustrie bij tot de grootste massa aan reststromen. Dit valt te verklaren door de grote hoeveelheid afval bij voedselverwerking (Tessens, 2018).

Tabel 3: Beschikbaarheid voedselstromen (Tessens, 2018)

	Voedselstromen (ton/jr.)	Biomethaan (Nm ³ /jr.)	Energie-inhoud (GJ)
Visserij	10 402,00	-	-
Landbouw	499 352,00	28 280 866,82	1 018 111,21
Veilingen	15 276,00	961 425,61	34 611,32
Voedingindustrie	2 349 445,00	147 867 020,00	5 323 212,72
Retail	64 828,00	4 080 079,84	146 882,87
Horeca & Catering	127 828,00	8 027 299,67	288 982,79
Huishoudens	468 305,00	29 473 711,79	1 061 053,62
Totaal	3 525 034,00	218 690 403,73	7 872 854,53

2.2.1.3 Oogstresten

Zoals eerder vermeld, valt niet al het afval dat van gewassen komt onder de noemer voedselbronnen. Resten die op het land achterblijven of reeds vroeg in het proces gescheiden worden van de werkelijke oogst, worden niet beschouwd als het eigenlijke voedsel en vallen daarom onder de noemer oogstresten. Deze oogstresten blijven tot op de dag van vandaag voornamelijk op de akkers achter, waarna ze worden ingewerkt in de bodem. Op deze manier dragen ze bij tot het op punt houden van het koolstofgehalte in de bodem en de bodemstructuur, maar aan de andere kant kan het onderploegen van deze resten ook het uitvloeien van nutriënten veroorzaken en zelfs de verspreiding van pathogenen stimuleren. Om deze problemen te voorkomen kan vergisting een oplossing vormen. Het gebruik van de oogstresten voor vergisting brengt echter enkele logistieke en technische uitdagingen met zich mee. Zo beginnen veel oogstresten vrij snel te rotten waardoor hun biogaspotentieel exponentieel afneemt. Bovendien zijn deze stromen vrij divers en over grote oppervlaktes verspreid, hetgene zowel transport als verwerking vermoelijkijkt, omdat de samenstelling van de stroom afhankelijk is van welk gewas in zijn oogstseizoen zit (Tessens, 2018; Vanacker et al., 2001).

Een bijkomend aandachtspunt is dat, doordat de resten nu vaak achterblijven op het land, we niet echt een zicht hebben op hoe groot deze stromen zijn. Om deze reden zijn de cijfers samengevat in Tabel 4 slechts een estimatie van het werkelijk potentieel. Hiervoor is er per gewas bij een steekproef bekeken hoe groot de reststroom per hectare is, om dit vervolgens te vermenigvuldigen met de oppervlakte dat in Vlaanderen geoogst wordt. Omdat deze reststromen sterk verschillen tussen verschillende percelen, dit onder andere door de bodemsoort, relatieve hoogte van het perceel en zaai- en oogstdatum, kunnen de werkelijke cijfers verschillen van onderstaande schattingen (Tessens, 2018). Bovendien zijn er van jaar tot jaar fluctuaties in de aantallen hectares die van een bepaald gewas geplant worden, waardoor sommige bronnen niet altijd even betrouwbaar zijn.

Tabel 4: Beschikbaarheid oogstresten

	Oogstresten (ton/jr.)	Biomethaan (Nm ³ /jr.)	Energie-inhoud (GJ)
Groenten & fruit	736 621,60	50 311 274,00	1 811 205,86
Granen voor de korrel	487 795,28	106 046 895,77	3 817 688,25
Aardappelen	158 512,09	40 240 935,71	1 448 673,69
Nijverheidsgewassen	102 270,16	35 405 631,22	1 274 602,72
Voedergewassen	16 518,13	6 029 117,45	217 048,23
Totaal	1 501 717,26	238 033 854,15	8 569 218,75

2.2.1.4 Mest

Een andere voor de hand liggende biomassaastroom uit de landbouw is het mest. Dit wordt ingedeeld in de categorieën mest afkomstig van runderen, varkens, pluimvee of anderen. Tot deze laatste categorie behoren bijvoorbeeld schapen en geiten. In Tabel 5 wordt een schatting gegeven van de totale beschikbare tonnages. Deze schatting is gebaseerd op de hoeveelheden stikstof en fosfaat die iedere categorie dieren jaarlijks teweegbrengt. Aan de hand van de gekende samenstelling van het mest kan zo een schatting van de totale stroom gemaakt worden (Tessens, 2018; VLM, 2018).

Tabel 5: Beschikbaarheid mest (Tessens, 2018)

	Mest (gem.) (ton/jr.)	Biomethaan (Nm ³ /jr.)	Energie-inhoud (GJ)
Runderen	17 404 761,90	291 007 619,00	10 476 274,29
Varkens	4 804 938,27	58 120 533,33	2 092 339,20
Pluimvee	496 783,97	40 984 677,65	1 475 448,40
Anderen	247 432,50	3 402 196,84	122 479,09
Totaal	22 953 916,64	393 515 026,82	14 166 540,98

2.2.1.5 Overige biomassaastromen

Tot slot hebben we nog de overige biomassaastromen. Deze bestaan uit de restproducten na productie van biobrandstoffen (bio-ethanol en biodiesel), gebruikte frituurvetten en oliën (GFVO) en slibs. Deze slibs zijn op hun beurt afkomstig van verschillende takken zoals rioolwaterzuiveringsinstallaties, de papierindustrie en de voedingsindustrie. Merk op dat het slib

afkomstig van de papierindustrie afkomstig is van het ontinkten van papier. Hierbij bestaat de mogelijkheid dat dit slib zware metalen bevat waardoor dit slib niet in de landbouw gebruikt mag worden. Dus ook na eventuele vergisting zal het digestaat verbrand moeten worden. De hoeveelheid slib wordt in Tabel 6 uitgedrukt in ton droge stof per jaar.

Tabel 6: Beschikbaarheid overige biomassastromen (Tessens, 2018)

	Overigen (ton (DS)/jr.)	Biomethaan (Nm ³ /jr.)	Energie-inhoud (GJ)
Biobrandstoffen	371 322,75	101 023 917,43	3 636 861,03
GFVO	29 259,00	10 884 348,00	391 837,00
Slib	301 474,00	20 929 311,40	753 455,21
Totaal	702 055,75	132 837 576,83	4 782 153,24

2.2.1.6 Totaal theoretisch potentieel

Wanneer al deze stromen opgeteld worden, is de som van de totale energie-inhoud meer dan 37 miljoen GJ of 37 petajoule (PJ). In 2016 bedroeg het energieverbruik in de landbouwsector in Vlaanderen 30,2 PJ, hiervan was 16,6 PJ gassen. Theoretisch gezien zou biomethaan dus meer dan het dubbel aan energie kunnen opleveren dan wat in de landbouwsector nodig is. Zelfs wanneer enkel naar het Vlaamse gasverbruik in overweging wordt genomen, zou biomethaan theoretisch gezien kunnen instaan voor 8,75% van het huidig gasverbruik. Dit is weliswaar wanneer het volledige potentieel aan biomethaan benut wordt (Jespers & Dufait, 2017; Tessens, 2018).

Verder moet er ook worden vermeld dat er jaarlijks ongeveer 400 000 ton biomassa geïmporteerd wordt door de biogasindustrie, voornamelijk voedselreststromen en mest. Deze import is echter niet opgenomen in bovenstaande berekeningen (Tessens, 2018).

2.2.1.7 Landbouwsector

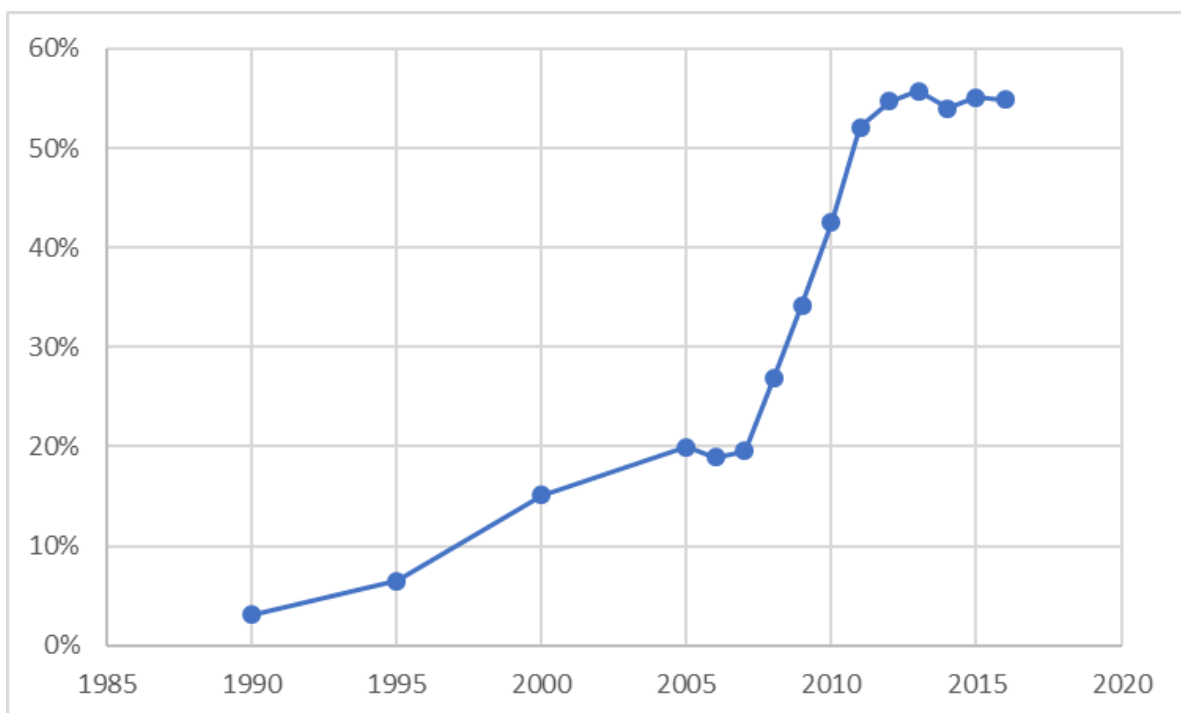
Veel van de eerder aangehaalde biomassastromen ontstaan echter niet rechtstreeks in de landbouwsector. Gezien het idee achter de methaantractor is dat het landbouwbedrijf meer zelfvoorzienend wordt, is het interessant te kijken hoe groot de stromen in de landbouw zelf zijn. In Tabel 7 worden de beschikbare stromen in de landbouwsector zelf weergegeven. Dit houdt in: de voedselreststroom in de landbouw, oogstresten en mest. In totaal gaat het om nagenoeg 25 miljoen ton biomassa per jaar die in theorie een energieproductie van 23,7 PJ kan opleveren, wat nog steeds meer is dan de 16,6 PJ aan brandstoffen in gasvorm die in de landbouwsector worden gebruikt.

Tabel 7: Biomassastromen in de landbouwsector

	Hoeveelheid (ton/jr.)	Biomethaan (Nm ³ /jr.)	Energie-inhoud (GJ)
Voedselresten landbouw	499 352,00	28 280 866,82	1 018 111,21
Oogstresten	1 501 717,26	238 033 854,15	8 569 218,75
Mest	22 953 916,64	393 515 026,82	14 166 540,98
Totaal	24 954 985,90	659 829 747,79	23 753 870,94

2.2.1.8 Gebruik van brandstoffen in gasvorm in de landbouw

In 2016 werd reeds 16,4 PJ van de 16,6 PJ, of 98,7 procent, aan gasvormige brandstoffen die verbruikt werden ook zelf geproduceerd en waren dus biogassen. Zo blijkt dat de productiecapaciteit geen probleem is in de landbouwsector, maar meer het type brandstof dat gebruikt wordt. Gasvormige brandstoffen waren namelijk niet de standaard in de landbouwsector en we zien dat het gebruik ervan samen groeit met de productie van biogas. Dit houdt dus in dat bedrijven vaak pas op gasvormige brandstoffen overschakelen zodra ze zelf voor de productie kunnen instaan. Zo was aardgas in 1990 maar goed voor 3 procent van de geleverde energie in de sector, terwijl dit in 2016 al 55 procent was. Zoals Figuur 2 toont, is de laatste jaren het percentage gas dat in de sector wordt verbruikt vrij constant rond 55 procent (Jespers & Dufait, 2017; Vlaams Energieagentschap, 2014).



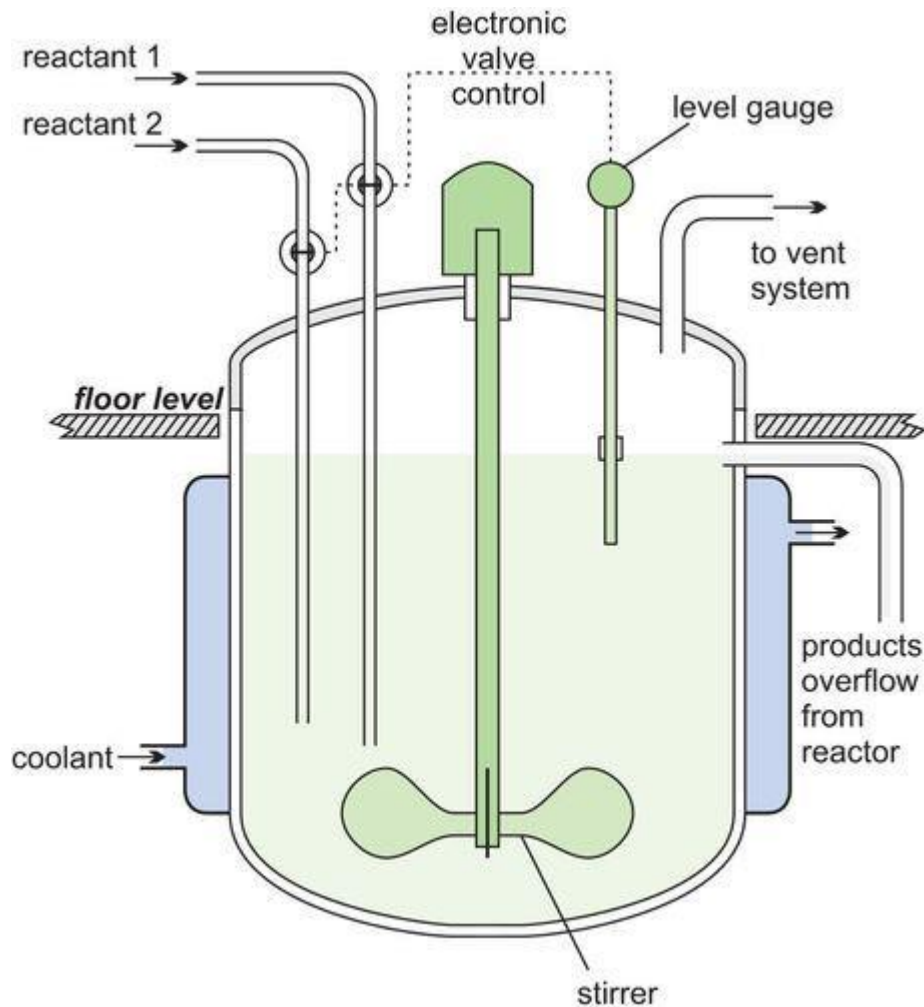
Figuur 2: Fractie gasverbruik in de landbouwsector (Jespers & Dufait, 2017)

2.3 Productie

2.3.1 Biogas

Om biogas te produceren, zijn er tal van mogelijkheden die in grote lijnen kunnen worden onderverdeeld in droge en natte vergisting. De landbouw wordt gedomineerd door natte vergistingsprocessen. Tijdens een nat vergistingsproces wordt de vaste biomassa aangevuld met drijfmest of afvalwater totdat de vaste fractie ongeveer 10 procent van het totaal is. Dit type proces krijgt vaak de voorkeur omdat het een continu proces is, in tegenstelling tot droge vergisting, dat in batches gebeurt. In Duitsland wordt in 90 procent van de gevallen een vergistingsinstallatie met verticale continu roerende tank gebruikt voor natte vergistingsprocessen (Gemmeke, Rieger, Weiland, & Schröder, 2009).

De werking van zulk vergisterinstallatie met een verticale roerende tank wordt in onderstaande figuur samengevat. Bij een continu roerende tankreactor is er een constante instroom aan reactant en een constante uitstroom van het eindproduct. Dit eindproduct kan onderaan de tank worden afgetapt of kan, zoals weergegeven in Figuur 3, automatisch verwijderd worden wanneer het vloeistofniveau in de reactor te hoog wordt. Het uitproduct is steeds perfect gemengd en heeft een constante temperatuur (Chemical Engineering, 2013; Kumar, 2018).



Figuur 3: Vergister met verticale continu roerende tank (UD Technologies, 2019)

2.3.2 Biomethaan

Om een geproduceerd biogas de naam biomethaan te mogen geven, moet het aan enkele kwaliteitsnormen voldoen die echter van land tot land kunnen verschillen. Zo moet biomethaan in de Verenigde Staten tussen 95 en 97 procent CH_4 bevatten, terwijl dit in Nederland meer dan 80 procent moet zijn. In België is deze norm afhankelijk van of je deel uitmaakt van het laagcalorisch of hoogcalorisch netwerk, beter bekend als "arm gas" of "rijk gas" of het L-grid en H-grid zoals ze in de energiesector gekend zijn. Momenteel is er in België echter een omschakeling gaande om volledig over te stappen naar het hoogcalorisch netwerk (H-grid), daar er enkel van Nederland laagcalorisch gas werd geïmporteerd en Nederland zijn export naar België vermindert tot een volledige stopzetting in 2030 (Devriendt, Van Dael, Pelkmans, Cornelis, & Pieper, 2013; Fluvius, 2019; Ryckeboosch et al., 2011; Synergrid, 2018).

Tabel 8 geeft de verschillende kwaliteitsnormen voor Belgische biomethaan weer. De Wobbe-index die in deze tabel gehanteerd wordt is de wetenschappelijke benaming voor de energie-inhoud van het gas, uitgedrukt in de eerder aangehaalde eenheid kWh/Nm^3 . De uitdrukking molprocent (mol-%), geeft aan hoeveel mol stof er per 100 mol totaalproduct aanwezig is. Het waterdauwpunt, ook gekend als de dauwpunttemperatuur, is de temperatuur waarbij gas zijn vocht omzet in werkelijk

vloeibaar water. In praktijk zorgt dit dus voor de aanwezigheid van vloeibaar water in de gastanks en leidingen wanneer de temperatuur onder de dauwpunttemperatuur gaat. Dit water kan er vervolgens voor zorgen dat de verbrandingsketels en -motoren stuk gaan. (Devriendt et al., 2013; Fluvius, 2019; Persson, Jönsson, & Wellinger, 2006; Ryckebosch et al., 2011; Synergrid, 2018).

Om deze kwaliteitsnormen te behalen moeten we de twee eerder vermelde stappen doorlopen: het biogas zuiveren en het gezuiverde gas opwaarderen (Biogas-E, 2017; Devriendt et al., 2013; Eker & van Daalen, 2015; Ryckebosch et al., 2011)

Tabel 8: Kwaliteitsnormen biomethaan (Synergrid, 2018)

Element	Eenheid	L-grid	H-grid
Wobbe-index	kWh/Nm ³	12,19-13,03	13,65-15,78
CH ₄ -gehalte	Vol-%	>80%	>85%
CO ₂ -gehalte	Mol-%	<6	<4
O ₂ -gehalte	Mol-%	<1	<1
CO ₂ +N ₂ -gehalte	Mol-%	<15	<15
Waterdauwpunt	°C	-2	-2
Relatieve vochtigheid	mg/Nm ³	<110	<110
Zwavelgehalte	mg/Nm ³	<30	<30

2.3.2.1 Zuiveren

Een eerste, extreem belangrijke stap van biogaszuivering, is het verwijderen van water om aan de lokale richtlijnen van de dauwpunttemperatuur te kunnen voldoen. In de Verenigde Staten moet deze bijvoorbeeld 10°C onder het 99 procent-interval van de plaatselijke wintertemperaturen liggen, in België is deze vastgelegd op -2°C, gezien er op dit moment geen afzonderlijke richtlijnen zijn voor biomethaan dat in het aardgasnet geïnjecteerd wordt of biomethaan dat voor voertuigen gebruikt wordt, deze normen zijn echter wel in de maak. VLAREM II geeft echter wel de richtlijn dat de dauwpunttemperatuur bij de brandstof van voertuigen -10°C moet zijn, maar deze richtlijn is van toepassing voor gassen voor het gebruik in voertuigen, maar niet voor de productie van biomethaan. In praktijk wordt momenteel in Vlaanderen geopteerd voor een dauwpunttemperatuur van -15°C en een methaangehalte van minimum 85%, wat dus overeenkomt met hoogcalorisch aardgas (Devriendt et al., 2013; Ryckebosch et al., 2011; VLAREM, 1995).

2.3.2.1.1 Water

Om het overtollige water te verwijderen bestaan er twee types methodes: fysische splitsing of chemische droging. Bij het geval van fysische splitsing wordt het gas sterk gekoeld waardoor het aanwezige water condenseert en vervolgens uit het mengsel verwijderd kan worden. De verschillende methodes die hiervoor gebruikt vallen onder de samenvattende noemer "condensatiemethodes".

Bij toepassing van chemische droging, moet het gas eerst onder hoge druk worden gebracht. Een overzicht van de verscheidene chemische droogmethoden en de bijbehorende voor- en nadelen worden in onderstaande Tabel 9 weergegeven (Devriendt et al., 2013; Rutledge, 2005; Ryckebosch et al., 2011).

Tabel 9: Overzicht van droogmethoden (Ryckebosch et al., 2011)

Methode	Voordelen	Nadelen
Condensatiemethodes -Druppelscheiding -Cyclonescheider -Waterslot -Waterkraan	-Meer stof en olie verwijderd -Simpele technieken -Veel gebruikt als voorbehandeling voor andere technieken	-Gas op hogere druk brengen om lager dauwpunt te bereiken
Adsorptie met SiO ₂	-Hoge efficiëntie -Dauwpunt van -10°C tot -20°C -Lage operationele kost -Hergebruik mogelijk	-Duur: hoge druk -Stof en olie moet eerst verwijderd zijn
Adsorptie met Al	-Hoge efficiëntie -Dauwpunt van -10°C tot -20°C -Lage operationele kost -Hergebruik mogelijk	-Duur: hoge druk -Stof en olie moet eerst verwijderd zijn
Absorptie met C ₆ H ₁₄ O ₄	-Hoge efficiëntie -Dauwpunt van -5°C tot -15°C -Niet toxisch of gevaarlijk	-Duur: hoge druk en 200°C nodig voor hergebruik -Groot volume voor economische haalbaarheid
Absorptie met hygroscopische zouten	-Hoge efficiëntie -Niet toxisch of gevaarlijk	-Kan niet hergebruikt worden

2.3.2.1.2 Waterstofsulfide

Een tweede stap in het opschonen van de biomethaan is het verwijderen van waterstofsulfide (H₂S). Deze molecule zorgt namelijk voor corrosie in de pijpleidingen en verbrandingsmotoren en kan in hoge concentraties giftig zijn. Het verwijderen van H₂S gebeurt vaak in combinatie met CO₂ om de efficiëntie van het opzuiverproces te verhogen. De meest gebruikte techniek voor deze stap is het wassen van het biogas met water op hoge druk. Het spreekt voor zich dat indien deze methode wordt toegepast, de stap van droging pas achteraf wordt toegepast. Een tweede optie om H₂S te verwijderen is wassen met selexol, een aminegasbehandeling, op hoge druk. Dit blijkt efficiënter proces te zijn, maar tevens ook een duurder proces. Een chemische reactie met alkanolamines, een organische verbinding met een hydroxyl en een aminegroep op zijn koolstofketen, is ook mogelijk. Bij dit proces lost CO₂ op in de chemische substantie waarna de H₂S in zijn geheel kan verwijderd worden. Vervolgens kan het CO₂ terug gerecupereerd worden waardoor ook de alkanolamines herbruikt kunnen worden (Devriendt et al., 2013; Ryckebosch et al., 2011; Vandeweyer et al., 2008; Zhao, Leonhardt, MacConnell, Frear, & Chen, 2010).

2.3.2.1.3 Koolstofdioxide

Bovendien zijn er ook methodes mogelijk om enkel CO₂ te verwijderen, deze worden echter meer in detail besproken in hoofdstuk 2.3.2.2 Opwaarderen.

2.3.2.1.4 Siloxanen

Een verder stap is de verwijdering van siloxanen. Siloxanen zijn stoffen die Si-O-binding bevatten en *organic radicals* gebonden met een siliciumatoom. De verwijdering van deze siloxanen is voornamelijk nodig bij biogas dat gewonnen werd uit huishoudelijk afval. Bij biogas uit agrarische producten zijn de concentraties veel lager en is dit proces overbodig. Siloxanen brengen ernstige schade toe aan verbrandingsmotoren omdat ze bij verbranding kristallen achterlaten in de motoren, waardoor het dus essentieel is om deze uit het gas te verwijderen. Er bestaat echter discussie over de concentratie aan siloxanen die aanvaardbaar is in biomethaan. Sommige fabrikanten leggen de bovengrens op 0,03 mg per Nm³ biomethaan, terwijl andere fabrikanten deze op 28 mg/Nm³ biomethaan leggen. Siloxanen kunnen op verscheidene manieren verwijderd worden, waarvan de meest efficiënte en meest gebruikte zijn absorptie op basis van een organisch solvent en absorptie in een sterk zuur zijn (Devriendt et al., 2013; Ryckebosch et al., 2011; Vandeweyer et al., 2008).

2.3.2.1.5 Gehalogeneerde koolhydraten

Naast de voorgaande moleculen, moet ook de concentratie gehalogeneerde koolhydraten binnen de perken worden gebracht. Gehalogeneerde koolhydraten zijn in grote concentraties aanwezig in biogas afkomstig van stortplaatsen en zorgen voor corrosie van de motoren. Deze kunnen verwijderd worden met een filter van actieve kool, die de grote koolhydraatmoleculen tegenhouden en tegelijkertijd de anderen laat passeren (Ryckebosch et al., 2011; Vandeweyer et al., 2008).

2.3.2.1.6 Dizuurstof

Wanneer het O₂-gehalte in het biogas hoger dan 4 procent is, moet ook dit verlaagd worden. Dit omwille van het explosieve karakter dat het gas kan krijgen bij hogere zuurstofgehalten. Dit komt vaak voor bij biogas gewonnen op stortplaatsen. Het teveel aan O₂ kan verwijderd worden door membranen of *pressure swing adsorption*. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een moleculaire zeef, vaak op basis van actieve kool. CH₄ kan door deze zeef passeren, terwijl CO₂ wordt tegengehouden. Dit proces kan mogelijk versneld worden door het gebruik van een vacuümpomp (Devriendt et al., 2013; Ryckebosch et al., 2011; Vandeweyer et al., 2008).

2.3.2.1.7 Ammoniak

Tot slot gaat men de NH₃-concentratie aanpakken. Op grote schaal wordt meestal ervoor geopteerd het gas te wassen met verdund salpeterzuur of met zwavelzuur. Dit proces kan echter veel simpeler en goedkoper voor kleinere installaties door ook voor deze zuivering actieve kool te gebruiken (Ryckebosch et al., 2011; Vandeweyer et al., 2008).

2.3.2.2 Opwaarderen

Nadat alle zuiveringsstappen zijn doorlopen, moet het gas opgewaardeerd worden om de CH₄-concentratie te verhogen. Dit wordt relatief gedaan door de CO₂-concentratie binnen de normen van 1 tot 3 procent te brengen. Wanneer CO₂ verwijderd wordt, stijgt de relatieve CH₄-concentratie vanzelf. Ook voor deze procedure zijn verscheidene methodes voor beschikbaar. Methodes die binnen Europa vaak gebruikt worden zijn het eerder besproken (*vacuum*) *pressure swing adsorption*, membraanscheiding en cryogene scheiding.

Bij membraanscheiding wordt, zoals het woord het zegt, het gas gescheiden op basis van membranen met een selectieve permeabiliteit.

Cyrogene scheiding maakt ten slotte gebruik van temperatuurverschillen waarbij CO₂ op een lagere temperatuur dan CH₄ condenseert en dus vloeibaar wordt. Vervolgens kunnen deze moleculen verwijderd worden (Biogas-E, 2017; Devriendt et al., 2013; Ryckebosch et al., 2011; Vandeweyer et al., 2008).

2.4 Productiekost biomethaan

De productiekost van biomethaan is van vele factoren afhankelijk. Zo hebben de grootte van de installatie en het type biomassa dat als input wordt gebruikt grote invloeden op de kostprijs van het biogas en vervolgens dus ook van het biomethaan. Schaalvoordelen hebben vaak een positief effect, maar de beperkte beschikbaarheid van biomassa kan dan weer negatieve invloeden hebben wanneer de installatie te groot is. Verder brengt ieder type biomassa specifieke verwerkingskosten met zich mee, maar ook verschillende aankooprijzen. Zo zien we dat in 2017 men voor bermmaaisel 20 tot 35 euro per ton werd betaald om te mogen storten, terwijl men snijmaïs moest aankopen voor ongeveer voor 40 tot 50 euro per ton. (Bionerga, 2017; J. Browne, Nizami, Thamsiroj, & Murphy, 2011; Hofstee, 2017; Lavrijsen, 2017; Musique, 2017; Storg, 2017; Walla & Schneeberger, 2008).

Maar ook het doel van het uiteindelijke biomethaan draagt bij. Zo zien we dat klassiek gezien de investeringskosten voor een biomethaansite de volgende zijn: de biogasinstallatie, de opslagvoorzieningen en de opwaarderingsinstallatie voor biogas om te zetten naar biomethaan. De laatste stap die een investeringskost met zich meedraagt is de afzet van het biomethaan. Zo moet de site in praktijk nagenoeg altijd ofwel worden aangesloten op het gasnet ofwel een tankstation plaatsen indien brandstof voor voertuigen voorzien moet worden (J. Browne et al., 2011; Repele, Udrene, & Bazbauers, 2017).

Veel van het onderzoek dat gebeurt naar biomethaan speelt zich af in Ierland, de reden hiervoor is dat de Europese Unie randvoorwaarden heeft opgelegd aan de landbouwsector waarbij men probeert te vermijden dat grasland wordt omgevormd tot akkers. Voor landen als Ierland, waar 91 procent van de beschikbare landbouwgrond grasland is, betekent dit dat er een enorme voorraad gras ter beschikking is. Dit, in combinatie met de richtlijn dat brandstoffen op basis van biogas 60 procent minder GHG-emissies moeten uitstoten ten opzichte van conventionele brandstoffen, maakt dat het voor Ierland interessant kan zijn om biomethaan op basis van gras te gebruiken als brandstof voor voertuigen (Korres, Singh, Nizami, & Murphy, 2010).

Wanneer we de verschillende productiekosten bekijken voor verschillende installaties, zien we grote verschillen. In Ierland heeft men het over installaties met groenafval als biomassa die biomethaan voor 0,30 euro/Nm³ kunnen produceren maar ook installaties op basis van maïs, gras en mest, die het meest relevant voor deze case zijn, die een productiekost van 1,16 euro/Nm³ hebben. Bij een Lets onderzoek waarbij de marktprijs van biogas wordt genomen en verschillende opwaarderingsmethodes worden geanalyseerd, wordt een prijs van 46 euro/MWh genoteerd. Omgerekend aan een verbrandingswaarde van 9,67 kWh/Nm³ voor biomethaan komt dit neer op

0,44 euro/Nm³. Zweedse research heeft het over een gemiddelde productiekost van 16 euro/GJ, wat, gezien er 277,78 kWh in een GJ zit, neerkomt op 0,56 euro/Nm³. In een Nederlandse studie wordt dan weer geteld op een verkoopprijs van 0,58 euro/Nm³ (Åhman, 2010; J. Browne et al., 2011; Gebrezgabher, Meuwissen, Prins, & Lansink, 2010; Paturaska et al., 2015; Smyth, Smyth, & Murphy, 2010)

Doordat al deze studies hebben plaatsgevonden op verschillende tijdstippen, vallen ze echter moeilijk te vergelijken. Om die reden zijn in Tabel 10 in de tweede kolom alle prijzen gebracht op een punt van 2019. Dit werd gedaan aan de hand van de inflatie van het land in kwestie. Er werd gekozen om de algemene inflatie te nemen, gezien de productiekost afhankelijk is van verschillende factoren en niet enkel beïnvloed wordt door de energiesector. Hierna zien we dat de kostprijzen variëren tussen 0,48 euro/Nm³ en 1,53 euro/Nm³ (global-rates, 2019).

Tabel 10: Productiekost biomethaan (Åhman, 2010; J. Browne et al., 2011; Gebrezgabher et al., 2010; global-rates, 2019; Paturaska et al., 2015; Smyth et al., 2010)

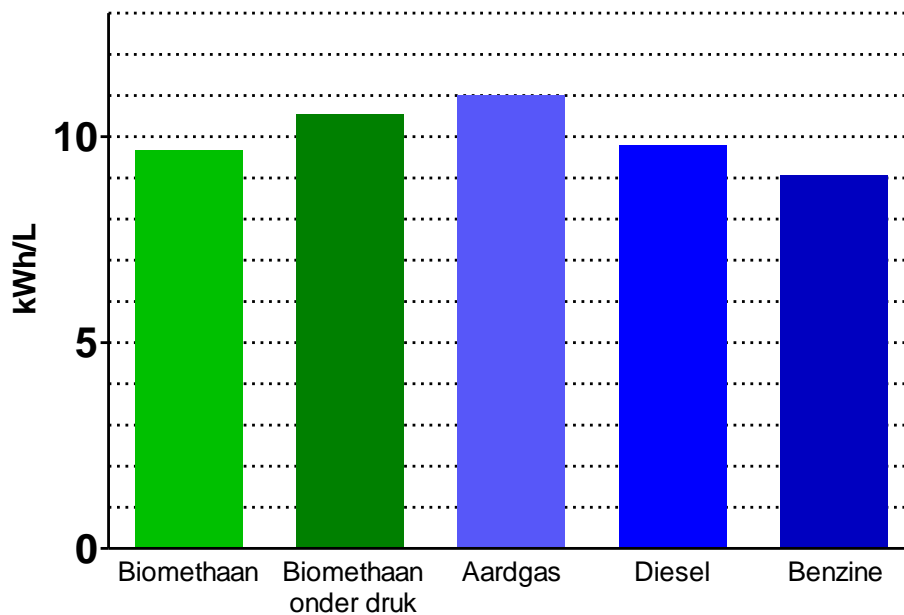
Type centrale	Kost (€/Nm ³)	Kost (€/Nm ³) 2019
Maïs, gras en mest (IE) 2011	1,162	1,209
Slachtafval (IE) 2011	0,539	0,561
Groenafval (IE) 2011	0,301	0,313
Voordroog (IE) 2010	1,115	1,20
Mest (IE) 2011	1,47	1,53
Maïs, gras en mest (NL) 2010	0,58	0,67
Marktprijs (LV) 2015	0,44	0,48
Gemiddelde (SE) 2010	0,56	0,62

2.5 Vergelijking met conventionele brandstoffen

2.5.1 Energie-inhoud

Om biomethaan te kunnen vergelijken met conventionele brandstoffen, moeten we eerst de energie-inhoud bekijken. We zien dat deze ongeveer toeneemt met 1 kWh per 10 procent methaangehalte. Voor standaard biomethaan, met een methaangehalte van 97 procent, wordt er uitgegaan van 9,67 kWh/Nm³ (Figuur 4). Voor conventioneel aardgas bedraagt de energie-inhoud 11 kWh/Nm³. Wanneer we echter biomethaan tanken, wordt dit niet onder de norm van Nm³ gedaan, maar wordt het gas eerst onder een druk van 200 bar gebracht. Hierna is de energie-inhoud 38 MJ/kg. Bij benzine gaan we uit van 9,06 kWh/L of 32 MJ/L en bij diesel is de norm 9,8 kWh/L, of 36 MJ/L. Wanneer we diesel per kilogram bekijken, bekomen we 42 MJ/kg (Bordelanne et al., 2011; Börjesson & Mattiasson, 2008; Büthker, 2017; Czerwinski, Comte, & Zimmerli, 2003; Devriendt et al., 2013; Gebrezgabher et al., 2010; Papacz, 2011; SGC, 2018).

Energie-inhoud



Figuur 4: Energie-inhoud brandstoffen (Bordelanne et al., 2011; Börjesson & Mattiasson, 2008; Büthker, 2017; Czerwinski et al., 2003; Devriendt et al., 2013; Gebrezgabher et al., 2010; Papacz, 2011)

2.5.2 Verbruik

Over het verschil in verbruik tussen diesel- en biomethaanvoertuigen is weinig informatie beschikbaar. Producenten geven ofwel enkel aan nog maar in een teststadium te zitten of geven vage gegevens weer, waarbij ze het ene verbruik uitdrukken in liter per 100 km en het andere in m^3 per standaard werkweek, zonder te definiëren wat deze inhoudt (Honda, 2011; Iveco, 2018).

Een studie die wel beschikbaar is, uitgevoerd door de onafhankelijke onderzoeksinstituut Cenex in opdracht van Coca-Cola, geeft een verbruik weer van 1670,80 MJ/100 km voor een vrachtwagen op biomethaan tegenover 1139,6 MJ/100 km voor een klassieke dieselvrachtwagen. We kunnen op basis van de energiebehoefte dus concluderen dat de biomethaanvrachtwagen 46,6 procent meer energie nodig heeft om hetzelfde traject af te leggen ten opzichte van een klassieke dieselvrachtwagen. Een ander studie over Chinese bussen, geeft een extra energiebehoefte weer van 36 procent. Studies in Litouwen en Canada rapporteren respectievelijk 28,1 en 16 procent. De verklaring hiervoor is dat de dieselmotoren door de jaren heen zo verfijnd zijn geraakt dat ze vrij energiezuinig zijn, terwijl dit bij motoren op aardgas, of in dit geval biomethaan, nog niet het geval blijkt te zijn. Verder hebben we gezien dat de calorische waarde van biomethaan ook niet zo hoog is als deze van diesel, een Nm^3 biomethaan heeft namelijk 98,7 procent van de energie-inhoud van een liter diesel heeft. Hieruit kunnen we concluderen we voor één liter diesel te evenaren, tussen 1,175 Nm^3 en 1,485 Nm^3 biomethaan nodig hebben, met een gemiddelde van 1,334 Nm^3 (Börjesson & Mattiasson, 2008; Carroll, 2012; Kliucininkas, Matulevicius, & Martuzevicius, 2012; Korres et al., 2010; Rose et al., 2013; SGC, 2018; Zhang et al., 2014).

2.5.3 Prijzen

Wanneer de actuele dieselprijs bekeken wordt, wordt er waargenomen dat de officiële maximumprijs in België 1,5770 €/L bedraagt op 28 november 2018. De gemiddelde korting die door de pomphouders gegeven wordt blijkt 0,103 €/L te zijn, wat resulteert op een eindprijs van 1,4740 €/L. Deze prijs is inclusief 21 procent BTW, exclusief BTW is dit 1,2182 €/L. Marktprijzen van biomethaan blijken in België niet beschikbaar te zijn, dus zal er verder rekening gehouden met de eerder berekende productiekost (FOD Economie, 2018; FOD Financiën, 2019a; Meurisse, 2018).

Tabel 10 bevat de productiekost, maar nog niet de verkoopprijzen. Cijfers over de winstmarges in de hernieuwbare-energiesector verschillen vaak aanzienlijk. Zo wordt er gemiddeld gemikt op een marge van 20 tot 30 procent, maar wordt er ook aangehaald dat dit niet altijd behaald wordt. Een gemiddelde wordt echter wel gegeven door de economische trendwatcher Macrotrends, namelijk 11,97%. Wanneer deze assumptie gedaan wordt, bekomen we de verkoopprijzen in de tweede kolom van

Tabel 11. Gemiddeld komt dit neer op 0,92 €/Nm³. Merk op dat dit gebaseerd is op de productiekost die is gebracht tot op het inflatieniveau van 2019 (Macrotrends, 2019; Ramchurn, Vytelingum, Rogers, & Jennings, 2011).

Tabel 11: Productiekost en verkoopprijs biomethaan (Åhman, 2010; J. Browne et al., 2011; Gebrezgabher et al., 2010; global-rates, 2019; Macrotrends, 2019; Paturska et al., 2015; Smyth et al., 2010)

Type centrale	Kost (€/Nm ³)	Verkoopprijs (€/Nm ³)
Maïs, gras en mest (IE) 2011	1,209	1,354
Slachtafval (IE) 2011	0,561	0,628
Groenafval (IE) 2011	0,313	0,351
Voordroog (IE) 2010	1,20	1,339
Mest (IE) 2011	1,53	1,713
Maïs, gras en mest (NL) 2010	0,67	0,746
Marktprijs (LV) 2015	0,48	0,534
Gemiddelde (SE) 2010	0,62	0,690
Totale gemiddelde		0,919

Om de efficiëntie van één liter diesel te evenaren is er 1,334 Nm³ biomethaan nodig. Dit komt neer op een kost van 1,23 euro per liter diesequivalent. Op basis van deze cijfers zou geconcludeerd kunnen worden dat dat rijden op biomethaan ongeveer 1 procent meer kost dan rijden op diesel. Er moet echter wel rekening mee gehouden worden dat de aangehaalde prijzen van biomethaan de productieprijs met een vaste winstmarge zijn en dus niet de werkelijke verkoopprijzen.

Verder moeten er nog eventuele verschillen in kosten zoals onderhoud van de vrachtwagen in overweging worden genomen. Hierover zijn echter weinig theoretische gegevens beschikbaar, buiten in brochures van Iveco die aangeven dat deze "laag" zijn. Verder geeft Iveco wel aan dat de vrachtwagen op biomethaan geen gebruik maakt van AdBlue. AdBlue is een oplossing op basis van ureum die in voertuigen die rijden op diesel wordt gebruikt om de uitstoot te verminderen door de AdBlue te injecteren in het uitlaatsysteem. Het feit dat dit niet nodig is in biomethaanvoertuigen

brenkt bijgevolg een kostenbesparing met zich mee op zowel systeemkosten als productkosten (Duquesne, 2017; International Organization for Standardization, 2009; Iveco, 2018).

2.6 LCA

Om een levenscyclusanalyse uit te voeren zijn er verschillende methodes en assumpties. Zo kan er een vergelijking worden gemaakt tussen de vervuiling van conventionele brandstof en die van biomethaan, of tussen een voertuig op conventionele brandstof en een biomethaanvoertuig.

Er wordt hier steeds vergeleken op basis van de uitstoot van broeikasgassen. Deze broeikasgassen kunnen gedefinieerd worden als alle gassen die in de atmosfeer warmte opnemen en terug richting de aarde afgeven. De belangrijkste broeikasgassen zijn waterdamp, CO₂, CH₄, N₂O en O₃. Om verschillende systemen met verschillende uitstoten van verschillende broeikasgassen te vergelijken wordt gebruik gemaakt van CO₂-equivalenten. Ieder broeikasgas heeft dus een CO₂e-waarde die inhoudt hoeveel CO₂ er moet uitgestoten worden om dezelfde impact op de opwarming van de aarde te hebben (Brander & Davis, 2012).

Verscheidene levenscyclusanalyses worden hieronder besproken.

2.6.1 Aardgas - Biomethaan

Een eerste optie is de vergelijking van aardgas met biomethaan. Dit omdat beide op het gasnet kunnen worden gezet en vervolgens voor industrieel en huishoudelijk gebruik kunnen dienen.

Om deze vergelijking te kunnen maken, moet eerst de broeikasgasuitstoot van klassiek aardgas gekend zijn. Deze cijfers variëren tussen 245 en 247 g CO₂e/kWh, met een gemiddelde waarde van 245 g CO₂e/kWh (Adelt, Wolf, & Vogel, 2011; CO₂-emissiefactoren, 2017; Crahaix, 2017)

De resultaten voor levenscyclusanalyses kunnen sterk verschillen, enerzijds door de verschillende installaties met verschillende biomassa's en verschillende verwerkingsmethodes, maar anderzijds ook door andere zaken waarvoor de onderzoekers assumpties moeten maken. Zo wordt er bijvoorbeeld aangegeven dat de assumptie of er al dan niet elektriciteit die voortkomt uit hernieuwbare bronnen wordt gebruikt bij de biomethaanproductie, significante verschillen kan opleveren. Ook wat er met het restproduct van de productie, het digestaat, wordt gedaan blijkt significante invloeden te hebben op de uitkomst van de analyse (Adelt et al., 2011; Collet et al., 2017).

Bij een Duitse analyse van een bestaande biomethaan productiesite, behaalt men een broeikasgasemissie van 43,9 g CO₂e/kWh. Dit gaat gepaard met een totale vermindering van 82 procent ten opzichte van aardgas. In deze studie neemt men de elektriciteit af van het Duitse netwerk, wat voor 88 procent bestaat uit elektriciteit die voortkomt van fossiele energie. Dit heeft als gevolg dat er per kWh biomethaan die geproduceerd wordt, 0,12 kWh aan fossiele energie nodig is. Dit kan vermeden worden indien men de elektriciteitsproductie groener kan maken (Adelt et al., 2011).

