



Vlaanderen
is materiaalbewust



VERWERKINGSSCENARIO'S VLAAMS Huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval 2020-2030

SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER

OVAM

WWW.OVAM.BE

////////////////////////////////////

VERWERKINGSSCENARIO'S

VLAAMS HUISHOUDELIJK

AFVAL EN GELIJKAARDIG

BEDRIJFSAFVAL 2020-2030

publicatiedatum / 17.12.2019

////////////////////////////////////

DOCUMENTBESCHRIJVING

- | | |
|--|---|
| <p>1 <i>Titel van publicatie:</i>
Verwerkingsscenario's Vlaams
huishoudelijk afval en gelijkaardig
bedrijfsafval 2020-2030</p> <p>3 <i>Wettelijk Depot nummer:</i> 2016</p> <p>5 <i>Samenvatting:</i>
<i>In 2001 heeft de Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij (OVAM) een studie laten uitvoeren naar verwerkingsscenario's voor de restfractie van huishoudelijk afval en niet-specifiek categorie II-afval (Vrancken, et al., 2001). In de studie uit 2001 is specifiek gekeken naar het huisvuil. Sinds 2001 zijn nieuwe technieken ontwikkeld, of in ontwikkeling, voor verwerking van huisvuil. De vraag is of deze technieken voldoende ontwikkeld zijn en/of deze technieken van toepassing zijn op het Vlaams huisvuil. OVAM laat daarom een actualisatie uitvoeren van de studie uit 2001. Naast huisvuil worden ook andere restfracties uit huishoudelijk afval verbrand, ook deze stromen dienen meegenomen te worden in de actualisatie van de studie.</i></p> <p>6 <i>Aantal bladzijden:</i> 336</p> <p>8 <i>Datum publicatie:</i>
December 2019

<i>Auteurs:</i>
Sanne Nusselder, Geert Bergsma,
Diederik Jaspers, Erik Roos Lindgreen,
Marijn Bijleveld (allen CE Delft)</p> <p>11 <i>Andere titels over dit onderwerp:</i> /
xxxx</p> | <p>2 <i>Verantwoordelijke Uitgever:</i>
OVAM</p> <p>4 <i>Trefwoorden:</i>
<i>Afvalverwerking / Huishoudens / Bedrijven /
Technologie / Economisch factoren /
Grondstoffen / LCA / Scenario's / Vlaanderen</i></p> <p>7 <i>Aantal tabellen en figuren:</i>
<i>164 tabellen; 78 figuren</i></p> <p>9 <i>Prijs*:</i> /</p> <p>10 <i>Contactpersonen:</i>
Luk Umans
Lieve De Greeff</p> |
|--|---|

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.

INHOUD

1	Introductie.....	35
1.1	Doel studie	35
1.2	Afbakening	35
1.3	Selectie technieken	35
1.4	Onderzoeksmethodiek	36
1.5	Disclaimer	36
1.6	Leeswijzer	36
2	Afbakening studie	39
2.1	Afvalsoorten	39
2.2	Huidige AVI als referentietechniek	40
2.3	Geografische locatie	40
2.4	Tijdsafbakening	40
3	Overzicht relevante technieken	41
3.1	Introductie	41
3.1.1	Inventarisatie relevante technieken	41
3.1.2	Indeling technieken	41
3.1.3	Niveau van ontwikkeling technieken	42
3.2	Thermochemische technieken	43
3.2.1	Radiolyse	45
3.2.2	Torrefactie (200-400°C)	46
3.2.3	Pyrolyse (400-600°C)	46
3.2.4	Geïntegreerde hydrolyse	47
3.2.5	Lagetemperatuurvergassing (800-1.000°C)	48
3.2.6	Mediumtemperatuurvergassing (900-1.650°C)	48
3.2.7	Plasmavergassing (tot 5.000°C)	49
3.3	Chemische recyclage en selectieve extractietechnieken	49
3.3.1	Cellulose-extractie	50
3.3.2	Depolymerisatie d.m.v. magnetische katalysator	51
3.3.3	Hydrolyse i.c.m. vergisting	51
3.3.4	Selectieve polymeerextractie met oplosmiddelen	51
3.4	Nascheidingstechnieken	52
3.4.1	Mechanische scheiding, thermochemische recyclage	53
3.4.2	Autoclaving, mechanische scheiding	54
3.4.3	Natte scheiding, natte vergisting	54
3.4.4	Droge scheiding, droge vergisting	55
3.4.5	Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie	56
3.4.6	Droge scheiding zonder biologische behandeling	56
3.4.7	Biologisch drogen, mechanische scheiding	56
3.5	Uitbreiding/modernisering van huidige afvalverbrandingstechniek	57
4	Selectie van technieken	57
4.1	Algemeen schema hoofdroutes	58
4.2	Selectie op basis van selectiecriteria	60
4.2.1	De selectiecriteria	60

4.2.2	Toepassing selectiecriteria	61
4.3	Geselecteerde verwerkroutes	64
4.3.1	Onderverdeling technieken	65
5	Onderzoeksmethodiek – huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	67
5.1	Doel	67
5.2	Afbakening	67
5.2.1	Functionele eenheid	67
5.2.2	Systeemgrenzen	69
5.2.3	Biogeen en fossiel koolstof	72
5.3	Onderzoeksmethoden	72
5.3.1	Levenscyclusanalyse (LCA)	73
5.3.2	Kenmerken van de output	75
5.3.3	Analyse verwerkingscapaciteit, flexibiliteit en investeringskosten	75
5.4	Datakwaliteit	76
5.4.1	Datakwaliteit bestudeerde technieken	76
5.4.2	Datakwaliteit achtergrondgegevens	76
5.5	Gevoeligheidsanalyses	76
5.5.1	Verandering in de samenstelling van huisvuil	77
5.5.2	Onzekerheden in onderzochte verwerkingsroutes	77
5.5.3	Invloed weglaten transport uit de analyse	77
5.5.4	Invloed keuze attributionele LCA	77
6	Inventarisatie – huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	78
6.1	Referentiescenario	78
6.1.1	Conventionele AVI	79
6.2	Nascheiding	81
6.2.1	Natte scheiding, natte vergisting	81
6.2.2	Droge scheiding, droge vergisting	83
6.2.3	Droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking	85
6.2.4	Mechanisch-biologische scheiding	87
6.3	Behandeling residu	88
6.3.1	Geïntegreerde hydrolyse (3de generatie)	88
6.3.2	Overige residuverwerkingsprocessen	89
6.4	Geïntegreerde technieken	89
6.4.1	Mechanische scheiding, thermochemische recyclage	89
6.4.2	AVI+	91
6.5	Gelijkblijvend bij verschillende verwerkingsscenario's	92
6.5.1	Gemeenschappelijke processen	92
6.5.2	Gemeenschappelijke inputs en outputs	102
7	Bedrijfseconomische aspecten	106
7.1	Inleiding	106
7.2	Verwerkingscapaciteit en flexibiliteit	106
7.2.1	Nascheidingstechnieken	106
7.2.2	Residuverwerkingstechnieken	107
7.3	Investeringskosten	110
7.3.1	Nascheidingskosten	110

