



Vlaanderen
is materiaalbewust



AFWEGINGSKADER BIOBRANDSTOFFEN DEEL 2: CASESTUDIES

SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER

OVAM

WWW.OVAM.BE

AFWEGINGSKADER

BIOBRANDSTOFFEN

DEEL 2: CASESTUDIES

Publicatiedatum / november 2020

DOCUMENTBESCHRIJVING

- | | |
|---|--|
| <p>1 <i>Titel van publicatie:</i>
Afwegingskader biobrandstoffen -
Deel 2: casestudies
<i>Wettelijk Depot nummer:</i></p> <p>4 <i>Samenvatting:</i></p> | <p>2 <i>Verantwoordelijke Uitgever:</i>
OVAM</p> <p>3 <i>Trefwoorden:</i>
biobrandstoffen cascadering hiërarchie levenscyclus LCA
biomassareststromen hout maïs houtafval afwegingskader cases</p> |
|---|--|

Dit deelrapport past de methodologie uit deel 1 toe op 4 cases die relevant zijn in een Vlaamse context. Daarnaast worden conclusies en aanbevelingen geformuleerd voor verdere verfijning van de methodologie.

- | | |
|---|--|
| <p>5 <i>Aantal bladzijden:</i> 182</p> <p>7 <i>Datum publicatie:</i>
November 2020</p> <p>9 <i>Begeleidingsgroep en/of auteur: /</i></p> <p><u><i>Auteurs</i></u>
<i>Bernard De Caemel (RDC Environment)</i>
<i>Elisabeth Van Overbeke (RDC Environment)</i>
<i>Luc Pelkmans (CAPREA Sustainable Solutions)</i>
<i>Marc De Vos (RDC Environment)</i>
<i>Tom Huppertz (RDC Environment)</i></p> <p><u><i>Begeleidingsgroep</i></u>
<i>An Van Pelt (OVAM)</i>
<i>Nico Vanaken (OVAM)</i>
<i>Leden klankbordgroep (zie deel 1, bijlage 4.5.)</i></p> | <p>6 <i>Aantal tabellen en figuren: /</i></p> <p>8 <i>Prijs*: /</i></p> <p>10 <i>Contactpersonen:</i>
<i>Nico Vanaken (OVAM, nico.vanaken@ovam.be)</i>
<i>An Van Pelt (OVAM, an.vanpelt@ovam.be)</i></p> |
|---|--|

Andere titels over dit onderwerp:

Afwegingskader biobrandstoffen – Deel 1:
Afwegingskader en praktische gids

U hebt het recht deze brochure te downloaden, te printen en digitaal te verspreiden. U hebt niet het recht deze aan te passen of voor commerciële doeleinden te gebruiken.

De meeste OVAM-publicaties kunt u raadplegen en/of downloaden op de OVAM-website:

<http://www.ovam.be>

* Prijswijzigingen voorbehouden.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	9
2	Biomassa beschikbaarheid	10
2.1	RESIDUEN BOSEXPLOITATIE	10
2.1.1	Bosoppervlakte.....	10
2.1.2	Huidig gebruik.....	12
2.1.3	Residuen	13
2.2	KORRELMAÏSRESTEN	15
2.2.1	Korrelmaïsteelt in Vlaanderen.....	15
2.2.2	Residuen	17
2.3	HOUTIGE FRACTIE GROENAFVAL.....	19
2.3.1	Beschikbare hoeveelheden in Vlaanderen	19
2.4	POST-CONSUMER HOUTAFVAL : A-HOUT	21
2.4.1	Beschikbare hoeveelheden in Vlaanderen	22
3	CONVERSIETECHNIEKEN BIOMASSARESIDUEN NAAR BIOBRANDSTOF	23
3.1	LIGNOCELLULOSE.....	23
3.2	MOGELIJKE CONVERSIETECHNIEKEN.....	24
3.3	TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)	25
3.4	HYDROLYSE EN FERMENTATIE TOT ALCOHOL.....	27
3.5	VERGASSING	29
3.6	PYROLYSE / LIQUEFACTIE	33
3.7	KEUZE CONVERSIETECHNIEKEN VOOR DE CASESTUDIES	36
4	CASESTUDIE 1: ETHANOL GEPRODUCEERD UIT MAÏSSTRO	37
4.1	MODELLERING - AANNAMES.....	38
4.1.1	Milieu.....	38
4.1.2	Economie	45
4.1.3	Sociaal.....	52
4.2	RESULTATEN	53

4.2.1	Ethanol uit maïsstro - Milieu	53
4.2.2	Ethanol uit maïsstro - Economie.....	62
4.2.3	Ethanol uit maïsstro - Sociaal	64
4.2.4	Ethanol uit maïsstro - Geaggregeerde maatschappelijke resultaten	65
4.2.5	Ethanol uit maïsstro – randbemerkingen bij de interpretatie van de resultaten	68
5	CASESTUDIE 2A: METHAAN GEPRODUCEERD UIT RESIDUEN VAN BOSEXPLOITATIE	70
5.1	MODELLERING - AANNAMES.....	71
5.1.1	Milieu.....	71
5.1.2	Economie	74
5.1.3	Sociaal.....	77
5.2	METHAAN UIT BOSRESIDU - RESULTATEN	78
5.2.1	Methaan uit bosresidu - Milieu	78
5.2.2	Methaan uit bosresidu – Economie.....	86
5.2.3	Methaan uit bosresidu - Sociaal	88
5.2.4	Methaan uit bosresidu - Geaggregeerde maatschappelijke resultaten	89
5.2.5	Biomethaan uit bosresiduen – randbemerkingen bij de interpretatie van de resultaten	92
6	CASESTUDIE 2B: BODIESEL GEPRODUCEERD UIT RESIDUEN VAN BOSEXPLOITATIE.....	94
6.1	MODELLERING - AANNAMES.....	94
6.1.1	Milieu.....	94
6.1.2	Economie	101
6.1.3	Sociaal.....	105
6.2	BODIESEL UIT BOSRESIDU - RESULTATEN.....	106
6.2.1	Biodiesel uit bosresidu - Milieu	106
6.2.2	Biodiesel uit bosresidu - Economie	114
6.2.3	Biodiesel uit bosresidu - Sociaal	115
6.2.4	Biodiesel uit bosresidu - Geaggregeerde maatschappelijke resultaten	116
6.3	VERGELIJKING TUSSEN CASESTUDIES 2A EN 2B	118
6.3.1	Resultaten.....	118
6.3.2	Biobrandstoffen uit bosresiduen – randbemerkingen bij de interpretatie van de resultaten....	118
7	CASESTUDIE 3A: METHAAN GEPRODUCEERD UIT DE HOUTIGE FRACTIE VAN GROENAFVAL	120

7.1	MODELLERING – AANNAMES	120
7.1.1	Milieu	121
7.1.2	Economie - Sociaal	122
7.2	RESULTATEN	123
7.2.1	Methaan uit groenafval - Milieu	123
7.2.2	Methaan uit groenafval – Economie en sociaal	128
7.2.3	Biomethaan uit de houtige fractie van groenafval – randbemerkingen bij de interpretatie van de resultaten	128
8	CASESTUDIE 3B: BIODIESEL GEPRODUCEERD UIT DE HOUTIGE FRACTIE VAN GROENAFVAL	131
8.1	MODELLERING - AANNAMES	131
8.1.1	Milieu	131
8.1.2	Economie	133
8.1.3	Sociaal	134
8.2	BIODIESEL UIT GROENAFVAL - RESULTATEN	134
8.2.1	Biodiesel uit groenafval - Milieu	134
8.2.2	Biodiesel uit groenafval - Economie	140
8.2.3	Biodiesel uit groenafval - Sociaal	141
8.2.4	Biodiesel uit groenafval - Geaggregeerde maatschappelijke impacten	142
8.2.5	Biodiesel uit de houtige fractie van groenafval – randbemerkingen bij de interpretatie van de resultaten	144
9	CASESTUDIE 4: METHAAN GEPRODUCEERD UIT POSTCONSUMER HOUTAFVAL (A-HOUT)	145
9.1	MODELLERING – AANNAMES	145
9.1.1	Milieu	146
9.1.2	Economie - Sociaal	148
9.2	METHAAN UIT A-HOUT - RESULTATEN	148
9.2.1	Milieu	148
9.2.2	Methaan uit A-hout – Economie en sociaal	155
10	TRANSVERSALE ANALYSE VAN DE CASESTUDIES	156
10.1	OVERZICHT VAN DE 4 CASESTUDIES	156
10.1.1	opzet van de studie	156

10.1.2	Case 1 - Ethanol geproduceerd uit maïsstro	157
10.1.3	Case 2a - Methaan geproduceerd uit residuen van bosexploitatie	159
10.1.4	Case 2b - Biodiesel geproduceerd uit residuen van bosexploitatie	160
10.1.5	Case 3a - Methaan uit de houtige fractie van groenafval	161
10.1.6	Case 3b - Biodiesel uit de houtige fractie van groenafval	162
10.1.7	Case 4 - Methaan uit A-hout.....	164
10.1.8	Algemene conclusies	166
10.2	TYPOLOGIE VAN CONSEQUENTIËLE GEVOLGEN	168
10.3	NOOD AAN VERDER ONDERZOEK - IMPACT AANNAMES.....	170
10.4	PRESENTATIE VAN DE BIOGENE EMISSIES.....	172
11	BIJLAGE – DETAIL GEGEVENS VAN DE CASESTUDIES.....	173
11.1	CASESTUDIE 1: ETHANOL GEPRODUCEERD UIT MAÏSTRO	173
11.1.1	Methodologie	173
11.1.2	Resultaten.....	175
11.2	CASESTUDIE 2A: METHAAN GEPRODUCEERD UIT RESIDUEN VAN BOSEXPLOITATIE	178
11.2.1	Resultaten.....	178
11.3	CASESTUDIE 2B: BIODIESEL GEPRODUCEERD UIT RESIDUEN VAN BOSEXPLOITATIE.....	179
11.3.1	Resultaten.....	179
11.4	CASESTUDIE 3A: METHAAN GEPRODUCEERD UIT DE HOUTIGE FRACTIE VAN GROENAFVAL.....	180
11.4.1	Resultaten.....	180
11.5	CASESTUDIE 3B: BIODIESEL GEPRODUCEERD UIT DE HOUTIGE FRACTIE VAN GROENAFVAL.....	181
11.5.1	Resultaten.....	181
11.6	Casestudie 4: Methaan geproduceerd uit postconsumer houtafval (A-hout)	182
11.6.1	Resultaten.....	182

1 INLEIDING

Gezien de verwachte toenemende vraag naar geavanceerde biobrandstoffen, die vooral uitgaan van biomassa residuen (waarvan sommige al een functie hebben), is in opdracht van OVAM een afwegingskader opgesteld om uitspraken te kunnen doen rond de maatschappelijke wenselijkheid van het gebruik van biomassareststromen voor biobrandstoffen. Het afwegingskader is uitgewerkt in een apart rapport¹.

Dit rapport bevat een aantal casestudies om de toepasbaarheid van het afwegingskader te testen. Deze casestudies draaien rond vier reststromen, door OVAM geselecteerd vooral omwille van hun potentieel in Vlaanderen (met significant potentieel voor industriële schaalgrootte): (1) korrelmaïsresten (stengels, spillen); (2) residuen van bosexploitatie; (3) houtige fractie van groenafval; (4) post-consumer houtafval (A-hout).

Voor de keuze van de casestudies binnen deze studie hebben we rekening gehouden met processen die tegen 2030 commercieel beschikbaar kunnen zijn om deze reststromen om te zetten naar biobrandstof. De volgende conversietechnieken zijn geselecteerd:

- fermentatie van lignocellulose naar ethanol: toegepast op maïsstro in casestudie 1;
- vergassing en methanatie tot biomethaan: toegepast op residuen van bosexploitatie in casestudie 2a; op de houtige fractie van groenafval in casestudie 3a; op postconsumer houtafval in casestudie 4;
- pyrolyse en upgrading tot biodiesel: toegepast op residuen van bosexploitatie in casestudie 2b; op de houtige fractie van groenafval in casestudie 3b.

Deze maatschappelijke kosten-baten analyse (MKBA) van het gebruik van deze biobrandstoffen ter vervanging van fossiele brandstof past de methodologie toe die in deelrapport 1 van deze studie ontwikkeld werd. Details over de methodologie worden in dit casestudies rapport maar zelden herhaald. De lezer wordt uitgenodigd om deelrapport 1 te lezen om de methologie van de analyses beter te begrijpen.

Hoofdstuk 2 analyseert de beschikbaarheid van de geïsoleerde afvalstromen en Hoofdstuk 3 analyseert de beschikbare verwerkingstechnieken om een keuze te maken van de meest relevante technieken voor de modellering van elke casestudie. Hoofdstukken 4 tot 9 bevatten de analyses van de verschillende casestudies. In Hoofdstuk 10 wordt een transversale analyse gemaakt van de resultaten, met een overzicht van nood aan verder onderzoek.

Opmerking: Soms laten we meer cijfers achter in een getal dan het aantal significante cijfers om de reproduceerbaarheid van de berekeningen door de lezer te vergemakkelijken.

¹ Afwegingskader biobrandstoffen – Deel 1: Afwegingskader en praktische gids

2 BIOMASSA BESCHIKBAARHEID

2.1 RESIDUEN BOSEXPLOITATIE



Bron: Luc Pelkmans

2.1.1 Bosoppervlakte

Volgens de 2^e Vlaamse Bosinventaris² (2009-2019) is er ongeveer **136.000 hectare bos** in Vlaanderen, wat in dezelfde lijn ligt als de 1^e Bosinventaris (1997-1999). De Vlaamse boswijzer komt op een iets hoger getal (164.000 hectare in 2015), maar deze geeft de bedekking van bomengroepen weer op basis van digitale luchtfoto's, wat resulteert in een hogere oppervlakte dan wat volgens het Bosdecreet als bos wordt beschouwd.

Ter vergelijking: het totale bosbestand in België ligt rond 675.000 hectare, wat betekent dat slechts 20% van het Belgisch bosoppervlak in Vlaanderen ligt.

De volgende tabel geeft de verdeling van het bosbestand in Vlaanderen, opgedeeld per provincie. Onderscheid wordt gemaakt tussen naaldhout (+ gemengd naaldhout) en loofhout (+ gemengd loofhout).

² De 2e Vlaamse bosinventaris is nog niet publiek beschikbaar. De cijfers werden ons bezorgd door het Agentschap Natuur en Bos (ANB).

Tabel 1: Bos en bosbouw in Vlaanderen (op basis van 2e Vlaamse Bosinventaris), uitgedrukt in hectare. Bron: ANB

Regio	NH+GNH	LH+GLH	Totaal
West-Vlaanderen	2 514	8 189	10 703
Oost-Vlaanderen	3 102	12 034	15 136
Antwerpen	19 662	21 574	41 236
Limburg	23 275	21 694	44 969
Vlaams Brabant	3 316	20 724	24 040
TOTAAL Vlaams Gewest	51 869	84 215	136 084

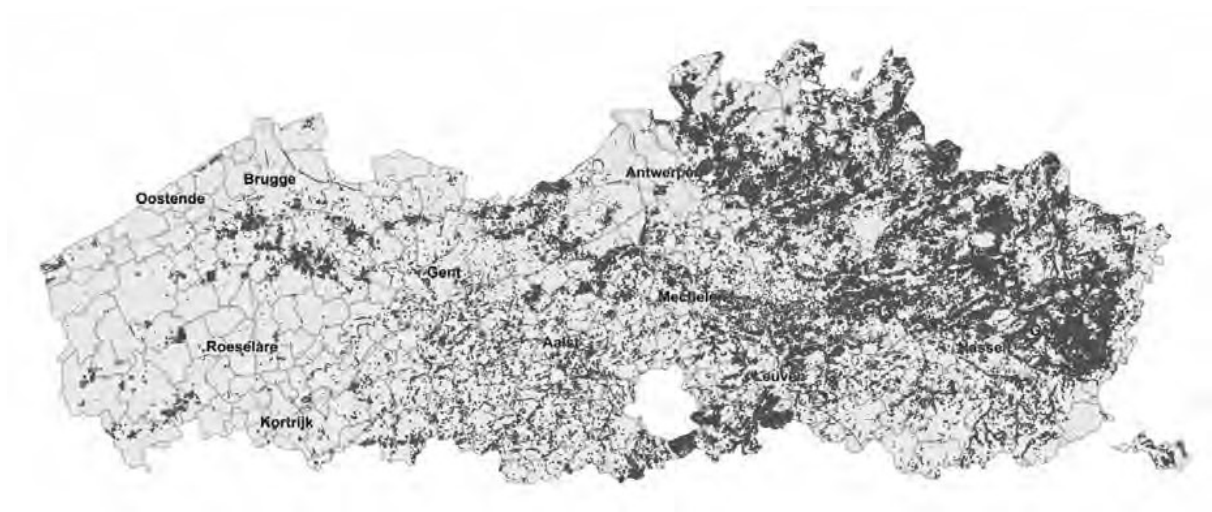
NH+GNH = naaldbos en gemengd naaldbos

LH+GLH = loofbos en gemengd loofbos

De oostelijke provincies zijn het bosrijkste met de provincies Limburg en Antwerpen die elk iets meer dan 40.000 ha bos tellen, gevolgd door Vlaams-Brabant en Oost-Vlaanderen. West-Vlaanderen is het minst bebost. In provincies Antwerpen en Limburg is er ongeveer evenveel naaldbos als loofbos, terwijl in de andere provincies loofbossen duidelijk primeren. Ten opzichte van de 1^e bosinventaris is er wel een gestage verschuiving van naaldbos naar loofbos. Naaldbos vertegenwoordigde ongeveer 44% van Vlaamse bossen in de 1^e inventaris, in de 2^e inventaris is dit gedaald tot 39%.

De volgende Figuur toont het resultaat van de Bosreferentielaag (2000) voor Vlaanderen, die ook wijst op de grotere bosconcentratie in de provincies Limburg en Antwerpen.

Figuur 1: Bosreferentielaag (2000) (uit OVAM, 2017)³



³ OVAM (2017). Aanbod en bestemming biomassa(rest)stromen voor de circulaire economie in Vlaanderen
https://www.ovam.be/sites/default/files/atoms/files/marktanalyse%20Biomassa%28rest%29stromen-volledig_LR.pdf

Volgens de 2^e Vlaamse bosinventaris bestaat het Vlaamse bos ongeveer uit 60% privébossen en 40% openbaar domein (van Vlaamse overheid of lokaal bestuur).

Het gemiddelde houtvolume op stam bedraagt 273 m³/ha. Dit zou neerkomen op 37 miljoen m³ in Vlaanderen (2^e bosinventaris). De gemiddelde aanwas⁴ wordt ingeschat op

- 15,1 m³/ha/jr voor naaldhout
- 12,6 m³/ha/jr voor gemengd naaldhout
- 12,8 m³/ha/jr voor loofhout
- 10,4 m³/ha/jr voor gemengd loofhout

Dit komt neer op een totale aanwas van ongeveer 1,8 miljoen m³/jaar (1,1 miljoen m³/jaar in 'gekoppelde bomen'). Let dat er een groot verschil is tussen beheerde en onbeheerde bossen. De meeste openbare bossen worden beheerd door ANB (ANB verkoopt jaarlijks zo'n 220.000 m³ stamhout uit Vlaamse openbare bossen⁵); een deel van de private bossen worden beheerd via bosgroepen, maar een groot deel wordt niet beheerd. Ook wordt een deel van het bosbestand eerder beheerd richting natuurdoelen (reservaten, open plekken), wat kan leiden tot een lagere aanwas.

2.1.2 Huidig gebruik

In 2017 werd een marktstudie uitgevoerd in het kader van het Eco2Eco project⁶. Vraag en aanbod op de Vlaamse houtmarkt werd onderzocht, met de focus op industrieel rondhout. Hieruit blijkt dat er jaarlijks circa 526.000 m² industrieel rondhout wordt geoogst (gebaseerd op oogstgegevens 2013-2016, met ingeschatte oogst op 58% van het private bosoppervlak). Onderstaande figuur illustreert de bestemming van het geoogste rondhout, ook uit de Eco2Eco studie, opgedeeld tussen naaldhout, loofhout en populier. De Vlaamse oogst van **industrieel rondhout**⁷ bestaat volgens deze inschatting voor ongeveer de helft (49%) uit naaldhout, voor 38% uit populier en voor 13% uit overig loofhout. In totaal wordt ongeveer de helft van het in Vlaanderen geoogste industriële rondhout geëxporteerd. Binnen Vlaanderen wordt het geoogste volume industrieel rondhout voornamelijk ingezet in de plaatindustrie (51%), gevolgd door de rondhoutzagerijen (37%), waarvan het merendeel (32%) tot houten verpakkingen zoals paletten en kisten wordt verwerkt. Ook wordt er in de regio papier en karton (8%) en fineer (4%) van Vlaams rondhout geproduceerd.

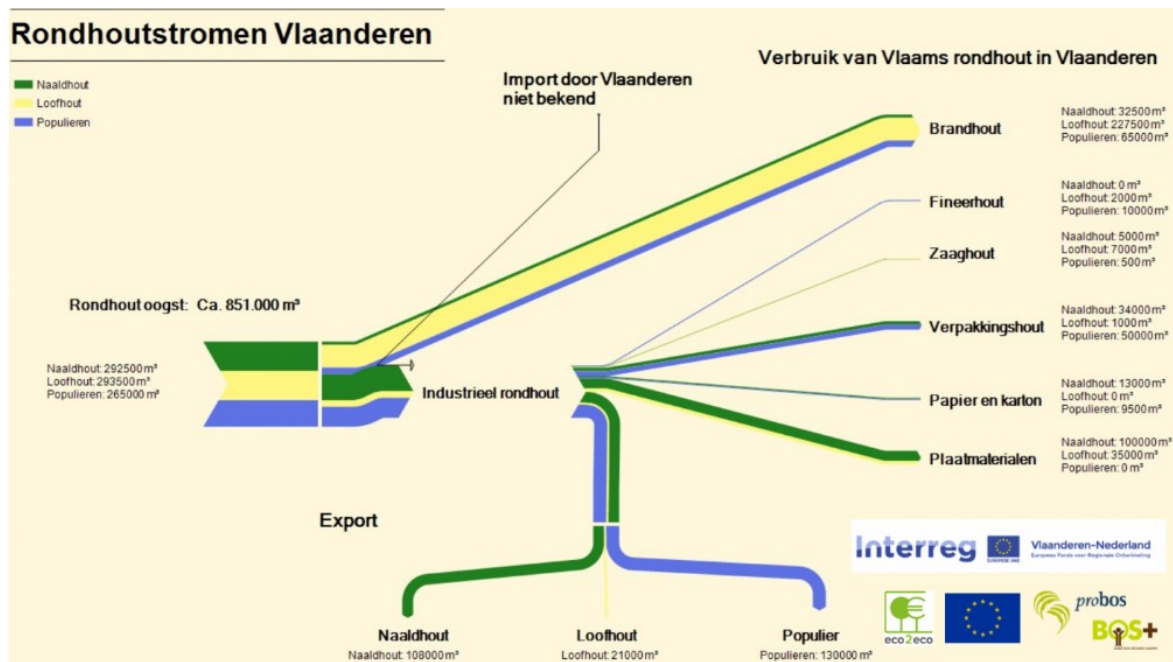
4 = schatting van de gehele aanwas van het bestand: gekoppelde bomen + ingegroeide bomen + bomen die tussen beide periodes zijn geëxploiteerd of afgestorven. Aangroei van 'gekoppelde bomen' wordt ingeschat tussen 6 en 9 m³/ha/jr.

5 <https://www.natuurenbos.be/pers-nieuws/nieuws/bomen-uit-vlaamse-bossen-lossen-tekort-van-vlaamse-houtverwerkers-op>

6 eco2eco (2017). werkpakket 3 – Vraag en aanbod op de houtmarkt in Nederland en Vlaanderen - activiteit III – Toekomstige vraag naar (kwaliteits)hout in relatie tot het mogelijke aanbod. http://www.probos.nl/images/pdf/rapporten/RAP2017_eco2eco_WP3_Act3_eindrapport.pdf

7 Industrieel hout omvat hier al het rondhout dat niet rechtstreeks voor verbranding wordt gebruikt. Het betreft zowel hout voor de papier- en platenindustrie als meer kwaliteitsvolle toepassingen (constructie, meubels, fineer...).

Figuur 2: Overzicht oogst en gebruik van rondhout in Vlaanderen⁸



Uit een enquête bij huishoudens leidden Vandekerckhove et al. (2014)⁹ af dat er jaarlijks ongeveer 1 miljoen m³ brandhout afkomstig uit houtige beplantingen door Vlaamse huishoudens wordt verbruikt. Er is aangenomen dat 32,5% hiervan afkomstig is uit bos (gebaseerd op Nederlandse cijfers), wat overeenkomt met een oogst van 325.000 m³ brandhout uit de Vlaamse bossen. Het gaat hier echter niet uitsluitend om rondhout, maar ook dik tak- en tophout; dit brandhout bereikt de eindgebruikers voornamelijk via informele kanalen. De oogst van brandhout wordt ingeschat op 10% naaldhout, 20% populier en 70% loofhout.

2.1.3 Residuen

Relatief gezien is er een beduidend verschil tussen residuen bij loofhout tegenover naaldhout. Onderstaande tabel geeft typische verhoudingen van residuen ten opzichte van stamhout voor eik en beuk (loofhout) en grove den (naaldhout). Bij loofhout zit ongeveer 60% van de biomassa in het stamhout + schors, ongeveer 20% in

⁸ Bron: Dries Van der Heyden, Joris Dehennin en Jan Oldenburger (2019) Rondhoutstromen in Vlaanderen. Bosrevue 77a, 1-12. http://www.probos.nl/images/pdf/artikelen/Bosrevue_Rondhoutstromen_in_Vlaanderen-_2019.pdf

zie ook <https://bosrevue.bosplus.be/bosrevue/editie/2019/04/30/Rondhoutstromen-in-Vlaanderen>

⁹ Vandekerckhove K., De Keersmaecker L., Demolder H., Esprit M., Thomaes A., Van Daele T., Van der Aa B. (2014). Hoofdstuk 13- Ecosysteemdienst houtproductie. (INBO.R.2014.1993289).

dikkere takken, en een kleine 20% in dunnere taken. Bij naalddhout zit ongeveer 85% van de biomassa in het stamhout + schors, en ongeveer 10% in dunner takhout.

Tabel 2 Distributie van de biomassa in de verschillende fracties van de boom. (INBO (2015)¹⁰, tabel 8)

	Stam	Schors	Tak 1: diameter >7cm	Tak 2: diameter 4cm-7cm	Tak 3: diameter <4cm	Naalden	Bron
<i>Quercus robur</i>	59%	5%	23%	5%	8%		a
<i>Fagus sylvatica</i>	58%	4%	17%	10%	11%		a
<i>Pinus nigra</i>	73%	13%	0%	1%	9%	4%	b
<i>Pinus sylvestris</i>	86%		12%			2%	c
	84%	5%	7%			2%	d
	84%		12%			4%	e
a: André et al. 2010		Locatie plot en bomen:		België			
b: Neiryck et al. 1998				België			
c: Xiao et al. 2012				België			
d: Cienicala 2006				Tsjechië			
f: de Jong et al. 2011				Nederland			

De volgende tabel toont cijfers van het Europese project S2Biom voor de jaarlijks beschikbare hoeveelheden hout/biomassa uit bossen in Vlaanderen in 2030.

Tabel 3: Ingeschatte jaarlijks beschikbare hoeveelheden hout/biomassa uit Vlaamse bossen (2030, technisch potentieel, in kton/jr) volgens S2Biom (2016)¹¹

kton/jr Regio	Stamhout van eindkap en dunningen - loofhout	Stamhout van eindkap en dunningen - naalddhout	Oogstresiduen
West-Vlaanderen	26,7	15,9	11,1
Oost-Vlaanderen	61,0	18,7	20,7
Antwerpen	56,8	114,1	50,4
Limburg	47,3	105,7	49,6
Vlaams Brabant	60,5	15,1	21,6
TOTAAL Vlaams Gewest	252,3	269,5	153,5
TOTAAL BELGIË	702,4	1339,5	686,9

Berekeningen zijn gebeurd met het Europese model EFISCEN, op basis van beschikbare nationale gegevens (voor Vlaanderen: 1^e Vlaamse bosinventaris).

Het totale potentieel van houtige residuen van bosexploitatie in Vlaanderen is binnen S2Biom (2016) ingeschat rond **150 kt/jr**. De beschikbare residuen kunnen verder ingeperkt worden door ecologische voorwaarden, onder meer i.v.m. aanwezigheid dood hout, en het bodemtype (arm-rijk).

10 INBO (2015). Verfijnen van een algemeen afwegingskader voor biomassa-oogst in Vlaamse bossen tot een werkbaar terreininstrument. <https://www.vlaanderen.be/publicaties/verfijnen-van-een-algemeen-afwegingskader-voor-biomassa-oogst-in-vlaamse-bossen-tot-een-werkbaar-terreininstrument>

11 Data beschikbaar via <https://s2biom.wenr.wur.nl/web/guest/data-downloads>

2.2 KORRELMAÏSRESTEN



Bron: Luc Pelkmans en CropWatch (US)¹²

2.2.1 Korrelmaïsteelt in Vlaanderen

België telde in 2018 een landbouwareaal van 1.356.000 hectare, waarvan 46% (619.000 ha) in Vlaanderen¹³.

De oppervlakte korrelmaïs in België ligt de laatste jaren rond 50.000 ha, het merendeel hiervan (90%) in Vlaanderen. Een piek werd bereikt in 2013 met meer dan 74.000 ha, maar tussen 2013 en 2016 was er een duidelijk dalende trend, met een stabilisatie in de laatste jaren (zie Figuur 3).

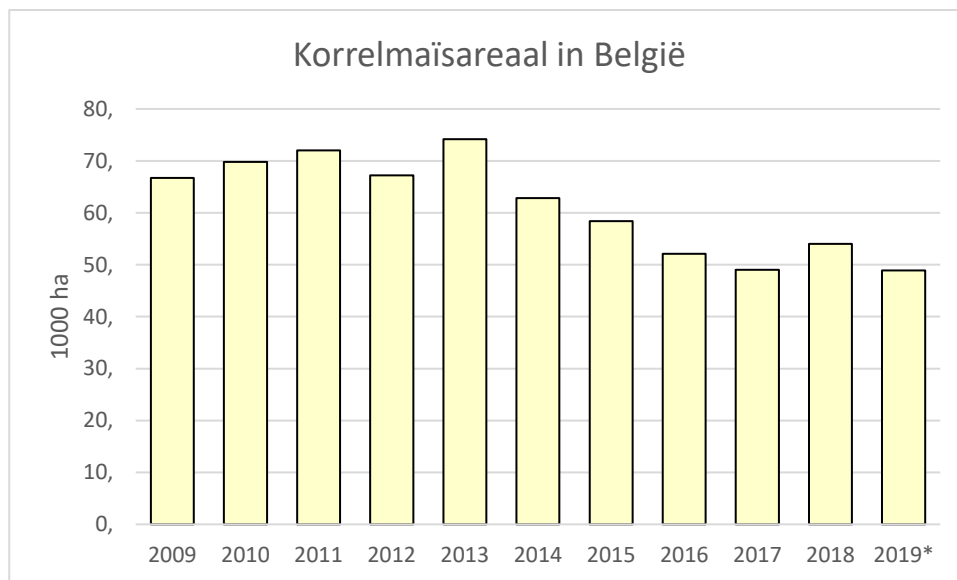
Totale opbrengsten van korrelmaïs op Belgisch niveau lagen op 609 kton in 2017 (gemiddeld 12,4 ton/ha) en 443 kton in 2018 (gemiddeld 8,1 ton/ha). Let dat de opbrengsten in 2018 een stuk lager waren door de warme droge zomer. Voorlopige ramingen voor 2019 tonen een areaal van 48867 ha korrelmaïs, met een opbrengst van 527 kton (10,8 ton/ha).¹⁴

¹² <https://cropwatch.unl.edu/2017/corn-stover-removal-nutrient-value-stover-and-impacts-soil-properties>

¹³ Bron: Belgische landbouwcijfers 2018 <https://statbel.fgov.be/sites/default/files/files/documents/landbouw/8.1%20Land-%20en%20tuinbouwbedrijven/DBREF-L05-2018-TAB-A-NL.xlsx>

¹⁴ Bron: <https://statbel.fgov.be/nl/themas/landbouw-visserij/land-en-tuinbouwbedrijven#figures>

Figuur 3: Evolutie korrelmaïsareaal in België. Bron: Eurostat



Volgende tabel geeft een overzicht het korrelmaïsareaal in Vlaanderen in 2017-2018, met een verdeling over de verschillende provincies.

Tabel 4: Verdeling korrelmaïsareaal in Vlaanderen in 2017-2018. Bron: Statbel

Regio	Oppervlakte korrelmaïs (ha) 2017	Oppervlakte korrelmaïs (ha) 2018
West-Vlaanderen	10549	12239
Oost-Vlaanderen	12878	13403
Antwerpen	4933	5558
Limburg	6388	6628
Vlaams Brabant	9444	10474
TOTAAL Vlaams Gewest	44193	48302
TOTAAL BELGIË	49005	53987

Korrelmaïs is eerder gesitueerd in de westelijke provincies van Vlaanderen (*in tegenstelling tot het bosbestand, dat meer in de oostelijke provincies gesitueerd is*); Oost-Vlaanderen, West-Vlaanderen en Vlaams Brabant vertegenwoordigen samen ongeveer 3/4 van het Vlaamse areaal.

2.2.2 Residuen

Korrelmaïs wordt op dit moment vooral gebruikt voor veevoer. Hiervoor wordt alleen de korrel gebruikt, en niet de gehele plant zoals het geval is bij snijmaïs. De plant wordt wel ingezet als organische stof voor de bodem door deze onder te ploegen op het land.

ILVO¹⁵ heeft in 2010 op verschillende proefvelden gekeken naar de gemiddelde opbrengst van verschillende korrelmaïsrassen. Zij kwamen op een gemiddelde opbrengst van iets meer dan 20 ton/ha droge stof, waarvan 54% (~11 ton/ha) in de korrels en 46% (~9 ton/ha) in de restplant. De resten bestonden voor 1/4 uit spil + schutblad, en voor 3/4 uit stengel + blad. Dit is zeer vergelijkbaar met resultaten van andere internationale publicaties zoals Shinnars et al. (2007)¹⁶ uit de Verenigde Staten die kwamen op een verdeling van 51,4% korrels, 38,3% stengels en bladeren, en 10,3% spil en schutbladeren.

Er zijn beperkingen op hoeveel oogstresten van het veld kunnen/mogen gehaald worden.

- Langs de ene kant is de hoeveelheid die geoogst kan worden in de praktijk gelimiteerd door de oogsttechniek en de toestand van het perceel. ILVO heeft testen uitgevoerd met samenwerken van de restplant na traditionele korrelmaïsoogst, gevolgd door oprapen en in balen persen – deze balen konden dan afgevoerd worden. Het ophaalrendement bij deze proeven lag tussen 34% en 68% op droge stofbasis. Het verzamelde materiaal bevatte vrij veel aarde. De inzet van meer geschikt materiaal zal vereist zijn om het ophaalrendement te verhogen. Nieuwe oogsttoestellen (zoals simultane oogst, zie foto hieronder) kunnen op termijn toelaten om verschillende fracties simultaan te oogsten.



15 ILVO (2014). Bodem, Nutriënten, Compost: onderzoek naar een duurzame landbouw. Paragraaf 7.3.4, p91-96. https://www.ilvo.vlaanderen.be/Portals/68/documents/Mediatheek/Medelingen/171_Cringloop.pdf

16 K.J. Shinnars, et al. Comparison of wet and dry corn stover harvest and storage. Biomass and Bioenergy 31 (2007) 211-221.

Voorbeeld van simultane oogst van korrelmaïsresten. Bron: US Department of Energy – Office of Energy Efficiency and Renewable Energy¹⁷

- Langs de andere kant dienen er ook limieten gesteld te worden met het oog op het organische stofgehalte van de bodem en de nutriëntenbalans. Richtlijnen in de Verenigde Staten¹⁸ stellen dat ongeveer de helft van de resten (4-5 ton/ha) mogen verwijderd worden, en dat dit best enkel wordt toegepast op relatief vlakke velden (met het oog op erosiegevoeligheid), en bodems met voldoende hoog organisch stofgehalte. ILVO concludeerde uit proeven dat minstens 1/3 van de oogstresten dienen achtergelaten om het organische stofgehalte in de bodem op peil te houden; eventueel kan dit ook door de oogstresten slechts 2 op 3 jaar te verwijderen; de bijdrage van wortelbiomassa zou een belangrijkere rol spelen voor opbouw van organische stof dan maisstro¹⁹. Instellen van de hoogte van de oogst (stoppel) heeft ook impact op de hoeveelheid die kan afgevoerd worden. Daarnaast is het ook mogelijk om het verlies aan organische stof te compenseren met mest, digestaat of compost.

Concluderend gaan we uit van een mogelijke beschikbaarheid van 4 à 5 ton droge massa per hectare, wat voor heel Vlaanderen neerkomt op een potentieel van ongeveer **200 kton per jaar**. In de praktijk zal dit ook beperkt worden door logistieke mogelijkheden.

Er dient ook rekening gehouden te worden met seizoensafhankelijkheid; de oogst van korrelmaïs vooral gebeurt in het najaar, rond oktober, dus opslag zal belangrijk zijn. De oogstomstandigheden in de Verenigde Staten (bv. in Iowa) zijn ook anders, gezien zij oogsten in veel drogere omstandigheden. In onze regio's zal het materiaal bij oogst in het najaar veel vochtiger zijn, wat langdurige opslag kan bemoeilijken.

¹⁷ <https://www.energy.gov/eere/articles/five-harvesting-technologies-are-making-biofuels-more-competitive-marketplace>

¹⁸ NREL (2001) Corn Stover for Bioethanol –Your New Cash Crop? <https://www.nrel.gov/docs/fy01osti/29691.pdf>

¹⁹ Hiu Xu et al. (2019). Maize root-derived C in soil and the role of physical protection on its relative stability over shoot-derived C. European Journal of Soil Science.

2.3 HOUTIGE FRACTIE GROENAFVAL



Bron: OVAM

Groenafval is het composteerbaar organisch-biologisch afval dat onder meer vrijkomt in tuinen, plantsoenen, parken, natuurgebieden, op oevers van waterlopen en wegbermen. Groenafval omvat snoeihout met een diameter kleiner dan 10 cm, plantenresten, haagscheersel, bladeren, gazon- en wegbermmaaisel. (OVAM)

2.3.1 Beschikbare hoeveelheden in Vlaanderen

Het groenafval wordt door de gemeenten ingezameld in twee fracties: (1) snoeihout en boomstronken en (2) gemengd tuinafval. De OVAM inventaris huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval uit 2018²⁰ vermeldt dat 418,4 kton groenafval verzameld is in het Vlaams Gewest in 2017, waarvan 93,6 kton snoeihout en boomstronken en 324,8 kton gemengd tuinafval.

Composteerinstallaties ontvangen daarnaast nog andere stromen. Volgens het laatste *Voortgangsrappport Actieplan Biomassastromen* uit 2018²¹ is er in 2017 ruim 600 kton groenafval gecomposteerd, met een afzet van 324 kton groencompost.

Groenafval bevat een substantiële houtige fractie. Volgens het SYNECO²² project van VLACO bestaat gemiddeld ongeveer 25% van het verse groenafval uit houtige fractie. Daarnaast wordt ook zeefoverloop gerecirculeerd. Inclusief recirculatie bestaat gemiddeld circa 32% van de composthopen uit structuurmateriaal. Er wordt uitgegaan van de vuistregel dat minstens 20% structuurmateriaal nodig is bij de aanvang van groencompostering om een goede compostkwaliteit te garanderen. Theoretisch gezien kan dus ruim 10% van de totale inputstromen gebruikt worden voor andere doeleinden, wat zou neerkomen op ongeveer **60 kton per jaar**. Met

20 https://www.ovam.be/sites/default/files/atoms/files/Rapport%20huishoudelijk%20afval%20en%20gelijkaardig%20bedrijfsafval%202017_0.pdf

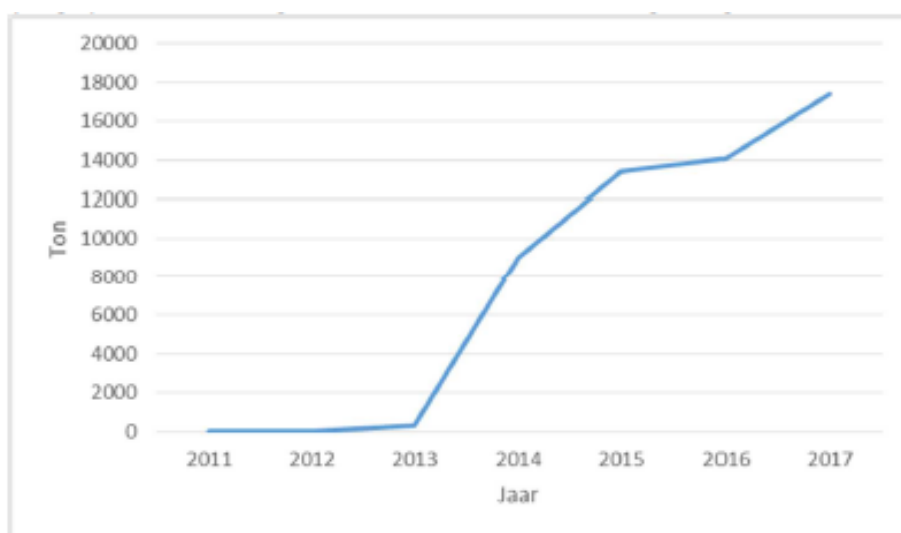
21 <https://www.vlaanderen.be/publicaties/voortgangsrapportage-actieplan-duurzaam-beheer-van-biomassareststromen-2015-2020>

22 <https://www.vlaco.be/sites/default/files/generated/files/page/eindrapport-syneco.pdf>

lagere composthopen en/of een intensiever proces zouden sommige composteersites eventueel tot 15% van het groenafval kunnen afscheiden.

Houtige fracties kunnen ofwel vóór het composteerproces worden afgescheiden, ofwel ná het proces als zeefoverloop. Voor de verse houtige fractie van het groenafval geldt in het Vlarema nog steeds een verbrandingsverbod, maar is er wel de mogelijkheid tot aanvraag van afwijking. Onderstaande figuur toont de evolutie van de hoeveelheden die onder zulke afwijking zijn toegepast voor energieproductie. Voor zeefoverloop moet er geen afwijking op het verbrandingsverbod worden aangevraagd.

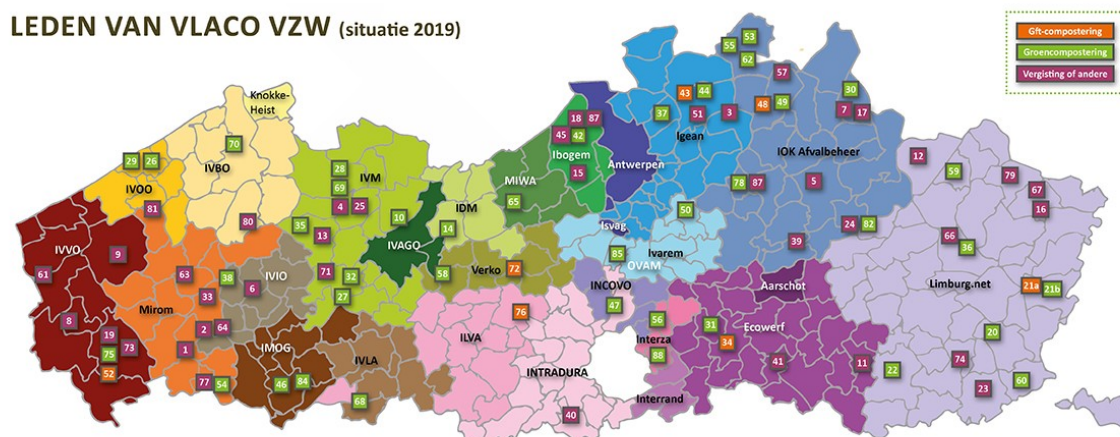
Figuur 4: Evolutie houtig groenafval vanuit Vlaamse groencompostering onder afwijking op het verbrandingsverbod (= exclusief zeefoverloop) (bron: OVAM Voortgangsrapport Actieplan Biomassastromen, 2018)



In de praktijk wordt houtig materiaal ook ontvangen door producenten van gft- of OBA-compost (op basis van groenafval met beperkt aandeel OBA). Indien deze installaties - die over een keuringsattest voor de geproduceerde compost beschikken - een overschot aan houtig materiaal of zeefoverloop hebben, kunnen deze dit ook afvoeren naar energetische valorisatie. De houtige fractie van groenafval wordt gedeeltelijk ook ingezameld door Nederlandse inzamelaars. Deze voeren de houtige fractie af naar Nederlandse biomassaplatformen die het deels composteren, maar grotendeels afvoeren naar Nederlandse biomassacentrales.

Groencomposteerinstallaties zijn vrij gelijkmatig verdeeld over Vlaanderen, zoals duidelijk is uit onderstaande figuur, die een overzicht biedt van verwerkers van organisch-biologisch afval (leden van VLACO).

Figuur 5: Leden van VLACO die organisch-biologisch afval verwerken. De groene blokjes zijn groencomposteringsinstallaties. (bron: VLACO)



2.4 POST-CONSUMER HOUTAFVAL : A-HOUT



Post-consumer houtafval wordt in VLAREM ingedeeld in drie categorieën:

- A-hout: onbehandeld houtafval
- B-hout: niet verontreinigd behandeld houtafval
- C-hout: verontreinigd behandeld houtafval

2.4.1 Beschikbare hoeveelheden in Vlaanderen

De OVAM inventaris huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval uit 2018²³ vermeldt dat 176 kton niet-gevaarlijk houtafval (A-hout & B-hout) werd ingezameld via containerparken in 2017. Ongeveer 8% hiervan is A-hout (bron: OVAM; MIP Opt-I-Sort project).

Veel houtafval wordt zelf door particulieren als brandhout gebruikt, wat in principe niet is toegestaan. Het gaat hier hoofdzakelijk over onbehandeld hout zoals houten verpakkingen. Schattingen lopen op tot 100 kton/jaar (bron: OVAM). Het houtafval dat via containerparken wordt ingezameld is dus voornamelijk niet verontreinigd behandeld houtafval (B-hout).

Volgens Valipac, het Belgische beheersorganisme voor bedrijfsmatige verpakkingen, werd in Vlaanderen 417 kton houtafval ingezameld bij bedrijven (België totaal: 511 kton). Zij schatten in dat 44% hiervan A-hout is, 55% B-hout en 1% C-hout.²⁴

In het totaal spreken we dus over een 600 kton niet-gevaarlijk houtafval in Vlaanderen, waarvan ongeveer **200 kton A-hout** per jaar, het merendeel in houtafval van bedrijven. De hoeveelheid die verbrand wordt bij huishoudens en intern verbrand wordt bij de houtverwerkende sector zit hier niet in vervat.

Het grootste deel van het niet-gevaarlijk houtafval wordt gerecycleerd. Er is een grote afname van niet-gevaarlijk recyclage hout in de Vlaamse spaanplaatsector. Volgens OVAM (2018) verbruikte deze sector ongeveer 1 miljoen ton hout in 2017, waarvan 250 kton vers hout, en 750 kton recyclage hout. Een deel hiervan is geïmporteerd, onder meer uit Nederland, Frankrijk en andere buurlanden.

Er is ook een stijgende vraag naar houtafval vanuit projecten in de energiesector. Een aantal voorbeelden worden gegeven in onderstaande tabel, met prognoses van houtafname

Tabel 5: Prognoses vraag houtafval in Vlaanderen na 2020 (Bron: OVAM Voortgangsrapport Actieplan Biomassastromen, 2018).

Project	kton/jaar
A&S Energie	180
A&U Energie	180
Stora Enso - Biostoom Oostende - Sleco	300
Bionerga Beringen	25
BEE Gent	200
E-Wood Kallo	180
Bio Blue Gent	35
Steelanol Gent	100

23 https://www.ovam.be/sites/default/files/atoms/files/Rapport%20huishoudelijk%20afval%20en%20gelijkaardig%20bedrijfsafval%202017_0.pdf

24 <https://www.valipac.be/flipbook/nl/activiteitenverslag2018/> Cijfers zijn gebaseerd op de afvalstoffenregisters van alle ophalers aangesloten bij Valipac.

De prijsmarge tussen A- en B-hout ligt in de grootteorde van 60 EUR/t (OVAM, 2018), dus deze projecten geven de voorkeur aan B-hout.

We gaan ervan uit dat de standaard verwerking van A-hout recyclage in de spaanplaatsector gebeurt.

3 CONVERSIETECHNIEKEN BIOMASSARESIDUEN NAAR BIOBRANDSTOF

3.1 LIGNOCELLULOSE

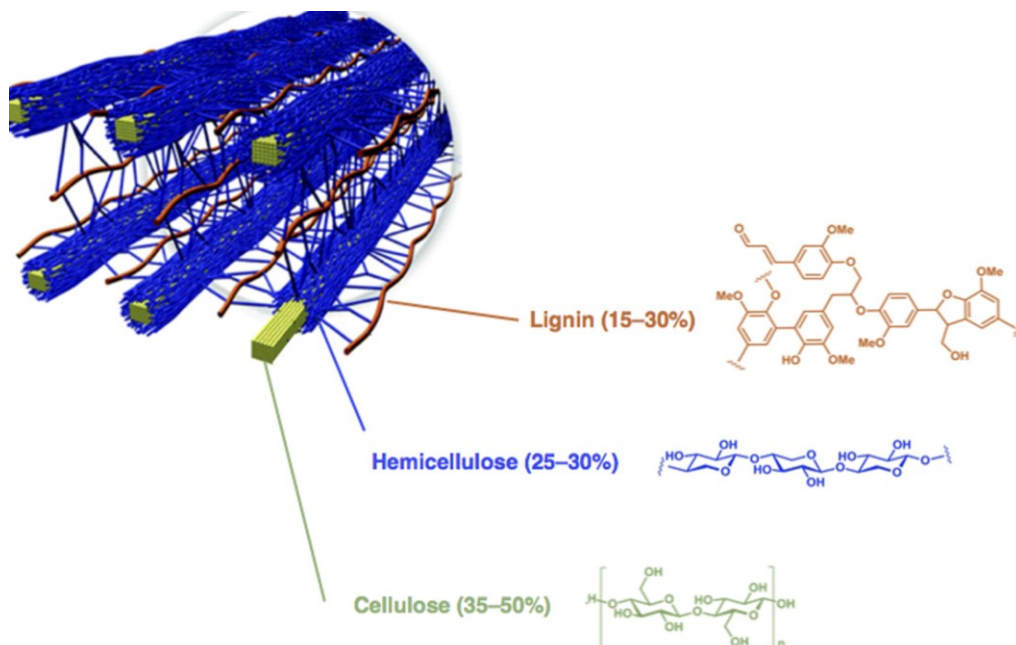
De 4 types geselecteerde stromen kunnen opgedeeld worden in houtachtige stromen (houtige fractie groenafval, residuen bosexploitatie, post-consumer houtafval) en grasachtige stromen (maïsstro). In alle gevallen gaat het voornamelijk over **lignocellulose**, het vezelachtige deel van plantmateriaal.

Lignocellulose bestaat uit drie polymerische componenten, die samenhangen in een complexe structuur:

- Cellulose = polysaccharide die bestaat uit ketens van glucose (C6) monomeren
- Hemicellulose = vertakte polymeer van pentose (C5) en hexose (C6) suikers
- Lignine = complexe polymeer van aromatische alcoholen

Lignocellulose bestaat typisch uit 35-50% cellulose, 25-30% hemicellulose en 15-30% lignine, afhankelijk van het type biomassa. Stro en grasachtige biomassa hebben typisch een iets lager lignine gehalte. Om lignocellulose verder om te zetten naar vloeibare brandstof dient deze structuur ontrafeld te worden, ofwel door fractionatie (omzetting naar beschikbare suikers) ofwel door thermische behandeling (pyrolyse, vergassing).

Figuur 6: schematische voorstelling van cellulose, hemicellulose en lignine in lignocellulose (Espro et al, 2017²⁵)

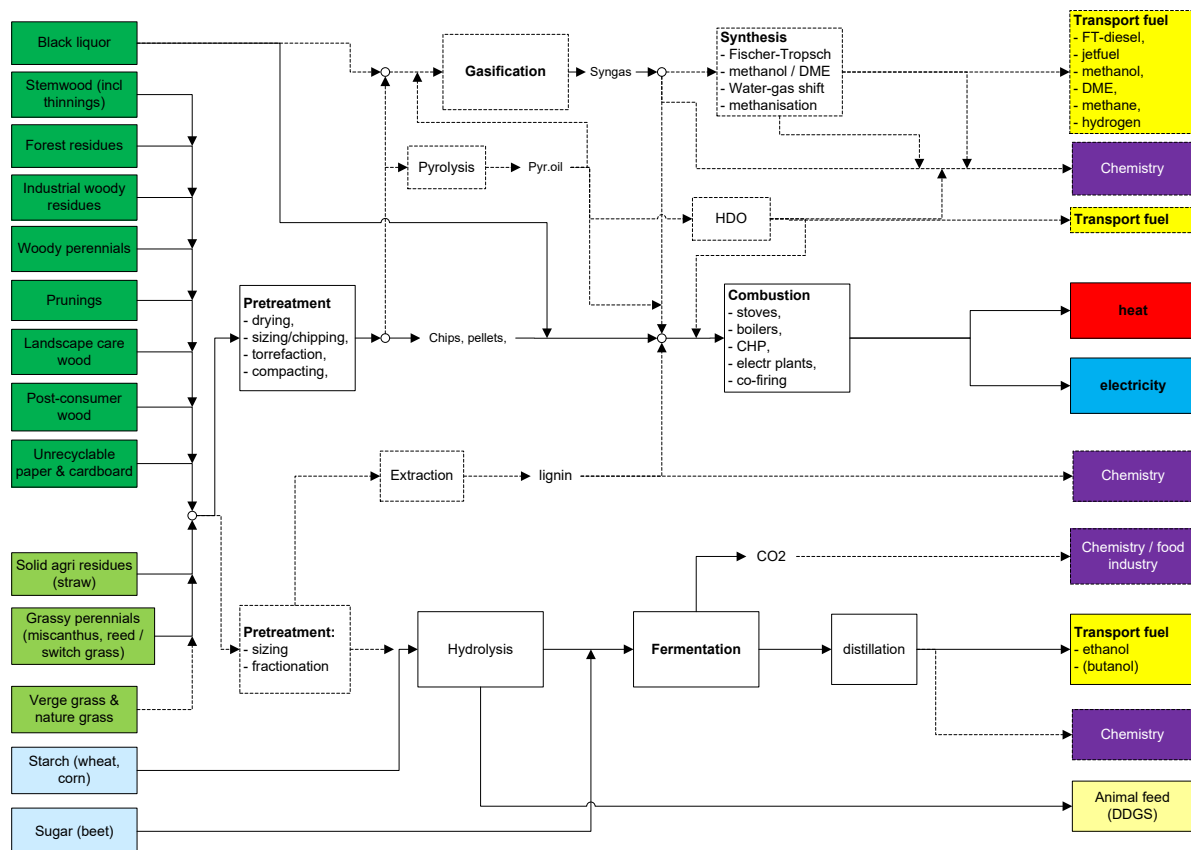


3.2 MOGELIJKE CONVERSIETECHNIKEN

Onderstaande figuur van Biomass Policies (2015) geeft de belangrijkste conversietechnieken van verschillende hout- of grasachtige biomassa fracties. De gele blokjes zijn gericht op de productie van transportbrandstof; ook andere toepassingen (warmte/elektriciteit of toepassing in de chemie) staan vermeld. De vaste lijnen geven commercieel beschikbare paden aan, de stippellijnen zijn in ontwikkeling of demonstratie.

25 C. Espro, B. Gumina, E. Paone, F. Mauriello. Upgrading Lignocellulosic Biomasses: Hydrogenolysis of Platform Derived Molecules Promoted by Heterogeneous Pd-Fe Catalysts. Catalysts 2017, 7, 78; doi:10.3390/catal7030078

Figuur 7: schematisch overzicht van thermochemische en biochemische conversiepaden van biomassa (Biomass Policies, 2015²⁶)



De belangrijkste conversiepaden voor lignocellulose richting biobrandstof zijn:

- 1 Biochemisch => hydrolyse en fermentatie tot alcohol (vooral ethanol)
- 2 Thermochemisch => vergassing en syngas omvorming naar biobrandstof (afhankelijk van het proces, naar Fischer-Tropsch diesel, methanol, methaan, ethanol, ...)
- 3 Thermochemisch => pyrolyse/liquefactie en verdere raffinage van de bio-olie tot transportbrandstof

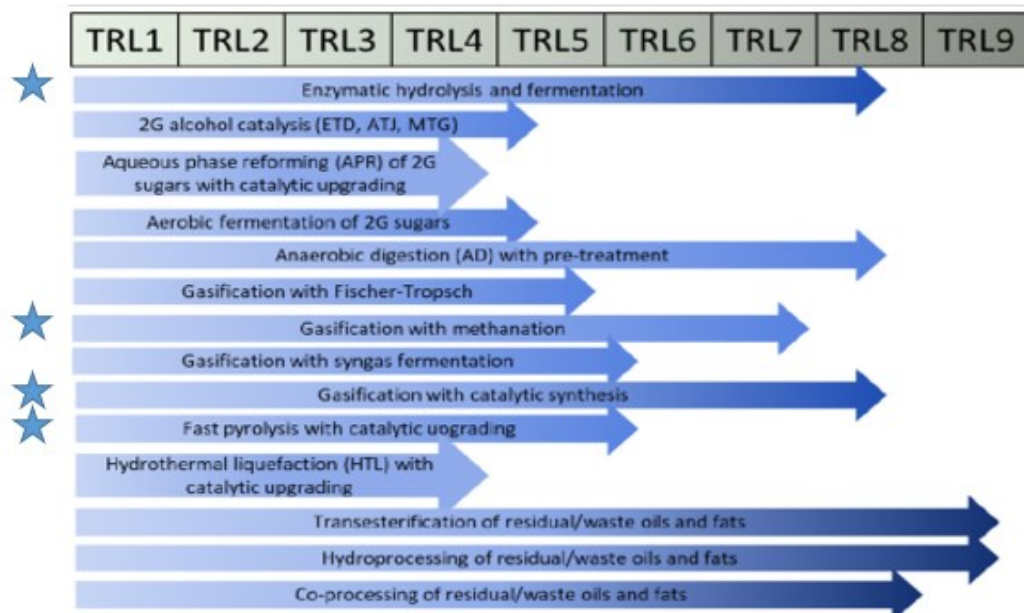
3.3 TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

De Technology Readiness Levels (TRL) geven de mate van ontwikkeling van een technologie aan, waarbij TRL 1 staat voor technologie aan het begin van de ontwikkeling en TRL 9 voor technologie die technisch en

26 L. Pelkmans et al (2015). SWOT analysis of biomass value chains. Deliverable 2.4 of the Biomass Policies project. VITO, March 2015

commercieel gereed is. Onderstaande figuur toont een recent overzicht van E4Tech van de TRL van verschillende productieprocessen voor geavanceerde biobrandstoffen.

Figuur 8: TRL status van verschillende geavanceerde biobrandstof productiepaden (bron: E4Tech, 2018²⁷)



Voor de keuze van de case studies binnen deze studie houden we rekening met processen die tegen 2030 commercieel beschikbaar kunnen zijn. Hierbij stellen we dat technologieën op dit moment al TRL6 moeten bereikt hebben (*TRL6 = 'technology demonstrated in relevant environment'*).

De technieken op basis van gebruikte oliën en vetten (verestering, hydroprocessing) zijn commercieel beschikbaar en worden het meest toegepast om 'geavanceerde biobrandstof' te produceren. Van de beschouwde paden voor lignocellulose staan de **fermentatie** route (TRL8) en de **vergassingsroute** met katalytische synthese naar methanol of methanatie (TRL7-8) het dichtst bij de markt. Andere vergassingsopties (gekoppeld met Fischer Tropsch synthese, of syngas fermentatie) staan iets verder van de markt. **Pyrolyse** heeft een duidelijke opgang gemaakt in de afgelopen jaren, waarbij het pyrolyseproces zelf in TRL8 zit, en de katalytische upgrading van de pyrolyse-olie (TRL6) nog verdere ontwikkeling/demonstratie nodig heeft. Co-processing van pyrolyse olie zit nog in de ontwikkelingsfase (~TRL4), maar zou grote stappen kunnen nemen in de volgende 10 jaar als er interesse is bij grote olie-raffinaderijen.