In een theoretische studie van een nog niet bestaande productiesite behaalt men 67,8 g CO₂e/kWh wat samengaat met een verminderde uitstoot van 72 procent aan broeikasgassen ten opzichte van

aardgas. Ook hier behaalde men een nood aan 0,12 kWh aan fossiele energie voor de productie van 1 kWh biomethaan (Adelt et al., 2011).

Een andere studie focuste zich op de verschillende methodes die kunnen gebruikt worden om biogas op te waarderen tot biomethaan (zie 2.3.2 Biomethaan). Voor 5 verschillende methodes, behaalt men uitstoten van 23 tot 32 CO₂e/kWh. In vergelijking met 245 CO₂e/kWh voor aardgas is dit een daling van 87 tot 90,6 procent (Adelt et al., 2011; Collet et al., 2017).

2.6.2 Benzine – Biomethaan

Een tweede mogelijke vergelijking is die tussen voertuigen op benzine en voertuigen op biomethaan. Het voertuig in kwestie gaat om een personenwagen van Toyota. Meer specifiek de *Toyota Prius II Hybrid CNG Vehicle*. Deze auto heeft aardgas onder druk als brandstof en kan dus evenzeer met biomethaan onder druk getankt worden. Als klassieke benzinewagen is gekozen voor de *Fiat Bravo*, daar deze op overige technische aspecten, buiten de brandstof, vergelijkbaar is met de gekozen Toyota. De Toyota Prius benzine bleek minder in lijn te liggen met het model dat op aardgas rijdt op niveau van technische aspecten dan de aangehaalde Fiat Bravo. Dieselveertuigen zijn niet opgenomen in deze analyse, daar er geen voertuig werd gevonden dat vergelijkbaar was op technisch vlak met de gebruikte personenwagens (Bordelanne et al., 2011).

Om de LCA uit te voeren, worden volgende aspecten in rekening gebracht: de productie van de brandstof, inclusief de teelt van de gewassen voor biomethaanproductie, transport en distributie van de brandstof van de productiesite tot de eindconsument en de uitstoot van de voertuigen zelf. Deze gegevens worden allen uit de literatuur gehaald. Merk op dat de impact voor de productie van de voertuigen genegeerd wordt, daar deze geacht wordt hetzelfde te zijn voor alle types motoren (Bordelanne et al., 2011).

Het resultaat van de analyse geeft het volgende weer: wanneer de wagen die op aardgas rijdt met biomethaan, dat geproduceerd is op basis groenafval als biomassa, is er een vermindering van 80 procent aan broeikasgassen. Wordt er geopteerd voor biomethaan dat op basis van gewassen is gewonnen, spreekt men zelfs van verminderingen van 81 tot 83 procent. De reden hiervoor is dat deze manier van biomethaan winnen efficiënter is (Bordelanne et al., 2011).

Een Belgische studie die bekijkt welke invloeden auto's op alternatieve brandstoffen hebben wanneer ze in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest rondrijden geeft conservatievere resultaten. Hier wordt uitgegaan van een uitstoot van ongeveer 280 CO₂e/km voor benzinewagens, tegenover ongeveer 105 CO₂/km voor een wagen die biomethaan als brandstof heeft. Dit betekent dus een vermindering van 62,5 procent (Van Mierlo, Messagie, & Rangaraju, 2017).

Het International Energy Agency geeft tot slot aan dat voertuigen die rijden op biomethaan gemiddeld de broeikasgasuitstoot met 25 procent verlaagt ten opzichte van voertuigen met benzine als brandstof (International energy agency, 2010).

2.6.3 Diesel – Biomethaan bij personenwagens

Bij een eerste Ierse studie blijkt de vermindering in broeikasgassen bij het gebruik van wagens op biomethaan beperkt. Voor de basiscase is er een verlaging van 21,5 procent aan uitstoot waarneembaar is ten opzichte van diesel. De reden hiervoor is dat men uitgaat van biomethaan geproduceerd op basis van gras. Men heeft echter een probleem om in de winter van het digestaat af te geraken, wat daardoor in verwarmde silo's moet worden opgeslagen. Dit brengt een elektriciteitsverbruik met zich mee wat door de elektriciteitsmix in Ierland weer de nodige broeikasgasemissies meebrengt. Indien de nodige elektriciteit uit windenergie gehaald wordt in plaats van gewoon van het elektriciteitsnet, blijkt echter een verlaging van 54 procent mogelijk (Korres et al., 2010).

Bij de eerder aangehaalde studie van Van Mierlo et al. rond de mobiliteit van personenwagens in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, vindt men een gemiddelde uitstoot van ongeveer 210 g CO₂e/km. Voor wagens op biomethaan was dit 105 g CO₂e/km. Dit betekent een vermindering van 50 procent (Van Mierlo et al., 2017).

In een laatste Ierse studie wordt een theoretische gemiddelde broeikasgasvermindering van 60 procent weergegeven voor 13 verschillende wagens met ieder een verschillende cilinderinhoud (Daly & Ó Gallachóir, 2012).

2.6.3 Diesel – Biomethaan bij heavy-duty motoren

Het gebruik van biomethaan als brandstof voor personenwagens, blijkt niet zo moeilijk daar de technologie aansluit bij deze van de LPG-motoren. Voor heavy-duty engines die gebruikt worden in vrachtwagens, bussen en ander professioneel materieel, blijkt de ontwikkeling van een nieuwe motor wel noodzakelijk (Alamia, 2015; Alamia, Magnusson, Johnsson, & Thunman, 2016; Chandra, Vijay, Subbarao, & Khura, 2011).

Drie *state of the art* motoren voor biomethaan kunnen vandaag de dag onderscheiden worden: de *spark-ignited*-motor (SI), de *dual fuel* (DF) die gebruik maakt van een mix van klassieke diesel met gas en een motor die gebruik maakt van directe injectie onder hoge druk of *high-pressure direct injection* (HPDI). Voor elk van deze motoren kan er zowel voor aardgas als voor biomethaan geopteerd worden. Vervolgens kan er nog gekozen worden voor vloeibaar gas of voor gas onder hoge druk. Gezien deze thesisstudie zich toespitst op het gebruik van biomethaan onder druk, zal enkel hierop worden ingegaan (Alamia, 2015; Alamia et al., 2016).

Bij het gebruik van biomethaan bij deze verschillende motoren, zien we in een eerste onderzoek dat er een verlaging van 75 procent is voor de SI-motor, 50 procent voor de DF-motor en 74 procent voor de HPDI-motor. De reden van de vrij lage score voor de DF-motor, is omdat deze toch nog vrij veel diesel verbruikt. (Alamia, 2015).

Bij een andere studie waar onder meer de hoofdonderzoeker van de vorige studie aan meewerkte, bekomt men lagere resultaten. Namelijk een vermindering in broeikasgassen van 60-67, 43-47 en 64 procent voor respectievelijk de SI-, de DF-, en de HPDI-motor. Het verschil in deze resultaten zit hem in de opname van het LUC- en ILUC-effect, dat verder besproken wordt in hoofdstuk 2.7 Indirect Land Use Change (ILUC) (Alamia et al., 2016).

Bij onderzoek naar bussen op biomethaan in plaats van op diesel, komen ook verschillende waarden naar voor. Een Grieks onderzoek geeft een vermindering aan broeikasgasuitstoot aan van 78,45 procent wanneer men op zuivere biomethaan ligt. Zoals verwacht ligt de vermindering op ongeveer 10 procent hiervan, namelijk 7,85 procent, wanneer men aardgas gebruikt met een biomethaangehalte van 10 procent. Ook in Ierland doet men onderzoek om hun vloot bussen op biomethaan te laten rijden. Hier ondervindt men een vermindering van 7 procent wanneer de dieselbussen op aardgas op hoge druk gaan rijden en nog een vermindering van 63 procent wanneer dit aardgas op druk door biomethaan op druk wordt vervangen. In totaal komt dit neer op een vermindering van 65,6 procent wanneer diesel met biomethaan wordt vergeleken (Nanaki, Koroneos, Xydis, & Rovas, 2014; Ryan & Caulfield, 2010).

De exacte vermindering en emissies van broeikasgassen is dus sterk afhankelijk van de studie met resultaten tussen 43 en 75 procent. Ieder onderzoek blijkt het er echter wel over eens te zijn dat er een significante verbetering is ten opzichte van fossiele brandstoffen.

2.7 Indirect Land Use Change (ILUC)

Bij bovenstaande vermelde studies moet echter een kritische noot worden geplaatst. Er wordt namelijk maar in één studie rekening gehouden met het effect van Indirect Land Use Change.

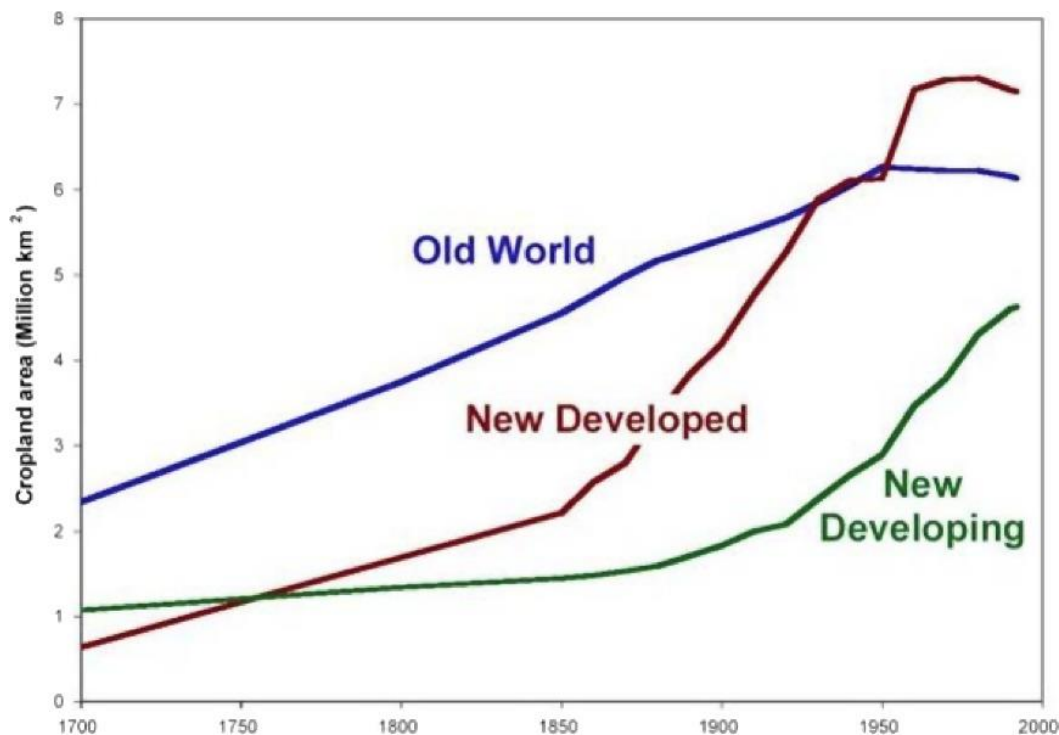
2.7.1 Algemeen

Het eerder vermelde ILUC-effect, waarbij wordt bekeken welke indirecte invloed biobrandstoffen op bodemgebruik hebben, blijkt een eerder omstreden concept. De reden hiervoor is dat het moeilijk te berekenen valt wat dit indirect effect werkelijk is. De gevolgen van ILUC zijn tweeledig. Aan de ene zijde kan er bosgebied verdwijnen waardoor er dus minder CO₂ wordt omgezet naar O₂, aan de andere kant komen er grote hoeveelheden opgeslagen CO₂ vrij door het verbruik van het gewonnen hout (Gawel & Ludwig, 2011; Searchinger et al., 2008).

Bij de eerste studies hierrond werd ervan uitgegaan dat iedere hectare gebruikt voor de teelt van gewassen voor biobrandstoffen vervangen moest worden door een andere hectare vruchtbare grond. Hierdoor zou bijvoorbeeld de totale uitstoot van ethanol gebaseerd op maïs en op cellulose respectievelijk met 93 en 50 procent stijgen ten opzichte van deze van benzine wanneer ILUC wordt opgenomen in het onderzoek. Om de vrijgekomen CO₂ terug te winnen door de lagere uitstoot van de biogebaseerde brandstoffen zou men respectievelijk 167 en 52 jaar gewassen moeten winnen en omzetten naar deze biogebaseerde brandstoffen. Merk op dat deze cijfers zijn voor teelten in de Verenigde Staten. Wanneer het gaat om ethanol gebaseerd op suikerriet geteeld in Brazilië, moet men tellen op tussen 4 en 35 jaar om het negatieve ILUC-effect terug te winnen. Bij biodiesel gebaseerd op soja spreekt men over 35 jaar zonder ILUC en 211 jaar met ILUC inbegrepen (Lapola et al., 2010; Searchinger et al., 2008).

Bij deze studie wordt echter nagenoeg geen rekening gehouden met de steeds hogere efficiëntie van de landbouwsector. Wanneer bijvoorbeeld de productie van biobrandstoffen in Brazilië met een factor 34 zou groeien tussen 2003 en 2020, zou dit op het eerste zicht door ontbossing zorgen voor de uitstoot van een hoeveelheid CO₂ waarvoor men 250 jaar lang biobrandstoffen moet produceren om terug te winnen. Men gaat binnen deze studie er echter vanuit dat de veeteeltsector binnen deze periode sowieso zijn efficiëntie verhoogt met 0,09 stuks vee per hectare. Als men echter een efficiëntieverhoging van 0,13 stuks vee per hectare verkrijgt, blijkt het volledige ILUC-effect ongedaan worden gemaakt doordat er geen extra ontbossing nodig is. Uit ander onderzoek blijkt dezelfde conclusie. Hier wordt aangegeven dat de efficiëntie van de veeteelt tussen 2002 en 2012 gestegen is van 38 kilogram vlees per ha naar 54 kg/ha. Door deze grote groei voldoet de veeteelt aan de grotere vraag naar vlees en maakt ze tegelijkertijd land vrij voor biomassateelt (Lapola et al., 2010; Nassar & Moreira, 2013).

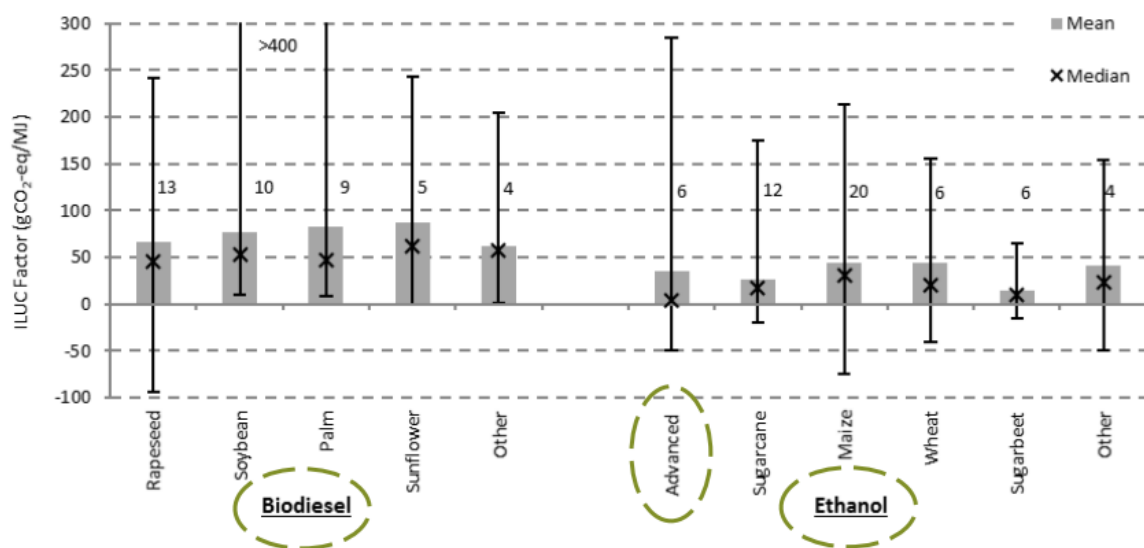
In de reeds ontwikkelde landen blijkt dat de oppervlakte landbouwgebied al decennia stabiel is. In Europa, China en het Midden-Oosten blijkt dit reeds sinds 1920 te zijn, in de jongere ontwikkelde gebieden zoals de Verenigde Staten van Amerika, Canada en Australië, blijkt dit reeds sinds 1940 een feit te zijn (Goldewijk & Ramankutty, 2004; Zilberman, 2017). Zoals uit Figuur 5 blijkt, groeide de oppervlakte landbouwgrond in ontwikkelingslanden wel nog binnen deze tijdsspanne. Tot het jaar 2000 bleek deze groei significant te zijn, na 2000 blijkt echter ook hier de oppervlakte landbouwgrond te zijn gestabiliseerd waardoor de groei niet langer significant bleek te zijn (Barr, Babcock, Carriquiry, Nassar, & Harfuch, 2011; Zilberman, 2017). De kleine, niet significante groei die nog bestaat, blijkt verder voornamelijk de omzetting te zijn van grasland naar akkers (Barrows, Sexton, & Zilberman, 2014; Zilberman, 2017).



Figuur 5: Oppervlakte landbouwgebied (Goldewijk & Ramankutty, 2004)

2.7.2 Europese Unie

Al deze mogelijke effecten vragen om een wetgevend kader om de eventuele nadelen te beperken. Dit kader opstellen blijkt echter moeilijk. Enerzijds door de verschillende belangengroepen die de wetgeving in hun voordeel wil laten spelen, anderzijds doordat de wetenschappelijke wereld het niet eens geraakt over wat de effecten van ILUC nu werkelijk zijn. Figuur 6 toont de resultaten van 30 verschillende studies samengevat. De cijfers die de onderzoekers rapporteren zijn zeer uiteenlopend. Er zijn zelfs studies die beweren dat ILUC een vrij groot positief effect heeft (Woltjer et al., 2017).



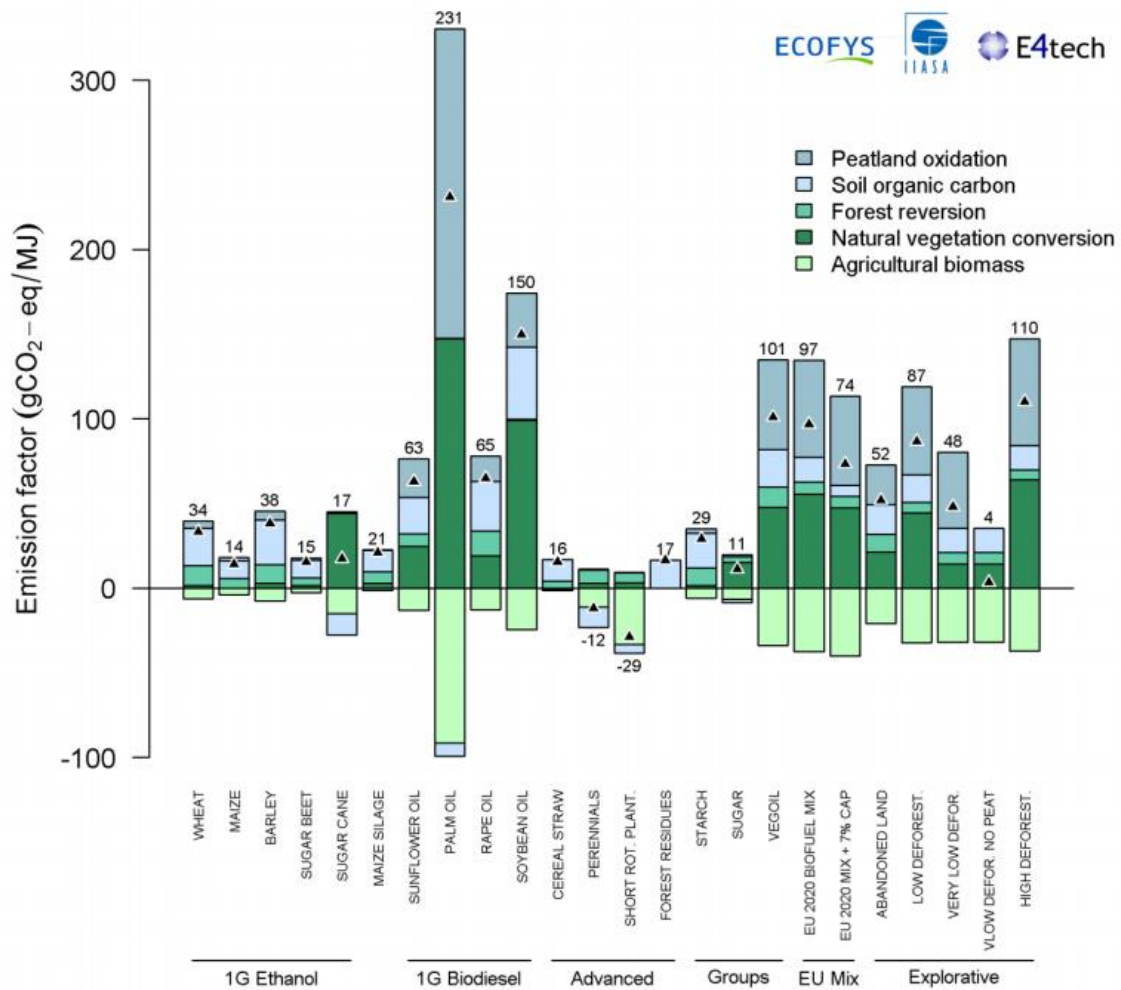
Figuur 6: Broeikasgasemissies gekoppeld aan ILUC (Woltjer et al., 2017)

De concrete beperkingen die de Europese Unie aanraadt aan zijn lidstaten voor het gebruik van biomassa zijn de volgende:

- Biomassa weigeren die voortkomt van gebieden die ontbost zijn, hoge CO₂-opslag hebben of een hoge biodiversiteit hebben.
- Voor installaties ouder dan 2017 enkel biobrandstoffen erkennen die minimum 35 procent minder broeikasgassen uitstoten dan fossiele brandstoffen over de levenscyclus, voor installaties van 2017 bedraagt dit 50 procent en nog jonger installaties 60 procent.
- Nationale biobrandstof programma's met een hoge efficiëntie proberen aan te sporen.
- Toezicht houden op de biomassastromen binnen de EU om zo hun duurzaamheid te garanderen (EUROPEAN COMMISSION 2010).

Hier kwam echter kritiek op wegens het te weinig opnemen van het effect van ILUC.

Uit de studie die door de Europese Commissie werd gevraagd uit te voeren, kwamen de LUC-emissies die zijn samengevat in Figuur 7. Op basis van deze cijfers besloot de Europese Commissie om in 2016 haar doel van hernieuwbare energie tegen 2030 op 27 procent vast te pinnen, en legde ze tegelijk een maximum van 3,8 procent op voor biobrandstoffen die gebaseerd zijn op gewassen (Valin et al., 2015; White, 2017).



Figuur 7: LUC-emissies (Valin et al., 2015)

2.7 Conclusie

De mogelijkheid zou in Vlaanderen bestaan om landbouwvoertuigen op biomethaan te laten rijden. Afhankelijk van de biomassa, de efficiëntie van de installaties en de bijkomende wetgeving, zou deze overgang ook een positief effect kunnen hebben op de totale emissie van broeikasgassen. Dit positief effect blijkt ook mogelijk te zijn bij het gebruik als brandstof voor heavy-duty-motoren, wat het dichtst aansluit bij de case van landbouwtractoren.

Op vlak van economische relevantie is het echter niet zo duidelijk. Volgens sommige bronnen is biomethaan concurrentieel op de brandstofmarkt, volgens andere blijft de kost hoger dan conventionele brandstoffen. Hiervoor zal dus nader onderzoek naar de specifieke case van tractoren.

3. Empirische studie

3.1 Techno-economische analyse

Om de economische haalbaarheid van de biomethaantractor te analyseren, werd er gekozen om een techno-economische analyse (TEA) te doen. Een techno-economische analyse omvat de evaluatie van het technisch potentieel en de economische haalbaarheid van een nieuwe technologie die ontwikkeld is om de maatschappelijke of milieu-impact van onze huidige consumptie- en productiepatronen te verbeteren en helpt bij het nemen van beslissingen m.b.t. onderzoek en ontwikkeling, investeringen of beleidsmaatregelen. Hierdoor is deze manier van analyseren uiterst geschikt om de biomethaantractor te vergelijken met deze van de klassieke dieseltractor (Kuppens, Boonen, & Vleugels, 2019).

Om deze TEA uit te voeren moet er echter eerst gekeken worden naar alle factoren die een impact hebben op de kosten van deze investering. Deze worden in de volgende hoofdstukken opgesomd.

3.1.1 Werkuren en afschrijving

Om de twee alternatieven te kunnen vergelijken, wordt er een netto actuele waarde van ieder project berekend. Hiervoor moet de duur van de investering bekend zijn en een basis om de variabele kosten op te berekenen. Dit laatste is de gebruiksintensiviteit van de trekker. Het gebruik van tractoren wordt uitgedrukt in het aantal werkuren en niet in gereden kilometers, gezien tractoren die op het veld werken weinig kilometers maken, maar toch veel arbeid moeten leveren.

Om deze informatie te vergaren werden zes interviews afgenomen met zogenaamde *dealers*. Dit zijn uitbaters van garages voor landbouwmachines. Hier worden dus specifieke merken verdeeld, onderhouden en gerepareerd. De geïnterviewden zijn van drie verschillende Vlaamse provincies, namelijk Limburg, Antwerpen en West-Vlaanderen en verdelen zes verschillende merken. Wanneer er wordt gevraagd hoeveel werkuren hun klanten gemiddeld ieder jaar rijden, bekomen we sterk verschillende resultaten. Namelijk tussen 400 en 700 werkuren. De reden hiervoor is het verschil in cliënteel. Zo zien we dat de dealers die lage urenstanden doorgeven afkomstig zijn uit landbouwstreken waar voornamelijk op veeteelt wordt ingezet terwijl dat in streken waar op akkerbouw wordt ingezet hogere urenstanden worden geconstateerd. De geïnterviewden zijn het er wel unaniem over eens dat tractoren gemiddeld op 10 000 werkuren worden afgeschreven (Aerts, 2019; Bonneux, 2019; Geerts, 2019; Guedens, 2019; Vanhove, 2019; Wonterghem, 2019).

Gemiddeld gezien wordt er aangegeven dat landbouwers ongeveer 580 uren per jaar werken met hun tractoren. Gezien de tractoren na 10 000 werkuren worden afgeschreven, bekomen we een gemiddelde duur van 17 jaar. Na 17 jaar besluit de gemiddelde landbouwer dus zijn tractor te verkopen en een nieuwe aan te schaffen. Deze resultaten staan samengevat in Tabel 12 (Aerts, 2019; Bonneux, 2019; Geerts, 2019; Guedens, 2019; Vanhove, 2019; Wonterghem, 2019).

Tabel 12: Werkuren en afschrijving tractoren (Aerts, 2019; Bonneux, 2019; Geerts, 2019; Guedens, 2019; Vanhove, 2019; Wonterghem, 2019)

Bron	#uren/jaar	Afschrijven op (uren)	Afschrijven op (jaren)
Aerts Landbouwmechanisatie	500-600	10 000	
Martens Traktor NV	450	10 000	
Vanneste Agri Services BVBA	500-600	10 000	
Landbouwmachines Guedens M.	400	10 000	
Vanhove CVBA	700	10 000	
Gejaco BVBA	600-700	10 000	
Gemiddelde	582	10 000	17,16

3.1.2 Aankooprijzen en voorwaarden

De aankooprijzen van tractoren verschillen vrij sterk van merk tot merk. Wanneer we tractoren van ongeveer 180 pk van zes verschillende merken vergelijken, bekomen we een gemiddelde van ongeveer 117 000 euro met een verschil 24 procent tussen de duurste en de goedkoopste. Verder gaven ook alle verdelers aan dat er een leasing aan 0 procent mogelijk is op 60 maanden. Dit houdt dus in dat de koper zijn machine over 60 maanden kan afbetalen zonder hiervoor extra te moeten betalen (Aerts, 2019; Bonneux, 2019; Geerts, 2019; Guedens, 2019; Vanhove, 2019; Wonterghem, 2019).

Al deze tractoren verschillen echter licht van specificaties. Om de vergelijking tussen biomethaan en diesel correct aan te pakken, werd ervoor gekozen enkel het dieselmodel van New Holland op te nemen in de verdere berekeningen, gezien deze exact hetzelfde is op vlak van specificaties als hun biomethaantractor. Deze laatste is nog niet in productie, maar de prijs zou in lijn gaan liggen met deze van de diesequivalent. De assumptie werd gemaakt dat de prijs hetzelfde is (Delaere, 2019).

Tabel 13: Aankooprijzen tractoren (Aerts, 2019; Bonneux, 2019; Geerts, 2019; Guedens, 2019; Vanhove, 2019; Wonterghem, 2019)

Bron	Merk+type	Prijs excl. BTW
Aerts Landbouwmechanisatie	Massey Ferguson 7718 Dyna VT	€ 103 000,00
Aerts Landbouwmechanisatie	Fendt 718 Profi	€ 135 000,00
Martens Traktor NV	Claas Arion 660 C-Matic	€ 108 500,00
Vanneste Agri Services BVBA	Deutz 6155 RC-shift	€ 116 000,00
Vanneste Agri Services BVBA	Valtra T154	€ 124 500,00
Landbouwmachines Guedens M.	Claas Arion 650 C-Matic	€ 112 000,00
Vanhove CVBA	Deutz 6155 RC-shift	€ 120 000,00
Gejaco BVBA	New Holland t6.180 PC	€ 118 000,00
Gejaco BVBA	New Holland Methaantractor	€ 118 000,00
Gemiddelde		€ 117 125,00

3.1.3 Subsidies

De landbouwsector geniet vele subsidies, ook duurzame technologieën probeert de Vlaamse overheid op deze manier te stimuleren. Zo geeft het Vlaams Landbouwinvesteringsfonds, beter gekend als het VLIF, mogelijks 15 procent subsidie op de aankoop van een tractor, maar 30 procent op de aankoop van een tractor op aardgas of biomethaan. De algemene regel luidt dat er een mogelijke subsidie van 30 procent wordt toegekend voor investeringen die dierenwelzijn en duurzaamheid bevorderen en 15 procent voor alle andere investeringen. Uit het jaarverslag valt echter af te leiden dat slechts 66 procent van de aanvragen voor een subsidie van 15 procent wordt goedgekeurd, terwijl alle aanvragen voor een subsidie van 30 procent aanvaard worden. In praktijk is de subsidievoet op een dieseltrekker dus 9,90 procent, namelijk 66 procent van 15 procent, terwijl deze voor een tractor op biomethaan 30 procent is. Wanneer we dit in rekening nemen bekomen we de netto kostprijzen samengevat in Tabel 14 (Liefveringe, 2018; Vlaams Landbouwinvesteringsfonds, 2019).

Tabel 14: Prijzen tractoren na subsidie (Aerts, 2019; Bonneux, 2019; Geerts, 2019; Guedens, 2019; Liefveringe, 2018; Vanhove, 2019; Vlaams Landbouwinvesteringsfonds, 2019; Wonterghem, 2019)

Merk+type	Prijs excl. BTW	Vlif	Netto kostprijs
Massey Ferguson 7718 Dyna VT	€ 103 000,00	9,90%	€ 92 803,00
Fendt 718 Profi	€ 135 000,00	9,90%	€ 121 635,00
Claas Arion 660 C-Matic	€ 108 500,00	9,90%	€ 97 758,50
Deutz 6155 RC-shift	€ 116 000,00	9,90%	€ 104 516,00
Valtra T154	€ 124 500,00	9,90%	€ 112 174,50
Claas Arion 650 C-Matic	€ 112 000,00	9,90%	€ 100 912,00
Deutz 6155 RC-shift	€ 120 000,00	9,90%	€ 108 120,00
New Holland t6.180 PC	€ 118 000,00	9,90%	€ 106 318,00
New Holland Methaantractor	€ 118 000,00	30%	€ 82 600,00
Gemiddelde	€ 117 125,00		€ 105 529,63

3.1.4 Belastingen

De vennootschapsbelasting in België is sinds 2019 geherstructureerd. Voor het aanslagjaar 2019 is de nieuwe belastingvoet vastgelegd op 29 procent. Vanaf 2020 werd deze op 25 procent vastgelegd. Voor kleine ondernemingen is er een uitzondering waarbij deze vanaf 2019 en verder 20 procent bedraagt. Gezien landbouwbedrijven echter niet steeds onder de noemer kleine ondernemingen vallen, werd er geopteerd om de standaardregeling te volgen (FOD Financiën, 2017; FOD Justitie, 2007, 2019).

3.1.5 Onderhoudskost

Een belangrijke factor om machines langdurig te kunnen gebruiken, is het onderhoud. Wanneer de eerdergenoemde verdelers hierover bevestigd worden, bekomen we prijzen van tussen 3000 en 3500 euro voor alle onderhouden gedurende 1000 werkuren. Specifiek is dit de som van vier onderhouden, verspreid over duizend werkuren. Uitgedrukt in onderhoud per werkuur, variëren de prijzen dus tussen 3 euro en 3,50 euro. Er wordt een gemiddelde kost van 3,20 euro per werkuur waargenomen. De cijfers staan samengevat in Tabel 15 (Aerts, 2019; Bonneux, 2019; Geerts, 2019; Guedens, 2019; Vanhove, 2019; Wonterghem, 2019).

Tabel 15: Onderhoudskosten (Aerts, 2019; Bonneux, 2019; Geerts, 2019; Guedens, 2019; Vanhove, 2019; Wonterghem, 2019)

Bron	Onderhoud/1000 uren	Onderhoud/uur
Aerts Landbouwmechanisatie	€ 3 000,00	€ 3,00
Martens Traktor NV	€ 3 500,00	€ 3,50
Vanneste Agri Services BVBA	€ 3 200,00	€ 3,20
Landbouwmachines Guedens M.	€ 3 500,00	€ 3,50
Vanhove CVBA	€ 3 000,00	€ 3,00
Gejaco BVBA	€ 3 000,00	€ 3,00
Gemiddelde	€ 3 200,00	€ 3,20

3.1.6 Brandstof- en AdBlueverbruik

Het brandstofverbruik van een tractor is afhankelijk van het geleverd vermogen. De New Holland t6.180 dieseltractor heeft een verbruik van 27,26 liter per uur wanneer er een vermogen van 126,2 pk wordt geleverd (Hoy, Kocher, Jasa, & Luck, 2017).

Er wordt aangegeven dat de biomethaanequivalent een specifiek brandstofverbruik heeft dat 10 procent hoger ligt dan de dieseltrekker. Dit specifiek brandstofverbruik wordt uitgedrukt in g/kWh. Gezien het verbruik van de dieseltrekker 27,26 liter per uur is bij een geleverd vermogen van 126,2 pk, wat overeenkomt met 22,71 kg/uur, kan er geconcludeerd worden dat het biomethaanverbruik op 24,98 kg/uur gaat neerkomen bij hetzelfde vermogen. 10 procent meer dus dan bij diesel (Albert II, 2007; Delaere, 2019; Hoy et al., 2017).

3.1.7 Brandstof- en AdBlueprijzen

Landbouwvoertuigen mogen gasolie extra, in de volksmond beter bekend als rode mazout, gebruiken als brandstof. Dit is exact hetzelfde als klassieke diesel, alleen met een rode kleurstof toegevoegd en vrijgesteld van accijnzen. De brandstof heeft wel een lager zwavelgehalte dan de stookolie die gebruikt wordt om huizen te verwarmen. Door navraag bij vijf Limburgse leveranciers van gasolie extra, wordt een gemiddelde dagprijs van 0,5283 euro per liter exclusief btw geconstateerd. Het gaat over de dagprijs van 3 april 2019. Een overzicht wordt gegeven in Tabel 16 (Albert II, 2007; Bouts NV, 2019; Comfort Energy, 2019; Esso, 2019; FOD Financiën, 2019b; Q8 Mazout, 2019; Total, 2019c).

Tabel 16: Diesel extra-prijzen (Bouts NV, 2019; Comfort Energy, 2019; Esso, 2019; Q8 Mazout, 2019; Total, 2019c)

Prijs	€/L excl. BTW
Comfort Energy	€ 0,5252
Esso	€ 0,5302
Q8 Mazout	€ 0,5311
Total	€ 0,5286
Bouts NV	€ 0,5263
Gemiddelde	€ 0,5283

Veel tractoren worden echter gebruikt voor transport, wegenbouw en grondwerken. Hierbij moet aan strengere voorwaarden worden voldaan dan bij tractoren ingezet in de landbouwsector. Onder andere moet er reguliere diesel als brandstof gebruikt worden, waarop dezelfde accijnzen geheven worden als de diesel voor personenwagens. In Tabel 17 wordt een overzicht van de verschillende dagprijzen van 5 mei 2019 gegeven. Er wordt een gemiddelde van 1,2134 euro per liter exclusief btw geconstateerd (DATS 24, 2019; Esso Comfort Energy, 2019; Express, 2019; FOD Financiën, 2019b; Lukoil, 2019; Total, 2019b).

Tabel 17: Dieselprijzen (DATS 24, 2019; Esso Comfort Energy, 2019; Express, 2019; Lukoil, 2019; Total, 2019b)

Prijs	€/L excl. BTW
Lukoil	€ 1,2066
Esso Comfort Energy	€ 1,2893
DATS 24	€ 1,1488
Shell Express	€ 1,1661
Total	€ 1,2562
Gemiddelde	€ 1,2134

Het netwerk van tankstations voor aardgas onder druk te tanken breidt zich sterk uit. In België wordt er echter geen mogelijkheid aangeboden om enkel biomethaan te tanken, wat in Nederland wel mogelijk is. Merk echter op dat dit in praktijk niet kan, gezien er gas van het aardgasnetwerk wordt afgetapt, maar de consument kan bij het afrekenen kiezen voor Groengas, de Nederlandse benaming voor biomethaan. Het tankstation in kwestie koopt vervolgens certificaten waardoor de extra opbrengst naar groengasproducenten gaat die op hun beurt de nodige hoeveelheid groengas produceren. De Nederlandse groengasprijzen bedroegen op 4 april 2019 gemiddeld 0,9622 euro per kilogram exclusief btw. De prijzen van vier verschillende tankstations staan weergegeven in Tabel 18 (De Baanderij, 2019; Groengas Nederland, 2019; NVGA, 2019; OrangeGas, 2019; Pitpoint, 2019; Vertogas, 2019).

Tabel 18: Groengasprijzen (De Baanderij, 2019; Groengas Nederland, 2019; OrangeGas, 2019; Pitpoint, 2019)

Prijs	€/kg excl. BTW
Pitpoint	€ 0,9496
OrangeGas	€ 0,9744
De Baanderij	€ 0,9495
Groengas Nederland	€ 0,9752
Gemiddelde	€ 0,9622

Tot slot verbruiken de dieseltractoren ook het eerder aangehaald AdBlue. Hiervoor werd een gemiddelde prijs van 0,4484 euro per liter exclusief btw gevonden. Een overzicht van de prijzen wordt weergegeven in Tabel 19 (Fieten Olie, 2019; Gabriëls, 2019; Oliehandel, 2019; Total, 2019a).

Tabel 19: AdBlueprijzen (Fieten Olie, 2019; Gabriëls, 2019; Oliehandel, 2019; Total, 2019a)

Prijs	€/L excl. BTW
Fieten Olie	€ 0,4950
Oliehandel	€ 0,4200
Gabriëls	€ 0,4386
Total	€ 0,4398
Gemiddelde	€ 0,4484

3.1.8 Verzekering

Verzekeringen voor tractoren blijken, in tegenstelling tot deze van vrachtwagens en personenwagens, niet te verschillen voor verschillende types van tractoren. Gemiddeld zien we een prijs van 120 euro per jaar (Agrisurance, 2019; Verzekeringen Maris, 2019).

3.1.9 Verdisconteringsvoet

De laatste factor die een grote invloed heeft op het eindresultaat is de verdisconteringsvoet. Hiervoor werd de gewogen, gemiddelde kost van het kapitaal, beter bekend als de *Weighted Average Cost of Capital (WACC)* gebruikt. Om deze te berekenen werd allereerst het gemiddelde aandeel schuld in het actief van landbouwbedrijven in België bekeken. Dit bleek 44,47 procent te zijn, wat dus inhoudt dat 55,53 procent van het actief uit eigen vermogen bestaat. Op dit eigen vermogen verdienen de landbouwbedrijven gemiddeld 7,86 procent. Merk op dat dit naar de toekomst toe onderhevig is aan inflatie. De inflatie in 2018 bedroeg 2,30 procent in België. Er werd de assumptie aangenomen dat deze naar de toekomst toe constant blijft. Op de leningen die in maart 2019 werden afgesloten werd gemiddeld 1,44 procent intrest betaald, dat op zijn beurt voor een belastingschild zorgt. De grootte hiervan is 29 of 25 procent, afhankelijk van het aanslagjaar (Allen, 1991; Corporate Finance Institute, 2019; Eurostat, 2019; FOD Financiën, 2017; NBB.Stat, 2017, 2018).

Wanneer we al deze factoren samennemen en zo het gewogen gemiddelde berekenen, bekomen we voor het jaar 2019 een discontovoet van 4,72 procent. Voor de verdere jaren bedraagt deze 4,75 procent. De cijfers staan samengevat in Tabel 20.

Tabel 20: WACC (Eurostat, 2019; FOD Financiën, 2017; NBB.Stat, 2017, 2018)

Factor	2019	2020-2035
Schuld-asset ratio	44,47%	44,47%
Return op eigen vermogen	7,86%	7,86%
Inflatie	2,30%	2,30%
Gemiddelde intrestvoet	1,44%	1,44%
Belastingvoet	29,00%	25,00%
Discontovoet	4,72%	4,75%

3.1.10 Netto actuele kost dieseltractor

Wanneer alle bovenstaande factoren, gaande van aankoop van de trekker tot de verdisconteringsfactor, worden samengevoegd, krijgen we een netto actuele kost van de investering. Voor de exacte berekening hiervan wordt verwezen naar bijlage 2.

Indien de klassieke dieseltractor gebruikt wordt voor landbouwdoeleinden en dus mag rijden op accijnsvrije gasolie extra, zien we dat de totale investering ongeveer 162 000 euro bedraagt. Hierbij wordt de eerder aangehaald gebruiksperiode van 17 jaar voorzien en wordt uitgegaan van een restwaarde van ongeveer 15 500 euro. Er wordt ook gekozen om de financiële leasing aan 0 procent intrest te gebruiken (Aerts, 2019; Bonneux, 2019; Geerts, 2019; Guedens, 2019; Vanhove, 2019; Wonterghem, 2019).

Wanneer de tractor echter voor andere doeleinden dan landbouw wordt ingezet en dus met reguliere diesel moet rijden, bedraagt de totale netto actuele kost ongeveer 260 000 euro. De reden voor dit grote verschil zijn de hoge accijnzen op diesel. Door deze accijnzen is de reguliere dieselprijs gemiddeld 2,3 keer zo hoog als deze voor diesel extra.

3.1.11 Netto actuele kost methaantractor

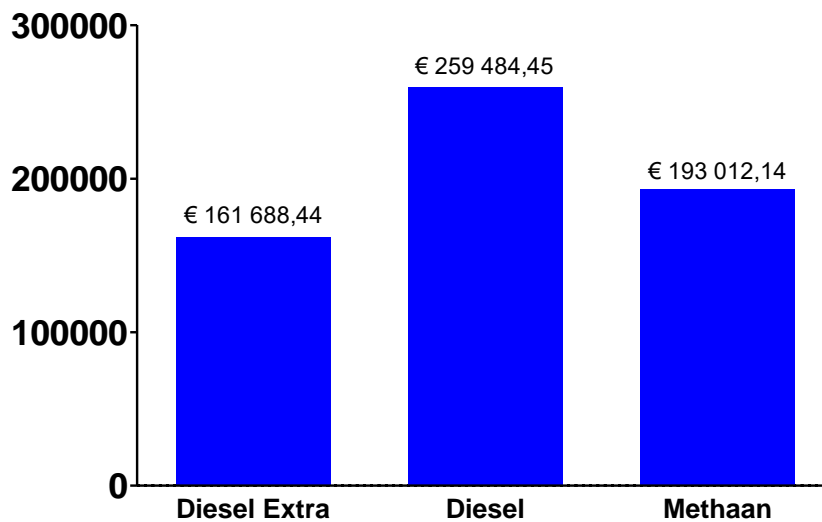
Voor een tractor op biomethaan wordt er een netto actuele kost van ongeveer 193 000 euro vastgesteld. Gezien er nog geen tweedehandsmarkt bestaat voor tractoren op methaan omdat deze nog niet in productie zijn, werd de assumptie gemaakt dat de restwaarde dezelfde is als voor de dieselequivalent. De berekeningen zijn terug te vinden in bijlage 3.