7.3.2	Residuverwerkingstechnieken	112
7.4	Conclusies	112
8	Grondstofefficiëntie – huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	115
8.1	INleiding	115
8.2	Grondstofefficiëntie per verwerkroute	115
8.2.1	Huisvuil	115
8.2.2	Bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	121
8.3	Grondstofefficiëntie vergeleken	127
8.3.1	Huisvuil	127
8.3.2	Bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	128
8.4	Conclusies	130
9	Resultaten LCA: huisvuil.....	131
9.1	Inleiding	131
9.2	Resultaten milieu-indicatoren	131
9.2.1	Inleiding	131
9.2.2	Resultaten op hoofdlijnen	132
9.3	Resultaten schadecategorieën	142
9.3.1	Inleiding	142
9.3.2	Resultaten op hoofdlijnen	143
9.4	Resultaten exergetische LCA (CEENE)	145
9.4.1	Inleiding	145
9.4.2	Resultaten op hoofdlijnen	146
9.5	Conclusies	149
10	Resultaten LCA: bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	150
10.1	Inleiding	150
10.2	Resultaten milieu-indicatoren	151
10.2.1	Inleiding	151
10.2.2	Resultaten op hoofdlijnen	151
10.3	Resultaten schadecategorieën	159
10.3.1	Inleiding	159
10.3.2	Resultaten op hoofdlijnen	159
10.4	Resultaten exergetische LCA (CEENE)	162
10.4.1	Inleiding	162
10.4.2	Resultaten op hoofdlijnen	162
10.5	Conclusies	164
11	Gevoeligheidsanalyses	165
11.1	Verandering in de samenstelling van huisvuil	165
11.1.1	Uitbreiding recyclage verpakkingsmateriaal	166
11.1.2	Uitbreiding inzameling GFT	170
11.1.3	Uitbreiding selectieve inzameling textiel	175
11.2	Onzekerheden in onderzochte verwerkingsroutes	179
11.2.1	Variatie AVI-rendement	179
11.2.2	Realisatie van CO ₂ -afvang en -opslag (CCS) en toepassing (CCU)	182
11.2.3	Efficiëntie kunststofafscheiding en kunststofsamenstelling – huisvuil	193

11.3	Invloed keuze attributionele LCA/variantie in elektriciteitsmix	194
11.3.1	Bestaande verwerkroutes (2020-2025)	194
11.3.2	Conclusies	198
11.4	Invloed weglaten transport uit de analyse	198
11.4.1	Bestaande verwerkroutes (2020-2025)	198
11.4.2	Theoretische verwerkroutes (2025-2030)	201
11.4.3	Conclusies	203
11.5	Biogene CO ₂ meenemen in klimaatimpact	203
11.5.1	Bestaande verwerkroutes (2020-2025)	203
11.5.2	Theoretische verwerkroutes (2025-2030)	205
11.5.3	Conclusies	207
12	Kwalitatieve analyse grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil	208
13	Conclusies.....	210
13.1	Conclusies milieukundige analyse korte termijn (2020-2025)	210
13.2	Conclusies milieukundige analyse langere termijn (2025-2030)	211
13.3	Conclusies exergetische	213
13.4	Conclusies gevoeligheidsanalyses	214
13.4.1	Verandering in afvalsamenstelling: Uitbreiding Fost Plus	214
13.4.2	Verandering in afvalsamenstelling: Minder GFT in huisvuil door betere scheiding GFT	214
13.4.3	Verandering in afvalsamenstelling: Minder textiel in huisvuil door uitbreiding selectieve inzameling textiel	214
13.4.4	Variatie in AVI-rendement conventionele AVI	214
13.4.5	Variatie in elektriciteitsmix	214
13.4.6	CO ₂ -vastlegging en opslag (CCS) en toepassing (CCU)	215
13.4.7	Transport	215
13.5	Conclusies uit LCA-analyse	215
13.5.1	Korte termijn (2020-2025)	215
13.5.2	Langere termijn (2025-2030)	216
13.6	Onzekerheden milieukundige analyse	216
13.7	Bedrijfseconomische aspecten	216
13.8	Grondstofefficiëntie	216
13.9	Conclusies grofvuil	217
13.10	Overkoepelende conclusies	217
13.11	Aanbevelingen voor vervolg	221
14	Bibliografie	222

Bijlagen

A	TOELICHTING FUNCTIONELE EENHEID	224
A.1	Functionele eenheid	224
A.1.1	Huisvuil	224
A.1.2	Gelijkaardig bedrijfsafval	224
A.2	Aanpassing functionele eenheid voor gevoeligheidsanalyses	230
A.2.1	Uitbreiding recyclage van verpakkingsmateriaal	230
A.2.2	Uitbreiding inzameling van GFT	231
A.2.3	Uitbreiding inzameling textiel	232

B	INVENTARISATIE CONVENTIONELE AVI.....	233
B.1	Rendement AVI	233
B.2	Verbrandingsemissies	234
B.3	Hulpstoffen	234
B.4	Bodemasverwerking	235
B.4.1	Terugwinning ferro en non-ferrometalen	235
B.4.2	Toepassing van verwerkte bodemas	235
B.5	Vliegasverwerking	236
C	INVENTARISATIE DROGE SCHEIDING, DROGE VERGISTING	238
C.1	Scheidingsrendementen	238
C.2	Droge nascheiding en 3D-sortering	238
C.3	Droge vergisting	239
C.4	Fijn Digestaatverwerking	240
C.5	Emissies naar lucht	240
D	INVENTARISATIE DROGE SCHEIDING, DROGE VERGISTING INCL. COMPOSTPRODUCTIE ..	241
D.1	Huidige verwerking	241
D.1.1	Scheidingsrendementen	241
D.1.2	Algemene inputs	242
D.1.3	Droge nascheiding	242
D.1.4	Droge vergisting	243
D.1.5	SORDISEP	244
D.1.6	Emissies naar lucht	245
D.2	Theoretische verwerking	246
E	INVENTARISATIE MECHANISCH-BIOLOGISCHE SCHEIDING	248
E.1	Scheidingsrendementen	248
E.2	Energiegebruik	249
E.3	Emissies naar lucht	249
F	INVENTARISATIE HYDROPYROLYSE	251
F.1	Scheidingsrendementen	251
F.2	Voorsortering en vermaler	252
F.3	Droger	252
F.4	Reactoren	252
F.5	Destillatie-/fractioneringskolom	252
F.6	Emissies naar lucht	253
F.7	Initiatiefnemers geïntegreerde hydropyrolyse met websites	253
G	INVENTARISATIE AVI+	254
G.1	Rendement AVI+	254
G.2	Verbrandingsemissies	254
G.3	Bodemasverwerking	254
G.3.1	Terugwinning ferro en non-ferrometalen	254
G.3.2	Toepassing van verwerkte bodemas	255
G.4	Vliegasverwerking	255
G.5	Hulpstoffen	255