De volgende paragrafen gaan iets dieper in op deze technologieën.

²⁷ E4Tech. Report on market and industrial development intelligence for sustainable advanced biofuels. December 2018. Bijlage in A. O'Connell, M. Prussi, M. Padella, A. Konti, L. Lonza (2019), Sustainable Advanced Biofuels Technology Market Report 2018, EUR 29929 EN, European Commission.

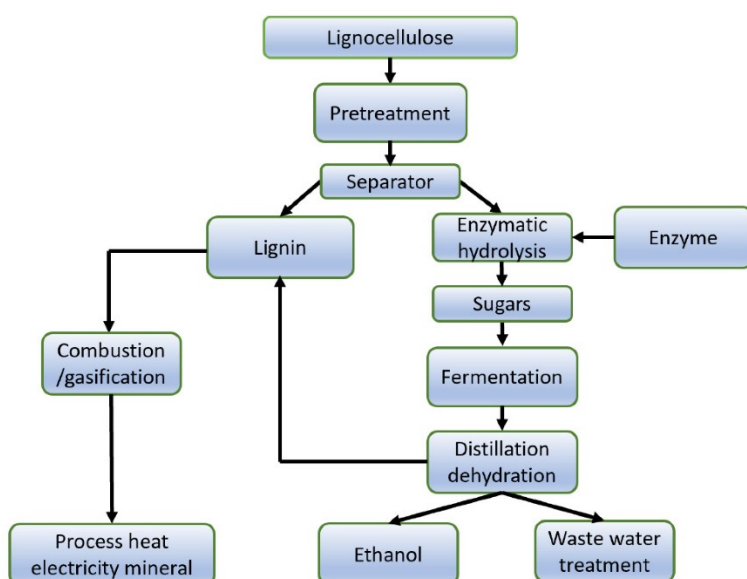
3.4 HYDROLYSE EN FERMENTATIE TOT ALCOHOL

De belangrijkste processtappen zijn:

- 1 Voorbehandeling van de biomassa, inclusief fractionatie van de biomassa in cellulose, hemicellulose en lignine. De meest toegepaste voorbehandelingstechniek is 'stoomexplosie', maar ook chemische/fysicochemische voorbehandelingstechnieken (dilute acid pretreatment, alkaline pretreatment, organosolv, AFEX) zijn mogelijk.
- 2 enzymatische hydrolyse van cellulose en hemicellose tot suikers
- 3 fermentatie van C5 en C6 suikers naar alcohol (typisch ethanol)
- 4 destillatie en dehydratatie

Lignine en residuen (draf) worden afgescheiden voor de productie van proceswarmte. Eventueel kan (een deel van) de lignine ook verder verwerkt worden in de chemie.

Figuur 9: overzichtsschema biochemische conversie van lignocellulose naar ethanol - variaties zijn mogelijk (Bron: Ahorsu et al., 2018²⁸)



Voor- en nadelen (IRENA 2016²⁹) :

(+) Fermentatie kan op basis van suikers van een brede range van grondstoffen.

28 Richard Ahorsu, Francesc Medina and Magda Constantí. Significance and Challenges of Biomass as a Suitable Feedstock for Bioenergy and Biochemical Production: A Review. Energies 2018, 11(12), 3366; <https://doi.org/10.3390/en11123366>

29 IRENA (2016). Innovation Outlook – Advanced Liquid Biofuels

- (+) Verschillende delen van het proces zijn commercieel beschikbaar, zoals stoomexplosie, fermentatie van C6 suikers en productdestillatie en dehydratatie.
- (+) Mogelijkheid van co-locatie met bestaande ethanolproductie op basis van suiker of zetmeel.
- (-) Voorbehandeling en hydrolyse dienen aangepast aan de specifieke grondstoffen om een voldoende hoog rendement te bereiken.
- (-) De belangrijkste voorbehandelingstechnieken zijn zeer energie-intensief.
- (-) Hoge investeringskosten in vergelijking met ethanolproductie op basis van suiker of zetmeel.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van wereldwijde initiatieven gericht op ethanol uit lignocellulose.

Tabel 6: globale initiatieven rond ethanol uit lignocellulose (bron: IEA Bioenergy, 2020³⁰)

Plant / Eigenaar	Status*	Locatie	Capaciteit m ³ /jaar	Opstart	Commentaar
Crescentino / ENI	O	Italië	50.000	2013	Verkocht door M&G aan ENI in 2018; heropstart mid 2020
Bioflex / GranBio	U	Brazilië	82.000	2014	Redesign – herstart in 2019
Raizen / Cosan, Shell	O	Brazilië	40.000	2015	Productie nog niet op volle capaciteit
Liberty / Poet & DSM	O	USA	76.000	2015	Operationeel
Kajaani / St1	O	Finland	10.000	2017	Cellunolix technologie
Podari / Clariant	C	Roemenië	60.000	2020	In constructie
Bhatinda Plant / HPCL	C	India	40.000	2020	DBT-ICT technologie
Bargarh / Bharat Petroleum	C	India	40.000	2021	Praj technologie
ABRPL refinery	C	India	60.000	2021	Formicobio technologie
Enviral	P	Slovakije	62.000	2022	Clariant technologie. Investeringsbeslissing nog niet genomen.
Bina / Bharat Petroleum	P	India	40.000	2023	DBT-ICT technologie. Investeringsbeslissing nog niet genomen.

* O – In operation; U – Upgrade in progress; C – Under construction; P – Planning in progress

30 A. Brown et al. (2020). Advanced Biofuels – Potential for Cost Reduction. IEA Bioenergy report. February 2020. <https://www.ieabioenergy.com/publications/new-publication-advanced-biofuels-potential-for-cost-reduction/>

De meeste installaties gebruiken stro als input (van graan, maïs of rijst) wegens het lagere lignine gehalte. Indien de lignine op een andere manier benut kan worden (bv. richting chemie), is het ook te overwegen om andere (houtachtige) grondstoffen in overweging te nemen.



Lignocellulose raffinaderij in Crescentino, Italië. Bron: ETIP Bioenergy

Andere industriële partijen die bezig zijn rond ethanol uit lignocellulose ethanol: Novozymes (Denemarken), Leaf (Frankrijk), SEKAB (Zweden), Inbicon (Denemarken), Butamax (UK), IFP Futurol (Frankrijk), St1 Cellulonix (Finland), Borregaard (Noorwegen). Bron: Art Fuels Forum (2018)³¹

3.5 VERGASSING

De belangrijkste processtappen voor de productie van biobrandstof via de vergassingsroute zijn:

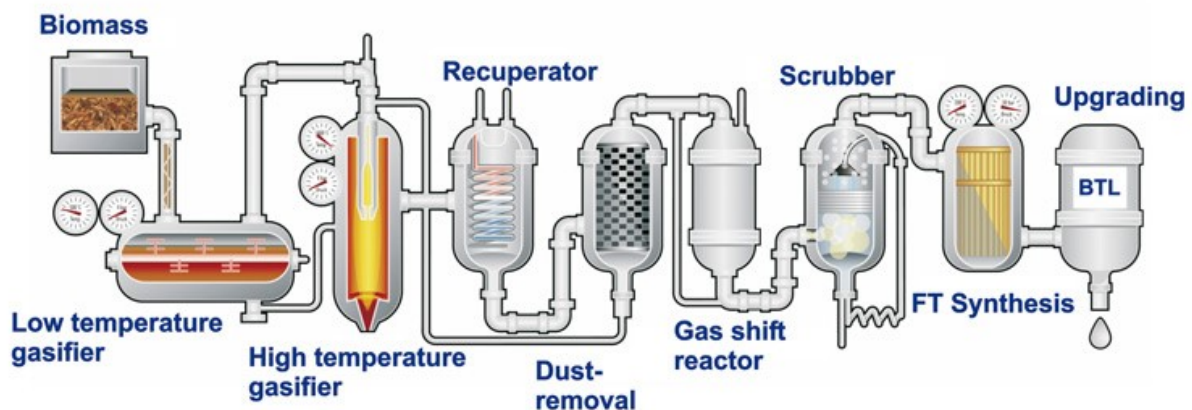
- 1 Voorbehandeling (droging, verkleining, eventueel torrefactie of pyrolyse)
- 2 biomassa vergassing tot synthese gas (syngas), dat vooral bestaat uit H₂ en CO, maar ook CO₂, CH₄, hogere koolwaterstoffen, water (stoom), organische en anorganische onzuiverheden
- 3 Syngas zuivering en conditionering. De specifieke conditionering hangt af van de nodige specificaties voor de volgende processtap. Belangrijk voorbeeld is 'water-gas shift' ($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_2$) om de juiste

³¹ <http://artfuelsforum.eu/wp-content/uploads/2019/04/ART-Fuels-Forum-SGAB-Biofuels-Technology-report-2018-update.pdf>

H₂/CO verhouding te krijgen voor de verdere synthese. Alternatief hier is om externe H₂ in te brengen en zo de biobrandstof opbrengst te verhogen.

- 4 Synthese/katalyse naar vloeibare of gasvormige brandstof. Belangrijkste opties:
- Fischer-Tropsch synthese naar een wax, die via hydrocracking kan omgezet worden naar Fischer-Tropsch diesel, benzine en/of kerosine;
 - katalytische synthese naar methanol of DME;
 - methaansynthese;
 - syngas fermentatie naar ethanol.

Figuur 10: overzichtsschema biomassa vergassing naar Fischer-Tropsch brandstof (Choren Carbo-V[®] Process) (bron: ETIP Bioenergy³²)



Voor- en nadelen (IRENA 2016)³³:

- (+) In principe kan het vergassingsproces verschillende biomassa grondstoffen verwerken, en tolereert het heterogene input. Dit hangt af van het specifieke reactorontwerp.
- (+) De meeste processtappen zijn commercieel beschikbaar vanuit de verwerking van fossiele grondstoffen.

Specifiek voor Fischer Tropsch

- (+) Via het Fischer-Tropsch proces kunnen hoge-kwaliteits brandstoffen voor wegverkeer of luchtvaart geproduceerd worden.

32 <http://www.etipbioenergy.eu/value-chains/products-end-use/products/ft-liquids>

33 IRENA (2016). Innovation Outlook – Advanced Liquid Biofuels

- (-) Het Fischer-Tropsch proces heeft strikte kwaliteitsvoorwaarden. Het ruwe syngas dat uit de vergasser komt moet een aantal tussenliggende processen ondergaan om aan die voorwaarden te kunnen voldoen. Dit verhoogt de kapitaalskost en operationele kosten.
- (-) Hoge investeringskost in vergelijking met andere biobrandstoffen
- (-) Verschillende temperatuurs- en drukniveaus doorheen de processen – dit kan leiden tot een verhoogde energieconsumptie in het proces (integratie nodig)
- (-) Bestaande Fischer-Tropsch processen zijn pas economisch beschikbaar op zeer grote schaal.

Specifiek voor katalytische synthese (tot methanol, DME, methaan)

- (+) katalysatoren zijn minder duur dan die voor Fischer-Tropsch synthese
- (+) kleinere schaal mogelijk
- (+) voor methanatie: methaan in het syngas moet niet geconverteerd worden
- (-) Afhankelijk van de kwaliteit en samenstelling van het syngas, kunnen zijreacties optreden wat het conversierendement kan verlagen en leiden tot een bijkomende kost voor productscheiding.

Specifiek voor syngas fermentatie (tot ethanol)

- (+) De fermentationstap is minder gevoelig voor de syngas samenstelling en is tolerant voor zwavel. De vereisten voor syngaszuivering en -conditionering zijn over het algemeen lager.
- (+) Syngas fermentatie verloopt op lage temperatuur en druk, wat kan leiden tot lagere productiekost.
- (+) Het proces kan op kleinere schaal.
- (-) Syngas fermentatie leidt tot lagere productconcentratie in vergelijking met gewone fermentatie, wat een meer intensieve productscheiding vereist.

Tabel 7: Globale initiatieven rond biomassa vergassing voor biobrandstoffen (bron: Art Fuels Forum, 2018³⁴; IEA Bioenergy, 2020³⁵)

Project	Locatie	Technologie	Grondstof	Product	Capaciteit	Status
GoBiGas	Zweden	Repotec HTAS	Hout-residuen	Biomethaan	20 MW demo Plannen tot 500 MW	pauze
Enerkem - Edmonton	Canada	Enerkem	RDF	Ethanol (Methanol)	38.000 m ³ 30 MW	Operationeel
W2C	Nederland	Enerkem	RDF	Methanol	278.000 m ³ 152 MW	Planning
Red Rock biofuels	USA	TGI, Velocys, EFI	Hout-residuen	Fischer-Tropsch	57.000 m ³ 71 MW	Constructie

34 <http://artfuelsforum.eu/wp-content/uploads/2019/04/ART-Fuels-Forum-SGAB-Biofuels-Technology-report-2018-update.pdf>

35 A. Brown et al. (2020). Advanced Biofuels – Potential for Cost Reduction. IEA Bioenergy report. February 2020. <https://www.ieabioenergy.com/publications/new-publication-advanced-biofuels-potential-for-cost-reduction/>

Fulcrum Biofuels	USA	TRI JM/BP	RDF	Fischer-Tropsch	40.000 m ³ 50 MW	Constructie
ArcelorMittal Gent	België	Lanzatech	Syngas fermentatie	ethanol	80.000 m ³	Constructie
Aemetis	USA	InEnTec Lanzatec	Hout-residuen	Ethanol	45.000 m ³ 36 MW	Planning
Värmlandsmetanol	Zweden	TKI	Hout-residuen	Methanol	125.000 m ³ 68 MW	Planning
GTI	USA	GTI/Carbona HTAS	Hout-residuen	Biomethaan	94 MW	Planning
GoGreenGas	UK	APP AMEC FW	RDF	Biomethaan	66 MW / 132 MW	Studie
KIT Bioliq	Duitsland	KIT/ AL CAC	Gewas-resten	Benzine	400 MW	Studie
Tigas	USA	GTI/ Carbona HTAS	Hout-residuen	Benzine	215,000 m ³ 242 MW	Studie

Andere partijen die bezig zijn met biobrandstof productie via vergassing: Axens/IFP/CEA/Avril (Frankrijk) ; Aemetis Riverbank (USA); Bayou Fuels (USA), Ajos Kaidi (Finland), Värmlandsmetanol (Zweden); UK waste to jet fuel (UK); ECN-Ambigo (Nederland) ; EON-Bio2G (Zweden).



Enerkem waste-to-ethanol plant in Edmonton, Canada. Bron: Enerkem

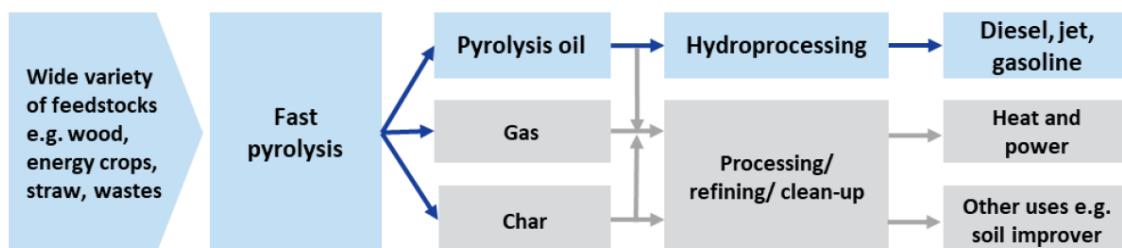
3.6 PYROLYSE / LIQUEFACTIE

Pyrolyse is een gecontroleerde thermische decompositie van biomassa naar olie, gas en biochar. Snelle pyrolyse (fast pyrolysis) geeft een maximale productie van pyrolyse-olie. Deze olie moet wel verder verwerkt/geraffineerd worden voor het kan toegepast worden in motoren.

De belangrijkste processtappen voor de productie van biobrandstof via de liquefactieroute zijn:

1. Flash pyrolyse van biomassa naar een vloeibare, gasvormige en vaste fractie (char)
 - De gasvormige en vaste fractie worden doorgaans gebruikt voor de productie van warmte (deels voor binnen het pyrolyseproces) en elektriciteit; de char kan eventueel ook ingezet worden als bodemverbeteraar.
2. verdere raffinage/opwerking van de vloeibare fractie (pyrolyse olie/bio-olie) naar brandstofkwaliteit. Dit kan gebeuren door reactie met waterstof (hydro-cracking / hydro-treating) of door katalytisch kraken. Eventueel zou de raffinage stap kunnen gebeuren via co-processing in bestaande olieraffinaderijen.

Figuur 11: Conversie van lignocellulose naar brandstof via fast pyrolysis (bron: E4Tech, 2018³⁶)



Voor- en nadelen van pyrolyse (IRENA 2016)³⁷:

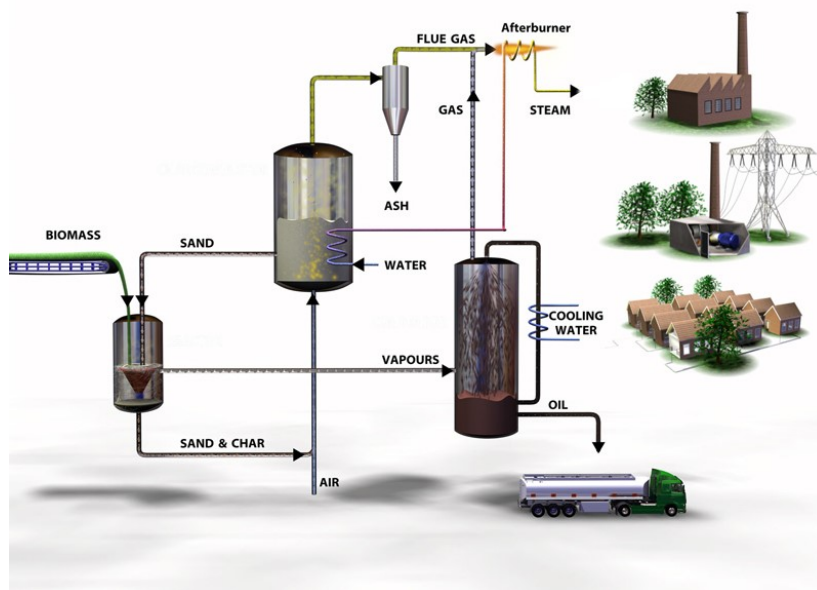
- (+) In principe is het pyrolyse proces geschikt voor een brede range van biomassa grondstoffen, en kan het variaties in biomassa samenstelling tolereren.
- (+) Pyrolyse-olie kan toegepast worden als een tussenproduct dat met lagere kost kan vervoerd worden door de hogere energiedensiteit in vergelijking met biomassa. Dit kan een opportuniteit zijn voor decentrale verwerking, alvorens te transporteren naar een meer centrale upgrading.
- (+) De upgrading stap kan gebeuren door bestaande raffinage processen. Tot op zekere hoogte is het mogelijk om pyrolyse-olie mee te verwerken in bestaande olieraffinaderijen.

³⁶ E4Tech. Report on market and industrial development intelligence for sustainable advanced biofuels. December 2018. Bijlage in A. O'Connell, M. Prussi, M. Padella, A. Konti, L. Lonza (2019), Sustainable Advanced Biofuels Technology Market Report 2018, EUR 29929 EN, European Commission.

³⁷ IRENA (2016). Innovation Outlook – Advanced Liquid Biofuels

- (-) De eigenschappen van pyrolyse-olie (hoge zuurtegraad, hoge viscositeit, hoog watergehalte) maken het moeilijker om te stockeren en behandelen. Stabilisatie is nodig voor transport en opslag.
- (-) Het hoge water- en zuurstofgehalte van pyrolyse-olie kan negatieve impact hebben op de werking van katalysatoren en de geproduceerde eindproducten.

Figuur 12: overzicht BTG pyrolyse proces³⁸



Tabel 8: globale initiatieven rond pyrolyse van biomassa³⁹

Bedrijf / project	Technologie	Status	Locatie	Capaciteit (m³/jr)	Opstart
Ensyn (Ontario Facility)	Ensyn	O	Canada	12.000	2006
KIT (Bioliq project)	KIT	O	Duitsland	2.000	2010
Fortum (Joensuu CHP plant)	VTT	O	Finland	50.000	2013
Twence (EMPYRO Project)	BTG	O	Nederland	20.000	2015
Ensyn, Arbec Forest Products & Groupe Rétabec (Cote Nord Project)	Ensyn	O	Canada	40.000	2018

³⁸ <https://www.btgworld.com/en/rtd/technologies/fast-pyrolysis>

³⁹ <https://biorrefineria.blogspot.com/2019/07/fast-pyrolysis-plants-biorefineries-bio-oil.html>

Green Fuel Nordic Oy (+ 3 extra installaties aangekondigd)	BTG	C	Finland	20.000	2020
Preem & Setra: link met co-processing	BTG	P	Zweden	21.000	2021
Ensyn & Fibria Celulose S.A.	Ensyn	P	Brazilië	83.000	-
Ensyn & Renova Capital Partners	Ensyn	P	USA	76.000	-

* O – In operation; C - Under construction; P - Planning in progress

De meeste installaties gebruiken houtfracties als input.

Andere partijen rond pyrolyse: GTI/CRI – IH2 (USA); Anellotech (USA); G4 Insight (Canada), KIT (Duitsland), PNNL (USA), CERTH (Griekenland).

Partijen die werken rond co-processing: PREEM (Zweden), Honeywell UOP (USA), Petrobras (Brazilië), Repsol (Spanje), Grace, Ensyn (Canada), BTG (Nederland).

Andere liquefactietechnieken:

- Susteen / Fraunhofer Umsicht (Duitsland): Thermo-catalytic Reforming (TCR) – decentrale modules van 2000 m³/jr
- Steeper Energy/Silva Green Fuel (Denemarken/Noorwegen): Hydrothermal Liquefaction (HTL) - 1000 m³/jr in opbouw
- Licella (Australië): HTL Pilot plant - commerciële installatie in voorbereiding

Bron: *Art Fuels Forum (2018)*⁴⁰

40 <http://artfuelsforum.eu/wp-content/uploads/2019/04/ART-Fuels-Forum-SGAB-Biofuels-Technology-report-2018-update.pdf>



BTG Empyro pyrolyse installatie in Hengelo, Nederland. Bron: BTG

3.7 KEUZE CONVERSIETECHNIEKEN VOOR DE CASESTUDIES

In principe zijn verschillende combinaties van grondstoffen en conversietechnieken mogelijk. In samenspraak met de klankbordgroep werden volgende cases geselecteerd:

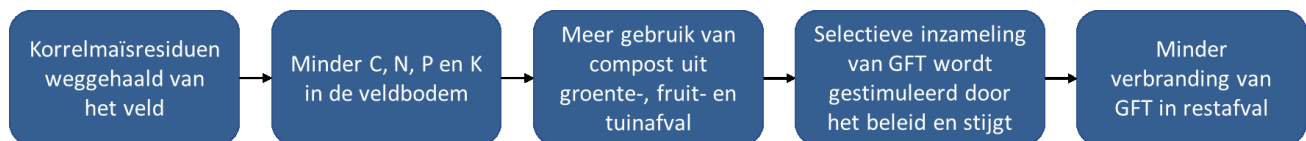
Biomassa	Conversietechniek
Maïsstro	Voorbehandeling + verdere fermentatie van de cellulose/hemicellulose fracties naar ethanol
Bosresiduen en houtige fractie groenafval	- Pyrolyse en verdere raffinage naar brandstofkwaliteit (eventueel via co-processing in bestaande olieraffinaderijen). - Vergassing en synthese naar methaan.
A-hout	Vergassing en synthese naar methaan

4 CASESTUDIE 1: ETHANOL GEPRODUCEERD UIT MAÏSTRO

In Canada en de Verenigde Staten worden biobrandstoffen geproduceerd op basis van maïsstro. Deze casestudie analyseert de relevantie van deze actie in Vlaanderen.

VILT (2017)⁴¹ beschrijft de situatie als volgt: *“Bij de oogst van korrelmaïs blijft het grootste deel van de plant achter op het veld, waar het verhakkelde stro bijdraagt tot de aanvoer van organische koolstof in de bodem. Eén derde van de 400.000 ton maïsstro op Vlaamse akkers zou geoogst kunnen worden als biomassa zonder de bodemvruchtbaarheid te compromitteren. Onderzoekster Anouk Mertens (ILVO/UGent) maakt zich sterk dat een waardeketen voor maïsstro in de bio-economie haalbaar is in Vlaanderen, of het op zijn minst verdient om alle actoren een keer rond de tafel te brengen. Ter inspiratie beschrijft ze het succes dat in Canada geboekt wordt met de productie van suikers uit maïs- en tarwestro. De bio-economie doet er een stad met een olie-industrie in verval economisch herleven.”*

Volgende figuur geeft een inschatting van de gevolgen van het gebruik van maïsstro:



Maïsstro wordt geoogst en omgezet in biobrandstof door hydrolyse en fermentatie van maïsstro en ethanol destillatie. Het geproduceerde ethanol vervangt de productie en het gebruik van diesel.

We gaan ervan uit dat niet meer dan de helft van het maïsstro geoogst wordt, zodat er geen structureel tekort van organische stof ontstaat in de bodem. Door het weghalen van maïsstro blijft er wel minder koolstof en NPK in de bodem achter. In het referentiescenario moet er mee rekening gehouden worden dat deze deels ongebruikt blijft want het kan vervluchtigen of doorspoelen naar oppervlaktewater. Daarom leidt de oogst van gewasresten niet onmiddellijk tot een tekort aan deze componenten. Zodra men echter te veel oogst (meer dan ruwweg de één derde uit het bovenstaande citaat), ontstaat er wel een tekort. In deze case gaan we ervan uit dat de nutriënten (NPK) voor zover nodig gecompenseerd worden door de toevoer van compost uit GFT (tegelijk wordt ook extra koolstof aangevoerd), met de aanname dat deze compost wordt geproduceerd uit bijkomende hoeveelheden GFT door extra inzamelinspanningen, boven op de autonome toename van GFT-inzameling. In overleg met ILVO (landbouwresearch) is bepaald dat terugvoer van Kalium (K) het belangrijkste is in Vlaanderen.

⁴¹ <https://www.vilt.be/waarom-lukt-hier-met-maisstro-niet-wat-in-canada-kan>

De compensatie van nutriënten kan eventueel ook gebeuren via kunstmest. Andere opties voor compensatie zijn wintergewassen of mest / mestverwerkingsproducten / digestaat van vergisters. Ook kunnen residuen van het fermentatieproces (waar nutriënten in achterblijven) eventueel teruggebracht worden naar het veld.

Een alternatief voor meer GFT-inzameling is dat andere toepassingen van compost verdrongen worden.

Binnen de beperkte tijd van deze studie konden deze verschillende opties niet mee gemodelleerd worden, maar bij de interpretatie van de resultaten dient hiermee wel rekening gehouden te worden.

4.1 MODELLERING - AANNAMES

4.1.1 Milieu

4.1.1.1 Algemene beschrijving en "Functionele eenheid"

De functionele basiseenheid is: "100 km reizen met een personenwagen⁴² in 2030".

Volgende elementen worden bepaald door het type biomassa:

- De techniek van omzetting in brandstof: hydrolyse en fermentatie van maïsstro en ethanol destillatie
- Het type brandstof die geproduceerd wordt, voor gebruik in een mengsel met andere brandstoffen: **bio-ethanol**

Opmerking: bio-ethanol wordt gemengd met benzine tot een maximale verhouding van 15 à 20% bio-ethanol bij benzine⁴³ in 2030. Deze studie richt zich alleen op het bio-ethanolgedeelte van de gebruikte brandstof.

- De functie van de brandstof, de wijze van gebruik, met name het type voertuig: **substitutie van benzine voor het reizen met een personenwagen**
- Het type vervangen brandstof, dat het referentiescenario bepaalt: **benzine**

Het "Referentie scenario" bevat ook:

- "End-of-Life" van de korrelmaïsresten die op het veld blijven liggen⁴⁴
 - o Degradatie en omzetting in biogene CO₂: 90%⁴⁵ van de C wordt in CO₂ omgezet (op 10 jaar).
 - o Een deel van de toegevoegde koolstof blijft in de bodem: 10%⁴⁶

⁴² EcolInvent process "transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5, RER".

⁴³ CEN (Europees Normalisatie Centrum) heeft recent aangegeven dat het mogelijk zou zijn om E20 te gebruiken in het benzine wagenpark in 2030. <https://horizon-magazine.eu/article/why-raising-alcohol-content-europe-s-fuels-could-reduce-carbon-emissions.html> Deze aanname heeft in feite geen impact op de LCA noch op de MKBA.

⁴⁴ Monaco et al. (2008) in ILVO (2014), Bodem nutriënten, compost: onderzoek voor een duurzame landbouw.

⁴⁵ Gerekend met een onzekerheid van 0,88-0,92

⁴⁶ Gerekend met een onzekerheid van 0,08-0,12 (gekoppeld aan die voor degradatie).

- De impact op emissies van lachgas (N₂O) m.b.t. het achterblijven van oogstresten op het veld door mineralisatie wordt verwaarloosbaar geacht. Een studie uit de Verenigde Staten⁴⁷ stelt dat het weghalen van maïsstro weinig impact heeft op N₂O emissies op het veld.
- Biogene methaanuitstoot: wordt verondersteld nul te zijn in normale omstandigheden. In gevallen dat de bodem/organische laag onder water staat of waterverzadigd is kan dit wel leiden tot anaerobe omstandigheden en methaanuitstoot.

4.1.1.2 Het stoppen van de initiële functie

(Een deel van) het maïsstro blijft niet meer op het veld liggen; bepaalde functies – in dit geval de bijdrage aan koolstof in de bodem en NPK-vraag voor toekomstige gewassen - worden dan verminderd en moeten, zover nodig, gecompenseerd worden om een verlies aan bodemvruchtbaarheid ten opzichte van de referentiesituatie te vermijden. Het eventuele verlies aan koolstofopslag wordt meegerekend in klimaatimpact.

Een sleutelbegrip van consequentiële analyse is dat er altijd (rechtstreekse of onrechtstreekse) gevolgen zijn. Ook als een biologisch materiaal wordt gebruikt (hier maïsstro), moeten de mogelijke gevolgen opgenomen worden in de analyse. Een belangrijke opmerking is wel dat effecten niet-lineair kunnen zijn; bv. bij beperkt weghalen van maïsstro (en het merendeel nog achterblijft op de bodem) kan de impact op bodemvruchtbaarheid heel laag zijn; wanneer een bepaalde grens overschreden wordt (meer weggehaald dan duurzaam) kunnen de effecten onevenredig sterker worden en zijn compensatiemaatregelen absoluut noodzakelijk om de bodemvruchtbaarheid op peil te houden.

Specifieke gevolgacties (acties die niet zouden plaatsvinden als er geen verbruik van biologisch materiaal was).

In deze studiecase:

- Verhoogde selectieve inzameling van GFT afval, gebruikt voor de productie van compost. De compensatie van het verlies aan C+NPK door het weghalen van maïsstro is “meer aanvoer van GFT-compost”. Er wordt sowieso meer GFT selectief ingezameld in de toekomst (verplicht in 2023, nu in 75 à 80% van de Vlaamse gemeentes) maar als er meer vraag naar compost is, nemen we aan dat een inspanning gedaan wordt op vlak van communicatie/ophaalfrequentie om nog meer GFT apart in te zamelen.
- Een ander gevolg van meer compostering is ook “minder verbranding” van de organische fractie van huishoudelijk afval. Dus verbranding van dezelfde hoeveelheid is vermeden (en de impacten van verbranding zijn dus ook vermeden: productie van warmte en/of elektriciteit)

47 J.M.Baker et al. (2014) The Impact of Corn Stover Removal on N2O Emission and Soil Respiration: An Investigation with Automated Chambers. BioEnergy Research 7(2)
https://www.researchgate.net/publication/260526800_The_Impact_of_Corn_Stover_Removal_on_N2O_Emission_and_Soil_Respiration_An_Investigation_with_Automated_Chambers

De hoeveelheid GFT-compost die nodig is om de afvoer uit het maïsveld te compenseren werd gemodelleerd met volgende veronderstellingen. Vooral de K-beschikbaarheid is als leidraad gebruikt (onder meer omdat de meeste Vlaamse gronden al een teveel aan P in de bodem hebben). De hoeveelheid compost wordt berekend op basis van een neutrale K-balans van uitvoer (via maïsstro) en toevoer (via GFT-compost). Wij zijn hier uitgegaan van cijfers uit bepaalde bronnen. Voor meer diepgaande analyse zouden ook de onzekerheden op deze cijfers kunnen meegenomen worden.

Voor maïsstro worden de volgende cijfers/aannames & compensatiemogelijkheden beschouwd:

- Als maïsstro wordt afgevoerd, worden 2,2 kg P_2O_5 /ton en 7,9 kg N/ton droge massa mee afgevoerd.

Bron: "Maize stover as substrate for anaerobic digestion: collection efficiency, silage quality, and removal of P and C" - Vandecasteele, B., De Vlieghe, A., Van Waes, C., Peene, A., Smis, J., Van Waes, J. 2012.

Deze afvoer van P en N wordt (lichtjes meer dan⁴⁸) gecompenseerd door de aanvoer van compost. De impact (minder vervluchten of doorspoelen naar oppervlaktewater en minder aanvoer van kunstmest) van het verschil tussen afvoer en aanvoer werden niet gemodelleerd.

- Er worden ook 8,5 kg K_2O /ton maïsstro afgevoerd.

Bron: "Nutrient Considerations with Corn Stover Harvest" - PM 3052C January 2014 – Iowa State University.

- De hoeveelheid aanvoer compost op het maïsveld wordt berekend op basis van de K-balans (compost is een K-rijk materiaal; het brengt ook N en P en stabiele C). Er mag zeker niet meer P worden teruggebracht gezien de meeste Vlaamse gronden al een teveel aan P in de bodem hebben.
- De bovenvermelde Amerikaanse publicatie vermeldt dat tegen het nieuwe groeiseizoen ongeveer de helft van de K_2O in de maïsstro verdwenen is.

De berekeningen zijn dus:

- 8,5 kg K_2O / ton droog maïsstro
- Biobeschikbaarheid van K_2O in de maïsstro: 50%
- → 4,25 kg K_2O / ton droog maïsstro moeten gecompenseerd worden
- Aanvoer van GFT-compost
 - 10 kg K_2O / ton (natte) GFT-compost met een werkingscoëfficiënt van 80 % (bron: zie VLACO beneden)
 - $4,25 / (0,8 * 10) = 0,531$ kg natte VLACO compost / kg droog maïsstro weggehaald van het veld

48 Er wordt iets meer gebracht dan afgevoerd. Het verschil in biobeschikbaarheid tussen maïsstro en compost) speelt ook een rol.

Tabel 9: Gemiddelde samenstelling VLACO Compost⁴⁹

Gemiddelde samenstelling van Vlaco-compost

Dit is de gemiddelde samenstelling van Vlaco-compost.

PARAMETER	GFT-COMPOST	GROENCOMPOST	WERKINGS-COËFFICIENT
Droge stof (kg/ton)	700	600	
Organische stof (kg/ton)	250	200	
Geleidbaarheid (EC)	2500	1000	
pH	8	8	
Totale stikstof (kg N/ton)	12	7	10-15 %
Totale fosfor (kg P ₂ O ₅ /ton)	6	2,8	50 %
Totale kalium (kg K ₂ O/ton)	10	6	80 %
Totale calcium (kg CaO/ton)	23	16	30 %
Totale magnesium (kg MgO/ton)	5	3	10-20 %
C/N verhouding	12	17	
Kiemkrachige zaden	afwezig	afwezig	
Pathogenen	afwezig	afwezig	

Er werd ook rekening gehouden met de afbraak van koolstof in de compost op het veld. Voor de berekening van de incorporatie van de compost in de bodem en de uitstoot in de vorm van biogene CO₂ wordt het volgende criterium gehanteerd:

- ISMO (in het Frans: “Indicateur de Stabilité de la Matière Organique”) ofwel “gemiddelde humificatie-coëfficiënt”: deze indicator geeft het percentage compost aan dat in de bodem wordt omgezet in stabiel organisch materiaal (humus).
- De waarde is ongeveer 75% voor de compost uit GFT.

Zo wordt organisch afval verwerkt door middel van industriële compostering.

⁴⁹ <https://www.vlaco.be/compost-gebruiken/wat-is-compost/gemiddelde-samenstelling-van-vlaco-compost>

- Een deel van de koolstof van organische afval komt vrij als biogene CO₂-emissies tijdens het composteren.
- Een deel van het C-gehalte van compost wordt op het veld gedegradeerd:
 - o 75% opname in de bodem (cf. " gemiddelde humificatie-coëfficiënt").
 - o 25% biogene CO₂-uitstoot

In het referentiegeval van afvalverbranding wordt alle biogene koolstof omgezet in CO₂. De vermeden productie van elektriciteit bij afvalverbranding wordt gecompenseerd door een hogere productie door klassieke elektriciteitscentrales.

4.1.1.3 Productie en distributie van benzine

De productie en distributie van benzine wordt gemodelleerd door het Ecolnvent proces: "markt voor benzine, laagzwavelig, Europa" dat omvat:

- Oliewinning en transport
- Raffinage
- Distributie en transport van het product van de raffinaderij naar de eindgebruiker.
- Exploitatie van opslagtanks en tankstations.
- Uitstoot door verdamping en behandeling van afvalwater.

Bio-ethanol vervangt benzine in verhouding met hun respectievelijke onderste verbrandingswaarden: 43,2 MJ/kg (benzine)/ 26,8 MJ/kg (bio-ethanol) = 1,61.

Opmerking: de bronnen voor fossiele olie worden in de toekomst steeds lastiger (teerzanden, schalieolie, diepzee-boringen), wat leidt tot een hoger energiegebruik bij winning, en ook bij raffinage (door meer vervuilingen). Aan de andere kant worden de exploitatie technieken continu verbeterd. Tegen 2030 wordt nog geen al te grote evolutie verwacht.

4.1.1.4 Bioethanol productie

De belangrijkste technische gegevens voor de productie van bio-ethanol komen uit het rapport "*Technical, Economic and Environmental Assessment of Biorefinery Concepts - Developing a practical approach for characterisation*" (IEA Bioenergy, 2019)⁵⁰. Deze studie modelleert het proces met een andere allocatie-methode, dus niet met consequentiële modellering.

50 Rapport beschikbaar op https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2019/07/TEE_assessment_report_final_20190704-1.pdf. IEA Bioenergy staat voor het Technology Collaboration Programme (TCP) voor een programma voor onderzoek, ontwikkeling en demonstratie op het gebied van bio-energie (opgericht door het Internationaal Energie Agentschap (IEA))

In deze casestudie wordt een lignocellulose-verwerkende bioraffinaderij gekarakteriseerd waarbij maïsstro wordt gebruikt om ethanol te produceren als fossiele brandstofvervanger. Er wordt ter plaatse procesenergie opgewekt via lignineverbranding in een ketel en er wordt elektriciteit en warmte geproduceerd met stoom uit dit verbrandingsproces. Er is geen externe energievoorziening nodig en, afhankelijk van de bedrijfsmodus, wordt er overvloedige elektriciteit opgewekt. In deze studie wordt elektriciteit aan het net verkocht (en zo wordt elektriciteitsproductie vermeden). De bioraffinage van de lignocellulose omvat een on-site productie van cellulase enzymen.

Ethanol wordt geproduceerd op basis van maïsstro. In het beschouwde proces, wordt het gemalen maïsstro voorbehandeld in een verdund zuur (18 mg zwavelzuur/kg droge biomassa). Enzymatische hydrolyse wordt gebruikt om de hemicellulose en cellulose om te zetten in monomeren C5- en C6-suikers en lignine, die het platform vormen in de beschreven ethanol-bioraffinage. Cellulase wordt ter plaatse geproduceerd.

De C5- en C6-suikers worden in fermentatietanks gevoerd. De fermentatie maakt gebruik van metabolisch gemanipuleerde stammen van micro-organismen die in staat zijn om xylose en glucose te co-fermenteren naar ethanol, terwijl een apart hydrolyse- en fermentatieproces (SHF-proces) wordt toegepast. Ten slotte wordt de gistingbouillon in een destillatieproces gebracht.

De lignine wordt gedroogd en gebruikt voor procesenergie.

Destillatiekolommen en moleculaire zeven worden gebruikt om bijna zuivere (99,5%) ethanol te produceren.

De details van het proces worden beschreven in bijlage 11.2.

Opmerking: De technologie om ethanol te produceren uit lignocellulose is nog deels in ontwikkeling en in de komende jaren (zeker tegen 2030) zijn nog bepaalde technologische evoluties te verwachten. Bijvoorbeeld:

- Andere technieken voor voorbehandeling die minder input aan reactanten vragen.
- Verhoogd omzetting rendement naar ethanol: er wordt verwacht dat het totaal rendement van ethanol productie uit stro op termijn zal stijgen van 38% naar 45-48% (IRENA 2018); dit heeft ook belangrijke invloed op de kosten/ business case van deze technologie.
- Opconcentratie van lignine en gebruik voor bioproducten.
- Toepassing restant van het fermentatieproces (vinasse) als input voor biogas productie, of als bio-fertiliser, i.p.v. droging en verbranding (nu aangenomen). Bij terugvoer als bio-fertiliser naar de maïsakkers waar het maïsstro geoogst is, is het niet (of veel minder) nodig te compenseren met compost.
- Opvang van hoge concentratie CO₂ (co-product van het fermentatieproces) kan mogelijk gebruikt worden in CCS-toepassingen of als input in de voedingsindustrie.

Er zijn om dit moment onvoldoende gegevens om deze opties mee door te rekenen, maar ze kunnen wel een belangrijke impact hebben op het eindresultaat. Bij de interpretatie van de resultaten dient hiermee wel rekening gehouden te worden.

4.1.1.5 Emissies gebruiksfase (personenwagen)

Er wordt gekeken naar het verschil in emissies van het voertuig met benzine of met bio-ethanol. De emissies van stikstofoxiden (NO_x) en fijn stof worden verondersteld niet significant te verschillen.

De emissies van zwaveldioxide (SO₂) zijn verschillend want ethanol bevat geen zwavel. Emissies zijn evenredig met S-inhoud van de brandstof. Maar gezien het laag S-inhoud van benzine, heeft dit weinig impact op de analyse. Dit verschil werd niet gemodelleerd.

De uitstoot van CO₂ uit het voertuig is verschillend (geteld op basis van de MJ van elke brandstof):

- Benzine: 73,4 g CO₂-fossiel/MJ
- Bioethanol: 71,4 g CO₂ biogene/MJ

4.1.1.6 Bio-ethanol distributie

Dezelfde hypothesen als voor benzine (Ecolnvent proces "*markt voor benzine, laagzwavelig, Europa*") werden genomen om een relevante vergelijking te maken, behalve voor het brandstoftransport: alle transporten die Ecolnvent in overweging neemt voor de distributie van benzine naar het benzinestation (vrachtwagen, binnenvaartschip, pijpleiding, enz.) werden vervangen door één transport: Vrachtwagenvervoer over 150 km⁵¹ heen en terug (2*75km).

4.1.1.7 Transport van maïsstro en het droogproces

Een gemiddelde afstand van 75 km⁵² wordt in aanmerking genomen voor het transport van het (natte) maïsstro naar de opslagruimte. Gezien de late oogst (~oktober) is het minder aangewezen om het maïsstro op het veld te laten drogen. (*Dit is verschillend met graanstro*).

Er wordt rekening gehouden met een vochtgehalte⁵³ van 35%.

Indien langdurige opslag nodig is, wordt een droogproces toegepast om het vochtgehalte van 35% naar 15% te verlagen (om broei te vermijden). Drogen is niet nodig indien:

- Snel behandeld (een deel wordt onmiddellijk verwerkt en hoeft niet gedroogd te worden)
- Grotere installaties kunnen alles onmiddellijk verwerken en gaan andere biomassa verwerken in de rest van het jaar (tarwestro...).

Een droogproces kan dus als bovengrens gebruikt worden voor kosten en energieverbruik.

51 Gerekend met een onzekerheid van +/-30%.

52 Gerekend met een onzekerheid van +/-30%.

53 Het is variabel (tussen 15 en 60 %) en hangt van vooral van vroege/late oogst en het weer. De impact van deze onzekerheid wordt niet bediscussieerd want het speelt amper een rol op de resultaten omdat het drogen met restwarmte gebeurt.

Op basis van Ecolnvent rapporten verbruikt de verdamping 2,8 MJ (stoom) per kg verdampt water voor het drogen (op basis van waarden voor houtsnippers)⁵⁴. Deze waarde werd niet gebruikt in deze studie. Er wordt immers aangenomen dat het drogen met restwarmte uit industriële processen gebeurt (o.a. warmte beschikbaar van de ethanol fabriek).

4.1.2 Economie

De vergelijking op milieubasis zal worden afgewogen ten opzichte van economische kosten. Hiervoor zullen we de kosten vergelijken tussen het referentiescenario (benzineverbruik en maïsstro achterlaten op het veld) en biobrandstofscenario's. Er wordt gerekend met maatschappelijke kost, dus belastingen of winstmarges worden niet meegenomen in de analyse.

4.1.2.1 Referentie scenario – kosten benzine

De inschatting van de kosten van benzine is gebaseerd op de gemiddelde officiële maximumprijs voor benzine aan de pomp in België in 2018, zonder accijnzen en BTW: 0,5156 €/liter⁵⁵.

Het percentage voor de marge en bedrijfsbelastingen wordt geschat op basis van TOTAL-cijfers: 9,8 %.

De kost (zonder marge en belastingen) van benzine is bijgevolg **49,0 €/MWh**⁵⁶. Dit getal hangt wel sterk af van internationale noteringen van ruwe olie.

Tabel 10: Benzinekost

Bruto productiekost	0,5156	€/l
marge	9,80 %	
Netto productiekost	0,4651	€/l
Densiteit benzine	0,737	kg/l
Netto productiekost	0,6310	€/kg
LHV	46,4	MJ/kg
Netto productiekost	0,0136	€/MJ
Conversie	3600	MJ/MWh
Netto productiekost	48,96	€/MWh

54 Gerekend met een onzekerheid van +/-30%.

55 Bron: Belgische Petroleum Federatie 2018.

56 Op basis van netto productiekost van 0,465 €/liter en LHV van 34,2 MJ/liter.

4.1.2.2 Kosten/baten gerelateerd aan compensatie met compost

Als door het verwijderen van de maïsstro plantenresten de opslag van koolstof en nutriënten in de bodem daadwerkelijk afneemt, dan kan dit worden gecompenseerd door verschillende acties. In dit geval nemen we aan dat nutriëntenverlies gecompenseerd wordt door de aanvoer van GFT-compost (zie eerder). De kost werd op basis van volgende hypothesen gemodelleerd⁵⁷:

- Kosten compostproductie (inclusief bijkomende⁵⁸ selectieve inzameling): 181 €/ton compost⁵⁹
- Vermeden kosten verbranding (inclusief huisvuilinzameling): 131 €/ton GFT.
 - De restafval inzamelkost is rond 100 €/ton GFT⁶⁰ in dichtbevolkte regio's zoals het Vlaams Gewest.
 - De verbrandingskost in het Vlaams Gewest is 92 €/ton GFT⁶¹.
GFT-afval heeft een lagere calorische waarde dan ander restafval (3,4 MJ/kg vs. 9-10 MJ/kg), een hoge densiteit en geeft een lage productie van bodemas en vliegias. Er wordt aangenomen dat de verbrandingskost van GFT-afval ongeveer een derde van de kost is ten opzichte van het gemiddelde restafval.⁶²
 - De verbrandingskost in het Vlaams Gewest wordt dan ingeschat op
 $\text{Restafval inzamelkost} + 1/3 * \text{verbrandingskost} = 100\text{€/t} + 1/3 * 92\text{ €/t} = 131\text{ €/t}$.

Voor de biobrandstofproductie komen we dan op een vermeden verbrandingskost van GFT-afval van 9 €/100 km).⁶³ De kost gerelateerd aan compost uit GFT-afval is 7,4 €/100 km⁶⁴.

Belangrijke opmerking: beide getallen bevatten een vrij grote onzekerheid; de relatieve onzekerheid op het verschil tussen beide getallen is nog groter.

57 Het verschil tussen de kosten compostproductie en vermeden kosten verbranding wordt onderzocht.

58 Boven de voorziene groei op basis van het huidig beleid

59 <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/etude-technico-economique-cs-biodechets-201801-rapport.pdf>

60 RDC-hypothese gebaseerd op https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/rapport-referentiel-cout-service-public-dechets_2019_v1.pdf

61 <https://www.ovam.be/sites/default/files/atoms/files/TARIEVEN%20EN%20CAPACITEITEN%20storten%20en%20verbranden%20actualisatie%20tot%202018.pdf>
<https://www.ovam.be/sites/default/files/atoms/files/TARIEVEN%20EN%20CAPACITEITEN%20storten%20en%20verbranden%20actualisatie%20tot%202018.pdf>

62 De prijs van afvalverbranding is vaak forfaitair (€/t) maar de kostberekening moet rekening houden met de reële impact van de GFT-verbranding op de functionering van een installatie. Voor de stockage in de bunker speelt vooral de densiteit een rol (de stockagecapaciteit is een volumecapaciteit). De verbrandingscapaciteit is beperkt door de hoeveelheid energie die geproduceerd wordt; als de calorische waarde laag ligt, dan ligt de gewichtscapaciteit van de oven omgekeerd evenredig hoger. De kost voor de verwijdering van vlieg- en bodemas is ook lager omdat GFT weinig vaste verbrandingsresidu's geeft. Ook op het vlak van rookgaszuivering is de bijdrage kleiner omdat het weinig polluenten bevat. De enige kostverhogende factor is de lagere energierecuperatie.

Deze modellering is natuurlijk enkel van toepassing indien de verandering van de samenstelling relatief beperkt blijft en de oven op een normale manier blijft draaien.

63 0,066 t GFT-afval voor compost voor de functionele eenheid van 100 km (zoals de milieu modellering)

64 0,033 t compost voor de functionele eenheid van 100 km (zoals de milieu modellering)

4.1.2.3 Inzameling, droging, opslag en transport van maïsstro⁶⁵

Er wordt uitgegaan van een geoptimaliseerd systeem waarbij de oogstmachine tegelijkertijd de korrel oogst en maïsstro verwijdt. Oogstresten worden in balen geperst. Er wordt slechts rekening gehouden met een klein restbedrag aan inzaaielkosten.

Op basis van de parameters in Tabel 11 is de inzaaielkost: 2,74 €/t droge maïsstro.

Tabel 11: Parameters inzaaielkost

Beschrijving	Waarde	Eenheid	Bron
Densiteit van het materiaal	0,17	t/m ³	« Tableau des poids et volumes des produits agricoles » ⁶⁶
Capaciteit van het transport	118	m ³	Transport Moreau ⁶⁷
Machine en chauffeur kost	55	€/uur	RDC-hypothese
Aantal uren materiaal gebruik voor een vrachtwagenlading	1	uur	RDC-hypothese
Totaal	2,74	€/t	Berekening: (1u * 55€/u) / (118m ³ * 0,17t/m ³)

Op basis van de parameters in de volgende tabel zijn de transportkosten: 6,85 €/t maïsstro.

Tabel 12: Parameters transportkosten

Beschrijving	Waarde	Eenheid	Bron
Densiteit van het materiaal	0,17	t/m ³	Zie Tabel 11
Capaciteit van het transport	118	m ³	Zie Tabel 11
Vrachtwagen en chauffeur kost	55	€/uur	Zie Tabel 11
Gemiddelde snelheid	60	km/uur	RDC-hypothese
Afstand	150	km	RDC-hypothese
Totaal	6,85	€/t	Berekening: (150km / 60km/u * 55€/u) / (118m ³ * 0,17t/m ³)

De onzekerheid van dit getal wordt niet besproken want de impact op de eindresultaten en conclusies is verwaarloosbaar.

⁶⁵ De kosten zijn uitgedrukt per ton droge stof.

⁶⁶

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwj1KXPI6TnAhUFLIAKHZZ0BroQFjABegQIChAE&url=http%3A%2F%2Fwww.expertagricolenord.fr%2Findex.php%2Fcomponent%2Fjoomdoc%2Ffestimations%2520agricoles%2Fpoids-volumes-pdf%2Ftelecharger&usg=AOvVaw0CFkvokarHgRHeey78x00M>

⁶⁷ <http://www.transportsmoreau.com/Transport-de-fourrage>

Op basis van de parameters in Tabel 13 (droging in een schuur) zouden de droogkosten variëren tussen 54 en 76 €/t droge maïsstro.

Tabel 13: Parameters van de droogkosten

Beschrijving	Waarde min		Waarde max	Eenheid	Bron
Schuur	60 000		80 000	€	SGF Conseil ⁶⁸
Droogapparatuur	40 000		60 000	€	SGF Conseil
Indeling van de droogzones	15 000		30 000	€	SGF Conseil
Afschrijving periode schuur	50			jaar	RDC-hypothese
Afschrijving periode droogapparatuur	15			jaar	RDC-hypothese
Afschrijving periode indeling van de droogzones	20			jaar	RDC-hypothese
Capaciteit (droge stof)	150			t/jaar	SGF Conseil
Operationele kosten	5		10	€/t (droge stof)	SGF Conseil
Personeel	0,07			VTE/jaar	RDC-hypothese
Personeelskost	40 000			€/jaar	RDC-hypothese
Totaal	54		76	€/t	Berekeningen ⁶⁹

Deze hypothesen zijn voor een gedecentraliseerd droogproces van 150 t per jaar maar schaafeffect zou tot een lagere kost kunnen leiden. Met een installatie van 10 000 t per jaar zal de kost per ton dalen. We nemen aan dat de kost groeit met een exponent⁷⁰ 0,6 t.o.v. de groei van de capaciteit. Met het schaafeffect voor de installatie kost de droging dus tussen 29 en 37 €/t voor een 10 000 t/jaar installatie.

Tabel 14: Schaafeffect van de droogkosten

t MS/an	150 t/jr				10 000 t/jr			
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	€	€	€/t	€/t	€	€	€/t	€/t
Installatie ⁷¹	4 617	7 100	31	47	57 369	88 227	6	9
Personeel	2 727	2 727	18	18	181 818	181 818	18	18
Operationele kosten	750	1 500	5	10	50 000	100 000	5	10
Totaal	8 094	11 327	54	76	289 187	370 046	29	37

68 <https://docplayer.fr/12508154-Le-sechage-en-grange-des-fourrages-en-vrac-une-technique-performante-econome-et-respectueuse-de-l-environnement.html>

69 $(60000/50/150+40000/15/150+15000/20/150)+(40000*0,07/150)+5 = 54$; $(80000/50/150+60000/15/150+30000/20/150)+(40000*0,07/150)+10 = 76$

70 Tribe, M. A., & Alpine, R. L. W. (1986). Scale economies and the "0,6 rule". Engineering Costs and Production Economics, 10(1), 271-278.

71 $4167*(10\ 000/150)^{0,6} = 57\ 369\ €$; $57\ 369/10\ 000 = 6\ €/t$; $7100*(10\ 000/150)^{0,6} = 88\ 227\ €$; $88\ 227/10\ 000 = 9\ €/t$

Er wordt aangenomen dat slechts 2/3 van de input moet gedroogd worden want:

- Het oogsten van de maïs is gespreid over 2 maanden en een deel wordt dus onmiddellijk verwerkt
- Andere inputs (oogstresten van andere gewassen, eventueel ook vanuit Frankrijk) kunnen ook gebruikt worden in de installatie. De capaciteit mag dus ook hoger liggen dan de toevoer maïsstro.

In deze aanname is de droogkost dan van toepassing voor 2/3 van de biobrandstof productie, wat dan neerkomt op een gemiddelde droogkost tussen 19 en 25€/ton maïsstro (droge massa).

Inkuilen is een andere optie om de droogkost te vermijden. Een OVAM-studie⁷² geeft de kostprijs van verschillende inkuilmethoden; de goedkoopste is rijkuil met een kost van 6,8 €/ton⁷³.

De rijkuilkost (6,8 €/t) wordt gebruikt als ondergrenswaarde en de droogkost van 25 €/t als bovengrenswaarde.

De opslagkost komt van de literatuur: opslag in de Verenigde Staten⁷⁴: 11,5 €/t. De waarde is vergelijkbaar met andere interne modelleringen.

Tabel 15 vat de verschillende kostonderdelen samen. Op basis van deze tabel zijn de totale inzamel-, droog-, opslag- en transportkosten (op basis van droge stof maïsstro) dus:

- Ondergrenswaarde: 10,4 €/MWh product (met een hypothese van 5 % verlies)
- Bovengrenswaarde: 26,0 €/MWh product (met een hypothese van 7 % verlies)

Tabel 15: Samenvatting van inzamel-, droog-, opslag- en transportkosten

	Min (€/t)	Max (€/t)
Inzamelkost	2,74	
Transportkost	6,85	
Drogingskost	6,8	24,7
Opslagkost	11,5	
Totaal	18,6	45,8

(Maïsstro droge stof)

72 <https://www.ovam.be/sites/default/files/Ge%C3%AFntegreerde%20verwerkingsmogelijkheden%20van%20bermmaisel.pdf>

73 Waarde voor €2020 na actualisering.

74 Corn Stover Storage Methods IOWA state University PM 3051D January 2014. Er was geen info beschikbaar over de duur van de opslag.

4.1.2.4 Transformatie naar ethanol

Volgende tabel geeft een overzicht van de verschillende kostcomponenten van ethanolproductie uit lignocellulose (bron: IEA Bioenergy, 2020) met mogelijke spreiding van de kosten. De hoge kosten komen overeen met de huidige technologie. Daarnaast worden ook projecties gemaakt van mogelijke kostreducties.

Tabel 16: Transformatie kost⁷⁵

	Low	Medium	High
Investeringskost (€/kW)	2 750	2 750	3 650
Financiering % /jaar	8% - 20 jaar	10% - 15 jaar	10% - 15 jaar
Bijdrage aan de productkost - €/MWh product			
Kapitaal	32	42	60
Enzymen	15	15	30
Andere bediening en onderhoud	13	13	18

Volgens IEA Bioenergy (2020) kunnen de kosten dalen door:

- Schaalvergroting en optimalisatie: daling kapitaalkost tussen 25 en 50 %

Een andere reden is de daling van de rentevoet voor kapitaal. Als er meerdere installaties operationeel zijn, daalt het risico voor de financierder en zal de financieringskost voor het kapitaal ook dalen.

- Daling andere operationele kosten en enzymen: tussen 10 en 20 %.

Voor de modellering gebruiken we de ondergrens (38,4 €/MWh)⁷⁶ en bovengrens (88,2 €/MWh)⁷⁷ waarden. De ondergrenswaarden zijn zeer ambitieus en enkel haalbaar op lange termijn met grote uitrol van de technologie.

4.1.2.5 Distributiekost benzine/ ethanol

De distributiekost van benzine is ingeschat op 0,176 €/l (Cf. Afwegingskader), inclusief belastingen en marge. We hebben het percentage marge en belastingen geschat op basis van TOTAL-cijfers: 9,8 %. De distributiekost zonder belastingen en marge wordt dan 0,159 €/l.

⁷⁵ Costs of lignocellulosic ethanol production. Zie IEA Bioenergy (2020), Advanced Biofuels – Potential for Cost Reduction https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/02/T41_CostReductionBiofuels-11_02_19-final.pdf (vanaf pagina 19)

⁷⁶ Lage kosten met grote kostendaling in groot kapitaal, operationele en enzymen kostendaling.

⁷⁷ Hoge kosten met lage kostendaling in laag kapitaal, operationele en enzymen kostendaling.

De transportkost voor de distributie is 0,008 €/l op basis van de modellering met de parameters in Tabel 17 hieronder.

Tabel 17: Distributietransportkosten

Beschrijving		Waarde	Eenheid	Bron
Capaciteit		27 000	l/vrachtwagen	Typische vrachtwagen
Transportkost	Brandstof	0,512	€/km	Comité national routier (Frankrijk)
	Vrachtwagen	158	€/dag	Comité national routier (Frankrijk)
		300	km/dag	RDC-hypothese
	Chauffeur	19,6	€/uur	Comité national routier (Frankrijk)
Afstand		150	km	RDC-hypothese
Totaal		0,008	€/l	Berekening ⁷⁸

De transportkost voor de distributie is dus maar 5 % van de totale distributiekost.

We veronderstellen dat een deel van de distributiekost varieert a rato van het gewicht van de brandstof. De andere kosten variëren niet met de eigenschappen van de brandstof en zijn dus dezelfde voor ethanol en benzine.