3.1.12 Interpretatie resultaten

Wanneer de resultaten in Figuur 8 vergeleken worden, wordt er geconcludeerd dat in de basiscase een methaantractor meer dan 31 000 euro duurder is dan een standaard dieseltractor wanneer deze op gasolie extra. Dit betekent een meerkost van 3,16 euro per gereden uur, wat inhoudt dat rijden op biomethaan de kost met 19,37 procent verhoogt ten opzichte van rijden met een trekker op diesel. Indien men echter zou rijden op reguliere diesel waarbij reguliere accijnzen worden betaald, is de totale kost bijna 260 000 euro. In dit geval is een methaantractor dus 25,62 procent goedkoper dan een dieseltractor. Merk op dat het niet zo vreemd is om tractoren op reguliere

diesel te laten rijden. België is namelijk het enige land in Europa dat nog rode diesel toelaat (Veen, Meulen, Bommel, & Doorneweert, 2007).

Er moet wel vermeld worden dat ook biobrandstoffen in België zijn vrijgesteld van accijnzen tot een bepaald volume, wat nagenoeg de volledige productie omvat (Brouwers, 2016).



Figuur 8: Totale kost tractoren

3.1.13 Sensitiviteitsanalyse

Als sensitiviteitsanalyse werd besloten een Monte Carlo analyse te doen met 10 000 testen. Dit werd gedaan aan de hand van de *Crystal Ball*-software van *Oracle*. Verder werd de variatie van de verschillende variabelen op twee manieren bekeken: enerzijds werden de inputvariabelen tussen min 10 en plus 10 procent gevarieerd volgens een triangulaire verdeling, anderzijds werden werkelijke variaties van de markt en de literatuur gebruikt (Gentry, 2008; Kuppens et al., 2019).

Waar verschillende cijfers beschikbaar waren zoals bij de prijzen van de markt van dieseltractoren of de gemiddelde gebruiksintensiviteit bevestigd aan dealers, werden de gekende minima en maxima genomen met de oorspronkelijk gekozen waarde als meest aangewezen waarde. Ook hier werd een triangulaire verdeling aangenomen, gezien de werkelijke verdeling niet gekend is. Voor de brandstofprijzen werd voor minima en maxima gekeken naar de prijzen van het afgelopen jaar. Voor het brandstofverbruik van de dieseltrekker werd naar een officiële test gekeken met minima en maxima, voor het methaanverbruik werd de assumptie aangenomen dat dit met dezelfde percentages varieert als het dieselverbruik. Alle gebruikte variaties staan in bijlage 4 en 9, de output van de software staat in bijlage 5, 6, 10 en 11 (Belgische Petroleum Federatie, 2019a; Hoy et al., 2017).

De resultaten van de analyse staan samengevat in Tabel 21. Hierbij werd eerst de netto actuele waarde van de investeringen per mogelijkheid, namelijk een dieseltrekker die rijdt op rode diesel, één die rijdt op gewone diesel en een trekker op biomethaan, bekeken. Vervolgens werd het biomethaanalternatief vergeleken met beide types diesel. De minimum- en maximumwaarde die staan weergegeven zijn deze waarbinnen 95 procent van de simulaties vielen.

Wanneer de input met 10 procent werd gevarieerd, zijn er geen opvallende resultaten. Biomethaan zal met 95 procent zekerheid duurder zijn dan rijden op rode diesel, maar zal ook met 95 procent zekerheid goedkoper zijn dan rijden op reguliere diesel. Wanneer echter de werkelijke variaties worden gebruikt, zien we wel dat er mogelijkheden zijn dat rijden op biomethaan goedkoper wordt dan op rode diesel en rijden op witte diesel goedkoper wordt dan rijden op biomethaan.

Wanneer gekeken wordt naar de bijdrages aan de variantie, zijn de resultaten voor ieder alternatief vrij gelijkaardig. Het gemiddeld aantal werkuren per jaar is de voornaamste factor, gevolgd door de gemiddelde brandstofprijs, het brandstofverbruik en de prijs van de tractoren. De discontovoet en de onderhoudskost hebben nog een kleine bijdrage, de andere factoren hun bijdrage is nagenoeg onbestaand. De reden dat bij de werkelijke variaties de vergelijkende analyses zo sterk verschillen, blijkt volledig door de grote variatie van het verbruik te komen, wat hier met uitstekende bepalende factor wordt. Ook van deze bijdrages zijn de exacte cijfers in bijlage 5, 6, 10 en 11 terug te vinden.

Tabel 21: Resultaten sensitiviteitsanalyse

Beschrijving	Variatie	Minimum	Maximum
NAW diesel extra	10%	€ 149 076,49	€ 175 056,49
NAW diesel	10%	€ 234 478,09	€ 286 917,87
NAW biomethaan	10%	€ 174 333,57	€ 212 964,37
Extra kost biomethaan t.o.v. diesel extra	10%	€ 12 812,00	€ 50 038,66
Extra kost diesel t.o.v. biomethaan	10%	€ 41 397,06	€ 92 745,85
NAW diesel extra	Werkelijke	€ 121 434,62	€ 177 509,84
NAW diesel	Werkelijke	€ 171 651,50	€ 290 897,71
NAW biomethaan	Werkelijke	€ 128 572,55	€ 216 459,14
Extra kost biomethaan t.o.v. diesel extra	Werkelijke	€ -25 636,08	€ 68 454,94
Extra kost diesel t.o.v. biomethaan	Werkelijke	€ -8 383,53	€ 126 808,01

Tot slot werd een *what if*-analyse uitgevoerd. Hierbij werd gekeken welke prijs diesel extra moet aannemen voordat rijden op biomethaan goedkoper wordt dan diesel en welke prijs reguliere diesel minimum moet hebben zodat rijden op biomethaan goedkoper blijft. Hier werd een prijs van 74,77 eurocent per liter geconcludeerd. Dit betekent dat indien de prijs van diesel extra met 66,75 procent stijgt, rijden op biomethaan goedkoper wordt dan rijden op rode diesel. De prijs van gewone diesel moet met 38,38 procent dalen alvorens rijden op biomethaan duurder wordt, wat hoogste onwaarschijnlijk is.

3.2 Levenscyclusanalyse

Om de klimaatimpact van de twee opties te vergelijken, werd er gekozen voor een levenscyclusanalyse (LCA). Deze analyse werd uitgevoerd aan de hand van de software *Simapro*. Deze Nederlandse software wordt wereldwijd gebruikt voor LCA's uit te voeren en beschikt over uitgebreide, onafhankelijke databases (Herrmann & Moltesen, 2015; SimaPro, 2019).

3.2.1 Doel en reikwijdte

Het doel van deze LCA is de klimaatimpact te vergelijken van tractoren op diesel met deze op biomethaan. Op deze manier kan er gekeken worden of de biomethaantractor een werkelijk duurzaam alternatief is of dat het eerder een om ecolabelling draait zonder dat het product werkelijk duurzamer is dan zijn diesel-equivalent.

Als functionele eenheid werd er gekozen voor de impact van één uur werken met de tractor op 2100 motortoren en een geleverd vermogen van 126,2 PK. De impact op de opwarming van de aarde wordt uitgedrukt in CO₂-equivalent (CO₂e) zoals reeds besproken in hoofdstuk 2.6 LCA, de andere impacts worden in equivalenten van andere stoffen uitgedrukt, in vierkante meter wanneer het over landgebruik gaat en in kubieke meter wanneer het over watergebruik gaat. Als input voor de dieseltractoren werd de standaard diesel van de Europese markt genomen, gezien deze hetzelfde is als stookolie extra van samenstelling. De input voor de biomethaantractor is biomethaan met een methaangehalte van 96 procent onder druk in een tankstation. Op deze manier zijn factoren zoals onder andere het elektriciteitsverbruik om het biomethaan onder druk te brengen en de eventuele invloed van transport tot aan het tankstation meegerekend (Albert II, 2007; Wernet et al., 2016).

Als reikwijdte werd gekozen om enkel het verschil tussen de twee alternatieven te bekijken, enkel het gebruiksstadium dus. Gezien de slijtage van banden of het smeren van de machine hetzelfde is voor beide opties, werd dit niet opgenomen.

3.2.2 Inventarisatie

De input van de dieseltractor is 27,26 liter diesel zoals hij in Europa is samengesteld. Dit komt overeen met 22,71 kilogram diesel. De input van de biomethaantractor is bepaald op 24,98 kilogram. De output is enerzijds één uur geleverd vermogen, overeenkomend met 94,1 kW of 126,2 PK, en anderzijds een output die specifiek is voor ieder alternatief, namelijk de broeikasgasuitstoten, uitgedrukt in gram per kWh. Deze uitstoten zijn samengevat in Tabel 22 (Belgische Petroleum Federatie, 2019b; Delaere, 2019; Hoy et al., 2017).

Tabel 22: Uitstoot (g/kWh) (Delaere, 2019)

Naam	Uitstoot dieseltractor (g/kWh)	Uitstoot biomethaantractor (g/kWh)
CO	0,0200	0,004
HC	0,0010	0,0002
NOx	0,1900	0,038
PT	0,0070	0,0014

In Tabel 23 staat de totale uitstoot wanneer de trekker een vermogen van 94,1 kW levert gedurende één uur. Deze uitstoot wordt berekend door de uitstoot in Tabel 22 te vermenigvuldigen met het geleverde vermogen, namelijk 94,1 kWh.

Tabel 23: Uitstoot (g/uur)

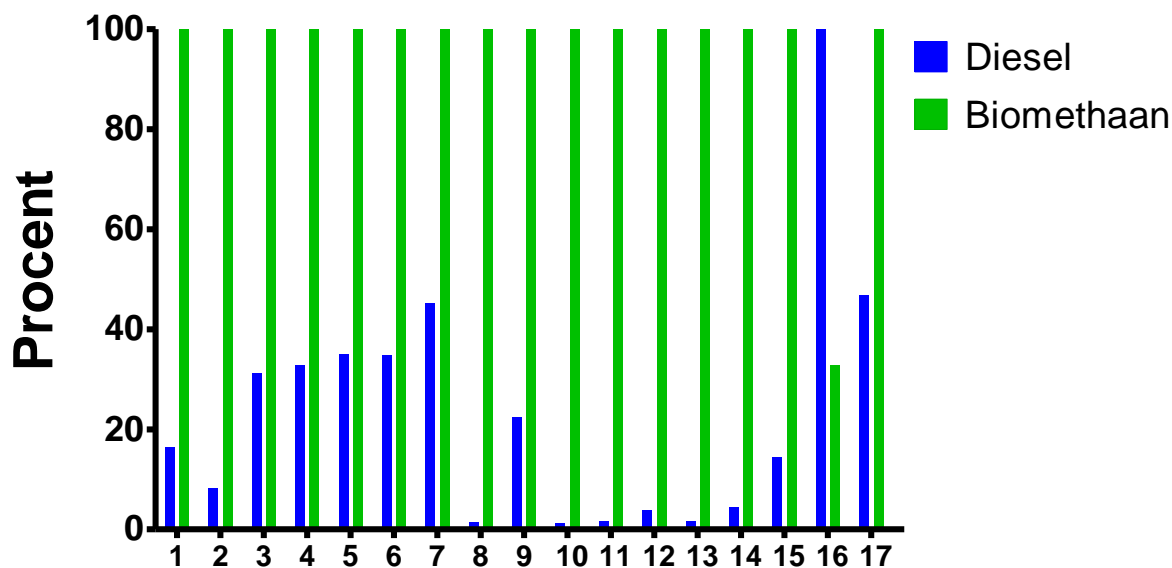
Naam	Uitstoot dieseltractor (g/uur)	Uitstoot biomethaantractor (g/uur)
CO	2,5240	0,5048
HC	0,1262	0,02524
NOx	23,9780	4,7956
PT	0,8834	0,17668

3.2.3 Impactanalyse

Wanneer de uitstoten in Tabel 23 worden bekeken, lijkt het alsof biomethaantractoren een veel duurzamer alternatief zijn dan dieseltractoren. Hierbij wordt echter geen rekening gehouden met factoren als productie, verwerking en transport van de brandstof. Wanneer dit wel wordt gedaan, blijken de cijfers compleet anders te zijn. Een vergelijking, waarbij het alternatief met de hoogste uitstoot steeds 100 procent is, wordt teruggevonden in Figuur 9. De legende van de verschillende impactcategorieën staat in Tabel 24.

Hier zien we dat biomethaanmotoren opvallend slechter scoren op iedere categorie behalve deze waar de schaarste van fossiele grondstoffen wordt weergegeven. Dit komt natuurlijk doordat diesel een rechtstreeks verbruik van een fossiele brandstof is. Op niveau van opwarming van de aarde, wordt er geconstateerd dat biomethaan meer dan 6 keer zoveel bijdraagt dan diesel. Gezien biomethaan van oorsprong gebaseerd is op biomassa zijn resultaten zoals grondgebruik, waarbij diesel maar 4,38 procent van de impact heeft van biomethaan, niet onrealistisch.

De exacte percentages en de uitstoot in absolute getallen zijn terug te vinden in bijlage 14.

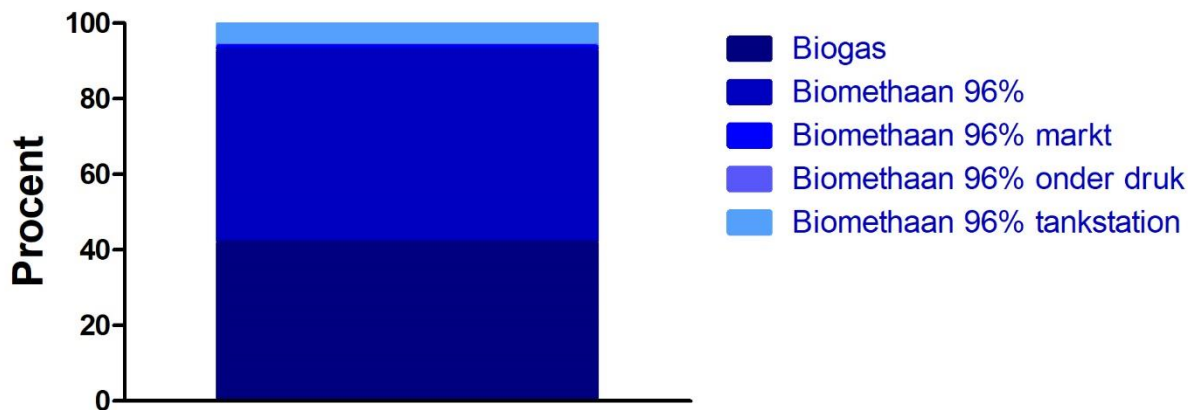


Figuur 9: Vergelijking impact diesel-biomethaan

Tabel 24: Legende vergelijking impact diesel-biomethaan

Nummer	Impact categorie	Eenheid
1	Opwarming van de aarde	kg CO2 eq
2	Stratosferische ozonuitputting	kg CFC11 eq
3	Ioniserende straling	kBq Co-60 eq
4	Ozonvorming, volksgezondheid	kg NOx eq
5	Fijnstofvorming	kg PM2.5 eq
6	Ozonvorming, ecosystemen op aarde	kg NOx eq
7	Verzuring op land	kg SO2 eq
8	Zoetwater eutrofiëring	kg P eq
9	Ecotoxicity op land	kg 1,4-DCB e
10	Zoetwater ecotoxiciteit	kg 1,4-DCB e
11	Ecotoxiciteit in zee	kg 1,4-DBC e
12	Menselijke kankerverwekkende ecotoxiciteit	kg 1,4-DBC e
13	Menselijke niet-kankerverwekkende ecotoxiciteit	kg 1,4-DBC e
14	Grondgebruik	m ² a crop eq
15	Schaarsheid van minerale grondstoffen	kg Cu eq
16	Schaarsheid van fossiele grondstoffen	kg oil eq
17	Waterconsumptie	m ³

Het proces om biomethaan te produceren bestaat, zoals eerder besproken, uit verscheidene stappen. In Figuur 10 wordt visueel weergegeven welke stappen hoeveel procent aan de totale uitstoot bijdragen. Zo blijkt dat biogas instaat voor slechts 42 procent van de totale CO₂-equivalent emissies. Het opwaarderen van dit biogas naar biomethaan draagt bijna 51 procent van de totale emissie bij aan het proces. Het gas onder druk plaatsen blijkt van weinig tot geen invloed te zijn, een andere kleine factor, namelijk 6,13 procent, is het transport en de verdeling van het gas.



Figuur 10: Uitstoot verschillende stappen biomethaan

Bij dieselproductie blijkt het distributieproces de grootste impact te hebben.

De netwerken van beide processen en de exacte cijfers van iedere stap van het productieproces van biomethaan staan respectievelijk in bijlage 15, 16 en 17.

Bij het geheel van deze analyse moet echter wel rekening worden gehouden met enkele punten. Zo zijn de broeikasgasuitstoten weergegeven in Tabel 22 doorgegeven door de producent van de tractoren en niet door een onafhankelijk instituut getest. Ditzelfde met het verbruik van de biomethaantractor. Verder is het steeds mogelijk dat er incorrectheden zitten in de gebruikte software. Verschillende berekeningsmethoden kunnen namelijk sterk verschillende resultaten geven.

3.3 Maatschappelijke techno-economische analyse

Een manier om de impacts uit de LCA te interpreteren is door ze een monetair gewicht te geven. Hierbij gaat men op ieder type impact een kost proberen te plakken en vervolgens de totale kost mee in de economische waardering van het product opnemen. Dit principe, een maatschappelijke TEA, beter bekend als een *societal TEA*, wordt dan ook gedefinieerd als een TEA die milieu-impacts integreert aan de hand van schaduwrijzen (Kuppens, 2019).

3.3.1 Schaduwrijzen

Schaduwrijzen zijn prijzen die een indicatie geven van de intrinsieke waarde of de *echte* waarde van een factor of product in de zin van evenwichtsprijzen. Deze prijzen kunnen afwijken van de marktprijzen (Hansen, 1969).

In de literatuur is doorheen de tijd veel geschreven omtrent deze prijzen. In Tabel 25 staat een gemiddelde van de verschillende prijzen. Merk op dat deze allemaal via de Belgische inflatie zijn gebracht tot op hedendaags niveau (Eurostat, 2019).

Voor ioniserende straling, uitgedrukt in kilobecquerel kobalt-60 equivalent, werd geen schaduwprijs gevonden. Een schaduwprijs van uranium werd echter wel gevonden. Wanneer er in de gebruikte software een andere berekeningsmethode wordt aangenomen die de uitstoot in uranium equivalent uitdrukt, wordt er echter geconstateerd dat deze nagenoeg hetzelfde is als de kobalt-60 equivalent uitstoot. Om die reden wordt de assumptie gemaakt dat de schaduwprijs van uranium hetzelfde is als deze van kobalt-60.

Tabel 25: Schaduwrijzen (Cao, Margni, Favis, & Deschênes, 2015; De Bruyn et al., 2010; IdeMat, 2011; Pizzol, Weidema, Brandão, & Osset, 2015; Trucost, 2013; Weidema, Pizzol, & Brandão, 2012)

Impact categorie	Eenheid	Schaduwprijs (€/eenheid)
Opwarming van de aarde	kg CO2 eq	0,1418
Stratosferische ozonuitputting	kg CFC11 eq	92,6620
Ioniserende straling	kBq Co-60 eq	0,0425
Ozonvorming, volksgezondheid	kg NOx eq	11,4733
Fijnstofvorming	kg PM2.5 eq	3,2767
Ozonvorming, ecosystemen op aarde	kg NOx eq	11,4733
Verzuring op land	kg SO2 eq	4,4032
Zoetwater eutrofiëring	kg P eq	4,1700
Ecotoxicity op land	kg 1,4-DCB e	0,6336
Zoetwater ecotoxiciteit	kg 1,4-DCB e	0,6336
Ecotoxiciteit in zee	kg 1,4-DBC e	0,6336
Menselijke kankerverwekkende ecotoxiciteit	kg 1,4-DBC e	0,6336
Menselijke niet-kankerverwekkende ecotoxiciteit	kg 1,4-DBC e	0,6336
Grondgebruik	m2a crop eq	0,0968
Schaarsheid van minerale grondstoffen	kg Cu eq	0,0100
Schaarsheid van fossiele grondstoffen	kg oil eq	0,0300
Waterconsumptie	m3	0,1457

3.3.2 Discontovoet

Net zoals bij toekomstige kasstromen worden ook toekomstige emissies teruggeteld door een discontovoet. Een hoge discontovoet betekent hierbij dat er minder rekening wordt gehouden met emissies in de toekomst. Over welke discontovoet er nu net gebruikt moet worden, is de wetenschap het niet eens. In deze studie wordt een discontovoet van 2 procent gebruikt (Trivedi, Malina, & Barrett, 2015; Withers et al., 2014).

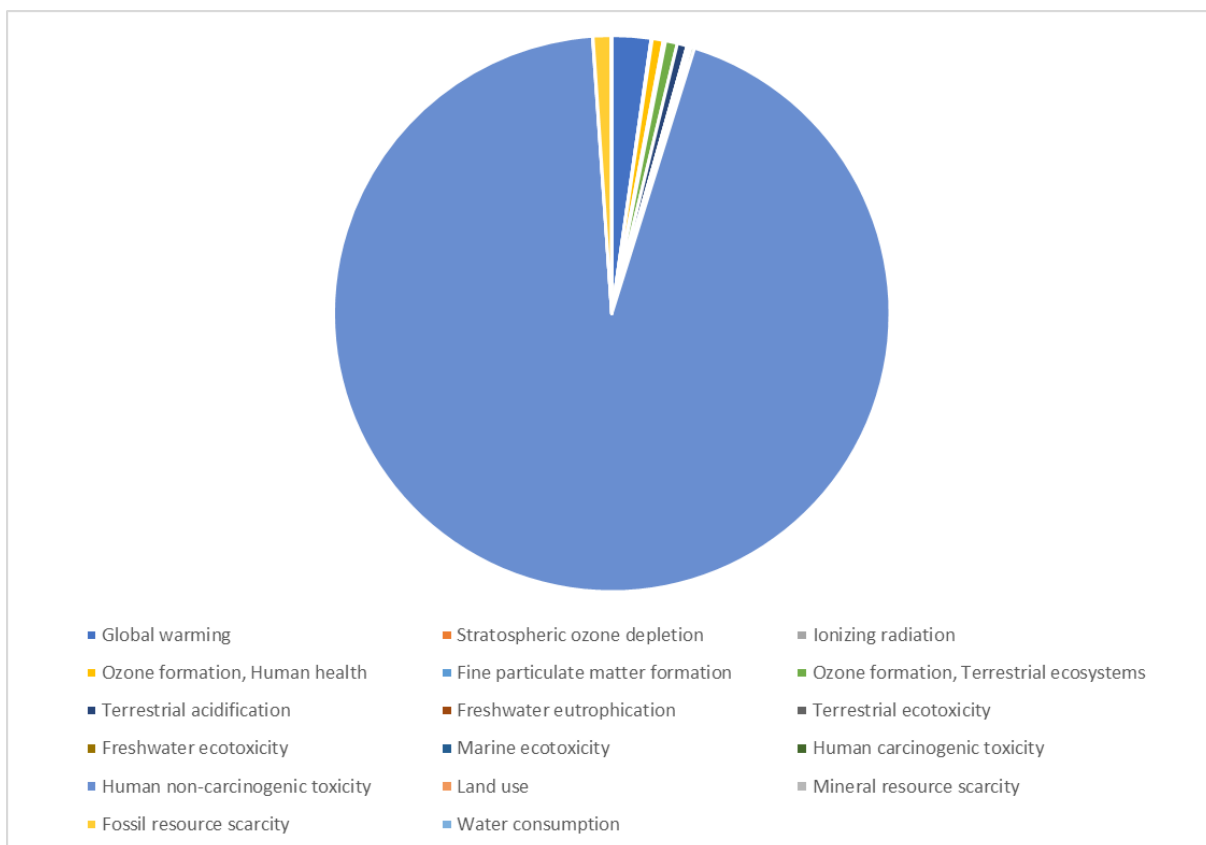
3.3.3 Resultaten

Gezien het om een maatschappelijke TEA gaat, wordt er geen rekening gehouden met transferbetalingen. Dit betekent dat belastingen en subsidies niet mee in de berekeningen worden opgenomen. Specifiek heeft dit invloed op de aankooprijzen van de tractoren, de dieselprijzen en de reguliere discontovoet. Bij de aankooprijzen worden nu de gewone prijzen genomen en worden dus geen subsidies meer in vermindering gebracht. De prijzen van biomethaan en rode diesel waren reeds zonder accijnzen, maar de accijnzen in de reguliere dieselprijs worden ook niet meer opgenomen. Dit zet deze prijs gelijk met de prijs van rode diesel. Tot slot verandert ook de discontovoet berekend in Tabel 20. Hier wordt niet langer rekening gehouden met de invloed van belastingen, wat de nieuwe discontovoet op 4,91 procent brengt. Merk op dat voor de gemonetariseerde emissies de eerder besproken discontovoet van 2 procent wordt gebruikt (Brouwers, 2016; FOD Financiën, 2019b).

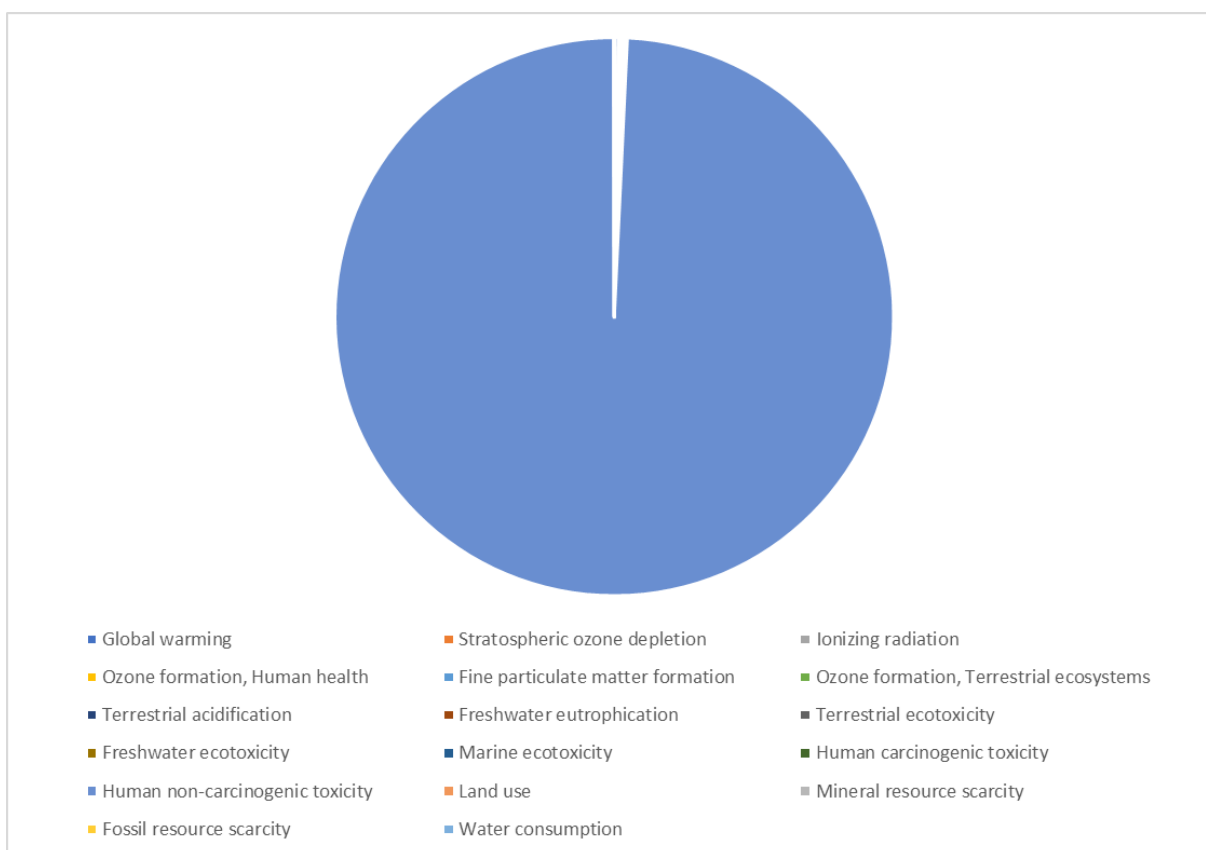
Bij de berekening van dieseltractoren geeft de monetarisering een resultaat van 80,16 euro per gewerkt uur. In Figuur 11 is de samenstelling van deze kost te zien. Deze komt voor meer dan 94 procent voort uit de menselijke niet-kankerverwekkende ecotoxiciteit.

Voor tractoren op biomethaan is de maatschappelijke kost van de emissies zoals verwacht veel hoger, namelijk 4571,68 euro per gewerkt uur. Zoals in Figuur 12 te zien is komt deze voor meer dan 99 procent voort uit niet-kankerverwekkende ecotoxiciteit.

De exacte percentages gebruikt in beide figuren zijn terug te vinden in bijlage 18.



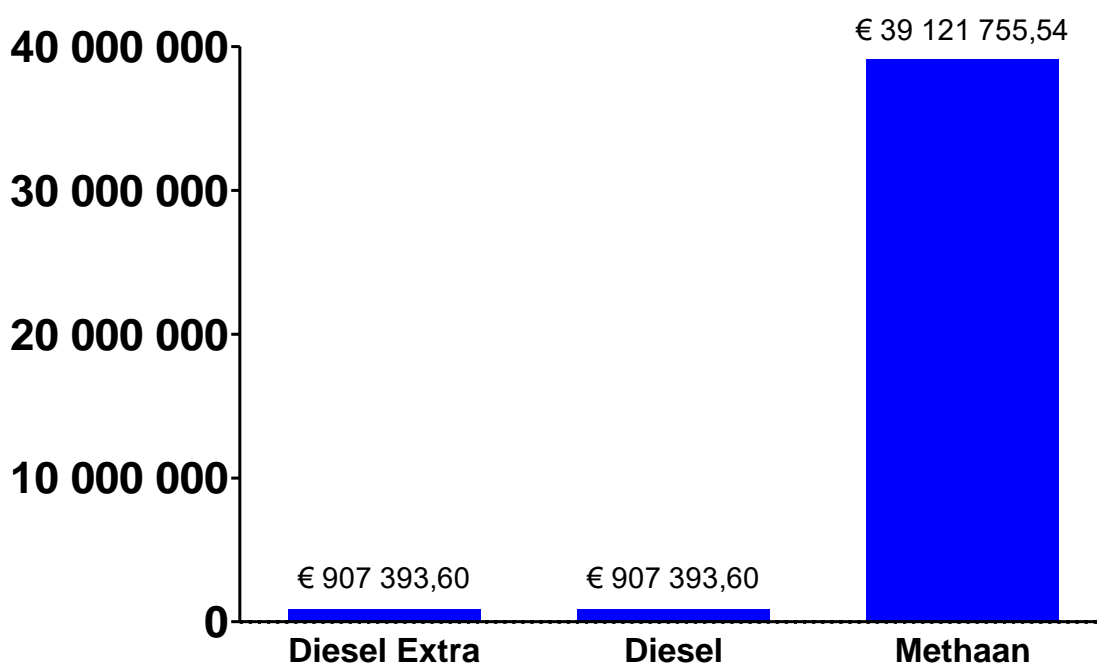
Figuur 11: Samenstelling gemonetariseerde emissies dieseltractoren



Figuur 12: Samenstelling gemonetariseerde emissies biomethaantractoren

Wanneer deze kost per uur wordt doorgerekend in de TEA en, zoals eerder vermeld, de transferbetalingen niet worden opgenomen, worden de resultaten in Figuur 13 bekomen. Gezien er door het weglaten van de accijnzen geen verschil meer is tussen rijden op rode of witte diesel, is de totale maatschappelijke kost voor beide opties ongeveer 900 000 euro. Deze kost komt natuurlijk grotendeels door de maatschappelijke kost van meer dan 80 euro per werkuur van de emissies, omdat deze met de levensduur, namelijk 10 000 werkuren, vermenigvuldigd wordt. Voor een trekker op biomethaan bedraagt de totale maatschappelijke kost echter meer dan 39 miljoen euro, nagenoeg volledig omwille van de kost van de emissies. Deze kost is zo hoog door de vermenigvuldiging van de 10 000 werkuren met de kost van bijna 4600 euro per werkuur.

Op maatschappelijk niveau kan er dus geconcludeerd dat een tractor op biomethaan 43 keer zo duur is als een tractor op diesel. De berekeningen zijn terug te vinden in bijlage 19 en 20.



Figuur 13: Totale maatschappelijke kost tractoren

3.3.4 Sensitiviteitsanalyse

Ook hier werd een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd op dezelfde manier als in 3.1.13 Sensitiviteitsanalyse. Eerst werd alle input met min tot plus 10 procent gevarieerd, vervolgens werden realistische variaties gebruikt. Deze variaties zijn hetzelfde als in 3.1.13 Sensitiviteitsanalyse, alleen werden hier variaties toegevoegd voor de schaduwrijzen en de discontovoet voor toekomstige emissies. Deze laatste werd, zoals in de literatuur wordt bediscussieerd, gevarieerd tussen 1 en 7 procent. De exacte variaties van de schaduwrijzen zijn terug te vinden in bijlage 4 en 9. De output van de analyse is te vinden in bijlage 7, 8, 12 en 13 en staat samengevat in Tabel 26.

Wanneer deze resultaten worden bekeken, zijn er geen verrassingen. Het verschil in maatschappelijke kost tussen de alternatieven valt niet te overbruggen: biomethaan blijft in ieder scenario duurder dan diesel. Wanneer er wordt gekeken naar welke factoren bijdragen aan de variatie, zien we echter wel grote verschillen. Bij de eerste analyses waarbij alle input met 10 procent wordt gevarieerd, blijkt nog steeds het gemiddeld gereden werkuren per jaar de voornaamste leverancier van variantie, gevolgd door de schaduwprijs van menselijke niet-kankerverwekkende ecotoxiciteit. Deze twee factoren zorgen voor 98,8 procent van de variantie en zijn dus ook de enige noemenswaardige factoren. Wanneer de werkelijke variaties worden gebruikt, blijkt echter 93,8 procent van de variatie geleverd te worden door de schaduwprijs van menselijke niet-kankerverwekkende ecotoxiciteit. Het gemiddeld aantal gereden uren valt terug tot slechts 3 procent. De reden van deze verandering is enerzijds de hoge hoeveelheden emissies van deze factor en anderzijds het ruime interval van schaduwprijzen, namelijk tussen 0,2 eurocent tot 1,66 euro per kilogram 1,4-DBC-equivalent.

Tabel 26: Resultaten sensitiviteitsanalyse

Beschrijving	Variatie	Minimum	Maximum
Maatschappelijke NAW diesel	10%	€ 826 068,55	€ 992 431,42
Maatschappelijke NAW biomethaan	10%	€ 34 867 115,96	€ 43 565 226,60
Extra maatsch. kost biomethaan t.o.v. diesel	10%	€ 33 976 891,26	€ 42 635 984,48
Maatschappelijke NAW diesel	Werkelijke	€ 392 423,62	€ 1 643 478,31
Maatschappelijke NAW biomethaan	Werkelijke	€ 9 342 874,56	€ 84 018 401,08
Extra maatsch. kost biomethaan t.o.v. diesel	Werkelijke	€ 8 862 003,30	€ 82 787 056,36

Een *what if*-analyse werd hier niet uitgevoerd, gezien de maatschappelijke kost van biomethaan in ieder realistisch scenario duurder blijft dan deze van diesel.

3.4 Visie van de gebruiker

Ieder nieuw concept staat en valt bij zijn gebruikers. Als het product niet aanslaat bij zijn gebruikers, zal het zelden of nooit levensvatbaar worden.

3.4.1 Onderzoeksopzet

Gezien het de visie van de eindgebruiker zelf is die relevant is, werd er geopteerd om in persoon bevragingen af te nemen bij de gebruiker. Dit zorgt voor een hogere responsiegraad, maar heeft wel als nadelig effect dat de bevroegden mogelijk geen eerlijk of correct antwoord geven, wat minder voorkomt wanneer men data-analyse gebruikt (Breidert, Hahsler, & Reutterer, 2015; Sekaran & Bougie, 2016).

3.4.1.1 Variabelen

Om de visie van de gebruiker te bevragen, werd er gekozen voor drie variabelen waarvan twee over de prijs gaan: de bereidheid tot betalen voor het product en de bereidheid om afstand af te leggen voor het gebruik van het product. Als laatste werd bevroegd in hoeverre de gebruikers bereid zijn mee te werken in een coöperatieve.

3.4.1.1.1 Betalingsbereidheidmethode

Om na te gaan hoeveel het publiek wil betalen voor een product kan men vertrekken vanuit marktdata of vanuit bevragingstechnieken. Gezien methaantractoren nog niet beschikbaar zijn op de Vlaamse markt, is er nog geen marktdata voorhanden. Daarom werd geopteerd om de betalingsbereidheidmethode, ook gekend als de *willingness to pay method*, via vragenlijsten uit te voeren. Meer specifiek werd dit gedaan via een contingente waarderingmethode. Hierbij wordt een waarde op een product geplakt waarna de respondent moet antwoorden of hij al dan niet bereid zou zijn het product voor deze waarde aan te schaffen. Indien de respondent "ja" antwoordt, komt er een vervolgvraag met een voorstel met een hogere prijs opstaan, indien de respondent "nee" antwoordt, komt er een vervolgvraag met een lagere prijs. Dit wordt herhaald totdat de maximale betalingsbereidheid bereikt is. Deze methode is gekend als *bidding game* (Boyle, Bishop, & Welsh, 1985; Breidert et al., 2015).

Gezien het hier gaat om een vergelijkende studie, werd ervoor gekozen om vergelijkende prijzen te geven. Hierbij werd de klassieke dieseltractor als basis gebruikt en werden er voorstellen gedaan voor prijzen van methaantractoren die variëren tussen meer dan 20 procent goedkoper dan een klassieke dieseltractor en meer dan 20 procent duurder dan een klassieke dieseltractor. Gezien de wetenschap het niet eens geraakt over welke bias de startvraag nu net heeft, werd er geopteerd om te beginnen met de vraag waar beide even duur zijn (Boyle et al., 1985; Breidert et al., 2015; Chien, Huang, & Shaw, 2005).

3.4.1.1.2 Reiskostenmethode

De Clawson methode, beter bekend als de reiskostenmethode, evalueert de betalingsbereidheid van een gebruiker aan de hand van de afstand die hij bereid is af te leggen voor het gebruik. Vaak wordt deze methode gebruikt voor het waarderen van natuurdomeinen et cetera (King, Mazzotta, & Markowitz, 2000).

Voor deze studie kan de methode echter ook gebruikt worden. Bij gewone dieseltractoren hebben gebruikers namelijk bijna altijd een tank op hun erf liggen waardoor er geen afstand moet worden afgelegd om te tanken. Bij een overschakeling op biomethaan is dit echter niet zo praktisch, waardoor er mogelijks afstand moet worden afgelegd om te gaan tanken. De bereidheid van de gebruiker om afstand af te leggen wordt bevraagd door de respondent zes afstandsopties te geven, gaande van 0 kilometer tot meer dan 20 kilometer.

3.4.1.1.3 Bereidheid tot medewerking in coöperatieve

Tot slot wordt er bekeken of gebruikers bereid zouden zijn mee te werken in een coöperatieve. Hierbij zou de landbouwer dan mest en gewassen afleveren en zou hij biomethaan mogen tanken in de plaats.

3.4.1.2 Moderators

Als moderator is er enerzijds gekozen voor de subsector van de gebruiker en anderzijds voor de gebruiksintensiviteit van de tractor van de gebruiker. De officiële subsectoren in de landbouw zijn veeteelt, waaronder varkens, rundvee en pluimvee valt; tuinbouw, waaronder groente- en fruitteelt valt; akkerbouw; visserij en gemengde bedrijven. Uit de verschillende groepen binnen de tuinbouw is alleen de groente- en fruitteelt van interesse voor dit onderzoek, gezien bij sierteelt en dergelijke enkel smalspoorttractoren worden gebruikt. Door afwezigheid van grondbewerking werd visserij ook niet als een optie opgegeven. Tot slot werd nog de categorie loonbedrijf toegevoegd, gezien deze niet tot één van voorgaande categorieën behoren, maar wel grote gebruikers van landbouwtractoren zijn. Dit geeft als eindresultaat volgende vijf categorieën: akkerbouw, veeteelt, fruitteelt, gemengd bedrijf en loonbedrijf. Merk op dat onder de categorie akkerbouw enkel de landbouwers vallen die hun gewassen verkopen. Akkerbouw met als doel voedselvoorziening voor dieren, valt onder de categorie veeteelt.

Om de gebruiksintensiviteit van de respondent zijn tractoren te bevragen, werden zes intervallen opgesteld gaande van 0 tot 1500 werkuren of meer per jaar. De keuze van deze intervallen steunt op de bevraging omtrent de gebruiksintensiviteit bij verkopers van nieuwe tractoren (Aerts, 2019; Bonneux, 2019; Geerts, 2019; Guedens, 2019; Vanhove, 2019; Wonterghem, 2019).

3.4.1.3 Steekproefgrootte

De richtlijn voor steekproefgroottes om representatief te kunnen zijn, bedraagt 10 respondenten per variabele met een minimum van 30. Gezien dit weinig leek, werd geopteerd voor een steekproefgrootte van minimum 100 respondenten. Uiteindelijk werden 111 respondenten bevraagd die de enquête volledig hebben afgemaakt (Sekaran & Bougie, 2016).

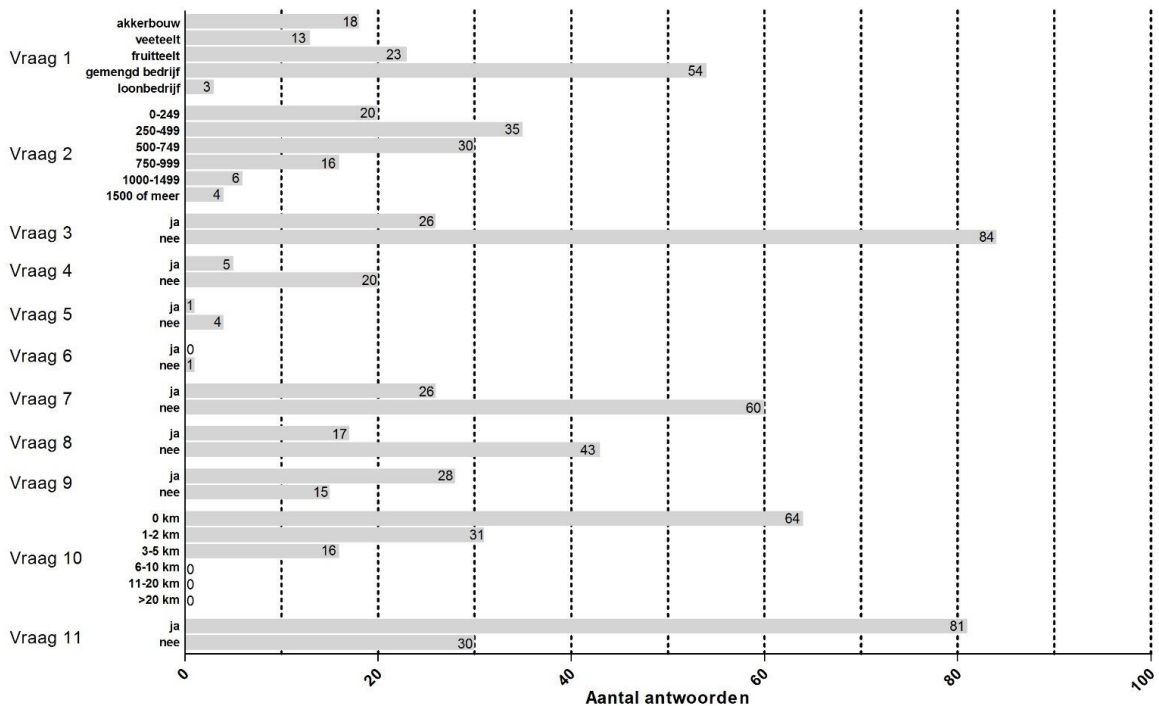
3.4.1.4 Representativiteit

Door deze steekproefgrootte is het onderzoek groot genoeg om representatief te kunnen zijn. Verder zijn de bevragingen in persoon afgenomen en kende de respondent de afnemer wat ervoor zorgt dat er een respons van nagenoeg 100 procent is. Op deze manier is er geen bias doordat respondenten met een bepaalde mening omtrent de kern van het onderzoek niet meewerkten. De respondenten zijn van alle Vlaamse provincies, met weliswaar een oververtegenwoordiging van Limburg, Vlaams-Brabant en Antwerpen. Oost-Vlaamse respondenten gaan weinig aanwezig zijn in

de bevraging, gezien in Oost-Vlaanderen zelf geen enquêtes zijn afgenomen, er zijn echter wel enkele Oost-Vlaamse respondenten bevroegd in West-Vlaanderen. Er is echter geen reden tot aanname dat deze ondervertegenwoordigde streken andere responsen zouden geven dan andere provincies in Vlaanderen (Sekaran & Bougie, 2016).

3.4.2 Resultaten

In Figuur 14 is een overzicht terug te vinden met het absoluut aantal antwoorden per vraag. De bijhorende vragenlijst staat in bijlage 21. De exacte cijfers van alle figuren en statistische testen die verder in dit hoofdstuk besproken worden zijn terug te vinden in bijlage 22 tot en met 41.