H	RESULTATEN PER MILIEU-INDICATOR.....	256
H.1	Klimaatverandering	256
H.1.1	Bestaande verwerkroutes	256
H.1.2	Theoretische verwerkroutes	258
H.2	Aantasting ozonlaag	260
H.2.1	Bestaande verwerkroutes	261
H.2.2	Theoretische verwerkroutes	261
H.3	Ioniserende straling	262
H.3.1	Bestaande verwerkroutes	262
14.1.1	Theoretische verwerkroutes	263
H.4	Ozonvorming – menselijke gezondheid en ecosystemen	264
H.4.1	Bestaande verwerkroutes	265
H.4.2	Theoretische verwerkroutes	265
H.5	Fijnstofvorming	266
H.5.1	Bestaande verwerkroutes	267
H.5.2	Theoretische verwerkroutes	268
H.6	Terrestrische verzuring	269
H.6.1	Bestaande verwerkroutes	269
H.6.2	Theoretische verwerkroutes	270
H.7	Zoetwatervermesting en zoutwatervermesting	271
H.7.1	Bestaande verwerkroutes	271
H.7.2	Theoretische verwerkroutes	272
H.8	Ecotoxiciteit bodem, zoetwater en zoutwater	273
H.8.1	Bestaande verwerkroutes	273
H.8.2	Theoretische verwerkroutes	273
H.9	Humane toxiciteit – carcinogeen	273
H.9.1	Bestaande verwerkroutes	274
H.9.2	Theoretische verwerkroutes	274
H.10	Humane toxiciteit – niet-carcinogeen	275
H.10.1	Bestaande verwerkroutes	276
H.10.2	Theoretische verwerkroutes	276
H.11	Landgebruik	278
H.11.1	Bestaande verwerkroutes	278
H.11.2	Theoretische verwerkroutes	279
H.12	Schaarste – mineralen	280
H.12.1	Bestaande verwerkroutes	280
H.12.2	Theoretische verwerkroutes	281
H.13	Schaarste – fossiele grondstoffen	282
H.13.1	Bestaande verwerkroutes	282
H.13.2	Theoretische verwerkroutes	283
H.14	Watergebruik	284
H.14.1	Bestaande verwerkroutes	284
H.14.2	Theoretische verwerkroutes	285
H.15	Schade aan menselijke gezondheid	286
H.15.1	Bestaande verwerkroutes	287
H.15.2	Theoretische verwerkroutes	289

H.16	Schade aan ecosystemen	291
H.16.1	Bestaande verwerkroutes	292
H.16.2	Theoretische verwerkroutes	294
H.17	Economische schade door uitputting grondstoffen	296
H.17.1	Bestaande verwerkroutes	297
H.17.2	Theoretische verwerkroutes	299
I	RESULTATEN PER VERWERKROUTE	302
I.1	Resultaten conventionele AVI	302
I.2	Resultaten natte scheiding, natte vergisting	303
I.2.1	Resultaten natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	303
I.2.2	Resultaten natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	304
I.2.3	Resultaten natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydropyrolyse	305
I.3	Resultaten droge scheiding, droge vergisting	306
I.3.1	Resultaten droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	306
I.3.2	Resultaten droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	308
I.3.3	Resultaten droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydropyrolyse	309
I.4	Resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking	310
I.4.1	Resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking, residu naar conventionele AVI	310
I.4.2	Resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking, residu naar AVI+	311
I.4.3	Resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking, residu naar hydropyrolyse	313
I.5	Resultaten mechanisch-biologische scheiding	314
I.5.1	Resultaten mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	314
I.5.2	Resultaten mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	315
I.5.3	Resultaten mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydropyrolyse	316
I.6	resultaten AVI+	317
I.7	Resultaten mechanische scheiding, thermochemische recyclage	318
J	GEGEVENS MEDIUMTEMPERATUURVERGASSING	320
J.1	Beschrijving technologie	320
J.2	Verwerkingscapaciteit en investeringskosten	321
K	REVIEW STATEMENT VAN RAPPORT: 'VERWERKINGSSCENARIO'S VLAAMS Huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval 2020-2030	322

SAMENVATTING

Inleiding en doel

In 2001 heeft de Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij (OVAM) een studie laten uitvoeren naar verwerkingsscenario's voor de restfractie van huishoudelijk afval en niet-specifiek categorie II-afval. Sinds 2001 zijn nieuwe technieken ontwikkeld, of in ontwikkeling, voor verwerking van huisvuil, grofvuil en gelijkaardig bedrijfsafval evenals de sorteerresiduen die vrijkomen bij selectieve inzameling van huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval. In deze studie zijn een reeks technieken milieukundig onderzocht die Vlaams huisvuil alleen of in combinatie kunnen verwerken. In deze studie vergelijken we een selectie van deze technieken met de huidige afvalverbrandingsinstallaties (AVI) met energieproductie.

Methodiek

Het onderzoek omvat een milieukundige LCA-analyse, een exergetische LCA-analyse, beschrijving van de verwerkingscapaciteit en flexibiliteit en analyse van de investeringskosten per geselecteerde techniek. Er wordt zowel gekeken naar de productieprocessen als naar de geproduceerde eindproducten (energie, grondstoffen of brandstoffen). Bij de analyse worden de aspecten in kaart gebracht die tot een milieu-impact of een exergie-onttrekking leiden.

Afvalsamenstelling

In de analyse is gebruik gemaakt van de afvalsamenstelling van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil zoals deze in respectievelijk 2013/2014 en 2017. Bij het uitvoeren van deze analyse was nog niet bekend dat het Fost Plus-systeem voor kunststofinzameling, sortering en recycling uitgebreid zou gaan worden naar vrijwel alle kunststof verpakkingen van huishoudens. In de hoofdanalyse gaan we dus nog uit van het systeem waarbij alleen flessen en flacons selectief worden ingezameld. In de gevoeligheidsanalyse hebben we wel een verandering van het systeem meegenomen.

Selectie technieken

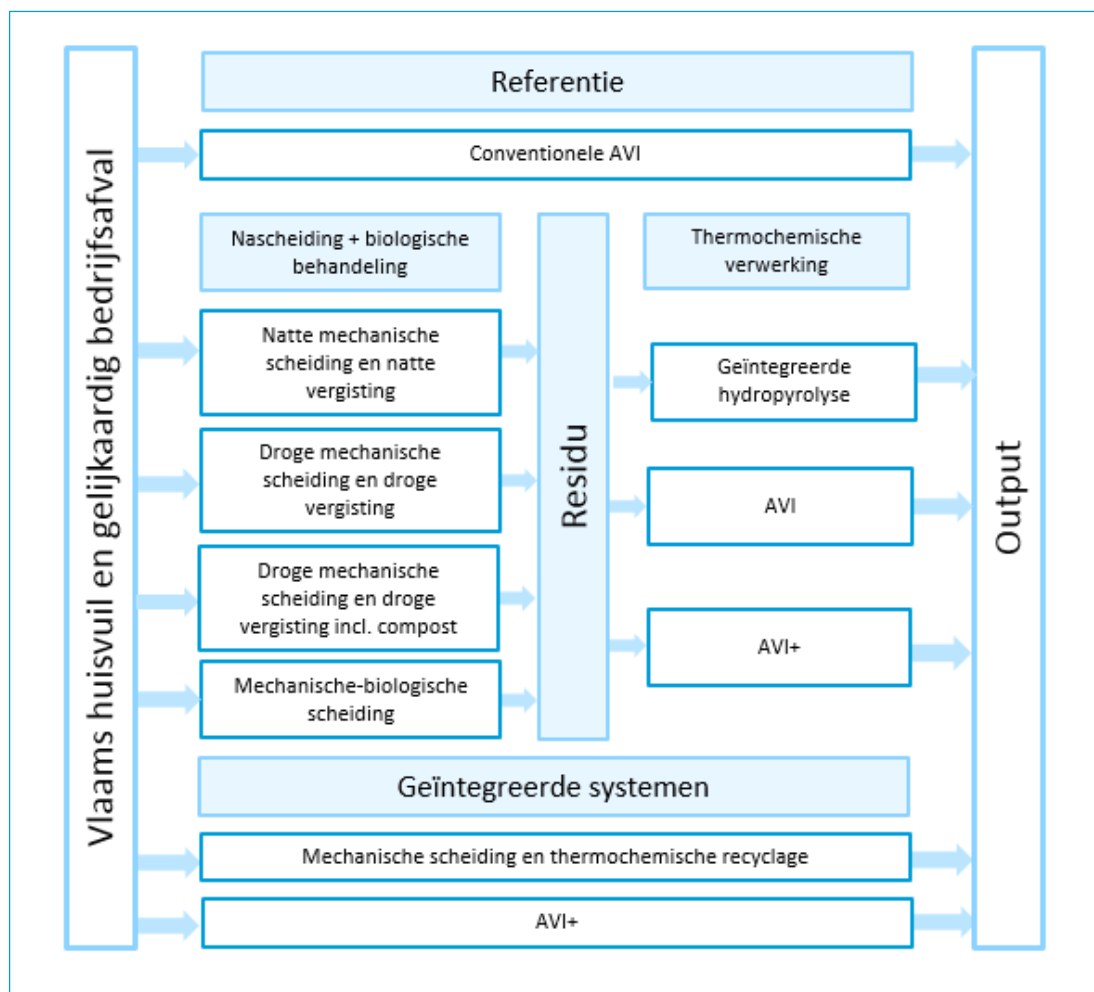
Dit rapport begint bij inventariseren van beschikbare technieken voor de verwerking van de beschreven afvalstromen. De technieken in dit onderzoek zijn geïnventariseerd op basis van een recente studie van het Europese Joint Research Center (JRC), eerder uitgevoerd werk door CE Delft en suggesties van de klankbordgroep. De geïnventariseerde technieken zijn ingedeeld in de volgende categorieën:

- thermochemische verwerkingstechnieken;
- chemische recyclage- en selectieve extractietechnieken;
- nascheidingstechnieken;
- uitbreiding/modernisering van bestaande afvalverbrandingsinstallaties.

Uit deze technieken is een selectie gemaakt van technieken voor verdere analyse. De technieken zijn geselecteerd op de vraag of de techniek nu of in de toekomst toepasbaar en relevant lijkt te kunnen zijn voor Vlaams afval en of het mogelijk is gebleken gedurende het onderzoekstraject voldoende data te verkrijgen over de techniek voor een doorrekening.

Figuur 1 geeft een overzicht van de geselecteerde verwerkroutes voor analyse.

Figuur 1 Overzichtsschema geselecteerde verwerkroutes voor analyse



De AVI+ is een AVI met een hoog rendement. De technieken zijn ingedeeld naar mogelijk toepassing op korte termijn (2020-2025) en meer theoretische routes wellicht voor 2025-2030. Onder technieken op korte termijn zijn bestaande technieken ingedeeld die reeds op grote schaal toegepast worden voor huisvuil. Onder de theoretische verwerkroutes zijn technieken geschaard die in combinatie niet op grote schaal toegepast worden of waarvoor nog geen praktijkgegevens voorhanden zijn. Dit zijn daarmee met name technieken die nog niet toegepast zijn en die nog verder ontwikkelt dienen te worden om huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil te kunnen verwerken in de toekomst (2025-2030).

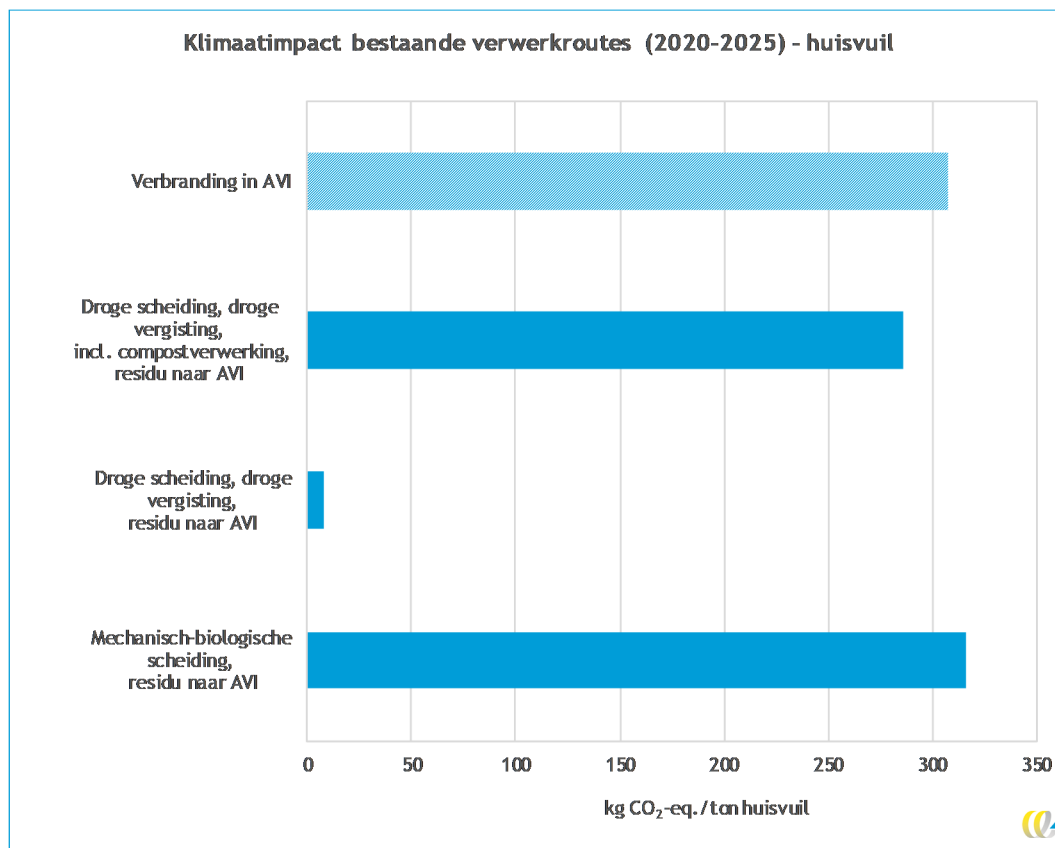
Tabel 1 Onderverdeling technieken in bestaande en theoretische verwerkingsroutes

Nascheidingstechniek/ geïntegreerd systeem	2020-2025 Bestaande verwerkingsroutes	2025-2030 Theoretische verwerkingsroutes
Referentietechniek	AVI	AVI
Droge scheiding en droge vergisting.	Gecombineerd met: Residu naar AVI	Gecombineerd met: Residu naar AVI+ Residu naar hydropyrolyse
Droge scheiding en droge vergisting incl. compostproductie.		
Mechanisch-biologische scheiding.		
Natte scheiding en natte vergisting.	Nog geen praktijkgegevens beschikbaar van verwerking op volledige schaal.	Gecombineerd met: Residu naar AVI Residu naar AVI+ Residu naar hydropyrolyse
Mechanisch scheiding, thermochemische recyclage.	Nog niet mogelijk (i.v.m. vergunning) voor verwerking huisvuil (wel voor bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil) en nog geen praktijkgegevens beschikbaar.	Als geïntegreerd systeem theoretisch mogelijk vanaf 2025
AVI+	Nog niet mogelijk (i.v.m. infrastructuurbehoefte warmteafzet).	Als geïntegreerd systeem theoretisch mogelijk vanaf 2025

Klimaatimpact – huisvuil en gelijkaardig bedrijfsafval

Figuur 2 laat een duidelijke verlaging van de klimaatimpact zien ten opzichte van verbranding in de conventionele AVI, bij verwerking van huisvuil via de verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI'. De verwerking van huisvuil in een van de andere twee bestaande verwerkroutes leidt tot een vergelijkbare klimaatimpact als verbranding van het huisvuil in een conventionele AVI. Voor de verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking, residu naar AVI' is dit te verklaren door het feit dat het compost zoals dit nu geproduceerd wordt in Frankrijk niet afgezet mag worden volgens Vlaams wetgeving om twee redenen: de compostkwaliteit (zware metalen in compost) en compost uit huisvuilverwerking (ongeacht de compostkwaliteit) mag niet afgezet worden in de land- en tuinbouw.