We hebben twee situaties gemodelleerd:

1. Het minimale aandeel stemt overeen met de transportkost (5%). De transportkost van ethanol is dus 2,62 €/MWh. We veronderstellen dat de andere distributiekosten dezelfde zijn voor benzine en ethanol: 15,73 €/MWh. De totale distributiekost van ethanol is dus 18,35 €/MWh.
2. We veronderstellen dat het maximale aandeel van de transportkost rond 25% van de distributiekost is. De transportkost van ethanol is dus 7,96 €/MWh. We veronderstellen dat de andere distributiekosten dezelfde zijn voor benzine en ethanol: 12,86 €/MWh. De totale distributiekost van ethanol is dan 20,8 €/MWh.

4.1.2.6 Gebruik van de brandstoffen

We veronderstellen dat er geen verschil is tussen het gebruik van benzine en ethanol.

⁷⁸ $\{ \text{Brandstofkost} + \text{duur traject} * (\text{kost vrachtwagen} + \text{kost chauffeur}) \} / \text{capaciteit} = \text{transportkost}$
 $\{ 150\text{km} * 0,512\text{€/km} + 150\text{km}/300\text{km/dag} * (158\text{€/dag} + 6\text{u} * 19,6\text{€/u}) \} / 27000\text{l/vrachtw} = 0,008 \text{ €/l}$

4.1.3 Sociaal

Naast milieukosten/baten en economische kosten, proberen we ook een inschatting te maken van de sociale baten, vooral op gebied van werkgelegenheid.

Ter herinnering (zie rapport afwegingskader): de baat van VTE⁷⁹-jobcreatie wordt ingeschat op 38 905 € per jaar.

De sociale baat verbonden aan tewerkstelling is het aantal VTE vermenigvuldigd met dit bedrag.

4.1.3.1 Referentie scenario

Op basis van Statbel (omzet en tewerkstelling cijfers) hebben we de betrokken jobs in België geschat:

- Benzineproductie: 9 289 019 €/VTE
- Benzinedistributie: 962 001 €/VTE

De jobcreatiebaten zijn 0,83 €/MWh voor benzine.

4.1.3.2 Biobrandstof scenario

Op basis van omzet en tewerkstelling cijfers (Statbel) hebben we de jobs in België geschat van de stappen van de keten met de volgende hypothesen:

- Compensatie via compost: composteerinstallaties
- Inzameling, droging, opslag en transport: landbouw en transportbedrijven
- Transformatie: zoals benzineproductie

Allicht gebeurt biobrandstoftransformatie op veel kleinere schaal dan petroleumraffinage, dus meer jobs nodig per output maar dit werd niet dieper geanalyseerd omdat het geen impact heeft op de resultaten en de conclusies.

- Distributie: zoals benzinedistributie

⁷⁹ Voltijds equivalent.

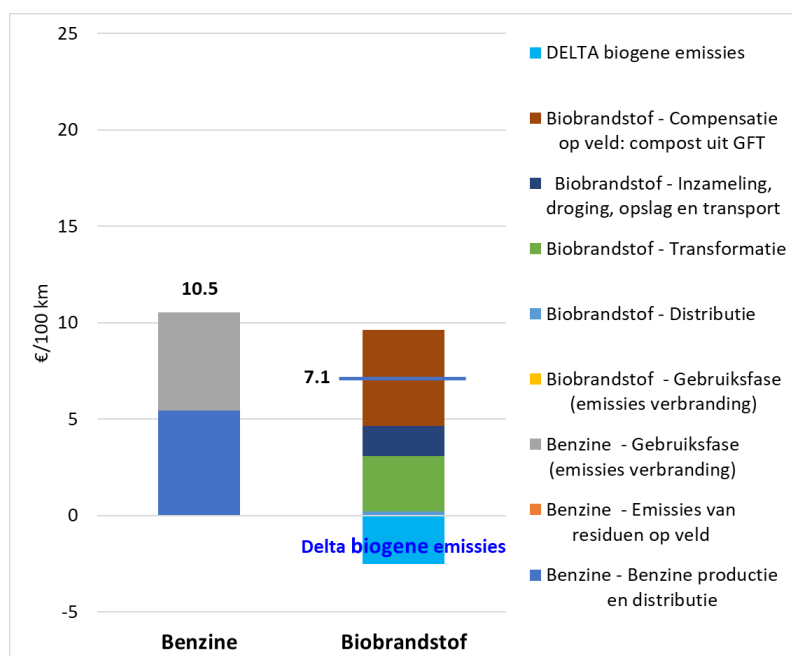
4.2 RESULTATEN

4.2.1 Ethanol uit maïsstro - Milieu

4.2.1.1 Gemonetariseerde resultaten

De volgende grafiek toont de gemonetariseerde milieuresultaten voor de doorgerekende case. De resultaten voor alle impactcategorieën zijn geaggregeerd en geëvalueerd in euro.

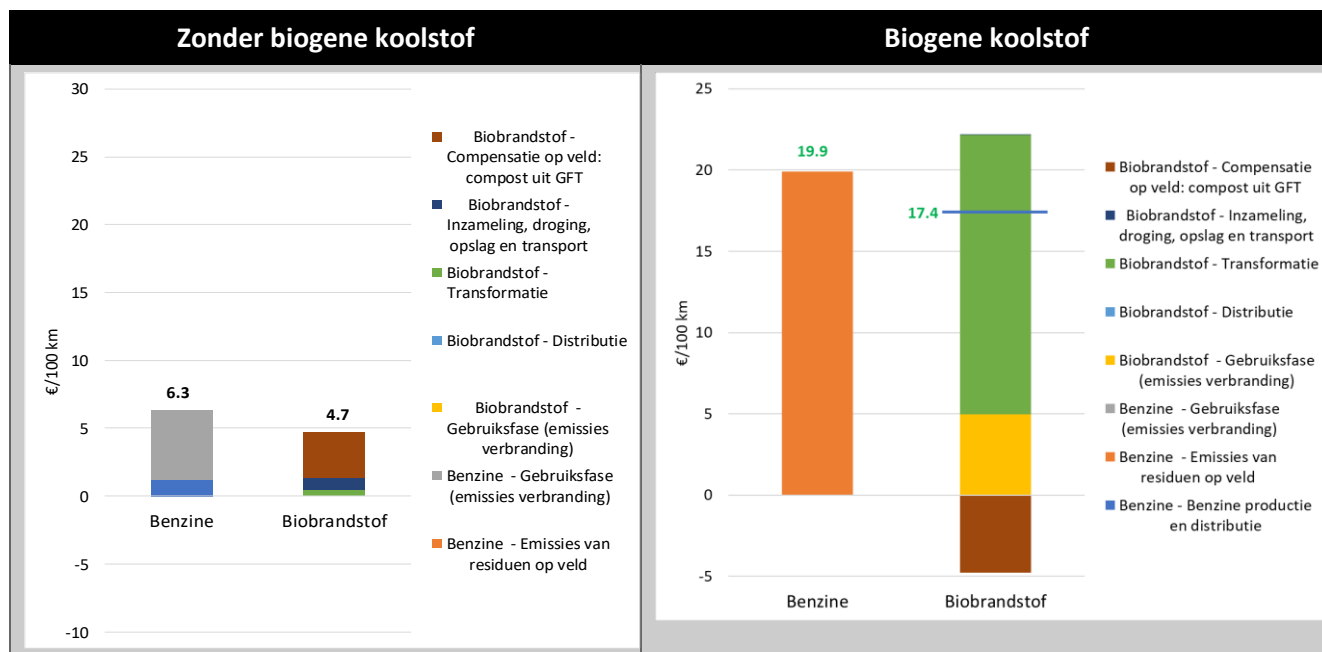
Figuur 13: Case ethanol uit maïsstro - Totaal gemonetariseerde milieu impacten



Het totale milieuresultaat is gunstig (7,1 vs. 10,5 € milieuschade per 100 km) voor de doorgerekende biobrandstof case.

We bekijken de onderliggende cijfers rond klimaatimpact iets dieper.

Figuur 14: Ethanol uit maïsstro - Gemonetariseerde klimaatimpacten



Biogene koolstof

De totale biogene CO₂ emissies (uitgedrukt in monetaire impact) als al de koolstof in het maïsstro wordt omgezet in CO₂ worden ingeschat op 17,4€/100km. Gezien veel publicaties de biogene emissies niet meenemen in de berekeningen, presenteren we hierbij enkel wat relevant is voor de vergelijking, i.e. de **delta CO₂ emissies**, dus de extra koolstof die op lange termijn in de bodem wordt opgenomen in beide scenario's.

- In het biobrandstof scenario wordt 100% van biogene koolstof van maïsstro in de atmosfeer uitgestoten: **tijdens het verwerkingsproces** en bij het **gebruik van bio-ethanol** als transportbrandstof.
- In het basisscenario (Referentie) wordt aangenomen dat 90% van de plantaardige koolstof van maïsstro terug in de atmosfeer wordt uitgestoten (**Emissies van residuen op veld**), een deel van de koolstof (ingeschat op 10%) wordt op lange termijn in de bodem opgenomen. Dit geeft voor biogene emissies een voordeel voor het benzine referentiescenario (hier 2,5€/100km).
- Daarnaast wordt in het biobrandstof scenario meer GFT selectief ingezameld voor compostproductie. Er wordt dus minder biogene CO₂ geëmitteerd afkomstig van de GFT-fractie van het huishoudelijk afval. Als deze fractie in het huisvuil blijft en wordt verbrand, wordt de koolstof volledig in biogene CO₂ omgezet. Als het gecomposteerd wordt, **blijft een deel van de koolstof op lange termijn in de bodem**. De impact hiervan wordt ingeschat op 4,78€/100km), in het voordeel van het biobrandstof scenario.
- Let ook dat de productie van compost gelinkt wordt aan een belangrijke bijdrage aan fossiele CO₂-emissies (zie verder).

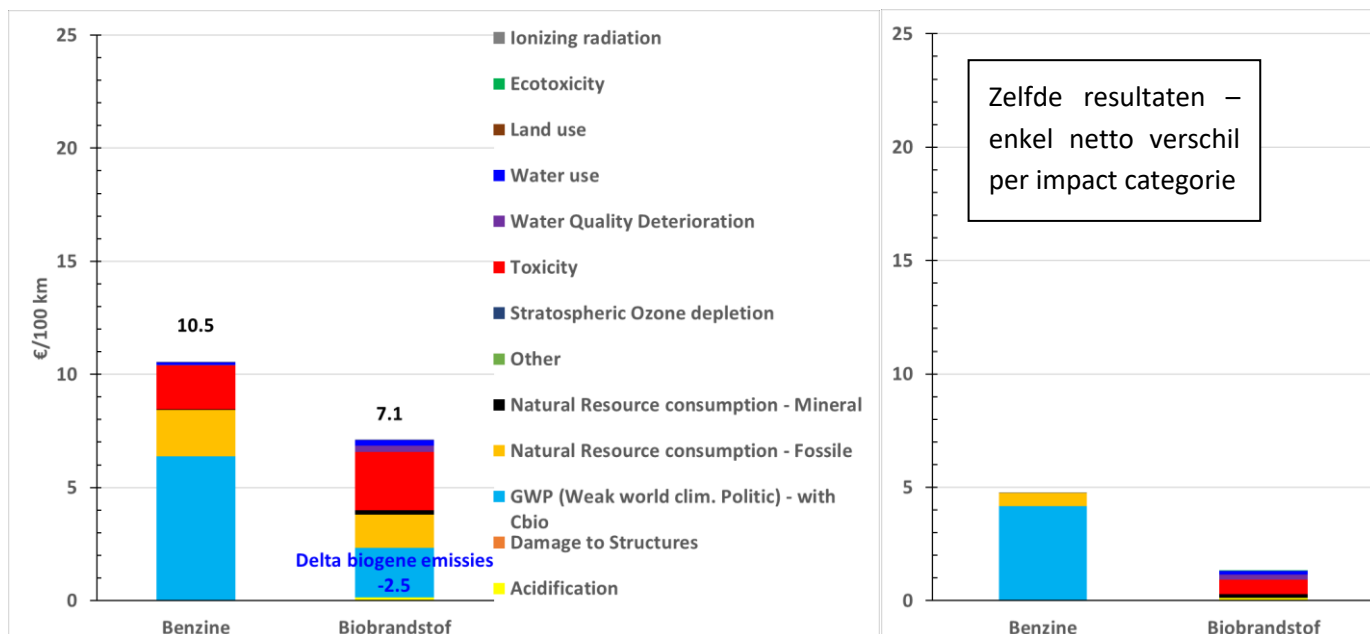
Fossiele koolstof:

- Tijdens de conversie naar ethanol is er een overschot aan elektriciteitsproductie waardoor de productie van elektriciteit wordt vermeden (vermeden impact).
- De impacten van het biobrandstof scenario op gebied van fossiele CO₂ uitstoot (**aanvoer compost en droging, transport**) zijn significant, maar kleiner dan wat uitgestoten wordt in het **benzine referentiescenario**.
- De productie van compost blijkt een belangrijke impact te hebben op fossiele CO₂-emissies van het bioethanol scenario (3,35€/100km). Deze fossiele CO₂-emissies hebben deels te maken met het verlies aan elektriciteitsproductie van afvalverbranding (dat op een andere manier moet geproduceerd worden), deels met de energieconsumptie tijdens het composteerproces. Gezien de hoge bijdrage aan deze case, is het eventueel aangewezen om dieper in te gaan op de emissies gerelateerd aan de productie van compost in Vlaanderen (de nu gebruikte cijfers zijn gebaseerd op Ecolnvent).
-
- De discussie rond impacten op CO₂-emissies toont het belang aan van de modelleringskeuzes (inclusief gevolgaannames) van het scenario. Bij andere aannames voor nutriëntcompensatie kan de impact op biogene of fossiele koolstof heel anders liggen.

De volgende figuur toont, naast klimaatimpact, ook de bijdrage van de andere impactcategorieën aan de gewogen resultaten.

De grootste bijdrage komt van **klimaatverandering**. Het verschil is deels gerelateerd met lange termijn opslag van C in de bodem door compost, deels met het vermijden van de uitstoot van fossiele CO₂. **Toxiciteit** (zie details hieronder) en **gebruik van fossiele grondstoffen** hebben ook een relatief grote bijdrage. Let dat de compost productie een bijdrage levert van 1,25€/100km rond gebruik van fossiele grondstoffen, vandaar dat het verschil op dit gebied beperkt is.

Figuur 15: Ethanol uit maïsstro - Totale milieubijdragen



Hieronder gaan we dieper in op de impactcategorie **toxiciteit**:

De toxische emissies bij ethanol productie komen vooral uit de productie van reactanten die gebruikt worden tijdens de voorbehandeling van de biomassa (ontsluiten van cellulose, hemicellulose en lignine). Details van toxiciteit voor beide scenario's worden hieronder gegeven.

De cijfers zijn overgenomen uit Ecolnvent. Let wel dat emissiecijfers gebonden zijn aan limietwaarden in regelgeving, die in 2030 mogelijk een stuk strenger zullen zijn. Ook zijn met name de ethanol transformatieprocessen nog in evolutie, waardoor cijfers hier rond in de toekomst ook lager kunnen zijn.

Benzine: 1,94 €/100km

Benzine productie en distributie		1,94 €/100km	100%
o	sulfur dioxide	1,022 €	52,8%
o	particles (PM2.5)	0,559 €	28,8%
o	chromium VI	0,135 €	7,0%
o	Nitrogen oxides	0,199 €	10,3%
De impacts van de "Gebruiksfase" zitten er niet in. Ze zijn gelijk verondersteld voor beide brandstoffen en werden dus niet gemodelleerd.			

Bioethanol**2,58 €/100km**

-	Bioethanol - Transformatie	1,875 €	72,6%
	○ sulfur dioxide	0,555 €	29,6%
	○ particles (PM2,5)	0,497 €	26,5%
	○ chromium VI	0,272 €	14,5%
	○ Nitrogen oxides	0,345 €	18,4%
	○ ammonia	0,179 €	9,5%
-	Compostproductie uit GFT	0,312 €	12,1%
-	Inzameling, droging, opslag en transport	0,310 €	12,0%
-	Biobrandstof Distributie	0,086 €	3,3%

In recentere bioethanol processen (bv. Clariant) is er een lager verbruik aan reactanten⁸⁰, wat een belangrijke impact kan hebben op de impact rond toxiciteit.

4.2.1.2 Resultaten met gebruik van de JRC wegingsmethode

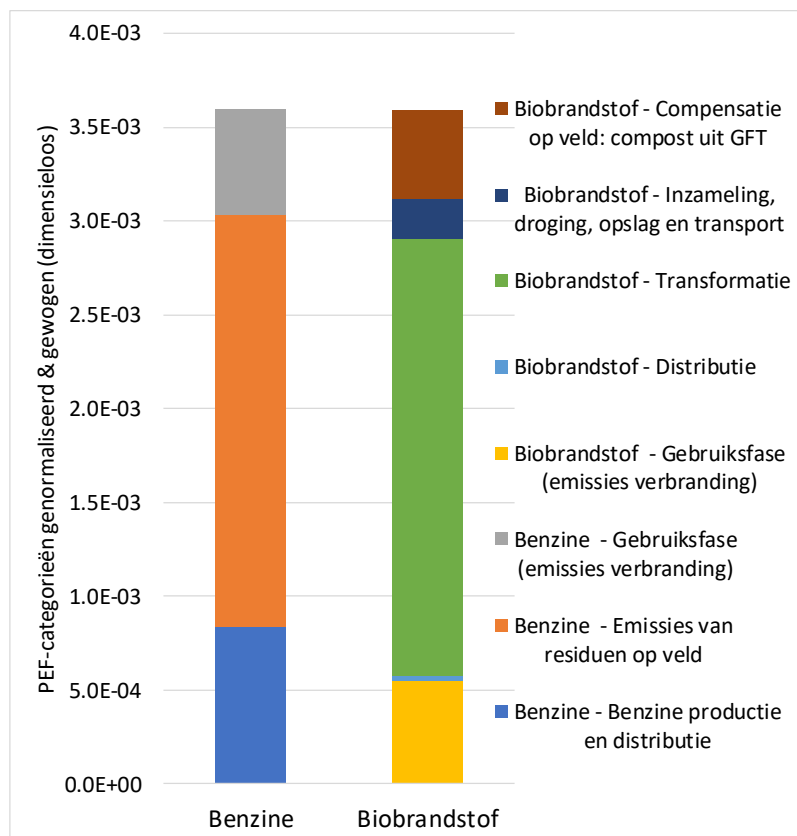
De via de 50% “experten” en 50% “public” wegingsfactoren van het JRC⁸¹ gewogen resultaten worden in onderstaande Figuur 16 voorgesteld.

Voor meer duiding rond deze wegingsmethode, verwijzen we naar het rapport over het ‘Afwegingskader’.

80 Gerelateerd aan voorbehandeling van de biomassa voor de ontsluiting van cellulose, hemicellulose en lignine

81 Joint Research Centre of the European Commission (Gemeenschappelijk Onderzoekscentrum van de Europese Commissie).

Figuur 16: Ethanol uit maïsstro - PEF-categorieën genormaliseerd & gewogen (dimensieloos)



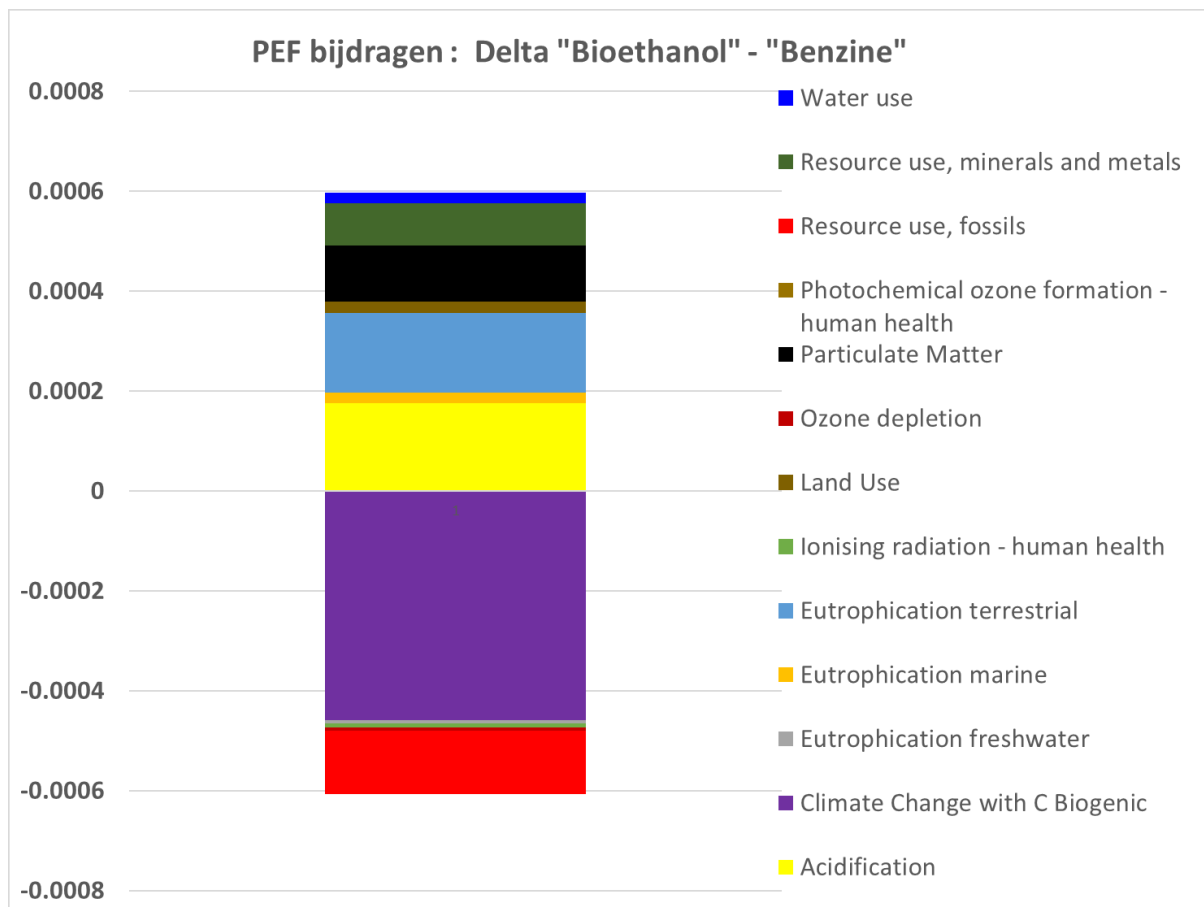
Opmerking: de resultaten zijn inclusief alle emissies van biogene koolstof.

Deze resultaten worden verkregen door de toepassing van wegingsfactoren op de resultaten van de verschillende milieu impactcategorieën. Zie theoretisch deel afwegingskader.

Hier scoren biobrandstof en benzine ongeveer gelijk. Dit is verschillend van de gemonetariseerde resultaten (zie Figuur 13) die gunstig zijn voor het biobrandstof scenario. De opmerking rond het belang van de modelleringskeuzes (zie eerder) is hier natuurlijk ook geldig.

De volgende grafiek geeft een gedetailleerde analyse van het verschil in PEF-resultaten tussen de twee scenario modelleringen. Klimaatverandering blijft de grootste bijdrage aan het verschil tussen scenario's.

Figuur 17: PEF bijdragen



De reden voor het verschil tussen PEF en gemonetariseerde resultaten (dus tussen Figuur 15 en Figuur 17) is vooral het zwaar gewicht gegeven door de PEF-methodologie aan **minerale grondstoffen**, **eutrofiëring** en **acidificatie**; deze twee laatste zijn vooral verbonden aan de ammoniakemissies tijdens het composteringsproces.

Volgens Ecoinvent emitteert het industriële composteringsproces 0,7 g NH₃ in de lucht per kg behandeld bioafval. Gezien 1 kg natte compost (47,2% nat) uit 2 kg bioafval (40% nat) wordt geproduceerd, wordt 1,4 g NH₃ uitgestoten per kg geproduceerde natte compost (47,2% nat).

4.2.1.3 Resultaten per impact categorie

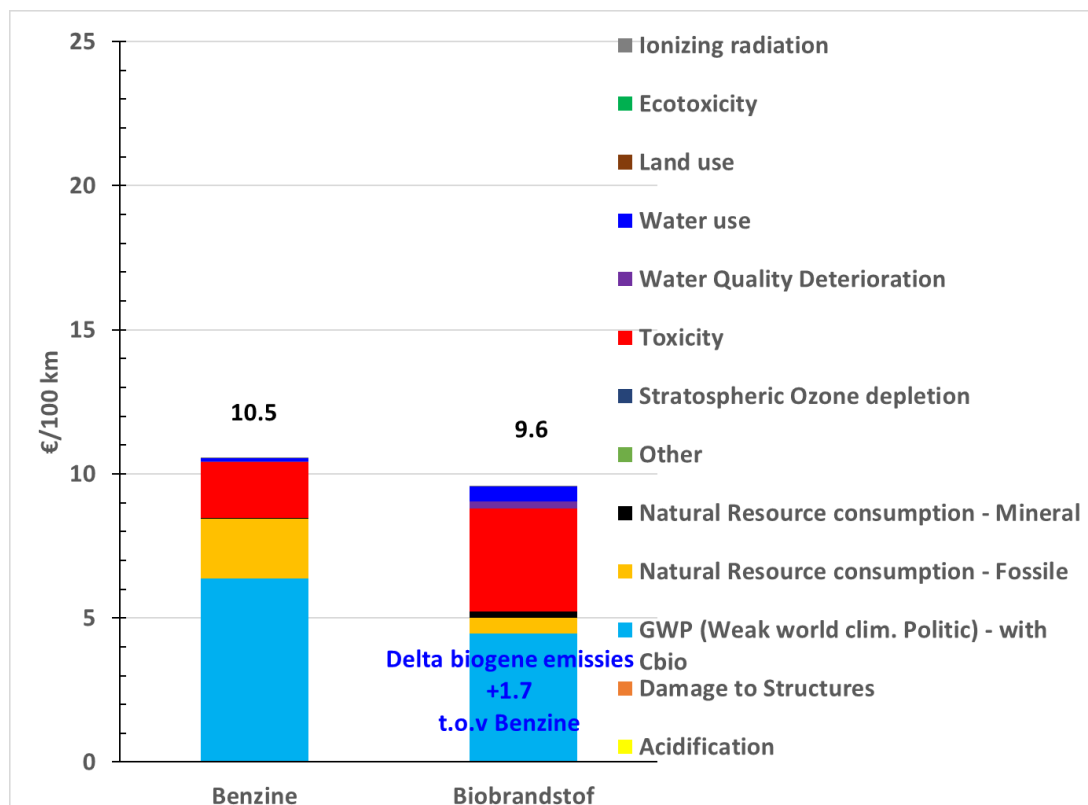
De grafieken en de tabel in bijlage geven de gedetailleerde milieuresultaten per impactcategorie.

4.2.1.4 Gevoeligheidsanalyse

Indien de afvoer van maïsstro gecompenseerd wordt met kunstmest NPK-aanvoer (dus geen compost aanvoer), scoort de biobrandstof optie nog licht gunstig ten opzichte van het referentiescenario (zie grafiek hieronder). Ten opzichte van compost toepassing is de vergelijking minder gunstig voor de biobrandstof omwille van:

- Geen langdurige koolstofopslag in de bodem,
- De productie van kunstmest NPK (vooral K) in de kunstmestindustrie, met belangrijke impact op broeikasgasemissies en toxiciteit, en ondanks de energierecuperatie tijdens de verbranding van GFT.

Figuur 18: Ethanol uit maïsstro, met kunstmestcompensatie - Totale milieubijdragen



Andere realistische opties van nutriëntencompostering (mest, mestverwerkingsproducten, digestaat, tussengewassen, residuen fermentatieproces) zijn niet doorgerekend, maar kunnen tot andere resultaten leiden.

4.2.1.5 Milieu - conclusie

De milieubaat van bioethanol is significant (-32%; 7,1 vs. 10,5 € milieuschade per 100 km) in het basis geval (met monetaire evaluatie). De baat is deels onrechtstreeks, door het stimuleren van meer selectieve inzameling van GFT, met een hogere compostproductie en minder organische fractie in het huisvuil.

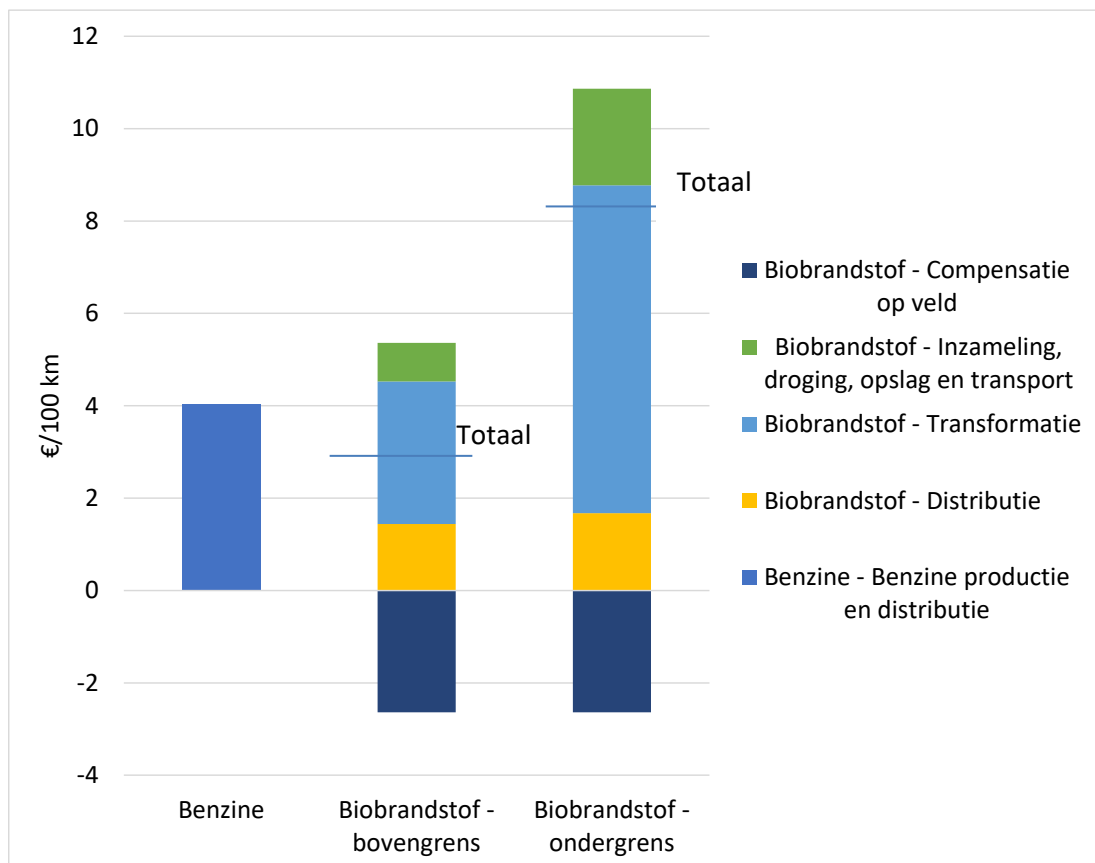
Het verschil wordt een stuk kleiner (-9%; 9,6 vs. 10,5 €/100km) wanneer de NPK afvoer via maïsstro gecompenseerd wordt door kunstmest NPK.

Er is geen milieubaat op basis van de PEF-modellering in de doorgerekende case.

Andere realistische opties van nutriëntencompostering (mest, mestverwerkingsproducten, digestaat, tussengewassen, residuen fermentatieproces) zijn niet doorgerekend, maar kunnen mogelijk tot andere resultaten leiden. Ook zijn nog technologische evoluties te verwachten in het ethanol productieproces die tot gevoelige verbetering kunnen leiden. Vandaar dat deze resultaten met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd moeten worden.

4.2.2 Ethanol uit maïsstro - Economie

Figuur 19: Ethanol uit maïsstro - Economische kosten



Op basis van de bovengrens⁸² modellering (meest positieve geval voor biobrandstof) ligt de kost van het biobrandstof scenario onder (1,31 €/ 100 km) de kost van het benzine scenario. Een belangrijke reden van deze lagere kost ligt op de maatschappelijke baat⁸³ van de vervanging van verbranding van organisch afval door compostering. Op basis van de ondergrens⁸⁴ modellering is het biobrandstof scenario 4,19 €/100 km duurder dan het benzine scenario.

Het verschil tussen de bovengrens en ondergrens modellering zit voornamelijk in het transformatie gedeelte. Schaalvergroting en optimalisatie kan leiden tot een significante daling van de kapitaalkost.

Een andere reden voor de daling van de kapitaalkost is de daling van de rentevoet gerelateerd aan het financieringsrisico. Als het risico daalt, zal de kapitaalkost ook dalen. De kost van het risico speelt een belangrijke rol: tussen 15 % en 23 %⁸⁵ van de transformatiekost kan worden toegeschreven aan financieringskosten, wat gelinkt is aan de inschatting van het risico bij de financiering van de bio-ethanolverwerkingsinstallatie. Het risico wordt verklaard door de waarschijnlijkheid dat de faciliteit om technische of economische redenen niet (voldoende) wordt gebruikt. Deze risicodaling zit omvat in de bovengrens modellering. Zoals eerder aangegeven moet er rekening mee gehouden worden dat de lage transformatiekost bij de 'biobrandstof-bovengrens' pas op lange termijn zou kunnen haalbaar zijn met een grote uitrol van deze technologie.

Herhaling: In de berekening gaan we uit van de kost van benzine exclusief taksen en accijnzen (zie methodologie "afwegingskader").

82 Aannames laagste kosten. Het is dus een bovengrens waarde voor het welzijn van de maatschappij.

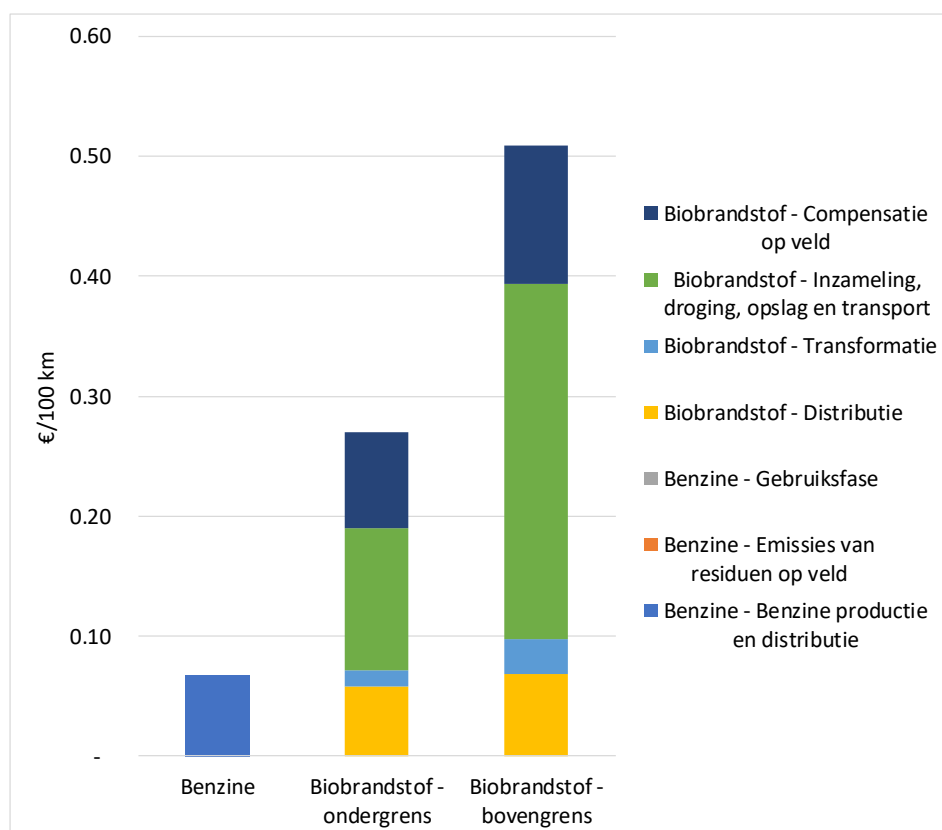
83 Voor de actoren in de keten (met name de landbouwers) zal de aanvoer van compost echter een kost vertegenwoordigen.

84 Aannames hoogste kosten. Het is dus een ondergrens waarde voor het welzijn van de maatschappij.

85 Het risico kan worden beoordeeld door de berekende investeringskost te vergelijken met een lage rente (3 % over 20 jaar) en een marktrente (8 tot 10 % over 15 tot 20 jaar).

4.2.3 Ethanol uit maïsstro - Sociaal

Figuur 20: Ethanol uit maïsstro - Sociale baten



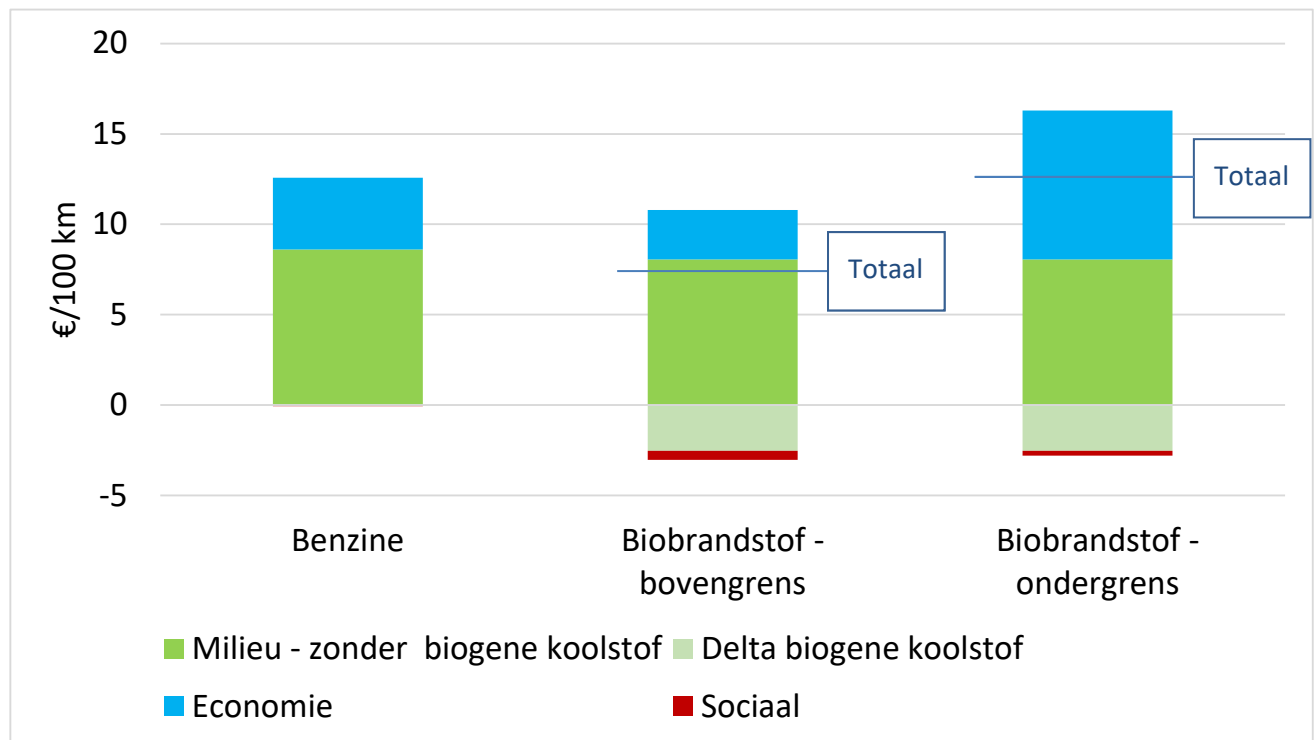
De doorgerekende sociale impacts zijn bijna enkel verbonden aan jobcreatie. De baten in het biobrandstof scenario zijn significant hoger (tussen 0,2 en 0,44 €/100 km) dan in het benzine scenario.

In aantal jobs komt dit overeen een verschil tussen 5,2E-06 en 1,1E-05 VTE jobs/100km.

Let op: een positieve waarde komt hier overeen met een baat (jobcreatie).

4.2.4 Ethanol uit maïsstro - Geaggregeerde maatschappelijke resultaten

Figuur 21: Ethanol uit maïsstro - Geaggregeerde maatschappelijke impacten



De economische en milieu impacten hebben de grootste invloed op de geaggregeerde maatschappelijke resultaten. De sociale impact heeft een heel beperkte invloed op de geaggregeerde maatschappelijke resultaten.

Met de aannames in de doorerekende case is het totaal gunstig voor biobrandstof met de bovengrens modellering (toekomstige technologie) en op gelijk niveau als het referentiescenario met de ondergrens modellering (huidige technologie). De geaggregeerde maatschappelijke baten zijn dus afhankelijk van evolutie van de transformatiekost (optimalisatie, schaalvergroting) van bioethanol.

De reductie van klimaatimpact wordt ingeschat op 15,9 kg CO₂eq/100km in de basisdoorrekening van de ethanol case. Wanneer dit gerelateerd wordt aan de extra kost voor biobrandstof, zou de kost van de CO₂eq reductie variëren tussen -77€/t CO₂eq en 265 €/t CO₂eq. In het meest positieve geval is het dus én goedkoper voor de maatschappij én beter voor het klimaat; in het minst positieve geval komt de extra economische kost overeen met de ingeschatte milieubaten van CO₂-reductie⁸⁶.

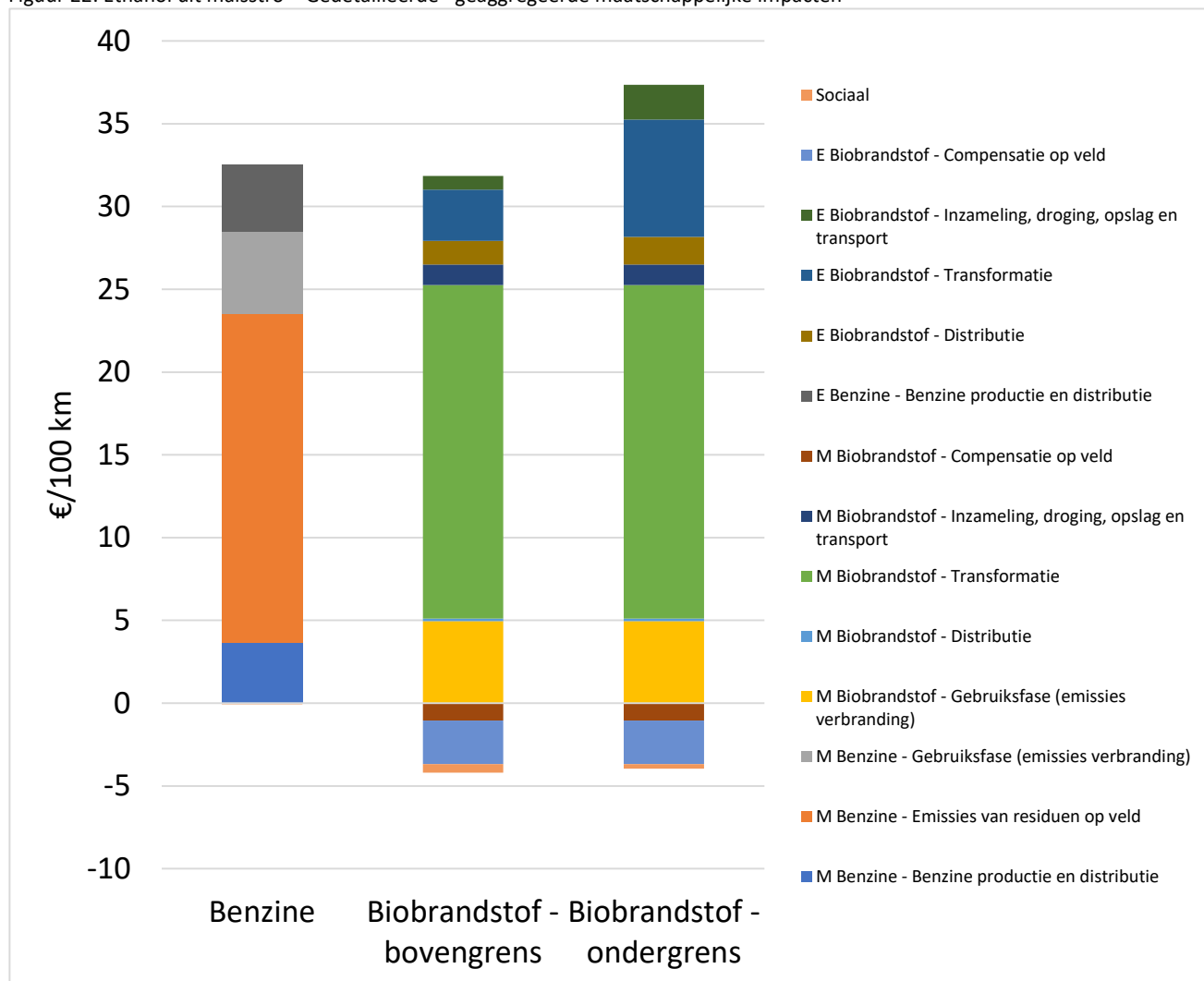
⁸⁶ In deze modellering is een broeikasgasemissie kost ingerekend van 264 €/tCO₂eq (zie afwegingskader)

Gevoeligheidsanalyse

- In geval de NPK afvoer via maïsstro gecompenseerd wordt door kunstmest NPK zijn de ingeschatte milieubaten van CO₂-reductie een stuk lager dan de extra economische kost. Het totaal is dus minder gunstig voor biobrandstof wanneer geen bijkomende compostering plaatsvindt. Let dat andere mogelijkheden voor nutriëntencompensatie heel andere resultaten zouden kunnen geven. Deze opties zijn evenwel niet doorgerekend in de modellering.
- In deze modellering is een broeikasgasemissie kost ingerekend van 264 €/tCO₂eq (zie afwegingskader). In overleg met de klankbordgroep van het project is overeengekomen een gevoeligheid te bekijken voor lagere en hogere milieukost voor CO₂ (55 vs. 775 €/tCO₂eq).
 - Met een hoge milieukost van 775 €/tCO₂eq scoort de doorgerekende case voor de productie van bio-ethanol beter dan benzine in zowel de boven- als de ondergrens modellering.
 - Met 55 €/tCO₂eq scoort de doorgerekende case voor de productie van bio-ethanol nog steeds beter dan benzine met de bovengrens modellering (meest positieve aannames voor bio-ethanol). Het totaal wordt ongunstig voor biobrandstof met de ondergrens modellering (minst positieve aannames).

Onderstaande figuur geeft een overzicht van de geaggregeerde maatschappelijke impacten voor de doorgerekende case. Deze cijfers omvatten de milieukost, economische kost en sociale baten.

Figuur 22: Ethanol uit maïsstro – Gedetailleerde* geaggregeerde maatschappelijke impacten



Legende: M = milieu, E = economie en S = sociaal (tewerkstelling)

* Let op: in deze grafiek zijn alle biogene koolstof emissies inbegrepen (ook de biogene CO₂-emissies van degradatie van maïsstro op het veld in het benzine scenario). Daarom liggen alle resultaten ongeveer 20€ per 100 km hoger dan in de vorige grafieken.

Het grootste verschil tussen referentie- en biobrandstofscenario's komt van de milieu impacten, en vooral van de fossiele CO₂-emissies: de emissies verbonden aan de verbranding in de benzinemotor, en productie/distributie van benzine, liggen significant hoger dan deze van transport en verwerking van maïsstro, inclusief productie van compost.

Het verschil voor biogene koolstof is beperkt want het grootste deel wordt sowieso geëmitteerd omwille van de degradatie van de residuen op veld (in het benzine scenario). Het voordeel voor biobrandstof is gelinkt aan de lange termijn stockage van de door compost aangevoerde koolstof.

De milieu en economische kost van de transformatie hebben beide een grote bijdrage aan het geaggregeerde resultaat, vooral in de 'ondergrens' doorrekening. Een groot deel van de biogene CO₂-emissies in de biobrandstof keten komt vrij tijdens het ethanol productieproces.

De negatieve impacten (dus baten voor de maatschappij) zijn verbonden aan meer jobs ("sociaal") en meer selectieve inzameling van GFT (meer compost, minder verbranding).

4.2.5 Ethanol uit maïsstro – randbemerkingen bij de interpretatie van de resultaten

Zoals eerder aangegeven zijn de aangehaalde resultaten in de vorige secties zeer gevoelig voor aannames die rond de case gebeurd zijn.

De compensatie van nutriënten kan eventueel ook gebeuren via kunstmest, wat zou leiden tot een lagere milieuwinst. Gezien het mestoverschot in Vlaanderen is het minder waarschijnlijk/wenselijk dat hiervoor kunstmest wordt aangewend. Andere opties voor compensatie zijn wintergewassen of mest / mestverwerkingsproducten / digestaat van vergisters. Een interessante optie kan ook zijn om residuen van het fermentatieproces (waar nutriënten in achterblijven) terug te brengen naar het veld als bio-fertiliser (eventueel het digestaat na anaerobe vergisting van deze residuen). Binnen de beperkte tijd van deze studie konden deze verschillende opties niet mee gemodelleerd worden, maar het is duidelijk dat aannames rond gevolgen een belangrijke impact hebben op de eindresultaten, en een doorrekening van de sensitiviteit hiervan aangewezen is bij een meer diepgaande analyse. Ook kan dieper ingegaan worden op de nood aan compensatie van nutriënten, wat ook niet-lineair kan zijn (relatief minder nood aan compensatie als weinig stro wordt geoogst, relatief hogere nood als er veel wordt geoogst).

Voor de transformatie naar ethanol is gerekend met gegevens beschikbaar in de Ecoinvent database. Verdere technologische evoluties in het transformatieproces kunnen aanleiding geven tot meer gunstige resultaten voor de ethanol case. Bijvoorbeeld:

- Er wordt verwacht dat het totaalrendement van ethanol productie uit stro op termijn zal stijgen van 38% naar 45-48% (IRENA 2016⁸⁷).
- Andere technieken voor voorbehandeling (ontsluiting van cellulose, hemicellulose en lignine) zijn in ontwikkeling die minder input aan reactanten vragen.

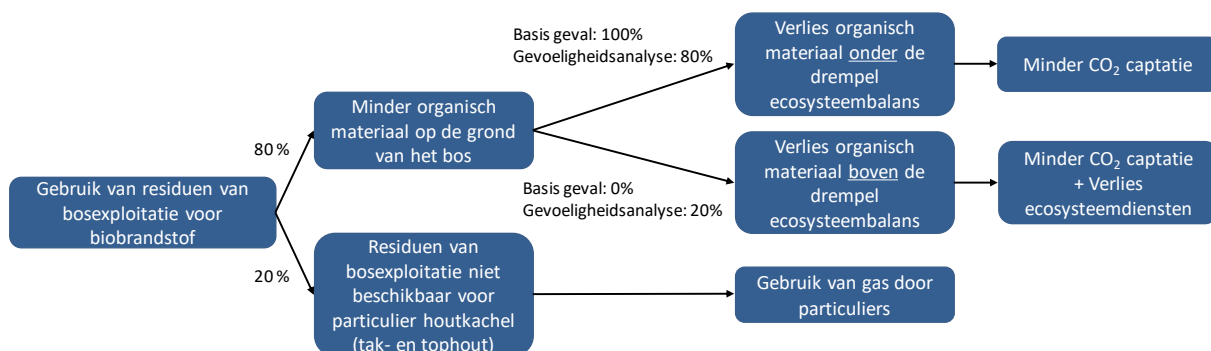
⁸⁷ IRENA (2016). Innovation outlook advanced liquid biofuels.

- Opvang van hoge concentratie CO₂ (co-product van het fermentatieproces) kan mogelijk gebruikt worden in CCS-toepassingen of als input in de voedingsindustrie.
- Er is nu aangenomen dat het restant van het fermentatieproces (vinasse) gebruikt wordt voor energieproductie. Deze fractie (met de resterende nutriënten) kan ook toegepast worden als bio-fertiliser - eventueel na anaerobe vergisting - op landbouwakkers. In dat geval is het niet (of veel minder) nodig te compenseren met compost.
- Lignine kan verder worden geconcentreerd en gebruikt in de chemie als basis voor bioproducten.

Daarnaast kan de milieu-impact van andere technologieën - zoals compostering of de productie van (bio)fertilisers - in de toekomst ook verder verbeterd worden.

5 CASESTUDIE 2A: METHAAN GEPRODUCEERD UIT RESIDUEN VAN BOSEXPLOITATIE

Volgende figuur geeft een inschatting van de gevolgen van het gebruik van bosresiduen voor de productie van biobrandstoffen:



Figuur 23: gevolgen van het gebruik van bosresiduen

We gaan ervan uit dat de residuen van bosexploitatie die in aanmerking komen voor de productie biobrandstoffen, nu al deels (aannee 20%) gebruikt door particulieren voor hun houtkachel. Als deze residuen gebruikt worden voor de productie voor biobrandstoffen, zijn er dus 2 mogelijke gevolgen:

- Er blijft minder organisch materiaal achter op de grond:
 - o Dit kan leiden tot minder organische stof en lange termijn opslag van koolstof in de bodem.
 - o Als er voldoende residuen overblijven (binnen de principes van duurzaam bosbeheer) zijn de gevolgen voor de ecosystemen verwaarloosbaar.
 - o Als te veel residuen weggehaald worden, kan dit leiden tot degradatie van het ecosysteem.
- Ter vervanging van warmte uit houtkachels zullen particulieren meer alternatieve verwarmingsbronnen gebruiken i.p.v. hout. Hout wordt immers hoofdzakelijk als bijverwarming gebruikt; bij wegvallen van de bijverwarmingsoptie zal de hoofdverwarming meer worden aangesproken. In deze casestudie werd een gasketel gemodelleerd⁸⁸.

⁸⁸ Om dicht bij de realiteit te zitten zouden we in de berekening de BKG-emissies van Vlaamse residentiële gebouwenverwarming kunnen hanteren: <https://www.milieurapport.be/sectoren/huishoudens/emissies-afval/broeikasgassen> (is exclusief biomassaverbranding).

5.1 MODELLERING - AANNAMES

5.1.1 Milieu

5.1.1.1 Algemene beschrijving en "Functionele eenheid"

De functionele basiseenheid is: "100 km reizen met een personenwagen⁸⁹ in 2030".

Methaan zal misschien meer voor zwaar vervoer (vrachtwagens, bussen of eventueel scheepvaart) gebruikt worden in 2030 maar het verschil tussen biomethaan en aardgas zal gelijkaardig zijn omdat de impacten evenredig met het verbruik zijn.

Volgende elementen zijn bepalend in het biobrandstof scenario:

- De techniek van omzetting in biobrandstof: vergassing en methanatie van houtresiduen van bosexploitatie
 - o Vergassing produceert syngas
 - o Methanatie van het opgeschoonde en geconditioneerde syngas zet H₂ en CO om in methaan
 - o Het gas uit de methanatie wordt verder opgezuiverd tot een hoge methaanconcentratie (equivalent van aardgas).
- Het type brandstof dat geproduceerd wordt: *methaan 96% vol. (vanuit syngas) ofwel "biomethaan"*. Dit kan ingezet worden ter vervanging van aardgas en kan ook in het aardgasnet worden bijgemengd. Er wordt rekening gehouden met:
 - o Gegevens of hypothese over de verhouding tussen het verbruik van biobrandstoffen en het verbruik van fossiele brandstoffen.
 - o De praktijk van de sector bestaat erin deze verhouding uit te drukken op basis van de respectievelijke energie-inhoud (equivalentie in MJ). Het wordt verondersteld dat de output per MJ identiek is (en dus een equivalent aantal km/MJ).
- De functie van de brandstof, de wijze van gebruik, met name het type voertuig: *substitutie van aardgas (CNG) voor het reizen met een voertuig*
- Het type vervangen brandstof, dat het referentiescenario bepaalt: *aardgas (CNG)*

Het "Referentie scenario" bevat ook "End-of-Life" van de houtresiduen die in het bos blijven liggen⁹⁰.

Er wordt 2 situaties beschouwd:

1. Met een aandeel van 80%: de houtresiduen blijven in het bos:

⁸⁹ EcolInvent process "transport, passenger car, medium size, natural gas, EURO 5 "km" "RER"

⁹⁰ Monaco et al. (2008) in ILVO (2014), Bodem nutriënten, compost: onderzoek voor een duurzame landbouw.

- Degradatie en omzetting in biogene CO₂: 90%⁹¹ van de C wordt op middellange termijn (10-20 jaar) in CO₂ omgezet.
 - Een deel van de koolstof wordt opgenomen door de bodem: 10%⁹²
 - Biogene methaanuitstoot: wordt verondersteld nul te zijn in normale omstandigheden (als de bodem/organische laag niet onder water staat of waterverzadigd is, wat zou kunnen leiden tot anaerobe omstandigheden).
2. Met een aandeel van 20 %: de houtresiduen (dikkere fracties) worden in een particuliere houtkachel gebruikt (verwarming).

5.1.1.2 Het stoppen van de initiële functie

20 % van het houtresidu dat ingezet wordt voor biobrandstof wordt verondersteld te worden ingezet in particuliere houtkachels (verwarming). Als dit vermindert omwille van het gebruik voor brandstofproductie:

- Wordt minder hout verbrand in een kachel;
- Dit wordt gecompenseerd door meer gebruik van de hoofdverwarming. In deze casestudie werd een gasketel gemodelleerd.

De volgende processen werden gebruikt uit Ecolnvent (op basis van de gelijkwaardigheid van nuttige MJ, d.w.z. rekening houdend met de eigen verliezen en opbrengsten van elk type ketel):

- Voor hout, een 50/50% mix van:
 - "heat, central or small-scale, heat production, hardwood chips from forest, at furnace 50kW"
 - "heat, central or small-scale, heat production, softwood chips from forest, at furnace 50kW"
- Voor gas: "heat, central or small-scale, heat production, natural gas, at boiler modulating <100kW"

5.1.1.3 Productie en distributie van aardgas

De productie en distributie van aardgas wordt gemodelleerd met data van het Ecolnvent proces: "*market for natural gas, high pressure, Belgium*" dat omvat:

- Winning van aardgas en transport via pijpleidingen of LNG-tankers (inclusief liquefactie en verdamping)
- Distributie en transport van het product via het aardgas distributienetwerk naar de eindgebruiker.
- Energiebehoefte (elektriciteit en warmte) en lekkages (methaan en koolwaterstoffen).

We gaan uit van hoogcalorisch aardgas.

⁹¹ Op basis van VITO (2011): Soil organic matter management across the EU – best practices, constraints and trade-offs en INBO (2015): Verfijnen van een algemeen afwegingskader voor biomassa-oogst in Vlaamse bossen tot een werkbaar terreininstrument. We gaan uit van een onzekerheid van 0,88-0,92.

⁹² Gerekend met een onzekerheid van 0,08-0,12 (gekoppeld aan die voor degradatie).

Biomethaan vervangt aardgas (CNG) in verhouding met hun respectievelijke onderste verbrandingswaarden: 36,3 MJ/kg (aardgas)/ 34,4 MJ/kg (methaan van syngas) = 1,055.

1 Nm³ methaan weegt 0,714kg; 1 Nm³ aardgas weegt 0,760kg (het is iets zwaarder dan methaan want het bevat ook o.a. ethaan en butaan, die een hogere densiteit hebben).

5.1.1.4 Biomethaan productie

De meeste technische gegevens komen uit het proces van de Ecoinvent dataBase "*methane production, 96% by volume, from synthetic gas, wood, fluidised technology*".

Deze dataset beschrijft de productie van methaan uit hout via een wervelbed technologie:

- Eerst vergassing om syngas te produceren - vergassing wordt uitgevoerd volgens het FICFB-principe "Fast Internally Circulating Fluidized Bed". In de reactor (vergassingszone) wordt de biomassa vergast tot syngas.
- Na opschoning en conditionering van het syngas katalytische methanatie om het uiteindelijke methaan te produceren. Tijdens de methanatie (met katalysator) worden de C-houdende stoffen zoveel mogelijk omgezet in methaan.

Proceswarmte wordt intern geleverd.

De netto methaanopbrengst is 0,270 Nm³/kg hout (droge stof) met een omzettingsefficiëntie (lagere stookwaarde van het methaan/ lagere stookwaarde van het benodigde hout) van ongeveer 50% (gegevens uit Ecoinvent)⁹³.

Methaan 96% (CH₄, CAS-nr. 74-82-8) heeft ongeveer dezelfde fysische en chemische eigenschappen als aardgas. De dichtheid van methaan blijkt in de orde van grootte van 0,752 kg/Nm³ te zijn, terwijl de lagere en hogere verwarmingswaarden respectievelijk 34,4 en 38,1 MJ/Nm³ zijn.