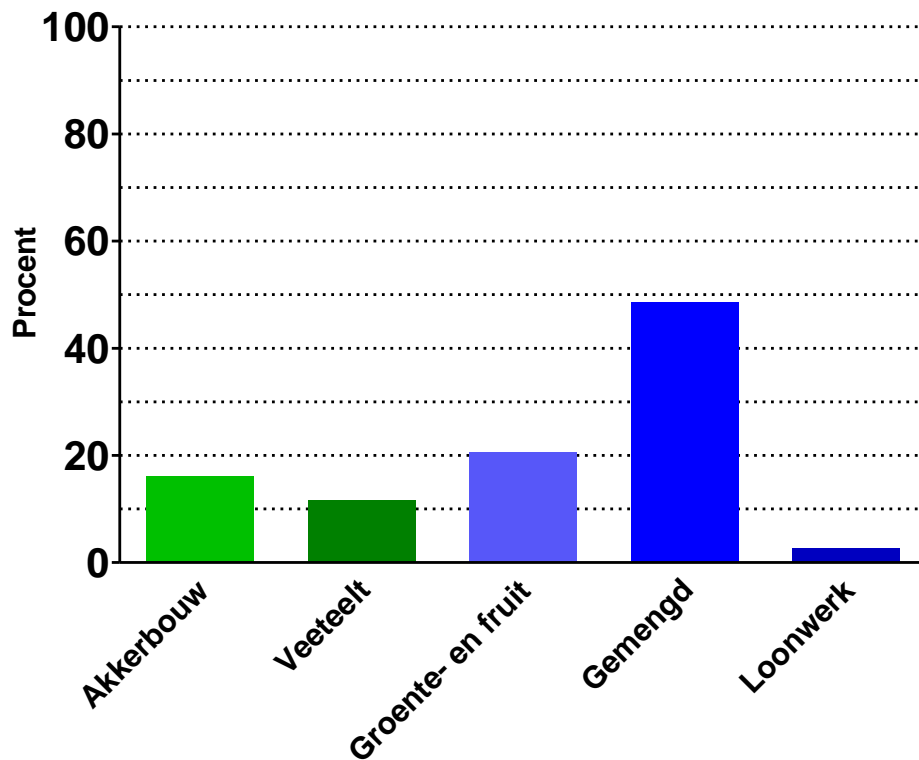


Figuur 14: Overzicht antwoorden

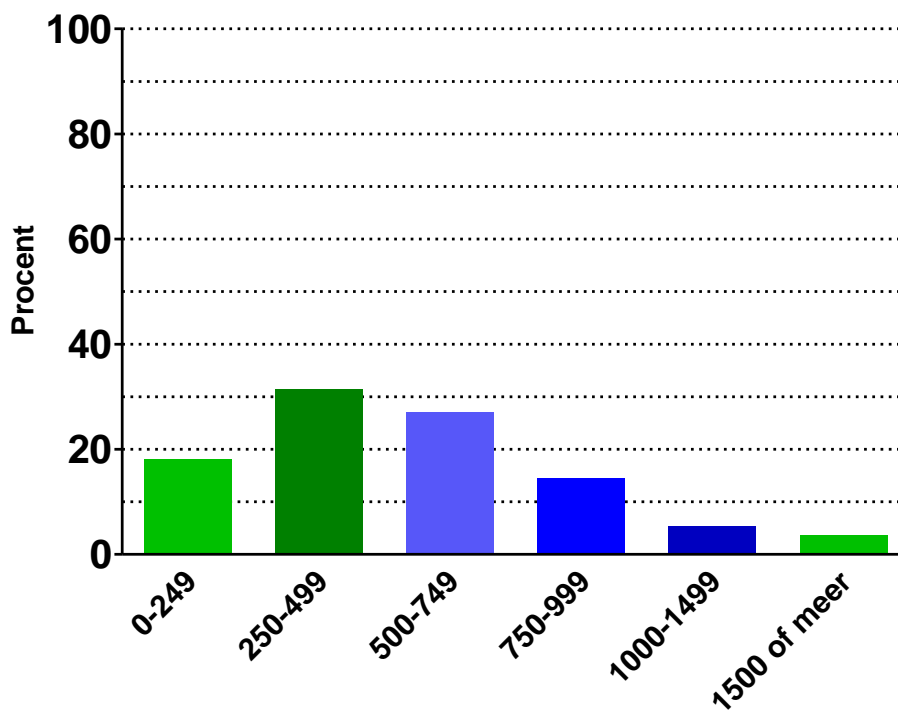
3.4.2.1 Populatie

Zoals eerder vermeld zijn er twee moderators in de dataset. In Figuur 15 wordt de procentuele vertegenwoordiging van de verschillende sectoren weergegeven. De gemengde landbouwbedrijven representeren 48,65 procent van de dataset. Dit is niet verwonderlijk bij geval vele landbouwers uit de veeteelt ook graanproducten verkopen. Slechts 2,70 procent van de respondenten zijn loonwerkers. Ook dit is te verwachten gezien nagenoeg iedere loonwerker minimum enkele tientallen landbouwbedrijven als klant heeft.

De gebruiksintensiviteit van de tractoren van de respondenten staan samengevat in Figuur 16. Deze verdeling is zoals verwacht met een meerderheid in de middelste categorieën en slechts uitlopers in de categorie van 1500 werkuren of meer. Merk op dat dit ongeveer in lijn staat met de informatie uit Tabel 12.



Figuur 15: Procentuele vertegenwoordiging subsectoren

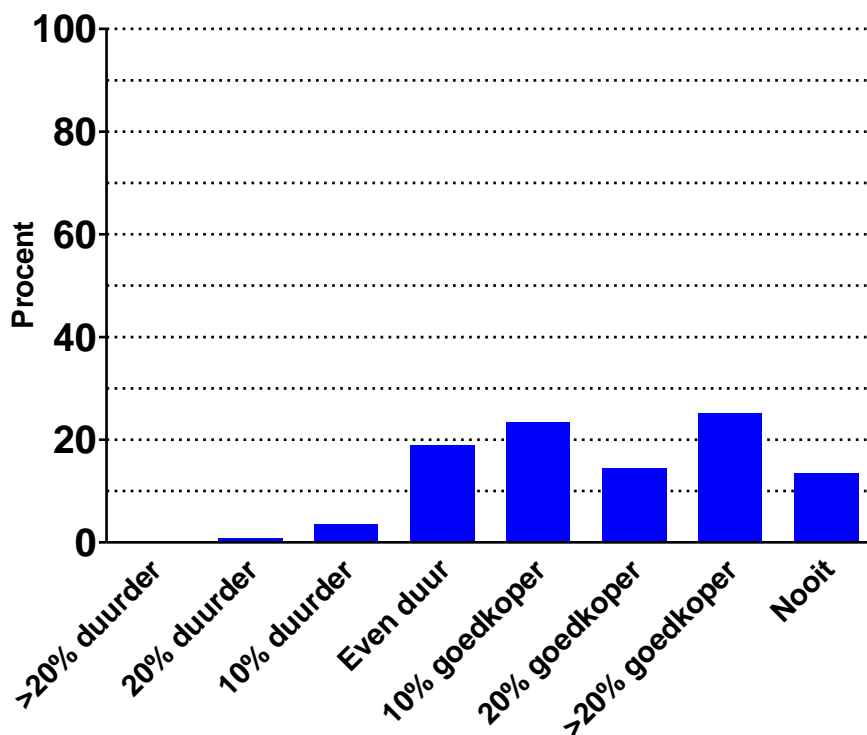


Figuur 16: Procentuele vertegenwoordiging intensiviteit

3.4.2.2 Betalingsbereidheid

In Figuur 17 staat de algemene betalingsbereidheid van de respondenten weergegeven. 13,51 procent geeft aan nooit te willen overschakelen van diesel op biomethaan. Verder blijken slechts 4,50 procent over te schakelen indien biomethaan duurder is dan diesel. Bijna een vijfde zou echter wel overschakelen op biomethaan indien de trekker over zijn levensduur even duur is dan een klassieke dieseltrekker.

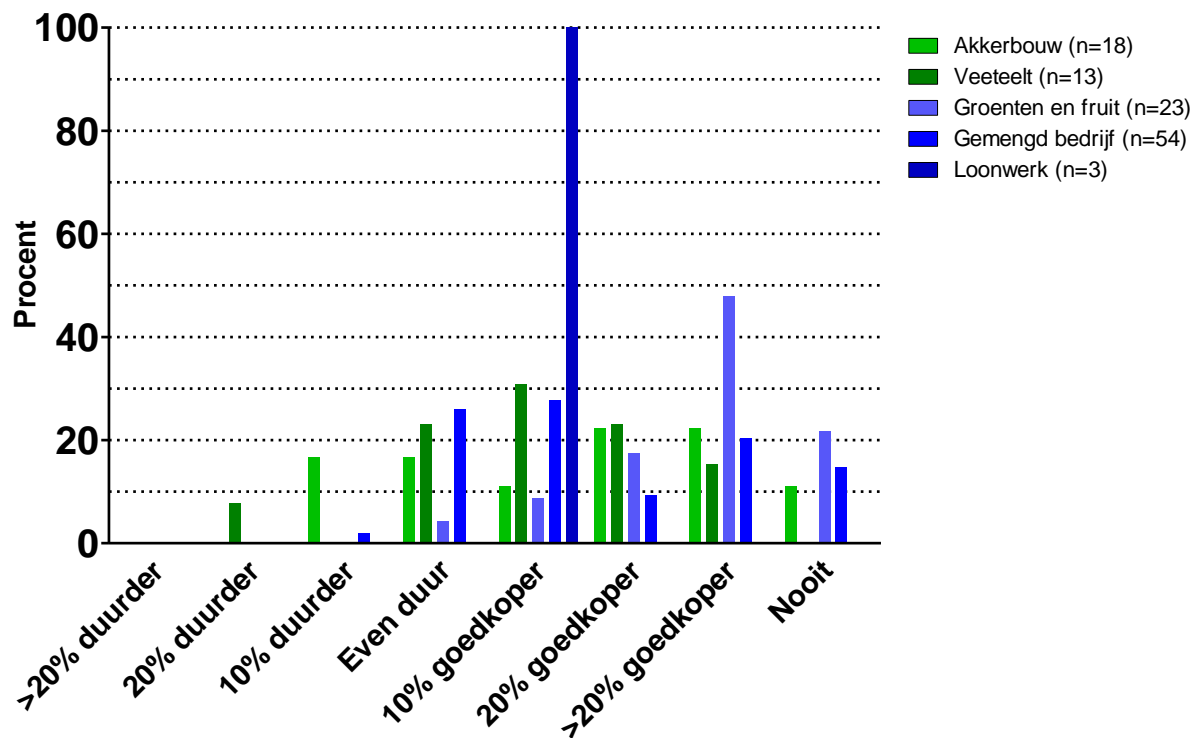
Wanneer iedere betalingsbereidheidscategorie een gewicht wordt gegeven en de respondenten die nooit bereid zijn over te schakelen uit de analyse worden gelaten, wordt er een gemiddelde score van -14,17 procent bekomen. Merk op dat hierdoor zeker niet kan geconcludeerd worden dat de gemiddelde landbouwer zou overschakelen wanneer een methaantractor 14,17 procent goedkoper dan een dieseltractor is, gezien de betalingsbereidheidscategorieën intervallen zijn en we dus niet het exacte gewenste percentage van de respondenten kennen. Verder zijn de uiterste categorieën *meer dan*-categorieën die dus ieder cijfer tussen 21 en 100 procent kunnen bevatten. Onder andere doordat geen enkele respondent voor de optie van meer dan 20 procent duurder koos, wordt er geconcludeerd dat op het 5 procent significantieniveau de respondenten die bereid zijn over te schakelen dit enkel zouden doen wanneer de biomethaantractoren goedkoper zijn dan dieseltractoren.



Figuur 17: Algemene betalingsbereidheid

In figuur Figuur 18 wordt de betalingsbereidheid per sector teruggevonden. Het eerste dat opvalt is de respons van de loonwerksector. Gezien er echter maar drie loonwerkers in de dataset zijn opgenomen, is het moeilijk de assumptie aan te gaan dat iedere loonwerker in Vlaanderen zou overschakelen wanneer biomethaan 10 procent goedkoper is dan diesel. Er kan echter wel op het 1

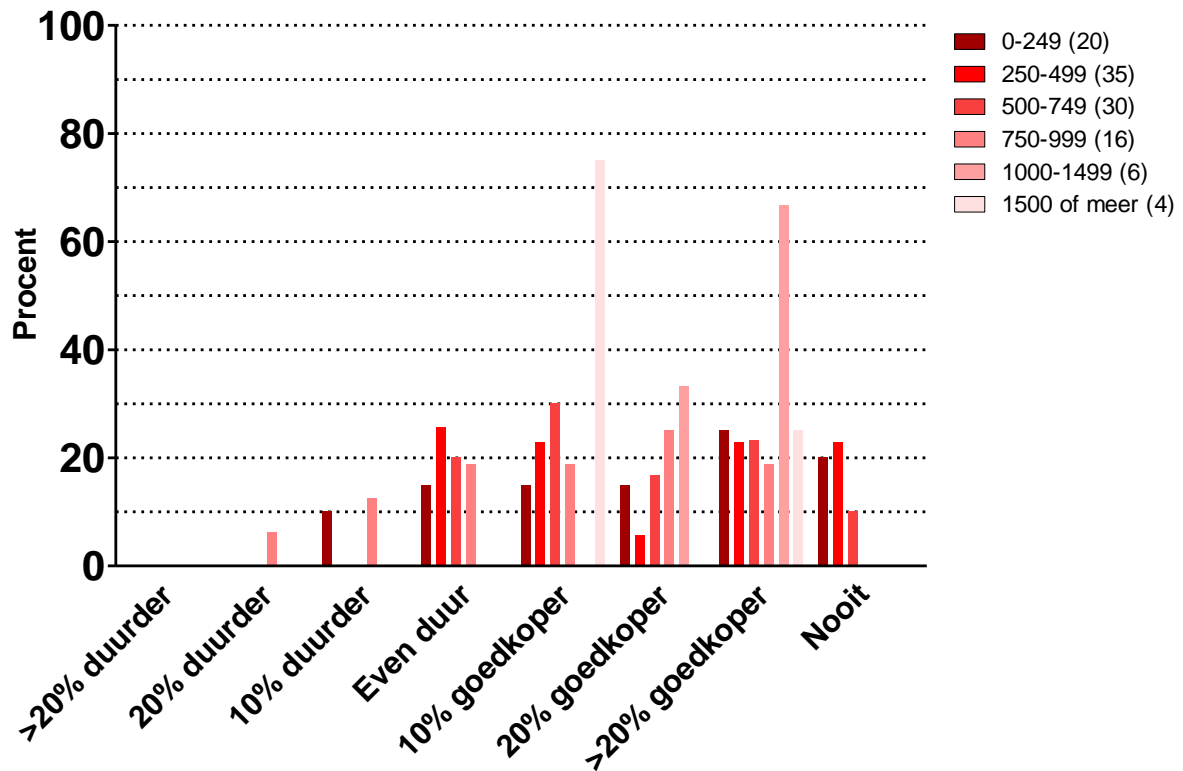
procent significantieniveau besloten worden dat er verschillen zijn in de antwoorden tussen de verschillende sectoren. Zo zien we dat vooral de groente- en fruitteeltsector veel minder bereid is over te schakelen op biomethaan. Een mogelijke reden hiervoor is dat in de deze sector veel minder rond biomassa-installaties te doen is dan in de andere sectoren, gezien hier biomassa en mest beschikbaar is of dat zij, in het geval van de loonwerksector, vaak instaan voor de transporten van deze biomassastromen. De resultaten van de andere sectoren zijn statistisch niet verschillend van elkaar.



Figuur 18: Betalingsbereidheid per sector

In Figuur 19 staat de betalingsbereidheid opgedeeld volgens de verschillende gebruiksintensiviteiten. Ook hier vallen enkele uitstekers op, maar ook hier gaat het net over die categorieën waar weinig respondenten van zijn. Bij de statistische analyse valt echter op dat de categorie van 1000 tot 1499 werkuren als enige categorie geen significant negatief gemiddelde heeft. Dit houdt in dat er niet met 95 procent zekerheid kan gezegd worden dat de gemiddelde gebruiker die tussen 1000 en 1499 uren per jaar rijdt enkel zou overschakelen wanneer biomethaantractoren goedkoper zijn dan de diesequivalent en er dus de mogelijkheid bestaat dat deze gebruiker gemiddeld gezien zelfs zou overschakelen wanneer beide even duur zijn. Alle andere categorieën hebben wel een significant negatief gemiddelde en zouden dus met 95 procent zekerheid niet overschakelen wanneer beide opties even duur zijn.

Tot slot blijkt er geen statistisch significant verschil te zijn tussen de verschillende categorieën.

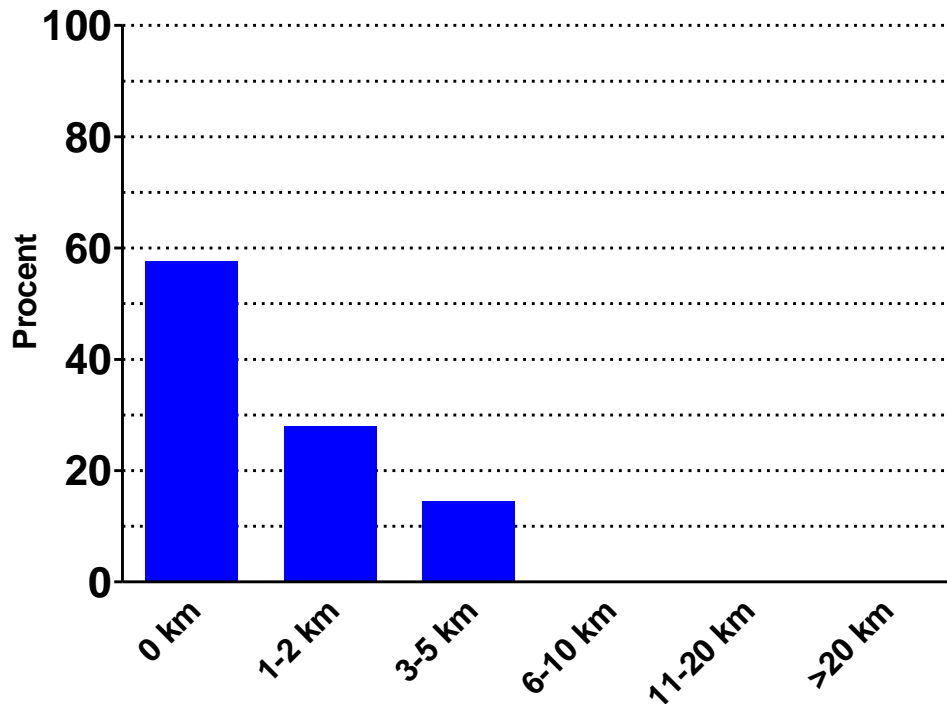


Figuur 19: Betalingsbereidheid per gebruiksintensiviteitscategorie

3.4.2.3 Af te leggen afstand

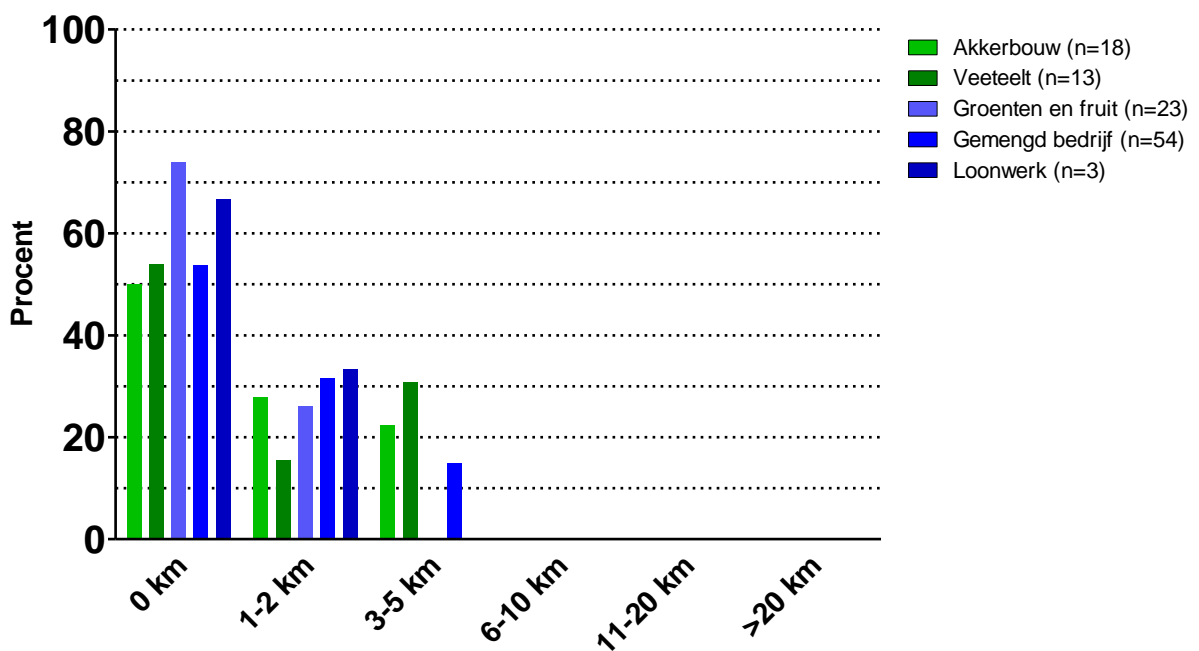
Figuur 20 bevat de procentuele respons op vraag 10 van de enquête, namelijk welke afstand men bereid zou zijn af te leggen om te tanken indien rijden op biomethaan geen meerkost met zich zou meebrengen ten opzichte van diesel. Merk op dat dit in de landbouwsector anders ligt dan bij auto's en vrachtwagens, gezien het gebruikelijk is in de landbouw om zelf een tank op het erf te hebben en landbouwers het dus niet gewoon zijn om met hun tractor afstand af te leggen om te tanken.

Dit verklaart wellicht waarom 57,66 procent van de respondenten aangeeft niet bereid te zijn afstand af te leggen om te gaan tanken, verder geeft bijna 28 procent aan bereid te zijn één tot twee kilometer af te leggen en ongeveer 14,50 procent drie tot vijf kilometer. Geen enkele respondent is bereid meer dan 5 kilometer af te leggen. Wat wel opvallend is, is dat ondanks de grote fractie van de respondenten die niet bereid is afstand af te leggen, het gemiddelde antwoord statistisch significant verschillend is van 0 kilometer op het 95 procent betrouwbaarheidsniveau. Hieruit kan dus geconcludeerd worden dat de gemiddelde respondent bereid is afstand af te leggen om te tanken. Het gemiddelde antwoord op de vraag bedraagt 1,57 en zit dus tussen de optie van 0 kilometer en deze van 1 tot 2 kilometer in, gezien de antwoorden van 1 tot 6 genummerd zijn. Omwille van het werken met intervallen kan hier echter geen exacte afstand aan gelinkt worden.



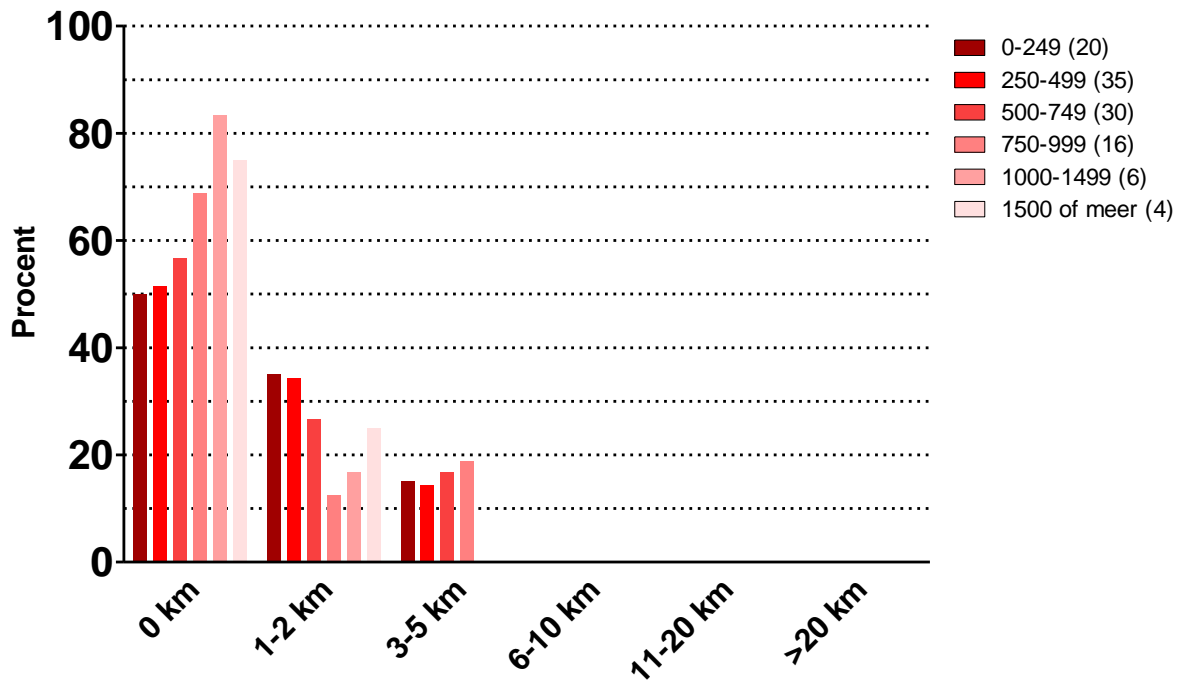
Figuur 20: Algemene bereidheid tot verplaatsing

In Figuur 21 staat de bereidheid tot verplaatsing opgedeeld per sector. Op het eerste zicht valt op dat de groente- en fruittelers en de loonwerkers als enige niet voortkomen in de categorie van 3 tot 5 kilometer, deze zijn ook de enige die 0 km binnen hun 95%-betrouwbaarheidsinterval hebben liggen. Na het uitvoeren van een ANOVA-test blijkt echter dat er geen significant verschil is tussen de verschillende categorieën op het 5 procent significantieniveau.



Figuur 21: Bereidheid tot verplaatsing per sector

Ook wanneer de resultaten in Figuur 22 per gebruiksintensiviteit worden bekeken, zijn er geen opvallende resultaten. Men kan eventueel zeggen dat de personen met een hogere gebruiksintensiviteit eerder in de eerste categorie vallen en dus niet bereid zijn afstand af te leggen, maar dit verschil blijkt niet significant op het 95 procent betrouwbaarheidsniveau. De twee hoogste categorieën zijn echter wel de enigen die de afstand van 0 kilometer in hun 95 procent betrouwbaarheidsinterval hebben liggen.



Figuur 22: Bereidheid tot verplaatsing per gebruiksintensiviteitscategorie

3.4.2.3.1 Interpretatie

Deze resultaten interpreteren is echter niet zo evident als bij de betalingsbereidheid. Om te beginnen is tanken niet een eenmalig gebeuren. Zo blijkt dat de dieseltank van een New Holland t6.180 230 liter blijkt te bevatten. Van de methaantractor wordt aangegeven dat hij niet meer moet getankt worden dan een dieseltractor. Verder is het verbruik van de trekker in kwestie ook gekend (3.1.6 Brandstof- en AdBlueverbruik) en is er geweten dat er in totaal 10 000 uren met de trekker wordt gereden over zijn levensduur (Tabel 12). Dit alles samen komt neer op 1186 keer tanken over de gebruiksduur. Gezien het gemiddelde antwoord op de vraag omtrent afstand 1,57 was, waar 1 het eerste antwoord en dus 0 kilometer is en 2 het tweede en dus 1-2 kilometer is, weten we dat de werkelijke gemiddelde afstand die men bereid is af te leggen tussen 0 en 1 kilometer ligt. Voor deze berekening wordt uitgegaan van 1 kilometer. Verder rijden de tractoren in kwestie 40 kilometer per uur. Wanneer er wordt uitgegaan dat men constant 40 kilometer per uur kan rijden, legt men de afstand van 2 kilometer (1 kilometer heen en 1 kilometer terug) af in 3 minuten. Voor 1185 tankbeurten komt dit neer op 59,3 uren (CNH, 2019; Delaere, 2019).

Uit een vorige studie is reeds geweten dat werken in de landbouw met een tractor gemiddeld gezien 65 euro per uur kost. Dit komt dan neer op een totale reiskost van 3854,50 euro. Ten

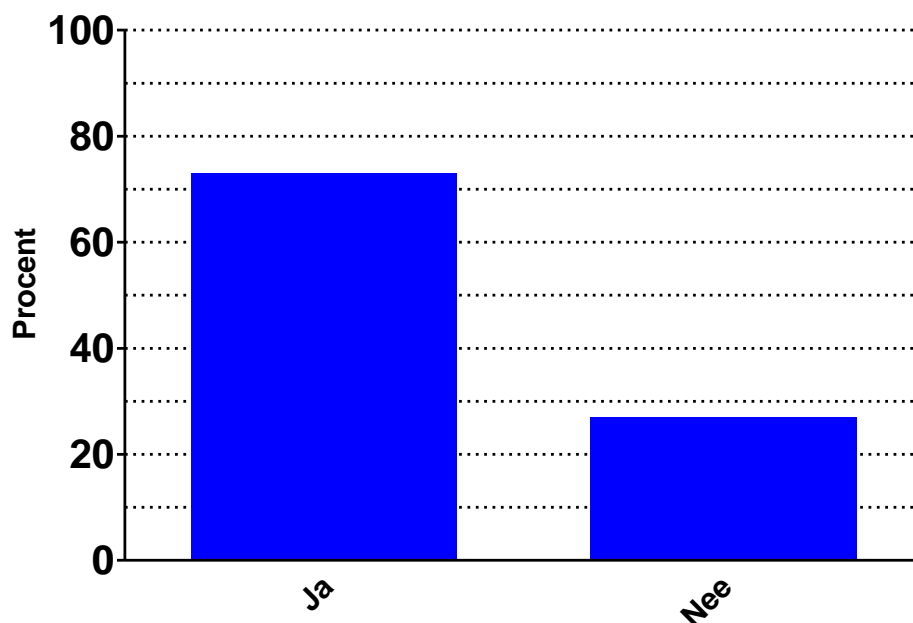
opzichte van de totale kost van de dieseltractor die rijdt op diesel extra, betekent dit 2,38 procent. Uitgaand van het feit dat de meeste landbouwers vandaag de dag thuis tanken, houdt dit in dat men bereid zou zijn 2,38 procent meer te betalen voor een trekker op biomethaan dan voor een tractor op diesel (Eevers, Mattheussen, & Staes, 2017).

Tabel 27: Berekening reiskost

Factor	Hoeveelheid	Eenheid
Dieserverbruik	27,26	L/u
Aantal werkuren	10 000,00	u
Totaal dieserverbruik	272 600,00	L
Tankinhoud	230,00	L
Aantal tankbeurten (naar boven afgerond)	1 186,00	tankbeurten
Af te leggen afstand (heen en terug)	2,00	km
Snelheid	40,00	km/u
Reistijd	3,00	minuten
Totale reistijd	59,30	uur
Kostprijs reistijd	65,00	€/u
Totale kostprijs reistijd	3 854,50	€
NAW kost dieseltractor (diesel extra)	161 688,44	€
Fractie reistijd van NAW	2,38	%

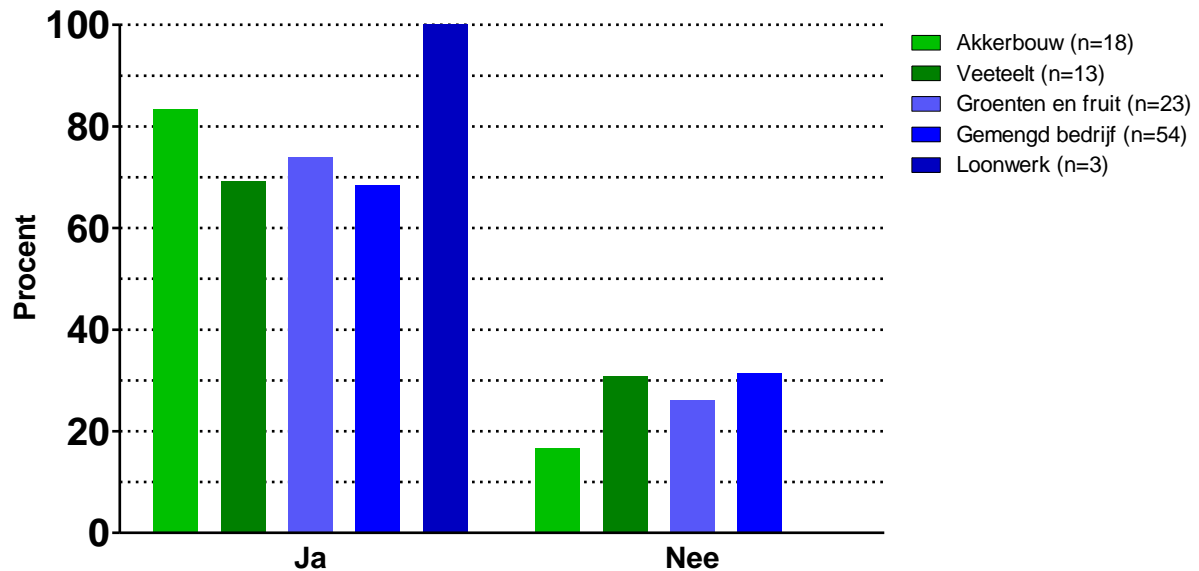
3.4.2.4 Participatie in een coöperatieve

Tot slot werd er gevraagd of de respondenten bereid zijn om mee te werken in een coöperatieve waarbij men biomassa aflevert en biomethaan afneemt. Bijna 73 procent van de respondenten bleek hiertoe bereid te zijn (Figuur 25).



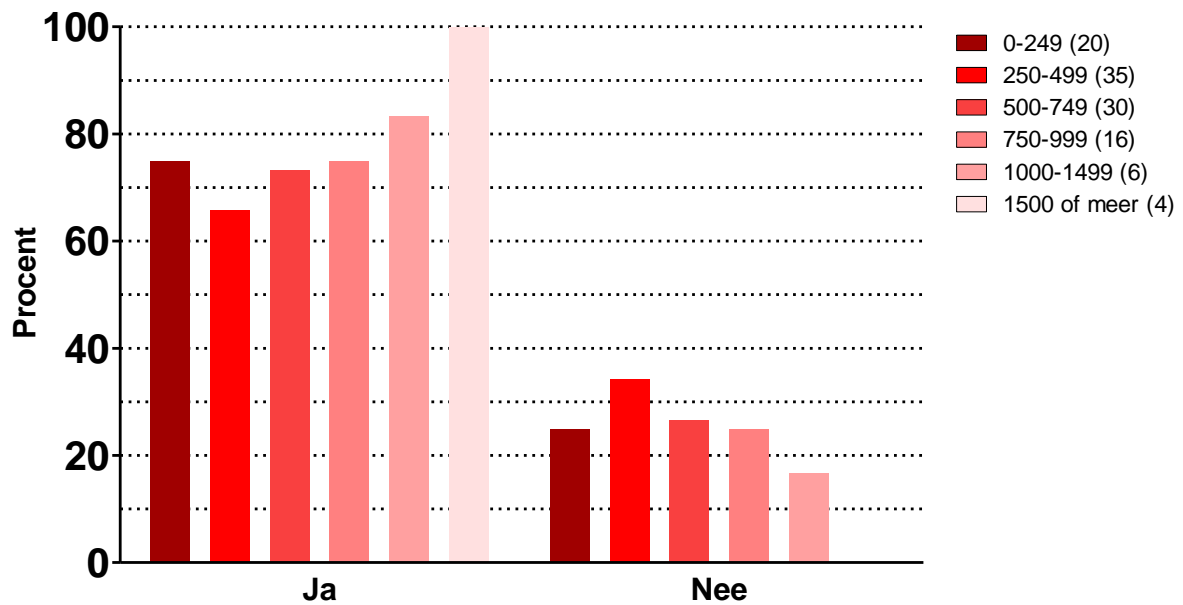
Figuur 23: Algemene bereidheid tot medewerking in een coöperatieve

Wanneer de resultaten in Figuur 24 worden opgedeeld per sector, blijken er geen extreme verschillen te zijn tussen de sectoren. 100 procent van de loonwerkers is bereid mee te werken, maar ook hier moet er rekening mee gehouden worden dat dit er slechts drie zijn en dat dit resultaat dus niet veralgemeenbaar is. Op het 95 procent betrouwbaarheidsniveau blijkt er geen verschil tussen de sectoren te zijn. Verder blijkt dat een absolute "ja" enkel in de akkerbouwsector en natuurlijk de loonwerksector in het 95 procent betrouwbaarheidsinterval zit.



Figuur 24: Bereidheid tot medewerking in een coöperatieve per sector

Per gebruiksintensiviteit valt op dat de categorie van 1500 werkuren of meer per jaar enkel "ja" heeft geantwoord. Ook hier moet echter rekening gehouden worden met het feit dat het hier om slechts vier respondenten gaat en dat het resultaat dus wellicht niet representatief is voor de hele groep. Verder kan er ook hier aan de hand van een ANOVA-test geconcludeerd worden dat er geen significant verschil is tussen de verschillende categorieën. Tot slot blijkt nog dat enkel bij de gebruikers met de twee hoogste gebruiksintensiviteiten een absolute "ja" in het 95 procent betrouwbaarheidsinterval valt.



Figuur 25: Bereidheid tot medewerking in een coöperatieve per gebruiksintensiviteitscategorie

3.4.3 Conclusie gebruikersvisie

Er kan geconcludeerd worden dat wanneer een coöperatieve wordt opgezet waar biomassa geruild wordt voor biomethaan, een meerderheid van de landbouwers bereid is mee te werken. De verder resultaten van de studie spreken elkaar echter tegen. Enerzijds wordt er via de betalingsbereidheidmethode geconcludeerd dat gebruikers enkel wensen over te schakelen wanneer een trekker op biomethaan goedkoper is dan zijn diesequivalent, maar via de reiskostmethode blijkt men dan weer bereid te zijn een afstand af te leggen om deze methaantractor te tanken wat niet moet bij een dieseltrekker. Dit wijst erop dat men bereid is meer te betalen voor een biomethaantractor dan voor een dieseltrekker. Merk op dat beide resultaten statistisch significant zijn. Door het gebruik van intervallen kunnen er geen exacte cijfers worden geconcludeerd.

Gezien er geen eenduidige resultaten zijn gevonden, kunnen de resultaten ook niet worden opgenomen in de techno-economisch analyse.

3.5 Toekomstperspectieven

Zoals in het begin van deze studie vermeld, is het moeilijk om in de landbouwsector een ander brandstof te gebruiken dan diesel, gezien de lange dagen en de vaak verre verplaatsingen. Daardoor is New Holland het enige merk dat tot nu toe productie opstart van een trekker met een alternatieve brandstof (Schaeffer, 2019).

De concurrentie zit echter wellicht niet stil, daarom werd ook hen gevraagd wat hun toekomstperspectieven zijn. Uit een interview met Gert Van Thillo van Fedagrim, de Belgische federatie van de toeleveranciers van machines, gebouwen en uitrustingen voor de landbouw en voor de groenvoorzieningen, bleek dat respectievelijk de merken New Holland, John Deere, Case IH, Fendt, Deutz-Fahr en Massey Ferguson de grootste marktaandeelen in de Belgische tractormarkt hebben. Merk echter op dat New Holland en Case IH en Fendt en Massey Ferguson steeds eigendom zijn van dezelfde groep, namelijk CNH en Agco. Deze vier grootste producten werd gevraagd wat hun visie naar de toekomst is (Van Thillo, 2019).

Marktleider CNH, producent van New Holland en Case, gaf aan, zoals in deze thesis beschreven, in te zetten op de productie van methaantractoren, gezien methaan vrij snel getankt kan worden waardoor de machines gebruikt kunnen worden zoals dieseltractoren. De invoerder van het merk John Deere gaf aan dat zij het eerder in de richting van elektrische tractoren zoeken. Er is reeds een prototype uitgebracht, maar na 2 à 3 uur werken is de batterij van deze trekker reeds leeg. Om deze reden kwam dit project niet verder dan een prototype. Er is echter een volgend prototype op komst waarbij de tractor aan een constante elektriciteitstoevoer hangt. Gezien dit echter beperkingen geeft op vlak van verplaatsing, is het nog niet duidelijk of dit concept kan doorbreken en in productie komt. De Agco groep deelde geen informatie mee omtrent hun toekomstplannen. Een verdeler van de tractoren gaf echter aan dat ze reeds een elektrische fruitbouwtractor hebben en wellicht verder inzetten op elektriciteit. De vernieuwingen zullen wellicht onder de merknaam Fendt worden ingevoerd, gezien dit het prestigemerk van de groep is. SDF, de invoerder van Deutz-Fahr, gaf tot slot aan zelf ook een prototype van een methaantractor te hebben maar gaf ook aan dat deze niet in de productie staat. Op eventuele toekomstplannen wensten ze niet in te gaan, maar ze vermelden wel met verscheidene projecten bezig te zijn (Delaere, 2019; Dijkstra, 2019; Vangeloven, 2019; Vangoidsenhoven, 2019).

4. Conclusie

Over de marktkansen van biomethaanmotoren in de landbouw kan geen eenduidige conclusie getrokken worden.

Economisch gezien zijn tractoren die rijden op biomethaan geen interessant alternatief voor dieseltractoren. De reden hiervoor is dat de diesel gebruikt in de Belgische landbouwsector als is vrijgesteld van accijnzen. Indien deze dieselprijs echter zou stijgen tot 0,75 euro per liter of meer wordt rijden op biomethaan wel een economisch interessant alternatief. Wanneer de overheid zou beslissen dat de landbouwsector, net zoals in de rest van Europa, wel accijnzen op zijn diesel moet betalen, is rijden op biomethaan gemiddeld gezien wel meer dan 25 procent goedkoper dan rijden op diesel.

Op niveau van milieu-impacts blijkt biomethaan als brandstof geen interessant alternatief. Ondanks dat een trekker op biomethaan 80 procent minder broeikasgassen uitstoot dan een tractor op diesel, blijkt de volledige keten van biomethaan meer dan zes keer zo veel bij te dragen aan de opwarming van de aarde als diesel. Wanneer alle impacts gemonetariseerd worden, blijkt biomethaan zelfs bijna 60 keer zoveel bij te dragen als diesel.

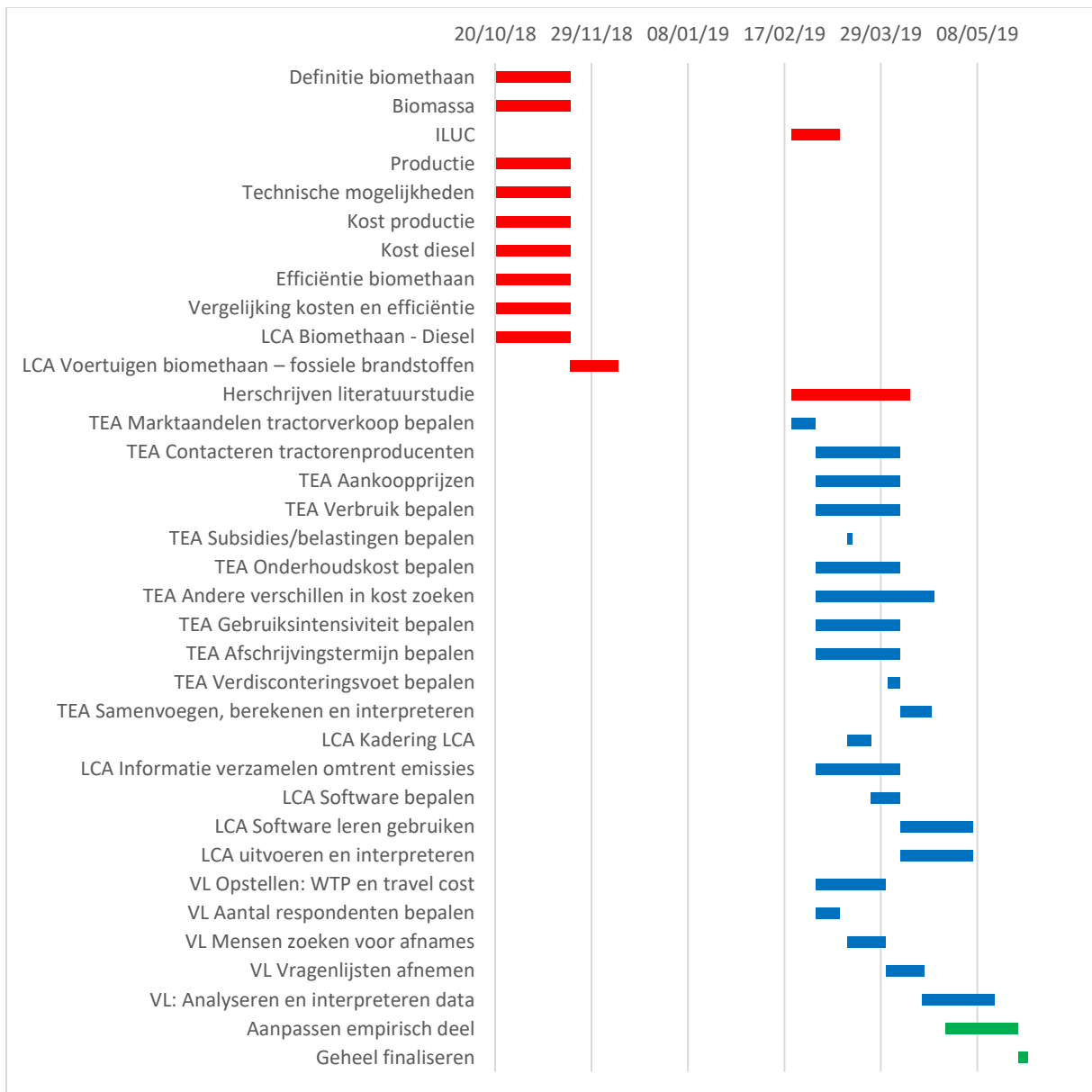
Tot slot blijkt dat een overgrote meerderheid van de gebruikers van tractoren bereid zou zijn mee te werken aan een coöperatieve waarbij aan de ene kant biomassa wordt aangeleverd en aan de andere kant biomethaan als brandstof wordt afgenomen. Over de betalingsbereidheid van de gebruiker kan geen duidelijke conclusie getrokken worden, gezien via de ene methode wordt aangegeven dat men enkel wilt overschakelen wanneer rijden op biomethaan goedkoper is dan diesel, terwijl via de andere methode geconcludeerd wordt dat men tot 2 procent meer wil betalen voor tractoren op biomethaan.