Figuur 2 Klimaatimpact voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt huisvuil



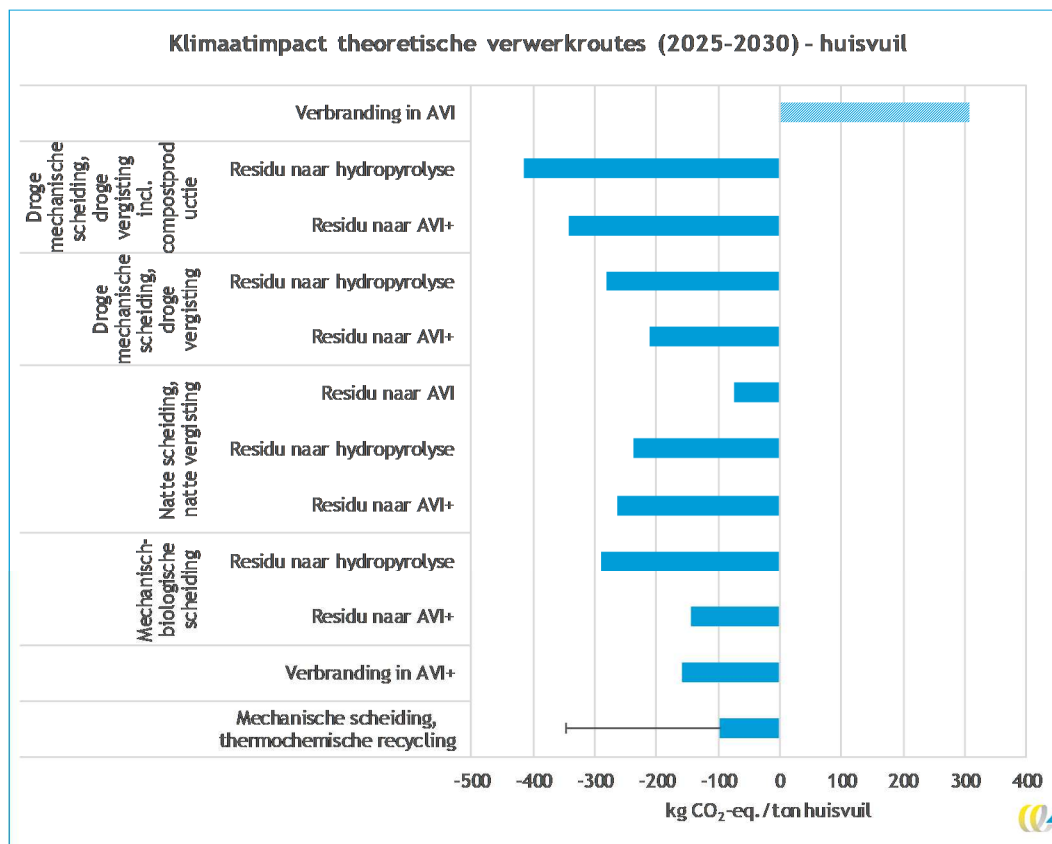
- NB1 De technieken ‘verbranding in AVI’ en ‘mechanisch-biologische scheiding’ worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk (‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking’) en Nederland (‘droge scheiding, droge vergisting’). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze “compost” in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI. Door dit punt scoort deze techniek vrijwel gelijk aan de AVI. Er is een winst door afscheiden van materialen voor recycling maar een verlies door energie benodigd voor de techniek en dus geen winst uit compost.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Rendementen zijn aangeleverd door brancheorganisatie BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

Figuur 3 laat zien dat alle theoretische verwerkroutes een klimaatvoordeel opleveren, terwijl een conventionele AVI een klimaatimpact oplevert. Op basis van deze resultaten lijkt het er dus op dat een combinatie van een nascheidingstechniek met een (theoretische) residuverwerking altijd een klimaatvoordeel opleveren. In de verdere toekomst zijn er theoretisch nog meer technieken beschikbaar voor Vlaanderen, deze technieken zijn nu nog in ontwikkeling. Het gaat dan om afvalverbranding met bijna 100% totaal energetisch rendement zoals recent gebouwd in Kopenhagen (de AVI+), 'natte scheiding, natte vergisting', 'mechanische scheiding, thermochemische recycling', een aangepaste versie van 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking' en 'geïntegreerde hydropyrolyse'. De eerste optie met aanzienlijk milieuvoordeel voor de toekomst is de afvalverbranding met een hoger rendement (AVI+) eventueel in combinatie met CO₂-afvang. CO₂-afvang is in de standaarddoorrekening niet meegenomen maar vindt u terug in de gevoeligheidsanalyses in Sectie 11.2.2. Nog weer iets beter scoren alle combinaties van droge of natte voorscheiding in combinatie met residu naar een AVI+ of naar hydropyrolyse.

Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost zoals in Frankrijk nu gebeurt scoort door deze laatste stap (afzet van de compost) het beste. Het is technisch mogelijk dat de compost uit de route 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking' aan de Vlaamse kwaliteitseisen voor compost voldoet (vervuiling van onder andere metalen onder de wettelijke VLAREMA-normen). Echter is het in Vlaanderen nu wettelijk niet toegestaan om compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil toe te passen in de land- en tuinbouw. Voor deze variant zou dus wetswijziging nodig zijn, zodat hoogwaardige compost zonder vervuilingen die niet afkomstig is van gescheiden ingezameld GFT of groenafval wél ingezet mag worden.

'Mechanische scheiding met thermochemische recycling' en 'mechanisch-biologische scheiding met residu naar een AVI+' scoren vergelijkbaar met de AVI+.

Figuur 3 Klimaatimpact voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil



Toelichting: De onzekerheidsbalk voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is een inschatting van het klimaatvoordeel als ook fermentatie toegepast wordt. Dit is mogelijk rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