Het vochtgehalte van de houtresten wordt verondersteld ongeveer 40 - 45 % te zijn, wat gemiddeld hetzelfde is als dit van de verschillende wood chips bronnen van de Ecoinvent database. Het koolstofgehalte van houtresten is 0,494 kg koolstof/ kg hout op droge massa.

5.1.1.5 Emissie gebruiksfase (voertuig)

Er werd gekeken naar het verschil in emissie van het voertuig met aardgas of met biomethaan (methaan van syngas). De emissies van stikstofoxiden (NO_x), zwaveldioxide (SO₂) en fijn stof worden verondersteld gelijk te zijn.

⁹³ Dit is een conservatieve aanname. Volgens GoBiGas (biomethaan productie uit hout in Zweden) is hun rendement 55%, en op termijn projecteren ze tot 70%.

De uitstoot van CO₂ is licht verschillend (geteld op basis van het koolstofgehalte van elk brandstof). De bron is EcoInvent):

- Aardgas: 2,014 kg CO₂/Nm³ aardgas (fossiele CO₂)
- Biomethaan (methaan van syngas): 1,92 kg CO₂/Nm³ biomethaan (biogene CO₂)

5.1.1.6 Biomethaan distributie

Dezelfde hypothesen als voor aardgas (EcoInvent proces "*market for natural gas, high pressure, Belgium*") werden genomen om een relevante vergelijking te verzekeren, behalve voor het transport van biomethaan: alle transporten die EcoInvent in overweging neemt voor de distributie (pijpleiding) werden vervangen door de modellering van de compressie naar 16 bar (voor injectie in het aardgasnet).

5.1.1.7 Transport van residuen van hout en het shreddingsproces

Een gemiddelde afstand van 75 km⁹⁴ wordt in aanmerking genomen voor het transport van de (natte) houtresiduen naar de opslagruimte. Er wordt rekening gehouden met een vochtgehalte van ongeveer 40-45%. Het versnipperingsproces om de houtresten in houtsnippers om te zetten wordt gemodelleerd op basis van deze aanname: 7,81 kWh elektriciteit per ton houtsnippers.⁹⁵

5.1.2 Economie

De vergelijking op milieubasis zal worden afgewogen ten opzichte van economische kosten. Hiervoor zullen we de kosten vergelijken tussen het referentiescenario en biobrandstofscenario's. Er wordt gerekend met maatschappelijke kost, dus belastingen of winstmarges worden niet meegenomen in de analyse.

5.1.2.1 Referentie scenario

De prijs voor aardgas voor professionele klanten is 29,6 €/MWh⁹⁶.

Het percentage voor de marge en belastingen wordt geschat op basis van TOTAL-cijfers: 9,8 %.

De kost (zonder marge en belastingen) van aardgas is bijgevolg 26,7 €/MWh.

⁹⁴ Gerekend met een onzekerheid van +/-30%.

⁹⁵ Université de Lorraine, "Développement d'un outil de coupe économique et écologique pour le broyage des végétaux" 2017.

⁹⁶ <https://www.creg.be/sites/default/files/assets/Publications/Studies/F2071NL.pdf>

5.1.2.2 Functieverlies

In een gevoeligheidsanalyse wordt de hypothese getest dat voor 20 % van de houtinput er een negatieve impact is op het boscysteem door het bijkomend weghalen van de bosresiduen. In het basisgeval wordt verondersteld dat het evenwicht van het ecosysteem niet verstoord wordt (zie “Specifieke beoordelingsmethoden voor het onderzoek naar biobrandstoffen” in het afwegingskader voor de monetaire waardering).

5.1.2.3 Inzameling en transport

De inzamelkosten^{97, 98} van bosresiduen varieert volgens de BioBoost studie tussen 30 en 80 €/ton droge massa in 2013⁹⁹. Met de inflatie en de hypothesen van het milieu gedeelte ligt de inzamelkosten dus tussen 13 en 34 €/MWh biomethaan.

Er wordt 0,27 m³ methaan uit 1 kg droog hout geproduceerd. Methaan heeft een lagere verbrandingswaarde van 34,4 MJ/m³:

Inzamelkosten	30	80	€/t hout
Actualisatiefactor	1.109	1.109	
Geactualiseerde inzamelkosten	33	89	€/t hout
LHV	34.4	34.4	MJ/m ³ methaan
Methaan productie uit hout	270	270	m ³ methaan/t (droog hout)
Energieproductie uit hout	9288	9288	MJ methaan/t hout
Inzamelkosten per energieinhoud	0.004	0.010	€/MJ methaan
conversie	3600	3600	MJ/MWh
Inzamelkosten per MWh	13	34	€/MWh
Kleur legende	Input data		

Op basis van de parameters in onderstaande tabel varieert de transportkosten tussen 8 en 16 €/t residuen (droge massa).

Tabel 18: Parameters voor de berekening van de transportkosten

Beschrijving	Waarde	Eenheid	Bron
Densiteit van het materiaal	0,38	t/m ³	Acqua-calc ¹⁰⁰
Capaciteit van het transport	30	m ³	RDC-hypothese

97 De kosten zijn uitgedrukt per ton droge stof.

98 Let op, er is een verschil tussen prijs en kost. In een kosten-baten analyse komen enkel de kosten in aanmerking. De inzamelkosten van bosresiduen zijn hoger dan stamhout gezien het uithalen van residuen iets arbeidsintensiever is (meer volumineus). Daarnaast moeten oogstkosten (kap) grotendeels aan stamhout worden toegeschreven, met de residuen als bijproduct.

99 http://bioboost.eu/uploads/files/bioboost_d1.1-syncom_feedstock_cost-vers_1.0-final.pdf

100 <https://www.aqua-calc.com/page/density-table/substance/wood-blank-chips-coma-and-blank-dry>

Vrachtwagen en chauffeur kost	55	€/uur	RDC-hypothese
Gemiddelde snelheid	60	km/uur	RDC-hypothese
Afstand	100 - 200	km	RDC-hypothese
TOTAAL	8 - 16	€/t	Berekening: $(100\text{km} / 60\text{km/u} * 55€/u) / (30\text{m}^3 * 0,38\text{t/m}^3) = 8 €/t$

Met de inflatie en de hypothesen van het milieu gedeelte ligt de transportkost dus tussen 3,1 en 6,2 €/MWh biomethaan.

5.1.2.4 Transformatie

Volgende tabel geeft een overzicht van de verschillende kostcomponenten van biomethaanproductie uit houtsnippers, op basis van IEA Bioenergy (2020)¹⁰¹, met mogelijke spreiding van de kosten. De hoge kosten komen overeen met de huidige technologie. Daarnaast worden ook projecties gemaakt van mogelijke kostreducties.

Tabel 19: Transformatie kost naar biomethaan

	Low	High
Nominal biofuel output	200 MW	
Operation/year	8 000 hrs	
Specific Capital cost EUR/kW product	1 600	3000
Contribution to product costs - EUR/MWh product		
Capital cost EUR/MWh	26	49
Operating costs EUR/MWh	13	30

Volgens het IEA Bioenergy (2020) rapport kunnen de kosten dalen:

- Schaalvergroting en optimalisatie: daling kapitaalkost tussen 25 en 50 %

Een andere reden voor de daling van de kapitaalkost is de daling van het financieringsrisico. Als het risico daalt, zal de rente voor kapitaalkost ook dalen.

- Daling andere operationele kosten en enzymen tussen 10 en 20 %.

Voor de modellering gebruiken we de minimale (23 €/MWh)¹⁰² en maximale (64 €/MWh)¹⁰³ waarden.

¹⁰¹ IEA Bioenergy (2020), Advanced Biofuels – Potential for Cost Reduction

¹⁰² Lage kost met grote daling in kapitaal en daling operationele kost

¹⁰³ Hoge kost met lage daling in kapitaal en daling operationele kost

5.1.2.5 Distributie

De distributiekost van aardgas is 3 €/MWh in het Vlaams Gewest¹⁰⁴.

5.1.2.6 Gebruik van de brandstoffen

Het wordt verondersteld dat er geen kostverschil is tussen het gebruik van aardgas en methaan.

5.1.3 Sociaal

Naast milieukosten/baten en economische kosten, proberen we ook een inschatting te maken van de sociale baten, vooral op gebied van werkgelegenheid.

Ter herinnering (zie rapport afwegingskader): de baat van VTE¹⁰⁵-jobcreatie wordt ingeschat op 38 905 € per jaar. De sociale baat verbonden aan tewerkstelling is het aantal VTE vermenigvuldigd met dit bedrag.

5.1.3.1 Referentie scenario

Op basis van Statbel (cijfers voor omzet en tewerkstelling) werden de betrokken jobs in België geschat:

- Aardgasproductie: 7 536 419 €/VTE
- Aardgasdistributie: 1 659 722 €/VTE

De jobcreatiebaten worden ingeschat op 0,31 €/MWh voor aardgas.¹⁰⁶

5.1.3.2 Biomethaan scenario

Op basis van Statbel cijfers voor omzet en tewerkstelling werden de jobs in België van de verschillende stappen van de keten geschat met de volgende hypothesen:

- Bosresiduen en transport: Houtinfobois¹⁰⁷: 608 643 €/VTE
- Transformatie: zoals benzineproductie (De waarde is zo laag dat deze hypothese geen invloed heeft op de resultaten).

¹⁰⁴ <https://www.creg.be/sites/default/files/assets/Publications/Studies/F2071NL.pdf>

¹⁰⁵ Voltijds equivalent.

¹⁰⁶ $\{(26,68 * ((0,76 - 0,16) / 0,76) * 1,08E-07) + (26,68 * (0,16 / 0,76) * 1,04E-06)\} * 38905$

$\{(Kost * productie \text{ kosttaandeel} * VTE / \text{€ productie}) + (kost * distributie \text{ kosttaandeel} * VTE / \text{€ distributie})\} * \text{jobcreatie monetaire waardering}$

¹⁰⁷ <https://houtinfobois.be/nl/het-bos-en-het-hout/belgische-houtverwerkingssector/>

- Distributie: zoals aardgas.

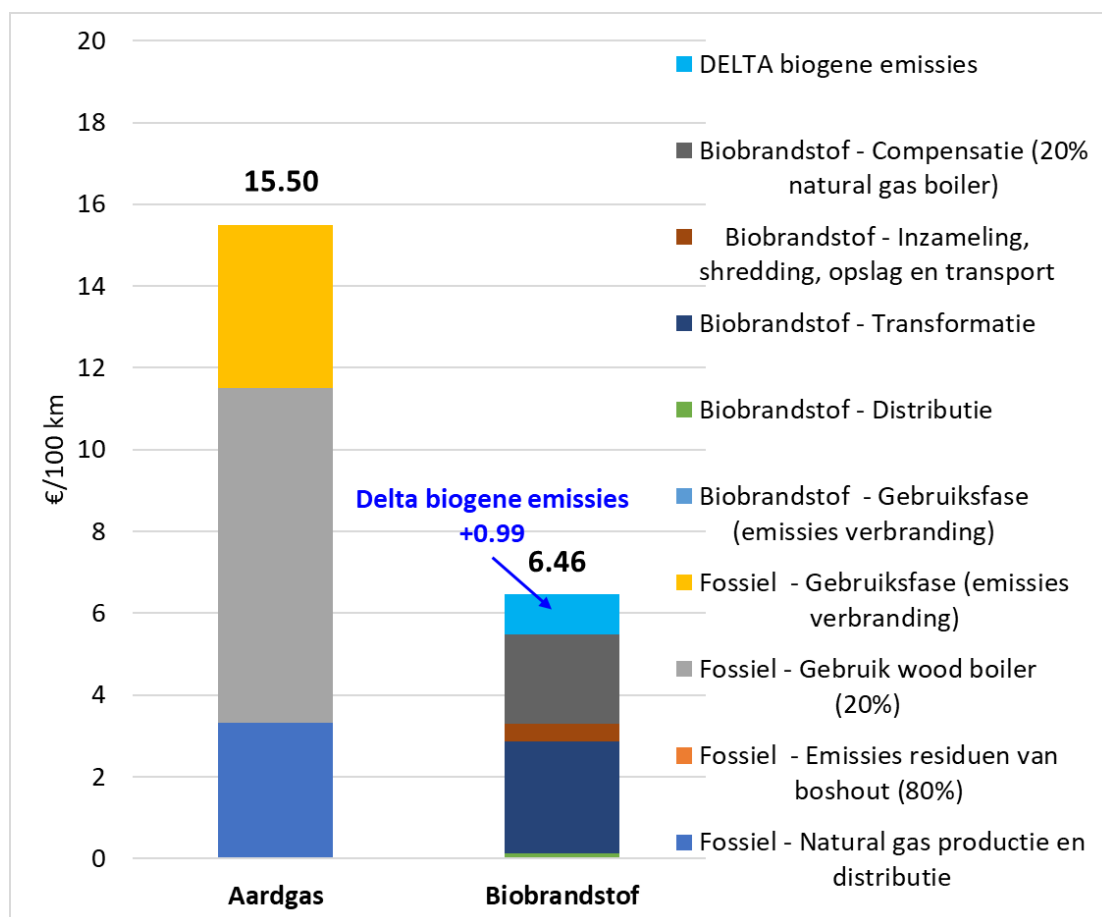
5.2 METHAAN UIT BOSRESIDU - RESULTATEN

5.2.1 Methaan uit bosresidu - Milieu

5.2.1.1 Gemonetariseerde resultaten

De volgende grafiek toont de gemonetariseerde milieuresultaten voor het basisgeval. De resultaten voor alle impactcategorieën zijn geaggregeerd en geëvalueerd in euro.

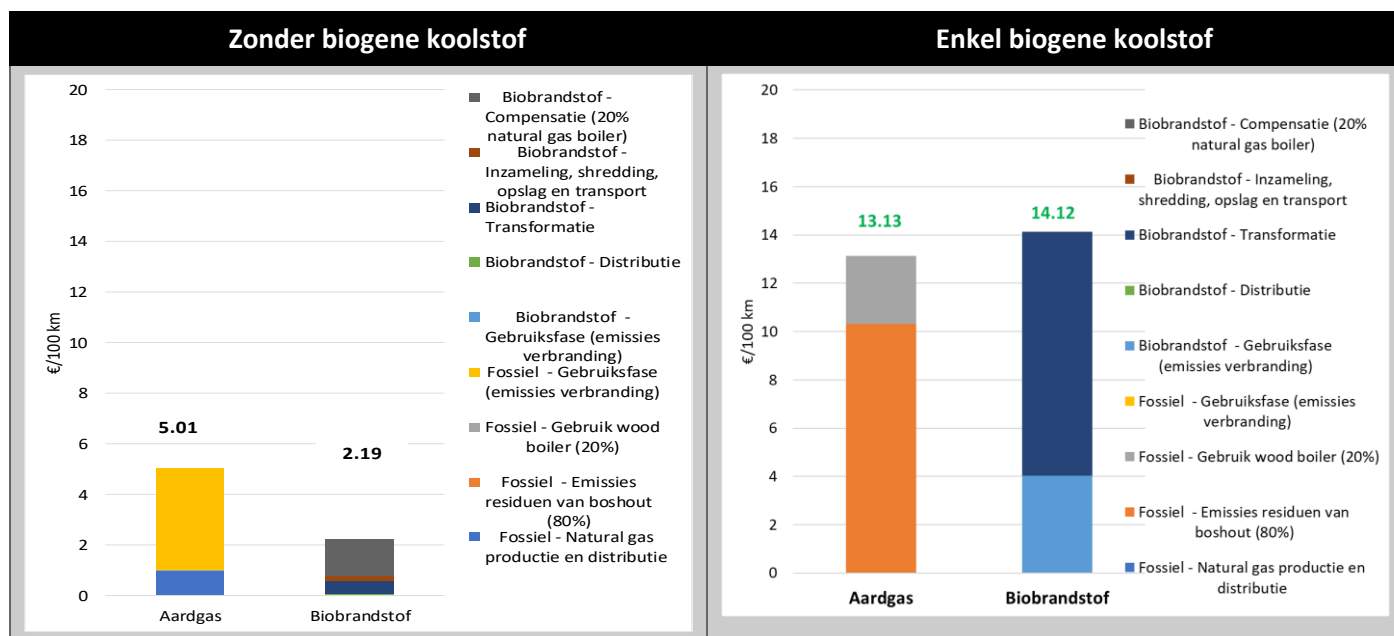
Figuur 24: Methaan uit bosresidu - Totaal gemonetariseerde milieu impacten



De milieuimpact van biomethaan is globaal gunstig t.o.v. het aardgas alternatief. Dit voordeel is gedeeltelijk een gevolg van de vervanging van aardgas als brandstof maar ook omwille van een neveneffect: particulier gebruiken gas voor verwarming i.p.v. hout wat minder **toxische emissies** genereert (vooral op gebied van fijn stof¹⁰⁸). Het biomethaan scenario is dus gunstig, maar voor een belangrijk stuk door de aanname dat particulieren minder hout gaan verbranden en dus minder fijn stof emitteren (zie gevoeligheidsanalyse).

We bekijken de onderliggende cijfers rond klimaatimpact iets dieper.

Figuur 25: Methaan uit bosresidu - Gemonetariseerde klimaatimpacten



- Biogene koolstof

De totale biogene CO₂ emissies (uitgedrukt in monetaire impact) als 100% in de bosresiduen wordt omgezet in CO₂ worden ingeschat op 14,1€/100km. We concentreren ons hierbij op de **delta CO₂ emissies**, dus de extra koolstof die op lange termijn in de bodem wordt opgenomen in beide scenario's. De koolstofbalans is licht voordelig voor het aardgasscenario omdat een deel van de koolstof langdurig in de bodem blijft:

- In het biobrandstof scenario wordt 100% van biogene koolstof van houtresiduen in de atmosfeer uitgestoten: **tijdens het verwerkingsproces** en bij het **gebruik van biomethaan** als transportbrandstof.

¹⁰⁸ Herhaling: idealiter had het Vlaams huishoudelijk verwarmingspark moeten worden gemodelleerd. Fijn stof emissie en SO₂ emissie zouden dus iets hoger zijn door hoger aandeel van stookolie in het verwarmingspark. Het voordeel van biobrandstof zou dus iets lager zijn.

- Het basisscenario (Referentie) bestaat uit 2 delen:
 - Achtergelaten in het bos (80% van input): er wordt aangenomen dat 90% van de plantaardige koolstof van bosresiduen terug in de atmosfeer wordt uitgestoten (**Emissies van residuen in het bos**), een deel van de koolstof (ingeschat op 10%) wordt op lange termijn in de bodem opgenomen. Dit geeft voor biogene emissies een voordeel voor het benzine referentiescenario (hier 0,99€/100km).
 - Gebruikt als kachelhout (20% van input): ook hier wordt 100% van de biogene koolstof in de atmosfeer uitstoten.
- Fossiele koolstof:
 - De impacten van het biobrandstof scenario op gebied van fossiele CO₂ uitstoot (**inzameling, transformatie, distributie**) zijn significant, maar een stuk kleiner dan wat uitgestoten wordt in het **aardgas referentiescenario**.
 - Het vervangen van kachelhout door aardgas geeft aanleiding tot belangrijke fossiele broeikasgasemissies in het biobrandstof scenario (hier 1,44€/100km).

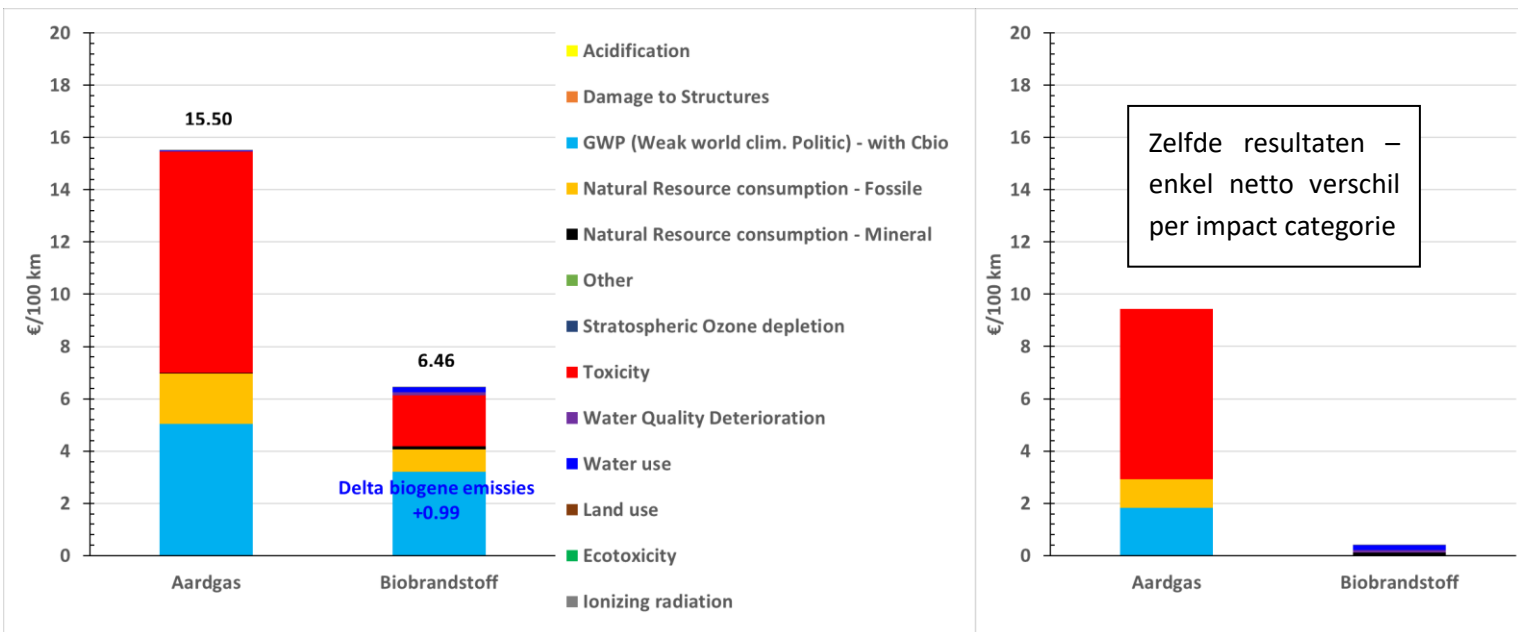
In het algemeen is er een voordeel rond klimaatimpact voor het biomethaan scenario, maar dit voordeel wordt een stuk ingeperkt door de vermeden koolstofopslag in het bos, en het vervangen van kachelhout door aardgas. Er kan discussie zijn of het tegen 2030 of later (met hogere aandacht naar vergroening) nog vanzelfsprekend is dat aardgas het alternatief is voor warmteproductie.

Een interessante piste (op iets langere termijn) is om de CO₂ die vrijkomt bij vergassing en methanatie op te vangen (omdat die in vrij grote concentratie aanwezig is) en te stockeren (CCS). Dit kan een zeer grote impact hebben op de CO₂ balans van biomethaan productie. Dit werd niet bestudeerd in deze studie.

De volgende grafiek toont, naast klimaatverandering, ook de bijdrage van de andere impactcategorieën aan de gewogen resultaten.

Het verschil in **klimaatverandering** en **gebruik van hulpbronnen** is relevant, maar het grootste verschil komt vooral van de vermeden **toxische emissies (fijn stof)**.

Figuur 26: Methaan uit bosresidu - Totale milieubijdragen



Hieronder gaan we iets dieper in op de impactcategorie **toxiciteit**. Vooral de **fijn stof** fijn stof emissies wegen door bij de toxische emissies (95% van de toxische impacts).

Focus toxiciteit:

De toxische emissies zijn vooral de fijn stof emissies

Aardgas scenario: 8,461 €/100km

- Gebruik houtketel (20%)
 - 8,076 € 95,4%
 - **Fijn stof (PM2,5)** 7,666 € 94,9%

Deze waarde ligt hoog voor particuliere houtketels (*EcoInvent: small scale 50 kW*), ongeveer 10 keer hoger dan voor een biomassacentrale. Het zou nog hoger kunnen liggen voor een houtkachel of een open haard.
 - NOx 0,337 € 4,2%
 - Cr VI 0,034 € 0,4%
 - SO₂ 0,019 € 0,2%
- Aardgas productie en distributie 0,386 € 4,6%
- Gebruiksfase- verschil (idem biomethaan) 0,0€ 0,0%

Scenario Biomethaan: 1,947 €/100km

• Transformatie	1,495 €	76,8%
○ NOx	0,532 €	35,6%
○ Fijn stof (PM2,5)	0,474 €	31,7%
○ Cr VI	0,289 €	19,3%
○ SO ₂	0,123 €	8,3%
○ NH ₄	0,047 €	3,1%
• Compensatie (20% aardgasketel)	0,2330 €	12,0%
○ SO ₂	0,0889 €	38,2%
○ Cr VI	0,0537 €	23,0%
○ NOx	0,0562 €	24,1%
○ Fijn stof (PM2,5)	0,0275 €	11,8%
• Distributie	0,0411 €	2,1%
• Inzameling, shredding, opslag en transport	0,1772 €	9,1%
• Gebruiksfase- verschil (idem aardgas)	0 €	0,0%

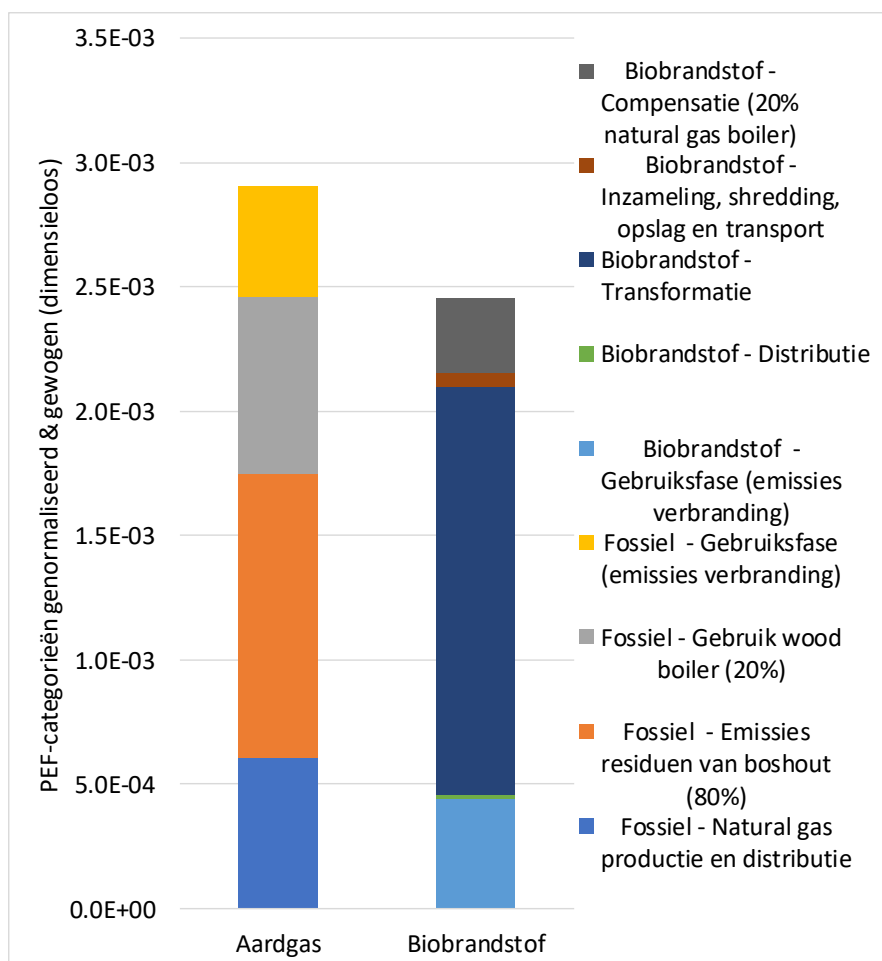
5.2.1.2 Resultaten met gebruik van de JRC wegingsmethode

De via de 50% “experten” en 50% “public” wegingsfactoren van het JRC¹⁰⁹ gewogen resultaten leiden tot dezelfde algemene conclusies als de gemonetariseerde effecten, al is het verschil relatief kleiner.

Voor meer duiding rond deze wegingsmethode, verwijzen we naar het rapport over het ‘Afwegingskader’.

109 Joint Research Centre of the European Commission (Gemeenschappelijk Onderzoekscentrum van de Europese Commissie).

Figuur 27: Methaan uit bosresidu - PEF-categorieën genormaliseerd & gewogen (dimensieloos)



Dezelfde commentaar is van toepassing als voor Figuur 24.

Opmerking: in deze grafiek werden alle biogene emissies bijgeteld (dus in het aardgas referentiescenario ook de biogene CO₂-emissies bij degradatie van houtresiduen in het bos).

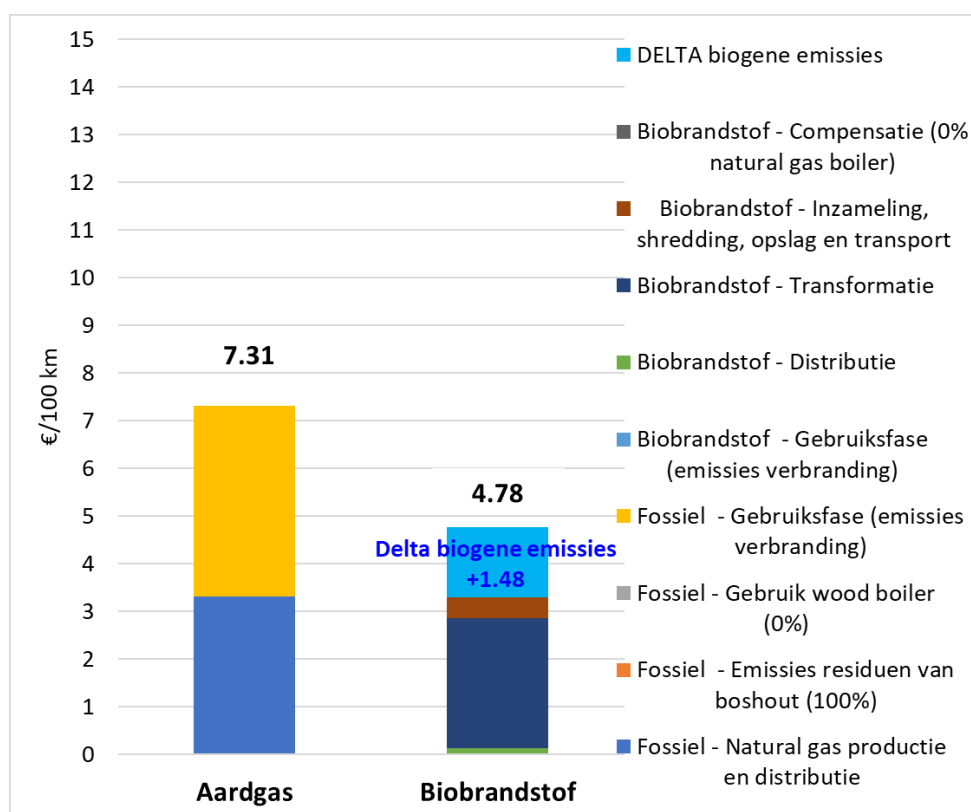
5.2.1.3 Resultaten per impact categorie

De grafieken en de tabel in bijlage geven de gedetailleerde milieuresultaten per impactcategorie.

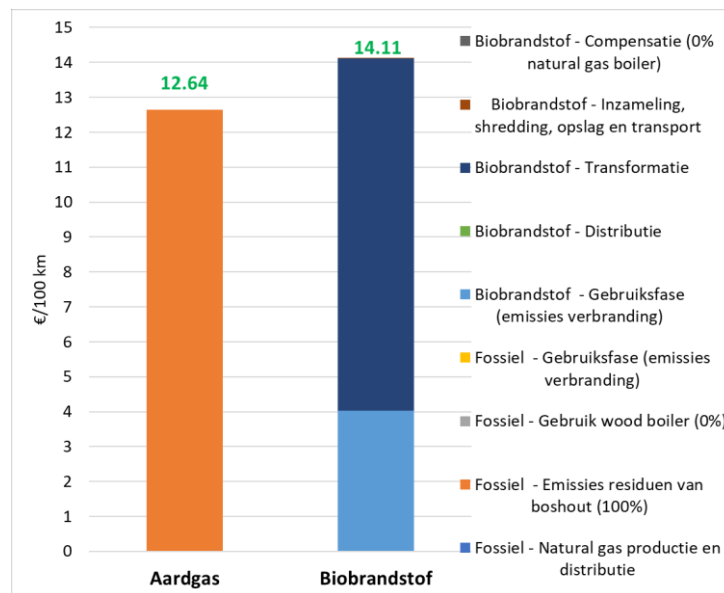
5.2.1.4 Gevoeligheidsanalyse

Houtverbranding door particulieren emitteert veel toxische emissies, in het bijzonder fijn stof. Deze gevoeligheidsanalyse analyseert de potentiële situatie waar particuliere houtverbranding niet zou vervangen worden door biobrandstofproductie. In dit geval heeft de afvoer van houtresiduen uit bosexploitatie geen gevolg op vlak van houtverbruik elders. De resultaten worden hieronder voorgesteld. Ze blijven gunstig voor biomethaan, met een kleiner verschil.

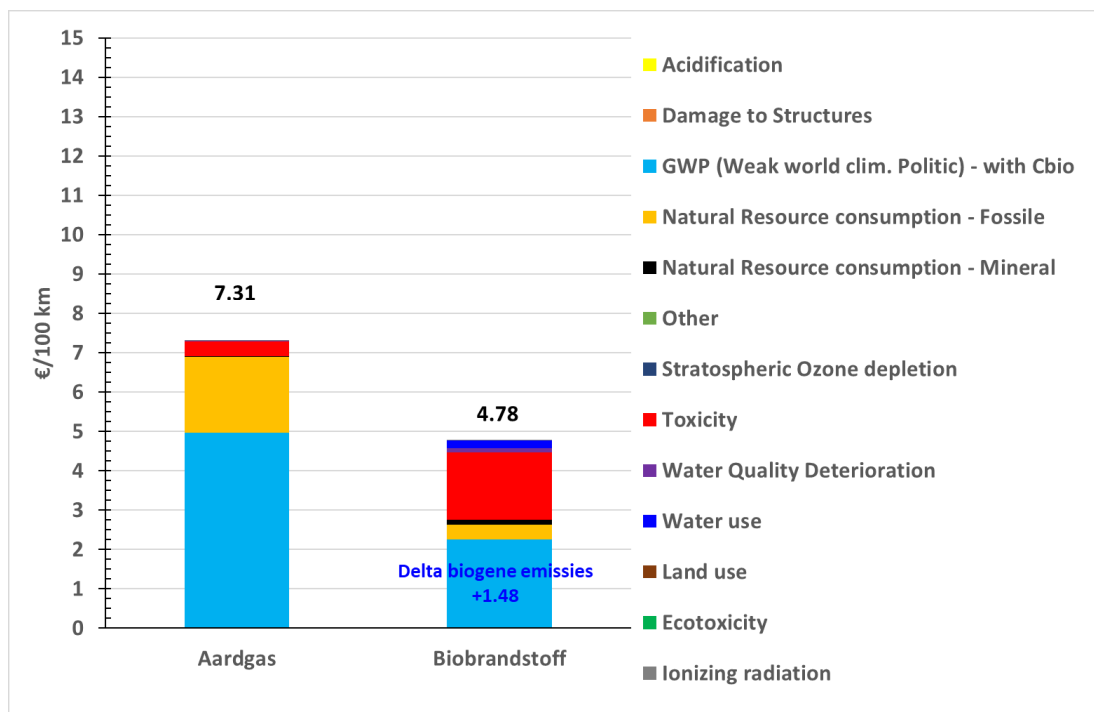
Figuur 28: Methaan uit bosresidu (zonder vervanging houtkachels) - Totaal gemonetariseerde milieu impacten



Figuur 29: Methaan uit bosresidu (zonder vervanging houtkachels) – impact op biogene koolstof



Figuur 30: Methaan uit bosresidu (zonder vervanging houtkachels) - Totale milieubijdragen



De milieu-impact categorieën met de grootste bijdrage aan de totale impacten zijn **klimaatverandering**, **humane toxiciteit** en **gebruik van fossiele grondstoffen**. De resultaten zijn gunstig voor biobrandstof op vlak van **klimaatverandering** en **gebruik van fossiele grondstoffen** en ongunstig voor **humane toxiciteit**.

5.2.1.5 Milieu - conclusie

De milieubaat van biomethaan is significant (-58%; 6,5 vs. 15,5 € milieuschade per 100 km) in het basis geval (met monetaire evaluatie). De twee belangrijkste redenen voor deze baat:

- Er wordt minder aardgas verbruikt: een hernieuwbare grondstof (hout) vervangt een fossiele brandstof.
- Er wordt minder hout door particulieren thuis verbrand en zo worden toxische emissies (vooral fijn stof) vermeden.

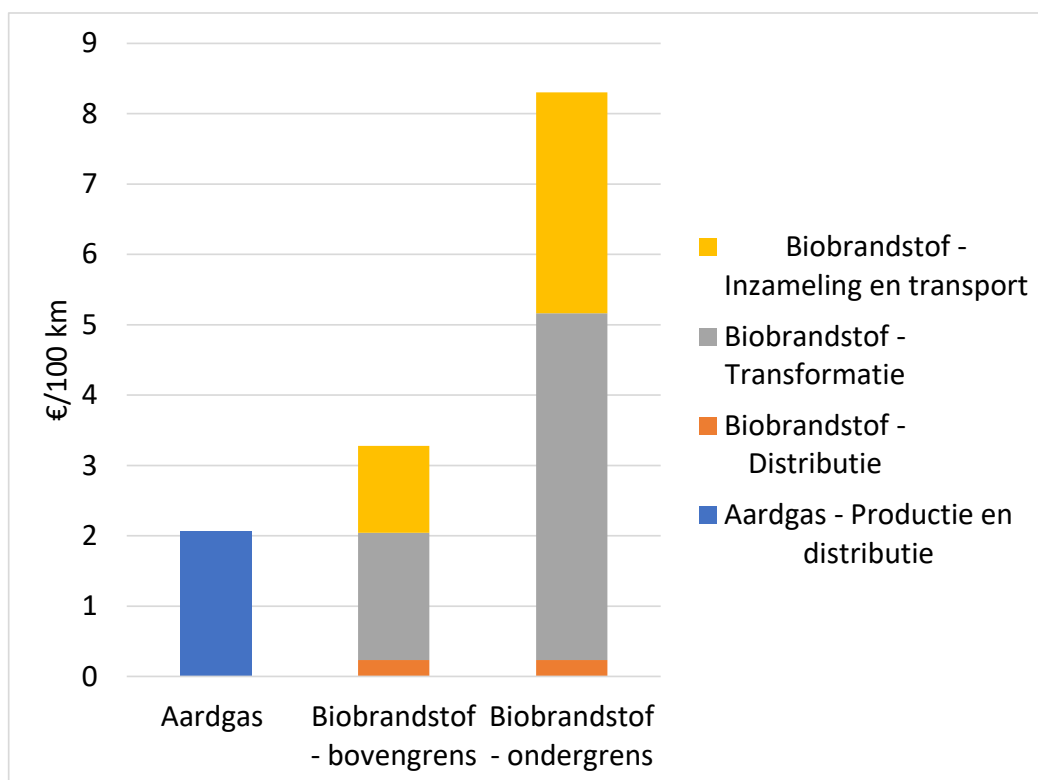
De milieubaat wordt kleiner maar toch significant (-34%; 4,8 vs. 7,3) in het biomethaan scenario wanneer er geen vervanging is van particuliere houtverbranding.

De milieubaat is kleiner maar toch significant op basis van de PEF-modellering.

5.2.2 Methaan uit bosresidu – Economie

De vergelijking op milieubasis zal worden afgewogen ten opzichte van economische kosten. Hiervoor vergelijken we de (maatschappelijke) kosten tussen het referentiescenario en biobrandstofscenario's.

Figuur 31: Methaan uit bosresidu - Economische kosten



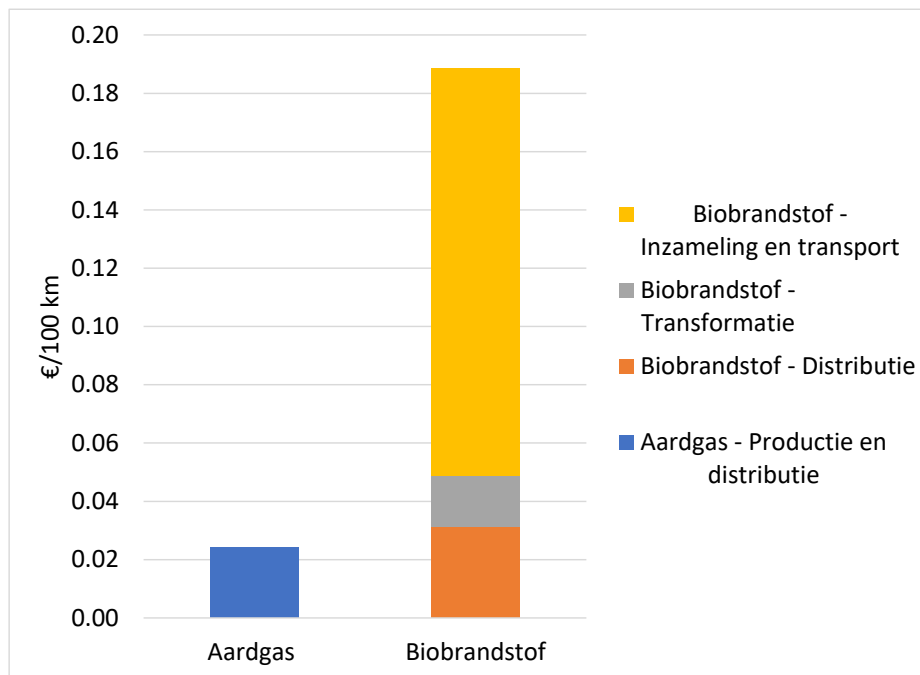
De kost in het biobrandstof scenario ligt hoger dan in het aardgas scenario, zowel voor de ondergrens- (verschil van 6,24 €/100 km) als de bovengrensmoellering (verschil van 1,22 €/100 km).

Het kostverschil tussen de bovengrens (aannames laagste kosten) en ondergrens moelleringen (aannames hoogste kosten) van biomethaan is hoofdzakelijk te verklaren door het verschil in (1) de inzael- en transport kosten van de biomassa, en (2) transformatiekosten. Het komt uit:

- een ruime spreiding tussen inzaelkosten van bosresiduen (afhankelijk van toegankelijkheid in het bos);
- de schaalvergroting en de optimalisatie die tot een daling van de kapitaalkost kan leiden (er is een grote onzekerheid rond de kost van het vergassingsproces). Let dat de ondergrenswaarden op gebied van transformatie zeer ambitieus zijn en enkel haalbaar op lange termijn met grote uitrol van de technologie.

5.2.3 Methaan uit bosresidu - Sociaal

Figuur 32: Methaan uit bosresidu - Sociale baten



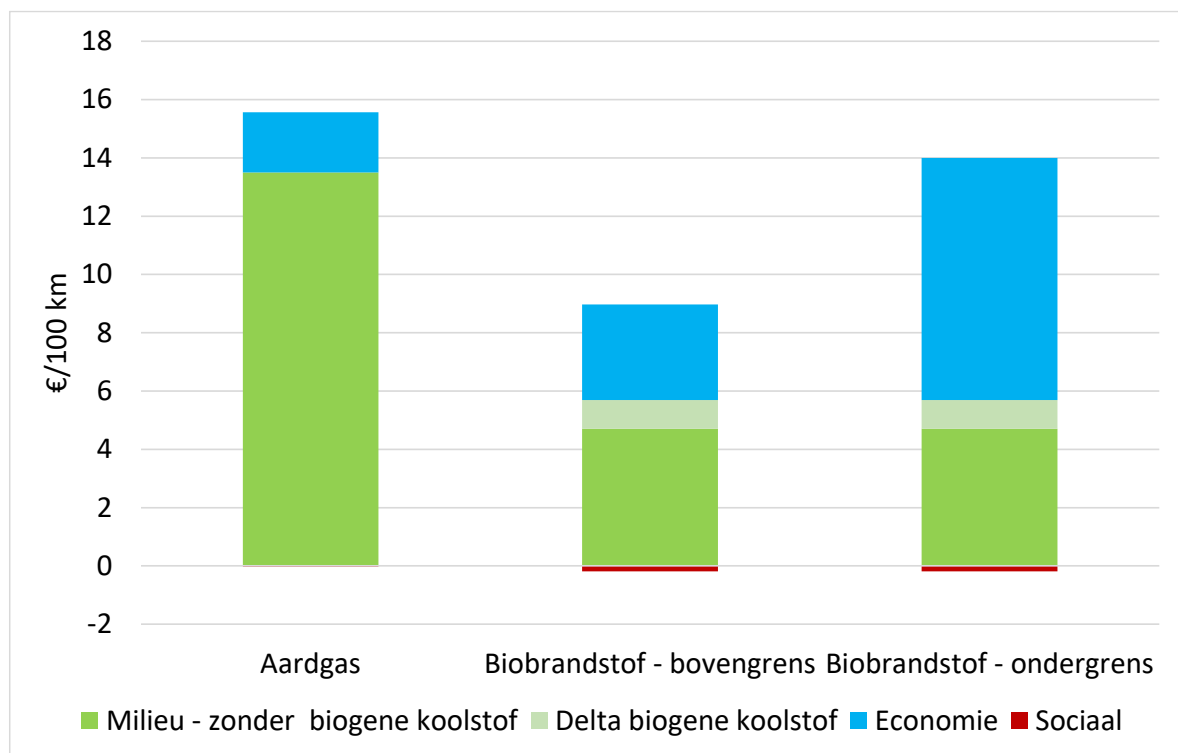
De doorgerekende sociale impacten zijn bijna enkel verbonden aan jobcreatie. De baten in het biobrandstof scenario zijn significant hoger (0,16 €/100 km) dan in het aardgas scenario.

Let op: in deze figuur is een hogere score (in baten) gunstig (in tegenstelling tot de vorige figuren, in kosten).

In aantal jobs komt dit overeen met 4,2E-06 VTE jobs/100km.

5.2.4 Methaan uit bosresidu - Geaggregeerde maatschappelijke resultaten

Figuur 33: Methaan uit bosresidu - Geaggregeerde maatschappelijke impacten



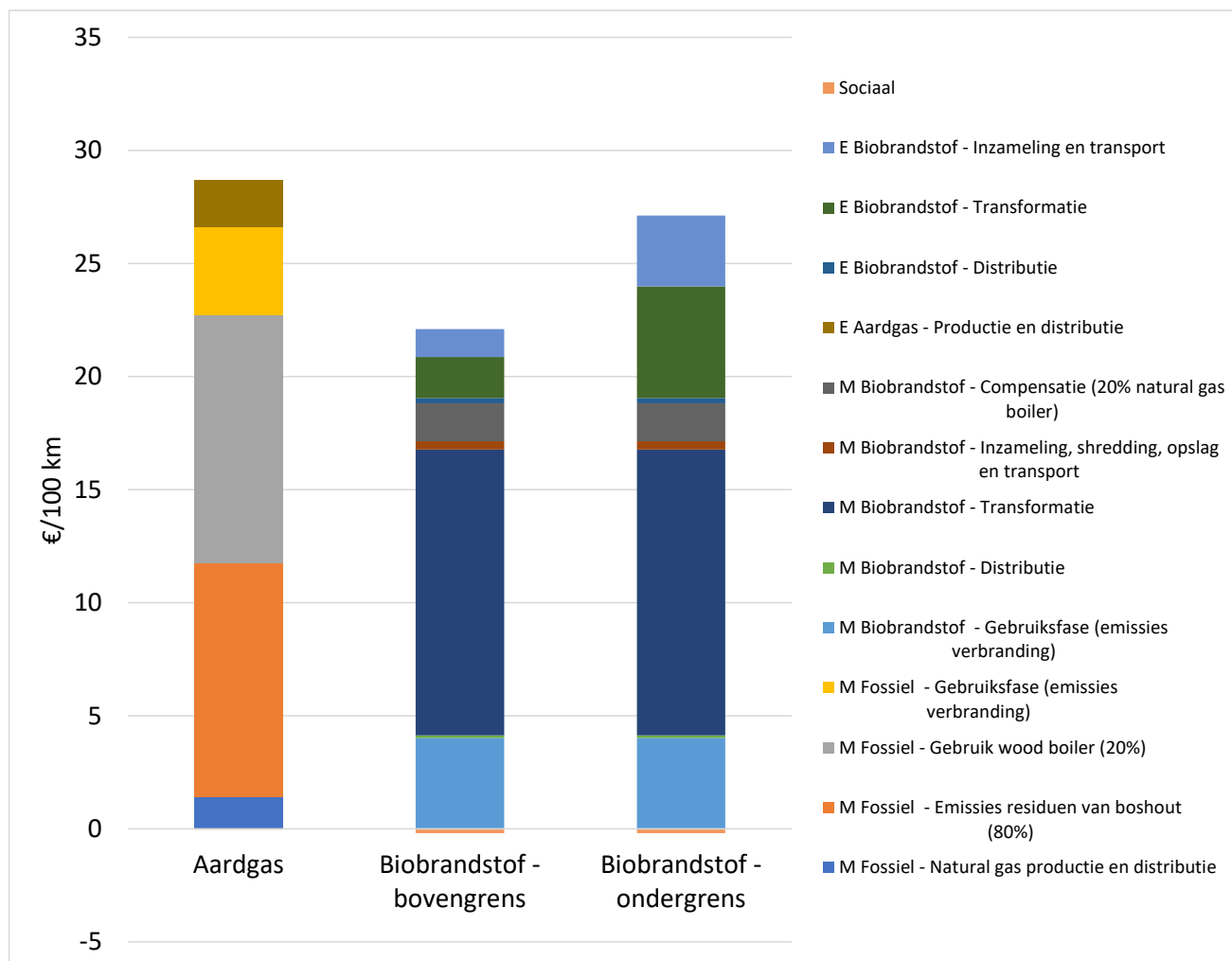
De milieu en economische impacten hebben de grootste invloed op de geaggregeerde maatschappelijke resultaten. De sociale impact heeft een heel beperkte invloed op de geaggregeerde maatschappelijke resultaten.

Het totaal is gunstig voor biomethaan voor beide onder- en bovengrens modellering, ondanks de hogere economische kost bij de ondergrens modellering.

De reductie van klimaatimpact wordt ingeschat op 7,4 kg CO₂eq/100km in de basisdoorrekening van de biomethaan case. Wanneer dit gerelateerd wordt aan de extra economische kost voor biobrandstof, zou de kost van de CO₂eq reductie variëren tussen 171€/t CO₂eq en 882 €/t CO₂eq.

Het hanteren van hogere (775 €/tCO₂eq) of lagere (55 €/tCO₂eq) monetaire waarden voor CO₂eq zou geen impact hebben op deze conclusie.

Figuur 34: Methaan* uit bosresidu - Gedetailleerde geaggregeerde maatschappelijke impacten



Legende: M = milieu, E = economie en S = sociaal (tewerkstelling)

* Let op: in deze grafiek zijn alle biogene koolstof emissies inbegrepen, dus in het aardgas referentiescenario ook de biogene CO₂-emissies bij degradatie van houtresiduen in het bos. Daarom liggen alle resultaten ongeveer 14€ per 100 km hoger dan in de vorige grafieken.

Het grootste verschil tussen referentie- en biobrandstofscenario's komt van de milieu impacten, met vooral de (vermeden) fijn stof emissies uit houtkachel als sleutelement. Daarnaast zijn er ook de lagere fossiele broeikasgasemissies en verlaagd verbruik aan hulpbronnen.

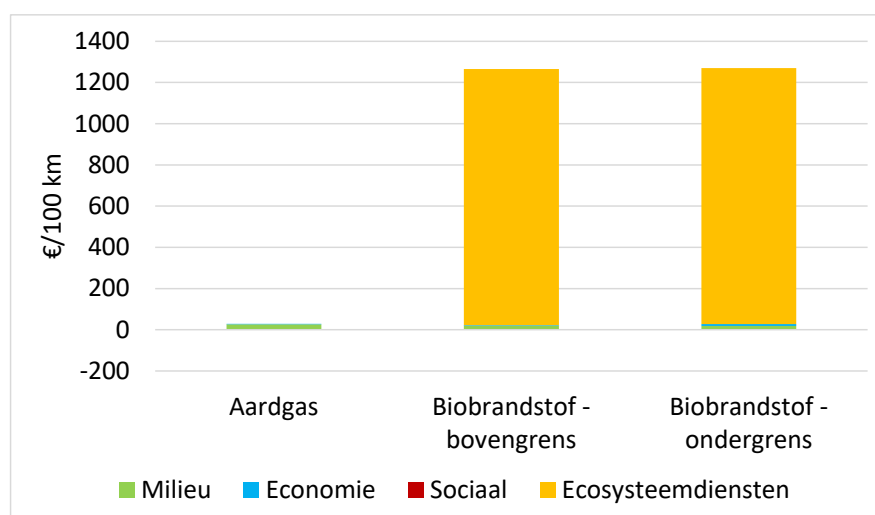
Het verschil voor biogene koolstof is beperkt want het grootste deel wordt sowieso geëmitteerd omwille van de degradatie van de residuen in het bos (in het benzine scenario). Een groot deel van de biogene CO₂-emissies in de biobrandstof keten komt vrij tijdens het biomethaan productieproces.

De economische kost van de transformatie heeft een grote bijdrage aan het geaggregeerde resultaat, vooral in de 'ondergrens' doorrekening.

5.2.4.1 Gevoeligheidsanalyse – verlies ecosysteemdiensten

In onderstaande figuur gaan we ervan uit dat er een volledig verlies aan ecosysteemdiensten is in de bossen waar de residuen uit onttrokken worden (20 % van de beschikbare bosresiduen). In de basismodellering is het evenwicht van het ecosysteem niet verstoord.

Figuur 35: Methaan uit bosresidu - Geaggregeerde maatschappelijke impacten - gevoeligheidsanalyse verlies ecosysteemdiensten

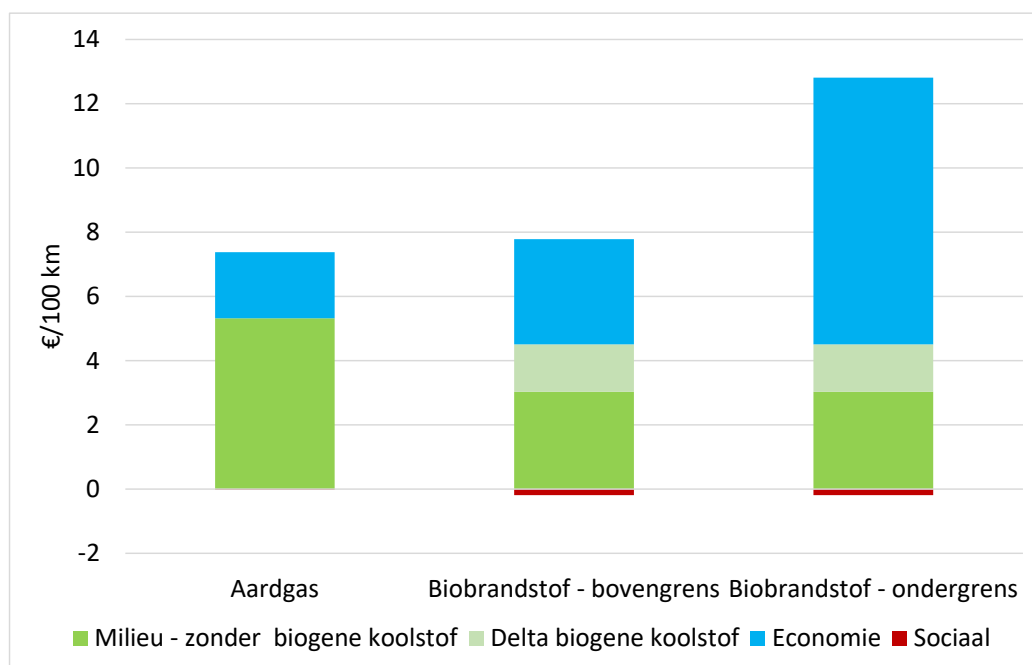


Bij volledig verlies van ecosysteemdiensten in de bossen waar de residuen uit onttrokken worden, zou dit leiden tot een enorme kost (schade). In de praktijk zal een teveel weghalen van bosresiduen nooit leiden tot een volledige vernietiging van de ecosysteemdiensten (de Overheid zou ingrijpen vóór de degradatie volledig is). Het zou wel kunnen leiden tot een ander evenwicht, met een vermindering van bodemkwaliteit en/of biodiversiteit (*koolstofopslag in de bodem wordt in de indicator klimaatimpact meegenomen*). Om hierover uitspraken te kunnen doen zou een meer diepgaand onderzoek nodig zijn.

5.2.4.2 Gevoeligheidsanalyse - vermeden houtverbranding door particulieren

In deze gevoeligheidsanalyse worden geen bosresiduen uit het bos gehaald door particulieren (20 % in het basisgeval). In dit geval blijven de milieu impacten van biomethaan kleiner en weegt de verwachte lange termijn koolstofopslag in het bos (bij achterlaten van residuen) ook door. Bij deze onderliggende aannames liggen de economische kosten hoger dan de milieubaten, en zijn de resultaten dus ongunstig voor de biobrandstof scenario's (boven- en ondergrens).

Figuur 36: Methaan uit bosresidu - Geaggregeerde maatschappelijke impacten - gevoeligheidsanalyse (particulieren nemen geen houtresidu uit het bos)



5.2.5 Biomethaan uit bosresiduen – randbemerkingen bij de interpretatie van de resultaten

Zoals eerder aangegeven zijn de aangehaalde resultaten in de vorige secties gevoelig voor aannames die rond de case gebeurd zijn.

De afbraak van bosresiduen hangt sterk af van lokale omstandigheden (vochtigheid, temperatuur, bodemkwaliteit) en het type residuen (dunne tegenover dikkere fracties). Ook kunnen er niet-lineaire effecten zijn (bv relatief lage impact als weinig residuen worden weggehaald, relatief hogere impact als er veel wordt weggehaald). In deze studie hebben we een vereenvoudigde aanname gemaakt dat 10% van de koolstof in de

residuen op lange termijn in de bodem achterblijft, afhankelijk van het oogstniveau, het type residu of de lokale omstandigheden. Een meer diepgaande analyse (met specifiek bosonderzoek op dit gebied) zou nodig zijn om de onzekerheid hier rond te beperken.

Verdere technologische evoluties in het transformatieproces kunnen aanleiding geven tot meer positieve resultaten voor de biomethaan case. Bijvoorbeeld:

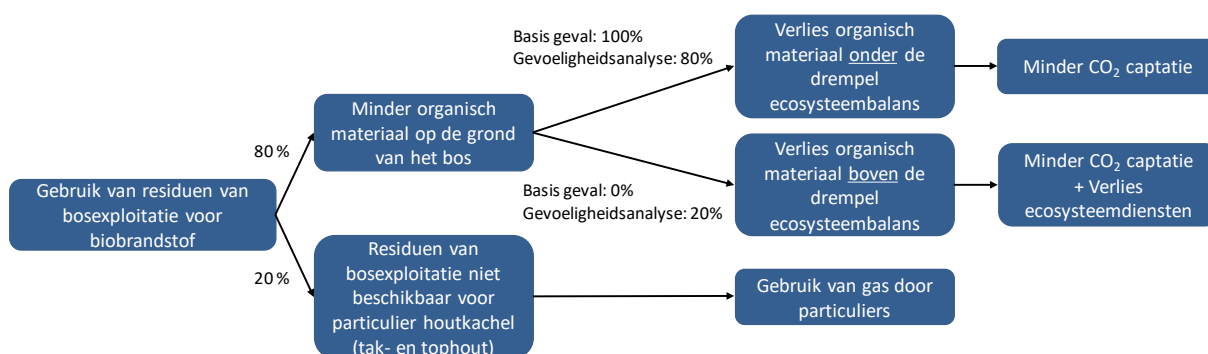
- Voor de transformatie naar biomethaan is gerekend met gegevens beschikbaar in de EcolInvent database, die aan de conservatieve kant zijn (50% rendement). In het GoBiGas project (biomethaan productie uit hout in Zweden) wordt een rendement van 55% gehaald, en de onderzoeker concludeerden dat op termijn rendementen tot 70% zouden haalbaar zijn.
- Opvang van hoge concentratie CO₂ (afgescheiden van het syngas) kan mogelijk gebruikt worden in CCS-toepassingen of als input in de voedingsindustrie.