Er moet echter wel kritisch worden omgegaan met deze conclusies. Enerzijds is er veel informatie verschaft door niet-neutrale partijen en anderzijds kan het gebruik van andere rekenmethodes sterk verschillende resultaten opleveren. Ook zijn er assumpties gemaakt over kosten en aspecten die nog niet gekend zijn. De toekomst zal uitwijzen of deze assumpties terecht zijn.

Naar de toekomst toe kan het zeker interessant zijn de milieu-impact aan de hand van andere methodes te berekenen en de vergelijken met de huidige resultaten. Ook een bevraging bij de gebruiker met een grotere steekproefgrootte zodat iedere subcategorie statistisch relevant is is aan te raden.

Bijlages

Bijlage 1: Gantt-chart planning



Bijlage 2: NAW dieseltractoren

NAW dieseltractor		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Diesel Extra	Jaar 1	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Aankoop	1	€ 21.263,60	€ 21.263,60	€ 21.263,60	€ 21.263,60	€ 21.263,60	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Orderfoud		€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Brandstofverbruik		€ 8.391,12	€ 8.391,12	€ 8.391,12	€ 8.391,12	€ 8.391,12	€ 8.391,12	€ 8.391,12	€ 8.391,12	€ 8.391,12	€ 8.391,12	€ 8.391,12	€ 8.391,12	€ 8.391,12	€ 8.391,12	€ 8.391,12	€ 8.391,12	€ 8.391,12
Aadblueverbruik		€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41
Verzekering		€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00
Eindwaarde		€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -15.571,43
Totaal voor belastingen		€ 31.859,70	€ 31.859,70	€ 31.859,70	€ 31.859,70	€ 31.859,70	€ 10.596,10	€ 10.596,10	€ 10.596,10	€ 10.596,10	€ 10.596,10	€ 10.596,10	€ 10.596,10	€ 10.596,10	€ 10.596,10	€ 10.596,10	€ 10.596,10	€ -4.855,32
Totaal na belastingen		€ 22.620,39	€ 23.894,78	€ 23.894,78	€ 23.894,78	€ 23.894,78	€ 7.947,08	€ 7.947,08	€ 7.947,08	€ 7.947,08	€ 7.947,08	€ 7.947,08	€ 7.947,08	€ 7.947,08	€ 7.947,08	€ 7.947,08	€ 7.947,08	€ -3.644,49
Verdisconteerd		€ 22.620,39	€ 22.811,94	€ 21.778,17	€ 20.791,25	€ 19.849,06	€ 6.302,37	€ 6.016,76	€ 5.744,10	€ 5.483,80	€ 5.235,29	€ 4.998,04	€ 4.771,54	€ 4.555,31	€ 4.348,88	€ 4.151,80	€ 3.963,65	€ -1.733,91
Netto actuele waarde		€ 161.688,44																
Diesel	Jaar 1	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Aankoop	1	€ 21.263,60	€ 21.263,60	€ 21.263,60	€ 21.263,60	€ 21.263,60	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Orderfoud		€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Brandstofverbruik		€ 19.273,28	€ 19.273,28	€ 19.273,28	€ 19.273,28	€ 19.273,28	€ 19.273,28	€ 19.273,28	€ 19.273,28	€ 19.273,28	€ 19.273,28	€ 19.273,28	€ 19.273,28	€ 19.273,28	€ 19.273,28	€ 19.273,28	€ 19.273,28	€ 19.273,28
Aadblueverbruik		€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41
Verzekering		€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00
Eindwaarde		€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -15.571,43
Totaal voor belastingen		€ 42.741,86	€ 42.741,86	€ 42.741,86	€ 42.741,86	€ 42.741,86	€ 21.478,26	€ 21.478,26	€ 21.478,26	€ 21.478,26	€ 21.478,26	€ 21.478,26	€ 21.478,26	€ 21.478,26	€ 21.478,26	€ 21.478,26	€ 21.478,26	€ 6.026,83
Totaal na belastingen		€ 30.346,72	€ 32.056,40	€ 32.056,40	€ 32.056,40	€ 32.056,40	€ 16.108,70	€ 16.108,70	€ 16.108,70	€ 16.108,70	€ 16.108,70	€ 16.108,70	€ 16.108,70	€ 16.108,70	€ 16.108,70	€ 16.108,70	€ 16.108,70	€ 4.520,13
Verdisconteerd		€ 30.346,72	€ 30.603,70	€ 29.216,83	€ 27.892,82	€ 26.628,80	€ 12.774,87	€ 12.195,95	€ 11.643,27	€ 11.115,63	€ 10.611,91	€ 10.131,01	€ 9.671,90	€ 9.233,60	€ 8.815,16	€ 8.415,69	€ 8.034,31	€ 2.152,28
Netto actuele waarde		€ 259.484,45																

Bijlage 3: NAW biomethaantractor

NAW methaantractor		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Jaar		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Aankoop	€ 16 520,00	€ 16 520,00	€ 16 520,00	€ 16 520,00	€ 16 520,00	€ 16 520,00	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Orderhoud	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Brandstofverbruik	€ 14 003,88	€ 14 003,88	€ 14 003,88	€ 14 003,88	€ 14 003,88	€ 14 003,88	€ 14 003,88	€ 14 003,88	€ 14 003,88	€ 14 003,88	€ 14 003,88	€ 14 003,88	€ 14 003,88	€ 14 003,88	€ 14 003,88	€ 14 003,88	€ 14 003,88	€ 14 003,88
Verzekering	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Finiswaarde	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -15 571,43
Totaal voor belastingen	€ 32 388,45	€ 32 388,45	€ 32 388,45	€ 32 388,45	€ 32 388,45	€ 32 388,45	€ 15 868,45	€ 15 868,45	€ 15 868,45	€ 15 868,45	€ 15 868,45	€ 15 868,45	€ 15 868,45	€ 15 868,45	€ 15 868,45	€ 15 868,45	€ 15 868,45	€ 417,02
Totaal ino belastingen	€ 22 995,80	€ 24 291,34	€ 24 291,34	€ 24 291,34	€ 24 291,34	€ 24 291,34	€ 11 901,34	€ 11 901,34	€ 11 901,34	€ 11 901,34	€ 11 901,34	€ 11 901,34	€ 11 901,34	€ 11 901,34	€ 11 901,34	€ 11 901,34	€ 11 901,34	€ 312,77
Verdisconteerd	€ 22 995,80	€ 23 190,53	€ 22 139,61	€ 21 136,31	€ 20 178,47	€ 9 438,26	€ 9 010,55	€ 8 602,22	€ 8 212,39	€ 7 840,23	€ 7 484,93	€ 7 145,74	€ 6 821,92	€ 6 512,77	€ 6 217,63	€ 5 935,87	€ 148,93	
Netto actuele waarde	€ 193 012,14																	

Bijlage 4: Veronderstellingen sensitiviteitsanalyse 10 procent variatie

**Crystal Ball-rapport -
Veronderstellingen**
Simulatie begonnen om
23/05/2019, 14:38
Simulatie gestopt om
23/05/2019, 14:39

Uitvoeringsvoorkeuren:
Aantal uitgevoerde tests 10 000
Monte Carlo
Willekeurige basiswaarde
Precisiebeheer ingeschakeld
Zekerheidsniveau 95,00%

Uitvoeringsstatistieken:
Totale uitvoeringstijd (sec.) 36,04
Tests/seconde (gemiddeld) 277
Willekeurige getallen per sec. 10 543

Crystal Ball-gegevens:
Veronderstellingen 38
Correlaties 0
Correlatiematrices 0
Beslissingsvariabele n 0
Prognoses 5

Veronderstellingen

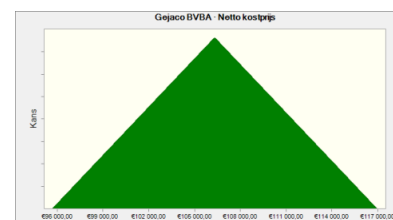
Werkblad: [TEA + Societal TEA sensitiviteitsanalyse.xlsx]Aankoop

Veronderstelling: Gejaco BVBA - Netto kostprijs

Cel:
E9

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	€95 686,20
Waarschijnlijkst	€106 318,00
Maximum	€116 949,80

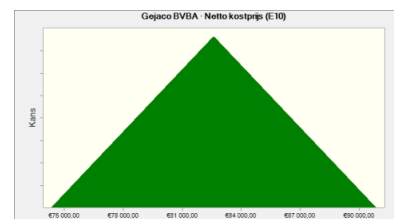


Veronderstelling: Gejaco BVBA - Netto kostprijs (E10)

Cel:
E10

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	€74 340,00
Waarschijnlijkst	€82 600,00
Maximum	€90 860,00

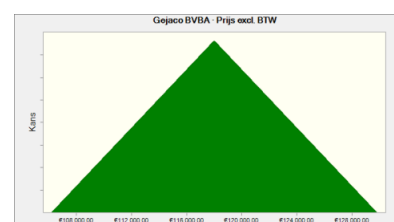


Cell: C9

Veronderstelling: Gejaco BVBA · Prijs excl. BTW

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	€106 200,00
Waarschijnlijkst	€118 000,00
Maximum	€129 800,00

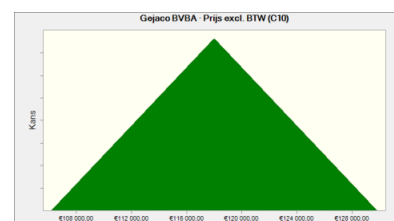


Cell: C10

Veronderstelling: Gejaco BVBA · Prijs excl. BTW (C10)

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	€106 200,00
Waarschijnlijkst	€118 000,00
Maximum	€129 800,00



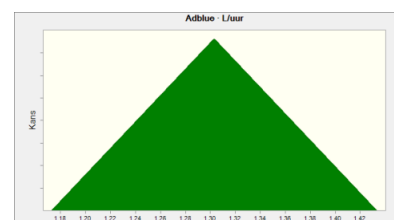
Werkblad: [TEA + Societal TEA sensitiviteitsanalyse.xlsx]AdBlue

Veronderstelling: Adblue · L/uur

Cell: C4

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

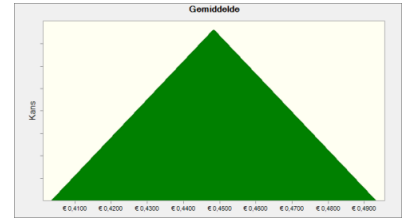
Minimum	1,17
Waarschijnlijkst	1,30
Maximum	1,43



Veronderstelling: Gemiddelde

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	€ 0,4035
Waarschijnlijkst	€ 0,4484
Maximum	€ 0,4932

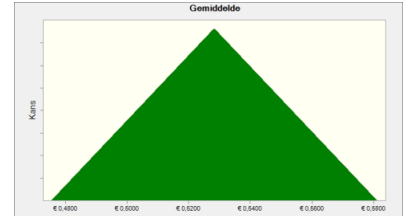


Werkblad: [TEA + Societal TEA sensitiviteitsanalyse.xlsx]Brandstof

Veronderstelling: Gemiddelde

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

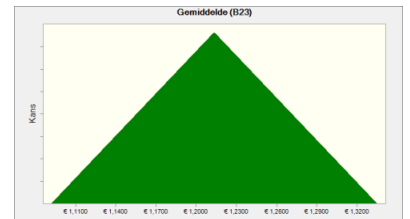
Minimum	€ 0,4755
Waarschijnlijkst	€ 0,5283
Maximum	€ 0,5811



Veronderstelling: Gemiddelde (B23)

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

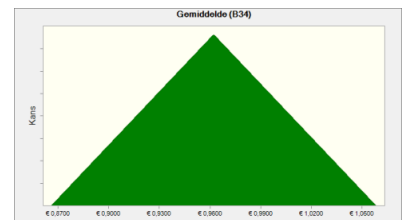
Minimum	€ 1,0920
Waarschijnlijkst	€ 1,2134
Maximum	€ 1,3347



Veronderstelling: Gemiddelde (B34)

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	€ 0,8660
Waarschijnlijkst	€ 0,9622
Maximum	€ 1,0584

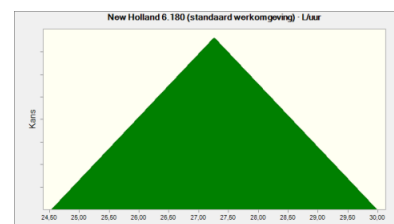


Veronderstelling: New Holland 6.180 (standaard werkomgeving) · L/uur

Cel:
C3

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	24,53
Waarschijnlijkst	27,26
Maximum	29,99

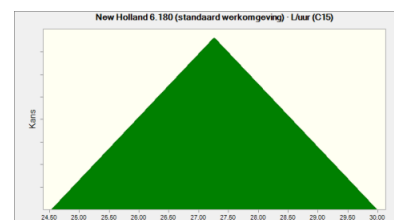


Veronderstelling: New Holland 6.180 (standaard werkomgeving) · L/uur (C15)

Cel:
C15

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	24,53
Waarschijnlijkst	27,26
Maximum	29,99

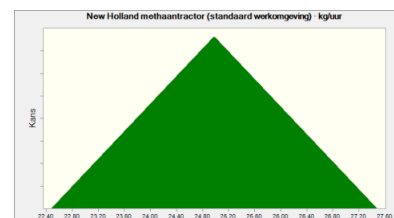


Veronderstelling: New Holland methaantractor (standaard werkomgeving) · kg/uur

Cel:
C27

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	22,48
Waarschijnlijkst	24,98
Maximum	27,48



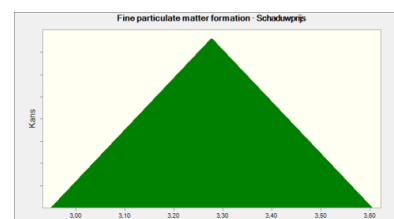
Werkblad: [TEA + Societal TEA sensitiviteitsanalyse.xlsx]Gemonetariseerde LCA

Veronderstelling: Fine particulate matter formation · Schaduwprijs

Cel:
C6

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	2,95
Waarschijnlijkst	3,28
Maximum	3,60

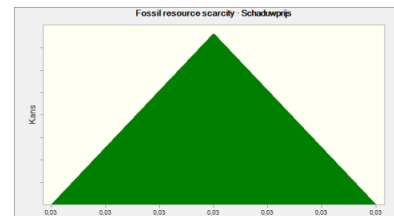


Veronderstelling: Fossil resource scarcity · Schaduwprijs

**Cel:
C17**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,03
Waarschijnlijkst	0,03
Maximum	0,03

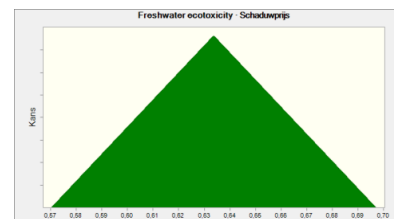


Veronderstelling: Freshwater ecotoxicity · Schaduwprijs

**Cel:
C11**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,57
Waarschijnlijkst	0,63
Maximum	0,70

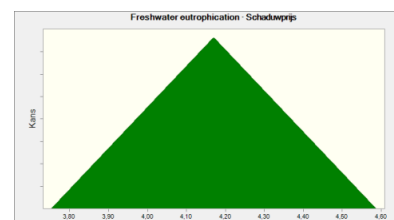


Veronderstelling: Freshwater eutrophication · Schaduwprijs

**Cel:
C9**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	3,75
Waarschijnlijkst	4,17
Maximum	4,59

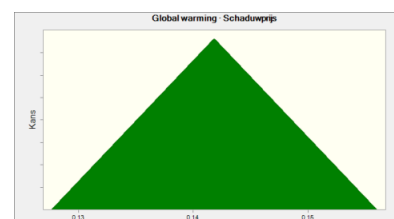


Veronderstelling: Global warming · Schaduwprijs

**Cel:
C2**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,13
Waarschijnlijkst	0,14
Maximum	0,16

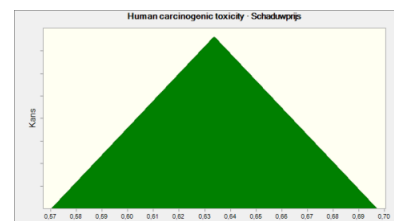


Veronderstelling: Human carcinogenic toxicity · Schaduwprijs

**Cel:
C13**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,57
Waarschijnlijkst	0,63
Maximum	0,70

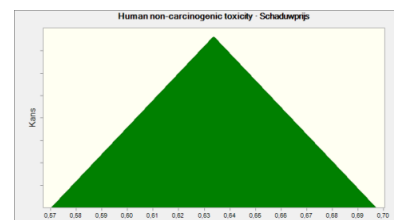


Veronderstelling: Human non-carcinogenic toxicity · Schaduwprijs

**Cel:
C14**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,57
Waarschijnlijkst	0,63
Maximum	0,70

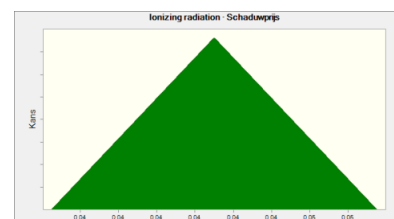


Veronderstelling: Ionizing radiation · Schaduwprijs

**Cel:
C4**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,04
Waarschijnlijkst	0,04
Maximum	0,05

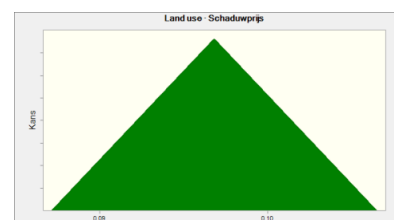


Veronderstelling: Land use · Schaduwprijs

**Cel:
C15**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,09
Waarschijnlijkst	0,10
Maximum	0,11

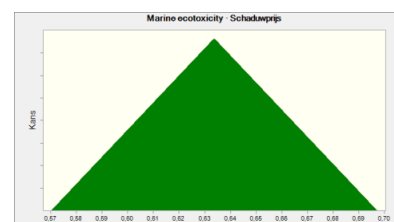


Veronderstelling: Marine ecotoxicity · Schaduwprijs

**Cell:
C12**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,57
Waarschijnlijkst	0,63
Maximum	0,70

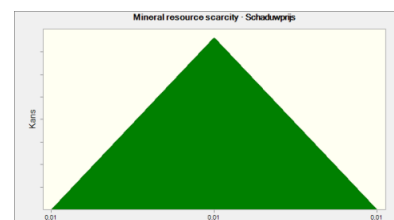


Veronderstelling: Mineral resource scarcity · Schaduwprijs

**Cell:
C16**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,01
Waarschijnlijkst	0,01
Maximum	0,01

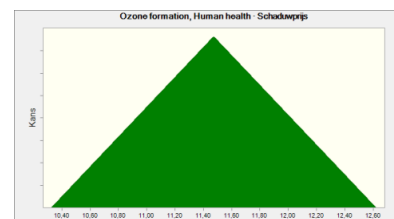


Veronderstelling: Ozone formation, Human health · Schaduwprijs

**Cell:
C5**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	10,33
Waarschijnlijkst	11,47
Maximum	12,62

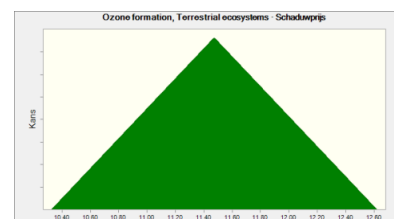


Veronderstelling: Ozone formation, Terrestrial ecosystems · Schaduwprijs

**Cell:
C7**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	10,33
Waarschijnlijkst	11,47
Maximum	12,62

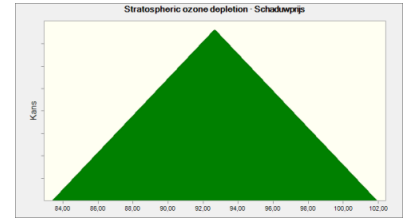


Veronderstelling: Stratospheric ozone depletion · Schaduwprijs

**Cell:
C3**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	83,40
Waarschijnlijkst	92,66
Maximum	101,93

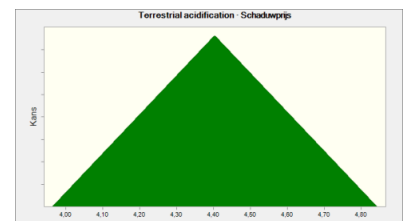


Veronderstelling: Terrestrial acidification · Schaduwprijs

Cell: C8

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	3,96
Waarschijnlijkst	4,40
Maximum	4,84

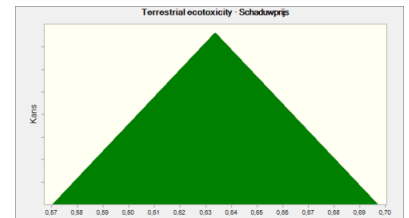


Veronderstelling: Terrestrial ecotoxicity · Schaduwprijs

Cell: C10

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,57
Waarschijnlijkst	0,63
Maximum	0,70

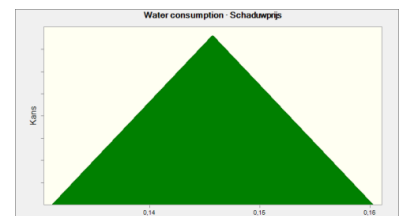


Veronderstelling: Water consumption · Schaduwprijs

Cell: C18

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,13
Waarschijnlijkst	0,15
Maximum	0,16



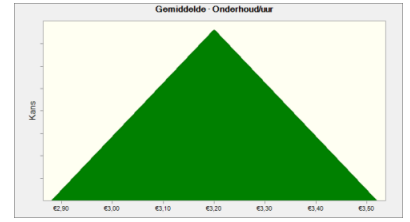
Werkblad: [TEA + Societal TEA sensitiviteitsanalyse.xlsx]Onderhoud

Veronderstelling: Gemiddelde · Onderhoud/uur

Cell:

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	€2,88
Waarschijnlijkst	€3,20
Maximum	€3,52



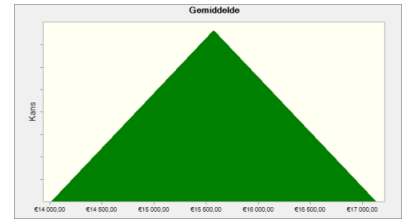
Werkblad: [TEA + Societal TEA sensitiviteitsanalyse.xlsx]Restwaarde

Veronderstelling: Gemiddelde

Cell: B9

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	€14 014,29
Waarschijnlijkst	€15 571,43
Maximum	€17 128,57



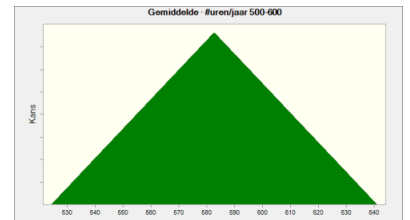
Werkblad: [TEA + Societal TEA sensitiviteitsanalyse.xlsx]Uren

Veronderstelling: Gemiddelde · #uren/jaar 500-600

Cell: B8

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	524
Waarschijnlijkst	583
Maximum	641



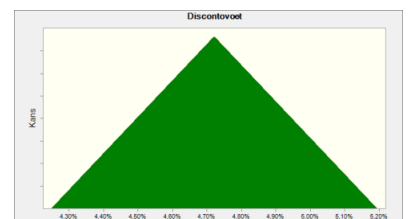
Werkblad: [TEA + Societal TEA sensitiviteitsanalyse.xlsx]Verdisconteringsvoet

Veronderstelling: Discontovoet

Cell: B8

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	4,25%
Waarschijnlijkst	4,72%
Maximum	5,19%

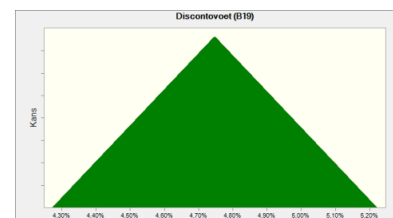


Veronderstelling: Discontovoet (B19)

**Cell:
B19**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	4,27%
Waarschijnlijkst	4,75%
Maximum	5,22%

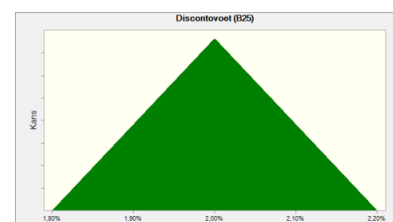


Veronderstelling: Discontovoet (B25)

**Cell:
B25**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	1,80%
Waarschijnlijkst	2,00%
Maximum	2,20%

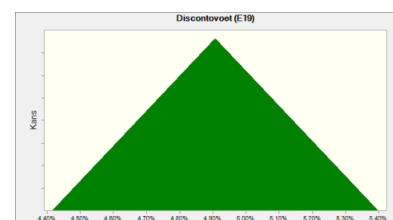


Veronderstelling: Discontovoet (E19)

**Cell:
E19**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	4,42%
Waarschijnlijkst	4,91%
Maximum	5,40%

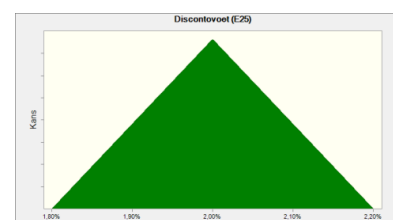


Veronderstelling: Discontovoet (E25)

**Cell:
E25**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

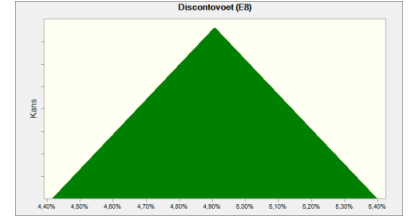
Minimum	1,80%
Waarschijnlijkst	2,00%
Maximum	2,20%



Veronderstelling: Discontovoet (E8)

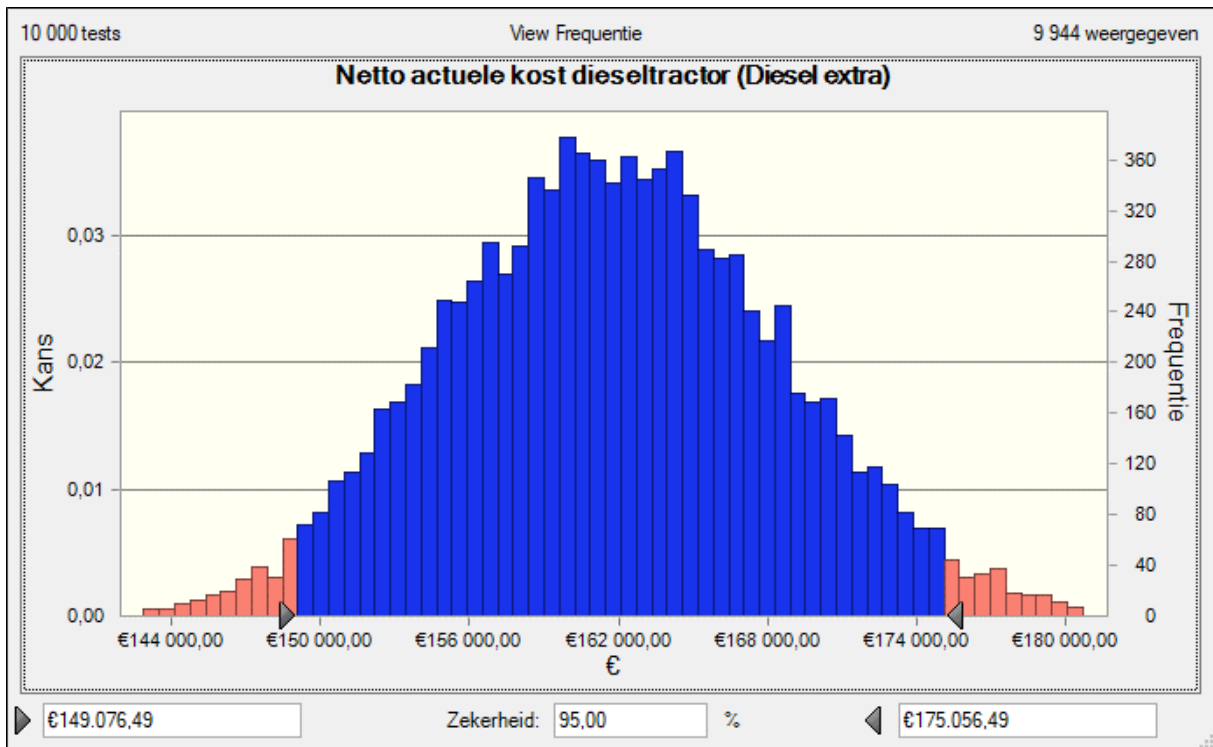
Driehoeksmatrix distributie met parameters:

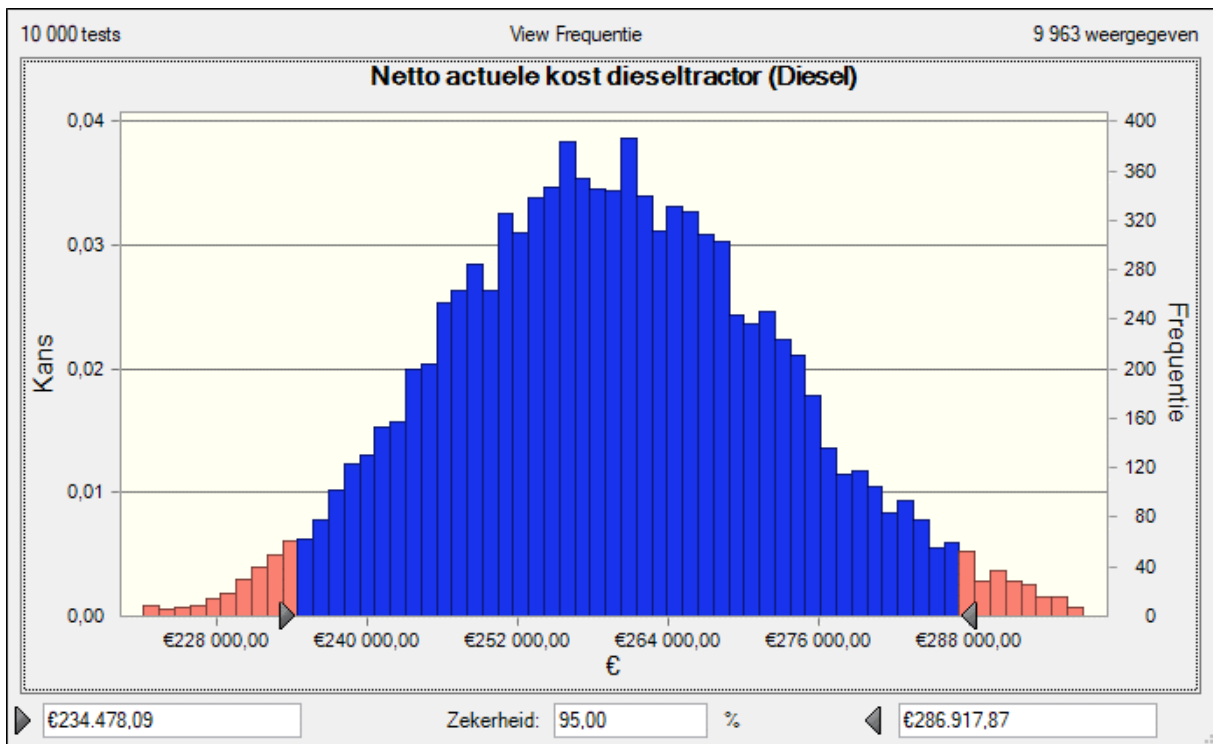
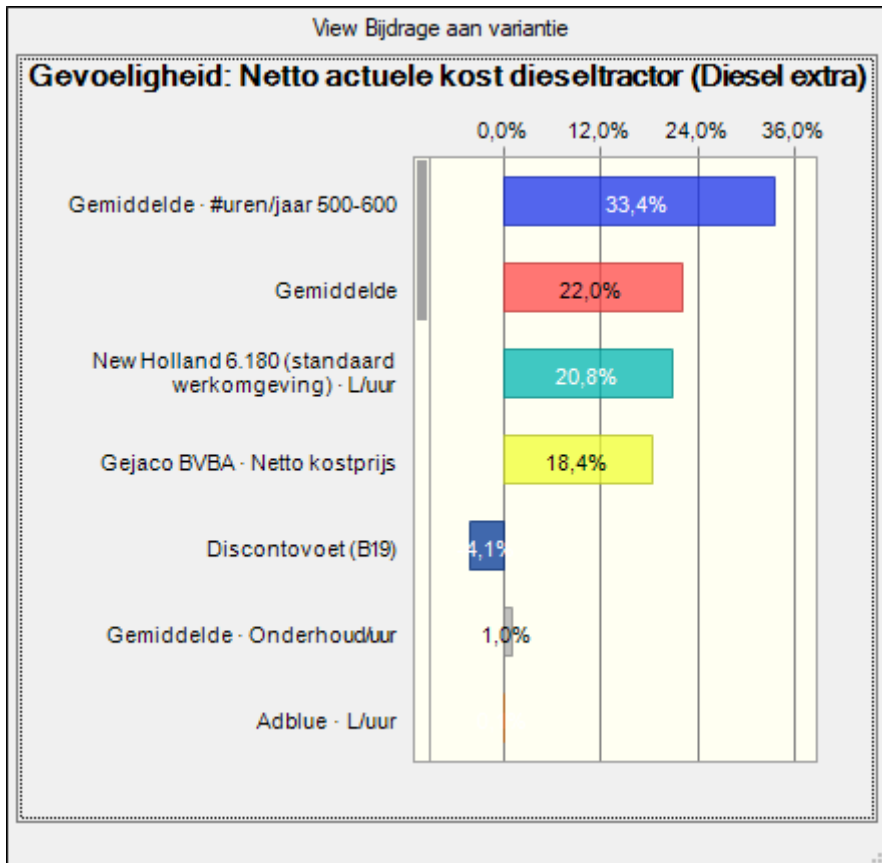
Minimum	4,42%
Waarschijnlijkst	4,91%
Maximum	5,40%

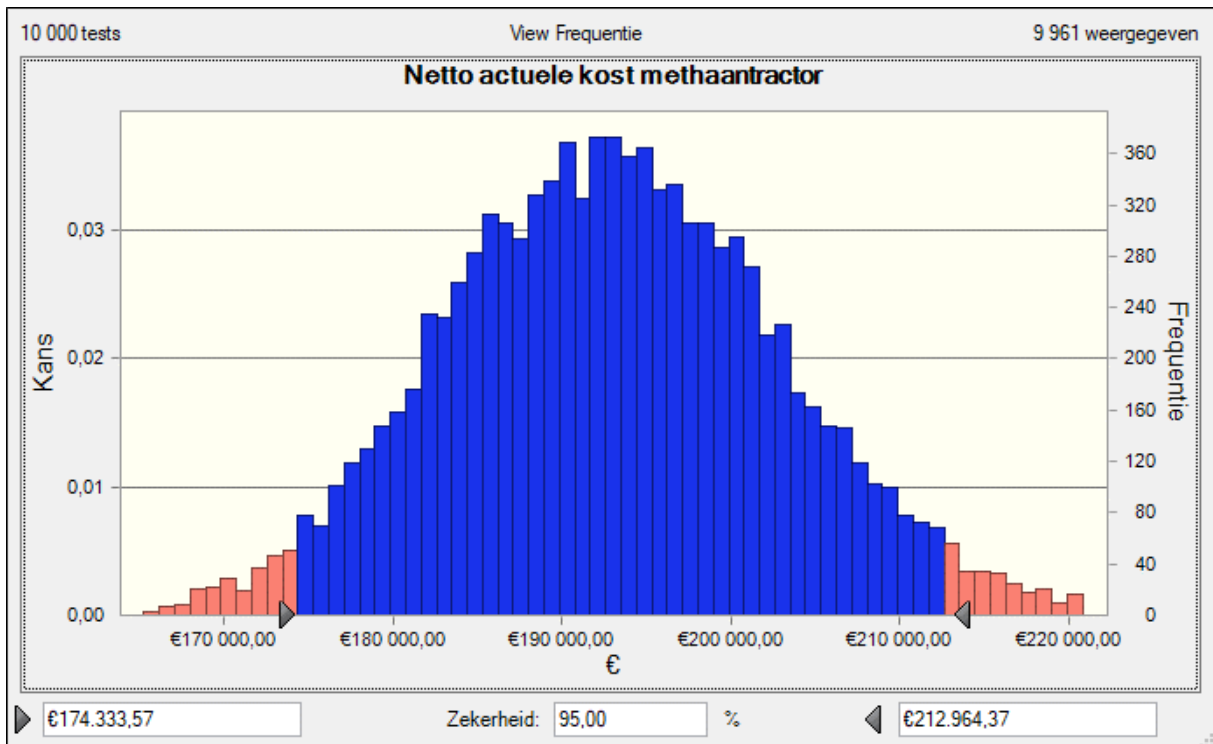
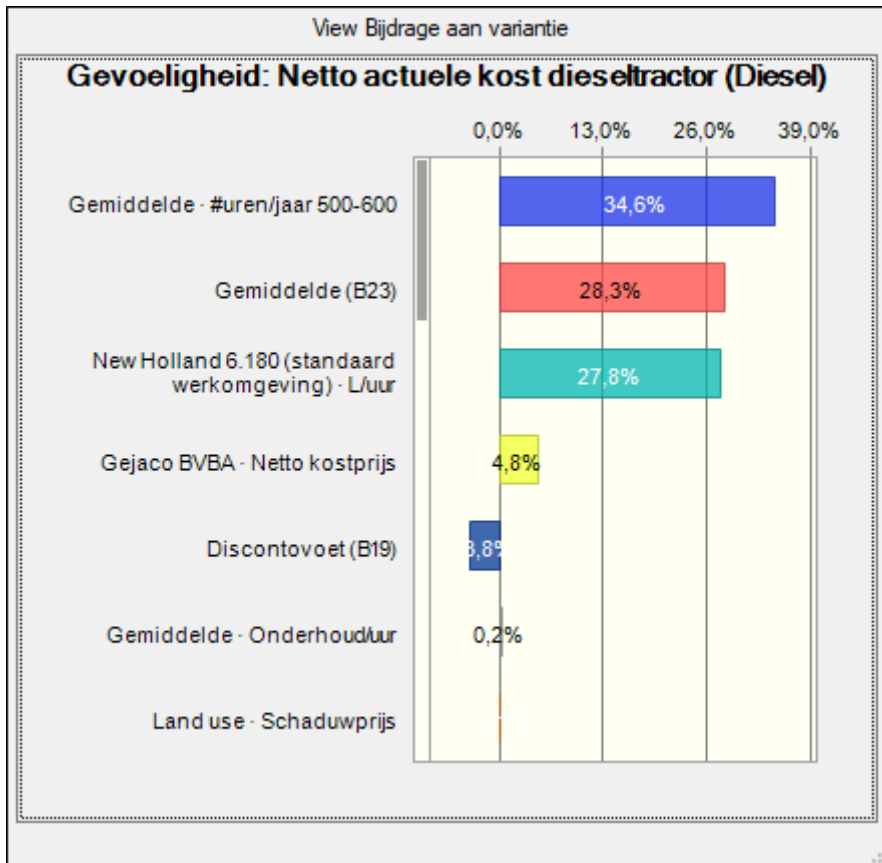