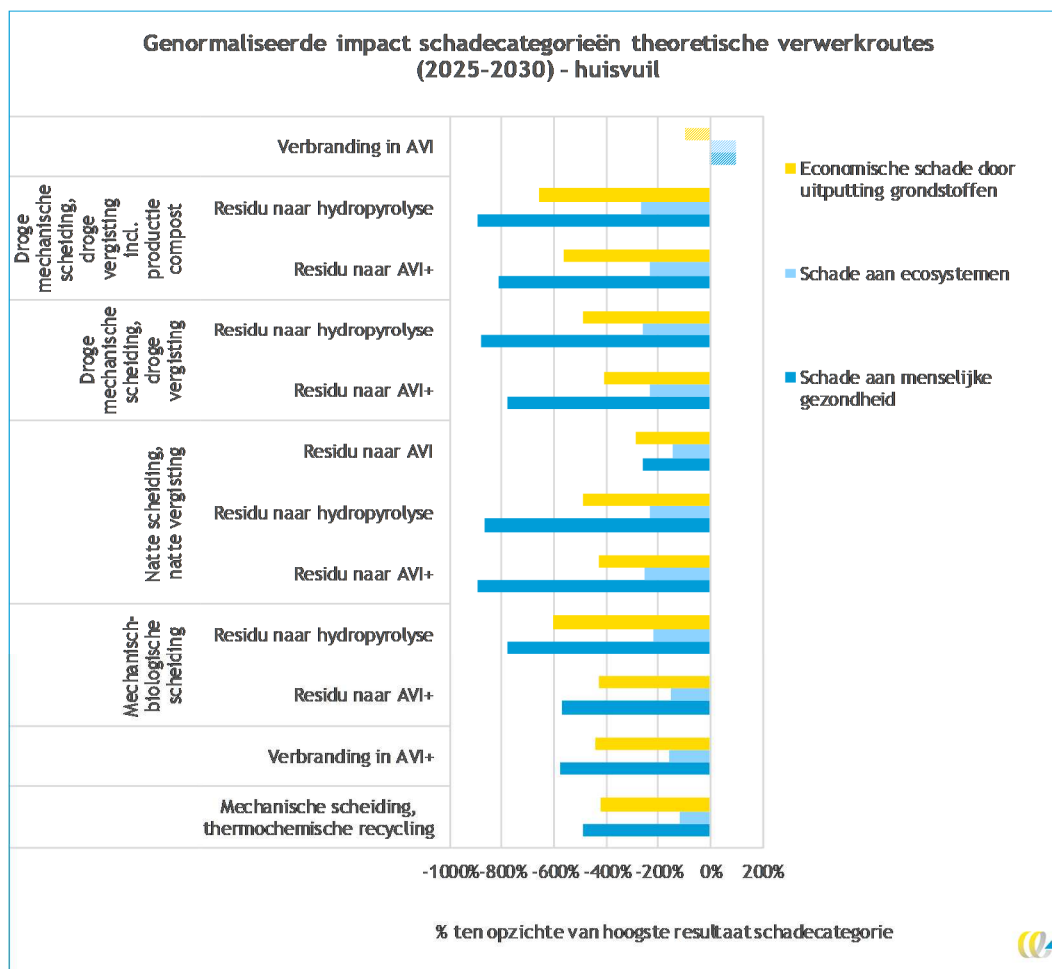
- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de installatie in Vlaanderen wordt geplaatst en dat de geproduceerde compost die niet in België mag worden verkocht wordt afgezet in Frankrijk. Hierbij speelt echter wel het punt dat kaderrichtlijn afvalcompost uit restafval niet beschouwt als recyclage en dat dit daarmee na 2027 ook in Frankrijk niet meer mag worden afgezet.

De resultaten voor bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil zijn vergelijkbaar met die voor verwerking van huisvuil. De absolute klimaatimpact is iets hoger bij de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil dan bij de verwerking van huisvuil, met name door het lagere aandeel biologisch materiaal in het bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

Milieuschadecategorieën – huisvuil en gelijkaardig bedrijfsafval

De verschillende milieu-indicatoren kunnen in de ReCiPe-methodek samengenomen worden tot drie schadecategorieën: “schade aan menselijke gezondheid”, “schade aan ecosystemen” en “economische schade door uitputting grondstoffen”. De rangorde van technieken is op deze schadecategorieën vergelijkbaar met die op klimaatimpact.

Figuur 4 Genormaliseerde impact schadecategorieën ten opzichte van hoogste schade voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil



NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.

NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de installatie in Vlaanderen wordt geplaatst en dat de geproduceerde compost die niet in België mag worden verkocht wordt afgezet in Frankrijk. Hierbij speelt echter wel het punt dat kaderrichtlijn afvalcompost uit restafval niet beschouwt als recyclage en dat dit daarmee na 2027 ook in Frankrijk niet meer mag worden afgezet.

De resultaten voor bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil zijn vergelijkbaar met die voor verwerking van huisvuil. De absolute milieuschade is iets hoger bij de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig bedrijfsafval dan bij

de verwerking van huisvuil, met name door het lagere aandeel biologisch materiaal in het bedrijfsafval
gelijkaardig aan huisvuil.

Exergetische LCA – huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Naast naar milieu-indicatoren is in de LCA gerekend met een exergetische LCA-indicator. Hieruit is gebleken dat alle verwerkroutes voor zowel de verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil leiden tot het voorkomen van exergie-onttrekking.

Er komt exergie beschikbaar in de vorm van geproduceerde grondstoffen en brandstoffen.

De exergieanalyse geeft geen uitdrukking aan de uitstoot van emissies zoals CO₂. Van de theoretische verwerkroutes die mogelijk op de langere termijn toepasbaar zijn in Vlaanderen wordt de meest exergie-onttrekking voorkomen bij verwerking van huisvuil in een AVI+ omdat deze vrijwel 100% van de beschikbare energie in de grondstoffen benut.

Conclusies gevoeligheidsanalyses

Om te analyseren hoe robuust de weergegeven resultaten uit de basisanalyse zijn, is een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd.

Verandering in afvalsamenstelling huisvuil: Uitbreiding Fost Plus

Bij het uitvoeren van deze analyse was nog niet bekend dat het Fost Plus-systeem voor kunststofinzameling, sortering en recycling uitgebreid zou gaan worden naar vrijwel alle kunststof verpakkingen van huishoudens. Het effect hiervan is daarom in een gevoeligheidsanalyse onderzocht. Minder kunststof in het huisvuil door meer kunststofafscheiding via bronscheiding (Fost Plus) zorgt ervoor dat de klimaatimpact bij verwerking van huisvuil bij de verschillende verwerkroutes verminderd ten opzichte van de basisanalyse. De verschillen tussen de verwerkroutes zijn hiermee kleiner. Bij een 80% reductie van kunststoffen in het huisvuil halveren de verschillen tussen nascheidingsverwerkroutes en de overige technieken ongeveer. Als we uitgaan van een minder optimistische afname van kunststof in het huisvuil van 40% (uitgebreidere inzameling) dan worden de verschillen tussen de nascheidingsverwerkroutes en de overige verwerkroutes ongeveer 25% minder. Dit komt omdat de scheidingstechnieken nu minder kunststof uit het huisvuil kunnen afscheiden. Hierbij dient vermeld te worden dat deze analyse alleen over huisvuil gaat. Het grotere milieuvoordeel van het Fost Plus-systeem door meer kunststofrecycling is niet opgenomen in deze analyse.

Verandering in afvalsamenstelling huisvuil: uitbreiding selectieve inzameling GFT of textiel

Minder GFT in het huisvuil zorgt voor alle verwerkroutes voor een iets hogere milieu-impact of lager milieuvoordeel dan in de basisanalyse. De rangorde van de verschillende verwerkroutes verandert echt niet. Minder textiel in het huisvuil zorgt in alle verwerkroutes voor een iets lagere milieu-impact of lager milieuvoordeel dan in de basisanalyse. Ook dit heeft geen effect op de rangorde van de verwerkroutes.

Energierendement AVI

Een hoger of lager AVI-rendement zorgt voor alle verwerkroutes voor en iets hogere milieu-impact of lager milieuvoordeel (bij een lager rendement) of een iets lagere milieu-impact of hoger milieuvoordeel (bij een hoger rendement). De onderlinge rangorde van technieken verandert hier echter heel weinig door.

Elektriciteitsmix

Alle bestaande verwerkroutes leveren een (groter) klimaatvoordeel op bij de fossiele (kolen) marginale elektriciteitsmix dan bij de gemiddelde Belgische elektriciteitsmix.

Dit komt omdat er nu meer broeikasgasemissies vermeden worden bij de netto elektriciteitsproductie dan het geval is in de basisanalyse. Het effect van de verandering van elektriciteitsmix op de klimaatimpact groter is naarmate er meer netto elektriciteit geproduceerd wordt. De verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting,

incl. compostverwerking' heeft daarom het hoogste klimaatvoordeel bij een fossiele marginale elektriciteitsmix. Alle bestaande verwerkroutes leveren een lager klimaatvoordeel of een hogere klimaatimpact op bij de duurzame elektriciteitsmix dan bij de gemiddelde Belgische elektriciteitsmix. Dit komt omdat er nu minder broeikasgasemissies vervangen worden bij de netto elektriciteitsproductie dan het geval is in de basisanalyse met de Belgische elektriciteitsmix¹.