Daarnaast kan de milieu-impact van andere technologieën - zoals kleinschalige houtverbranding - in de toekomst ook verder verbeterd worden. Ook zou de procesinput van elektriciteit op termijn een lagere carbon footprint kunnen hebben, gezien de vergroeningsdoelstellingen in de elektriciteitssector. Het omgekeerde kan ook, als de nucleaire productie stopt en vervangen wordt door gascentrales (wat een mogelijkheid is tegen het hier gehanteerde 2030 tijdshorizon).

Een mogelijke discussie is ook of de vermindering van particuliere houtstook een gevolg kan zijn van de productie van biobrandstof, maar niet eerder het gevolg zal zijn van gericht beleid hier rond. In dat geval is de referentiesituatie eerder 100% achterlaten in het bos (zie gevoeligheidsanalyse).

6 CASESTUDIE 2B: BIODIESEL GEPRODUCEERD UIT RESIDUEN VAN BOSEXPLOITATIE

Volgende figuur geeft een inschatting van de gevolgen van het gebruik van bosresiduen voor de productie van biobrandstoffen. De inschatting van de gevolgen loopt volledig gelijk met de casestudie 2a.



Figuur 37: Gevolgen gebruik bosresiduen

De conversie die hier wordt aangenomen is snelle pyrolyse van de biomassa, en upgrading van de bio-olie naar een dieselbrandstof.

Uitleg: cf. casestudie 2a

6.1 MODELLERING - AANNAMES

6.1.1 Milieu

6.1.1.1 Algemene beschrijving en "Functionele eenheid"

De functionele basiseenheid is: "100 km reizen met een personenwagen¹¹⁰ in 2030".

Met de term 'biodiesel' duiden we hier aan dieselbrandstof op basis van biomassa (*niet te verwarren met biodiesel uit plantaardige olie*). Soms wordt hier ook de term 'BTL' (Biomass to Liquid) of 'synthetische biodiesel' voor gebruikt.

¹¹⁰ EcolInvent process "transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 5" km" "RER"

Biodiesel zal in de toekomst (2030) allicht minder voor personenwagens, maar meer voor zwaar vervoer (vrachtwagens) gebruikt worden. Het verschil tussen diesel en biodiesel zal gelijkaardig zijn – we nemen aan dat de impacten grotendeels evenredig zijn met het verbruik.

Volgende elementen zijn bepalend in het biobrandstof scenario:

- De techniek van omzetting in brandstof: fast pyrolyse en refining (hydrodeoxygenation) van houtresiduen van bosexploitatie
 - o Snelle pyrolyse van de biomassa (hout) is de thermochemische afbraak van biomassa door snelle verhitting in afwezigheid van zuurstof, om lignocellulosehoudende (non-food) biomassa om te zetten in een donkerbruine vloeistof. Pyrolyse produceert FPBO ('fast pyrolysis bio-oil'). Gasvormige en vaste bijproducten kunnen gebruikt worden voor interne energievoorziening in het proces.
 - o Hydrodeoxygenatie van FPBO: het primaire doel van bio-olie upgrading is het verwijderen van zuurstof uit bio-olie verbindingen
 - o en vervolgens productie van biodiesel.
- Het type brandstof die geproduceerd wordt, voor gebruik in een mengsel met andere brandstoffen: **"biodiesel"**. Er wordt rekening gehouden met:
 - o Gegevens of hypothese over de verhouding tussen het verbruik van biobrandstoffen en het verbruik van fossiele brandstoffen (biodiesel wordt meestal gemengd met diesel). De studie richt zich alleen op het biodieselgedeelte van de gebruikte brandstof.
 - o De praktijk van de sector bestaat erin deze verhouding uit te drukken op basis van de respectievelijke energie-inhoud (equivalentie in MJ). Het wordt verondersteld dat de output per MJ identiek is (en dus een equivalent aantal km/MJ).
- De functie van de brandstof, de wijze van gebruik, met name het type voertuig: **substitutie van diesel voor het reizen met een personenwagen**
- Het type vervangen brandstof, dat het referentiescenario bepaalt: **diesel**

Het "Referentie scenario" bevat ook de "End-of-Life" van de houtresiduen die in het bos blijven liggen

- o Zie dezelfde paragraaf bij Case 2a

6.1.1.2 Het stoppen van de initiële functie

Zie dezelfde paragraaf bij Case 2a.

6.1.1.3 Productie en distributie van diesel

De productie en distributie van diesel wordt gemodelleerd met het Ecolnvent proces: "market for diesel, low-sulfur, Europe" dat omvat:

- Oliewinning en transport
- Raffinage
- Distributie en transport van het product van de raffinaderij naar de eindgebruiker.
- Exploitatie van opslagtanks en tankstations.
- Uitstoot door verdamping en behandeling van afvalwater.

Biodiesel vervangt diesel in verhouding met hun respectievelijke onderste verbrandingswaarden: 43,1 MJ/kg (diesel)/ 44 MJ/kg (syn diesel) = 0,98 (data: JRC Technical report, WTT Appendix 1)

6.1.1.4 Biodiesel productie

De bronnen voor de evaluatie van de milieueffecten voor de levenscyclusbeoordeling zijn:

- "Residue2Heat" project (EU Horizon 2020 project): <https://www.residue2heat.eu/> rond het pyrolyse proces (van BTG).
- "Life Cycle Assessment of Gasoline and Diesel Produced via Fast Pyrolysis and Hydroprocessing" - David D. Hsu - NREL (national laboratory of the U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, operated by the Alliance for Sustainable Energy, LLC) - Technical Report NREL/TP-6A20-49341 March 2011
- BTG BioLiquids company: aanbieder uit Nederland van pyrolysetechnologie (<https://www.btg-btl.com/en/>)
- Wetenschappelijke literatuur (Zhang 2013, Han 2011, Jones 2009, Sorunmu et al. A review of thermochemical upgrading of pyrolysis bio-oil: Techno-economic analysis, life cycle assessment, and technology readiness, GCB Bioenergy. 2020)

De productie van biodiesel gebeurt in 2 stappen

- Snelle pyrolyse van biomassa (hout) voor de productie van FPBO (snelle pyrolyse bio-olie) met een hoog zuurstofgehalte, een matig watergehalte en hoge zuurtegraad met een LHV van 16,0 MJ/kg.
- Hydrodeoxygenatie: als een opwaarderingsproces voor de productie van biodiesel uit FBPO, voornamelijk door reactie met waterstof.

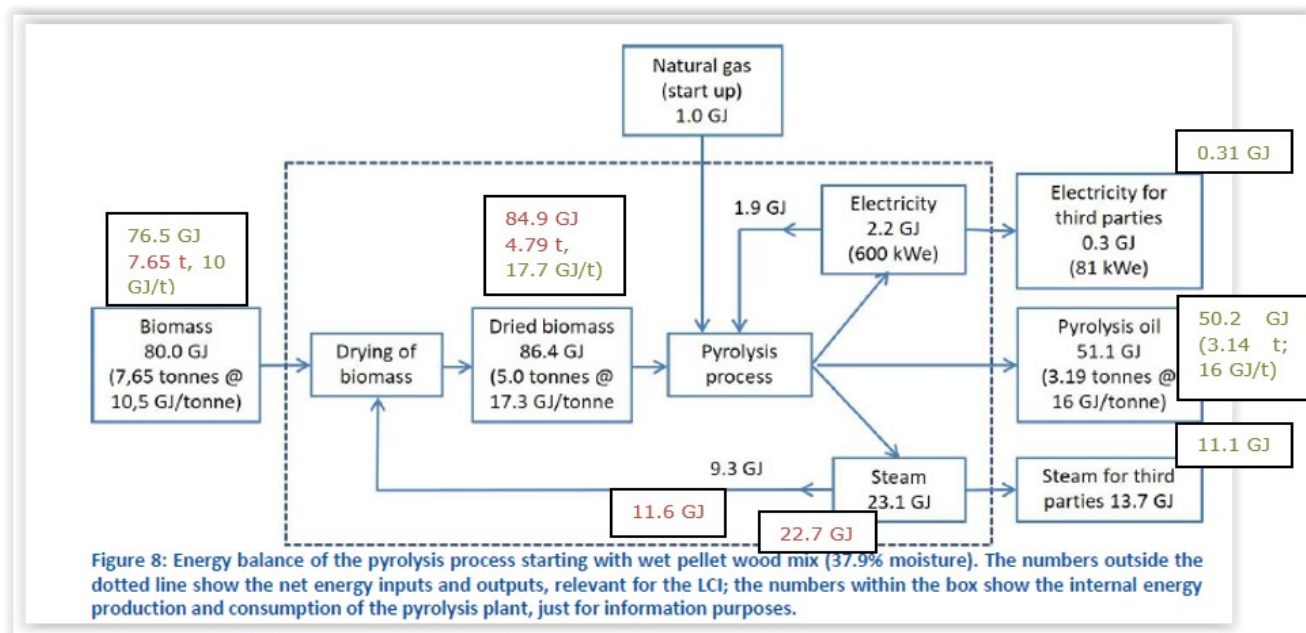
Snelle pyrolyse is de thermochemische afbraak van biomassa (hout) door snelle opwarming in afwezigheid van zuurstof. De bijproducten, houtskool (char) en niet-condenseerbaar gas, worden ter plaatse verbrand en de vrijgekomen energie wordt intern gebruikt. Een deel van de overtollige energie (warmte/ elektriciteit) kan extern worden gebruikt.

Het organische materiaal wordt in afwezigheid van zuurstof binnen ongeveer 2 seconden verhit tot ongeveer 475 °C. Onder deze omstandigheden ontstaan hydro-organische dampen, pyrolysegas en houtskool. De dampen worden snel afgekoeld en gecondenseerd tot een roodbruine vloeistof, de zogenaamde pyrolyse-olie of Fast Pyrolysis Bio-Oil (FPBO) met een typische opbrengst van ongeveer twee derde van het gewicht van de grondstof. Dit belangrijke product van de snelle pyrolyse heeft ongeveer de helft van de verbrandingswaarde van conventionele stookolie. Daarnaast ontstaan bijproducten als houtskool (10-15%) en gas (15-20%), die gebruikt kunnen worden om procesenergie op te wekken. Door het pyrolyseproces kan het merendeel van de in houtskool gebonden as en mineralen worden verwijderd en gerecycled. Daardoor kunnen hoog ashoudende biomassastromen worden omgezet in vrijwel asloze, biogene pyrolyse olie.

De energiebalans en de globale opbrengst van snelle pyrolyse is gebaseerd op gegevens van het Residue2heat project. Het is gebaseerd op de industriële productie van FPBO die sinds 2015 in Nederland loopt (BTG-technologie in het Empyro-project dat nu door het bedrijf Twence wordt geëxploiteerd).

De volgende figuur geeft de massa- en energiebalans weer voor de productie van FPBO:

Figuur 38: Energiebalans van pyrolyse-olie uit hout



In het Residue2heat rapport (hoofdstuk D6.2) wordt de energiebalans gegeven voor natte houtpellets (zie bovenstaande figuur, cijfers in het zwart), met een initieel vochtgehalte van 37,9%. De rapporten D6.1 en D6.2 geven de cijfers in het **groen** voor bosresiduen, met een initieel vochtgehalte van 41,2% en een LHV van 10 MJ/kg (die van toepassing is voor houtresiduen). De **rode** cijfers werden door RDC Environment berekend, ervan uitgaande dat de opbrengsten voor houtpellets en bosresiduen vergelijkbaar zijn (hoewel ze voor andere biomassa, zoals stro en miscanthus, verschillend zijn).

De relatieve gegevens om de FBPO te produceren zijn:

- Input
 - 4,79 ton droge biomassa (hout met een koolstofgehalte van 0,494 kg koolstof/kg hout als droge massa)
 - 1 GJ aardgas (gemodelleerd als het Ecolnvent proces "Heat, district or industrial, natural gas...")
 - Andere inputs op basis van gegevens uit de studie "Life Cycle Assessment of Gas and Diesel Produced through Fast Pyrolysis and Hydroprocess - National laboratory of the U.S. Department of Energy (NREL)":
 - zoutzuur,
 - leidingwater
 - natriumhydroxide, natriumsulfiet en andere anorganische chemicaliën
- Output
 - 3,14 ton FPBO
 - 0,31 GJ netto geproduceerde elektriciteit (voordeel voor het milieu en dit vermijdt het verbruik van elektriciteit van het Belgische net)
 - 11,1 GJ stoom als nettoproductie (voordeel voor het milieu en dit vermijdt het gebruik van een industriële aardgasketel voor de productie van stoom)
 - Uitstoot van 0,0674 kg biogene CO₂ per MJ FBPO (ongeveer 16 MJ/kg)
 - Alle andere emissies naar de lucht worden berekend vanuit het Ecolnvent proces "heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014, Belgium", uitgaande van een verhouding tussen:
 - de CO₂-uitstoot van dit proces;
 - met betrekking tot de 0,0674 kg biogene CO₂ die tijdens het snelle pyrolyseproces wordt uitgestoten;
 - en op basis van het NREL-rapport: houtasmengsel behandeld op een sanitaire stortplaats, afvalwaterzuivering.

Pyrolyse-olie moet worden geüpgrade ("hydrodeoxygenatie") voordat het als brandstof in bestaande motoren kan worden gebruikt. Het primaire doel van de verwerking van bio-olie is het verwijderen van zuurstof uit bio-

olieverbindingen en vervolgens de bestanddelen ervan te fractioneren of te raffineren tot hernieuwbare brandstoffen.

Upgrading van pyrolyse-olie betekent dat deze wordt behandeld met waterstof, waarbij we aannemen dat die wordt geproduceerd door "Steam reforming" van aardgas (meest gebruikte methode voor de productie van waterstof door de reactie van aardgas met stoom): $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + 3 \text{H}_2$. Extra waterstof kan worden verkregen door de behandeling van het koolmonoxide dat ontstaat door steam reforming met water: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$. Op termijn kan de waterstof eventueel ook via elektrolyse met hernieuwbare elektriciteit geproduceerd worden.

De relatieve gegevens om de biodiesel van FPBO te produceren zijn (zoals ze in het NREL-rapport staan):

Input (Hydrodeoxygenatie)

- 68 946 kg FBPO (uit het snelle pyrolyseproces)
- 374 000 MJ aardgas (voor de steam reforming waarbij de waterstof wordt geproduceerd die nodig is voor de opwaardering van FPBO tot biodiesel)
- 12 600 kWh elektriciteit (extern)
- Leidingwater
- Zeolietpoeder (katalysator)

Output (Hydrodeoxygenatie)

- 17 418 kg biodiesel en 12 973 kg biobenzine = 30 391 kg biobrandstof met een gemiddelde LHV van 43,14 MJ/kg. Voor de berekeningen van de milieueffecten is aangenomen dat deze gemiddelde biobrandstof de effecten van de productie van alleen biodiesel uit FPBO vertegenwoordigt (deze aanname is geldig omdat beide LHV's zeer dicht bij elkaar liggen).
- en op basis van het NREL-rapport, verschillende emissies naar de lucht:
 - o CO_2 (biogeen uit FPBO en fossiel uit CH_4 gebruikt voor de steam reforming)
 - o Waterstof
 - o CH_4 biogeen
 - o Ethaan, propaan, isobutaan, heptaan, ethylcyclohexaan
 - o Koolwaterstoffen alifatische
 - o Koolwaterstoffen, alifatische, alkanen, cyclische
 - o xyleen

6.1.1.5 Emissies in de gebruiksfase (voertuig)

Er werd gekeken naar het verschil in emissies tussen het gebruik van diesel en synthetische biodiesel in dieselveertuigen. De 2 volgende bronnen (voor vrachtwagens en bussen) werden gebruikt:

- "City bus performance evaluation" – VTT Technical Research Centre of Finland - 2019
- "Air quality implications of transport biofuel consumption" – VTT and International Energy Agency - 2018

De situatie kan variëren maar het is duidelijk dat de emissies van stikstofoxiden (NO_x), fijn stof, CO en vluchtige organische stoffen kunnen verschillen naargelang diesel of biodiesel (eventueel in mengvorm) gebruikt wordt.

Op basis van die twee studies worden voor de modellering volgende cijfers gehanteerd:

- NO_x: -10% (voor synthetische biodiesel ten opzichte van diesel)
- fijn stof, CO en vluchtige organische stoffen: -30%
- SO₂: verwaarloosbare emissies voor biodiesel.

De uitstoot van CO₂ is¹¹¹:

- Diesel: 3,16 kg fossiel CO₂/kg
- Biodiesel: 3,12 kg biogene CO₂/kg

6.1.1.6 Biodiesel distributie

Dezelfde hypothesen als voor benzine (Ecolnvent proces "*Transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 5, km Europe*") werden genomen om een relevante vergelijking te verzekeren, behalve voor het brandstoftransport: alle transporten die Ecolnvent in overweging neemt voor de distributie van diesel naar het tankstation (vrachtwagen, binnenvaartschip, pijpleiding, enz.) werden vervangen door één transport: Vrachtwagenvervoer over 150 km¹¹² heen en terug (2*75km).

6.1.1.7 Transport van residuen van hout en het scheidingsproces

Zie dezelfde paragraaf in Casestudie 2a

¹¹¹ bron: JRC Technical report (2014). Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context – Well-to-tank Appendix 1 - Conversion factors and fuel properties https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/wtt_appendix_1_v4a.pdf

¹¹² Gerekend met een onzekerheid van +/-30%.

6.1.2 Economie

De vergelijking op milieubasis zal worden afgewogen ten opzichte van economische kosten. Hiervoor zullen we de kosten vergelijken tussen het referentiescenario en biobrandstofscenario's. Er wordt gerekend met maatschappelijke kost, dus belastingen of winstmarges worden niet meegenomen in de analyse.

6.1.2.1 Referentie scenario

Deze inschatting is gebaseerd op de gemiddelde officiële maximprijs voor diesel in België in 2018, zonder accijnzen en BTW: 0,58 €/l¹¹³.

Het percentage voor de marge en belastingen wordt geschat op basis van TOTAL-cijfers: 9,8 %.

De kost (zonder marge en belastingen) van diesel is bijgevolg 41,3 €/MWh.

Tabel 20: Dieselkost

Prijs diesel	0.58	€/l
Marge	9.80%	
Prijs zonder marge	0.523	€/l
Densiteit	0.846	kg/l
Prijs zonder marge	0.618	€/kg
LHV	45.6	MJ/kg
Prijs per energie inhoud	0.0115	€/MJ
conversie	3600	MJ/MWh
Prijs per MWh	41.30	€/MWh

6.1.2.2 Functieverlies

In het basisgeval wordt verondersteld dat het ecosysteem niet verstoord wordt (zie “Specifieke beoordelingsmethoden voor het onderzoek naar biobrandstoffen” in het afwegingskader voor de monetaire waardering).

113 Belgische Petroleum Federatie 2018.

6.1.2.3 Inzameling en transport

De inzamelkosten^{114, 115} van bosresiduen varieert volgens het BioBoost project tussen 30 en 80 €/t in 2013¹¹⁶. Met de inflatie en de hypothesen van het milieu gedeelte ligt de inzamelkosten tussen 9 en 25 €/MWh biodiesel, zie onderstaande berekening.

Er wordt 0,28 kg biodiesel uit 1 kg droog hout geproduceerd. Biodiesel heeft een lagere verwarmingswaarde van 44 MJ/kg.

Tabel 21: Parameters voor de berekening van de inzamelkosten¹¹⁷

Beschrijving	waarde		Eenheid
Inzamelkosten	30	80	€2013/ton hout (d.m.)
Actualisatiefactor	1,109	1,109	
Geactualiseerde inzamelkosten	33	89	€2020/ton hout (d.m.)
Lagere verbrandingswaarde (LHV)	44	44	GJ/ton biodiesel
Biodiesel productie uit hout	0,28	0,28	ton biodiesel/ton droog hout
Energieproductie uit hout	12,3	12,3	GJ biodiesel/ton hout
Inzamelkosten per energie-inhoud	2,7	7,2	€/GJ biodiesel
Conversie	3,6	3,6	GJ/MWh
Inzamelkosten per MWh	9	25	€/MWh biodiesel

Inputdate aangeduid in grijs

114 De kosten zijn uitgedrukt per ton droge stof.

115 Let op, er is een verschil tussen prijs en kost. In een kosten-baten analyse komen enkel de kosten in aanmerking. De inzamelkosten van bosresiduen zijn hoger dan stamhout gezien het uithalen van residuen iets arbeidsintensiever is (meer volumineus). Daarnaast moeten oogstkosten (kap) grotendeels aan stamhout worden toegeschreven, met de residuen als bijproduct.

116 http://bioboost.eu/uploads/files/bioboost_d1.1-syncom_feedstock_cost-vers_1.0-final.pdf http://bioboost.eu/uploads/files/bioboost_d1.1-syncom_feedstock_cost-vers_1.0-final.pdf

117 Berekeningen:

Inzamelkosten: 30 €2013/t * 1,109 = 33 €2020/t

Inzamelkosten: 80 €2013/t * 1,109 = 89 €2020/t

1 MWh = 3600 MJ

1 t = 1000 kg

$33 / ((44 * 0,28 / 3600) * 1000) = 9 \text{ €/MWh}$; $89 / ((44 * 0,28 / 3600) * 1000) = 25 \text{ €/MWh}$

Op basis van de parameters in onderstaande tabel varieert de transportkost tussen 8 en 16 €/t residuen, wat neerkomt op een transportkost tussen 2.3 en 4.6 €/MWh biodiesel.

Tabel 22: Parameters voor de berekening van de transportkost

Beschrijving	Waarde	Eenheid	Bron
Densiteit van het materiaal	0,38	t/m ³	Acqua-cacl118
Capaciteit van het transport	30	m ³	RDC-hypothese
Vrachtwagen en chauffeur kost	55	€/uur	RDC-hypothese
Gemiddelde snelheid	60	km/uur	RDC-hypothese
Afstand	100- 200	km	RDC-hypothese
TOTAAL	8-16	€/t	Berekening: (100km / 60km/u * 55€/u) / (30m ³ * 0,38t/m ³) = 8 €/t

6.1.2.4 Transformatiekosten

Volgende tabel geeft een overzicht van de verschillende kostcomponenten van biodieselproductie uit houtsnippers, op basis van IEA Bioenergy (2020)¹¹⁹, met mogelijke spreiding van de kosten (in dit geval enkel op de werkingskost). Er wordt uitgegaan van een stand-alone oplossing, dus geen co-raffinage in bestaande olieraffinaderijen (gezien er nog onzekerheden zijn rond kost en omzettingsrendement voor die optie).

Tabel 23: Transformatiekost

Standalone		
	Lo	Hi
Investment cost (EUR/kW)	2 340	2 340
Contribution to product costs - EUR/MWh product		
Capital cost pyrolysis plant	38	38
Other O&M, Pyrolysis	29	59

Volgens het IEA Bioenergy (2020) rapport kunnen deze kosten dalen:

- Schaalvergroting en optimalisatie: daling kapitaalkost tussen 25 en 50 %

118 <https://www.aqua-calc.com/page/density-table/substance/wood-blank-chips-coma-and-blank-dry>

119 IEA Bioenergy (2020), Advanced Biofuels – Potential for Cost Reduction.

Een andere reden voor de daling van de kapitaalkost is de daling van de rentevoet. Als het risico daalt, zal de kapitaalkost ook dalen.

- Daling andere operationele kosten en enzyemen: tussen 10 en 20 %.

Voor de modellering gebruiken we de minimale (42 €/MWh)¹²⁰ en maximale (82 €/MWh)¹²¹ waarden.

6.1.2.5 Distributie

De distributiekost van diesel is 0,1763 €/l (Cf. Afwegingskader) inclusief belastingen en marge. De marge (uitgedrukt in %) en de belastingen werden geschat op basis van TOTAL-cijfers: 9,8 %. De distributiekost zonder belastingen en marge is dus 0,1590 €/l.

De transportkost voor de distributie is 0,008 €/l op basis van de modellering met de parameters in onderstaande tabel.

Tabel 24: Distributiekost

Beschrijving		Waarde	Eenheid	Bron
Capaciteit		27 000	l/vrachtwagen	Typische vrachtwagen
Transportkost	Brandstof	0,512	€/km	Comité national routier (Frankrijk)
	Vrachtwagen	158	€/dag	Comité national routier (Frankrijk)
		300	km/dag	RDC-hypothese
	Chauffeur	19,6	€/uur	Comité national routier (Frankrijk)
Afstand		150	km	RDC-hypothese
Totaal		0,008	€/l	Berekening ¹²²

De transportkost voor de distributie is dus minimaal 5 % van de totale distributiekost.

Er wordt verondersteld dat een deel van de distributiekost varieert a rato van de densiteit van de brandstof. De andere bijdragen aan de totale kost variëren niet met de eigenschappen van de brandstof en zijn dus dezelfde voor diesel en biodiesel.

We hebben twee situaties gemodelleerd:

120 Lage kosten met grote daling kapitaal en operationele kosten.

121 Hoge kosten met lage daling kapitaal en operationele kosten.

122 {Brandstofkost + duur traject * (kost vrachtwagen + kost chauffeur)}/capaciteit = transportkost
{150km*0,512€/km + 150km/300km/dag * (158€/dag + 6u*19,6€/u)} / 27000l/vrachtw = 0,008 €/l

- Het minimale aandeel stemt overeen met de transportkost (5%). De transportkost van biodiesel is dus 1,06 €/MWh. Er wordt verondersteld dat de andere distributiekosten dezelfde zijn voor diesel en biodiesel: 16,28 €/MWh. De totale distributiekost van biodiesel is dus 17,34 €/MWh.
- Er wordt verondersteld dat het maximale aandeel van de transportkost rond 25% van de distributiekost is. De transportkost van biodiesel is dus 5,29 €/MWh. Het wordt verondersteld dat de andere distributiekosten dezelfde zijn voor diesel en biodiesel: 12,86 €/MWh. De totale distributiekost van biodiesel is dan 18,14 €/MWh.

6.1.2.6 Gebruik van de brandstoffen

Er wordt verondersteld dat er geen kostverschil is tussen het gebruik van diesel en biodiesel.

6.1.3 Sociaal

Het doel van deze sectie is de sociale impacten van de jobcreatie te kwantificeren (referentie scenario en biobrandstof).

Ter herinnering (zie rapport afwegingskader): de baat van VTE¹²³-jobcreatie wordt ingeschat op 38 905 € per jaar. De sociale baat verbonden aan tewerkstelling is het aantal VTE vermenigvuldigd met dit bedrag.

6.1.3.1 Referentie scenario

Op basis van Statbel (cijfers voor omzet en tewerkstelling) werden de betrokken jobs in België geschat:

- Dieselproductie: 9 289 019 €/VTE
- Dieseldistributie: 962 001 €/VTE

De jobcreatiebaten zijn 0,59 €/MWh voor diesel.¹²⁴

6.1.3.2 Bestudeerd scenario

Op basis van omzet en tewerkstelling cijfers (Statbel) hebben we de jobs in België geschat voor de verschillende stappen van de keten met de volgende hypothesen:

¹²³ Voltijds equivalent.

¹²⁴ $\{(39,61 * ((0,53 - 0,16) * 0,53) * 1,08E-07) + (39,61 * (0,16 / 0,53) * 1,04E-06)\} * 38905$

$\{(Kost * productie\ kostaandeel * VTE/€\ productie) + (kost * distributie\ kostaandeel * VTE/€\ distributie)\} * jobcreatie\ monetaire\ waardering$

Op basis van Statbel cijfers voor omzet en tewerkstelling werden de jobs in België van de verschillende stappen van de keten geschat met de volgende hypothesen:

- Bosresiduen en transport: Houtinfobois¹²⁵: 608 643 €/VTE
- Transformatie: zoals benzineproductie
- Distributie: zoals benzinedistributie

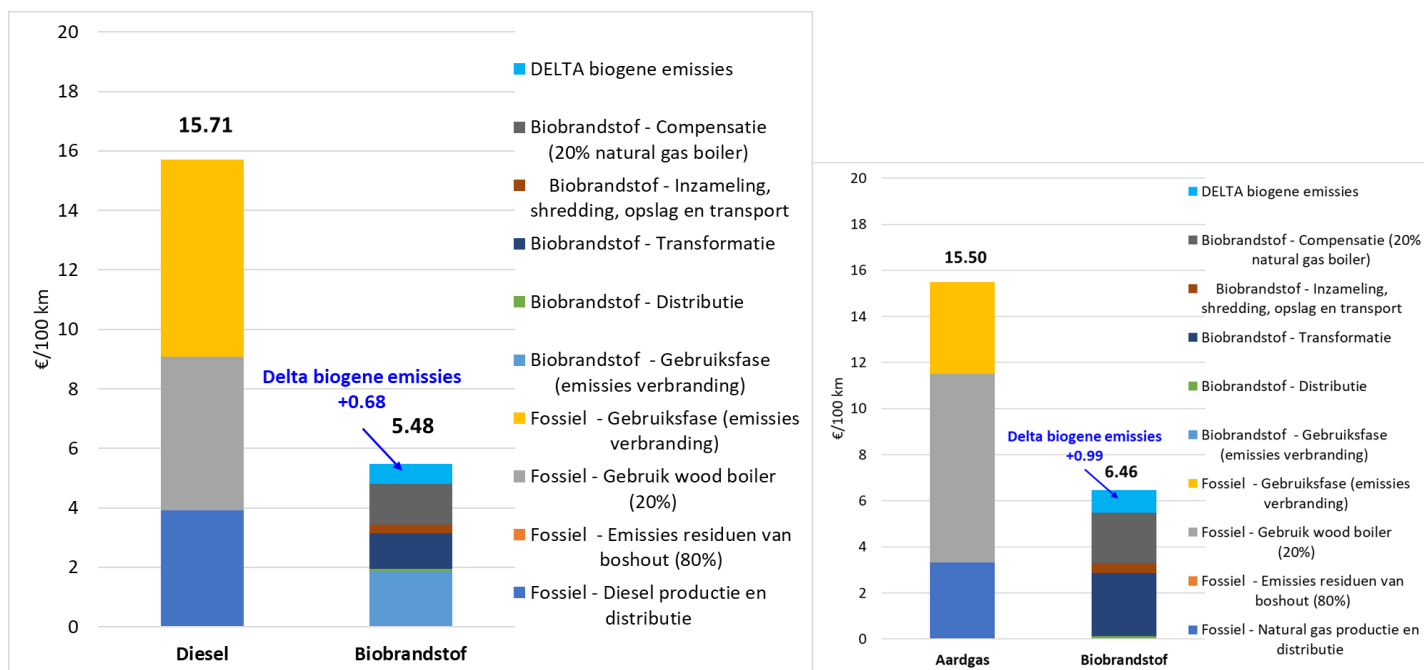
6.2 BIODIESEL UIT BOSRESIDU - RESULTATEN

6.2.1 Biodiesel uit bosresidu - Milieu

6.2.1.1 Gemonetariseerde resultaten

De volgende grafiek toont de gemonetariseerde milieuresultaten voor het basisgeval. De resultaten voor alle impactcategorieën zijn geaggregeerd en geëvalueerd in euro.

Figuur 39: Biodiesel uit bosresidu - Totaal gemonetariseerde milieu impacten



125 <https://houtinfobois.be/nl/het-bos-en-het-hout/belgische-houtverwerkingssector/>

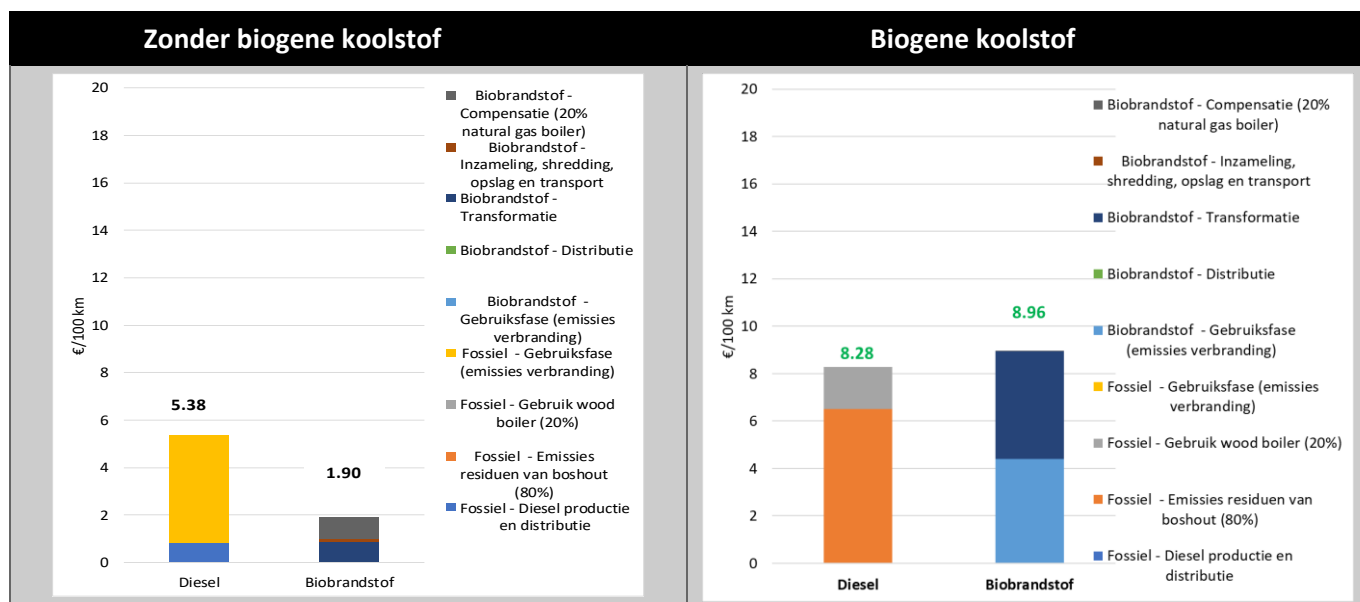
De milieuimpact van biobrandstof is globaal gunstig t.o.v. het diesel alternatief. Dit voordeel is gedeeltelijk een gevolg van de vervanging van diesel als brandstof maar ook omwille van een neveneffect: particulieren gebruiken meer gas voor verwarming i.p.v. hout en dit genereert minder **toxische emissies** (vooral fijn stof¹²⁶).

De conclusies zijn gelijkaardig als bij casestudie 2a (methanatie, zie kleine grafiek - herhaling Figuur 1 - naast de grote).

Het biomethaan scenario is dus gunstig, maar voor een belangrijk stuk door de aanname dat particulieren minder hout gaan verbranden en dus minder fijn stof emitteren (zie gevoeligheidsanalyse).

We bekijken de onderliggende cijfers rond klimaatimpact iets dieper.

Figuur 40: Biodiesel uit bosresidu - Gemonetariseerde klimaatimpacten



- Biogene koolstof

De totale biogene CO₂-emissies (uitgedrukt in monetaire impact) als al de koolstof in de bosresiduen wordt omgezet in CO₂ worden ingeschat op 8,96€/100km voor de biodiesel. We concentreren ons hierbij op de **delta CO₂-emissies**, dus de extra koolstof die op lange termijn in de bodem wordt opgenomen in beide scenario's.

126 Herhaling: idealiter had het Vlaams huishoudelijk verwarmingspark moeten worden gemodelleerd. Fijn stof emissie en SO₂ emissie zouden dus iets hoger zijn door hoger aandeel van stookolie in het verwarmingspark. Het voordeel van biobrandstof zou dus lager zijn.

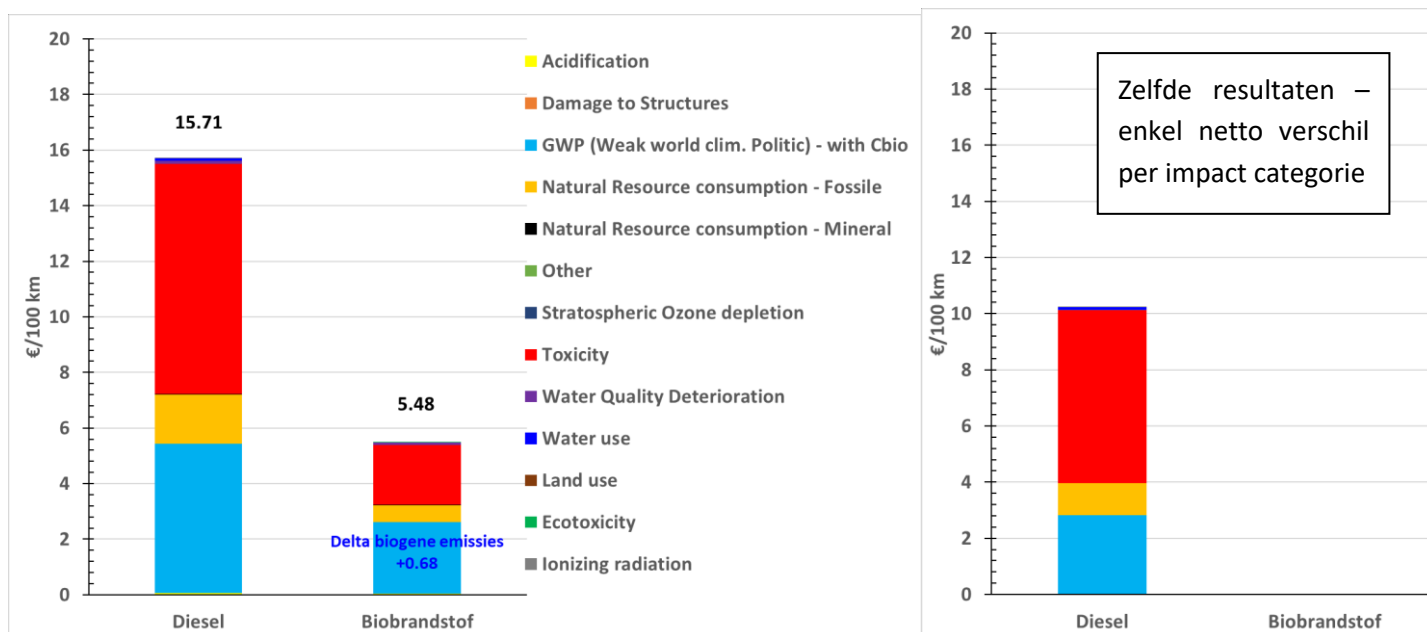
- In het biobrandstof scenario wordt 100% van biogene koolstof van houtresiduen in de atmosfeer uitgestoten, ongeveer gelijkmatig verdeeld **tijdens het verwerkingsproces** en bij het **gebruik van biomethaan** als transportbrandstof.
- Het basisscenario (Referentie) bestaat uit 2 delen:
 - Achtergelaten in het bos (80% van input): er wordt aangenomen dat 90% van de plantaardige koolstof van bosresiduen terug in de atmosfeer wordt uitgestoten (**Emissies van residuen in het bos**), een deel van de koolstof (ingeschat op 10%) wordt op lange termijn in de bodem opgenomen. Dit geeft voor biogene emissies een voordeel voor het benzine referentiescenario (hier 0,68€/100km).
 - Gebruikt als kachelhout (20% van input): ook hier wordt 100% van de biogene koolstof in de atmosfeer uitstoten.
- Fossiele koolstof:
 - De impacten van het biobrandstof scenario op gebied van fossiele CO₂ uitstoot (**inzameling, transformatie, distributie**) zijn significant, maar een stuk kleiner dan wat uitgestoten wordt in het **diesel referentiescenario**.
 - Het vervangen van kachelhout door aardgas geeft aanleiding tot belangrijke fossiele broeikasgasemissies in het biobrandstof scenario (hier 0,90€/100km).

In het algemeen is er een beduidend voordeel rond klimaatimpact voor het biodiesel scenario; dit voordeel wordt een stuk ingeperkt door de vermeden koolstofopslag in het bos, en het vervangen van kachelhout door aardgas.

Onderstaande grafiek toont, naast klimaatimpact, ook de bijdrage van de andere impactcategorieën aan de gewogen resultaten.

Het verschil komt grotendeels van de **toxische emissies (fijn stof)**, daarnaast ook nog van **klimaatverandering**. Het verschil is relatief groot voor het **gebruik van hulpbronnen** maar de bijdrage aan het totaal verschil is beperkt.

Figuur 41: Biodiesel uit bosresidu - Totale milieubijdragen



Hieronder tonen we de detailcijfers rond de impact op **toxiciteit**. Zoals eerder aangegeven heeft het vermijden van emissies van particuliere houtverbranding een zeer grote impact.

Focus toxiciteit:

Diesel: 8,28 €/100km

-	Gebruik houtkachel	5,09 €	61,5%
o	Fijn stof (PM2,5) (38 mg/Nm ³)		94,9%
o	NOx		4,2%
o	Cr VI		0,4%
o	SO ₂		0,2%
-	Gebruiksfase (emissies verbranding)	1,97 €	23,8%
o	NOx	1,912 €	97,0%
o	Fijn stof (PM2,5)	0,052 €	2,7%
o	SO ₂	0,006 €	0,3%
-	Diesel productie en distributie	1,22 €	14,7%

○ SO ₂	0,652 €	53,6%
○ Fijn stof (PM _{2,5})	0,313 €	25,8%
○ Cr VI	0,102 €	8,4%
○ NO _x	0,133 €	10,9%

Biodiesel: 2,13 €/100km

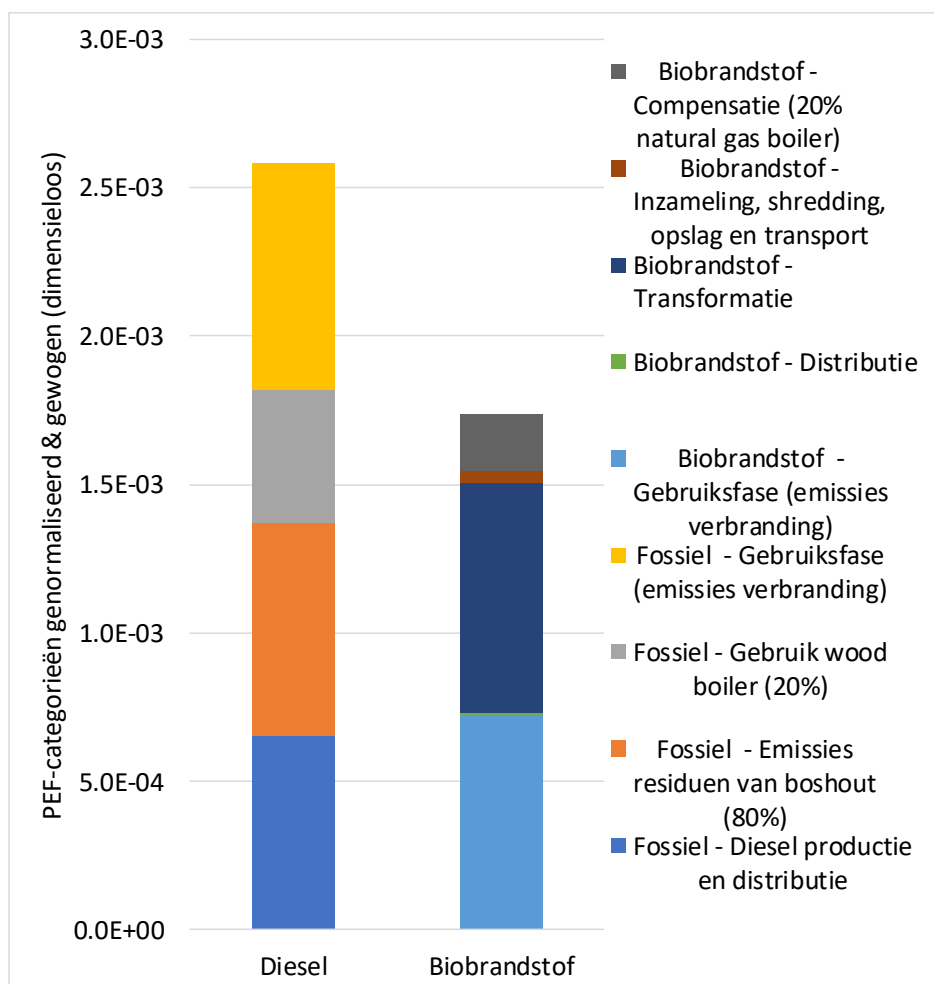
- Gebruiksfase (emissies verbranding):	1,758 €	82,5%
○ NO _x	1,721 €	97,9%
○ Fijn stof (PM _{2,5})	0,037 €	2,1%
- Compensatie (20% natural gas boiler)	0,147 €	6,9%
○ SO ₂		38,2%
○ Cr VI I		23,0%
○ NO _x		24,1%
○ Fijn stof (PM _{2,5})		11,8%
- Inzameling, shredding, opslag en transport	0,112 €	5,3%
- Transformatie	0,076 €	3,6%
- Distributie	0,038 €	1,8%

6.2.1.2 Resultaten met gebruik van de JRC wegingsmethode

De via de 50% “experten” en 50% “public” wegingsfactoren van het JRC gewogen resultaten leiden tot dezelfde algemene conclusies als de gemonetariseerde effecten.

Voor meer duiding rond deze wegingsmethode, verwijzen we naar het rapport over het ‘Afwegingskader’.

Figuur 42: Biodiesel uit bosresidu - PEF-categorieën genormaliseerd & gewogen (dimensieloos)



Dezelfde commentaar is van toepassing als bij case 2a (Zie Figuur 27: Methaan uit bosresidu - PEF-categorieën genormaliseerd & gewogen (dimensieloos)).

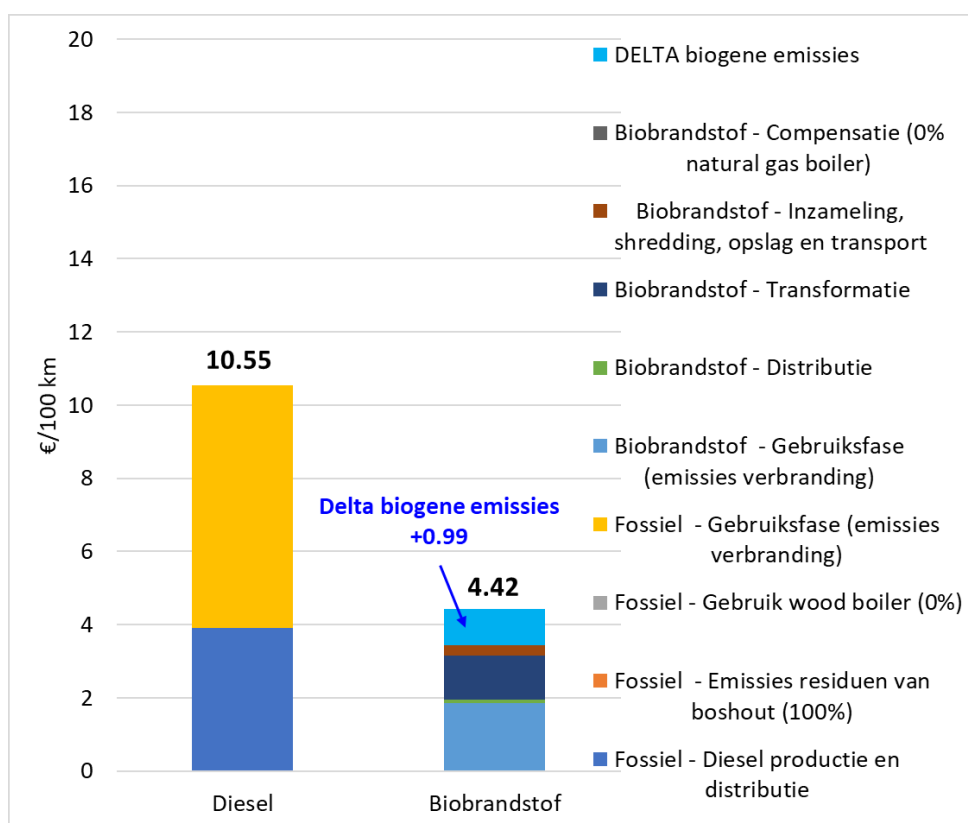
6.2.1.3 Resultaten per impact categorie

De grafieken en de tabel in bijlage geven de gedetailleerde milieuresultaten per impactcategorie.

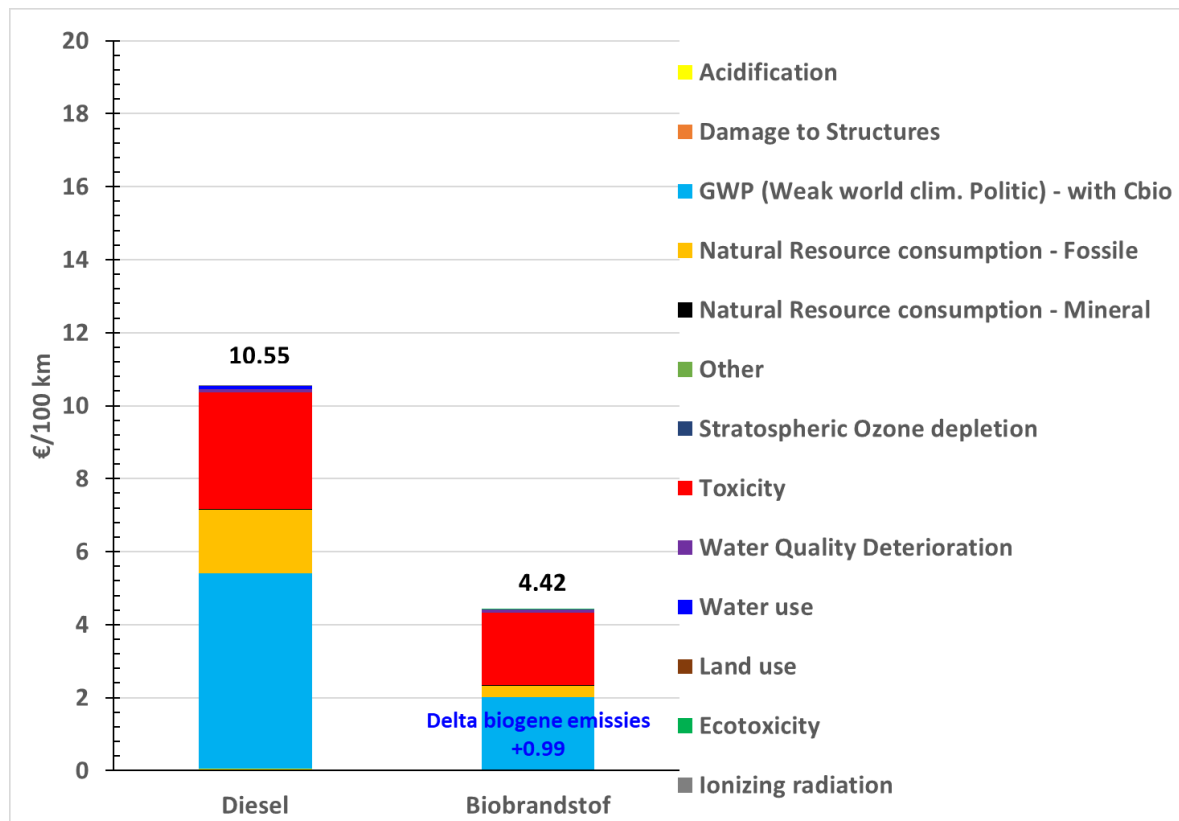
6.2.1.4 Gevoeligheidsanalyse

Houtverbranding door particulieren emitteert relatief veel toxische emissies, in het bijzonder fijn stof. Deze gevoeligheidsanalyse analyseert de potentiële situatie dat er geen vervanging is van particuliere houtverbranding door biobrandstofproductie. In dit geval heeft de afvoer van houtresiduen uit bosexploitatie geen gevolg op vlak van houtverbruik elders. De resultaten worden hieronder voorgesteld. Ze blijven gunstig voor biodiesel, met een iets kleiner verschil.

Figuur 43: Biodiesel uit bosresidu (zonder vervanging houtkachels) - Totaal gemonetariseerde milieu impacten (per stap van de levenscyclus)



Figuur 44: Biodiesel uit bosresidu (zonder vervanging houtkachels) - Totaal gemonetariseerde milieu impacten (per milieu-impact categorie)



6.2.1.5 Milieu - conclusie

De milieubaat van biodiesel is significant (-65%; 5,5 vs. 15,7 € milieuschade per 100 km) in het basis geval (met monetaire evaluatie). De baat heeft vooral twee redenen:

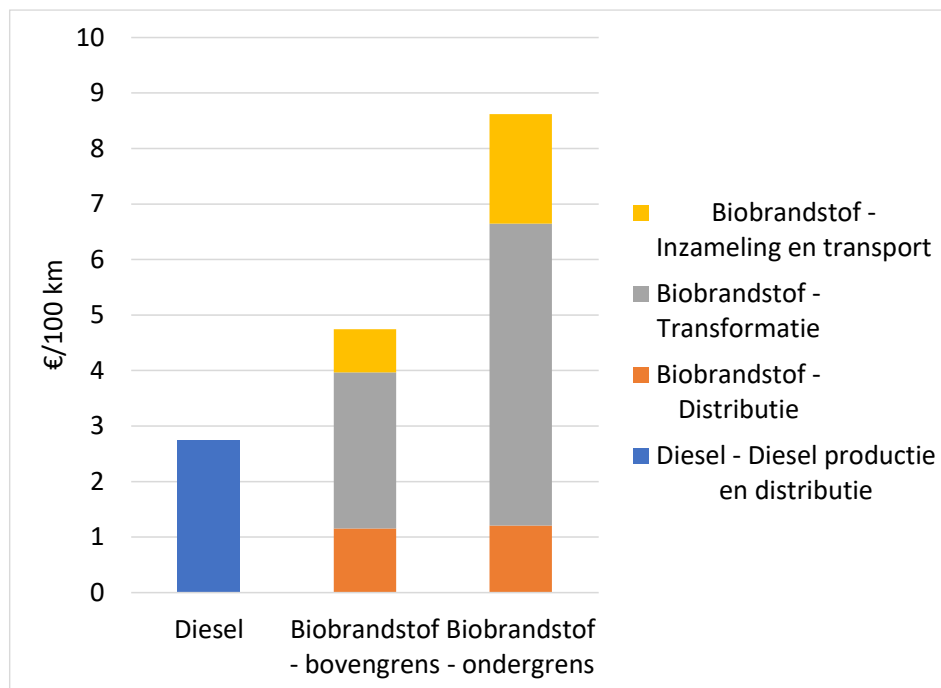
- Er wordt minder diesel verbruikt: een hernieuwbare grondstof (hout) vervangt een fossiele brandstof.
- Er wordt minder hout door particulieren thuis verbrand en zo worden toxische emissies (vooral fijn stof) vermeden.

De milieubaat wordt iets kleiner maar blijft significant (-58%; 4,4 vs. 10,5€/100km) wanneer houtgebruik bij particulieren niet vervangen wordt in het biobrandstof scenario.

De milieubaat is kleiner maar toch significant op basis van de PEF-modellering.

6.2.2 Biodiesel uit bosresidu - Economie

Figuur 45: Biodiesel uit bosresidu - Economische kosten



De kost in het biobrandstof scenario ligt significant hoger dan in het diesel scenario. In de kostmodellering met de boven-/ondergrens kost is het biobrandstof scenario tussen 1,99 en 5,87 €/100 km hoger dan het diesel scenario.

Dit is hoofdzakelijk te verklaren door de hoge transformatiekosten.

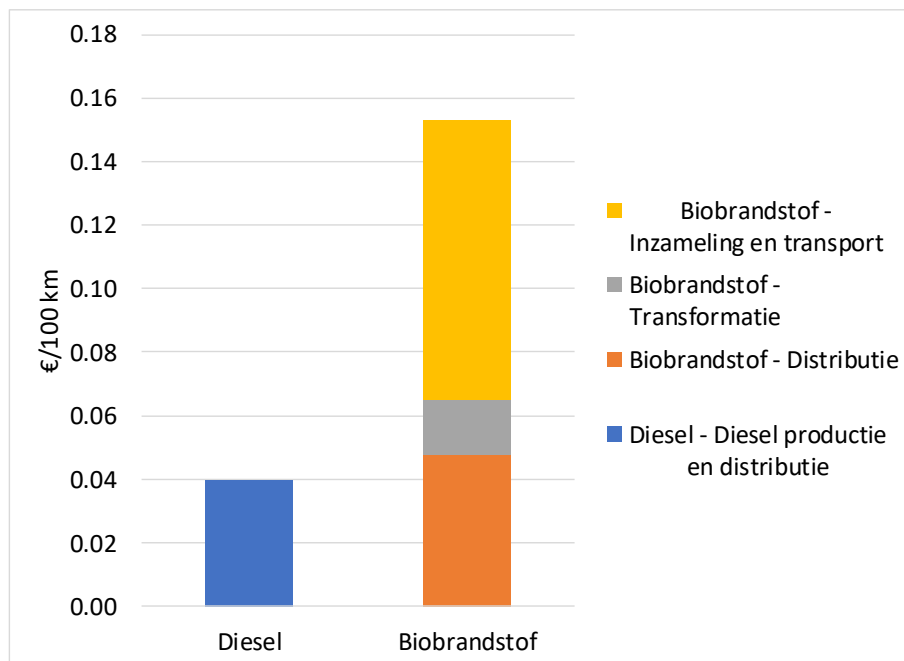
Het verschil tussen de bovengrens en ondergrens transformatie modellering komt uit:

- De onzekerheid over de operationele kost van het pyrolyse proces
- De schaalvergroting en de optimalisatie die tot een daling van de kapitaalkost kan leiden.

Zoals eerder aangegeven moet er rekening mee gehouden worden dat de lage transformatiekost bij de 'biobrandstof-bovengrens' pas op lange termijn zou kunnen haalbaar zijn met een grote uitrol van deze technologie.

6.2.3 Biodiesel uit bosresidu - Sociaal

Figuur 46: Biodiesel uit bosresidu - Sociale baten

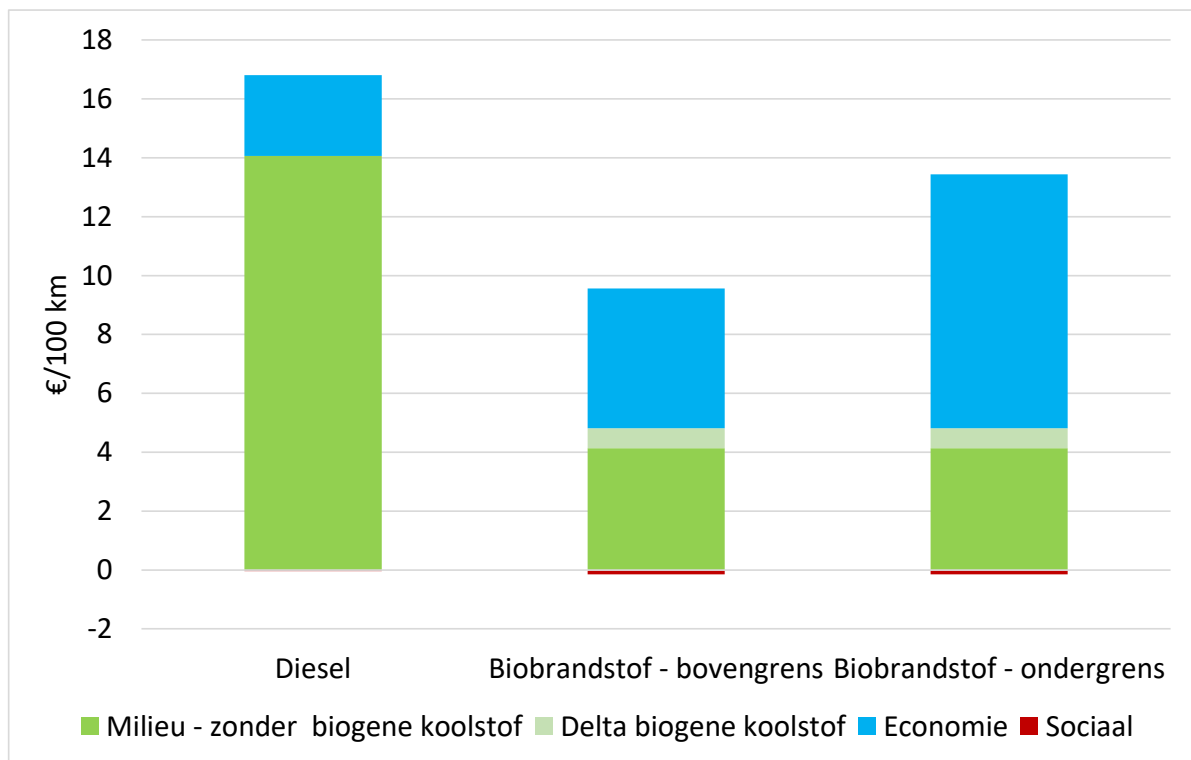


De berekende sociale impacts zijn bijna enkel verbonden aan jobcreatie. De baten in het biobrandstof scenario zijn significant hoger (0,11 €/100 km) dan in het diesel scenario.