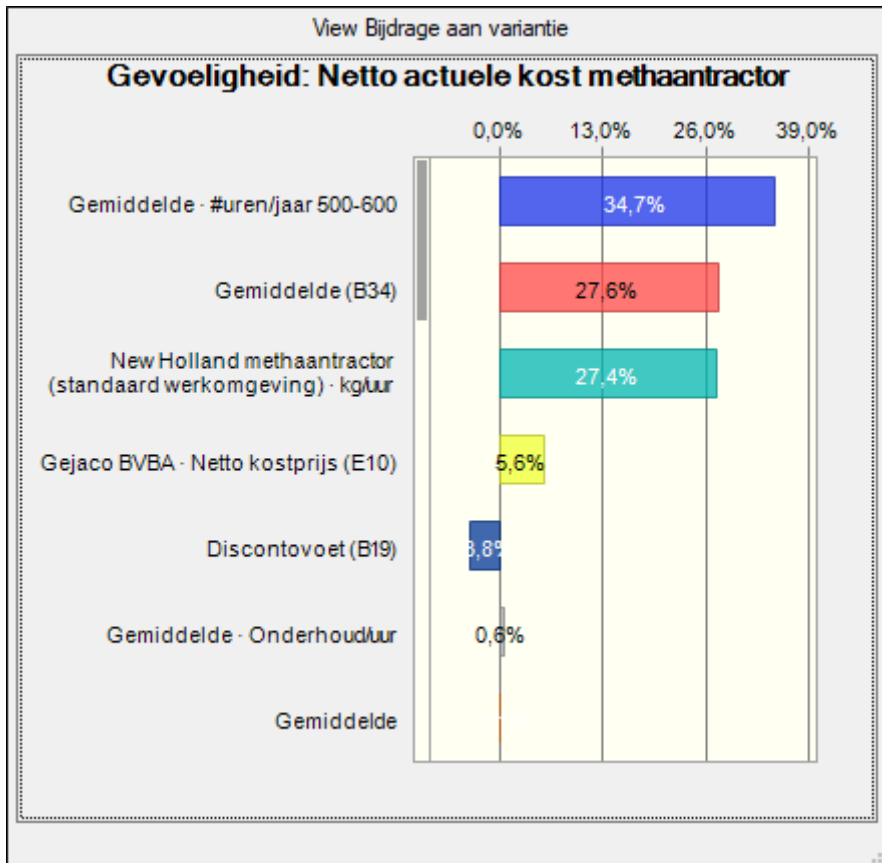
Einde
veronderstellingen

Bijlage 5: Resultaten sensitiviteitsanalyse TEA 10 procent variatie

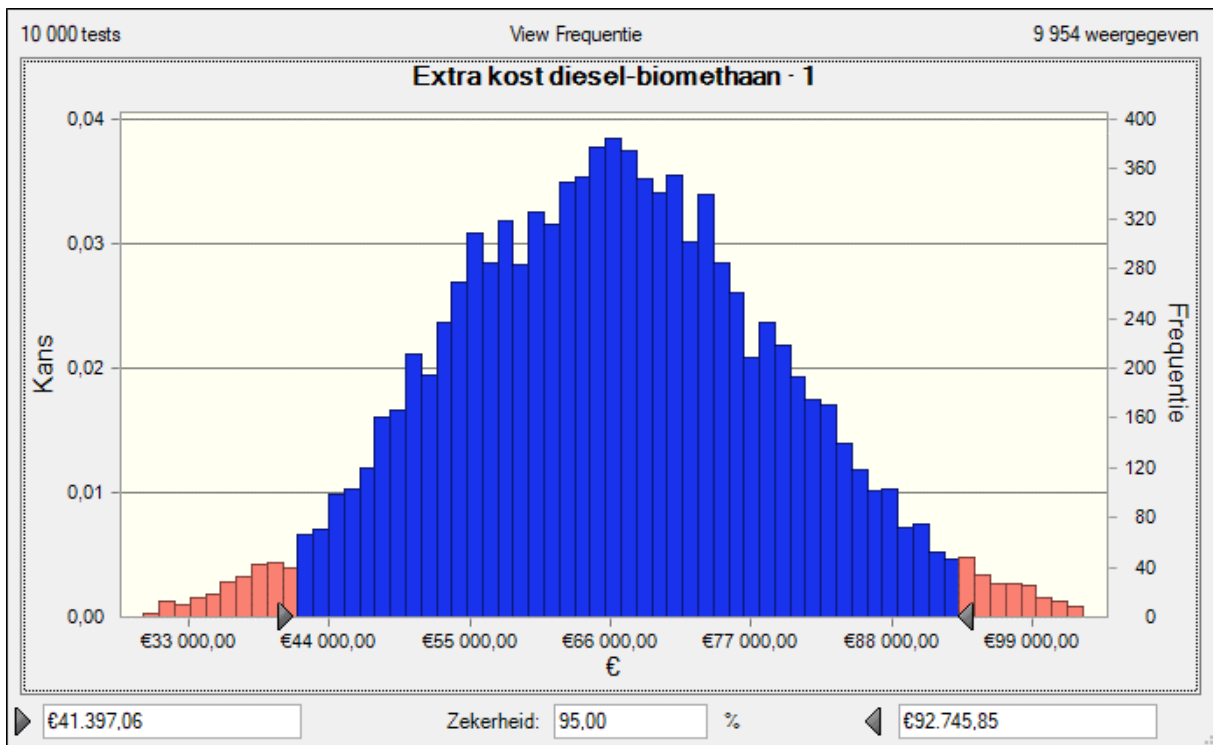


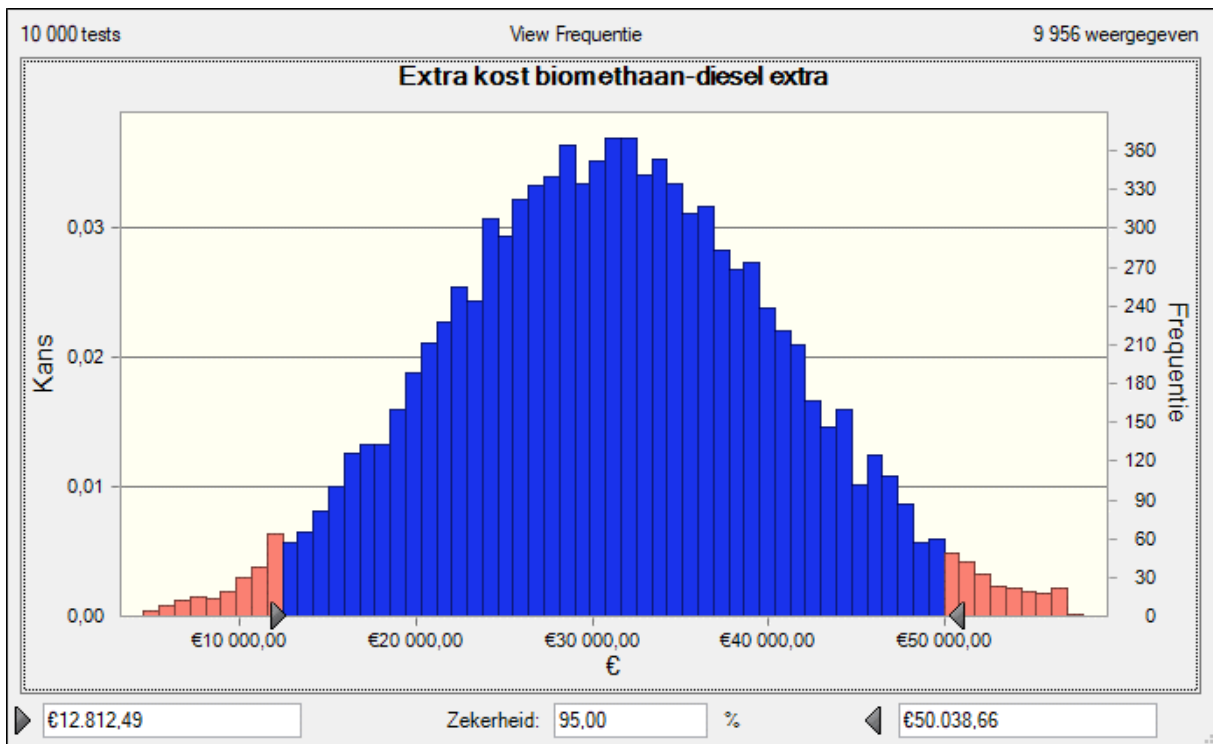
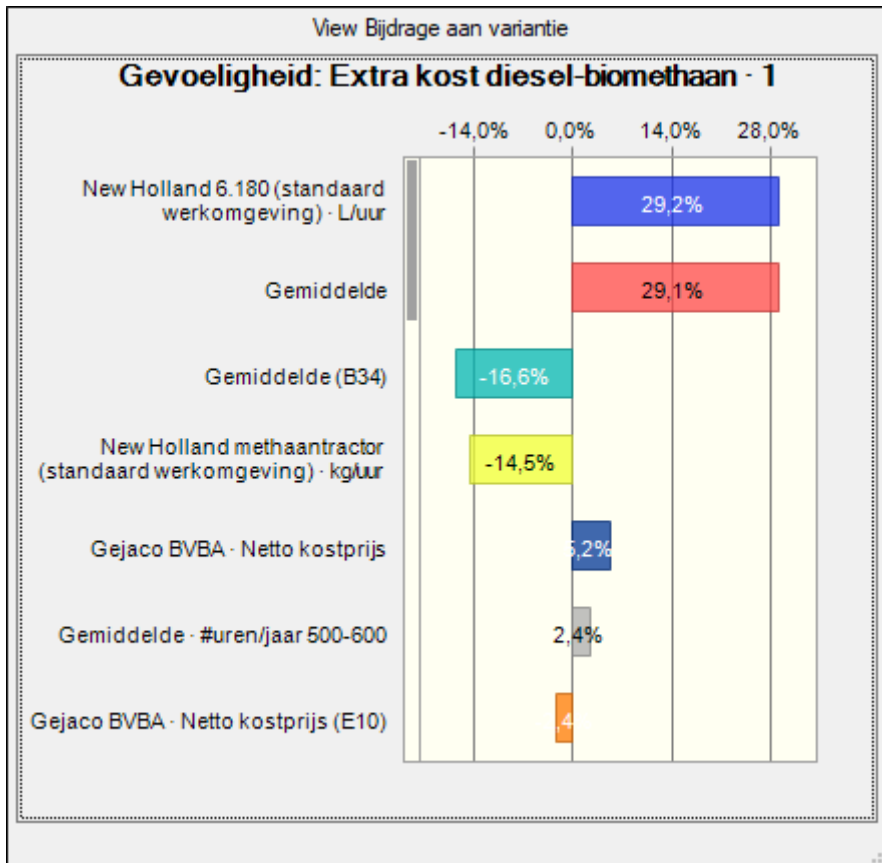


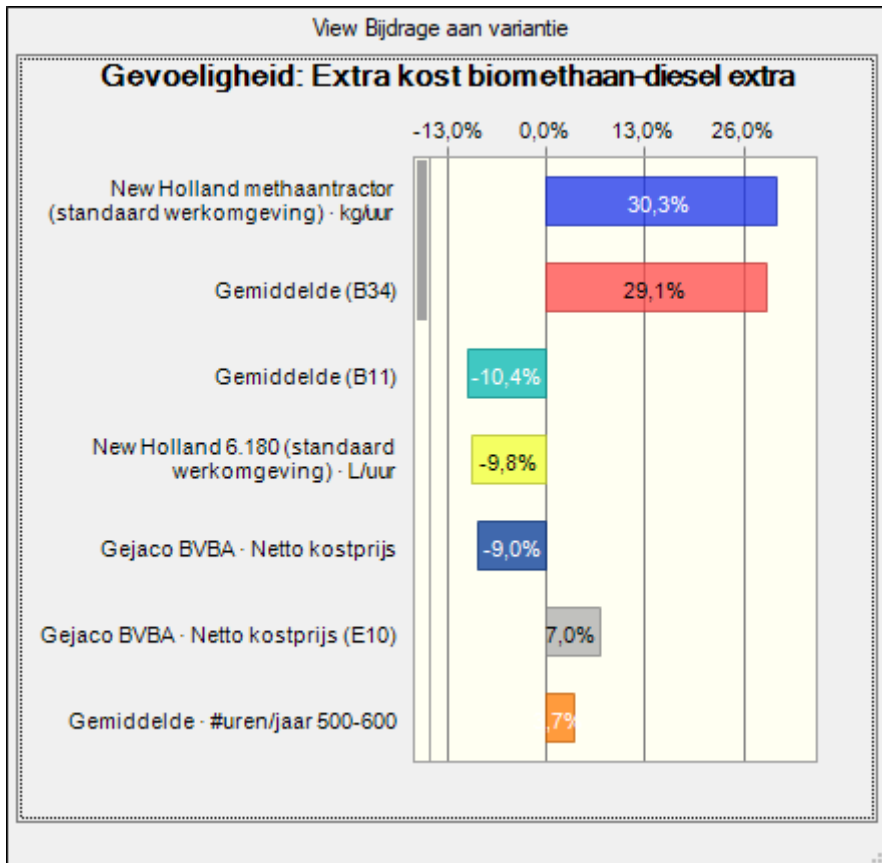




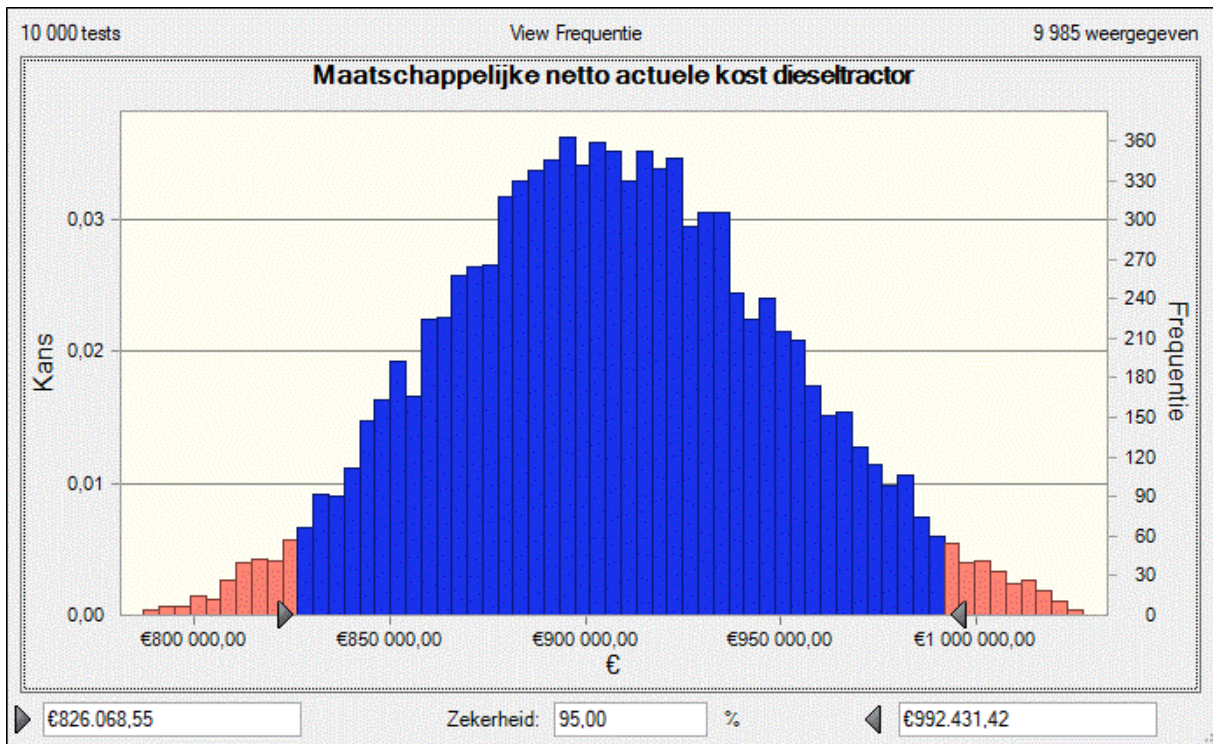
Bijlage 6: Resultaten sensitiviteitsanalyse vergelijking TEA 10% variatie

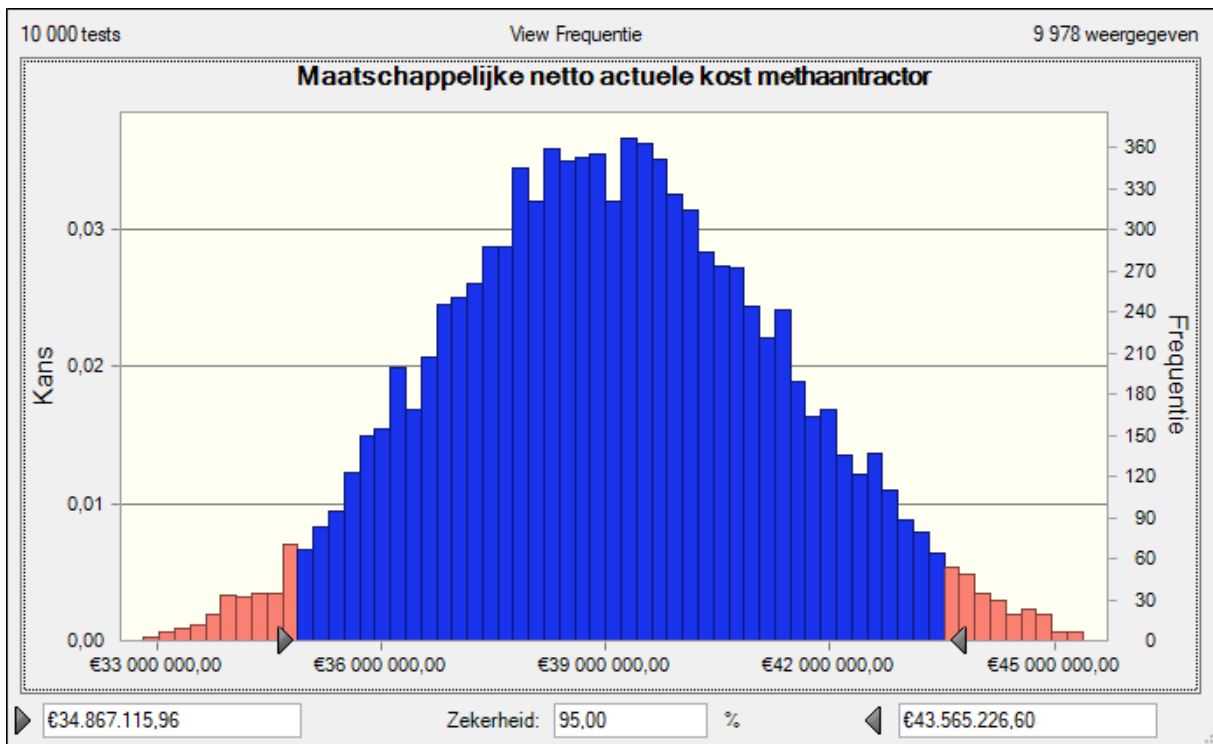
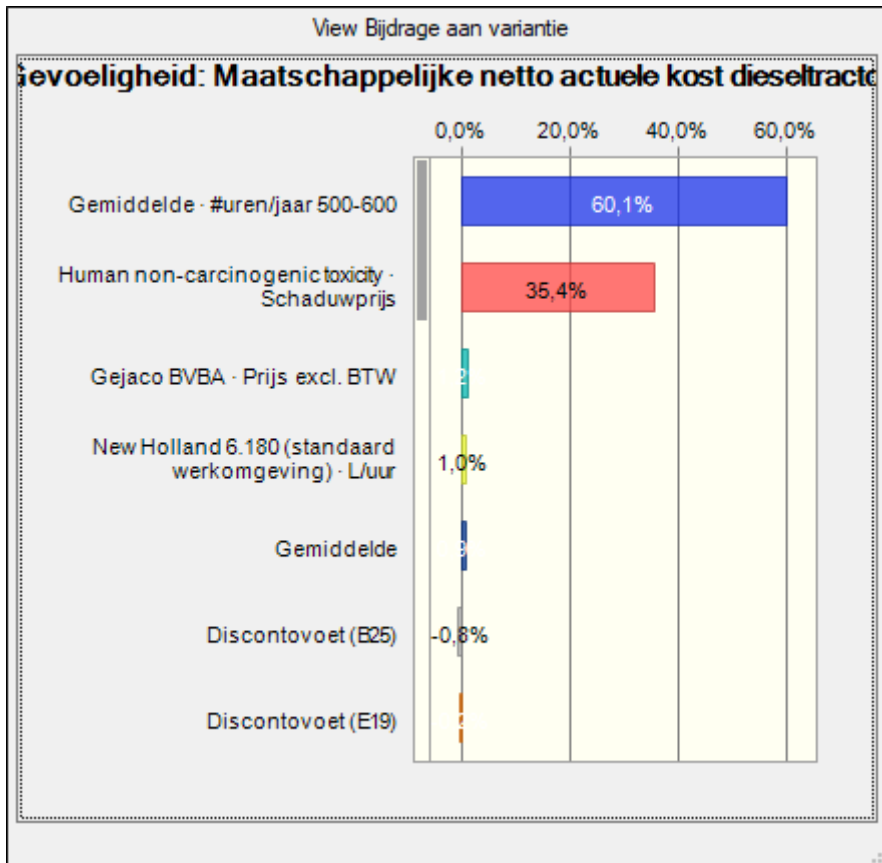


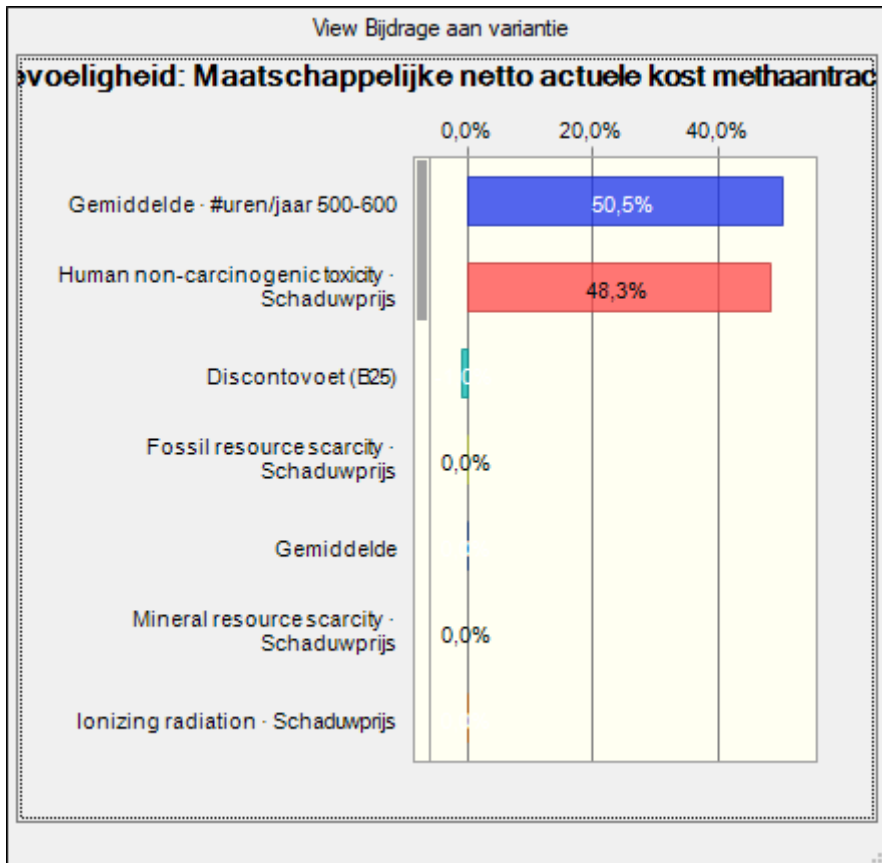




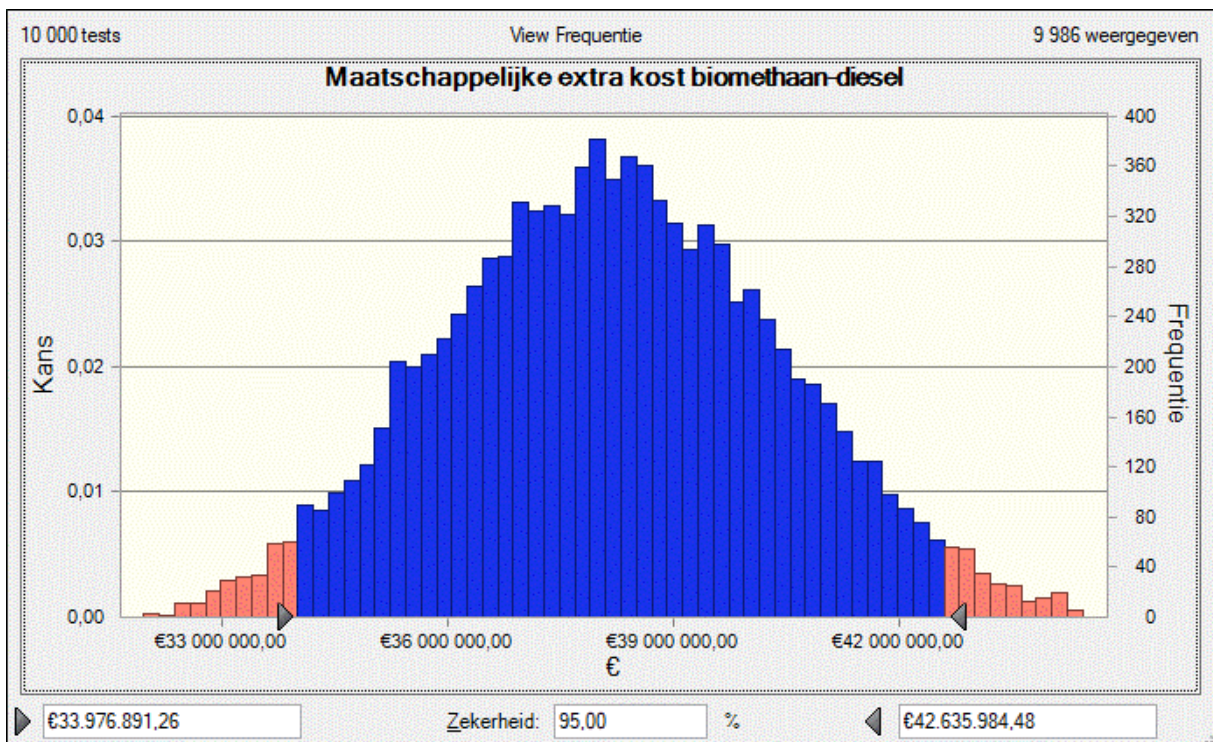
Bijlage 7: Resultaten maatschappelijke sensitiviteitsanalyse TEA 10% variatie



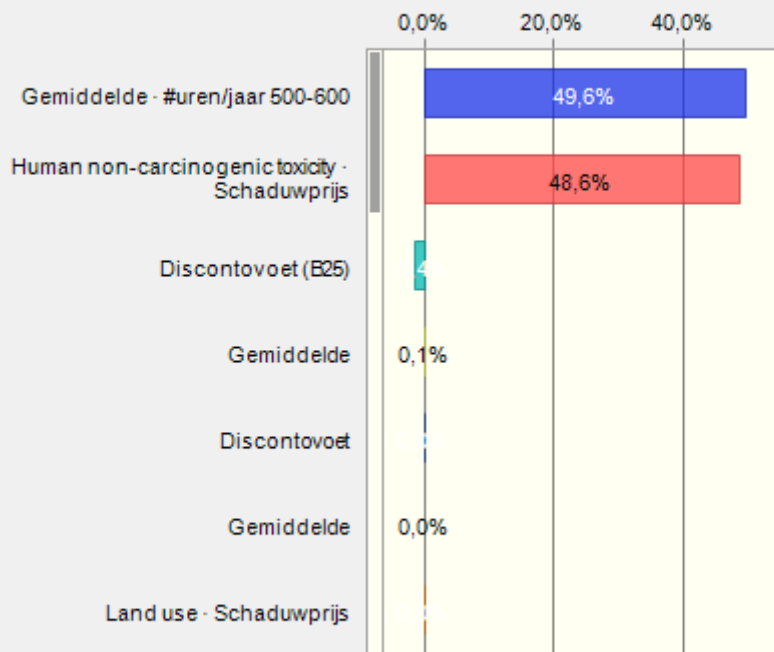




Bijlage 8: Resultaten maatschappelijke sensitiviteitsanalyse vergelijking TEA 10% variatie



Gevoeligheid: Maatschappelijke extra kost biomethaan-diesel



Bijlage 9: Veronderstellingen sensitiviteitsanalyse werkelijke variaties

Crystal Ball- rapport - Veronderstellingen

Geen simulatiegegevens

Veronderstellingen

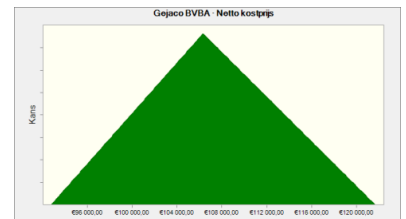
Werkblad: [TEA + Societal TEA sensitiviteitsanalyse.xlsx]Aankoop

Veronderstelling: Gejaco BVBA · Netto kostprijs

Cel:
E9

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	€92 803,00
Waarschijnlijkst	€106 318,00
Maximum	€121 635,00

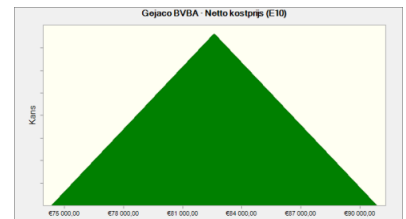


Veronderstelling: Gejaco BVBA · Netto kostprijs (E10)

Cel:
E10

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	€74 340,00
Waarschijnlijkst	€82 600,00
Maximum	€90 860,00

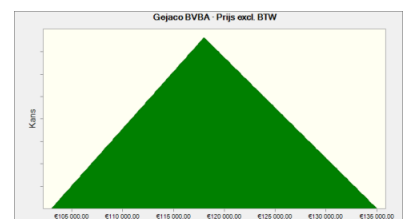


Veronderstelling: Gejaco BVBA · Prijs excl. BTW

Cel:
C9

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	€103 000,00
Waarschijnlijkst	€118 000,00
Maximum	€135 000,00

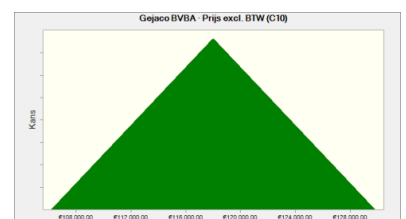


Veronderstelling: Gejaco BVBA · Prijs excl. BTW (C10)

Cel:
C10

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	€106 200,00
---------	-------------



Waarschijnlijkst	€118 000,00
Maximum	€129 800,00

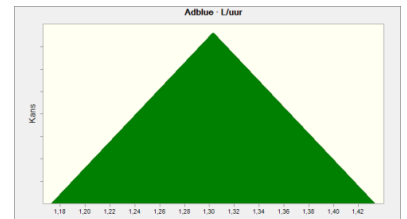
Werkblad: [TEA + Societal TEA sensitiviteitsanalyse.xlsx]AdBlue

Veronderstelling: Adblue · L/uur

Cel:
C4

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	1,17
Waarschijnlijkst	1,30
Maximum	1,43

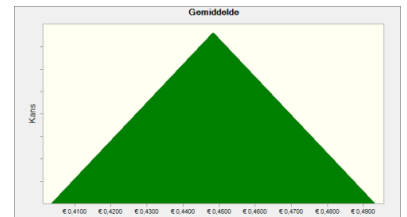


Veronderstelling: Gemiddelde

Cel:
B11

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	€ 0,4035
Waarschijnlijkst	€ 0,4484
Maximum	€ 0,4932



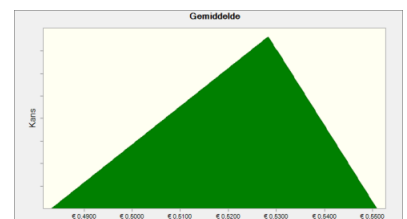
Werkblad: [TEA + Societal TEA sensitiviteitsanalyse.xlsx]Brandstof

Veronderstelling: Gemiddelde

Cel:
B11

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	€ 0,4832
Waarschijnlijkst	€ 0,5283
Maximum	€ 0,5509

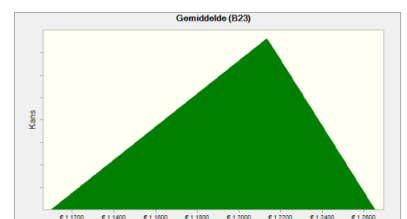


Veronderstelling: Gemiddelde (B23)

Cel:
B23

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	€ 1,1099
---------	----------



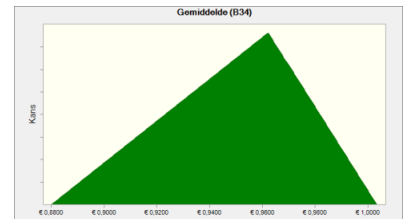
Waarschijnlijkst	€ 1,2134
Maximum	€ 1,2653

Veronderstelling: Gemiddelde (B34)

**Cell:
B34**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	€ 0,8801
Waarschijnlijkst	€ 0,9622
Maximum	€ 1,0034

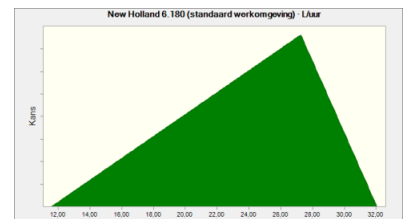


Veronderstelling: New Holland 6.180 (standaard werkomgeving) · L/uur

**Cell:
C3**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	11,57
Waarschijnlijkst	27,26
Maximum	32,05

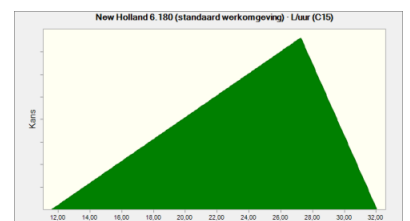


Veronderstelling: New Holland 6.180 (standaard werkomgeving) · L/uur (C15)

**Cell:
C15**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	11,57
Waarschijnlijkst	27,26
Maximum	32,05

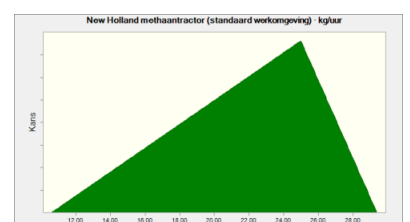


Veronderstelling: New Holland methaantractor (standaard werkomgeving) · kg/uur

**Cell:
C27**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	10,60
Waarschijnlijkst	24,98
Maximum	29,37

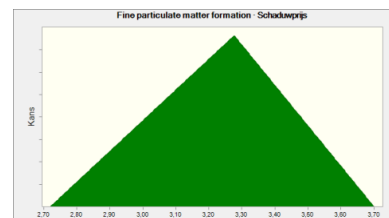


Veronderstelling: Fine particulate matter formation · Schaduwprijs

**Cel:
C6**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	2,72
Waarschijnlijkst	3,28
Maximum	3,70

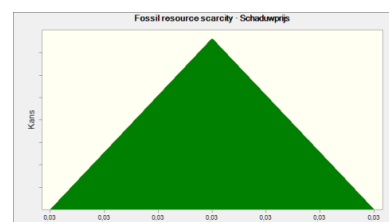


Veronderstelling: Fossil resource scarcity · Schaduwprijs

**Cel:
C17**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,03
Waarschijnlijkst	0,03
Maximum	0,03

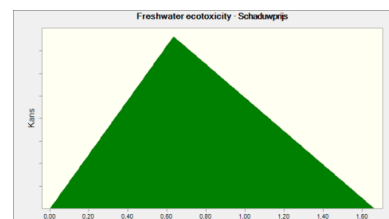


Veronderstelling: Freshwater ecotoxicity · Schaduwprijs

**Cel:
C11**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,00
Waarschijnlijkst	0,63
Maximum	1,66

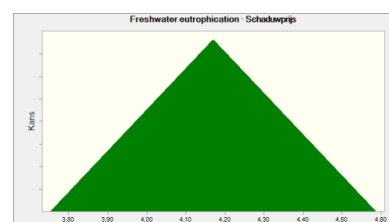


Veronderstelling: Freshwater eutrophication · Schaduwprijs

**Cel:
C9**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	3,75
Waarschijnlijkst	4,17
Maximum	4,59

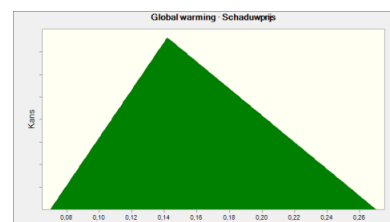


Veronderstelling: Global warming · Schaduwprijs

**Cel:
C2**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,07
Waarschijnlijkst	0,14
Maximum	0,27

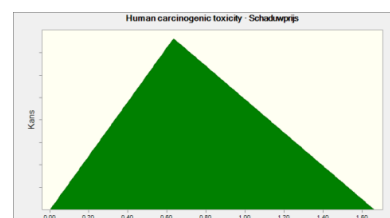


Veronderstelling: Human carcinogenic toxicity · Schaduwprijs

**Cel:
C13**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,00
Waarschijnlijkst	0,63
Maximum	1,66

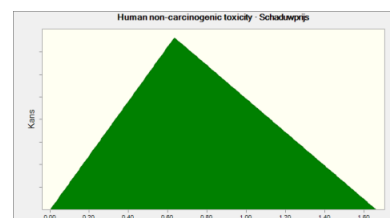


Veronderstelling: Human non-carcinogenic toxicity · Schaduwprijs

**Cel:
C14**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,00
Waarschijnlijkst	0,63
Maximum	1,66

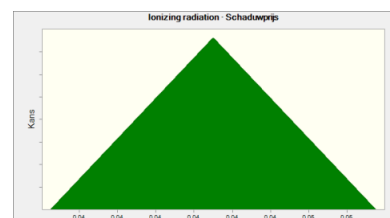


Veronderstelling: Ionizing radiation · Schaduwprijs

**Cel:
C4**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,04
Waarschijnlijkst	0,04
Maximum	0,05

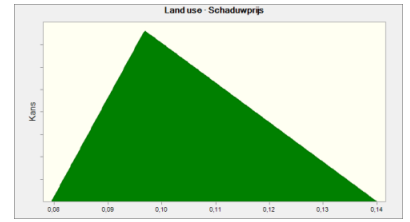


Veronderstelling: Land use · Schaduwprijs

**Cel:
C15**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,08
Waarschijnlijkst	0,10
Maximum	0,14

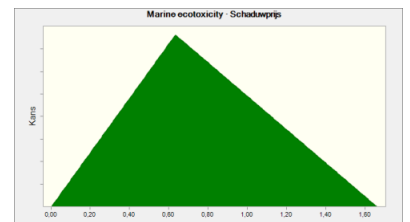


Veronderstelling: Marine ecotoxicity · Schaduwprijs

**Cel:
C12**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,00
Waarschijnlijkst	0,63
Maximum	1,66

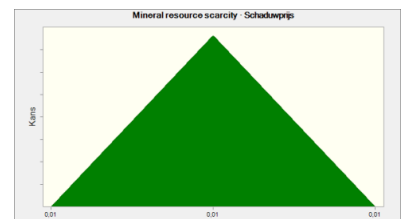


Veronderstelling: Mineral resource scarcity · Schaduwprijs

**Cel:
C16**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	0,01
Waarschijnlijkst	0,01
Maximum	0,01

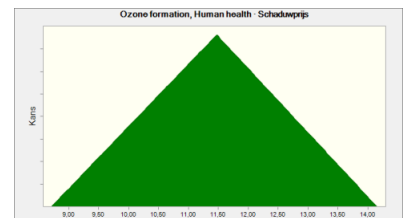


Veronderstelling: Ozone formation, Human health · Schaduwprijs

**Cel:
C5**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	8,71
Waarschijnlijkst	11,47
Maximum	14,15

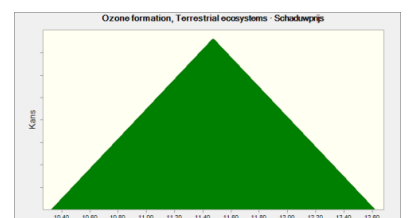


Veronderstelling: Ozone formation, Terrestrial ecosystems · Schaduwprijs

**Cel:
C7**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	10,33
Waarschijnlijkst	11,47



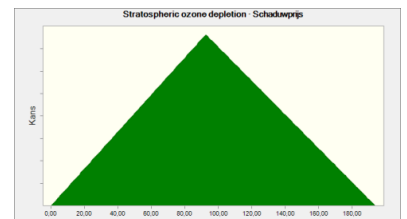
Maximum 12,62

Veronderstelling: Stratospheric ozone depletion · Schaduwprijs

**Cell:
C3**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum 0,16
Waarschijnlijkst 92,66
Maximum 193,91

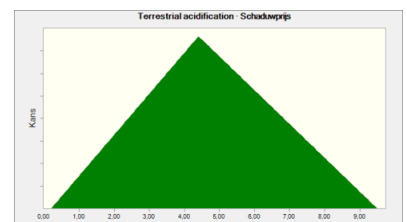


Veronderstelling: Terrestrial acidification · Schaduwprijs

**Cell:
C8**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum 0,21
Waarschijnlijkst 4,40
Maximum 9,49

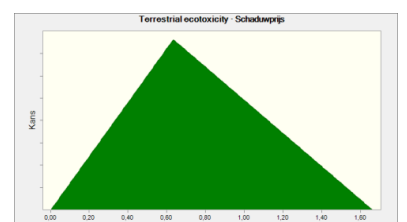


Veronderstelling: Terrestrial ecotoxicity · Schaduwprijs

**Cell:
C10**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum 0,00
Waarschijnlijkst 0,63
Maximum 1,66

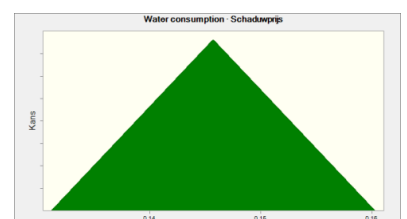


Veronderstelling: Water consumption · Schaduwprijs

**Cell:
C18**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum 0,13
Waarschijnlijkst 0,15
Maximum 0,16



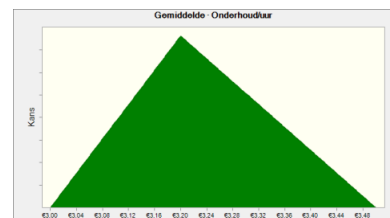
Werkblad: [TEA + Societal TEA sensitiviteitsanalyse.xlsx]Onderhoud

Veronderstelling: Gemiddelde · Onderhoud/uur

Cell: C8

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	€3,00
Waarschijnlijkst	€3,20
Maximum	€3,50



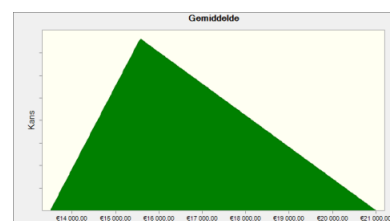
Werkblad: [TEA + Societal TEA sensitiviteitsanalyse.xlsx]Restwaarde

Veronderstelling: Gemiddelde

Cell: B9

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	€13 500,00
Waarschijnlijkst	€15 571,43
Maximum	€21 000,00



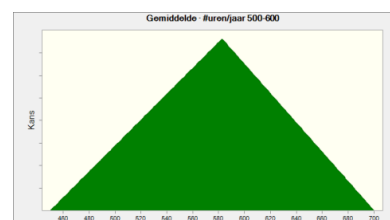
Werkblad: [TEA + Societal TEA sensitiviteitsanalyse.xlsx]Uren

Veronderstelling: Gemiddelde · #uren/jaar 500-600

Cell: B8

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	450
Waarschijnlijkst	583
Maximum	700



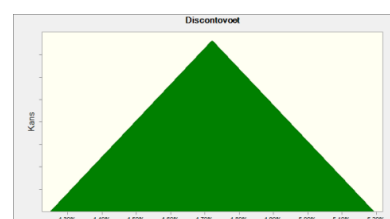
Werkblad: [TEA + Societal TEA sensitiviteitsanalyse.xlsx]Verdisconteringsvoet

Veronderstelling: Discontovoet

Cell: B8

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum	4,25%
Waarschijnlijkst	4,72%



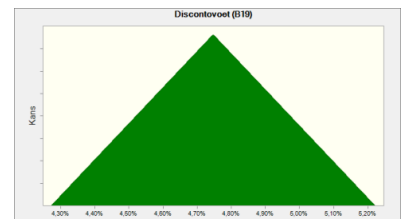
Maximum 5,19%

Veronderstelling: Discontovoet (B19)

**Cel:
B19**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum 4,27%
Waarschijnlijkst 4,75%
Maximum 5,22%

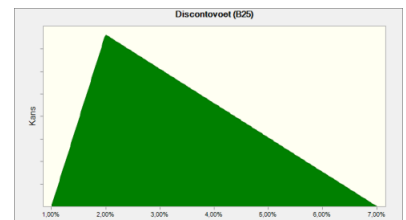


Veronderstelling: Discontovoet (B25)

**Cel:
B25**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum 1,00%
Waarschijnlijkst 2,00%
Maximum 7,00%

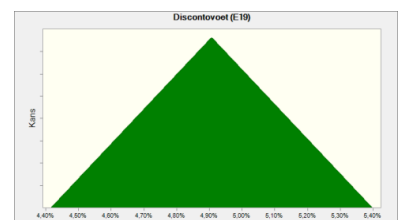


Veronderstelling: Discontovoet (E19)

**Cel:
E19**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

Minimum 4,42%
Waarschijnlijkst 4,91%
Maximum 5,40%

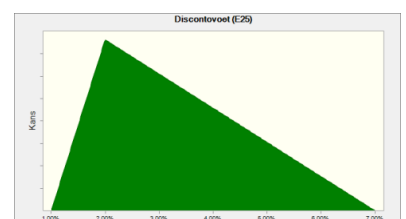


Veronderstelling: Discontovoet (E25)

**Cel:
E25**

Driehoeksmatrix distributie met parameters:

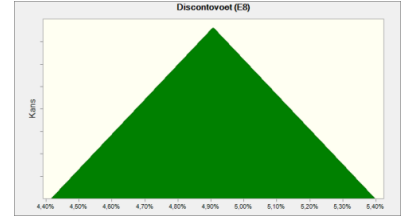
Minimum 1,00%
Waarschijnlijkst 2,00%
Maximum 7,00%



Veronderstelling: Discontovoet (E8)

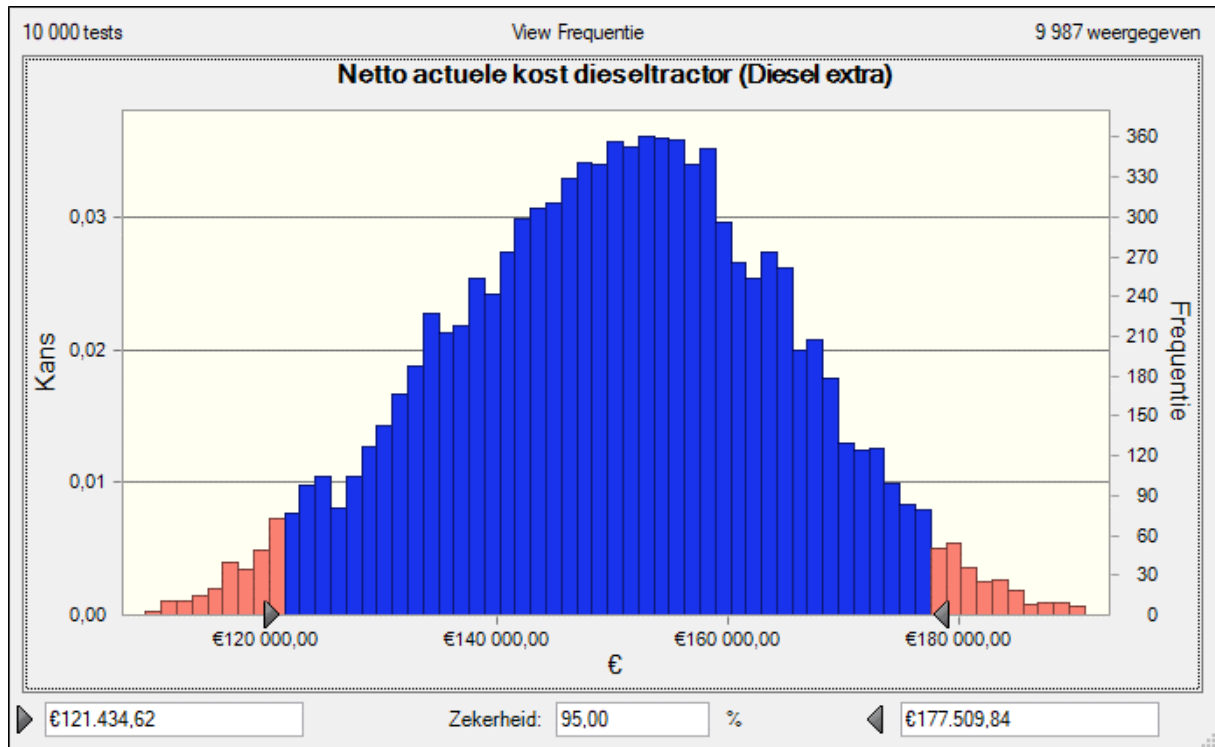
Driehoeksmatrix distributie met parameters:

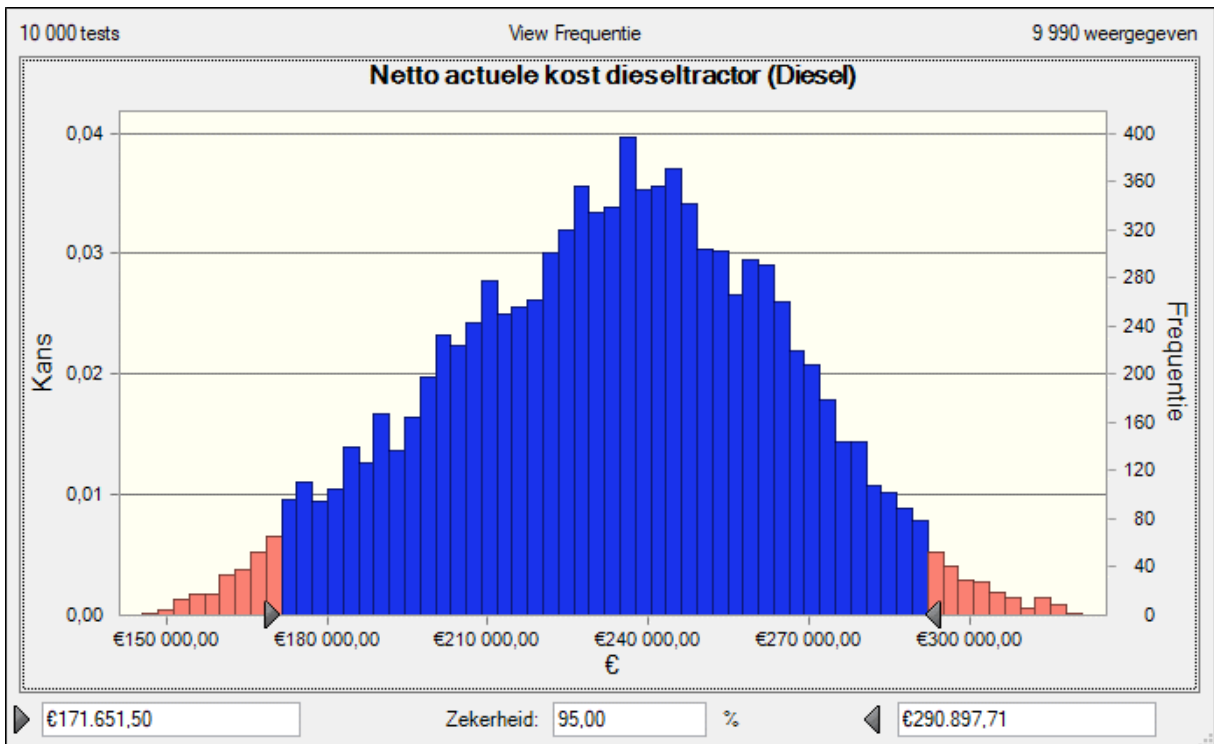
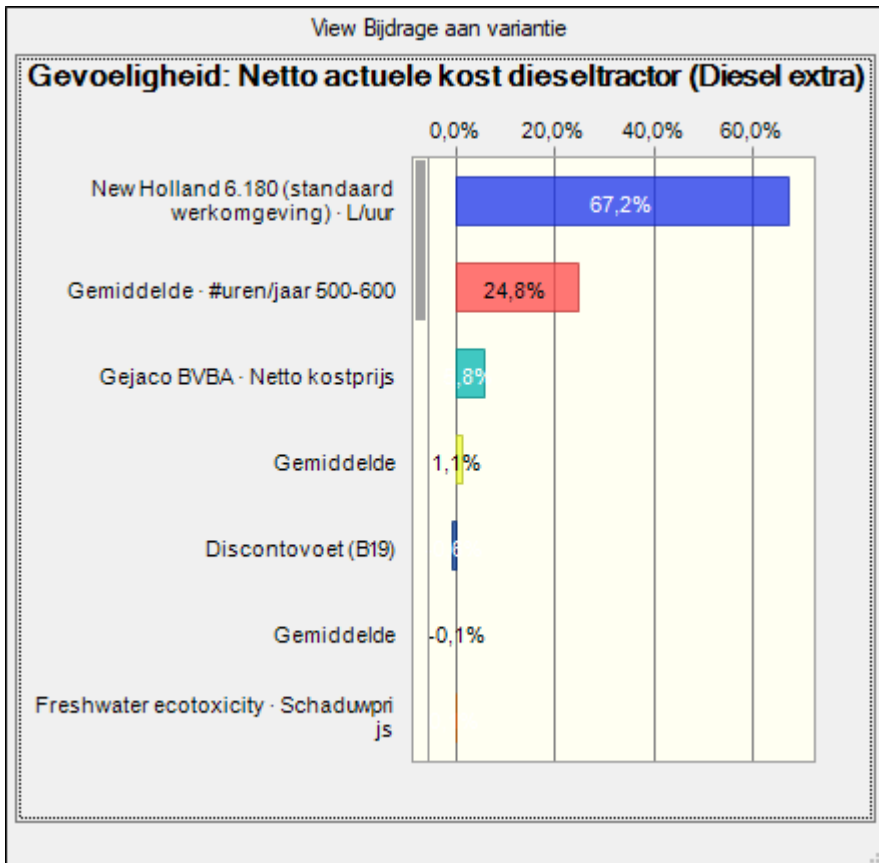
Minimum	4,42%
Waarschijnlijkst	4,91%
Maximum	5,40%

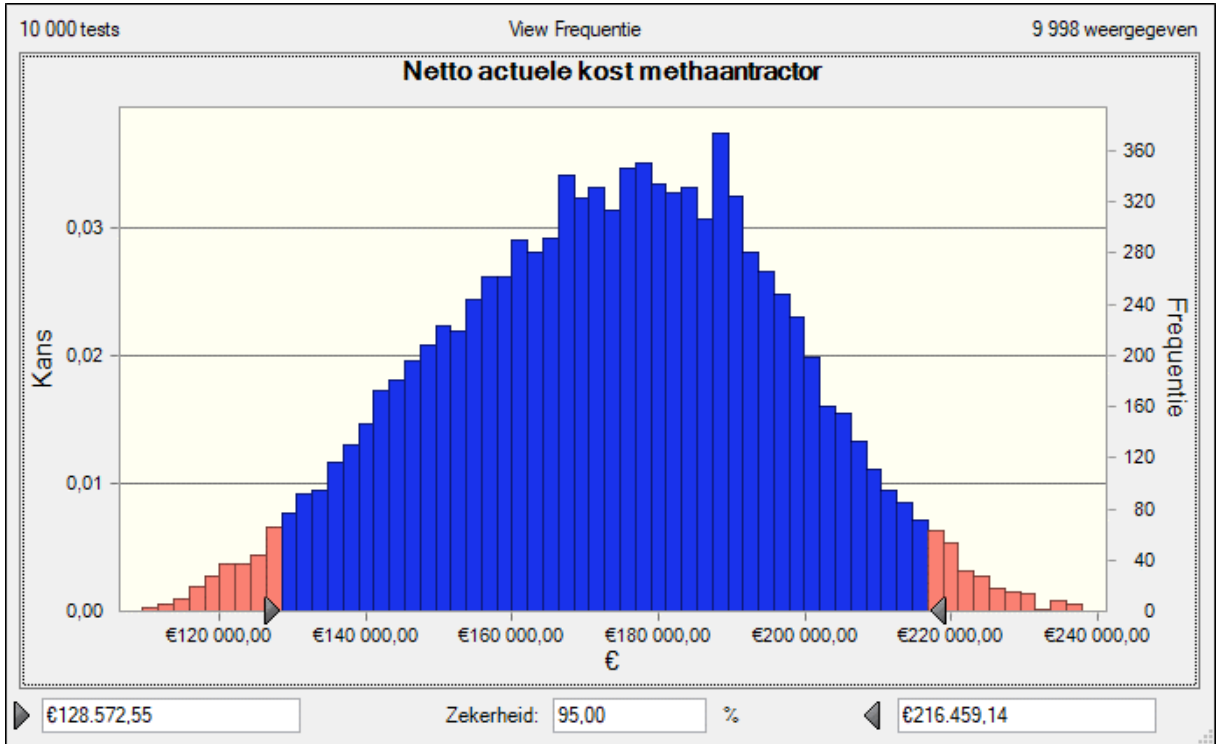
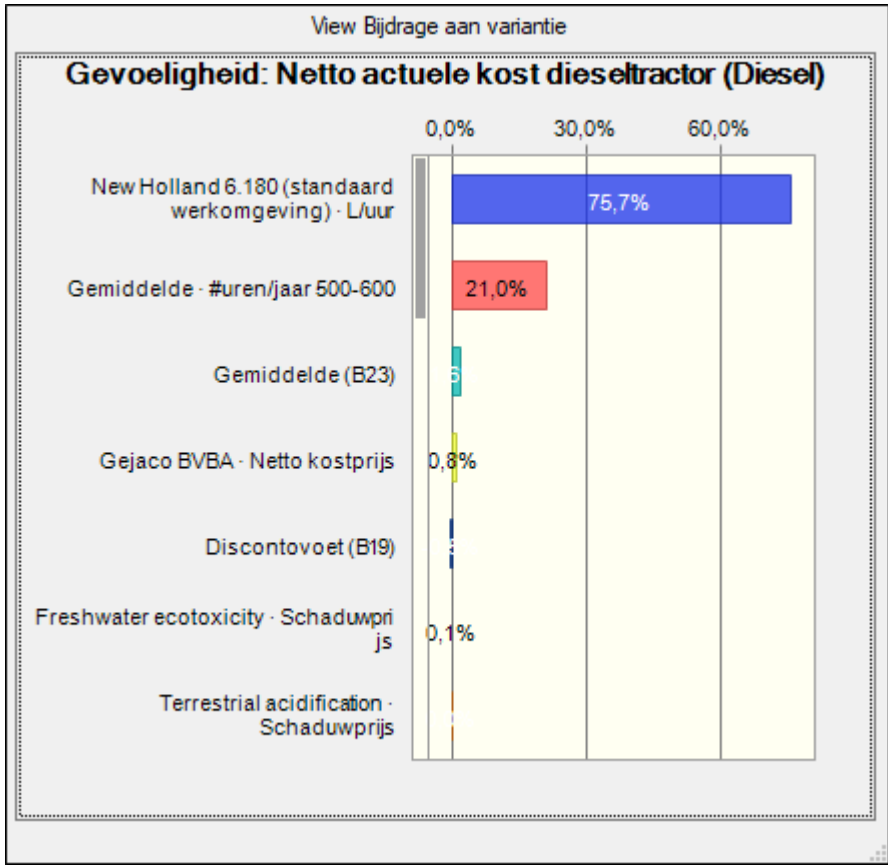


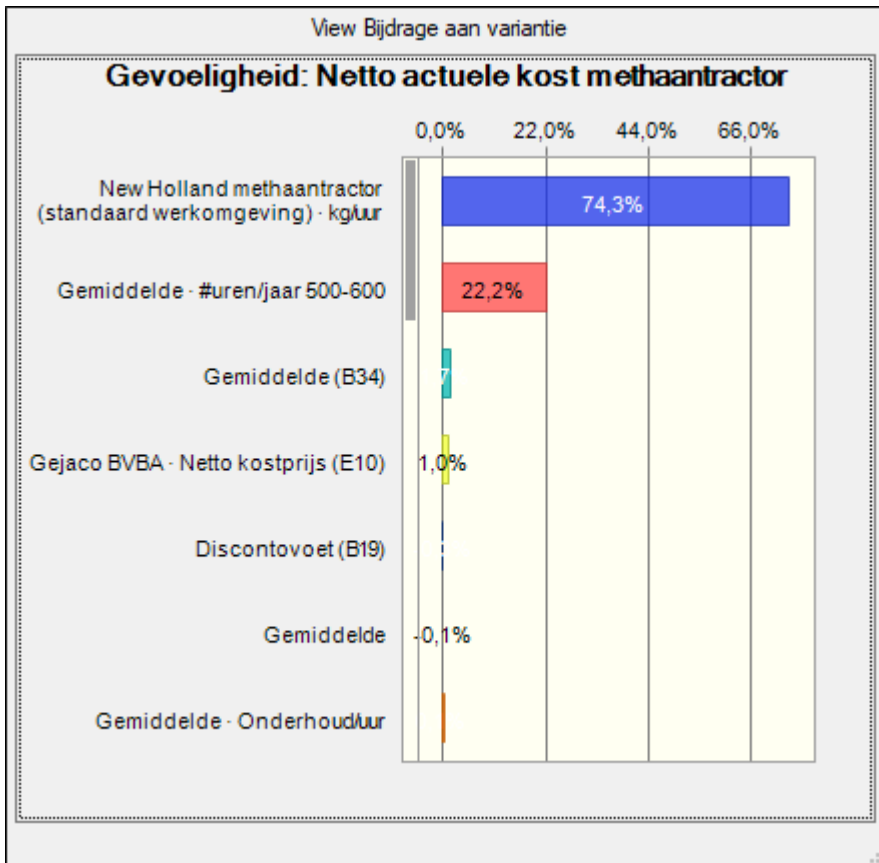
Einde versonderstellingen

Bijlage 10: Resultaten sensitiviteitsanalyse TEA werkelijke variatie

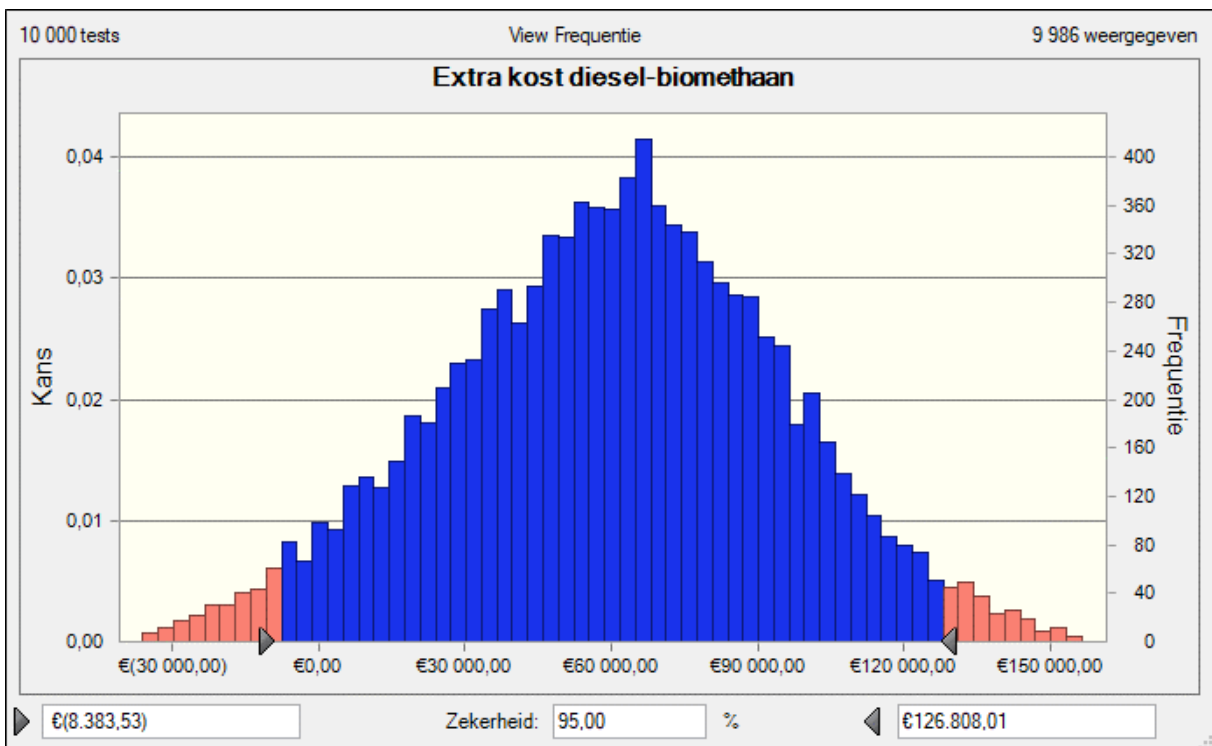


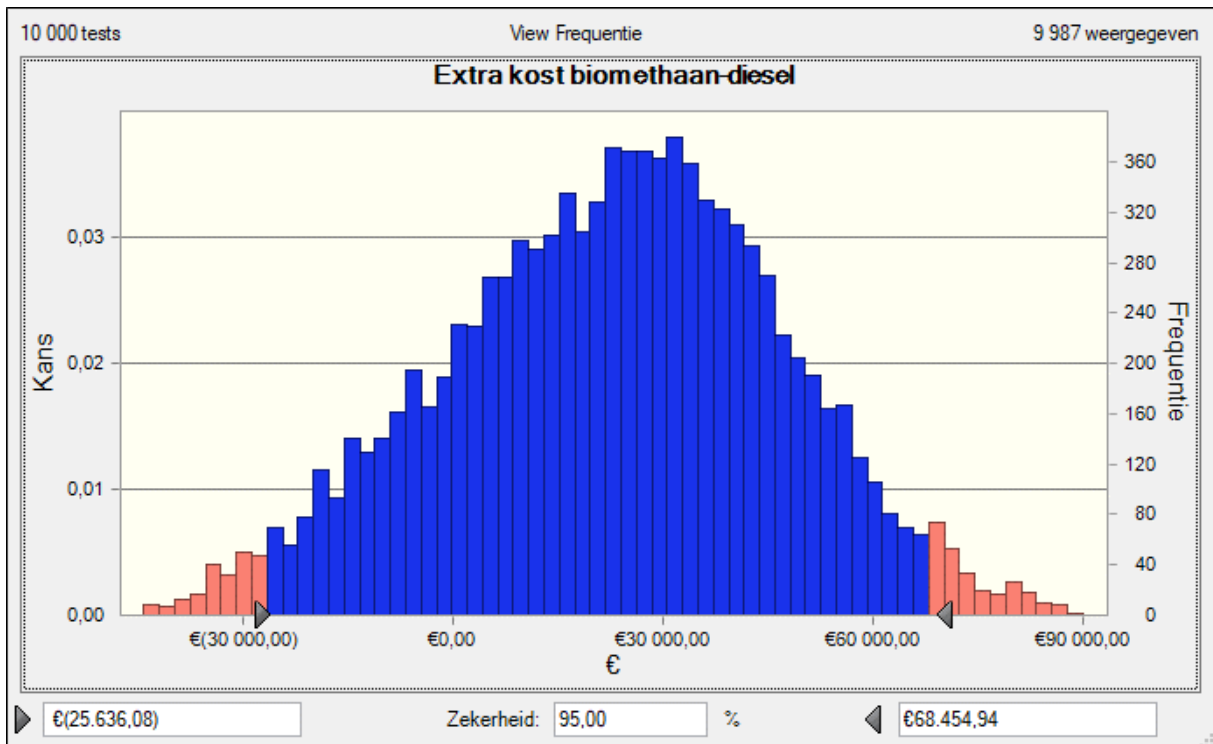
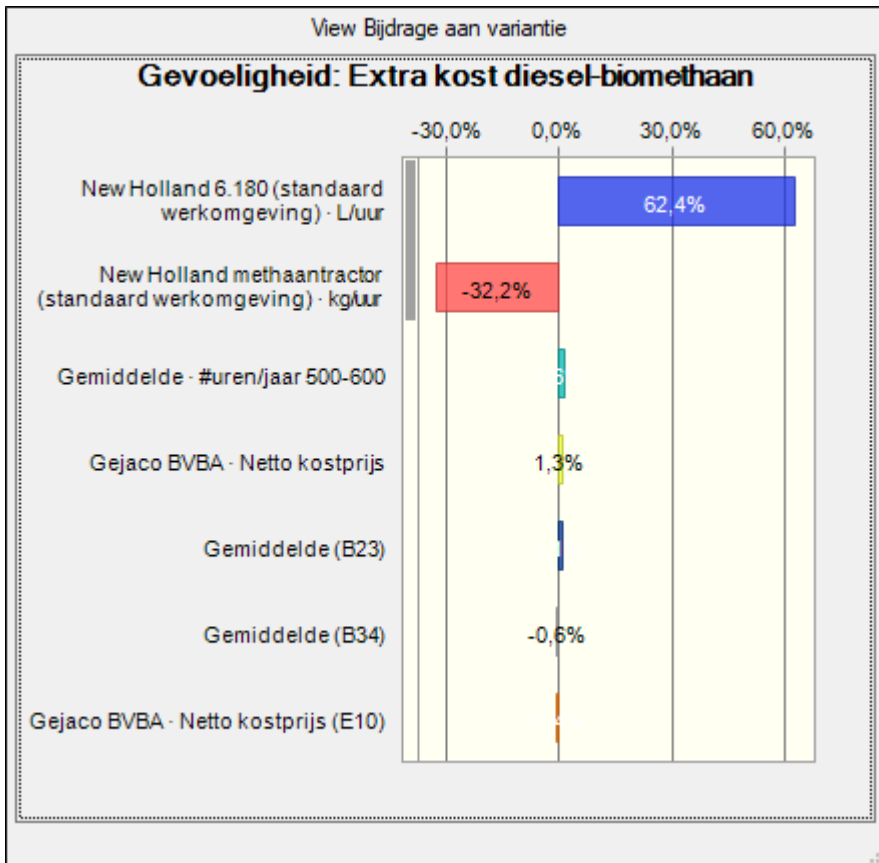


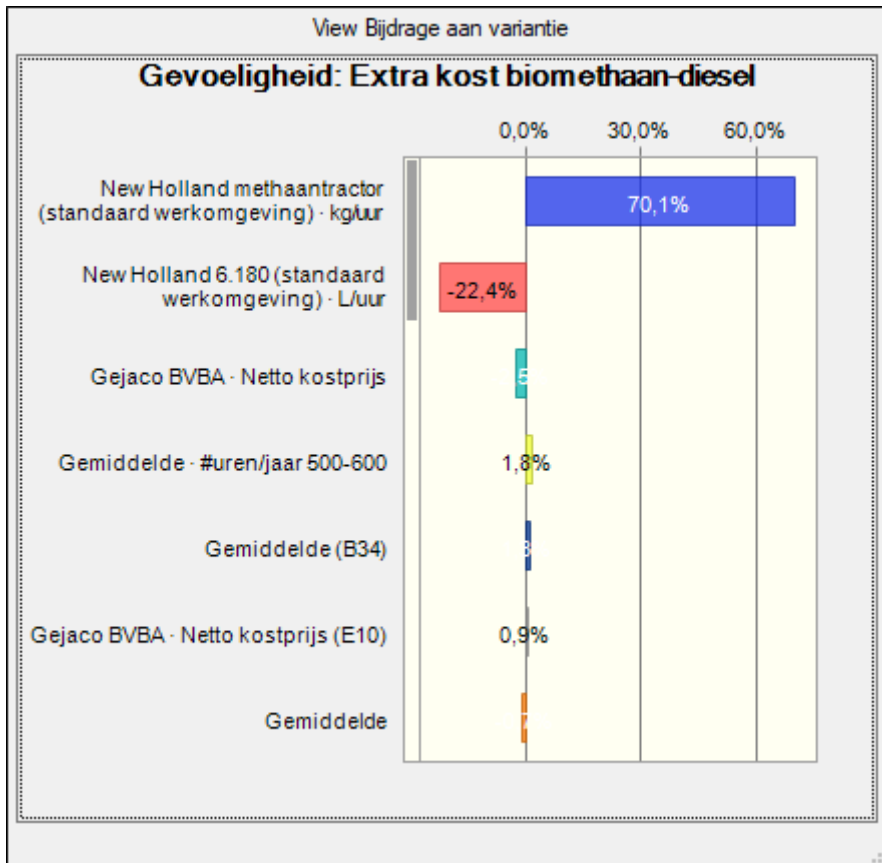




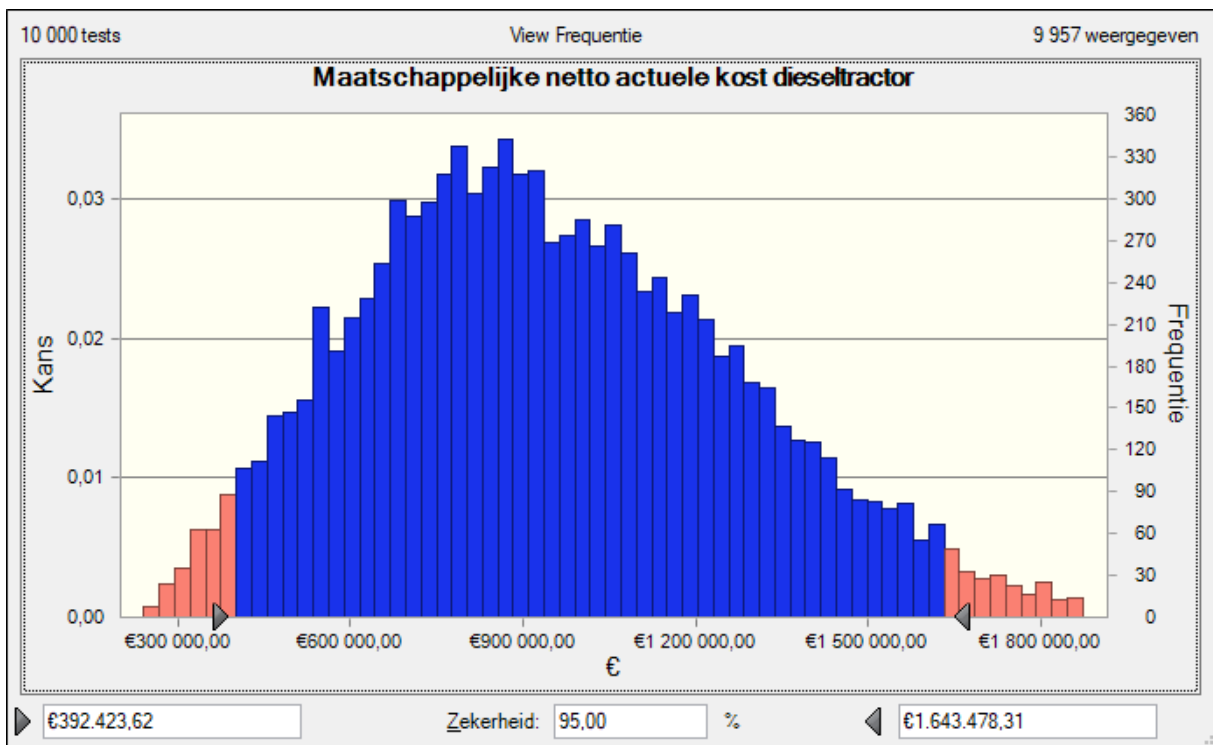
Bijlage 11: Resultaten sensitiviteitsanalyse vergelijking TEA werkelijke variatie

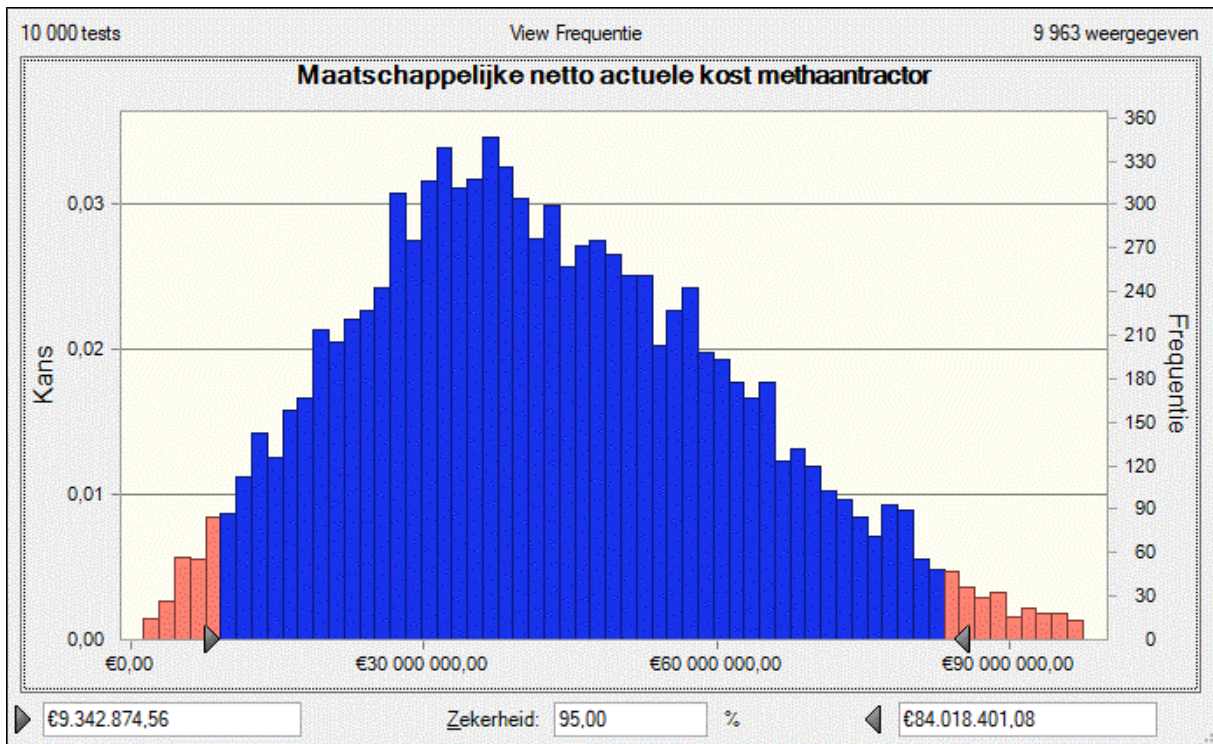
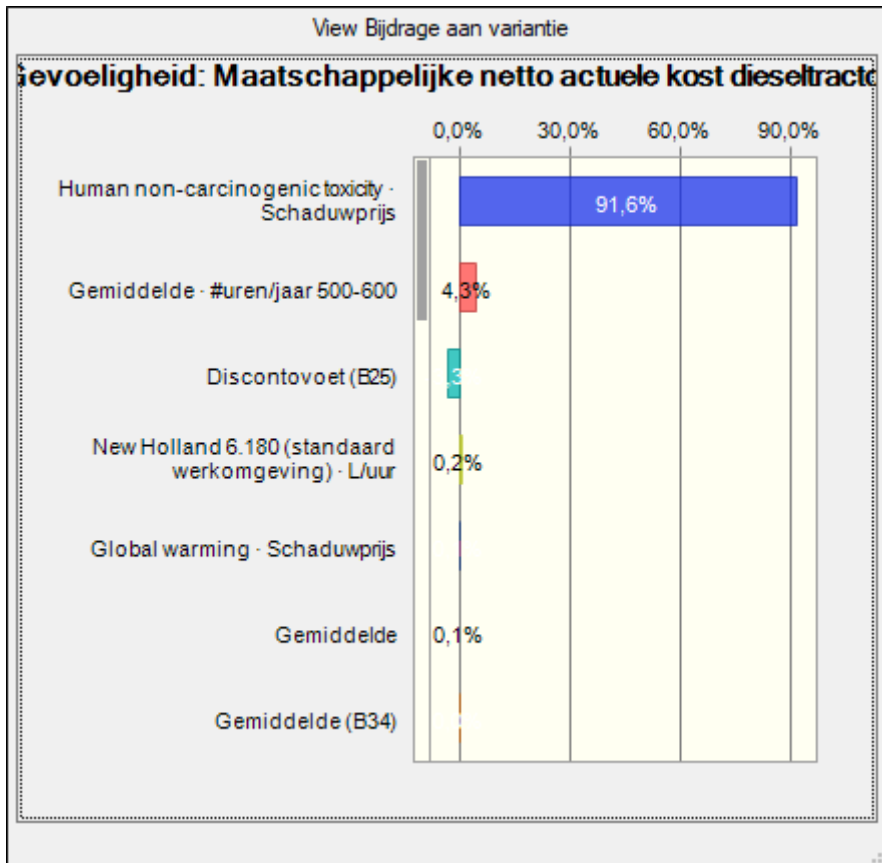


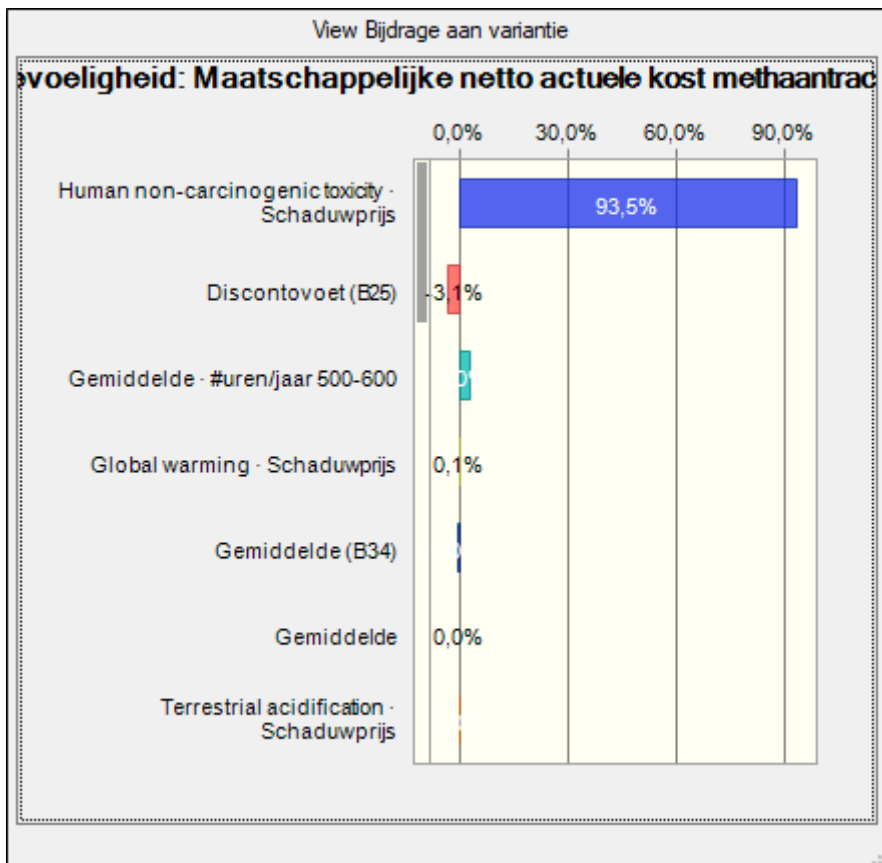




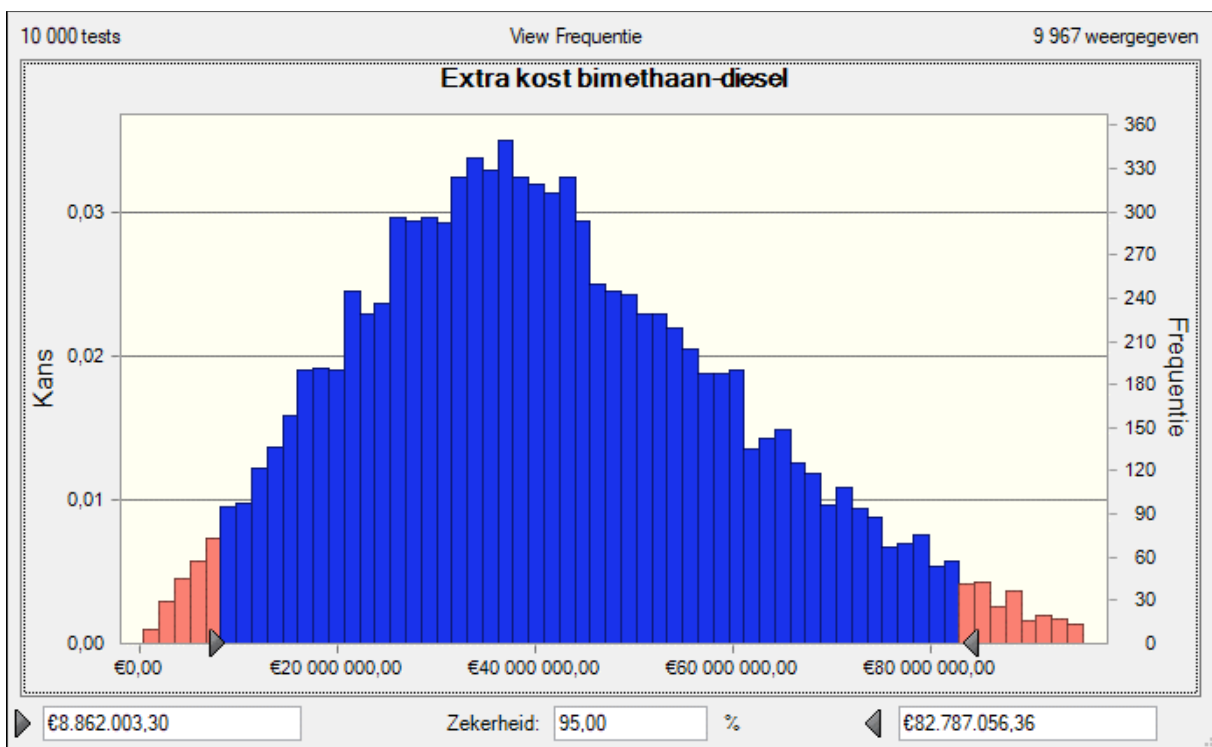
Bijlage 12: Resultaten maatschappelijke sensitiviteitsanalyse TEA werkelijke variatie



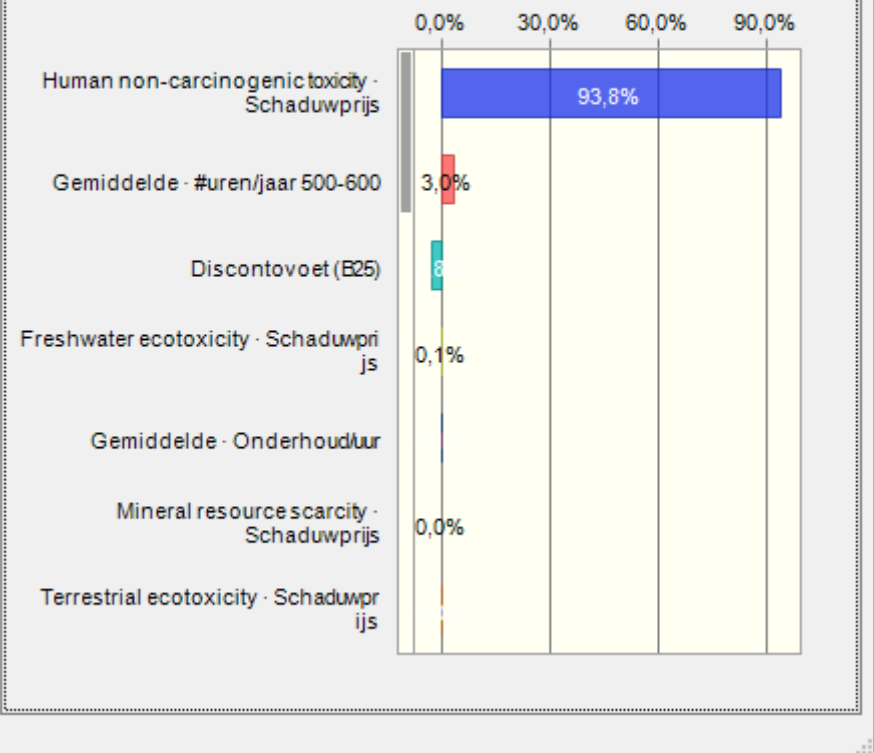




Bijlage 13: Resultaten maatschappelijke sensitiviteitsanalyse vergelijking TEA werkelijke variatie



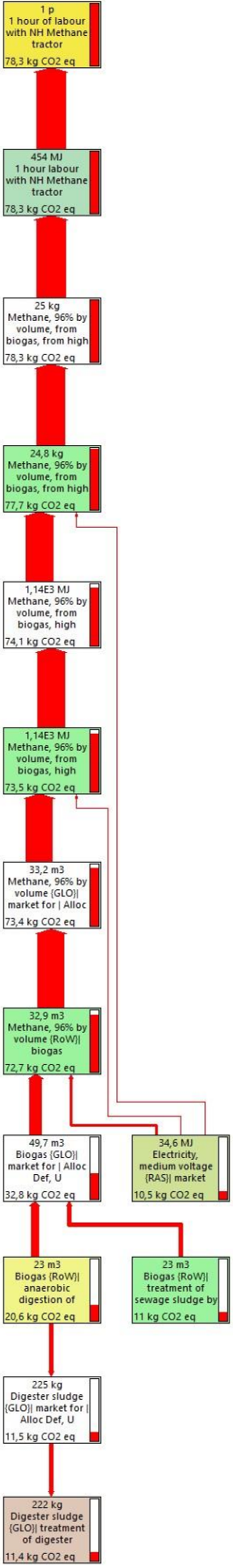
Gevoeligheid: Extra kost biomethaan-diesel



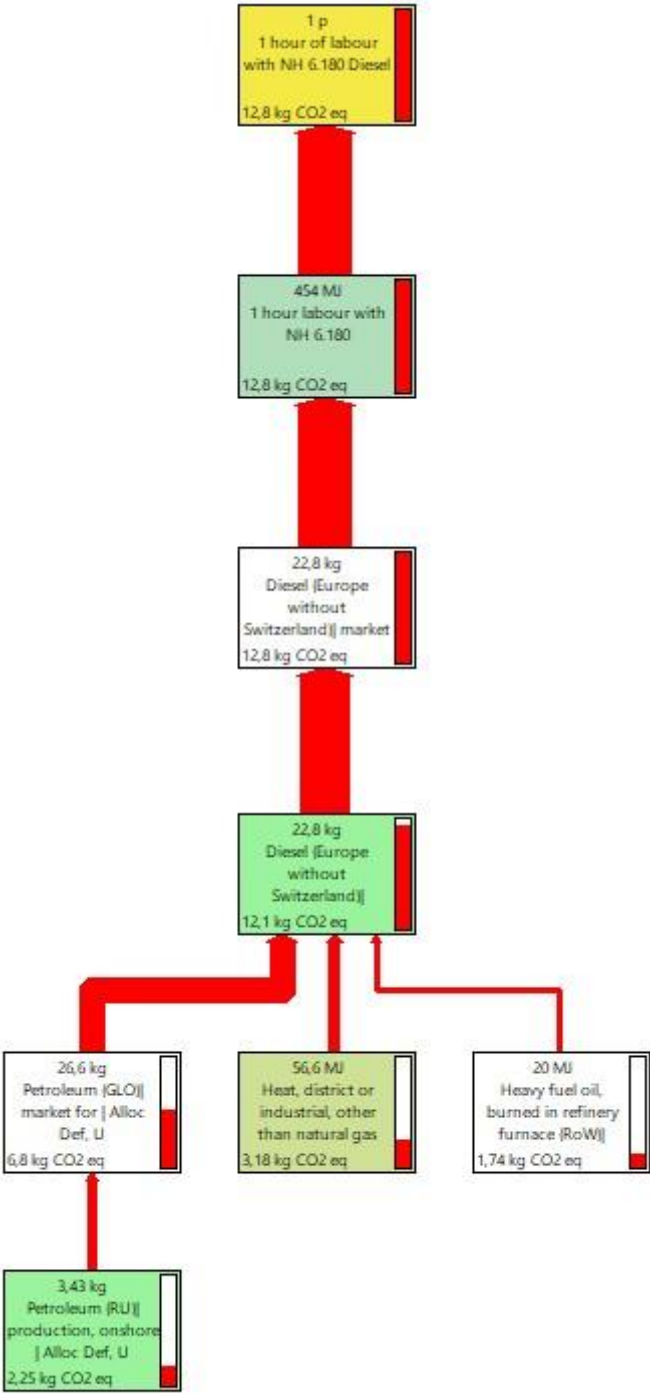
Bijlage 14: Impact assessment diesel-biomethaan

Impact category	Unit	1 hour of labour with NH 6.180 Diesel	1 hour of labour with NH Methane tractor	Vergelijkend procent diesel	Vergelijkend procent biomethaan
Global warming	kg CO2 eq	12.82532098	78.33664785	16.37%	100.00%
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	2.06386E-05	0.000251445	8.21%	100.00%
Ionizing radiation	KBq Co-60 eq	1.056020621	3.386297312	31.19%	100.00%
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0.044943962	0.136853591	32.84%	100.00%
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0.031958351	0.091195902	35.04%	100.00%
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	0.048150016	0.138118263	34.86%	100.00%
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0.105487399	0.233071049	45.26%	100.00%
Freshwater eutrophication	kg P eq	0.001492683	0.103261995	1.45%	100.00%
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB e	0.006381986	0.02856797	22.34%	100.00%
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB e	0.105380165	9.350306353	1.13%	100.00%
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB e	0.189295739	12.40624959	1.53%	100.00%
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB e	0.248117173	6.602511512	3.76%	100.00%
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB e	119.0256591	7159.825892	1.66%	100.00%
Land use	m2a crop eq	0.171903683	3.921843447	4.38%	100.00%
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0.02073848	0.14493244	14.31%	100.00%
Fossil resource scarcity	kg oil eq	28.15186246	9.235102282	100.00%	32.80%
Water consumption	m3	0.161129057	0.344225728	46.81%	100.00%