CO₂-vastlegging en opslag (CCS) en toepassing (CCU)

Als CO₂ vrijkomt als puntbron, zoals uit de schoorsteen bij een verbrandingsproces, dan kan de CO₂ worden afgevangen en opgeslagen in, bijvoorbeeld, een oud gasveld of een aquifer (watervoerende laag in de ondergrond). De CO₂ kan ook worden toegepast in plaats van opgeslagen. Deze techniek zou in de toekomst toegepast kunnen worden op een aantal soorten emissies in een aantal verwerkingsroutes.

Volledige afvangen van CO₂ bij een AVI en AVI+ en opslaan of toepassen van de CO₂ in bepaalde toepassingen leidt tot een volledig ander resultatenplaatje qua klimaatimpact van de technieken dan het geval was in de basisanalyse. De verbrandingstechnieken (AVI en AVI+) hebben dan een klimaatimpact vergelijkbaar met de verwerkingsroutes waarbij materialen uitgesorteerd en gerecycleerd worden. Dit geldt alleen voor de klimaatimpact, want alleen CO₂ wordt afgevangen en opgeslagen. Het heeft dus weinig gevolgen voor de andere milieu-indicatoren of vergroot de milieu-impact op deze indicatoren.

Transport

Transport van huisvuil naar de verwerkingsinstallatie is niet meegenomen in de basisanalyse. In een gevoeligheidsanalyse is daarom geanalyseerd wat het effect zou zijn van het gebruik een vrachtwagen over 100 km in het geval van verwerking in een AVI of AVI+ en over 200 km voor de andere verwerkingsroutes. Toevoegen van dit transport maakt alle routes beperkt ongunstiger. Het effect zorgt er echter niet voor dat de rangordes van de technieken niet verandert.

Conclusies uit LCA-analyse

Korte termijn (2020-2025)

Op de korte termijn (2020-2025) levert verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil met behulp van 'droge scheiding, droge vergisting, residu naar de AVI' (zoals bijvoorbeeld Omrin en Attero in Nederland toepassen) een milieuvoordeel op ten opzichte van volledige verwerking van deze afvalstromen in een conventionele AVI. Dit geldt voor 15 van de 18 bekeken milieu-indicatoren en alle milieu-schadecategorieën. Deze verwerkroute levert daarnaast een vergelijkbare vermeden exergie-onttrekking op als verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in een conventionele AVI.

De gevoeligheidsanalyses laten zien dat de verschillen tussen 'droge scheiding, droge vergisting, residu naar de AVI' en de overige bestaande verwerkroutes kleiner wordt voor huisvuilverwerking naarmate er meer kunststof selectief wordt ingezameld. In het geval van een 80% reductie van kunststof in het huisvuil levert deze verwerkroute een milieuvoordeel op ten opzichte van volledige verwerking van huisvuil in een conventionele AVI in 14 van de 18 milieu-indicatoren. Dit is er één minder dan in de basisanalyse (het gaat hierbij om landgebruik). Ook is de vermeden exergie-onttrekking bij zowel een 40 als 80% reductie van kunststof in het huisvuil lager bij verwerking van huisvuil met 'droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI' dan in het geval van verwerking van huisvuil in een conventionele AVI.

¹ De Belgische elektriciteitsmix zoals gedefinieerd in de Ecoinvent V3.4 LCA database. Het gaat hierbij om het proces "Electricity, medium voltage (BE) | market for | Cut-off, U".

De gevoeligheidsanalyses laten verder zien dat de klimaatimpact van verwerking van huisvuil of bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil met de verschillende bestaande verwerkroutes vergelijkbaar is als CCS wordt toegepast of als een efficiënte CCU-methode gebruikt wordt.

De overige gevoeligheidsanalyses leiden niet tot het bijstellen van de conclusies.

Langere termijn (2025-2030)

Op de lange termijn zijn er drie manieren om de huidige verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil milieukundig en exergetisch te verbeteren. In de eerste plaats is het mogelijk om droge en of natte nascheiding van het afval toe te passen waardoor er een deel van huisvuil als grondstof gerecycled kan worden. De tweede manier is het stap voor stap verhogen van het energierendement van bestaande of nieuwe afvalverbrandingsinstallaties. De derde optie is het afvangen en opslaan of gebruiken van de CO₂-emissies uit afvalverbranding. Een veelbelovende manier is het combineren van deze verschillende opties; het nascheiden van grondstoffen en verwerken van het biologisch materiaal combineren met een hoogrendement residuverwerking (AVI+/hydropyrolyse) en het afvangen van CO₂ afgevangen bij residuverwerking.

Onzekerheden milieukundige analyse

Omdat het hier gaat om het vergelijken van technieken die verschillende producten produceren (elektriciteit, warmte, chemische producten, kunststoffen, biogas) en deze gewaardeerd worden naar het vervangen van huidige manier om die producten te maken is de vergelijking gevoelig voor trends in deze conventionele producten. Als de marginale elektriciteitmix² in Vlaanderen meer gaat bestaan uit duurzame bronnen (wind- en of zonne-energie zonder CO₂-emissie of bio-energie met biogene CO₂ in plaats van fossiele CO₂) dan worden technieken (AVI en AVI+) die elektriciteit produceren minder gunstig. Als de manier van produceren van kunststof duurzamer wordt (bijvoorbeeld door CO₂-afvang in de industrie) dan wordt het recycleren van kunststof minder gunstig. De huidige rangorde van technieken blijft alleen geldig als alle de producten beschikbaar op de Vlaamse markt ongeveer even snel verduurzamen. Daarnaast geldt voor de theoretische technieken dat er mee- en tegenvallers kunnen zijn in de verder ontwikkeling van de technieken.

Bedrijfseconomische aspecten

Qua robuustheid en flexibiliteit scoren vooral AVI en AVI+ goed, met name omdat zij ook grof huishoudelijk afval kunnen verwerken. 'Droge scheiding, droge vergisting' en 'droge scheiding zonder biologische behandeling' en ook 'mechanisch-biologische scheiding' hebben zich bewezen in combinatie met een AVI of AVI+ als robuuste techniek.

Qua investeringskosten worden de laagste investeringskosten gerapporteerd voor 'mechanische scheiding, thermochemische recyclage' (RenaSci). Deze zijn ongeveer de helft van de investeringskosten voor een AVI. Deze techniek moet zich echter nog bewijzen. Al wel in bedrijf is 'droge scheiding, droge vergisting' (Omrin, Attero en AEB) in combinatie met een AVI. Deze combinatie heeft ook relatief lage investeringskosten: ongeveer 80% van de investeringskosten van een AVI.

Voor het verwerken van residu worden voor hydropyrolyse door initiatiefnemers lagere kosten gerapporteerd dan voor een AVI. Deze techniek moet zich echter nog bewijzen. De AVI+ heeft 37% hogere investeringskosten dan een standaard AVI. Als de warmte afgezet kan worden kunnen deze meerkosten terugverdiend kunnen

² De manier van produceren van de laatste kWh op een bepaald moment.

worden in ongeveer 12,5 jaar. Hierbij is gerekend met de marktwaarde van warmteafzet vanuit een AVI met de huidige prijzen in de Benelux. (zie voetnoot 51 blz. 108) Hierbij is geen rekening gehouden met ondersteunende maatregelen in welke vorm dan ook.