Let op: in deze figuur is een hogere score (in baten) gunstig, in tegenstelling tot de vorige figuren (uitgedrukt in kosten).

6.2.4 Biodiesel uit bosresidu - Geaggregeerde maatschappelijke resultaten

Figuur 47: Biodiesel uit bosresidu - Geaggregeerde maatschappelijke resultaten



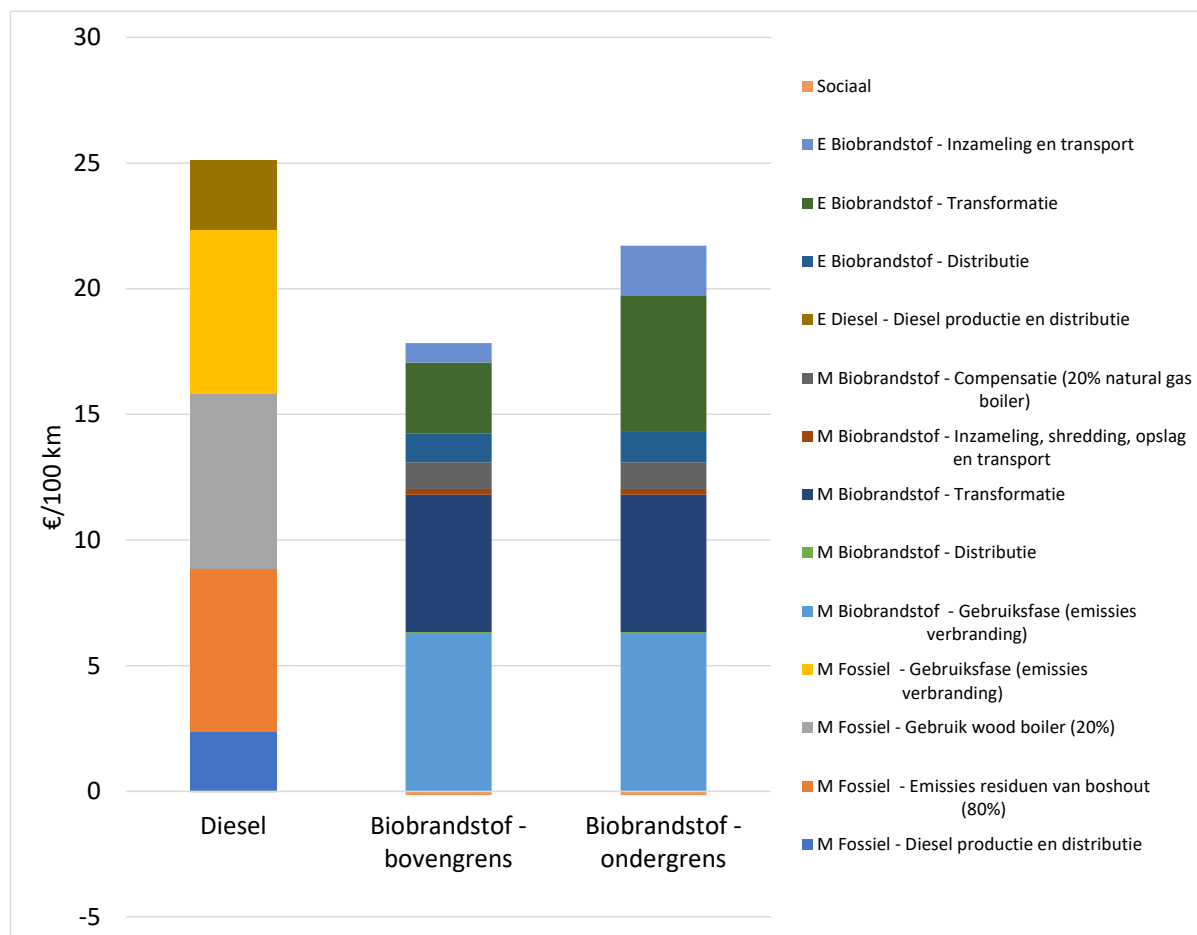
De milieu en economische impacten hebben de grootste invloed op de geaggregeerde maatschappelijke resultaten. De sociale impact heeft een heel beperkte invloed op de geaggregeerde maatschappelijke resultaten.

Het totaal is maatschappelijk gunstig voor de doorgerekende case van biodiesel productie via pyrolyse, zowel voor onder- als bovengrens modellering.

De kost van de CO₂eq reductie van klimaatimpact wordt ingeschat op 10,5 kg CO₂eq/100km in de basisdoorrekening van de biodiesel case. Wanneer dit gerelateerd wordt aan de extra economische kost voor biobrandstof, zou de kost van de CO₂eq reductie variëren tussen 184 €/t CO₂eq en 543 €/t CO₂eq.

Het hanteren van hogere (775 €/tCO₂eq) of lagere (55 €/tCO₂eq) monetaire waarden voor CO₂eq zou geen impact hebben op deze conclusie.

Figuur 48: Biodiesel* uit bosresidu - Gedetailleerde geaggregeerde maatschappelijke resultaten



Legende: M = milieu, E = economie en S = sociaal (tewerkstelling)

* Let op: in deze grafiek zijn alle biogene koolstof emissies inbegrepen (dus in het diesel referentiescenario ook de biogene CO₂-emissies bij degradatie van houtresiduen in het bos). Daarom liggen de totalen ongeveer 8€ per 100 km hoger dan in de vorige grafieken.

Het grootste verschil tussen referentie- en biobrandstofscenario's komt van de milieu impactten, met vooral de (vermeden) fijn stof emissies uit houtkachels als sleutelement. Daarnaast zijn er ook de lagere fossiele broeikasgasemissies en verlaagd verbruik aan hulpbronnen.

Het verschil voor biogene koolstof is beperkt want het grootste deel wordt sowieso geëmitteerd omwille van de degradatie van de residuen in het bos (in het benzine scenario). De doorgerekende case had een vrij hoog

conversierendement van hout naar biodiesel (~65%) - de biogene CO₂-emissies in de biobrandstof keten komen deels vrij tijdens het transformatieproces, deels bij eindgebruik in het voertuig.

De economische kost van de transformatie heeft een grote bijdrage aan het geaggregeerde resultaat, vooral in de 'ondergrens' doorrekening.

6.3 VERGELIJKING TUSSEN CASESTUDIES 2A EN 2B

6.3.1 Resultaten

Met bovenstaande aannames zijn er duidelijke maatschappelijke voordelen om biobrandstof (biomethaan of biodiesel) geproduceerd met bosresiduen te gebruiken in plaats van fossiele brandstoffen (aardgas of diesel).

Het lijkt ook grotere voordelen te hebben voor de maatschappij om de bosresiduen te gebruiken om biodiesel te produceren t.o.v. biomethaan.

Het verschil tussen casestudie 2b (pyrolyse) en casestudie 2a (methanatie) is vooral omwille van:

- de minder energie-intensieve* transformatie naar biodiesel dan naar biomethaan
- de lagere emissies (NO_x, CO, VOS, fijn stof) van biodiesel dan deze van diesel.

* De efficiëntie bij methaanconversie is wel conservatief (50%) omdat de beschikbare volledige gegevens van 10 jaar geleden dateren, terwijl de cijfers van pyrolyse eerder prospectief zijn (65%). Volgens IRENA (2016) zijn gelijkaardige conversierendementen haalbaar voor beide opties, met een licht voordeel voor pyrolyse. De impact van transformatie weegt dus waarschijnlijk minder zwaar in de realiteit dan in deze modellering. Maar het verandert in ieder geval de conclusies niet.

6.3.2 Biobrandstoffen uit bosresiduen – randbemerkingen bij de interpretatie van de resultaten

Zoals eerder aangegeven zijn de aangehaalde resultaten in de vorige secties gevoelig voor aannames die rond de case gebeurd zijn.

De afbraak van bosresiduen hangt sterk af van lokale omstandigheden (vochtigheid, temperatuur, bodemkwaliteit) en het type residuen (dunne tegenover dikkere fracties). Ook kunnen er niet-lineaire effecten zijn (bv relatief lage impact als weinig residuen worden weggehaald, relatief hogere impact als er veel wordt weggehaald). In deze studie hebben we een vereenvoudigde aanname gemaakt dat 10% van de koolstof in de residuen op lange termijn in de bodem achterblijft, onafhankelijk van het oogstniveau, het type residu of de

lokale omstandigheden. Een meer diepgaande analyse (met specifiek bosonderzoek op dit gebied) zou nodig zijn om de onzekerheid hier rond te beperken.

Transformatie:

- In deze case is al een vrij hoog conversierendement aangenomen van hout naar biodiesel (~65%). Op dit moment lijkt deze case beter te scoren met de methaan case (2a), maar voor biomethaan was gerekend met vrij conservatieve conversierendementen (50%), terwijl op termijn gelijkaardige conversierendementen als bij pyrolyse haalbaar zijn.
- In deze case is uitgegaan van een standalone conversie van pyrolyse-olie naar biodiesel. Er zijn verschillende initiatieven gaande om pyrolyse-olie mee te verwerken in bestaande olieraffinageprocessen. Dit zou kunnen leiden tot een gevoelige verlaging van de kapitaalkost. Op dit moment zijn de conversierendementen bij co-raffinage nog vrij onzeker, vandaar dat we dit nog niet hebben kunnen doorrekenen.
- Er wordt ook gedacht aan technieken om de pyrolyse om te zetten naar scheepsbrandstof, wat minder hoge eisen zou stellen aan de eindkwaliteit. Dit kan ook een significante impact hebben op de productiekost.

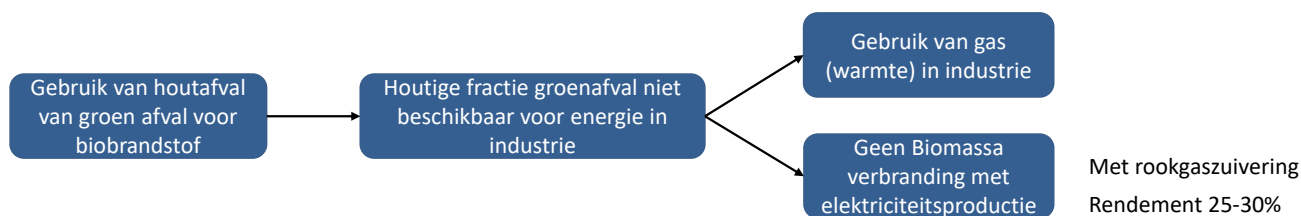
Gevolgaanname rond verschuiving van particuliere houtstook:

Een mogelijke discussie is ook of de vermindering van particuliere houtstook een gevolg kan zijn van de productie van biobrandstof, maar niet eerder het gevolg zal zijn van gericht beleid hier rond. In dat geval is de referentiesituatie eerder 100% achterlaten in het bos (zie gevoeligheidsanalyse).

7 CASESTUDIE 3A: METHAAN GEPRODUCEERD UIT DE HOUTIGE FRACTIE VAN GROENAFVAL

7.1 MODELLERING – AANNAMES

Volgende figuur geeft een inschatting van de gevolgen van het gebruik van de houtige fractie van groenafval voor de productie van biobrandstoffen.



Figuur 49: Gevolgen gebruik houtige fractie groenafval

De houtfractie van groenafval die in aanmerking komt voor de productie van biobrandstoffen, wordt nu al voor een stuk afgescheiden uit groenafval voor energieopwekking in industriële biomassacentrales. Dit gebeurt typisch in WKKs, waarbij de verdeling tussen elektrisch en thermisch rendement sterk kan verschillen. We nemen hier een gemiddeld elektrisch rendement van 25-30% en gemiddeld warmterendement rond 40% op jaarbasis (in de winter doorgaans hogere, in de zomer lagere afzet warmte). Als de houtige fractie van groenafval gebruikt wordt voor de productie van biobrandstoffen, is het mogelijk dat bedrijven gas gebruiken voor hun energieopwekking i.p.v. hout. Dit nemen we als basiscase.

Het is echter ook realistisch dat deze centrales overgaan op andere biomassa bronnen (bv. bosresiduen of beheer van houtkanten). Maar deze andere biomassa bronnen waren soms ook al gevaloriseerd. Uiteindelijk ofwel worden afvalstromen gevaloriseerd die het vroeger niet waren ofwel wordt er meer fossiele energie verbruikt. Het eerste geval is gunstiger voor biobrandstoffen (gelijkaardig aan case 2a). Het tweede geval is ongeveer neutraal (gelijkaardig aan case 4).

Voor gevoeligheidsanalyse moeten we de resultaten van case 2a en van case 4 dus naast de resultaten van de basiscase zetten.

7.1.1 Milieu

7.1.1.1 Algemene beschrijving en “Functionele eenheid”

De functionele basiseenheid is: "100 km reizen met een personenwagen¹²⁷ in 2030".

Methaan zal misschien meer voor zwaar vervoer (vrachtwagens, bussen, scheepvaart) gebruikt worden in 2030 maar het verschil tussen biomethaan en aardgas zal hetzelfde zijn omdat de impacten verbruiksproportioneel zijn.

In deze casestudie:

- Hout: houtige fractie van groenafval
- Biobrandstof: methaan 96% vol. (vanuit syngas) ofwel “biomethaan”.
- Fossiele brandstof: aardgas (CNG)

Zie dezelfde paragraaf in Casestudie 2a - Methaan geproduceerd uit residuen van bosexploitatie.

Het “Referentie scenario” bevat ook de “End-of-Life” van hout uit groenafval

- hout van groenafval wordt in een industriële houtketel gebruikt (voor elektriciteits- en/of warmteproductie). Let dat ook Nederlandse biomassacentrales van plan zijn om dit type biomassa in Vlaanderen op te halen voor hun werking.

Een ander realistisch alternatief is dat bepaalde houtfracties - indien niet gebruikt voor biobrandstof - versnipperd worden en ingezet voor bodembedekking. Ook in dat geval is de case gelijkaardig aan case 2a (deel van de koolstof wordt opgenomen in de bodem).

7.1.1.2 Het stoppen van de initiële functie

We gaan er hier van uit dat hout in een industriële biomassacentrale gebruikt wordt, en dat warmtevoorziening door houtverbranding in industriële biomassacentrales voor productie van elektriciteit en warmte (WKK) vervangen wordt door WKKs op aardgas. *Het is ook realistisch dat deze biomassacentrales overgaan op andere biomassa bronnen (bv. bosresiduen of beheer van houtkanten). In dat geval zal de impact van deze case vergelijkbaar zijn met case 2a.*

De volgende processen van Ecolnvent werden gebruikt voor de doorrekeningen (op basis van de gelijkwaardigheid van nuttige MJ, d.w.z. rekening houdend met de eigen verliezen en opbrengsten van elk type ketel):

- Voor hout, een mix van 50/50% van:

¹²⁷ Ecolnvent process “transport, passenger car, medium size, natural gas, EURO 5 “km” “RER”

- “heat, district or industrial, heat production, hardwood chips from forest, at furnace 1000kW, state-of-the-art 2014”
- “heat, district or industrial, heat production, softwood chips from forest, at furnace 1000kW, state-of-the-art 2014
- Deze processen zijn gelijkaardig:
 - “Heat with hardwood”: 0,134 kg CO₂ bio/MJ (nuttige MJ), LHV: 18,3 MJ/kg (on dry matter)
 - “Heat with softwood”: 0,128 kg CO₂ bio/MJ (nuttige MJ), LHV: 19,1 MJ/kg (on dry matter)

Voor gas: “heat, district or industrial, heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW”

7.1.1.3 Productie en distributie van aardgas

Zie dezelfde paragraaf in Casestudie 2a - Methaan geproduceerd uit residuen van bosexploitatie.

7.1.1.4 Biomethaan productie

Zie dezelfde paragraaf in Casestudie 2a - Methaan geproduceerd uit residuen van bosexploitatie.

7.1.1.5 Emissies in gebruiksfase (voertuig)

Zie dezelfde paragraaf in Casestudie 2a - Methaan geproduceerd uit residuen van bosexploitatie.

7.1.1.6 Biomethaan distributie

Zie dezelfde paragraaf in Casestudie 2a - Methaan geproduceerd uit residuen van bosexploitatie.

7.1.1.7 Transport van hout

Zie paragraaf in Casestudie 2a - Methaan geproduceerd uit residuen van bosexploitatie.

Hier zijn enkele verschillen met residuen van bosexploitatie:

- Geen versnipperingsproces - dit is gelijkwaardig in de referentie case en biobrandstof case.
- Startpunt is de plaats van compostering groenafval (dus geen collectie uit het bos). De houtige fractie wordt in de referentiecase getransporteerd naar biomassacentrales; in het biobrandstof scenario gaat het naar biomethaanproductie eenheden. Maar er zal allicht weinig verschil zijn in transport.

7.1.2 Economie - Sociaal

Aangezien de milieuresultaten ongunstig zijn voor de basiscase waar biomassa WKKs vervangen worden door aardgas WKKs, werden de economische en sociale impacten niet geanalyseerd.

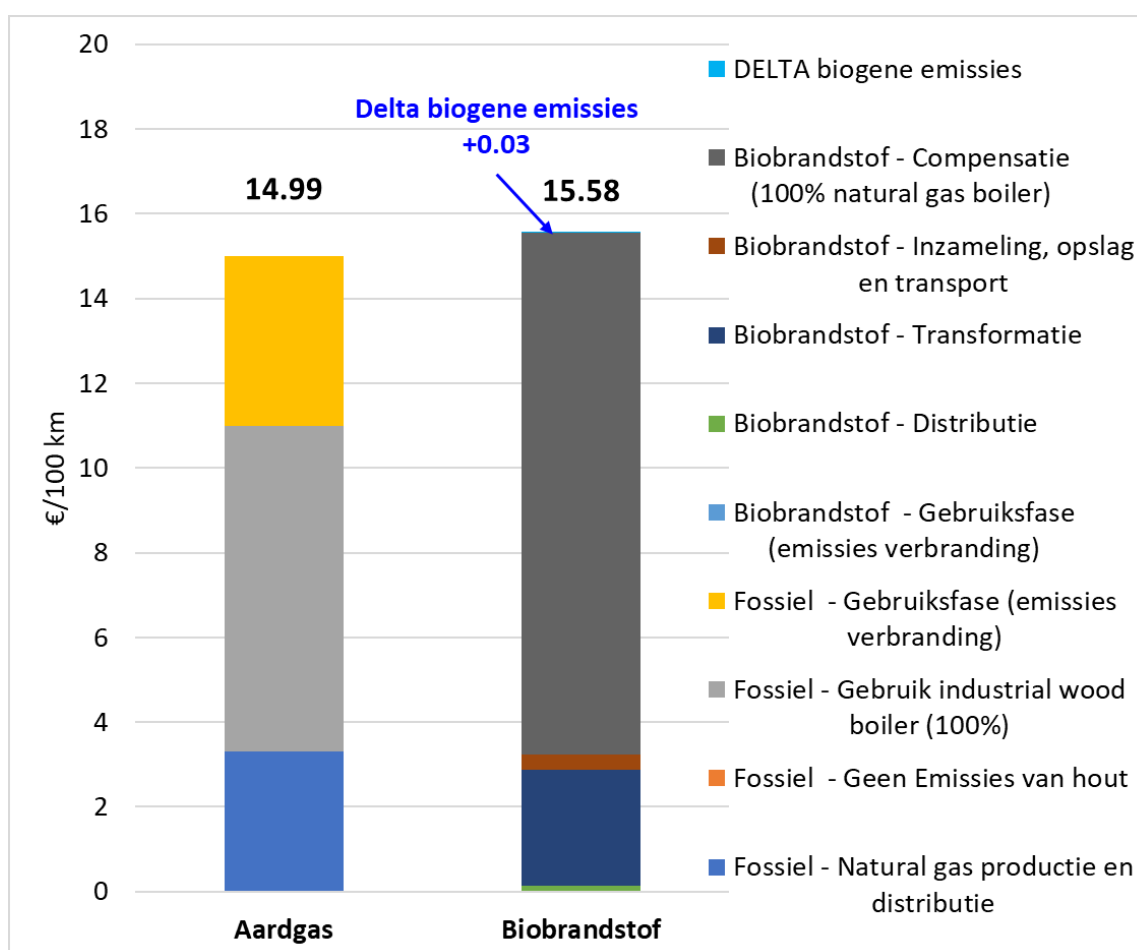
7.2 RESULTATEN

7.2.1 Methaan uit groenafval - Milieu

7.2.1.1 Gemonetariseerde resultaten

De volgende grafiek toont de gemonetariseerde milieuresultaten voor het basisgeval. De resultaten voor alle impactcategorieën zijn geaggregeerd en geëvalueerd in euro.

Figuur 50: Methaan uit groenafval - Totaal gemonetariseerde milieu impacten

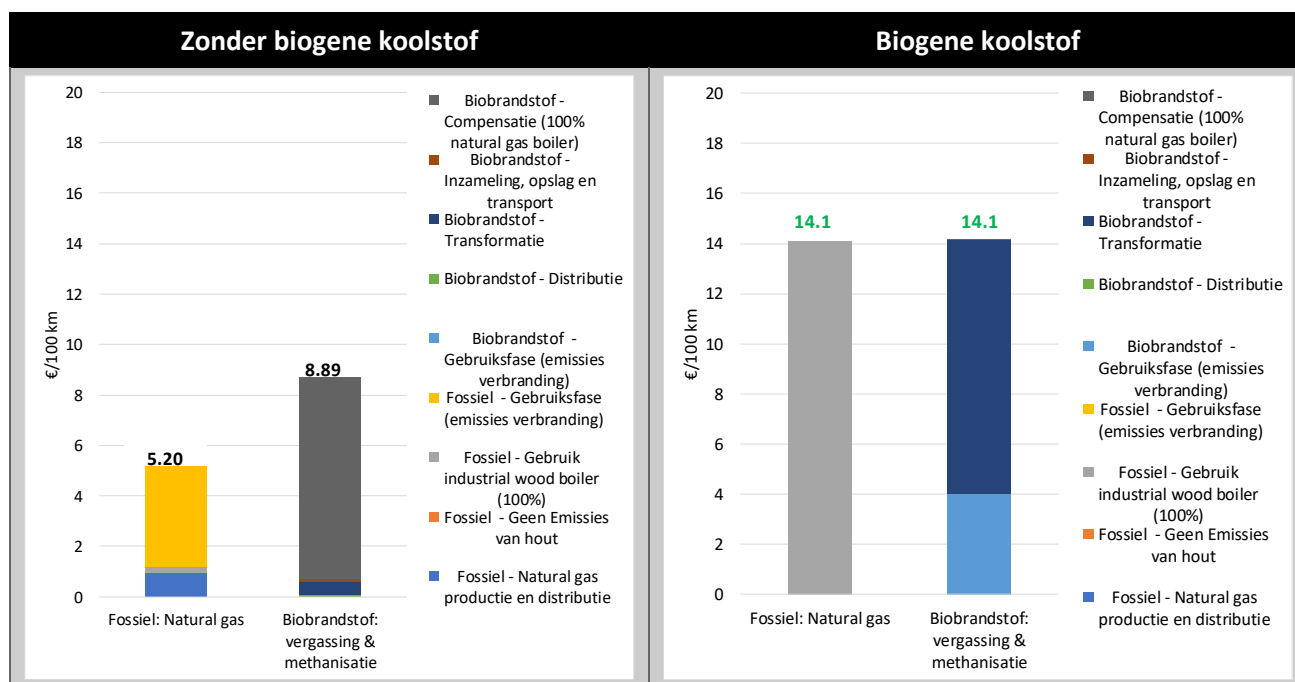


De milieuimpact van de doorgerekende basiscase voor biomethaan is licht ongunstig (maar moet beschouwd worden als gelijkaardig gezien de onzekerheid van de gegevens) t.o.v. het aardgas alternatief. Globaal bekeken is de aanname dat het gebruik van deze biomassa in biomassacentrales vervangen wordt door aardgas

allesbepalend. De milieupacten van de transformatie naar biomethaan worden gecompenseerd door de hogere efficiëntie en de lagere emissies (fijn stof en NO_x per MJ) van een aardgasketel t.o.v. houtketel, zelfs met WKK. De conclusie is dat inzet van biomassa voor biomassacentrales (licht) beter is dan in biobrandstof.

We bekijken de onderliggende cijfers rond klimaatimpact iets dieper.

Figuur 51: Methaan uit groenafval - Gemonetariseerde klimaatimpacten



- Biogene koolstof

De totale biogene CO₂-emissies (uitgedrukt in monetaire impact) als 100% van de koolstof in de houtige fractie van groenafval wordt omgezet in CO₂ worden ingeschat op 14,1€/100km. In het biomethaan scenario worden de meeste biogene CO₂-emissies uitgestoten **tijdens het verwerkingsproces** en slechts een beperkt deel bij het **gebruik van biomethaan** als transportbrandstof. In het referentiescenario worden de biogene CO₂-emissies uitgestoten in de biomassacentrale (bij productie van elektriciteit en warmte). Gezien deze biogene koolstof in beide scenario's in de atmosfeer wordt uitgestoten, is er geen beduidend verschil in totale biogene CO₂-emissies.

- Fossiele koolstof:

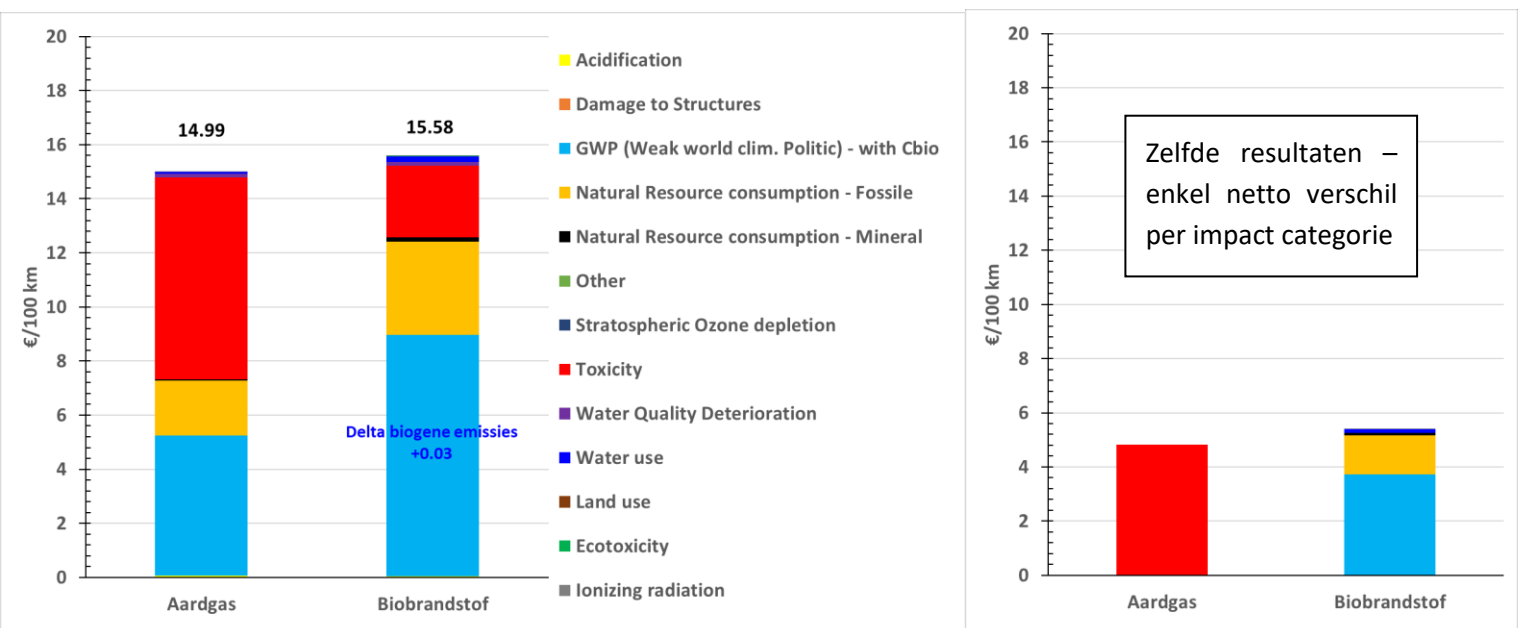
- De uitstoot van fossiele CO₂ van het biobrandstof scenario is een stuk groter dan wat uitgestoten wordt in het **benzine referentiescenario**. De voornaamste reden daarvoor is het vervangen van biomassa door aardgas in WKKs: het geeft aanleiding tot zeer hoge fossiele CO₂-emissies in het

biobrandstof scenario (hier 8,18€/100km). **Inzameling, transformatie, distributie** spelen een kleinere rol.

Uiteindelijk wordt de biomassa via vergassing en methanatie maar met een rendement van 50% omgezet in biomethaan, terwijl aan de andere kant aardgas (grotendeels fossiele methaan) bijna één op één de biomassa vervangt in de WKK. De productie van biomethaan compenseert dus in feite maar iets meer dan de helft van het extra aardgasverbruik bij deze aannames. De resultaten zijn gevoelig voor de gehanteerde rendementen.

Onderstaande grafiek toont, naast klimaatimpact, ook de bijdrage van andere impactcategorieën aan de gewogen resultaten. De **hogere klimaatimpact** wordt hierin grotendeels gecompenseerd door een **lagere toxiciteit**. De grote bijdrage van humane toxiciteit in het huidige scenario is vooral verbonden aan de fijn stof en NOx emissies van de biomassacentrale (verantwoordelijk voor 95% van de toxische emissies van het scenario).

Figuur 52: Methaan uit groenafval - Totale milieubijdragen



De details voor **toxiciteit** worden hieronder gegeven.

Opmerking: er wordt geen rekening gehouden met toxische voertuigemissies omdat die in beide scenario's gelijk zijn.

<i>“Gebruik industrial wood boiler (100%)”</i>		
	7,065 €/100km	95%
○ PM2,5	4,209 €	59,6%
○ NOx	2,382 €	33,7%
○ Cr VI in water/bodem	0,254 €	3,6%
○ SO ₂	0,116 €	1,6%

De berekening van de fijn stof emissies werd als volgt gemodelleerd op basis van Ecolnvent data (uitgaande van 38 mg/Nm³ uitstoot van fijn stof bij houtverbranding op een schaal van 1000 kW).

Figuur 53: Emissiefactoren houtverbranding 10000 kw (Ecolnvent)

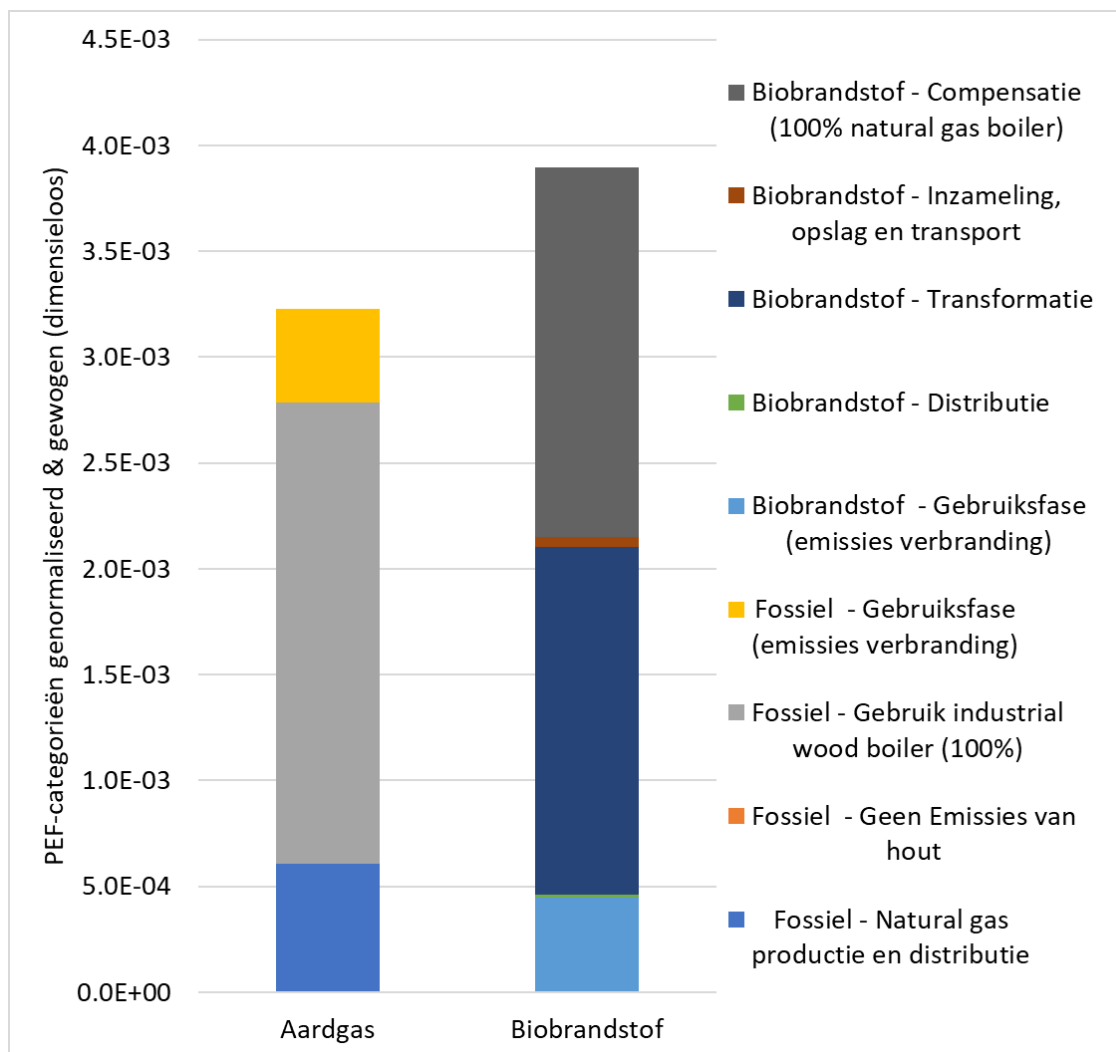
3.82E-05	kg fijn stof/Nm ³ droge rookgassen
4.56	Nm3/ kg droog hout (gegevens uit de literatuur)
1.74E-04	kg fijn stof/kg droog hout
0.0683	kg droog hout per MJ
1.19E-05	kg fijn stof per MJ
Legende	input data

7.2.1.2 Resultaten met gebruik van de JRC wegingsmethode

De via de 50% “experten” en 50% “public” wegingsfactoren van de JRC gewogen resultaten leiden tot andere algemene conclusies dan de gemonetariseerde effecten. De impacten van biobrandstof liggen hier hoger.

Voor meer duiding rond deze wegingsmethode, verwijzen we naar het rapport over het ‘Afwegingskader’.

Figuur 54: Methaan uit groenafval - PEF-categorieën genormaliseerd & gewogen (dimensie loos)



Dezelfde commentaar is van toepassing als voor Figuur 50.

Opmerking: in deze grafiek werden alle biogene emissies bijgeteld (dus in het aardgas referentiescenario ook de biogene CO₂-emissies bij degradatie van houtresiduen in het bos).

7.2.1.3 Resultaten per impact categorie

De grafieken en de tabel in bijlage geven de gedetailleerde milieuresultaten per impactcategorie.

7.2.1.4 Gevoeligheidsanalyse

Indien houtige fractie van groenafval niet meer beschikbaar is voor biomassacentrales (WKKs), is er

- ofwel terug een verschuiving naar fossiele brandstof om deze energie te produceren, waarbij de case in feite dezelfde impact heeft als case 4;
- ofwel gaan deze biomassacentrales op zoek naar andere biomassa (zoals bosresiduen of hout van kantenbeheer), waarbij de case in feite dezelfde impact heeft als case 2b.

7.2.2 Methaan uit groenafval – Economie en sociaal

Aangezien de milieuresultaten ongunstig zijn voor de doorgerekende basis case, werden de economische en sociale impacten niet geanalyseerd.

7.2.3 Biomethaan uit de houtige fractie van groenafval – randbemerkingen bij de interpretatie van de resultaten

Zoals eerder aangegeven zijn de aangehaalde resultaten in de vorige secties zeer gevoelig voor aannames die rond de case gebeurd zijn. De twee belangrijkste aannames zijn:

- de vervanging van biomassacentrales (die de houtige fractie van groenafval gebruiken) door WKK installaties op aardgas;
- het verschil in rendement tussen de biomassacentrales (WKKs) en de aardgas WKKs.

Met deze gehanteerde aannames scoort biomethaan zeer slecht op gebied van klimaatimpact maar de milieuimpact hiervan wordt grotendeels gecompenseerd door vermeden toxische emissies van de biomassacentrales.

Het kan verwacht worden dat de milieu-impact van andere technologieën - zoals houtverbranding in biomassacentrales - in de toekomst ook verder verbeterd zal worden door sterkere rookgasreiniging. In dit geval scoort biomethaan in de basiscase zeker slechter.

Belangrijke opmerking:

Deze case toont de subtiliteit van consequentiële analyse op basis van voorafgaande gevolginschattingen. De toekomst is per definitie onzeker en de modellering van toekomstige situaties is dus altijd gebaseerd op aannames. Daarom worden gevoeligheidsanalyses uitgevoerd.

Er wordt vaak een foute redenering gemaakt dat gevolginschattingen tot cirkelredeneringen kunnen leiden, bijvoorbeeld als er twee mogelijke opties van gebruik biomassa voor energie zijn (bio-WKK vs biofuel) en waarbij één van de opties bij het fossiel scenario gerekend wordt. Dit is met name belangrijk als beide opties beleidsondersteuning vergen (zoals in geval van biobrandstof en bio-WKK). Een optie kan bijvoorbeeld zijn dat voor een biobrandstof case het fossiel scenario doorgerekend wordt met bio-WKK toepassing als referentie; en een andere optie dat voor een bio-WKK case het fossiele scenario wordt doorgerekend met biobrandstof toepassing als referentie. Als het om evenwaardige oplossingen zou gaan, zou de verkeerde conclusie dan in beide gevallen zijn dat ze weinig voordeel zouden hebben ten opzichte van fossiele brandstof. Eigenlijk is de juiste conclusie dat ze beide even (niet) waardevolle alternatieven zijn t.o.v. het niet valoriseren van het afval. Je hebt 3 mogelijkheden: N (niets doen met het afval), optie A en optie B. Als A of B beter is dan N, is het gunstig om het afval te valoriseren. Dan is de vraag: A of B? De meest gunstige keuze is de optie met het grootste voordeel. Je berekent het verschil tussen A en B, de milieubaat van een valorisatieoptie t.o.v. een andere. En de baat van een A-B vervanging kan inderdaad klein zijn. In deze case wordt optie A (hout in biomassacentrale) al toegepast¹²⁸ en de vraag is of het niet beter zou zijn om dit hout te gebruiken om er biomethaan van te maken (optie B). De vraag wordt dus niet gesteld (noch beantwoord) of B al dan niet beter is dan N. De casestudies 2a en 2b vergelijken B met N.

Een soortgelijke redenering is ook van toepassing als het buitenland sterkere beleidsondersteuning biedt voor bepaalde biomassa toepassingen (biomassacentrales of biobrandstofproductie), waardoor bepaalde stromen worden uitgevoerd om daar te worden ingezet. Ook hier zou een gevolginschatting de buitenlandse toepassing als referentie kunnen beschouwen in het fossiele scenario, waardoor toepassing in eigen land ondergeschikt wordt aan een eventuele (opkomende) vraag van het buitenland. *(dit is geen retorische case, gezien een aantal nieuwe biomassacentrales in Nederland rekenen op invoer van bepaalde stromen uit Vlaanderen – zoals de houtige fractie van groenafval)*. Dit is de correcte aanpak. Voor het klimaat maakt het inderdaad niets uit of CO₂

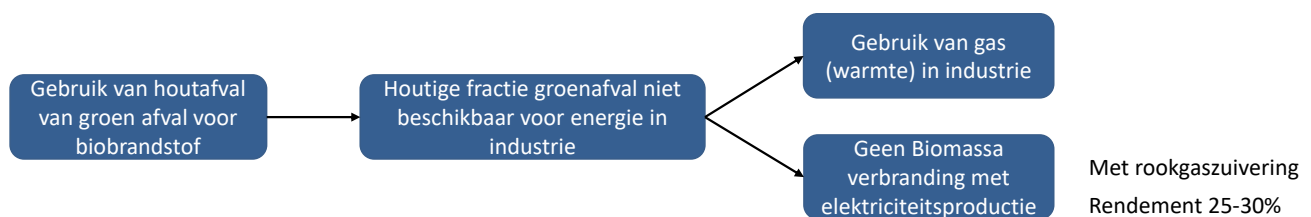
¹²⁸ Deze stromen worden nu maar deels ingezet in biomassacentrales; er is nog veel ruimte. We gaan ervan uit dat optie A veralgemeend zou kunnen zijn in 2030, maar dit hangt ook af van de beleidsondersteuning daarvoor.

in Nederland of in België uitgestoten wordt. Als de situatie evolueert van België verbruikt fossiel en Nederland biomassa naar het omgekeerd, is er geen milieubaat.

Conclusie: In geval een biomassagrondstof al gebruikt wordt (of verwacht wordt te worden gebruikt) voor een andere energietoepassing is de milieubaat verbonden aan zijn gebruik in een nieuwe toepassing duidelijk kleiner dan in het geval van afwezigheid van alternatieve valorisatie. Het is moeilijk om de juiste gevolgen van de ondersteuning van deze biobrandstoftoepassing op voorhand in te schatten (*in deze case zijn mogelijke opties verbreding aanbod biomassa, verschuiving naar fossiele energie, of verschuiving naar andere types hernieuwbare energie maar dan moet het ook verder bekeken worden of het gaat om de verbreding van het aanbod hernieuwbare energie of een bijkomende productie van hernieuwbare energie*). Een meer diepgaande analyse is dan aangewezen om de gevolgen in kaart te brengen, binnen het tijdsperspectief waarin de onderzochte beleidskeuze impact zou hebben (hier post 2030). Andere beleidskeuzes (ook in het buitenland) kunnen hierin interfereren, en dit moet mee in rekening gebracht moeten worden in deze analyse.

8 CASESTUDIE 3B: BIODIESEL GEPRODUCEERD UIT DE HOUTIGE FRACTIE VAN GROENAFVAL

Volgende figuur geeft een inschatting van de gevolgen van het gebruik van de houtige fractie van groenafval voor de productie van biobrandstoffen.



Figuur 55: Gevolgen gebruik houtige fractie van groenafval

Beschrijving: zie casestudie 3a

Het is ook realistisch dat biomassacentrales overgaan op andere biomassa bronnen (bv. bosresiduen of beheer van houtkanten). In dat geval is de case gelijkaardig aan case 2b. Voor gevoeligheidsanalyse moeten we de resultaten van case 2b en case 4 dus naast de resultaten van de basiscase zetten.

8.1 MODELLERING - AANNAMES

8.1.1 Milieu

8.1.1.1 Algemene beschrijving en "Functionele eenheid"

De functionele basiseenheid is: "100 km reizen met een personenwagen¹²⁹ in 2030".

Biodiesel zal meer voor zwaar vervoer (vrachtwagens, scheepvaart) gebruikt worden in 2030 en daarna, maar het verschil tussen diesel en biodiesel zal gelijkaardig zijn omdat de impacten doorgaans evenredig met het verbruik zijn.

In deze casestudie:

- Hout: houtige fractie van groenafval

¹²⁹ EcolInvent process "transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 5" km" "RER"

- Biobrandstof: biodiesel
- Fossiele brandstof: diesel

Zie dezelfde paragraaf in "CASESTUDIE 2B: BIODIESEL GEPRODUCEERD UIT RESIDUEN VAN BOSEXPLOITATIE"

Het "Referentie scenario" bevat ook de "End-of-Life" van het hout uit groenafval

Zie dezelfde paragraaf in "CASESTUDIE 3A: METHAAN GEPRODUCEERD UIT DE HOUTIGE FRACTIE VAN GROENAFVAL"

8.1.1.2 Het stoppen van de initiële functie

Zie dezelfde paragraaf in "CASESTUDIE 3A: METHAAN GEPRODUCEERD UIT DE HOUTIGE FRACTIE VAN GROENAFVAL"

8.1.1.3 Productie en distributie van diesel

Zie dezelfde paragraaf in "CASESTUDIE 2B: BIODIESEL GEPRODUCEERD UIT RESIDUEN VAN BOSEXPLOITATIE"

8.1.1.4 Biodiesel productie

Zie dezelfde paragraaf in "CASESTUDIE 2B: BIODIESEL GEPRODUCEERD UIT RESIDUEN VAN BOSEXPLOITATIE"

8.1.1.5 Delta emissie (verbrandingsmotor)

Zie dezelfde paragraaf in "CASESTUDIE 2B: BIODIESEL GEPRODUCEERD UIT RESIDUEN VAN BOSEXPLOITATIE"

8.1.1.6 Biodiesel distributie

Zie dezelfde paragraaf in "CASESTUDIE 2B: BIODIESEL GEPRODUCEERD UIT RESIDUEN VAN BOSEXPLOITATIE"

8.1.1.7 Transport van hout

Zie dezelfde paragraaf in "CASESTUDIE 3A: METHAAN GEPRODUCEERD UIT DE HOUTIGE FRACTIE VAN GROENAFVAL"

8.1.2 Economie

Het doel van deze sectie is de economische kosten te kwantificeren (referentie scenario en biobrandstof).

8.1.2.1 Referentie scenario

Zie dezelfde paragraaf in "CASESTUDIE 2B: BIODIESEL GEPRODUCEERD UIT RESIDUEN VAN BOSEXPLOITATIE"

De kost (zonder marge en belastingen) van diesel wordt ingeschat op 41,3 €/MWh.

8.1.2.2 Inzameling en transport

Er is weinig informatie beschikbaar over de kost van de houtfractie in de groenafval stroom. We benaderen de kost van de houtfractie in groenafval met de kost van bosresiduen die een gelijkaardige fractie is. Deze kost¹³⁰ kwam neer op 9 - 25 €/MWh biodiesel als materiaal kost en 2,3 - 4,6 €/MWh biodiesel voor transportkost.

Zie dezelfde paragraaf in "CASESTUDIE 2B: BIODIESEL GEPRODUCEERD UIT RESIDUEN VAN BOSEXPLOITATIE"

8.1.2.3 Transformatie

Zie dezelfde paragraaf in "CASESTUDIE 2B: BIODIESEL GEPRODUCEERD UIT RESIDUEN VAN BOSEXPLOITATIE"

Voor de modellering gebruiken we de minimale (42 €/MWh)¹³¹ en maximale (82 €/MWh)¹³² waarden.

8.1.2.4 Distributie

Zie dezelfde paragraaf in "CASESTUDIE 2B: BIODIESEL GEPRODUCEERD UIT RESIDUEN VAN BOSEXPLOITATIE"

De totale distributiekost van biodiesel wordt aangenomen tussen 17,34 en 18,14 €/MWh.

8.1.2.5 Gebruik van de brandstoffen

Het wordt verondersteld dat er geen verschil is tussen het gebruik van diesel en biodiesel.

¹³⁰ De kosten zijn uitgedrukt per ton droge stof.

¹³¹ Lage kosten met groot kapitaal en operationele kostendaling.

¹³² Hoge kosten met laag kapitaal en operationele kostendaling.

8.1.3 Sociaal

Het doel van deze sectie is de sociale impacten van de jobcreatie te kwantificeren (referentie scenario en biobrandstof).

Ter herinnering (zie rapport afwegingskader): de baat van VTE-jobcreatie wordt ingeschat op 38 905 € per jaar. De sociale baat verbonden aan tewerkstelling is het aantal VTE vermenigvuldigd met dit bedrag.

8.1.3.1 Referentie scenario

Zie dezelfde paragraaf in "CASESTUDIE 2B: BIODIESEL GEPRODUCEERD UIT RESIDUEN VAN BOSEXPLOITATIE"

8.1.3.2 Bestudeerd scenario

Op basis van Statbel cijfers voor omzet en tewerkstelling werden de jobs in België van de verschillende stappen van de keten geschat met de volgende hypothesen:

- Hout uit groenafval: zoals bosresiduen (Houtinfobois¹³³: 608 643 €/VTE)
Deze vereenvoudiging heeft geen impact op de totale maatschappelijke kosten en baten.
- Transformatie: zoals benzineproductie
- Distributie: zoals benzinedistributie

8.2 BIODIESEL UIT GROENAFVAL - RESULTATEN

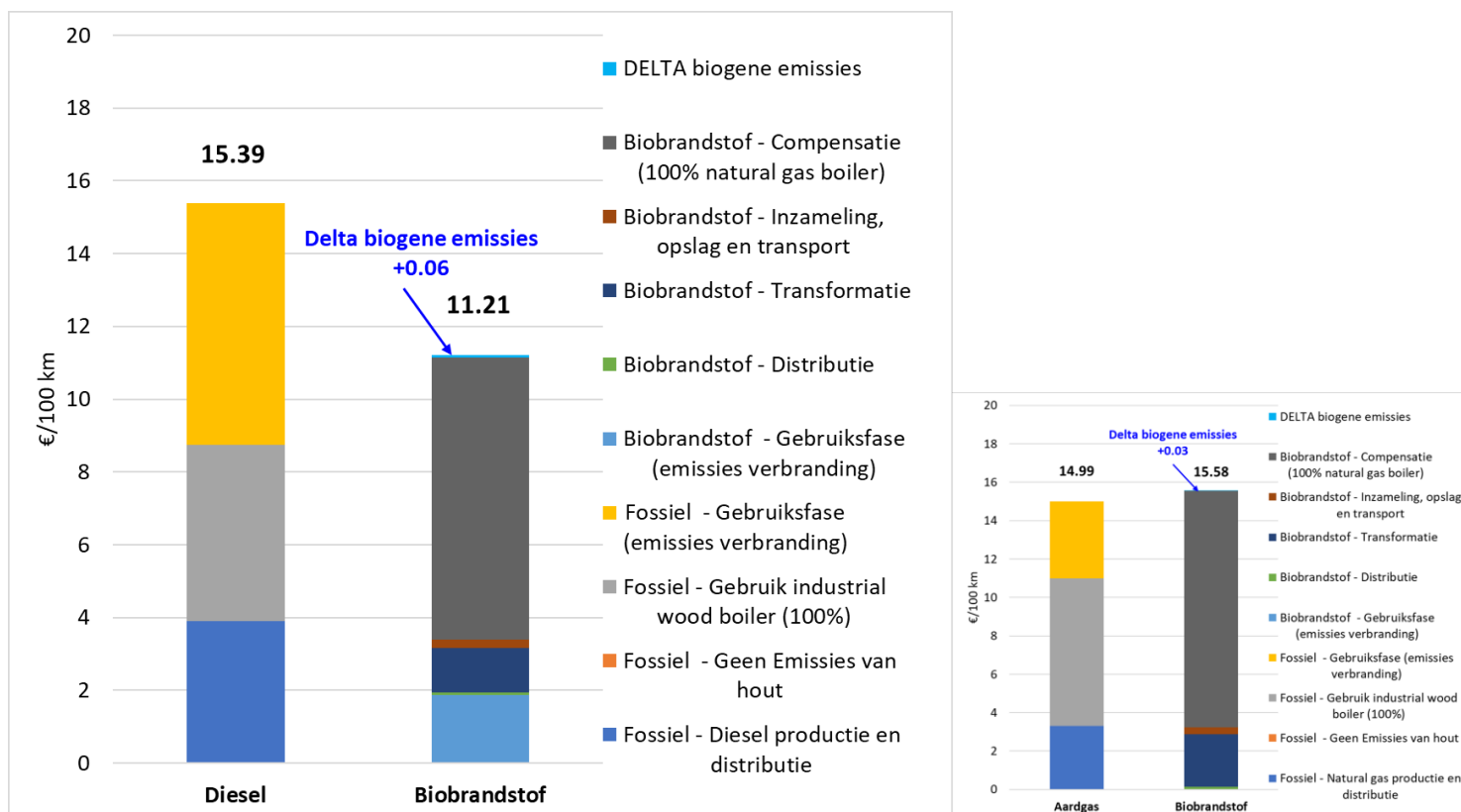
8.2.1 Biodiesel uit groenafval - Milieu

8.2.1.1 Gemonetariseerde resultaten

De volgende grafiek toont de gemonetariseerde milieuresultaten voor het basisgeval. De resultaten voor alle impactcategorieën zijn geaggregeerd en geëvalueerd in euro.

¹³³ <https://houtinfobois.be/nl/het-bos-en-het-hout/belgische-houtverwerkingssector/>

Figuur 56: Biodiesel uit groenafval - Totaal gemonetariseerde milieu impacten



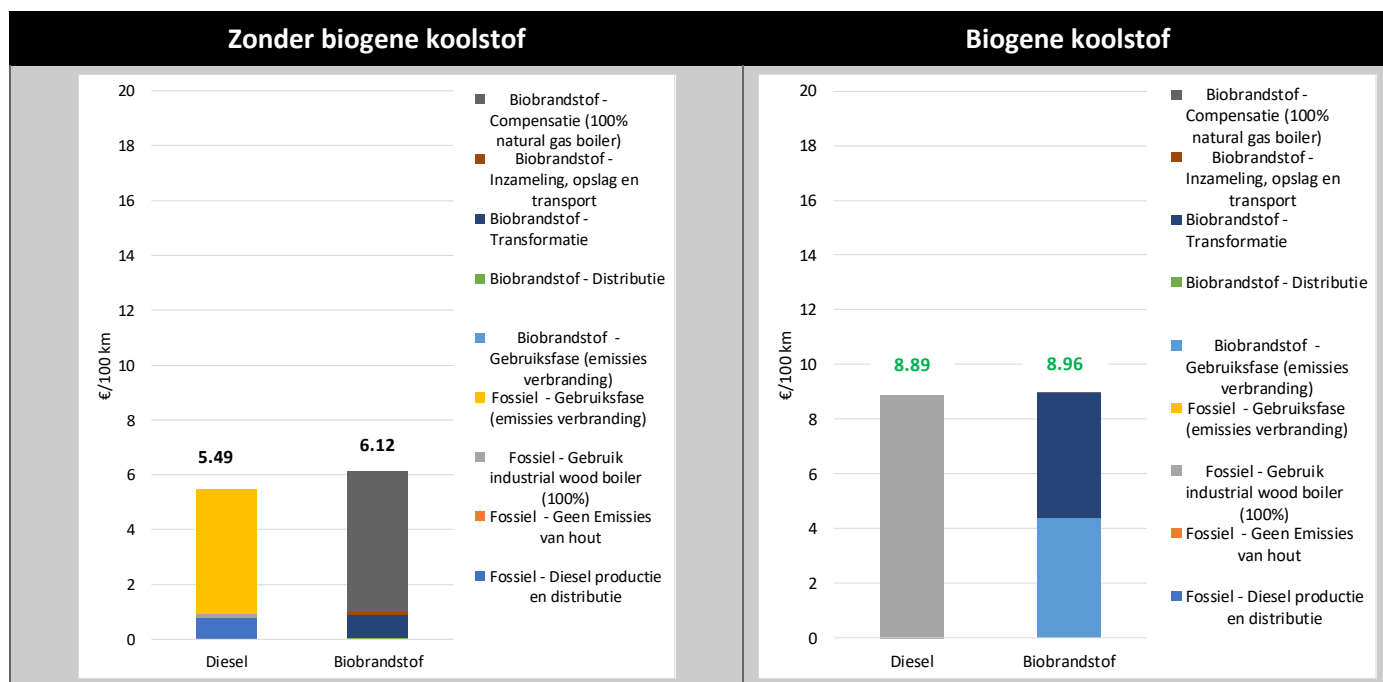
De milieupact van biodiesel in deze doorgerekende case is globaal gunstig t.o.v. het diesel alternatief. Het verschil t.o.v. casestudie 3a (methaanatie, zie kleine grafiek -herhaling Figuur 50 - naast de grote) is vooral omwille van:

- de minder energie-intensieve* transformatie naar biodiesel dan naar biomethaan¹³⁴
- de lagere emissies (NO_x, CO, VOS, fijn stof) van biodiesel dan deze van diesel.

We bekijken de onderliggende cijfers rond klimaatimpact iets dieper.

¹³⁴ De efficiëntie bij methaanconversie is wel conservatief (50%) omdat de beschikbare volledige gegevens van 10 jaar geleden dateren, terwijl de cijfers van pyrolyse eerder prospectief zijn (65%). Volgens IRENA (2016) zijn gelijkaardige conversierendementen haalbaar voor beide opties, met een licht voordeel voor pyrolyse. De impact van transformatie weegt dus waarschijnlijk minder zwaar in de realiteit dan in deze modellering. Maar het verandert in ieder geval de conclusies niet.

Figuur 57: Biodiesel uit houtige fractie groenafval - Gemonetariseerde klimaatimpacten



- Biogene koolstof

De totale biogene CO₂-emissies (uitgedrukt in monetaire impact) als 100% van de koolstof in de houtige fractie van groenafval wordt omgezet in CO₂ worden ingeschat op 8,9€/100km voor de biodiesel. In het referentiescenario worden de biogene CO₂-emissies uitgestoten in de biomassacentrale (bij productie van elektriciteit en warmte). Gezien deze biogene koolstof in beide scenario's in de atmosfeer wordt uitgestoten, is er geen beduidend verschil in totale biogene CO₂-emissies. In het biodieselscenario worden ongeveer evenveel biogene CO₂-emissies uitgestoten **tijdens het verwerkingsproces** als bij **gebruik van biodiesel** als transportbrandstof.

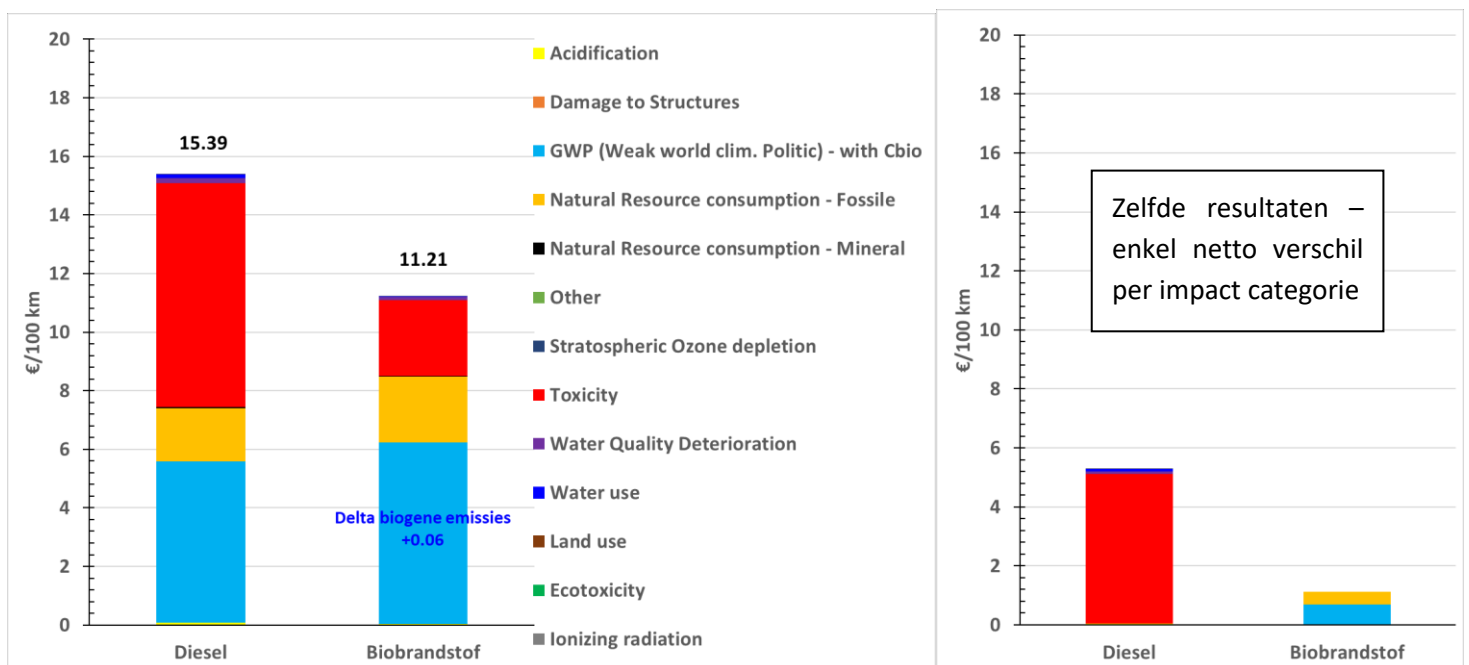
- Fossiele koolstof:

De uitstoot van fossiele CO₂ van het biobrandstof scenario is gelijkaardig wat uitgestoten wordt in het **diesel referentiescenario**. De voornaamste reden daarvoor is het vervangen van biomassa door aardgas in WKKs : het geeft aanleiding tot zeer hoge fossiele CO₂-emissies in het biobrandstof scenario (hier 5,15€/100km). **Inzameling, transformatie, distributie spelen een kleinere rol**. De productie van biodiesel compenseert dus in feite maar een deel van het extra aardgasverbruik.