Bijlage 15: LCA netwerk biomethaan



Bijlage 16: LCA netwerk diesel



Bijlage 17: Bijdrage verschillende stappen productieproces biomethaan

Stap	kg CO2eq	Percentage
Biogas	32,8	41,89%
Biomethaan 96%	39,9	50,96%
Biomethaan 96% markt	0,7	0,89%
Biomethaan 96% onder druk	0,1	0,13%
Biomethaan 96% tankstation	4,8	6,13%

Bijlage 18: Bijdrage verschillende impacts maatschappelijke kosten

Impact categorie	Procent diesel	Procent biomethaan
Global warming	2,27%	0,24%
Stratospheric ozone depletion	0,00%	0,00%
Ionizing radiation	0,06%	0,00%
Ozone formation, Human health	0,64%	0,03%
Fine particulate matter formation	0,13%	0,01%
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	0,69%	0,03%
Terrestrial acidification	0,58%	0,02%
Freshwater eutrophication	0,01%	0,01%
Terrestrial ecotoxicity	0,01%	0,00%
Freshwater ecotoxicity	0,08%	0,13%
Marine ecotoxicity	0,15%	0,17%
Human carcinogenic toxicity	0,20%	0,09%
Human non-carcinogenic toxicity	94,08%	99,24%
Land use	0,02%	0,01%
Mineral resource scarcity	0,00%	0,00%
Fossil resource scarcity	1,05%	0,01%
Water consumption	0,03%	0,00%

Bijlage 19: Maatschappelijke NAW dieseltractor

NAW dieseltractor																		
Diesel (Extral)	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
jaar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Aankoop	€ 23 600,00	€ 23 600,00	€ 23 600,00	€ 23 600,00	€ 23 600,00	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	
Onderhoud	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	€ 1 864,58	
Brandstofverbruik	€ 8 391,12	€ 8 391,12	€ 8 391,12	€ 8 391,12	€ 8 391,12	€ 8 391,12	€ 8 391,12	€ 8 391,12	€ 8 391,12	€ 8 391,12	€ 8 391,12	€ 8 391,12	€ 8 391,12	€ 8 391,12	€ 8 391,12	€ 8 391,12	€ 8 391,12	
Adblueverbruik	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	€ 340,41	
Verzekering	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	
Eindwaarde	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -15 571,43	
Totaal voor milieukost	€ 34 196,10	€ 34 196,10	€ 34 196,10	€ 34 196,10	€ 34 196,10	€ 10 596,10	€ 10 596,10	€ 10 596,10	€ 10 596,10	€ 10 596,10	€ 10 596,10	€ 10 596,10	€ 10 596,10	€ 10 596,10	€ 10 596,10	€ 10 596,10	€ -4 855,32	
Verdisconteerd	€ 34 196,10	€ 32 596,62	€ 31 071,95	€ 29 618,60	€ 28 233,22	€ 8 339,23	€ 7 949,17	€ 7 577,36	€ 7 222,94	€ 6 885,09	€ 6 563,05	€ 6 256,07	€ 5 963,45	€ 5 684,52	€ 5 418,63	€ 5 165,18	€ -2 256,08	
Milieukost	€ 46 708,88	€ 46 708,88	€ 46 708,88	€ 46 708,88	€ 46 708,88	€ 46 708,88	€ 46 708,88	€ 46 708,88	€ 46 708,88	€ 46 708,88	€ 46 708,88	€ 46 708,88	€ 46 708,88	€ 46 708,88	€ 46 708,88	€ 46 708,88	€ 46 708,88	
Verdisconteerd	€ 46 708,88	€ 45 793,02	€ 44 895,12	€ 44 014,82	€ 43 151,78	€ 42 305,67	€ 41 476,15	€ 40 662,89	€ 39 865,58	€ 39 083,90	€ 38 317,55	€ 37 566,22	€ 36 829,63	€ 36 107,48	€ 35 399,49	€ 34 705,39	€ 34 024,89	
Totaal verdisconteerd	€ 80 904,98	€ 78 389,64	€ 75 967,07	€ 73 633,42	€ 71 385,01	€ 50 644,90	€ 49 425,32	€ 48 240,25	€ 47 088,52	€ 45 968,99	€ 44 880,60	€ 43 822,30	€ 42 793,08	€ 41 792,00	€ 40 818,13	€ 39 870,57	€ 31 768,81	
Netto actuele waarde	€ 907 393,60																	

Bijlage 20: Maatschappelijke NAW biomethaantractor

NAW methaantractor		2019		2020		2021		2022		2023		2024		2025		2026		2027		2028		2029		2030		2031		2032		2033		2034		2035	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17																	
Aankoop	€ 23.600,00	€ 23.600,00	€ 23.600,00	€ 23.600,00	€ 23.600,00	€ 23.600,00	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	
Onderhoud	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	€ 1.864,58	
Brandstofverbruik	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	€ 14.003,88	
Verzekering	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00		
Erfdwaarde	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	
Totaal voor milieukost	€ 39.468,45	€ 39.468,45	€ 39.468,45	€ 39.468,45	€ 39.468,45	€ 39.468,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 15.868,45	€ 417,02	
Verdiscontheerd	€ 39.468,45	€ 37.622,36	€ 35.862,62	€ 34.185,19	€ 32.586,22	€ 12.488,62	€ 11.904,48	€ 11.347,66	€ 10.816,89	€ 10.310,94	€ 9.828,66	€ 9.368,93	€ 8.930,71	€ 8.512,99	€ 8.114,80	€ 7.735,24	€ 7.382,99	€ 7.054,99	€ 6.751,99	€ 6.473,99	€ 6.219,99	€ 5.989,99	€ 5.781,99	€ 5.594,99	€ 5.427,99	€ 5.280,99	€ 5.152,99	€ 5.043,99	€ 4.952,99	€ 4.879,99	€ 4.823,99	€ 4.784,99	€ 4.751,99	€ 4.723,99	
Milieukost	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	€ 2.663.825,72	
Verdiscontheerd	€ 2.663.825,72	€ 2.611.593,84	€ 2.560.386,12	€ 2.510.182,47	€ 2.460.963,21	€ 2.412.709,09	€ 2.366.401,01	€ 2.319.020,59	€ 2.273.549,60	€ 2.228.970,20	€ 2.185.264,30	€ 2.142.416,57	€ 2.100.408,40	€ 2.059.223,92	€ 2.018.846,98	€ 1.979.261,75	€ 1.940.452,69	€ 1.902.419,99	€ 1.865.159,99	€ 1.828.681,99	€ 1.793.001,99	€ 1.758.131,99	€ 1.724.071,99	€ 1.690.831,99	€ 1.658.431,99	€ 1.626.881,99	€ 1.596.191,99	€ 1.566.371,99	€ 1.537.431,99	€ 1.509.381,99	€ 1.482.231,99	€ 1.456.001,99	€ 1.430.711,99	€ 1.406.381,99	
Totaal verdiscontheerd	€ 2.703.294,17	€ 2.649.216,20	€ 2.596.248,74	€ 2.544.367,66	€ 2.493.549,42	€ 2.442.197,64	€ 2.377.305,48	€ 2.310.368,25	€ 2.284.366,49	€ 2.239.281,14	€ 2.195.093,56	€ 2.151.785,50	€ 2.109.339,11	€ 2.067.736,91	€ 2.026.961,79	€ 1.986.996,99	€ 1.940.646,47	€ 1.900.001,99	€ 1.860.071,99	€ 1.820.851,99	€ 1.782.351,99	€ 1.744.581,99	€ 1.707.561,99	€ 1.671.301,99	€ 1.635.811,99	€ 1.601.101,99	€ 1.567.181,99	€ 1.534.061,99	€ 1.501.751,99	€ 1.470.261,99	€ 1.439.601,99	€ 1.409.781,99	€ 1.380.821,99		
Netto actuele waarde	€ 39.121.755,54																																		



Vragenlijst: Biomethaan in de landbouw

Geachte respondenten,

Als laatstejaarsstudent Handelsingenieur met afstudeerrichting Technologie in Business aan de Universiteit Hasselt doe ik een onderzoek naar het gebruik van biomethaan als brandstof in de landbouw, meer bepaald als brandstof voor tractoren. Om deze reden zit u, als landbouwer, perfect in de doelgroep.

Er zijn reeds prototypes van biomethaantractoren beschikbaar. Rijden op biomethaan heeft een veel kleinere invloed op het milieu en draagt daardoor bij tot een meer ecologische landbouw.

Deze vragenlijst is anoniem en zal enkel gebruikt worden voor deze masterproef.

Indien u vragen heeft over de voorliggende vragenlijst, mag u zich in eerste plaats wenden tot de persoon die u bevraagt. Moest u nadien nog met vragen zitten, beantwoord ik deze met plezier per e-mail op pieter.eevers@student.uhasselt of telefonisch op het nummer 0479/137086.

Alvast bedankt om de vragen te beantwoorden en mij met mijn onderzoek te helpen.

Pieter Eevers

Ga er voor alle vragen vanuit dat aankoop en onderhoud, zowel de procedure als de prijs, van een biomethaantractor hetzelfde is als een klassieke dieseltractor en het u geen extra moeite kost om hiermee te rijden.

1) Van welk type landbouwbedrijf bent u bedrijfsleider en/of beslissingsnemer op vlak van mechanisatie?

- Akkerbouw (met verkoop van gewassen)
- Veeteelt
- Groente- en fruitteelt
- Gemengd bedrijf
- Loonbedrijf

2) Hoeveel uren schat u ieder jaar per tractor te rijden?

- 0-249 werkuren
- 250-499 werkuren
- 500-749 werkuren
- 750-999 werkuren
- 1000-1499 werkuren
- 1500 werkuren of meer

3) Zou u op een biomethaantractor overschakelen wanneer het verbruik even veel kost als een klassieke dieseltractor?

- Ja
- Nee

Indien u "Ja" heeft geantwoord, ga verder naar vraag 4, indien u "Nee" heeft geantwoord, ga verder naar vraag 7.

4) Zou u op een biomethaantractor overschakelen wanneer het verbruik tot 10 procent duurder is dan een klassieke dieseltractor?

- Ja
- Nee

Indien u "Ja" heeft geantwoord, ga verder naar vraag 5, indien u "Nee" heeft geantwoord, ga verder naar vraag 10.

5) Zou u op een biomethaantractor overschakelen wanneer het verbruik tot 20 procent duurder is dan een klassieke dieseltractor?

- Ja
- Nee

Indien u "Ja" heeft geantwoord, ga verder naar vraag 6, indien u "Nee" heeft geantwoord, ga verder naar vraag 10.

6) Zou u op een biomethaantractor overschakelen wanneer het verbruik meer dan 20 procent duurder is dan een klassieke dieseltractor?

- Ja
- Nee

U mag verder gaan naar vraag 10.

7) Zou u op een biomethaantractor overschakelen wanneer het verbruik tot 10 procent goedkoper is dan een klassieke dieseltractor?

- Ja
- Nee

Indien u "Ja" heeft geantwoord, ga verder naar vraag 10, indien u "Nee" heeft geantwoord, ga verder naar vraag 8.

8) Zou u op een biomethaantractor overschakelen wanneer het verbruik tot 20 procent goedkoper is dan een klassieke dieseltractor?

- Ja
- Nee

Indien u "Ja" heeft geantwoord, ga verder naar vraag 10, indien u "Nee" heeft geantwoord, ga verder naar vraag 9.

9) Zou u op een biomethaantractor overschakelen wanneer het verbruik meer dan 20 procent goedkoper is dan een klassieke dieseltractor?

- Ja
- Nee

10) Indien rijden op biomethaan geen meerkost met zich zou meebrengen, hoe ver bent u dan bereid te rijden om biomethaan te gaan tanken?

- 0 km, ik zou enkel overschakelen indien ik dit op mijn bedrijf kan tanken.
- 1-2 km
- 3-5 km
- 6-10 km
- 11-20 km
- Meer dan 20 km

11) Als er de mogelijkheid zou bestaan om mee te werken aan een systeem waarbij u biomassa, zoals maïs, gras, etc. levert en u in ruil voor deze waarde aan biomethaan kan tanken, zou u hieraan meewerken?

- Ja
- Nee

Bedankt voor uw medewerking!

[Bijlage 22: Verdeling sectoren](#)

Sector	Aantal	Procent
Akkerbouw	18	16,22%
Veeteelt	13	11,71%
Groente- en fruitteelt	23	20,72%
Gemengd bedrijf	54	48,65%
Loonbedrijf	3	2,70%

Bijlage 23: Verdeling gebruiksintensiviteit

Categorie	Aantal	Procent
0-249	20	18,02%
250-499	35	31,53%
500-749	30	27,03%
750-999	16	14,41%
1000-1499	6	5,41%
1500 of meer	4	3,60%

Bijlage 24: Algemene WTP

Categorie	Aantal	Procent
Even duur	21	18,92%
10% duurder	4	3,60%
20% duurder	1	0,90%
>20% duurder	0	0,00%
10% goedkoper	26	23,42%
20% goedkoper	16	14,41%
>20% goedkoper	28	25,23%
Nooit	15	13,51%

Bijlage 25: Statistische beschrijving WTP (per sector)

Descriptives

VAR00003

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1,00	16	-1,1875	1,51520	,37880	-1,9949	-,3801	-3,00	1,00
2,00	13	-1,0769	1,38212	,38333	-1,9121	-,2417	-3,00	2,00
3,00	18	-2,3889	,91644	,21601	-2,8446	-1,9332	-3,00	,00
4,00	46	-1,2391	1,19601	,17634	-1,5943	-,8840	-3,00	1,00
5,00	3	-1,0000	,00000	,00000	-1,0000	-1,0000	-1,00	-1,00
Total	96	-1,4167	1,28691	,13134	-1,6774	-1,1559	-3,00	2,00

Bijlage 26: WTP per sector

	Even duur	10% duurder	20% duurder	>20% duurder	10% goedkoper	20% goedkoper	>20% goedkoper	Nooit
Akkerbouw	16,67%	16,67%	0,00%	0,00%	11,11%	22,22%	22,22%	11,11%
Veeteelt	23,08%	0,00%	7,69%	0,00%	30,77%	23,08%	15,38%	0,00%
Groente- en fruitteelt	4,35%	0,00%	0,00%	0,00%	8,70%	17,39%	47,83%	21,74%
Gemengd bedrijf	25,93%	1,85%	0,00%	0,00%	27,78%	9,26%	20,37%	14,81%
Loonbedrijf	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Bijlage 27: ANOVA-test WTP sectoren

ANOVA

VAR00003

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	21,325	4	5,331	3,567	,009
Within Groups	136,008	91	1,495		
Total	157,333	95			

Bijlage 28: ANOVA-test WTP sectoren zonder groente- en fruitteelt

ANOVA

VAR00003

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,385	3	,128	,078	,972
Within Groups	121,730	74	1,645		
Total	122,115	77			

Bijlage 29: WTP per intensiviteitscategorie

	Even duur	10% duurder	20% duurder	>20% duurder	10% goedkoper	20% goedkoper	>20% goedkoper	Nooit
0-249	15,00%	10,00%	0,00%	0,00%	15,00%	15,00%	25,00%	20,00%
250-499	25,71%	0,00%	0,00%	0,00%	22,86%	5,71%	22,86%	22,86%
500-749	20,00%	0,00%	0,00%	0,00%	30,00%	16,67%	23,33%	10,00%
750-999	18,75%	12,50%	6,25%	0,00%	18,75%	25,00%	18,75%	0,00%
1000-1499	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	33,33%	66,67%	0,00%
1500 of meer	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	75,00%	0,00%	25,00%	0,00%

Bijlage 30: Statistische beschrijving WTP (per gebruiksintensiviteit)

Descriptives

VAR00003

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1,00	16	-1,3750	1,45488	,36372	-2,1502	-,5998	-3,00	1,00
2,00	27	-1,3333	1,24035	,23870	-1,8240	-,8427	-3,00	,00
3,00	27	-1,4815	1,12217	,21596	-1,9254	-1,0376	-3,00	,00
4,00	16	-1,0000	1,54919	,38730	-1,8255	-,1745	-3,00	2,00
5,00	6	-2,6667	,51640	,21082	-3,2086	-2,1247	-3,00	-2,00
6,00	4	-1,5000	1,00000	,50000	-3,0912	,0912	-3,00	-1,00
Total	96	-1,4167	1,28691	,13134	-1,6774	-1,1559	-3,00	2,00

Bijlage 31: ANOVA-test WTP gebruiksintensiviteit

ANOVA

VAR00003

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12,509	5	2,502	1,555	,181
Within Groups	144,824	90	1,609		
Total	157,333	95			

Bijlage 32: Algemeen af te leggen afstand

Categorie	Aantal	Procent
0 km	64	57,66%
1-2 km	31	27,93%
3-5 km	16	14,41%
6-10 km	0	0,00%
11-20 km	0	0,00%
>20 km	0	0,00%

Bijlage 33: Statistische beschrijving af te leggen afstand (per sector)

Descriptives

Vraag 10

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	18	1,72	,826	,195	1,31	2,13	1	3
2	13	1,77	,927	,257	1,21	2,33	1	3
3	23	1,26	,449	,094	1,07	1,46	1	2
4	54	1,61	,738	,100	1,41	1,81	1	3
5	3	1,33	,577	,333	-,10	2,77	1	2
Total	111	1,57	,734	,070	1,43	1,71	1	3

Bijlage 34: Af te leggen afstand per sector

	Akkerbouw	Veeteelt	Groente en fruitteelt	Gemengd bedrijf	Loonbedrijf
0 km	50,00%	53,85%	73,91%	53,70%	66,67%
1-2 km	27,78%	15,38%	26,09%	31,48%	33,33%
3-5 km	22,22%	30,77%	0,00%	14,81%	0,00%
6-10 km	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
11-20 km	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
>20 km	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Bijlage 35: ANOVA-test af te leggen afstand sectoren

ANOVA

Vraag 10

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3,390	4	,847	1,608	,178
Within Groups	55,854	106	,527		
Total	59,243	110			

Bijlage 36: Af te leggen afstand per intensiviteitscategorie

	0-249	250-499	500-749	750-999	1000-1499	1500 of meer
0 km	50,00%	51,43%	56,67%	68,75%	83,33%	75,00%
1-2 km	35,00%	34,29%	26,67%	12,50%	16,67%	25,00%
3-5 km	15,00%	14,29%	16,67%	18,75%	0,00%	0,00%
6-10 km	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
11-20 km	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
>20 km	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Bijlage 37: Statistische beschrijving af te leggen afstand (per gebruiksintensiviteit)

Descriptives

Vraag 10

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	20	1,65	,745	,167	1,30	2,00	1	3
2	35	1,63	,731	,124	1,38	1,88	1	3
3	30	1,60	,770	,141	1,31	1,89	1	3
4	16	1,50	,816	,204	1,06	1,94	1	3
5	6	1,17	,408	,167	,74	1,60	1	2
6	4	1,25	,500	,250	,45	2,05	1	2
Total	111	1,57	,734	,070	1,43	1,71	1	3

Bijlage 38: ANOVA-test af te leggen afstand gebruiksintensiviteit

ANOVA

Vraag 10

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1,738	5	,348	,635	,674
Within Groups	57,505	105	,548		
Total	59,243	110			

Bijlage 39: Algemeen bereidheid medewerking coöperatieve

Antwoord	Aantal	Procent
Ja	81	72,97%
Nee	30	27,03%

Bijlage 40: Bereidheid medewerking coöperatieve per sector

	Akkerbouw	Veeteelt	Groente- en fruitteelt	Gemengd bedrijf	Loonbedrijf
Ja	83,33%	69,23%	73,91%	68,52%	100,00%
Nee	16,67%	30,77%	26,09%	31,48%	0,00%

Bijlage 41: Bereidheid medewerking coöperatieve per intensiviteitscategorie

	0-249	250-499	500-749	750-999	1000-1499	1500 of meer
Ja	75,00%	65,71%	73,33%	75,00%	83,33%	100,00%
Nee	25,00%	34,29%	26,67%	25,00%	16,67%	0,00%

Literatuurlijst

- Adelt, M., Wolf, D., & Vogel, A. (2011). LCA of biomethane. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 3(5), 646-650. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jngse.2011.07.003>
- Aerts, T. (2019) *Informatie omtrent prijzen en gebruik tractoren/Interviewer: E. Pieter*. Aerts Landbouwmechanisatie.
- Agrisurance. (2019). Scherpe tractorverzekering aan 110 € per jaar.
- Åhman, M. (2010). Biomethane in the transport sector—An appraisal of the forgotten option. *Energy Policy*, 38(1), 208-217. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.007>
- Alamia, A. (2015). Indirect gasification production of biomethane for use in heavy-duty state-of-the-art gas engines.
- Alamia, A., Magnusson, I., Johnsson, F., & Thunman, H. (2016). Well-to-wheel analysis of bio-methane via gasification, in heavy duty engines within the transport sector of the European Union. *Applied Energy*, 170, 445-454. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.001>
- Albert II. (2007). Koninklijk besluit tot vaststelling van bijzondere regels inzake de aanduiding van de hoeveelheid bij het op de markt brengen van sommige motorbrandstoffen en vloeibare brandstoffen in bulk. *ECONOMIE, KMO, MIDDENSTAND EN ENERGIE, 09-03-2007*(2006011551), 12299
- Allen, D. H. (1991). *Economic evaluation of projects: A guide*: IChemE.
- Ally, J., & Pryor, T. (2007). *Life-cycle assessment of diesel, natural gas and hydrogen fuel cell bus transportation systems* (Vol. 170).
- Ally, J., & Pryor, T. (2016). Life cycle costing of diesel, natural gas, hybrid and hydrogen fuel cell bus systems: An Australian case study. *Energy Policy*, 94, 285-294. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.03.039>
- Arima, E. Y., Richards, P., Walker, R., & Caldas, M. M. (2011). Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, 6(2), 024010. doi:10.1088/1748-9326/6/2/024010
- Barr, K. J., Babcock, B. A., Carriquiry, M. A., Nassar, A. M., & Harfuch, L. (2011). Agricultural land elasticities in the United States and Brazil. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 33(3), 449-462.
- Barrows, G., Sexton, S., & Zilberman, D. (2014). Agricultural biotechnology: the promise and prospects of genetically modified crops. *Journal of Economic Perspectives*, 28(1), 99-120.
- Belgische Petroleum Federatie. (2019a). EVOLUTIE MAXIMUMPRIJZEN.
- Belgische Petroleum Federatie. (2019b). Samenstelling Diesel.
- Biogas-E. (2017). Hoe kan biogas gevaloriseerd worden?
- Bionerga. (2017) *Interview Bionerga*.
- Bonneux, F. (2019) *Informatie omtrent prijzen en gebruik tractoren/Interviewer: E. Pieter*. Martens Traktor.
- Bordelanne, O., Montero, M., Bravin, F., Prieur-Vernat, A., Oliveti-Selmi, O., Pierre, H., . . . Muller, T. (2011). Biomethane CNG hybrid: A reduction by more than 80% of the greenhouse gases emissions compared to gasoline. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 3(5), 617-624. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jngse.2011.07.007>
- Börjesson, P., & Mattiasson, B. (2008). Biogas as a resource-efficient vehicle fuel. *Trends in Biotechnology*, 26(1), 7-13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2007.09.007>
- Bouts NV. (2019). Prijs diesel extra.
- Boyle, K. J., Bishop, R. C., & Welsh, M. P. (1985). Starting point bias in contingent valuation bidding games. *Land economics*, 61(2), 188-194.
- Brander, M., & Davis, G. (2012). Greenhouse gases, CO₂, CO_{2e}, and carbon: What do all these terms mean. *Econometrica, White Papers*.
- Breidert, C., Hahsler, M., & Reutterer, T. (2015). *A Review of Methods for Measuring Willingness-to-Pay* (Vol. 1).
- Brouwers, J. (2016). Productie van biobrandstoffen voor eindgebruikers. *Milieurapport*.
- Browne, J., Nizami, A.-S., Thamsiroj, T., & Murphy, J. D. (2011). Assessing the cost of biofuel production with increasing penetration of the transport fuel market: A case study of gaseous biomethane in Ireland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4537-4547. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.098>
- Browne, J. D., & Murphy, J. D. (2013). Assessment of the resource associated with biomethane from food waste. *Applied Energy*, 104, 170-177. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.017>
- Büthker, E. (2017). LNG Facts & Figures.
- Cao, V., Margni, M., Favis, B. D., & Deschênes, L. (2015). Aggregated indicator to assess land use impacts in life cycle assessment (LCA) based on the economic value of ecosystem services. *Journal of Cleaner Production*, 94, 56-66.
- Carroll, S. (2012). The Coca-Cola Enterprises Biomethane Trial Report. *Cenex*.
- Chandra, R., Vijay, V., Subbarao, P., & Khura, T. (2011). Performance evaluation of a constant speed IC engine on CNG, methane enriched biogas and biogas. *Applied Energy*, 88(11), 3969-3977.
- Chemical Engineering. (2013). Continuous Stirred Tank Reactors Working.
- Chien, Y.-L., Huang, C. J., & Shaw, D. (2005). A general model of starting point bias in double-bounded dichotomous contingent valuation surveys. *Journal of Environmental Economics and Management*, 50(2), 362-377.
- CNH. (2018). CNH Brands. Retrieved from <http://www.cnhindustrial.com/en-us/Pages/homepage.aspx>
- CNH. (2019). T6-serie.
- CO₂-emissiefactoren. (2017). Lijst emissiefactoren.

- Collet, P., Flottes, E., Favre, A., Raynal, L., Pierre, H., Capela, S., & Peregrina, C. (2017). Techno-economic and Life Cycle Assessment of methane production via biogas upgrading and power to gas technology. *Applied Energy*, 192, 282-295. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.181>
- Comfort Energy. (2019). Prijs diesel extra.
- Corporate Finance Institute. (2019). Discount Rate.
- Crahaix, L. (2017). Emissiefactoren.
- Czerwinski, J., Comte, P., & Zimmerli, Y. (2003). *Investigations of the gas injection system on a HD-CNG-Engine* (0148-7191). Retrieved from
- Daly, H. E., & Ó Gallachóir, B. P. (2012). Future energy and emissions policy scenarios in Ireland for private car transport. *Energy Policy*, 51, 172-183. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.066>
- DATS 24. (2019). Dagprijs diesel.
- De Baanderij. (2019). Brandstofprijzen. Retrieved from http://www.debaanderij.nl/index.php/pages/view/wassen_tanken/9/
- De Bruyn, S., Korteland, M., Markowska, A., Davidson, M., De Jong, F., Bles, M., & Sevenster, M. (2010). Shadow prices handbook: valuation and weighting of emissions and environmental impacts. *CE Delft, Delft, the Netherlands.[online]* URL: http://www.cedelft.eu/publicatie/shadow_prices_handbook_%3A_valuation_and_weighting_of_emissions_and_environmental_impacts/1032 *Ecology and Society*, 21(2), 10.
- Delaere, G. (2019) *Methaantractor New Holland/Interviewer: P. Eevers*.
- Devriendt, N., Van Dael, M., Pelkmans, L., Cornelis, E., & Pieper, H. (2013). ECP Beerse/Merksplas: Conceptbepaling.
- Dijkstra, J. (2019) *Toekomstvisie Deutz-Fahr/Interviewer: P. Eevers*.
- dos Santos, I. F. S., Vieira, N. D. B., de Nóbrega, L. G. B., Barros, R. M., & Tiago Filho, G. L. (2018). Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in Brazil: Impact on energy generation, use, and emissions abatement. *Resources, Conservation and Recycling*, 131, 54-63.
- Duquesne, O. (2017). Adblue: wat is het en hoe tank je het? *Autogids*.
- Eevers, P., Mattheussen, M., & Staes, W. (2017). *Logistieke kosten van berm- en natuurmaaisel*. UHasselt.
- Eker, S., & van Daalen, E. (2015). A model-based analysis of biomethane production in the Netherlands and the effectiveness of the subsidization policy under uncertainty. *Energy Policy*, 82, 178-196. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.03.019>
- Engie. (2018). Biogas. Retrieved from <https://www.engie.com/en/businesses/gas/biogas/>
- Esso. (2019). Prijs diesel extra.
- Esso Comfort Energy. (2019). Dagprijs diesel.
- EUROPEAN COMMISSION (2010). *IMPACT ASSESSMENT*.
- EUROPEAN COMMISSION. (2019). Non-Road mobile machinery emissions. Retrieved from https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive/environment-protection/non-road-mobile-machinery_en
- Eurostat. (2019). HICP - inflation rate.
- Express, S. (2019). Dagprijs diesel.
- Fieten Olie. (2019). Overzicht Fieten Olie Prijzen. Retrieved from <https://www.fieten.info/adviesprijzen/>
- Fluvius. (2019). Aansluitingen. Retrieved from <https://www.fluvius.be/nl/thema/aansluitingen>
- FOD Economie. (2018). *Dieselprijzen*. Algemene directie energie.
- FOD Financiën. (2017). Hervorming vennootschapsbelasting.
- FOD Financiën. (2019a). BTW.
- FOD Financiën. (2019b). Rode G-nummerplaat voor landbouwvoertuigen.
- FOD Justitie. (2007). Koninklijk besluit betreffende de jaarrekeningen van vennootschappen.
- FOD Justitie. (2019). WETBOEK VAN VENNOOTSCHAPPEN.
- Gabriëls. (2019). Adblue prijzen.
- Gawel, E., & Ludwig, G. (2011). The iLUC dilemma: How to deal with indirect land use changes when governing energy crops? *Land Use Policy*, 28(4), 846-856. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.03.003>
- Gebrezgabher, S. A., Meuwissen, M. P., Prins, B. A., & Lansink, A. G. O. (2010). Economic analysis of anaerobic digestion—A case of Green power biogas plant in The Netherlands. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 57(2), 109-115.
- Geerts, J. (2019) *Informatie omtrent prijzen en gebruik tractoren/Interviewer: E. Pieter*. Gejaco BVBA.
- Gemmeke, B., Rieger, C., Weiland, P., & Schröder, J. (2009). Biogas-Messprogramm II, 61 Biogasanlagen im Vergleich. *FNR, Gülzow*.
- Gentry, B. (2008). Oracle crystal ball user manual, release 11.1. 1.1. 00: Oracle.
- global-rates. (2019). Inflatie - consumentenprijsindex (CPI).
- Goldewijk, K. K., & Ramankutty, N. (2004). Land cover change over the last three centuries due to human activities: the availability of new global data sets. *GeoJournal*, 61(4), 335-344.
- Groengas Nederland. (2019). Verbruikskosten. Retrieved from <https://groengas.nl/rijden-op-groengas/calculator/>
- Guedens, M. (2019) *Informatie omtrent prijzen en gebruik tractoren/Interviewer: E. Pieter*. Landbouwmachines Guedens M.
- Hansen, B. (1969). Jan Tinbergen: An Appraisal of His Contributions to Economics. *The Swedish Journal of Economics*, 71(4), 325-336. doi:10.2307/3439115
- Herrmann, I. T., & Moltesen, A. (2015). Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? – a comparative assessment of SimaPro and GaBi. *Journal of Cleaner Production*, 86, 163-169. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.004>

- Hofstee, S. (2017). Prijs verse snijmais ligt rond de 45 euro. *Nieuwe Oogst*.
- Honda. (2011). Civix GX Natural Gas Vehicle.
- Hoy, R. M., Kocher, M. F., Jasa, P. J., & Luck, J. D. (2017). OECD tractor test 2982 for New Holland T6.180 Diesel. *NEBRASKA TRACTOR TEST LABORATORY*.
- IdeMat. (2011). Design for Sustainability Program: Faculty of Design Engineering and Production, Delft University of Technology.
- International energy agency. (2010). The contribution of natural gas vehicles to sustainable transport.
- International Organization for Standardization. (1992). ISO 91-1:1992.
- International Organization for Standardization. (2009). ISO 22241-4:2009.
- Iveco. (2018). Iveco Stralis NP. In Iveco (Ed.).
- Jespers, K., & Dufait, N. (2017). Energiebalans Vlaanderen 1990-2016. *Vlaams Energieagentschap*.
- King, D. M., Mazzotta, M., & Markowitz, K. J. (2000). Ecosystem valuation: DM King and M. Mazzotta.
- Kiran, E. U., Trzcinski, A. P., Ng, W. J., & Liu, Y. (2014). Bioconversion of food waste to energy: a review. *Fuel*, 134, 389-399.
- Kliucininkas, L., Matulevicius, J., & Martuzevicius, D. (2012). The life cycle assessment of alternative fuel chains for urban buses and trolleybuses. *Journal of Environmental Management*, 99, 98-103. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.012>
- Korres, N. E., Singh, A., Nizami, A. S., & Murphy, J. D. (2010). Is grass biomethane a sustainable transport biofuel? *Biofuels, Bioproducts and Biorefining: Innovation for a sustainable economy*, 4(3), 310-325.
- Kumar, A. (2018). Different Types of Fermentors / Bioreactors. Retrieved from http://technologyinscience.blogspot.com/2012/08/different-types-of-fermentors.html#.W_E7BuhKiUk
- Kuppens, T. (2019). Societal techno-economic analysis.
- Kuppens, T., Boonen, C., & Vleugels, R. (2019). Techno-economische analyse voor beginners.
- Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International*, 30(7), 981-990. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.03.005>
- Lapola, D. M., Schaldach, R., Alcamo, J., Bondeau, A., Koch, J., Koelking, C., & Priess, J. A. (2010). Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(8), 3388-3393. doi:10.1073/pnas.0907318107
- Lavrijsen, P. (2017) *Interview Lavrijsen BVBA*.
- Liefferinge, J. V. (2018). VLIF-ACTIVITEITENVERSLAG 2017
- Lim, C., Kim, D., Song, C., Kim, J., Han, J., & Cha, J.-S. (2015). Performance and emission characteristics of a vehicle fueled with enriched biogas and natural gases. *Applied Energy*, 139, 17-29.
- López, J. M., Gómez, Á., Aparicio, F., & Javier Sánchez, F. (2009). Comparison of GHG emissions from diesel, biodiesel and natural gas refuse trucks of the City of Madrid. *Applied Energy*, 86(5), 610-615. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.08.018>
- Lukoil. (2019). Dagprijen diesel.
- Macrotrends. (2019). Renewable Energy Profit Margin 2009-2018 | REGI.
- Massé, D. I., Talbot, G., & Gilbert, Y. (2011). On farm biogas production: A method to reduce GHG emissions and develop more sustainable livestock operations. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 436-445. doi:<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.075>
- Meurisse, L. (2018). Tankstations geven alsmat meer korting. *FOD Economie*.
- Molino, A., Nanna, F., Ding, Y., Bikson, B., & Braccio, G. (2013). Biomethane production by anaerobic digestion of organic waste. *Fuel*, 103, 1003-1009.
- Musique, P. (2017) *Interview NPG Energy NV*.
- Nanaki, E. A., Koroneos, C. J., Xydis, G. A., & Rovas, D. (2014). Comparative environmental assessment of Athens urban buses—Diesel, CNG and biofuel powered. *Transport Policy*, 35, 311-318. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.04.001>
- Nassar, A. M., & Moreira, M. (2013). Evidences on sugarcane expansion and agricultural land use changes in Brazil. *Institute for the International Trade Negotiation: Brighton, UK*.
- NBB.Stat. (2017). Financial ratios of enterprises.
- NBB.Stat. (2018). MIR: Interest rates on business.
- NVGA. (2019). Aardgastankstations. Retrieved from <http://www.ngva.be/nl/aardgastankstations-zoeken/>
- Oliehandel. (2019). Adblue. Retrieved from <http://www.oliehandel.nl/product/adblue-1000l-85748>
- OrangeGas. (2019). Groengas.
- Papacz, W. (2011). Biogas as vehicle fuel. *Journal of KONES*, 18, 403-410.
- Paturska, A., Repele, M., & Bazbauers, G. (2015). Economic Assessment of Biomethane Supply System based on Natural Gas Infrastructure. *Energy Procedia*, 72, 71-78. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.06.011>
- Persson, M., Jönsson, O., & Wellinger, A. (2006). *Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection*. Paper presented at the IEA Bioenergy task.
- Pitpoint. (2019). CNG - Groengas. Retrieved from <https://www.pitpointcleanfuels.com/nl/schone-brandstoffen/cng/>
- Pizzol, M., Weidema, B., Brandão, M., & Osset, P. (2015). Monetary valuation in Life Cycle Assessment: a review. *Journal of Cleaner Production*, 86, 170-179. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.007>
- Q8 Mazout. (2019). Prijs diesel extra.

- Ramchurn, S. D., Vytelingum, P., Rogers, A., & Jennings, N. R. (2011). Agent-based homeostatic control for green energy in the smart grid. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*, 2(4), 35.
- Repele, M., Udrene, L., & Bazbauers, G. (2017). Support Mechanisms for Biomethane Production and Supply. *Energy Procedia*, 113, 304-310. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.04.070>
- Roels, K., Van Gijsegem, D., Braekevelt, A., Smeets, K., Vervae, M., Goeteyn, L., . . . Kielemoes, J. (2017). VOEDSELRESTSTROMEN EN VOEDSELVERLIEZEN: PREVENTIE EN VALORISATIE. *Vlaams Ketenplatform Voedselverlies*.
- Rose, L., Hussain, M., Ahmed, S., Malek, K., Costanzo, R., & Kjeang, E. (2013). A comparative life cycle assessment of diesel and compressed natural gas powered refuse collection vehicles in a Canadian city. *Energy Policy*, 52, 453-461. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.09.064>
- Ruben Gybels, E. M., Cindy Devacht, Werner Annaert, Bart Ryckaert, Willy Verbeke, Hermien Schoutteten, Luc Janssens, Francies Van Gijzeghem, Alain De Vocht, Anja Delief, Nele Witters, Miet Van Dael, Ann Wijgaerts, Jaco Vangronsveld, Elke Vandaele, Kristel Vandenbroek. (2012). Graskracht.
- Rutledge, B. (2005). California biogas industry assessment white paper. *Available on*.
- Ryan, F., & Caulfield, B. (2010). Examining the benefits of using bio-CNG in urban bus operations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15(6), 362-365. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.04.002>
- Ryckebosch, E., Drouillon, M., & Vervaeren, H. (2011). Techniques for transformation of biogas to biomethane. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), 1633-1645. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.033>
- Sanchez, S. T., Woods, J., Akhurst, M., Brander, M., O'Hare, M., Dawson, T. P., . . . Malpas, R. (2012). Accounting for indirect land-use change in the life cycle assessment of biofuel supply chains. *Journal of The Royal Society Interface*, 9(71), 1105-1119.
- Schaeffer, A. (2019). CLEAN DIESEL TECHNOLOGY FOR OFF-ROAD ENGINES AND EQUIPMENT: TIER 4 AND MORE *Diesel Technology Forum*.
- Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R., Dong, F., Elobeid, A., F. Fabiosa, J., . . . Yu, T.-H. (2008). *Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change* (Vol. 319).
- Sekaran, U., & Bougie, R. (2016). *Research methods for business: A skill building approach*: John Wiley & Sons.
- SGC. (2018). Basic data on biogas. *Swedish Gas Technology Centre Ltd (SGC)*. Retrieved from <http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/BasicDataonBiogas2012.pdf>
- SimaPro. (2019). LCA software for fact-based sustainability. Retrieved from <https://simapro.com/>
- Smyth, B. M., Smyth, H., & Murphy, J. D. (2010). Can grass biomethane be an economically viable biofuel for the farmer and the consumer? *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 4(5), 519-537.
- Storg. (2017) *Interview Storg BVBA/Interviewer: P. Eevers, M. Mattheussen, & W. Staes*.
- Synergrid. (2016). Technisch voorschrift Biomethaan.
- Synergrid. (2018). Voorschrift Biomethaan.
- Tessens, S. (2018). Maximaal productiepotentieel van biomethaan in Vlaanderen uit biomassastromen. *BIOGAS-E VZW*.
- Total. (2019a). Adblue prijzen.
- Total. (2019b). Dagprijs diesel.
- Total. (2019c). Prijs diesel extra.
- Trivedi, P., Malina, R., & Barrett, S. R. (2015). Environmental and economic tradeoffs of using corn stover for liquid fuels and power production. *Energy & Environmental Science*, 8(5), 1428-1437.
- Trucost, P. (2013). Natural capital at risk: The top 100 externalities of business. *TEEB, Geneva*.
- UD Technologies. (2019). Continuous Stirred Tank Reactor.
- United States Environmental Protection Agency. (2019). All EPA Emission Standards.
- Valin, H., Peters, D., van den Berg, M., Frank, S., Havlik, P., Forsell, N., . . . Balkovic, J. (2015). The land use change impact of biofuels consumed in the EU: Quantification of area and greenhouse gas impacts.
- Van Mierlo, J., Messagie, M., & Rangaraju, S. (2017). Comparative environmental assessment of alternative fueled vehicles using a life cycle assessment. *Transportation Research Procedia*, 25, 3435-3445. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.244>
- Van Thillo, G. (2019) *Marktaandeel tractorverkoop/Interviewer: P. Eevers*.
- Vanacker, L., Vandenbroek, K., Braekevelt, A., De Bruyne, P., Verwimp, N., Verhoeven, F., . . . Jacobs, C. (2001). Uitvoeringsplan Organisch-Biologisch Afval. *OVAM*.
- Vandeweyer, H., Baert, R., Ryckebosch, E., Leenknecht, J., Drouillon, M., & Vervaeren, H. (2008). *Biomethaan-opwerking van biogas tot aardgaskwaliteit*: Howest-Departement PIH.
- Vangeloven, N. (2019) *Toekomstvisie Agco-groep/Interviewer: P. Eevers*.
- Vangoidsenhoven, B. (2019) *Toekomstvisie John Deere*.
- Vanhove, M. (2019) *Informatie omtrent prijzen en gebruik tractoren/Interviewer: E. Pieter*. Vanhove CVBA.
- Veen, H., Meulen, H., Bommel, K., & Doorneweert, B. (2007). Exploring agricultural taxation in Europe. *Agricultural Economics Research Institute, Haga*.
- Vertogas. (2019). Wat is groen gas certificering? Retrieved from <https://www.vertogas.nl/hoofdmnu/wat-doet-vertogas/wat-is-groen-gas-certificering>
- Verzekeringen Maris. (2019) *Tractorverzekering/Interviewer: P. Eevers*.
- Vlaams Energieagentschap. (2014). *Energierapport 2013*.
- Vlaams Landbouwinvesteringsfonds. (2019). *VLIF-lijst geldig voor de blokperiode 01/01/2019 - 31/03/2019*.

- VLAREM, I. (1995). Besluit van de Vlaamse regering van houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne. *Belgisch Staatsblad, Brussels*.
- VLM. (2018). Bemestingsnormen en richtwaarden 2018.
- Walla, C., & Schneeberger, W. (2008). The optimal size for biogas plants. *Biomass and Bioenergy*, 32(6), 551-557.
- Weidema, B., Pizzol, M., & Brandão, M. (2012). The Use of Monetary Valuation of Environmental Impacts in Life Cycle Assessment: State of the art, strengths and weaknesses. *SCORE-LCA report Nb, 3*, 2013.
- Weiland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives. *Applied microbiology and biotechnology*, 85(4), 849-860.
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., & Weidema, B. (2016). The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(9), 1218-1230.
- White, S. (2017). Biofuel debate a political hot potato as EU renewable energy law nears home straight. *Euractiv*.
- Wiggins, S., & Levy, S. (2008). *Rising food prices: A global crisis*: ODI.
- Wille, D., Braekevelt, A., Roels, K., Smeets, K., & Vandaele, E. (2017). Aanbod en bestemming biomassa(rest)stromen voor de circulaire economie in Vlaanderen. *OVAM*.
- Withers, M. R., Malina, R., Gilmore, C. K., Gibbs, J. M., Trigg, C., Wolfe, P. J., . . . Barrett, S. R. H. (2014). Economic and environmental assessment of liquefied natural gas as a supplemental aircraft fuel. *Progress in Aerospace Sciences*, 66, 17-36. doi:<https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2013.12.002>
- Woltjer, G., Daioglou, V., Elbersen, B., Ibañez, G. B., Smeets, E., González, D. S., & Barnó, J. G. (2017). *Study Report on Reporting Requirements on Biofuels and Bioliquids Stemming from the Directive (EU) 2015/1513*: EU Commission.
- Wongerghem, J. V. (2019) *Informatie omtrent prijzen en gebruik tractoren/Interviewer: E. Pieter*. Vanneste Agri Services BVBA.
- Yeh, S. (2007). An empirical analysis on the adoption of alternative fuel vehicles: The case of natural gas vehicles. *Energy Policy*, 35(11), 5865-5875. doi:10.1016/j.enpol.2007.06.012
- Youdim, A. (2016). Carbohydrates, Proteins, and Fats.
- Zhang, S., Wu, Y., Liu, H., Huang, R., Yang, L., Li, Z., . . . Hao, J. (2014). Real-world fuel consumption and CO2 emissions of urban public buses in Beijing. *Applied Energy*, 113, 1645-1655. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.017>
- Zhao, Q., Leonhardt, E., MacConnell, C., Frear, C., & Chen, S. (2010). Purification technologies for biogas generated by anaerobic digestion. *Compressed Biomethane, CSANR, Ed*.
- Zilberman, D. (2017). Indirect land use change: much ado about (almost) nothing. *Gcb Bioenergy*, 9(3), 485-488.