De volgende grafiek toont, naast de klimaatimpact, ook de bijdrage van andere impactcategorieën aan de gewogen resultaten.

Het voordeel van biodiesel is in de doorgerekende case afkomstig van de vermeden toxische emissies in biomassacentrales, en een licht voordeel van toxische emissies bij verbranding in het voertuig.

Figuur 58: Biodiesel uit groenafval - Totale milieubijdragen



Hieronder enkele detailgetallen op gebied van **toxiciteit**:

- Diesel: 7,64 €/100km

○ Gebruik industrial wood boiler (100%)	4,45 €	58,3%
▪ Fijn stof (PM2,5) (38 mg/Nm ³)	2,648 €	59,5%
▪ NOx	1,502 €	33,7%
▪ Cr VI	0,160 €	3,6%
▪ SO ₂	0,073 €	1,6%

○ Gebruiksfase (emissies verbranding)	1,97 €	25,8%
▪ NOx	1,912 €	97,0%
▪ Fijn stof (PM2,5)	0,052 €	2,7%
▪ SO ₂	0,006 €	0,3%
○ Diesel productie en distributie	1,22 €	15,9%
▪ SO ₂	0,652 €	53,6%
▪ Fijn stof (PM2,5)	0,313 €	25,8%
▪ Cr VI	0,102 €	8,4%
▪ NOx	0,133 €	10,9%

- Biobrandstof - biodiesel: 2,57 €/100km

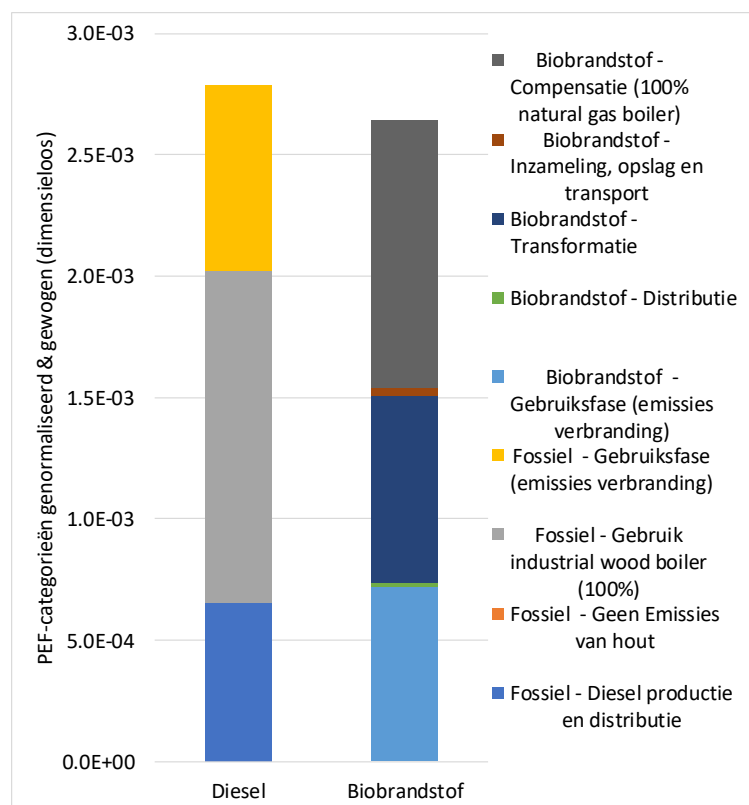
○ Gebruiksfase (emissies verbranding)	1,76 €	68,3%
▪ NOx	1,721 €	97,9%
▪ Fijn stof (PM2,5)	0,037 €	2,1%
○ Compensatie (100% natural gas boiler)	0,59 €	23,0%
▪ NOx		47%
▪ Cr VI		18%
▪ SO ₂		17%
▪ Fijn stof (PM2,5)		15%
○ Inzameling, opslag en transport	0,109 €	4,2%
○ Biodiesel - Transformatie	0,076 €	3,0%
○ Biodiesel - Distributie	0,038 €	1,5%

8.2.1.2 Resultaten met gebruik van de JRC wegingsmethode

De via de 50% “experten” en 50% “public” wegingsfactoren van het JRC gewogen resultaten leiden tot dezelfde algemene conclusies als de gemonetariseerde effecten, al is het verschil hier kleiner.

Voor meer duiding rond deze wegingsmethode, verwijzen we naar het rapport over het ‘Afwegingskader’.

Figuur 59: Biodiesel uit groenafval - PEF-categorieën genormaliseerd & gewogen (dimensie loos)



Dezelfde commentaar is van toepassing als voor Figuur 56.

8.2.1.3 Resultaten per impact categorie

De grafieken en de tabel in bijlage 0 geven de gedetailleerde milieuresultaten per impactcategorie.

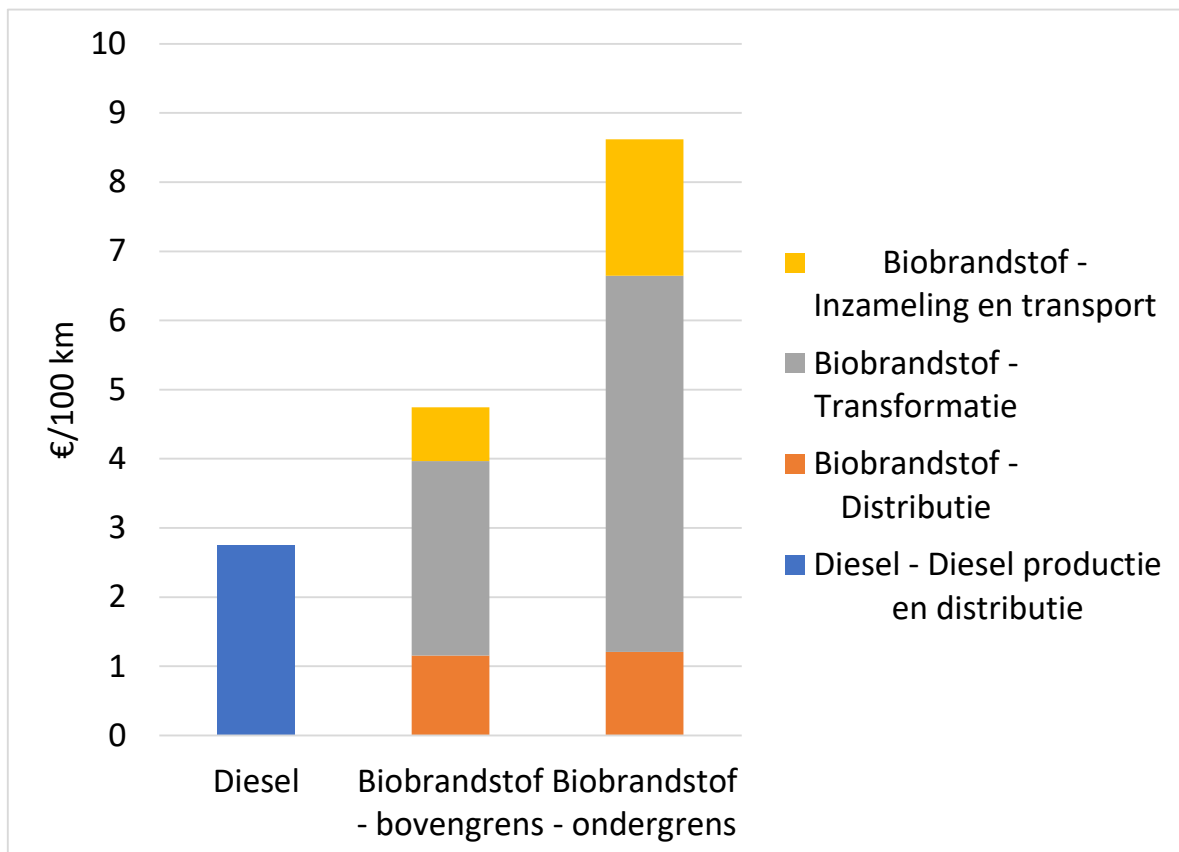
8.2.1.4 Gevoeligheidsanalyse

Indien wordt aangenomen dat biomassacentrales andere types biomassa zullen gebruiken (bv bosresiduen of houtfracties die nu in particuliere houtstook worden gebruikt) als een bepaalde stroom richting biobrandstof gaat, is het scenario volledig gelijklopend met

- Ofwel case 2b (biodiesel uit bosresiduen)
- Ofwel case 4 (methaan geproduceerd uit A-hout)

8.2.2 Biodiesel uit groenafval - Economie

Figuur 60: Biodiesel uit groenafval - Economische kosten



De kost in het biobrandstof scenario ligt significant hoger dan in het diesel scenario.

In de kostmodellering met de boven-/ondergrens kost is het biobrandstof scenario tussen 1,99 en 5,87 €/100 km duurder dan het diesel scenario.

Dit is hoofdzakelijk te verklaren door de transformatiekosten.

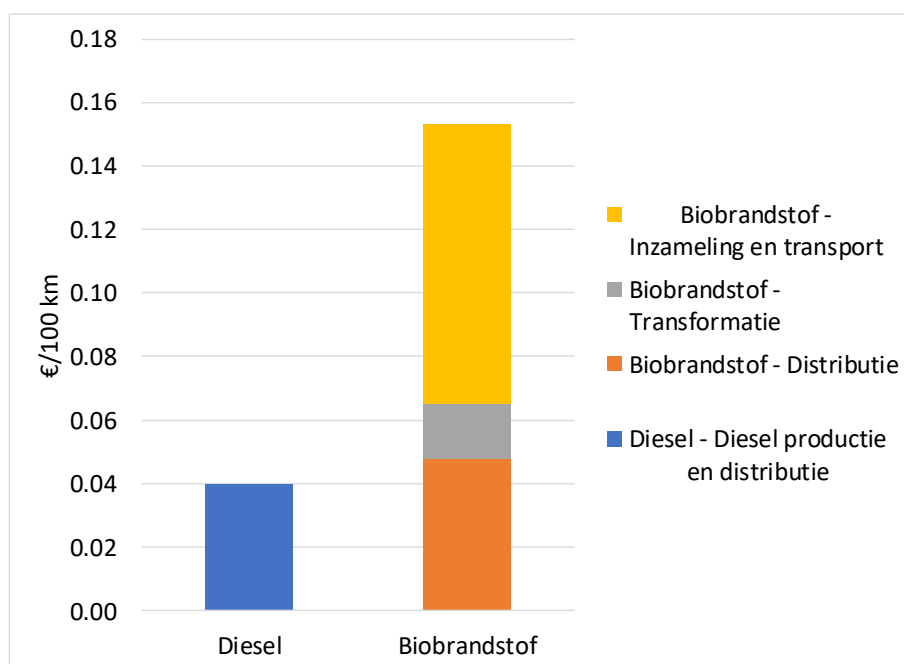
Het verschil tussen de bovengrens en ondergrens transformatie modellering komt uit:

- De onzekerheid over de operationele kost van het pyrolyse proces
- De schaalvergroting en de optimalisatie die tot een daling van de kapitaalkost leiden

Zoals eerder aangegeven moet er rekening mee gehouden worden dat de lage transformatiekost bij de 'biobrandstof-bovengrens' pas op lange termijn zou kunnen haalbaar zijn met een grote uitrol van deze technologie.

8.2.3 Biodiesel uit groenafval - Sociaal

Figuur 61: Biodiesel uit groenafval - Sociale baten

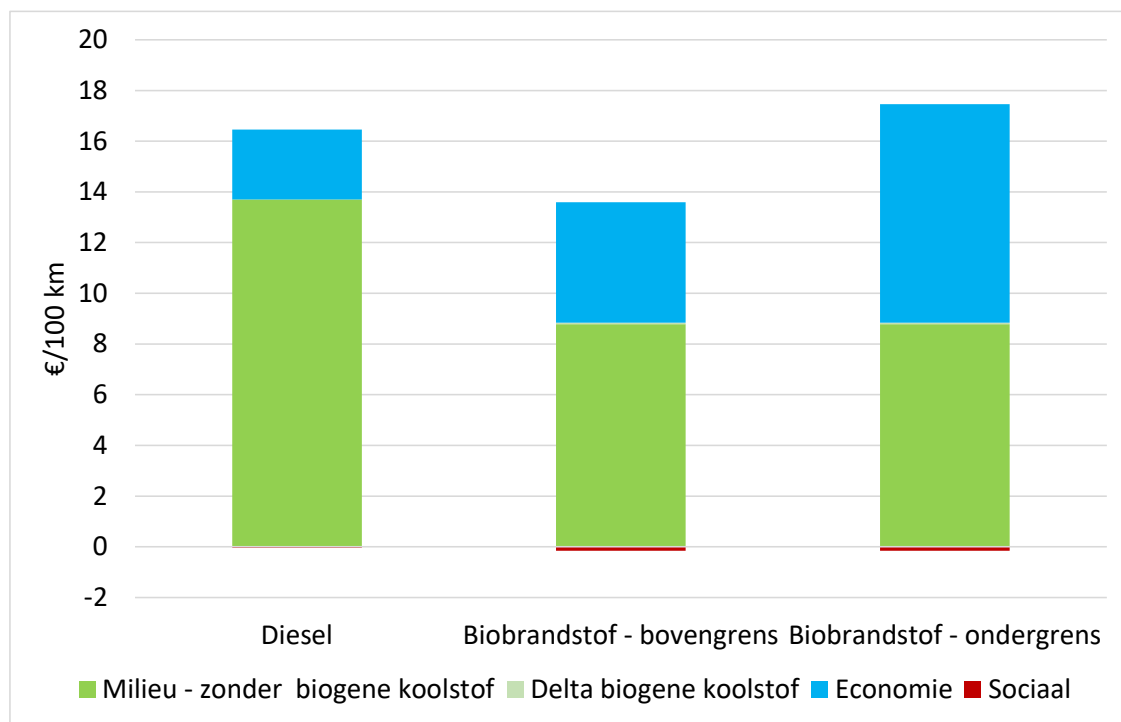


De berekende sociale impacts zijn bijna enkel verbonden aan jobcreatie. De baten in het biobrandstof scenario zijn significant hoger (0,11 €/100 km) dan in het diesel scenario.

Let op: in deze figuur is een hogere score (in baten) gunstig (in tegenstelling tot de vorige figuren, in kosten).

8.2.4 Biodiesel uit groenafval - Geaggregeerde maatschappelijke impacten

Figuur 62: Biodiesel uit groenafval - Geaggregeerde maatschappelijke resultaten



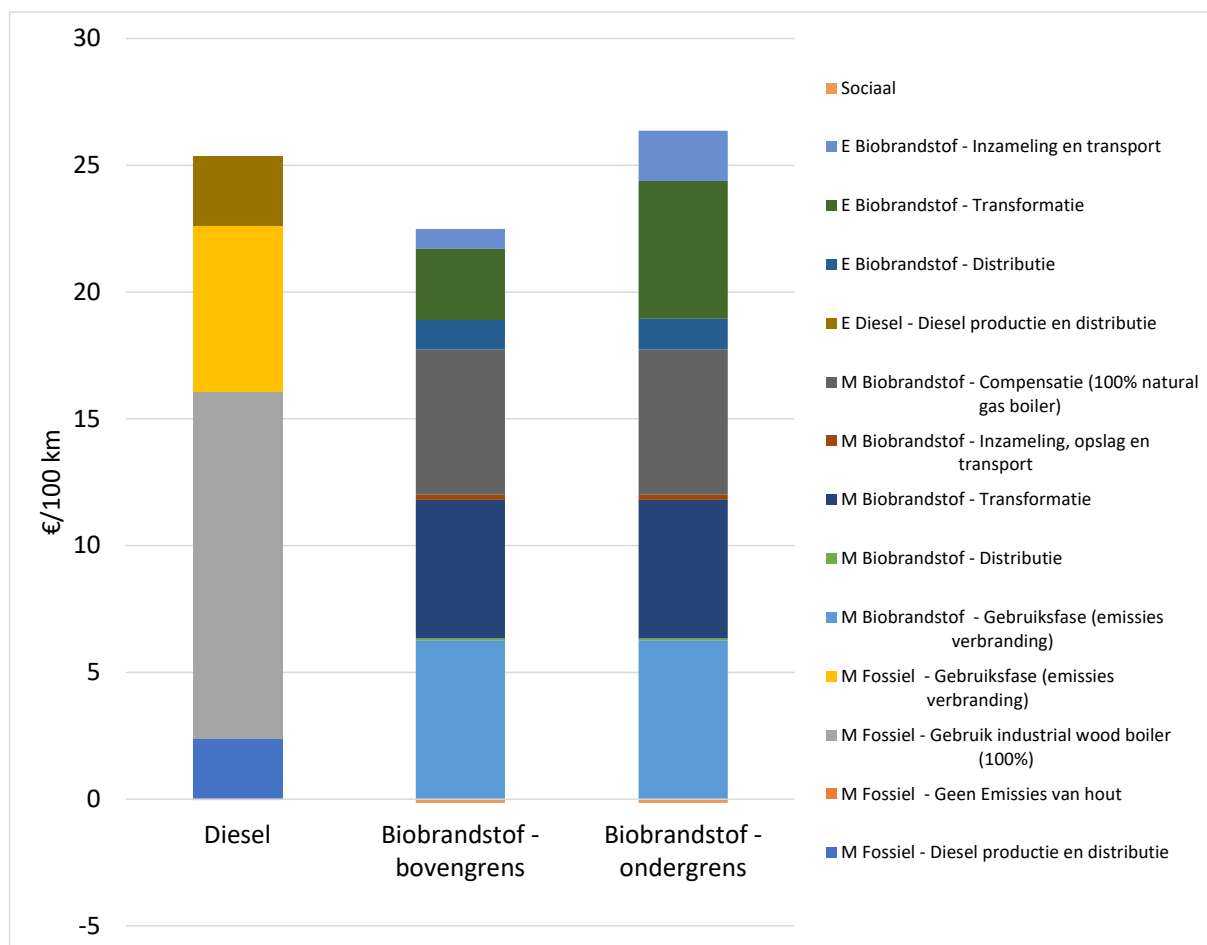
De milieu en economische impacten in de doorgerekende case hebben de grootste invloed op de geaggregeerde maatschappelijke resultaten. De sociale impact heeft een heel beperkte invloed op de geaggregeerde maatschappelijke resultaten.

Het totaal is gunstig voor biobrandstof met de bovengrens modellering en (licht) ongunstig met de ondergrens modellering.

De economische kost is hoger voor de biobrandstof dan voor diesel, de milieukost is lager en dan vooral door vermeden toxische emissies.

De berekening van de kost per ton CO₂-reductie heeft hier geen zin omdat de CO₂-emissie hoger liggen voor het doorgerekende biobrandstof scenario (het voordeel komt van de lagere toxische emissies). Let wel dat de milieuresultaten heel anders uitvallen bij andere aannames rond gevolgimpacten (bv als biomassacentrales op zoek gaan naar andere biomassa, i.p.v. verschuiving naar aardgas).

Figuur 63: Biodiesel* uit groenafval - Gedetailleerde geaggregeerde maatschappelijke resultaten



Legende: M = milieu, E = economie en S = sociaal (tewerkstelling)

* Let op: in deze grafiek zijn alle biogene koolstof emissies inbegrepen (die in beide scenario's gelijkaardig zijn). Daarom liggen alle resultaten ongeveer 9€ hoger per 100 km dan in de vorige grafieken.

Aangezien de milieuresultaten voor casestudie 3a ongunstig zijn, lijkt het beter de houtige fractie van groenafval te gebruiken om biodiesel te produceren (en niet biomethaan).

8.2.5 Biodiesel uit de houtige fractie van groenafval – randbemerkingen bij de interpretatie van de resultaten

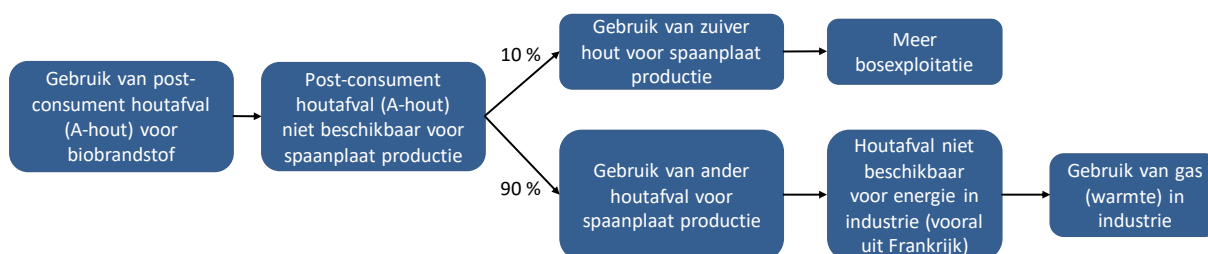
Zoals eerder aangegeven zijn de aangehaalde resultaten in de vorige secties zeer gevoelig voor aannames die rond de case gebeurd zijn. Zie 7.2.3 Biomethaan uit de houtige fractie van groenafval – randbemerkingen bij de interpretatie van de resultaten

Het kan verwacht worden dat de milieu-impact van andere technologieën - zoals houtverbranding in biomassacentrales - in de toekomst ook verder verbeterd zal worden door sterkere rookgasreiniging. In dit geval scoort de biobrandstof productie nog minder goed.

9 CASESTUDIE 4: METHAAN GEPRODUCEERD UIT POSTCONSUMER HOUTAFVAL (A-HOUT)

9.1 MODELLERING – AANNAMES

Volgende figuur geeft een inschatting van de gevolgen van het gebruik van A-hout voor de productie van biobrandstoffen.



Figuur 64: Gevolgen van gebruik A-hout voor biobrandstofproductie

A-hout afval wordt nu grotendeels gebruikt voor spaanplaat productie in Vlaanderen. Als dit A-hout afval niet meer beschikbaar is (omdat het gebruikt zou worden voor biomethaanproductie), dan gaan we ervan uit dat spaanplaatproducenten andere houtbronnen opzoeken, bv. houtafval uit Frankrijk (aannahme voor 90%). Als dat hout niet meer beschikbaar is voor de Franse industrie voor energieopwekking, nemen we aan dat er terug een verschuiving is richting gas in de industrie. Eventueel is het ook mogelijk dat die biomassacentrales gebruik gaan maken van andere biomassabronnen, zoals bosresiduen. In dat geval zal de impact eerder liggen in de buurt van de case 2a (met bijkomende impact van transport van houtafval van Frankrijk naar België).

We nemen ook aan dat spaanplaatproducenten in mindere mate (voor 10%) beroep doen op nieuwe houtbronnen van bosexploitatie (waar het nu niet plaatsvindt maar wél plaats zou vinden door de bijkomende vraag en de hogere prijs).

Een andere mogelijkheid is dat de spaanplaatproductie verlaagd wordt, en vervangen door andere producten (bv plastics). Dit is hier niet doorgerekend, maar zou een belangrijke milieupact kunnen hebben.

9.1.1 Milieu

9.1.1.1 Algemene beschrijving en “Functionele eenheid”

De functionele basiseenheid is: “100 km reizen met een personenwagen¹³⁵ in 2030”.

Methaan zal misschien meer voor zwaar vervoer (vrachtwagens, bussen, scheepvaart) gebruikt worden in 2030 en daarna, maar het verschil tussen methaan en aardgas zal gelijkaardig zijn omdat de impacten evenredig met het verbruik zijn.

In deze casestudie:

- Hout: A-hout (onbehandeld houtafval)
- Biobrandstof: methaan 96% vol. (vanuit syngas) ofwel “biomethaan”.
- Fossiele brandstof: aardgas (CNG)

Zie dezelfde paragraaf in Casestudie 2a - Methaan geproduceerd uit residuen van bosexploitatie.

Het “Referentie scenario” bevat ook het vermeden verbruik van A-hout afval. Er worden 2 situaties beschouwd

- Voor 10% van de input nemen we aan dat bijkomend zuiver hout (uit bos) voor de productie van spaanplaten gebruikt wordt.
- Voor 90% van de input nemen we aan dat ingevoerd houtafval (B-hout) gebruikt als alternatief in spaanplaatproductie. Deze volumes zijn dan niet meer beschikbaar voor industriële biomassacentrales (warmteproductie), wat een verschuiving kan geven richting aardgas. *Het is ook mogelijk dat die biomassacentrales gebruik gaan maken van andere biomassabronnen, zoals bosresiduen.*

9.1.1.2 Het stoppen van de initiële functie

Voor de eerste situatie (spaanplaatproducenten doen beroep op nieuwe houtbronnen van bosexploitatie):

- Er wordt dus zuiver hout gebruikt, met extra houtextractie uit het bos. De koolstof blijft wel opgeslagen in de vorm van houtmaterialen. We nemen aan dat duurzaam bosbeheer wordt toegepast en de extra houtextractie gecompenseerd wordt door bijkomende aanplant van nieuwe bomen en dat de CO₂ opnamecapaciteit van het bos dus niet verstoord wordt (dit betekent o.a. meer captatie van CO₂ door de aangroei van nieuwe bomen, dus een quasi neutrale CO₂-balans).
- Typisch transport van 50 km

¹³⁵ EcolInvent process “transport, passenger car, medium size, natural gas, EURO 5 “km” “RER”

Voor de tweede situatie (spaanplaatproducenten doen beroep op houtafval uit Frankrijk): als dat hout niet meer beschikbaar is voor de Franse industrie voor energieopwekking, nemen we aan dat gas gebruikt wordt in de industrie ter vervanging:

- Minder hout wordt verbrand in een industriële ketel.
- Dit wordt gecompenseerd door meer gasverbruik.

Eventueel is het ook mogelijk dat die biomassacentrales gebruik gaan maken van andere biomassa-bronnen, zoals bosresiduen. In dat geval zal de impact eerder liggen in de buurt van de case 2a, met daarbovenop de impact van transport van houtafval van Frankrijk naar België.

De volgende processen van Ecoinvent werden gebruikt (op basis van de gelijkwaardigheid van nuttige MJ, d.w.z. rekening houdend met de eigen verliezen en opbrengsten van elk type ketel):

Voor hout, een mix van 50/50% van:

- “heat, district or industrial, heat production, hardwood chips from forest, at furnace 1000kW, state-of-the-art 2014”
- “heat, central or small-scale, heat production, softwood chips from forest, at furnace 1000kW, state-of-the-art 2014”

Voor gas: “heat, district or industrial, heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW”

9.1.1.3 Productie en distributie van aardgas

Zie dezelfde paragraaf in Casestudie 2a - Methaan geproduceerd uit residuen van bosexploitatie.

9.1.1.4 Biomethaan productie

Zie dezelfde paragraaf in Casestudie 2a - Methaan geproduceerd uit residuen van bosexploitatie.

9.1.1.5 Delta emissie (verbrandingsmotor)

Zie dezelfde paragraaf in Casestudie 2a - Methaan geproduceerd uit residuen van bosexploitatie.

9.1.1.6 Biomethaan distributie

Zie dezelfde paragraaf in Casestudie 2a - Methaan geproduceerd uit residuen van bosexploitatie.

9.1.1.7 Transport van hout

Zie dezelfde paragraaf in "CASESTUDIE 3A: METHAAN GEPRODUCEERD UIT DE HOUTIGE FRACTIE VAN GROENAFVAL"

Transport van houtafval zal in het biobrandstof scenario (naar biomethaanproductie) gelijkaardig zijn als in het referentiescenario (naar spaanplaatproductie). Daarnaast zal er in het biobrandstofscenario extra transport van houtafval zijn vanuit het buitenland naar Vlaamse spaanplaatproducenten (niet gemodelleerd). Dit zal de milieu impacten van het biobrandstof scenario verhogen.

9.1.2 Economie - Sociaal

Volgens OVAM (2018) ligt de prijs van A-hout ongeveer 60€/t hoger dan van B-hout. Dit zal daarom ook een vrij dure optie zijn.

Aangezien de milieuresultaten ongunstig zijn, werden de economische en sociale impacten niet geanalyseerd.

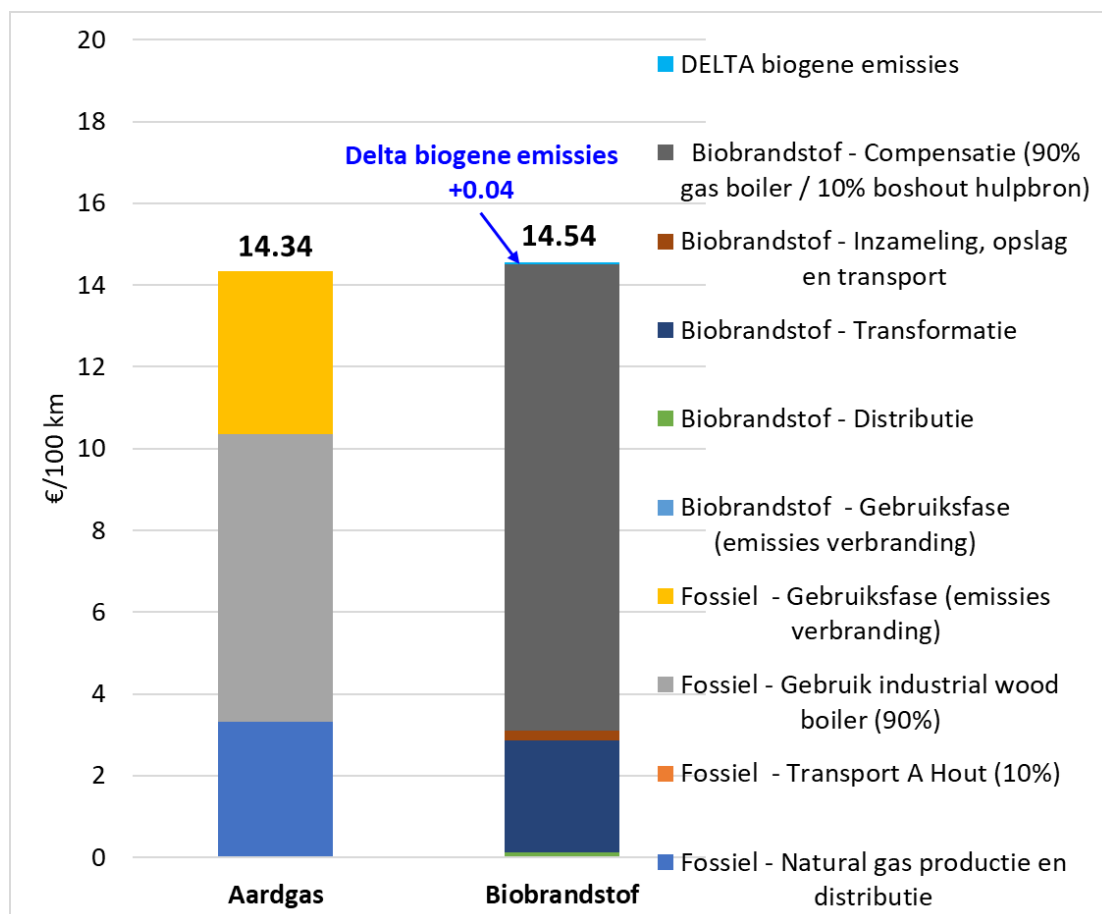
9.2 METHAAN UIT A-HOUT - RESULTATEN

9.2.1 Milieu

9.2.1.1 Gemonetariseerde resultaten

De volgende grafiek toont de gemonetariseerde milieuresultaten voor het gemiddelde geval. De resultaten voor alle impactcategorieën zijn geaggregeerd en geëvalueerd in euro.

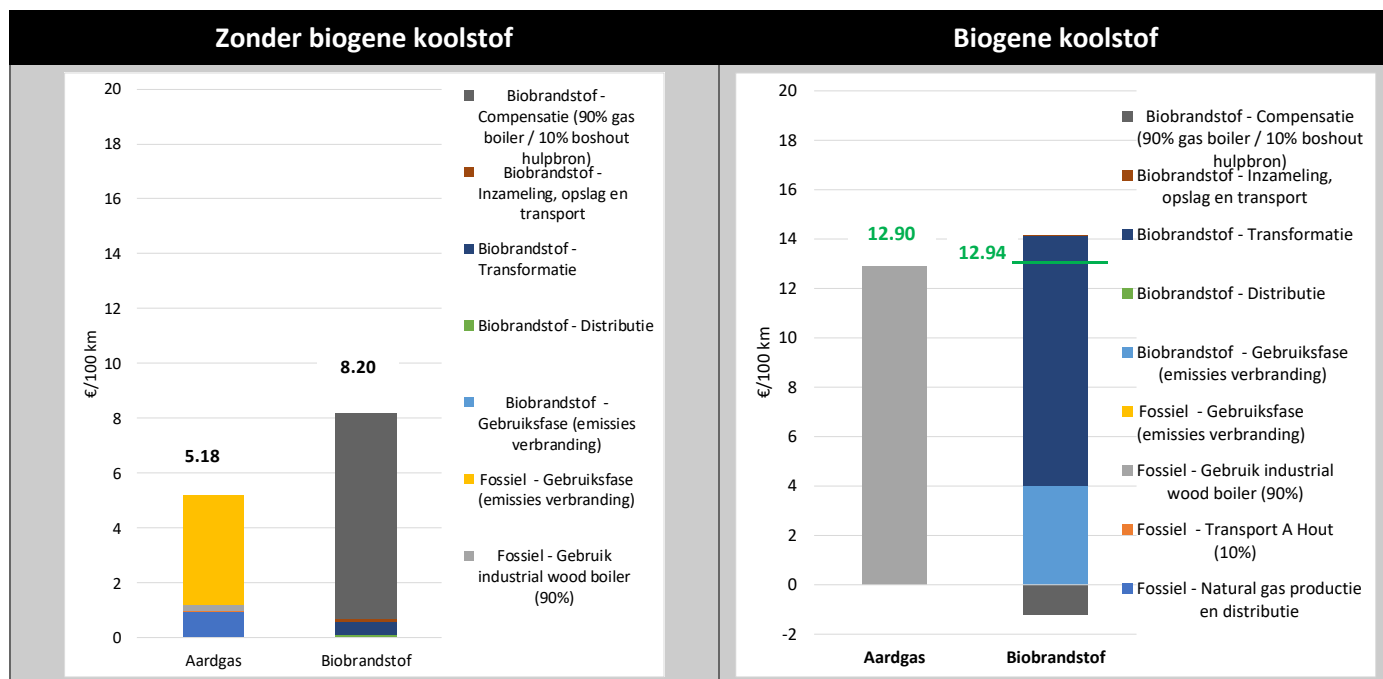
Figuur 65: Methaan uit A-hout - Totaal gemonetariseerde milieu impacten



De milieupact van biobrandstof is licht ongunstig (gelijkaardig) t.o.v. de aardgas referentie. Dit is vooral omwille van de aanname dat het bespaarde verbruik van fossiele brandstof (aardgas) door de productie van biomethaan wordt gecompenseerd door een meerverbruik van fossiele brandstof (aardgas) voor industriële energieopwekking, maar ook door het bijkomende transport van houtafval (voor spaanplaatproductie) vanuit Frankrijk. Aan de andere kant zijn er bij deze aannames vermeden emissies van biomassacentrales, waardoor de totale milieupact bijna in balans is.

We bekijken de onderliggende cijfers rond klimaatimpact iets dieper.

Figuur 66: Methaan uit A-hout - Gemonetariseerde klimaatimpacten



- Biogene koolstof

De totale biogene CO₂-emissies (uitgedrukt in monetaire impact) als 100% van de koolstof in de houtige fractie van groenafval wordt omgezet in CO₂ worden ingeschat op 12,9€/100km. In het biomethaanscenario worden de meeste biogene CO₂-emissies uitgestoten **tijdens het verwerkingsproces** en slechts een beperkt deel bij het **gebruik van biomethaan** als transportbrandstof. In het eerste deel van het referentiescenario (90% van input) worden de biogene CO₂-emissies uitgestoten in de biomassacentrale (bij productie van elektriciteit en warmte). Gezien deze biogene koolstof in beide scenario's in de atmosfeer wordt uitgestoten, is er voor dit gedeelte geen beduidend verschil in totale biogene CO₂-emissies. In het tweede deel (10% van input) wordt er in het biobrandstofscenario meer hout geoogst uit bossen. We gaan er evenwel vanuit dat de extra houtoogst gecompenseerd wordt door bijkomende houtgroei (via aanplant en bosbeheer), en dat deze in balans zijn. Het zou diepere analyse vergen (juiste impact op bosbeheer en bosaangroei) om deze effecten precies in te kunnen schatten.

- Fossiele koolstof:

De uitstoot van fossiele CO₂ van het biobrandstof scenario is een stuk groter dan wat uitgestoten wordt in het **aardgas referentiescenario**. De voornaamste reden daarvoor is de vervanging van warmteproductie met

biomassaboilers door aardgasboilers: het geeft aanleiding tot zeer hoge fossiele broeikasgasemissies in het biobrandstof scenario (hier 7,47€/100km). **Inzameling, transformatie, distributie** spelen een kleinere rol.

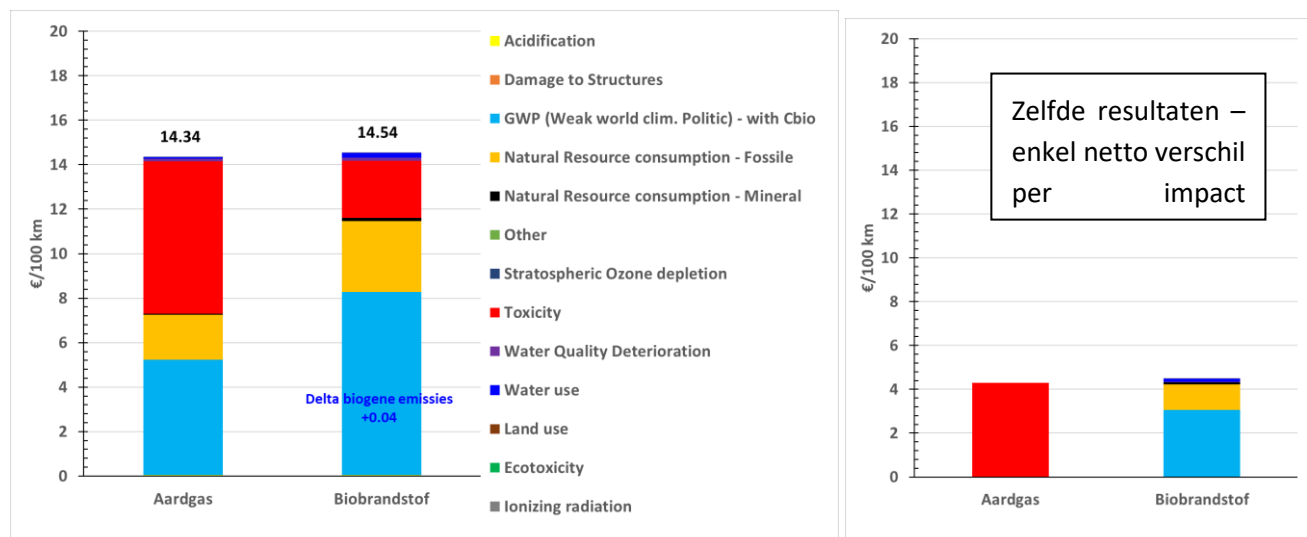
Het doorgerekende biobrandstof scenario scoort slecht op gebied van klimaatimpact. Uiteindelijk wordt de biomassa via vergassing en methanatie maar met een rendement van 50% omgezet in biomethaan, terwijl aan de andere kant aardgas (grotendeels fossiele methaan) bijna één op één de biomassa vervangt in de warmteproductie. De productie van biomethaan compenseert dus in feite maar iets meer dan de helft van het extra aardgasverbruik bij deze aannames.

In het alternatief dat bestaande biomassa WKKs andere bronnen van biomassa zullen opzoeken zou er wel een klimaatvoordeel bereikt kunnen worden, voor zover uiteindelijk bijkomende biomassa gevaloriseerd wordt. Indien uiteindelijk fossiele brandstof gebruikt wordt, is er geen baat als bestaande biomassa WKKs andere bronnen van biomassa gebruiken.

De volgende grafiek toont, naast klimaatimpact, ook de bijdrage van andere impactcategoriën aan de gewogen resultaten.

De balans is uiteindelijk ongeveer neutraal (licht nadelig voor biobrandstof maar verwaarloosbaar verschil), waarbij de hogere broeikasgasemissies bijna volledig gecompenseerd worden door vermeden toxische emissies (in biomassacentrales).

Figuur 67: Methaan uit A-hout - Totale milieubijdragen



Hieronder een aantal detailgetallen rond **toxiciteit**. De vermeden emissies van houtverbranding wegen sterk door in deze basis case.

- **Aardgas: 6,85 €/100km**

○ Gebruik industrial wood boiler (100%)	6,458€	94,3%
▪ Fijn stof (PM2,5) (38 mg/Nm ³)		59,5%
▪ NOx		33,7%
▪ Cr VI		3,6%
▪ SO ₂		1,6%
○ Aardgasproductie en distributie	0,386€	5,6%
○ Diesel productie en distributie	0,006€	0,1%

- **Biomethaan: 2,57 €/100km**

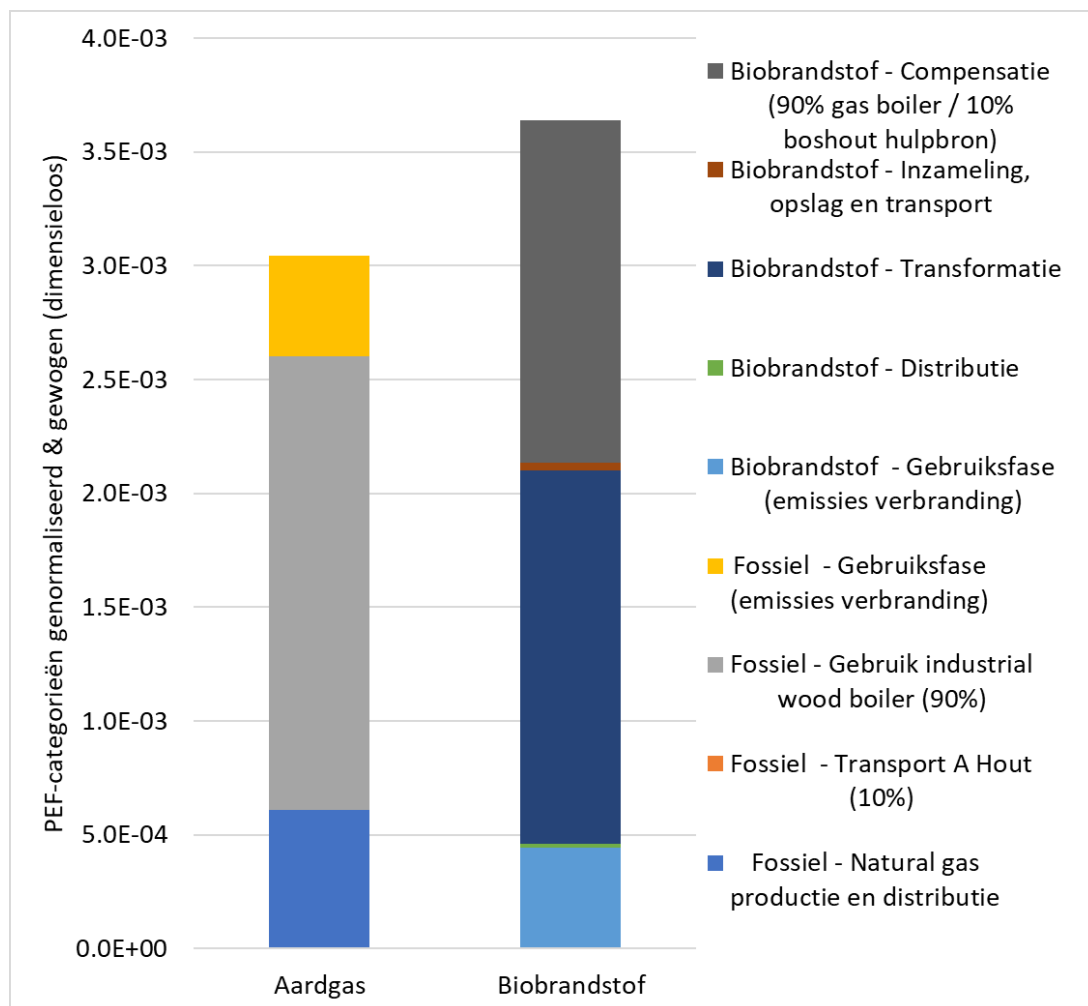
○ Biobrandstof – Transformatie	1,500€	58,4%
○ NOx		35,6%
○ Fijn stof (PM2,5)		31,7%
○ Cr VI		19,3%
○ SO ₂		8,3%
○ NH ₄		3,1%
○ Compensatie (90% gas boiler / 10% boshout hulpbron)	0,914€	35,6%
○ Inzameling, opslag en transport	0,113€	4,4%
○ Gebruik industrial wood boiler (100%)	0,041€	1,6%

9.2.1.2 **Methaan uit A-hout - Resultaten met gebruik van de JRC136 wegingsmethode**

De via de 50% “experten” en 50% “public” wegingsfactoren van het JRC gewogen resultaten leiden tot andere algemene conclusies dan de gemonetariseerde effecten. Het doorgerekende biobrandstof scenario is hier duidelijker ongunstig.

Voor meer duiding rond deze wegingsmethode, verwijzen we naar het rapport over het ‘Afwegingskader’.

Figuur 68: PEF-categorieën genormaliseerd & gewogen (dimensie loos)



Dezelfde commentaar is van toepassing als voor Figuur 65.

9.2.1.3 Resultaten per impact categorie

De grafieken en de tabel in bijlage 0 geven de gedetailleerde milieuresultaten per impactcategorie.

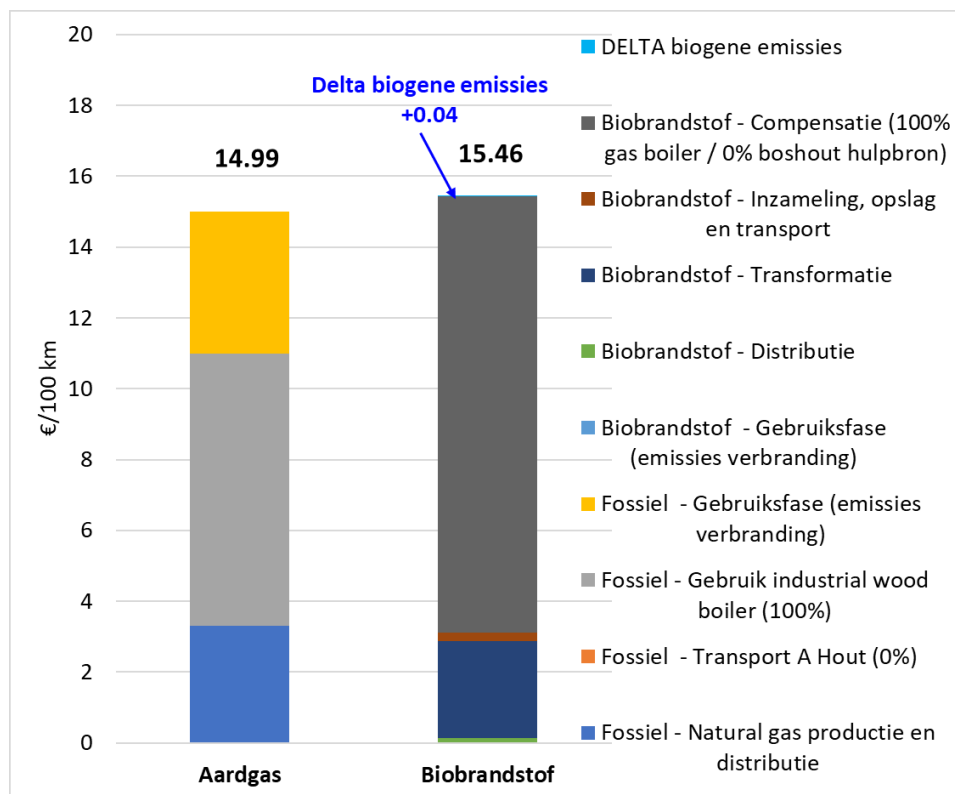
9.2.1.4 Methaan uit A-hout - Gevoeligheidsanalyse

In deze gevoeligheidsanalyse gaan we ervan uit dat er geen compensatie is met vers hout (10% in basiscase). A-hout afval wordt nu grotendeels gebruikt voor spaanplaat productie. We nemen aan dat als dit A-hout afval niet

meer beschikbaar is (omdat het gebruikt zou worden voor methaanproductie), dat spaanplaatproducenten (aanneame voor 90% in het basis geval) andere houtbronnen opzoeken, bv. houtafval uit Frankrijk. Als dat hout niet meer beschikbaar is voor de Franse industrie voor energieopwekking, nemen we aan dat er terug een verschuiving is richting gas in de industrie.

In deze gevoeligheidsanalyse gaan spaanplaatproducenten enkel andere bronnen van (A of meer waarschijnlijk B) houtafval opzoeken, dus geen vers hout. Ook hier nemen we aan dat het gebruik van A-hout voor biomethaanproductie als gevolg heeft dat aardgascentrales biomassacentrales vervangen. Het is dus grotendeels equivalent aan casestudie 3a (Methaan geproduceerd uit de houtige fractie van groenafval).

Figuur 69: Biomethaan uit A-hout - Totaal gemonetariseerde milieu impacten



De gevoeligheid voor de aanname van 10% vers hout blijkt uiteindelijk niet zo groot, al moeten we wel opmerken dat het diepere analyse zou vergen (juiste impact op bosbeheer en bosaangroei) om de effecten van bijkomende houtoogst precies in te kunnen schatten.

9.2.1.5 Milieu - conclusie

In de doorgerekende case is er geen milieubaat bij de productie van biomethaan uit A-hout omdat dit al een hoogwaardige toepassing heeft (spaanplaat). Spaanplaat wordt sowieso geproduceerd, los van enige beslissing om meer biobrandstof te produceren. Als A-hout gebruikt wordt voor spaanplaten dan resulteert dit elders ofwel in minder energieopwekking vanuit biomassa, ofwel in een verschuiving van deze energiecentrales naar andere (nu ongebruikte) biomassa. In het doorgerekende basisgeval (aannee van verschuiving naar aardgas) is de globale balans ongunstig.

9.2.2 Methaan uit A-hout – Economie en sociaal

Aangezien de milieuresultaten van de basis case ongunstig zijn, zijn de economische en sociale impacten niet geanalyseerd.

10 TRANSVERSALE ANALYSE VAN DE CASESTUDIES

10.1 OVERZICHT VAN DE 4 CASESTUDIES

10.1.1 opzet van de studie

Gezien de verwachte toenemende vraag naar geavanceerde biobrandstoffen, die vooral uitgaan van biomassa residuen (waarvan sommige al een functie hebben), is in opdracht van OVAM een afwegingskader opgesteld om uitspraken te kunnen doen rond de maatschappelijke wenselijkheid van het gebruik van biomassa reststromen voor biobrandstoffen. De milieu-impacten, de sociale impacten (tewerkstelling) en de economische kosten werden geanalyseerd en opgeteld met een consequentiële aanpak. Het afwegingskader is uitgewerkt in een apart rapport. Een consequentiële aanpak is absoluut nodig voor een dergelijke studie gezien o.a. de lange-termijn horizon en de omvang van de veranderingen. Dit rapport bevat een aantal casestudies om de toepasbaarheid van het afwegingskader te testen.

Deze casestudies draaien rond vier reststromen, door OVAM geselecteerd vooral omwille van hun potentieel in Vlaanderen (met significant potentieel voor industriële schaalgrootte):

- 1 Korrelmaïsresten (stengels, spillen)
- 2 Residuen van bosexploitatie
- 3 Houtige fractie van groenafval
- 4 Post-consumer houtafval (A-hout)

Een aantal mogelijke conversietechnieken zijn geselecteerd om deze grondstoffen om te zetten naar biobrandstof:

- Fermentatie van maïsstro naar ethanol (case 1)
- Vergassing en methanatie tot biomethaan van houtige stromen (case 2a, 3a en 4)
- Pyrolyse en upgrading tot biodiesel van houtige stromen (case 2b en 3b)

Voor het uitvoeren van een consequentiële analyse van de biobrandstofopties is het belangrijk om een zicht te hebben op mogelijke gevolgen van deze toepassing, bv of bepaalde stromen minder achterblijven op de bodem (maïsstro, bosresiduen), of welke verschuivingen kunnen verwacht worden als bepaalde biomassa stromen al een bestemming hebben of verwacht worden te hebben (A-hout, houtige fractie groenafval). Voor elke case zijn eerste gevolgschattingen gemaakt, met doorrekening van een basiscase; we moeten erop wijzen dat deze gevolgschattingen heel bepalend bleken voor de resultaten. Ook kunnen eventuele technologische evoluties belangrijke invloed hebben op de resultaten. Vandaar dat de nodige voorzichtigheid gehanteerd moet worden bij de interpretatie van de resultaten.

In de doorrekeningen is beschouwd of de doorgerekende basiscase voor biobrandstofproductie een gunstige milieubalans vertoonde; indien gunstig werd afgewogen of de eventuele hogere economische kost opweegt tegen de milieubaten. In dat geval is er ook een indicatie gegeven van de kost per ton CO₂-reductie om te checken of het al dan niet hoger ligt dan referentiewaarden voor andere opties om de CO₂-emissies te reduceren. Let dat in een maatschappelijke analyse de kosten en niet de prijzen geanalyseerd worden (dus geen taksen, geen marge). De taksen en marge (ongeveer 10%) zouden dus aan de kost per ton CO₂ berekend in deze studie toegevoegd moeten worden om vergeleken te kunnen worden met de prijzen op internationale markten.

In het algemeen zijn op dit moment CO₂-reductie kosten¹³⁷ rond 25 € per ton CO₂. Maar de kost gaat stijgen omdat meer reducties nodig zijn. Duitsland¹³⁸ heeft de prijs al op 55€/t vastgelegd voor 2025 en volgens de World Bank¹³⁹ nog hoger tegen 2030 (*"This is far short of the level needed to drive transformational change: estimated at \$40-80 per ton by 2020 and \$50-100 per ton by 2030 according to the High-Level Commission on Carbon Prices, co-chaired by Joseph Stiglitz and Lord Nicholas Stern and supported by the World Bank."*).

Reducties aan 25€/t zijn dus 'laaghangend fruit'.

Binnen transport liggen deze CO₂ reductiekosten evenwel een stuk hoger, omdat de transitie van fossiele brandstoffen naar hernieuwbare brandstoffen (of hernieuwbare elektriciteit via elektrische voertuigen) een stuk duurder is dan in andere sectoren zoals elektriciteit, waar goedkopere opties voor handen zijn (en waar de transitie ook sneller gaat). Energievraag van transport bedraagt circa 25% van de totale energievrage, en daarmee is overstappen naar hernieuwbare energie (brandstoffen of elektriciteit) en hogere efficiëntie ook noodzakelijk in deze sector. Daarnaast is het aspect energieafhankelijk ook belangrijk, gezien op dit moment transport nog steeds voor meer dan 90% afhangt van aardolie. Gezien alle sectoren moeten evolueren is het dus maatschappelijk verantwoord om een hogere CO₂-prijs te betalen in de transportsector om de evolutie te stimuleren.

10.1.2 Case 1 - Ethanol geproduceerd uit maïsstro

Als maïsstro niet gebruikt wordt voor biobrandstof, blijft het normaal achter op het veld, waarbij een deel van de koolstof en nutriënten in de bodem worden opgenomen. Om het nutriëntenverlies te compenseren is in de basiscase aangenomen dat er GFT-compost wordt aangevoerd en dat meer compost wordt geproduceerd dankzij bijkomende inspanningen van selectieve GFT-inzameling. Er zijn evenwel ook andere compensatieopties die tot andere resultaten kunnen leiden – hiervoor is meer diepgaande analyse nodig.

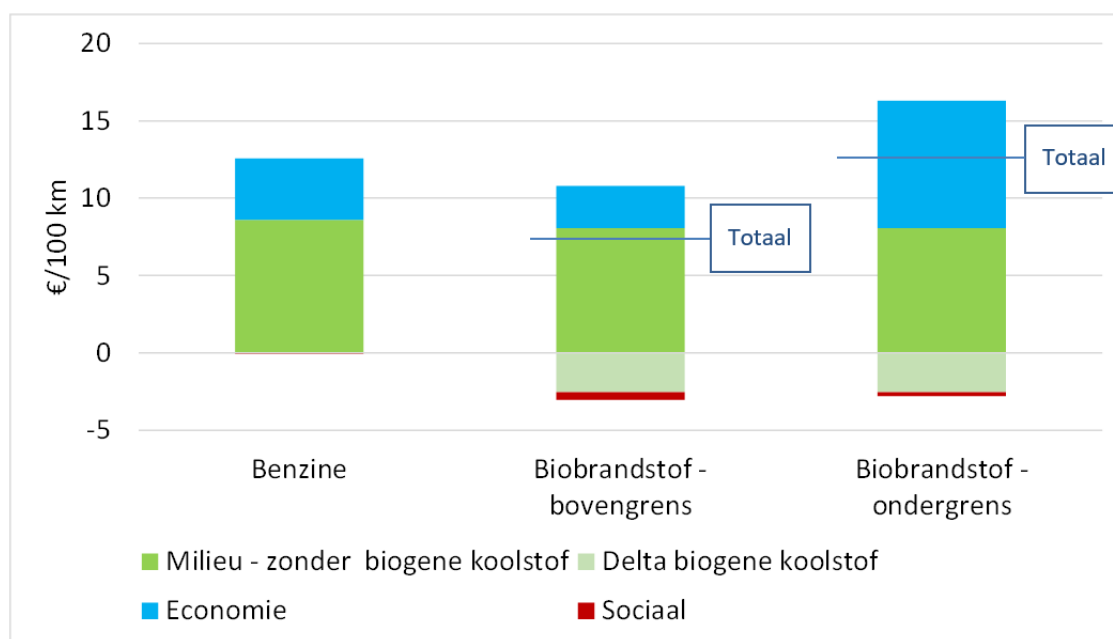
137 <https://markets.businessinsider.com/commodities/co2-european-emission-allowances>

138 <https://www.reuters.com/article/us-germany-climate/germany-to-raise-carbon-price-to-25-euros-in-2021-after-pressure-sources-idUSKBN1YK0IF>

139 <https://www.worldbank.org/en/results/2017/12/01/carbon-pricing>

Er is een vrij hoge spreiding aangenomen in de transformatiekost van maïsstro naar ethanol, vanuit de huidige kost (“ondergrens”) naar een grote potentiële kostreductie op lange termijn (“bovengrens”). Er zijn ook bepaalde maatschappelijke economische baten meegenomen, met name in het produceren van GFT-compost, waarmee verbranding van de organische fractie van afval vermeden wordt. In het meest positieve geval leidt dit in de doorrekening zelfs tot een lagere economische kost dan de referentiesituatie.

Figuur 70: Ethanol uit maïsstro - Geaggregeerde maatschappelijke impacten (basis case)



De resultaten voor de doorgerekende biobrandstof case blijken gunstig op milieuvlak. Ze blijven licht gunstig indien kunstmest wordt gebruikt i.p.v. GFT-compost (Zie Figuur 18).

Op maatschappelijk vlak is er onzekerheid of de huidige hogere kost in het minst positieve geval afweegt tegen de milieubaten. Als de technologieën sterk verbeteren, zoals gemodelleerd in het “bovengrens” scenario, dan blijkt het produceren van bioethanol uit maïsstro maatschappelijk verantwoord, zowel op milieu en economisch vlak.

De kost van de CO₂eq reductie zou variëren tussen -77 €/t CO₂eq (baat) en 265 €/t CO₂eq.

Er worden nog verscheidene technologische evoluties verwacht in ethanolproductie uit (maïs)stro, die de milieu-impact verder kunnen reduceren, zoals een hoger conversierendement (tot 48% i.p.v. 38%), CO₂-afvang, lager gebruik aan reactanten bij voorbehandeling, of de productie van bio-fertiliser van de residuen.

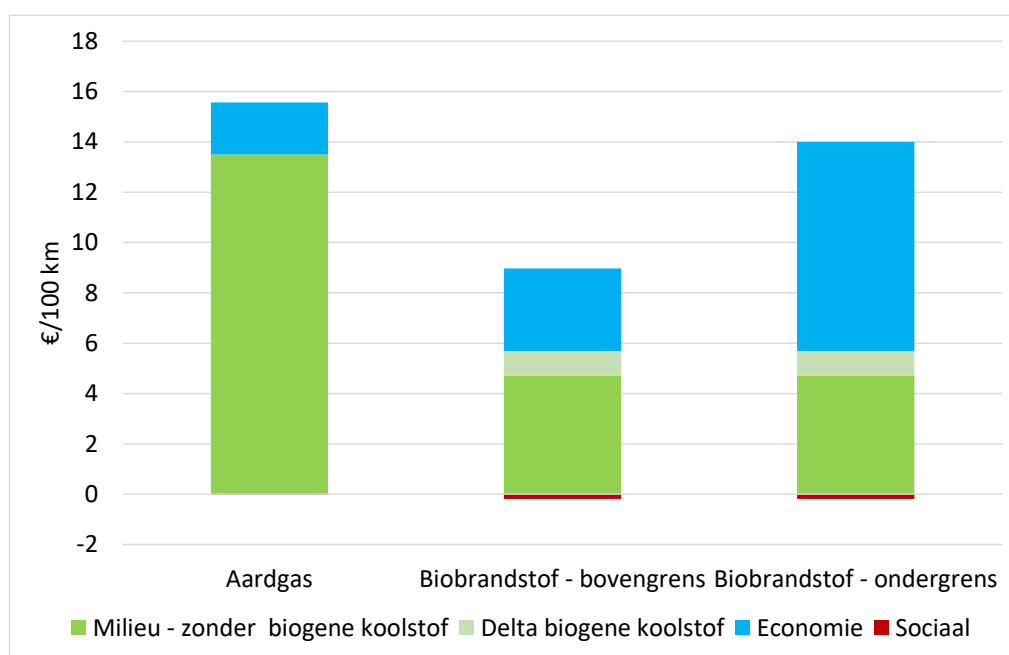
De impact van nutriëntenaanvoer om maïsstro afvoer te compenseren (via compost of andere mogelijkheden) dient dieper geanalyseerd te worden om hier duidelijke uitspraken over te kunnen doen.

10.1.3 Case 2a - Methaan geproduceerd uit residuen van bosexploitatie

Als bosresiduen niet gebruikt worden voor biobrandstof, blijven deze normaal achter in het bos (waarbij een deel van de koolstof op lange termijn in de bodem wordt opgenomen). We gaan er ook van uit dat een deel van de bosresiduen door particulieren wordt gebruikt in houtkachels (in de basisaanname 20% van de input).

Er is een vrij hoge spreiding aangenomen in de inzamelkost van bosresiduen; ook in de transformatiekost van bosresiduen naar biomethaan, vanuit de huidige kost ('ondergrens') naar een grote potentiële kostreductie op lange termijn ('bovengrens').

Figuur 71: Methaan uit bosresidu - Geaggregeerde maatschappelijke impacten (basis case)



De resultaten in de basiscase wijzen op een grote milieubaat, maar dit wordt in feite gedomineerd door de vermeden emissies van particuliere houtverbranding. Gevoeligheidsanalyse toonde aan dat de hogere kosten ongeveer in balans zouden zijn met de milieubaten als wordt aangenomen dat er geen particuliere houtverbranding wordt vervangen.

De kost van de CO₂eq reductie zou variëren tussen 172 €/t CO₂eq (in het meest positieve geval) en 882 €/t CO₂eq (in het minst positieve geval)

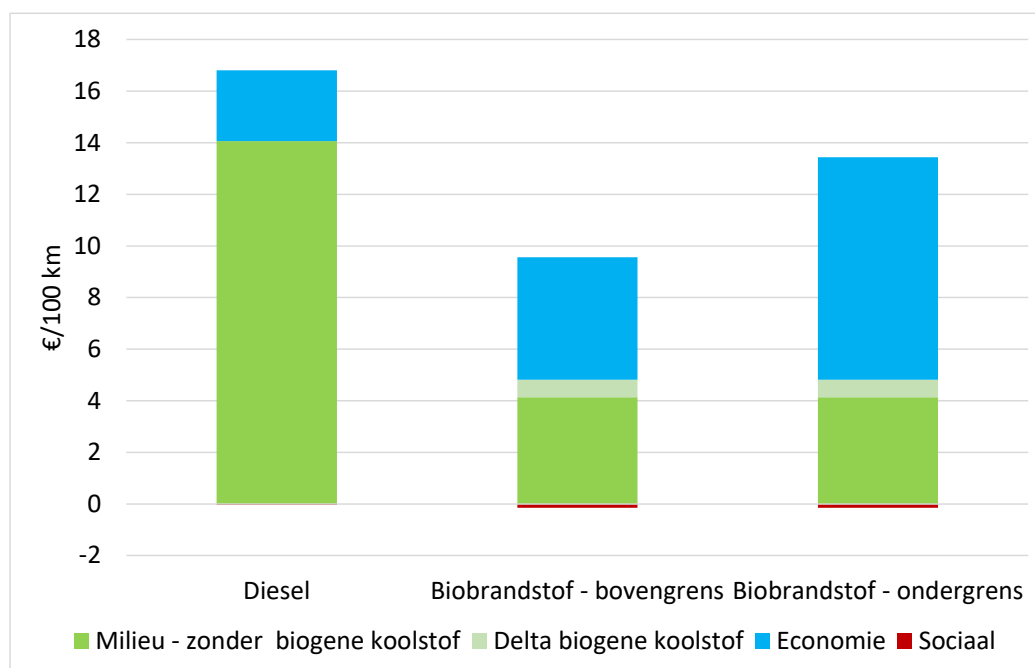
De doorrekening rond biomethaanproductie is gebaseerd op vrij conservatieve gegevens. Er worden verdere evoluties verwacht, die de milieu-impact van deze case verder kunnen reduceren, zoals een hoger conversierendement (tot 65% i.p.v. 50%).

10.1.4 Case 2b - Biodiesel geproduceerd uit residuen van bosexploitatie

Hier zijn dezelfde gevolgaannames genomen als in Case 2a.

Ook hier is een vrij hoge spreiding aangenomen in de inzamelkost van bosresiduen; en ook in de transformatiekost van bosresiduen naar biodiesel, vanuit de huidige kost ('ondergrens') naar een grote potentiële kostreductie op lange termijn ('bovengrens').

Figuur 72: Biodiesel uit bosresidu - Geaggregeerde maatschappelijke resultaten (basiscase)



De resultaten in de basiscase wijzen op een grote milieubaat, maar ook hier is er een grote impact van de vermeden emissies van particuliere houtverbranding.

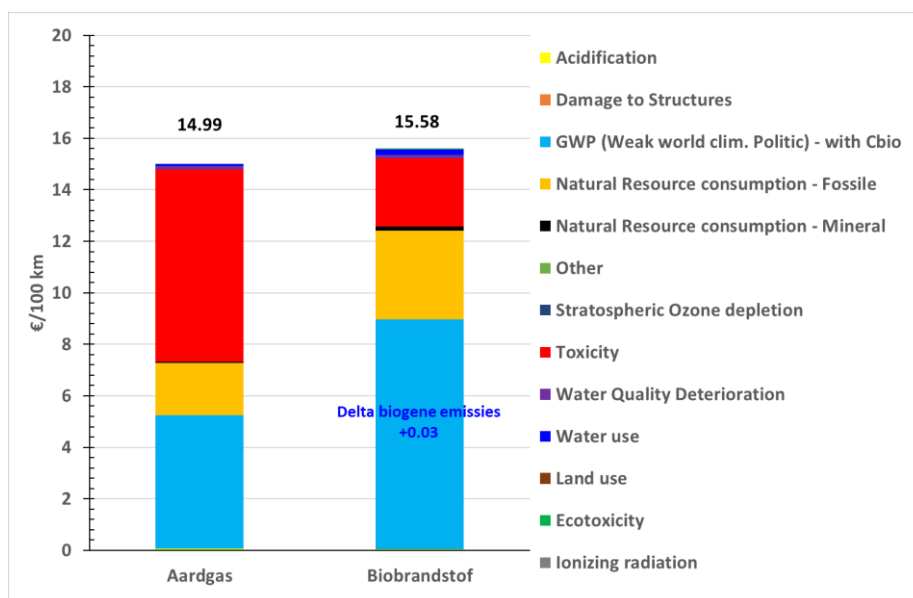
De kost van de CO₂eq reductie zou variëren tussen 184 en 543 €/t CO₂eq. Als alle milieu-impacten in rekening worden gebracht in de afweging t.o.v. de economische kosten, is het maatschappelijk meer relevant omwille van de grote andere milieubaten.

De doorrekening rond biodiesel uit pyrolyse is gebaseerd op vrij recente gegevens. Verdere verbetering in milieuimpact is nog mogelijk o.a. door gebruik van hernieuwbare waterstof i.p.v. waterstof uit aardgas om de pyrolyse-olie te upgraden naar dieselbrandstof.

10.1.5 Case 3a - Methaan uit de houtige fractie van groenafval

Als de houtige fractie van groenafval niet gebruikt wordt voor biobrandstof, wordt deze ofwel gebruikt in biomassacentrales (voor productie van warmte/elektriciteit), ofwel wordt dit verhaakseld voor bodembedekking. In geval van bodembedekking is de case gelijkaardig met case 2a (maar dan zonder vervanging in houtkachels). Indien deze grondstof niet meer beschikbaar is voor biomassacentrales (WKKs), is er ofwel terug een verschuiving naar fossiele brandstof om deze energie te produceren, ofwel gaan deze biomassacentrales op zoek naar andere biomassa (zoals bosresiduen of hout van kantenbeheer), waarbij de case in feite dezelfde impact heeft als case 2a. In de doorgerekende basiscase zijn we uitgegaan van een verschuiving naar aardgas WKKs.

Figuur 73: Methaan uit de houtige fractie van groenafval - Totale milieubijdragen (basis case – verschuiving naar aardgas) - herhaling
Figuur 50



De milieupact van biobrandstof is in de doorgerkende basiscase licht ongunstig t.o.v. het aardgas alternatief, waarbij er een hogere broeikasgasuitstoot is in het biobrandstofscenario, die voor een groot deel gecompenseerd wordt door vermeden emissies van biomassacentrales in het referentiescenario. Zoals hoger aangegeven liggen de resultaten bij andere gevolgaannames eerder in de buurt van deze van case 2a en 4.

De evolutie van de vergelijking zal afhangen van 2 factoren met tegenstrijdige effecten op de vergelijking:

- Niet-CO₂ emissies van biomassacentrales kunnen in de toekomst wel verder dalen door emissienabehandeling. Dit zal de milieubalans van biomethaan minder gunstig maken.
- Verdere evoluties worden verwacht in biomethaan productie, die de milieu-impact van deze case verder kunnen reduceren, zoals een hoger conversierendement (tot 65% i.p.v. 50%). Dit zou de milieubalans van biomethaan gunstiger maken.

Er is meer diepgaande analyse nodig van de gevolgimpacten om uitspraken te kunnen doen over deze case.

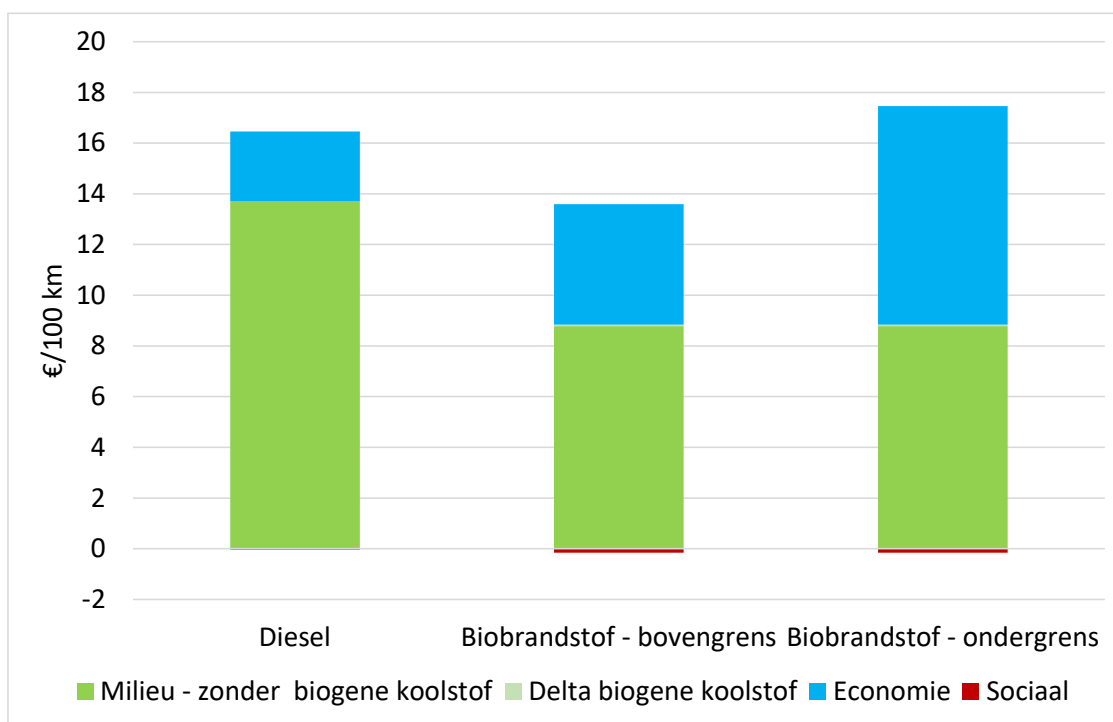
10.1.6 Case 3b - Biodiesel uit de houtige fractie van groenafval

Hier zijn dezelfde gevolgaannames genomen als in Case 3a. In geval deze fracties zouden ingezet worden voor bodembedekking is de case gelijkaardig met case 2b (maar dan zonder vervanging in houtkachels). Indien deze grondstof niet meer beschikbaar is voor biomassacentrales (WKKs), is er

- ofwel terug een verschuiving naar fossiele brandstof om deze energie te produceren, waarbij de case in feite dezelfde impact heeft als case 4
- ofwel gaan deze biomassacentrales op zoek naar andere biomassa (zoals bosresiduen of hout van kantenbeheer), waarbij de case in feite dezelfde impact heeft als case 2b.

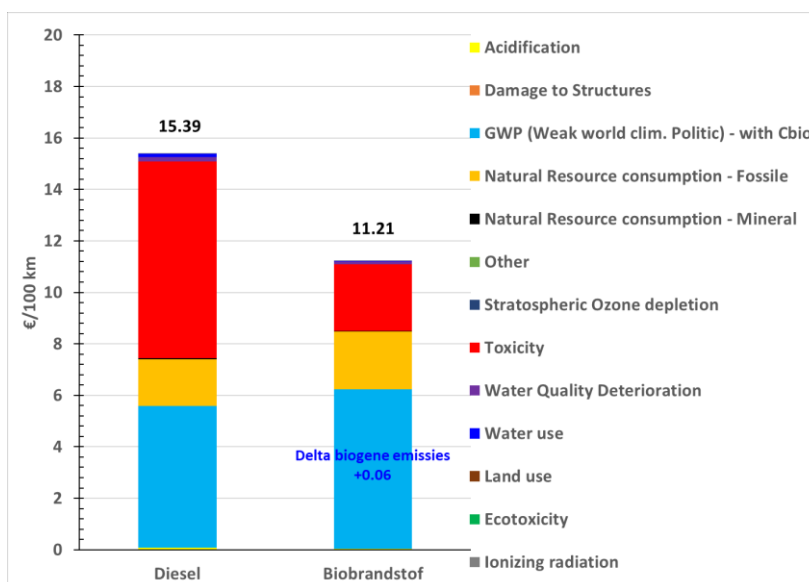
Ook hier is in de basiscase aangenomen dat er een verschuiving naar aardgas WKKs.

Figuur 74: Biodiesel uit groenafval - Geaggregeerde maatschappelijke resultaten - herhaling Figuur 62



Het totaal is in de doorgerkende basiscase gunstig voor biobrandstof met de bovengrens modellering en (licht) ongunstig met de ondergrens modellering. De economische kost is hoger voor de biobrandstof dan voor diesel, de milieukost is lager, vooral door vermeden toxische emissies.

Figuur 75: Biodiesel uit de houtige fractie van groenafval - Totale milieubijdragen (basis case – verschuiving naar aardgas) - herhaling
Figuur 58



De milieupact van biobrandstof bij aanname van verschuiving van biomassacentrales naar aardgas is gunstig t.o.v. het aardgas alternatief. De milieu-impact door de hogere broeikasgasuitstoot in het biobrandstofscenario wordt meer dan gecompenseerd door de vermeden toxische emissies van biomassacentrales in het referentiescenario. Let wel dat niet-CO₂ emissies van biomassacentrales in de toekomst wel verder kunnen dalen door emissiebehandeling. Dit zou de milieubalans van biodiesel minder gunstig maken.

Zoals hoger aangegeven liggen de resultaten bij andere gevolgaannames eerder in de buurt van deze van case 2b en 4.

Er is meer diepgaande analyse nodig van de gevolgpacten om uitspraken te kunnen doen over deze case.

10.1.7 Case 4 - Methaan uit A-hout

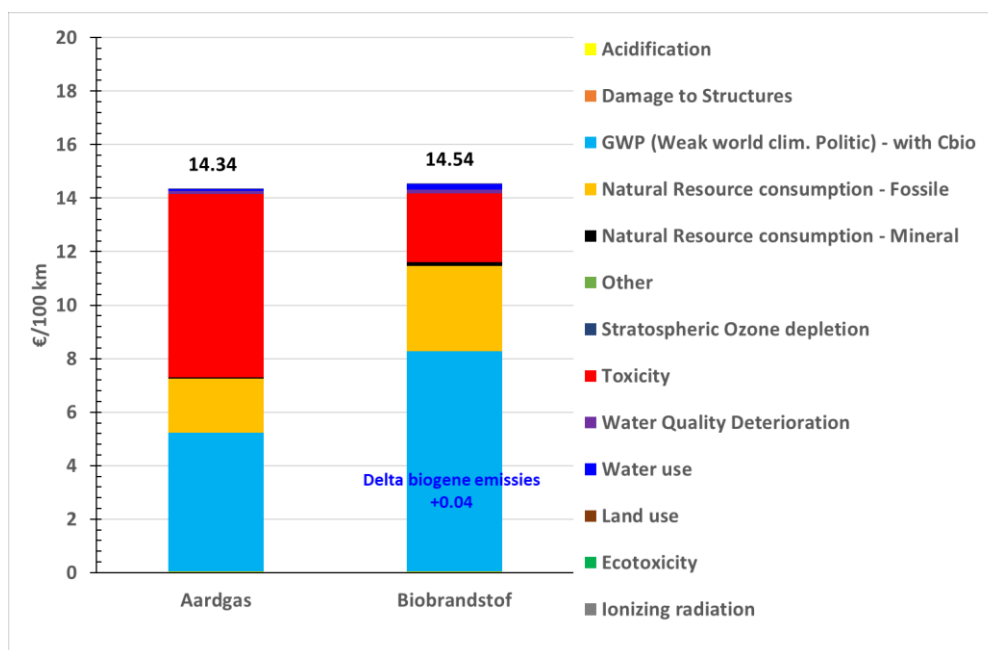
A-hout afval wordt nu grotendeels gebruikt voor spaanplaat productie in Vlaanderen. Als dit A-hout afval niet meer beschikbaar is (omdat het gebruikt zou worden voor biomethaanproductie), dan gaan we ervan uit dat spaanplaatproducenten andere houtbronnen opzoeken, bv. houtafval uit Frankrijk. Als dat hout niet meer beschikbaar is voor de Franse industrie voor energieopwekking, nemen we aan dat er terug een verschuiving is richting gas in de industrie (dit hebben we aangenomen als basiscase). Eventueel is het ook mogelijk dat die biomassacentrales gebruik gaan maken van andere biomassa-bronnen, zoals bosresiduen. In dat geval zal de

impact eerder liggen in de buurt van de case 2a (met bijkomende impact van transport van houtafval van Frankrijk naar België).

Spaanplaatproducenten kunnen (in mindere mate) ook beroep doen op vers hout (bijkomende bosexploitatie). We hebben dit doorgerekend voor 10% van de biomassa input, en hebben aangenomen dat dit kadert binnen duurzaam bosbeheer.

We nemen aan de spaanplaatproductie in Vlaanderen stabiel blijft. Een eventuele andere mogelijkheid is dat de spaanplaatproductie (door mindere toegang tot grondstoffen) verlaagd wordt, en vervangen door andere producten (bv. plastics). Dit is hier niet doorgerekend, maar zou een belangrijke milieuimpact kunnen hebben.

Figuur 76: Methaan uit A-hout - Totale milieubijdragen - herhaling Figuur 67



De milieuimpact van biobrandstof is in de doorgerekende basiscase licht ongunstig t.o.v. het aardgas alternatief. De klimaatimpact is ongunstig voor biomethaan omdat het bespaarde verbruik van fossiele brandstof (aardgas) door de productie van biomethaan in deze basiscase wordt gecompenseerd door een meerverbruik van fossiele brandstof (aardgas) voor industriële energieopwekking. Dit nadeel wordt grotendeels gecompenseerd door vermeden emissies van biomassacentrales. Let wel dat niet-CO₂ emissies van biomassacentrales in de toekomst wel verder kunnen dalen door emissienabehandeling. Dit zou de milieubalans van biomethaan minder gunstig maken.

Als biomassacentrales naar andere biomassabronnen (zoals bosresiduen) verschuiven i.p.v. verschuiving naar aardgas zou de case dan eerder in de richting van de resultaten van case 2a uitkomen, met daarboven de

bijkomende impact van transport van houtafval van Frankrijk naar België. We hebben hier echter geen doorrekeningen van gedaan.

Zoals eerder aangegeven worden verdere evoluties verwacht in biomethaanproductie, die de milieu-impact van deze case verder kunnen reduceren, zoals een hoger conversierendement (tot 65% i.p.v. 50%).

Ook hier is meer diepgaande analyse nodig van de gevolgimpacten om uitspraken te kunnen doen over deze case.

10.1.8 Algemene conclusies

Voor de meeste cases is meer diepgaande analyse nodig van de gevolgimpacten om gefundeerde uitspraken te kunnen doen over de milieu- economische en maatschappelijke impact van de betreffende biobrandstof case.

De voorlopige resultaten tonen dat de economische en milieu impacten de grootste invloed op de geaggregeerde maatschappelijke resultaten. De sociale impact heeft een heel beperkte invloed.

Bij milieuimpact wegen vooral klimaatimpact (ook gelinkt aan verbruik van fossiele bronnen) en toxiciteit door op de resultaten.

De volgende tabel toont een indicatief overzicht van de trends voor de doorgerekende cases, inclusief sensitiviteit van gevolgaannames.

Tabel 25: Indicatieve resultaten van de doorgerekende casestudies (met sensitiviteit)

Cases studie	Output	Input	Sensitiviteit	Klimaat	Toxiciteit	Milieu	Economie		Maatschappij	
							Opti. kost*	Pess. kost*	Opti. kost*	Pess. kost*
1	Ethanol	Maïsstro	Compost	+	-	+	+	--	+	~
			Kunstmest	~	--	~	--	--	~	-
2a	Methaan	Bosresiduen	Houtstook vermeden	+	++	++	--	--	++	+
			Niet	++	--	+	--	--	~	--
2b	Diesel	Bosresiduen	Houtstook vermeden	+	++	++	--	--	++	+
			Niet	++	+	++	--	--	+	~
3a**	Methaan	Hout van groenafval	Versch. naar aardgas	-	++	~	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
3b	Diesel	Hout van groenafval	Versch. naar aardgas	~	++	+	--	--	+	~
4	Methaan	A-hout	Versch. naar aardgas	-	++	~	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

* de kolom toont aan of eventuele extra kost opweegt tegen de milieubaten; onderverdeeld in optimistische kostinschatting (links) vs. pessimistische kostinschatting (rechts)

** Bij andere gevolgaannames liggen de resultaten eerder in de buurt van deze van case 2b (nieuwe biomassa stromen worden gevaloriseerd die vroeger niet gevaloriseerd waren) en 4 (nieuwe biomassa stromen worden gevaloriseerd die vroeger wél gevaloriseerd waren en uiteindelijk wordt meer fossiele brandstof verbruikt).

Legende		Gunstig voor biobrandstof >50% verschil
		Gunstig voor biobrandstof 10-50% verschil
		<10% verschil met fossiel of onzekerheid groter dan het verschil
		Ongunstig voor biobrandstof 10-50% verschil
		Ongunstig voor biobrandstof >50% verschil
	n.b.	Niet bestudeerd

In feite komt de basis case (verschuiving naar aardgas) erop neer dat twee opties van gebruik van biomassa tegenover elkaar afgewogen worden: gebruik voor WKK (waarbij aardgas vervangen wordt) of gebruik voor biobrandstof (waarbij fossiele transportbrandstof vervangen wordt). In geval het resultaat negatief is voor biobrandstof biedt gebruik in WKK meer maatschappelijke voordelen.

In de gevallen waarin de biomassa al een gebruik heeft (case 3a, 3b, 4), en aangenomen wordt dat er terug een verschuiving naar aardgas zal gebeuren, is de doorgerekende klimaatimpact negatief. Dit kan wel (deels) gecompenseerd worden door vermeden toxische emissies. Als in deze cases echter wordt aangenomen dat er een verschuiving is naar andere biomassa bronnen, kunnen de resultaten op gebied van klimaat wel verschillend zijn (incl. De geaggregeerde maatschappelijke impacten). Indien deze grondstof niet meer beschikbaar is voor biomassacentrales (WKKs), is er het volgende effect:

- ofwel gaan deze biomassacentrales op zoek naar andere biomassa (zoals bosresiduen of hout van kantenbeheer), waarbij de case in feite dezelfde impact heeft als case 2b.
- ofwel terug een verschuiving naar fossiele brandstof om deze energie te produceren, waarbij de case in feite dezelfde impact heeft als case 4.

De spreiding van de kost van biobrandstofproductie (pessimistisch vs. optimistisch) heeft een belangrijke impact op de geaggregeerde maatschappelijke impact.

10.2 TYPOLOGIE VAN CONSEQUENTIËLE GEVOLGEN

Een sleutelbegrip van consequentiële analyse van het gebruik van biomassa is dat er altijd (rechtstreekse of onrechtstreekse) gevolgen zijn. Als een biologisch materiaal wordt gebruikt, zijn er 4 types mogelijke gevolgen:

- 1 **Meer productie/oogst** van dit biologisch materiaal (bv. suikerriet) → De betrokken oppervlakten (velden/bossen) zijn minder beschikbaar voor andere toepassingen →
 - Land use change: minder bossen (i.g.v. ontbossing) of minder oppervlakte van een ander ecosysteem, met specifieke ecologische gevolgen (o.a. biodiversiteit)
 - Geen land use change (als het veld vroeger voor een ander gewas was gebruikt): Minder productie van andere biomassa →
 - deze biomassa moet vervangen worden, wat leiden tot een verhoogd gebruik van fossiele energie/grondstoffen
 - er is minder voedsel beschikbaar
 - Terug ingebruikname van ongebruikte landbouwgronden (marginal land, abandoned land).

Belangrijke opmerking hierbij is dat beleid een belangrijke rol kan spelen bij landgebruik, bv door het stimuleren van efficiënte landbouwpraktijken (zoals gewasrotatie, wintergewassen, ...), het verminderen van voedselafval, en het effectief handhaven van regels rond duurzame land- en bosbouwpraktijken (bv vermijden van conversie van bossen).

Betrokken casestudies:

- Case 4 (A-hout) → er wordt meer hout geëxtraheerd van bossen (bij verhoogd gebruik van zuiver hout)

- 2 **Hogere beschikbaarheid van biologische afvalstromen** door specifieke acties om de efficiëntie te verbeteren (acties die niet zouden plaatsvinden als er geen verbruik van biologisch materiaal was) →
 - Meer/efficiëntere selectieve inzameling (bv. GFT voor compost)
 - Efficiëntere verwerkingsprocessen
 - Efficiënter landgebruik/landbouwpraktijken

Betrokken casestudies:

- Case 1 (maïsstro): meer selectieve ophaling van GFT, en meer compost productie door toegenomen vraag.

- 3 **Meer gebruik van biomassa residuen** (bv. meer maïsstro of houtresidu geoogst uit het veld/bos) → minder koolstof en nutriënten die achterblijven →
 - Dit kan leiden tot een daling van opbrengsten/groei, of van de gezondheid van het ecosysteem, en van koolstofopslag in de bodem. Een duurzaamheidskader (bv. limieten op maximale extractie van residuen) is belangrijk om mogelijke negatieve gevolgen in te dijken.
 - Compensatie door toevoer van ander materiaal (mest, compost, kunstmest (NPK), ...) →
 - ofwel biologisch, en dan moet het gemodelleerd worden zoals het oorspronkelijk materiaal

- ofwel niet-biologisch, en dan is er meer verbruik en productie van dit niet-biologisch materiaal.

Betrokken casestudies:

- Case 1 (maïsstro): meer maïsstro van het veld gehaald
- Case 2 (residuen van bosexploitatie): meer residuen uit het bos gehaald

4 **Minder gebruik** van deze stroom **door derden** → Meer gebruik van een alternatief materiaal →

- ofwel biologisch, en dan moet het gemodelleerd worden zoals het oorspronkelijk materiaal
- ofwel niet-biologisch, en dan is er meer verbruik en productie van dit niet-biologisch materiaal

Betrokken casestudies:

- case 2 (residuen van bosexploitatie) → minder gebruikt door particulieren → meer aardgas
- case 3 (houtige fractie van groenafval) → minder gebruikt door bio-WKK centrales
- case 4 (A-hout) → verschuiving input spaanplaatproductie → minder hout gebruikt door bio-WKK centrales

Mogelijke eindgevolgen zijn dus:

- Impact op ecosystemen (minder, degradatie) (casestudie: houtresidu, bij te hoge extractie)
- Meer verbruik van niet-biologisch materiaal (casestudies: houtresidu, A-hout, hout uit groenafval => bestaande toepassing van biomassa vervangen door fossiele energie)
- Minder productie van voedsel (niet relevant voor deze cases)
- Meer productie van bruikbare afvalbiomassa door investeringen voor meer efficiëntie (casestudie: maïsstro → verhoogde vraag naar compost zou kunnen leiden tot meer/efficiëntere selectieve inzameling van GFT)

10.3 NOOD AAN VERDER ONDERZOEK - IMPACT AANNAMES

In een diepgaande consequentiële analyse zou er telkens een brede modellering van de samenleving en van het beleid in de komende jaren moeten gebeuren om beter in te schatten wat de gevolgen zijn. Dit is tijdrovend en duur, maar soms noodzakelijk om de onzekerheid van de resultaten te reduceren. De toekomst is per definitie onzeker en onzekerheid is dus eigen aan alle prospectieve studies. Daarom worden aannames besproken en gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Belangrijke factoren zijn:

- de schaal van de productie van biobrandstoffen: dit beïnvloedt
 - o het rendement en de kosten (schaaleffect) en
 - o het type verstoring van de markt: kleine verstoringen zijn eenvoudiger te modelleren terwijl bij grote verstoringen, niet-lineaire reacties mogelijk zijn
- de aanvullende maatregelen die genomen worden door de overheid. Uit de bestudeerde casestudies bleek dat:
 - o de reductie van het gebruik van particuliere houtkachels (of in ieder geval de verlaging van emissies in die toepassingen) noodzakelijk is omwille van de hoge toxische emissies (fijn stof);
 - o meer GFT selectief inzamelen om compost te produceren zeker voordelig is vanuit maatschappelijk oogpunt.

Als deze maatregelen sowieso genomen worden, los van het biobrandstofbeleid, kunnen deze acties niet meer toegerekend worden aan de productie van biobrandstof. Dit werd in de gevoeligheidsanalyses bestudeerd.

De modelleringsaannames werden besproken met een brede klankbordgroep. De gehanteerde basismodellering heeft dus een zeker maatschappelijk draagvlak. Bepaalde tendensen zijn al duidelijk, los van de aannames.

In de casestudies zijn we uitgegaan van een modellering van bepaalde gevolgaannames, besproken met een brede klankbord, en we zien dat sommige inschattingen een grote impact kunnen hebben op het eindresultaat. In verschillende gevallen zou meer diepgaand onderzoek een toegevoegde waarde hebben om de gevolgen van een beleidskeuze (hier ondersteuning geavanceerde biobrandstoffen) duidelijker in te schatten. Hierbij zou het tijdsperspectief beschouwd moeten worden waarin de onderzochte beleidskeuze impact zou hebben (hier 2030 en later). We willen er ook de aandacht op vestigen dat andere beleidskeuzes (ook in het buitenland) hierin kunnen interfereren, en dit moet mee in rekening gebracht worden in de analyse.

Als het buitenland sterkere beleidsondersteuning biedt voor bepaalde biomassa toepassingen (biomassa centrales of biobrandstofproductie), worden bepaalde stromen uitgevoerd om daar te worden ingezet. Ook hier zou een gevolgschatting de buitenlandse toepassing als referentie kunnen beschouwen in het fossiele scenario, waardoor toepassing in eigen land ondergeschikt wordt aan een eventuele (opkomende) vraag van

het buitenland. *(dit is geen retorische case, gezien een aantal nieuwe biomassacentrales in Nederland rekenen op invoer van bepaalde stromen uit Vlaanderen – zoals de houtige fractie van groenafval).*

Verder is er is nood aan bijkomend onderzoek, in het bijzonder voor volgende vragen:

- 1 Hoeveel koolstof wordt op lange termijn gestockeerd in stabiele vorm (humus, hout) als biomassa (maïsstro, residuen van bosexploitatie) op de grond achtergelaten wordt na het oogsten? In welke mate is er ook nog een tragere maar toch significante degradatie? (CO₂-impacten worden over een periode van 100 jaar geanalyseerd)
- 2 Hoe wordt de afvoer van maïsstro (met afvoer koolstof en NPK-inhoud) gecompenseerd?
 - Niet gecompenseerd: lagere beschikbaarheid van nutriënten en minder koolstof in de bodem. Is er een kritische limiet op wat er kan afgevoerd worden, en hoe hangt dit af van de lokale situatie?
 - Toevoer NPK: op welke nutriënten moet dit gebaseerd worden (in deze studie op K-balans)? Allicht is dit ook afhankelijk van de lokale bodemkwaliteit (bv in Vlaamse situatie mag er zeker niet meer P bij worden aangevoerd – kan in andere landen anders zijn). De landbouwers voegen, naast mest, immers ook kunstmest toe om eventueel nutriëntentekort in de bodem te compenseren.
 - Toevoer compost, al dan niet met hogere compostproductie (indien niet, dan wordt er elders minder compost gebruikt met andere gevolgen)
 - Toevoer mest of producten van mestvergisting/ eventueel uit digestaat. Impact op beschikbaarheid van deze producten voor andere landbouwtoepassingen (gevolginschatting)?
 - Toevoer residuen van fermentatieproces: impact op proces (bv interne energievoorziening).
 - Tussengewassen: impact van het landbouwproces.
- 3 Het blijkt uit de modellering dat houtkachels van particulieren een zeer grote milieu impact veroorzaken, vooral op vlak van toxische fijn stof emissie. Ook bij biomassacentrales zijn de emissies een aandachtspunt. Kan een specifiek beleid op vlak van biobrandstoffen gebaseerd zijn op het voordeel dat deze verbranding niet meer plaatsvindt? Het lijkt logischer om (de impacten van) deze activiteiten via andere beleidsmaatregelen te beperken. Hoe rekening houden met evoluties in de toekomst, bv verdere verlaging emissies van biomassacentrales (nieuwe biomassacentrales hebben steeds verdergaande rookgasreiniging)?
- 4 Toekomstige technologische evoluties: verscheidene technologieën van geavanceerde biobrandstoffen zitten nog in demonstratie- of vroege marktphase, en er is nog veel ruimte voor technologische verbetering (bv op gebied van conversierendement, gebruik chemische reactanten, procesemissies). Ook zijn nieuwe aanvullingen mogelijk, bv CO₂ afvang in het conversieproces of extractie van nutriënten uit de residuen die een belangrijke impact op de milieuprestaties kunnen hebben. LCA-gegevens voor technologische evoluties in de toekomst zijn vaak niet beschikbaar of zeer moeilijk in te schatten.

10.4 PRESENTATIE VAN DE BIOGENE EMISSIES

Ook belangrijk te beschouwen is hoe de biogene CO₂-emissies gepresenteerd moeten worden naast fossiele CO₂-emissies. Bij residuen is dit een cruciaal punt omdat voorgeschiedenis voor afval/residuen meestal niet wordt meegenomen in LCA, maar bv bij maïsstro is de koolstof effectief deel van een zeer korte CO₂-cyclus (opname in het jaar ervoor). Vandaar dat biogene CO₂-emissies meestal niet worden meegenomen in LCAs omdat de bijdrage aan atmosferische CO₂ (binnen korte koolstofcyclus) anders is dan bij fossiele CO₂ die netto worden toegevoegd aan de atmosfeer. Het is wel belangrijk om te bekijken of er een impact is op langdurige CO₂-opslag in de bodem of in het bos.

Op vlak van modellering is de keuze van de aanpak in principe neutraal voor de resultaten.

- Als beide CO₂-opname en biogene emissies meegenomen worden in de modellering, dan wordt bijna evenveel CO₂ geëmitteerd als opgenomen werd tijdens de groeifase van de planten. Het verschil is wat op lange termijn in de bodem (humus) of in producten (bv houten ramen/balken) blijft.
- Als biogene koolstof niet meegenomen wordt in de modellering (noch opname, nog emissie), dan moet er wél een krediet worden toegekend voor de lange-termijn stockage van koolstof. Deze hoeveelheid is dezelfde als het verschil van de eerste aanpak.

De keuze van de aanpak heeft dus geen invloed op de vergelijkende resultaten zelf, en normaal gezien dus ook niet op de beslissingen die daarop gebaseerd zijn. Als biogene koolstof meegenomen wordt, dan worden de betrokken hoeveelheden groter en geeft dit de indruk dat klimaatsverandering belangrijker is in het totaal dan wat het is met enkel de netto CO₂-emissies. Als biogene koolstof meegenomen wordt, ogen de verschillen in totale impacten ook relatief kleiner.

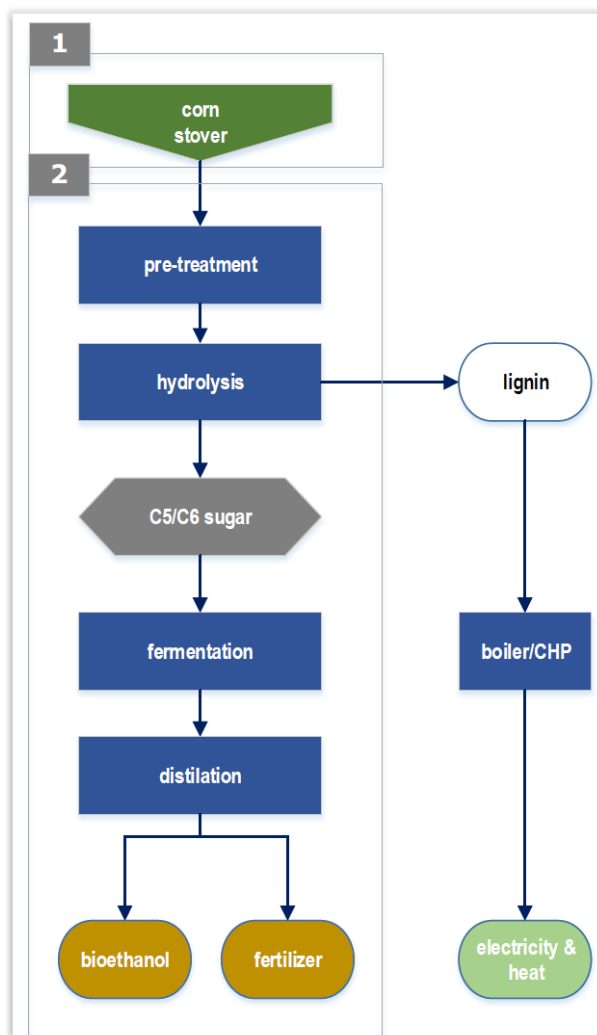
11 BIJLAGE – DETAIL GEGEVENS VAN DE CASESTUDIES

11.1 CASESTUDIE 1: ETHANOL GEPRODUCEERD UIT MAÏSSTRO

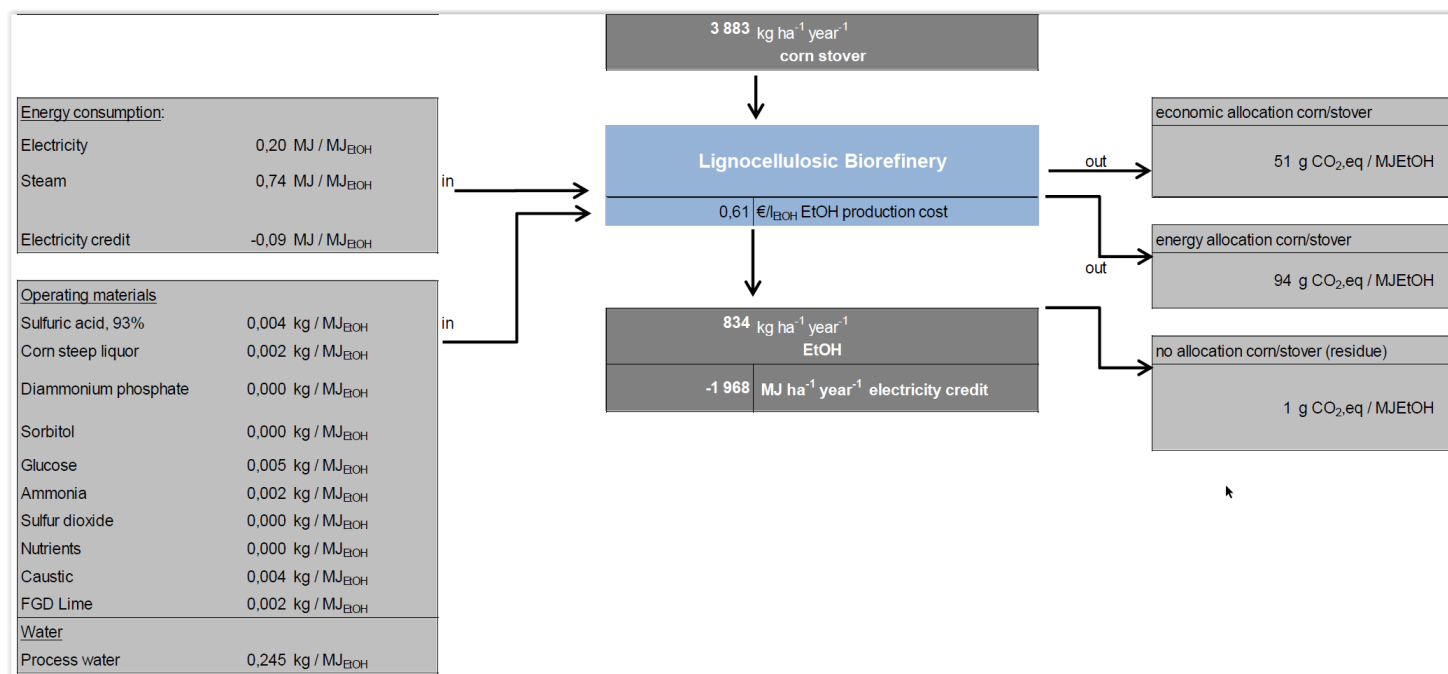
11.1.1 Methodologie

Het basisprocesverloop wordt geïllustreerd in de volgende figuur.

Figuur 77: Basisprocesverloop



Figuur 78: Overzicht van de beoordeling: bio-ethanolsynthese uit maïsstro



Belangrijkste gebruikte gegevens:

- 834 kg bio-ethanol geproduceerd uit 3883 kg maïsstro (droge massa)
- Verschillend chemicaliënverbruik en leidingwaterverbruik (zie tabel in de figuur)
- Energie
 - o Warmte- en elektriciteitsverbruik is volledig afkomstig van de verbranding van lignineresiduen die warmte en elektriciteit produceert. Er wordt dus geen fossiele energie verbruikt voor het transformatieproces.
 - o Na intern verbruik blijft er nog een overschot aan elektriciteit die de productie van elektriciteit met de gemiddelde Belgische mix vervangt (voordeel voor het milieu)
- Uitstoot van 145¹⁴⁰ g biogene CO₂ per MJ-bio-ethanol
- Uitstoten bij lignineverbranding (andere dan biogene CO₂):

Ze komen niet aan bod in het huidige "Technical, Economic and Environmental Assessment of Biorefinery Concepts - Developing a practical approach for characterisation" rapport van IEA Bioenergy. Veronderstellingen werden gemaakt op basis van het Ecolnvent Process "productie van ethanol uit hout - ethanol, zonder water, in 95% oplossingstoestand, uit fermentatie [kg]".

Er werd een analogie gemaakt tussen beide wegen om bio-ethanol te produceren met een equivalent "per kg geproduceerde zuivere bio-ethanol":

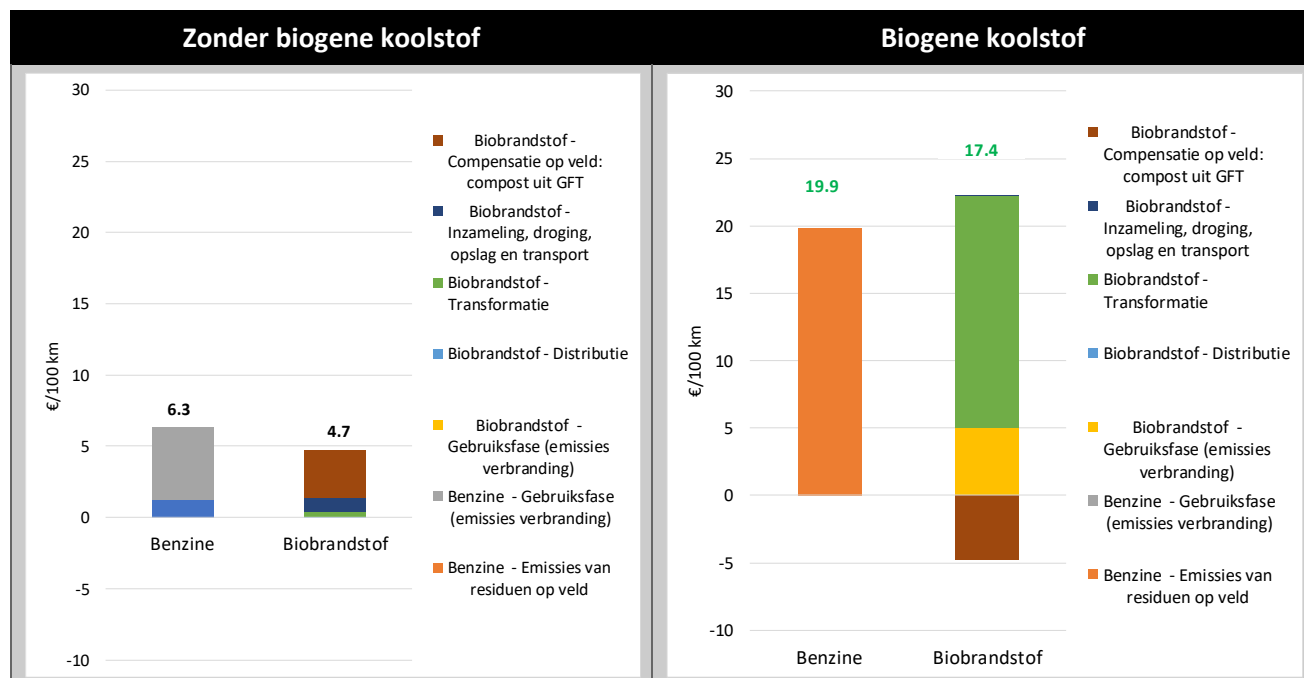
Comp. ^	Sub-comp.	Name	Unit	Bas...	Value
Emissions to air	Emissions to air, unspecified	sulfur dioxide	kg		0.0000462
Emissions to air	Emissions to air, unspecified	Carbon monoxide, non-fossil	kg		0.000141
Emissions to air	Emissions to air, unspecified	ammonia	kg		0.000315
Emissions to air	Emissions to air, unspecified	Nitrogen oxides	kg		0.000816
Emissions to air	Emissions to air, unspecified	nitrogen monoxide	kg		0
Emissions to air	Emissions to urban air close to ground	methane (biogenic)	kg		0.00000871
Emissions to air	Emissions to air, unspecified	non-methane volatile organic compounds	kg		0.0000122
Emissions to air	Emissions to air, unspecified	nitrous oxide	kg		0.000408
Emissions to air	Emissions to air, unspecified	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	kg		0.0000183
Emissions to air	Emissions to air, unspecified	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	kg		0.0000622

Productie van afvalwater: NIET in aanmerking genomen bij de eerste stap van de modellering

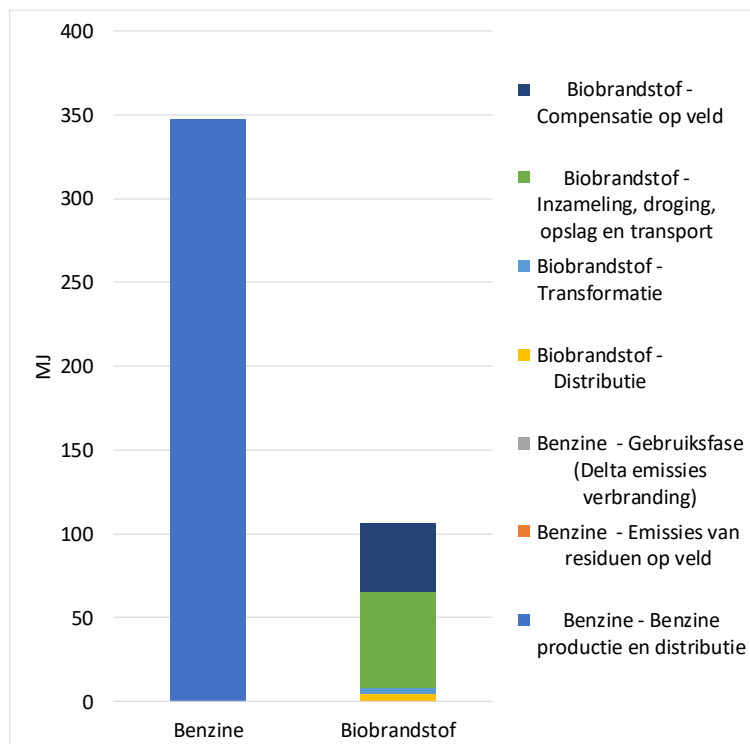
Er is rekening gehouden met een wereldwijde onzekerheid van +/-20% voor de productie van bio-ethanol.

11.1.2 Resultaten

Figuur 79: Klimaatverandering met biogene koolstof (voor 100 km)



Figuur 80: Gebruik van hulpbronnen, fossiel (voor 100 km) – case 1



Tabel 26: Milieuresultaten per impactcategorie – case 1 (basis case)

JRC Impact Categorie	Eenheid	Benzine	Biobrandstof
Acidification	Moles H ⁺ -equivalents	0,051071	0,197579
Cancer human health effects	Comparative Toxic Unit for human (CTUh)	3,285E-08	- 6,088E-09
Climate Change with C Biogenic	kg CO ₂ -Equivalents	101,409	85,344
Ecotoxicity freshwater	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe)	2,999	6,262
Eutrophication freshwater	kg P-equivalents	0,0005968	0,0001169
Eutrophication marine	kg N-equivalents	0,0052087	0,0242766
Eutrophication terrestrial	Moles N-equivalents	0,058577	0,780640
Ionising radiation - human health	kBq Uranium-235 equivalents	1,66424	1,02725
Land use	dimensionless (pt)	19,12	372,28
Non-cancer human health effects	Comparative Toxic Unit for human (CTUh)	3,373E-07	1,282E-06
Ozone depletion	kg CFC11-equivalents	5,522E-06	2,993E-06
Particulate Matter	disease incidence	3,166E-07	1,067E-06
Photochemical ozone formation - human health	kg NMVOC-equivalents	0,023574	0,024046
Resource use, fossils	Energy, MJ	347,80	254,87
Resource use, minerals and metals	kg Antimony equivalents	3,337E-06	6,378E-05
Water use	Volume m ³ -world equivalents	1,8092	4,6152

Voor de milieueffecten die nog niet besproken zijn in de hoofdtekst, zijn de verschillen over het algemeen niet significant.

11.2 CASESTUDIE 2A: METHAAN GEPRODUCEERD UIT RESIDUEN VAN BOSEXPLOITATIE

11.2.1 Resultaten

Tabel 27: Milieuresultaten per impactcategorie – case 2a (basis case)

JRC Impact Categorie	Eenheid	Aardgas	Biobrandstof
Acidification	Moles H ⁺ -equivalents	0,024581	0,042385
Cancer human health effects	Comparative Toxic Unit for human (CTUh)	4,408E-08	1,661E-07
Climate Change with C Biogenic	kg CO ₂ -Equivalents	70,093	63,019
Ecotoxicity freshwater	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe)	2,383	12,771
Eutrophication freshwater	kg P-equivalents	0,0002229	0,0014927
Eutrophication marine	kg N-equivalents	0,0073661	0,0162039
Eutrophication terrestrial	Moles N-equivalents	0,084866	0,168727
Ionising radiation - human health	kBq Uranium-235 equivalents	0,30037	2,44998
Land use	dimensionless (pt)	3,80	216,41
Non-cancer human health effects	Comparative Toxic Unit for human (CTUh)	2,564E-06	1,281E-05
Ozone depletion	kg CFC11-equivalents	3,394E-06	1,065E-06
Particulate Matter	disease incidence	2,279E-06	3,665E-07
Photochemical ozone formation - human health	kg NMVOC-equivalents	0,027007	0,032294
Resource use, fossils	Energy, MJ	324,98	148,67
Resource use, minerals and metals	kg Antimony equivalents	1,669E-06	1,107E-04
Water use	Volume m ³ -world equivalents	0,3566	3,5003

Voor de milieueffecten die nog niet besproken zijn in de hoofdttekst, zijn de verschillen over het algemeen niet significant.

11.3 CASESTUDIE 2B: BIODIESEL GEPRODUCEERD UIT RESIDUEN VAN BOSEXPLOITATIE

11.3.1 Resultaten

Tabel 28: Milieuresultaten per impactcategorie – case 2b (basis case)

JRC Impact Categorie	Eenheid	Diesel	Biobrandstof
Acidification	Moles H ⁺ -equivalents	0,093337	0,058052
Cancer human health effects	Comparative Toxic Unit for human (CTUh)	4,108E-08	1,835E-08
Climate Change with C Biogenic	kg CO ₂ -Equivalents	52,748	41,939
Ecotoxicity freshwater	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe)	3,506	2,516
Eutrophication freshwater	kg P-equivalents	0,0004498	- 0,0002027
Eutrophication marine	kg N-equivalents	0,0332113	0,0290754
Eutrophication terrestrial	Moles N-equivalents	0,367187	0,347541
Ionising radiation - human health	kBq Uranium-235 equivalents	1,50518	- 0,03554
Land use	dimensionless (pt)	15,45	2,78
Non-cancer human health effects	Comparative Toxic Unit for human (CTUh)	1,798E-06	7,347E-07
Ozone depletion	kg CFC11-equivalents	4,833E-06	1,007E-06
Particulate Matter	disease incidence	1,757E-06	3,136E-07
Photochemical ozone formation - human health	kg NMVOC-equivalents	0,096345	0,131916
Resource use, fossils	Energy, MJ	297,61	99,77
Resource use, minerals and metals	kg Antimony equivalents	2,312E-06	3,123E-06
Water use	Volume m ³ -world equivalents	1,5922	0,2231

Voor de milieueffecten die nog niet besproken zijn in de hoofdttekst, zijn de verschillen over het algemeen niet significant.

11.4 CASESTUDIE 3A: METHAAN GEPRODUCEERD UIT DE HOUTIGE FRACTIE VAN GROENAFVAL

11.4.1 Resultaten

Tabel 29: Milieuresultaten per impactcategorie – case 3a (basis case)

JRC Impact Categorie	Eenheid	Aardgas	Biobrandstof
Acidification	Moles H ⁺ -equivalents	0,086841	0,062891
Cancer human health effects	Comparative Toxic Unit for human (CTUh)	1,742E-07	1,887E-07
Climate Change with C Biogenic	kg CO ₂ -Equivalents	74,613	89,006
Ecotoxicity freshwater	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe)	11,158	1é,117
Eutrophication freshwater	kg P-equivalents	0,0007077	0,0017592
Eutrophication marine	kg N-equivalents	0,0359106	0,0223796
Eutrophication terrestrial	Moles N-equivalents	0,415809	0,237557
Ionising radiation - human health	kBq Uranium-235 equivalents	0,97739	2,72178
Land use	dimensionless (pt)	7,95	220,17
Non-cancer human health effects	Comparative Toxic Unit for human (CTUh)	1,356E-05	1,296E-05
Ozone depletion	kg CFC11-equivalents	3,461E-06	4,951E-06
Particulate Matter	disease incidence	1,444E-06	4,370E-07
Photochemical ozone formation - human health	kg NMVOC-equivalents	0,101866	0,054112
Resource use, fossils	Energy, MJ	340,95	585,07
Resource use, minerals and metals	kg Antimony equivalents	5,618E-06	1,109E-04
Water use	Volume m ³ -world equivalents	1,1740	3,7057

Voor de milieueffecten die nog niet besproken zijn in de hoofdttekst, zijn de verschillen over het algemeen niet significant.

11.5 CASESTUDIE 3B: BIODIESEL GEPRODUCEERD UIT DE HOUTIGE FRACTIE VAN GROENAFVAL

11.5.1 Resultaten

Tabel 30: Milieuresultaten per impactcategorie – case 3b (basis case)

JRC Impact Categorie	Eenheid	Diesel	Biobrandstof
Acidification	Moles H ⁺ -equivalents	0,132579	0,070914
Cancer human health effects	Comparative Toxic Unit for human (CTUh)	1,231E-07	3,234E-08
Climate Change with C Biogenic	kg CO ₂ -Equivalents	55,597	58,245
Ecotoxicity freshwater	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe)	9,037	2,085
Eutrophication freshwater	kg P-equivalents	0,0007553	- 0,0000370
Eutrophication marine	kg N-equivalents	0,0512025	0,0329418
Eutrophication terrestrial	Moles N-equivalents	0,575776	0,390654
Ionising radiation - human health	kBq Uranium-235 equivalents	1,93190	0,13165
Land use	dimensionless (pt)	18,07	4,78
Non-cancer human health effects	Comparative Toxic Unit for human (CTUh)	8,726E-06	8,022E-07
Ozone depletion	kg CFC11-equivalents	4,875E-06	3,455E-06
Particulate Matter	disease incidence	1,231E-06	3,574E-07
Photochemical ozone formation - human health	kg NMVOC-equivalents	0,143528	0,146522
Resource use, fossils	Energy, MJ	307,67	374,71
Resource use, minerals and metals	kg Antimony equivalents	4,800E-06	3,001E-06
Water use	Volume m ³ -world equivalents	2,1074	0,3467

Voor de milieueffecten die nog niet besproken zijn in de hoofdttekst, zijn de verschillen over het algemeen niet significant.

11.6 CASESTUDIE 4: METHAAN GEPRODUCEERD UIT POSTCONSUMER HOUTAFVAL (A-HOUT)

11.6.1 Resultaten

Tabel 31: Milieuresultaten per impactcategorie – case 4 (basis case)

JRC Impact Categorie	Eenheid	Aardgas	Biobrandstof
Acidification	Moles H ⁺ -equivalents	0,080693	0,060654
Cancer human health effects	Comparative Toxic Unit for human (CTUh)	1,611E-07	1,858E-07
Climate Change with C Biogenic	kg CO ₂ -Equivalents	69,863	81,676
Ecotoxicity freshwater	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe)	10,290	11,947
Eutrophication freshwater	kg P-equivalents	0,0006591	0,0017219
Eutrophication marine	kg N-equivalents	0,0330890	0,0217744
Eutrophication terrestrial	Moles N-equivalents	0,382974	0,230638
Ionising radiation - human health	kBq Uranium-235 equivalents	0,90737	2,69600
Land use	dimensionless (pt)	7,80	575,38
Non-cancer human health effects	Comparative Toxic Unit for human (CTUh)	1,240E-05	1,294E-05
Ozone depletion	kg CFC11-equivalents	3,458E-06	4,572E-06
Particulate Matter	disease incidence	1,324E-06	4,256E-07
Photochemical ozone formation - human health	kg NMVOC-equivalents	0,094313	0,052931
Resource use, fossils	Energy, MJ	339,58	540,74
Resource use, minerals and metals	kg Antimony equivalents	5,257E-06	1,107E-04
Water use	Volume m ³ -world equivalents	1,0896	3,6948

Voor de milieueffecten die nog niet besproken zijn in de hoofdttekst, zijn de verschillen over het algemeen niet significant.