De investeringskosten zijn echter maar een deel van het financiële plaatje. Ze geven een eerste beeld dat nieuwe technieken zeker niet duurder hoeven te zijn dan de huidige verwerking. Voor een compleet financieel beeld dienen er offertes opgevraagd te worden bij techniekleveranciers.

Grondstofefficiëntie

Op basis van de bepaalde efficiënties voor energie, metaal en kunststof voor de bekeken verwerkroutes voor huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Er is één bestaande verwerkroute die tussen 2020 en 2025 gerealiseerd kan worden die een hogere energie-efficiëntie heeft dan de conventionele AVI. Het gaat hierbij om “droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI”. Ook is de metaalrecyclingefficiëntie hoger van de bestaande verwerkroutes en is de kunststofefficiëntie hoger voor (een deel van) de bestaande verwerkroutes. Op basis van de efficiënties kan echter voor bestaande verwerkroutes geen conclusie getrokken worden over welke verwerkroute het meest aantrekkelijk is. Hiervoor is een milieukundige analyse benodigd.
- Van de theoretische verwerkroutes lijken alle verwerkroutes hogere efficiënties te hebben voor alle drie de bekeken efficiënties dan de conventionele AVI, met uitzondering van de verwerkroute “natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI”. De theoretische verwerkroutes met hogere efficiënties zijn daarmee interessant om verder te bekijken. Zeker ook om uit te wijzen of deze hogere efficiënties in de praktijk ook daadwerkelijk haalbaar zijn.

Grofvuil

Tijdens de verkenning van de verschillende verwerkingstechnieken is duidelijk geworden dat deze zich niet richten op verwerking van grofvuil en dat de techniekleveranciers dus ook geen kwantitatieve inschatting kunnen maken van het eventueel verwerken van grofvuil. Uitzonderingen hierop zijn verwerking van grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil met behulp van een AVI zoals deze nu in gebruik zijn in Vlaanderen of met een AVI+. Een kwantitatieve analyse tussen technieken bleek daardoor niet mogelijk. Er is wel verbetering mogelijk van de verwerking van grofvuil in Vlaanderen. Nasortering van gemengd, overgebleven grofvuil zou in drie stappen kunnen, waarna de overgebleven fracties worden verbrand. Het gaat hierbij om de volgende stappen:

1. Handmatig of semi-handmatig sorteren van grote stromen die gerecycled kunnen worden, die in relatief grote aandelen aanwezig zijn.
2. Mechanische nasortering met verwerktechnieken zoals beschreven in Hoofdstuk 4 of met een toegespitste nasortering voor grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil.
3. Verbranding van niet-recycleerbare, vervuilde en fracties met een relatief zeer klein volume.

Overkoepelende conclusies

Zowel het realiseren van het afscheiden van grondstoffen uit huisvuil en het realiseren van een hoger energierendement zijn een mogelijkheid om de milieu-impact van huisvuilverwerking te verlagen in Vlaanderen.

Er zijn verschillende **nascheidingstechnieken** beschikbaar die een **milieukundig voordeel opleveren ten opzichte van volledige verbranding van huisvuil**, zeker in combinatie met efficiënte residuverwerking. Voor de kortere termijn is met name droge scheiding en droge vergisting te overwegen als voorstap voor bestaande en nieuwe AVIs omdat:

- deze techniek een milieuvoordeel oplevert ten opzichte van volledige verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in een AVI;
- deze techniek zich in Nederland heeft bewezen als robuuste techniek;
- de investeringskosten voor deze techniek in combinatie met de nog benodigde AVI investeringskosten niet hoger zijn dan de kosten voor een AVI;
- Door behoud van AVI-capaciteit in deze combinatie blijft er ook een oplossing beschikbaar voor grofvuil.

Voor de langere termijn zijn nascheiding, een hogere energierendement voor het energetisch verwerken van het residu en eventueel CO₂-afvang interessante opties.

Of de nieuwe nu nog in ontwikkeling zijnde technieken voor scheiding (bijvoorbeeld natte scheiding of droge mechanische scheiding met droge vergisting) en de nieuwe technieken voor residuverwerking (bijvoorbeeld hydropyrolyse) ook bedrijfseconomisch interessant zullen zijn zal de komende jaren moeten blijken. Sowieso blijven de nu al ontwikkelde technieken van droge scheiding en droge vergisting samen met de AVI+ een interessante combinatie zowel milieukundig als bedrijfseconomisch.

Aanbevelingen voor vervolg

In dit onderzoek hebben we zoveel mogelijk relevante technieken beoordeeld op zoveel mogelijk relevante punten maar het is zeker niet mogelijk gebleken om compleet te zijn. Wij denken dat het nuttig is om als vervolg te kijken naar de volgende aspecten:

- Een belangrijke manier van het verlagen van de milieudruk is het verhogen van het energierendement van AVIs. Hier zijn al ontwikkelingen in. Dit aspect is door schaalgrootte, mogelijkheden tot afzet van warmte en de ouderdom van de bestaande AVIs verschillend per locatie en installatie. Een analyse en een plan hoe stap voor stap in Vlaanderen het energierendement praktisch verhoogd kan worden zou een goede aanvulling zijn op de analyse in deze rapportage waarbij er alleen uitgegaan is van een gemiddelde Vlaamse AVI. Voor een compleet beeld zou naast de milieuberekeningen een complete kostenanalyse extra inzicht geven. Wil dit mogelijk zijn dan zal met de verschillende techniekleveranciers echter eerst overeenstemming over het delen van financiële data verkregen moeten worden. De milieuresultaten van verwerking van huisvuil met verschillende verwerkingstechnieken worden aanzienlijk beïnvloed door de mate van bronscheiding voor plastics. Nu de bronscheiding van kunststof in Vlaanderen uitgebreid gaat worden is het aan te bevelen rond 2025 op basis van de samenstelling van het huisvuil de nieuwe technieken nog een keer tegen het licht te houden. Het is daarbij belangrijk om het gehele afvalverwerkingssysteem mee te nemen in de analyse, zodat ook het milieuvoordeel van het brongescheiden kunststof naar voren komt in de analyse.
- Het is technisch mogelijk dat de compost uit de route ‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking’ aan de Vlaamse kwaliteitseisen voor compost voldoet. Echter is het in Vlaanderen nu wettelijk niet toegestaan om compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil toe te passen in de land- en tuinbouw. Mocht de compost wel ingezet kunnen worden dan levert deze verwerkroute het hoogste milieuvoordeel op van alle bekeken verwerkingsroutes. Het is te overwegen om nog eens af te wegen of hoogwaardige compost die afkomstig is van gescheiden ingezameld GFT of groenafval wél kan worden toegestaan, mits uiteraard de compost voldoet aan de Vlaamse eisen aan compostkwaliteit.
- Voor het realiseren van een AVI+ situatie is met name de afzet van warmte belangrijk. Het verdient aanbeveling als gekozen wordt voor deze richting om in de praktijk in Vlaanderen te onderzoeken waar uitbreiding van warmtelevering mogelijk is. Hierbij kan ook onderzocht worden of warmteafzet als hogedrukstoom mogelijk is of dat afzet plaatsvindt als restwarmte op een laag temperatuurniveau. In de analyse is gekeken naar afzet van lagetemperatuurwarmte, maar dit zou deels ook stoomlevering kunnen zijn.

Tot slot is het aan te bevelen om de bekeken verwerkroutes nogmaals tegen het licht te houden als deze mogelijk daadwerkelijk gerealiseerd zijn in Vlaanderen en/of als meer praktijkgegevens beschikbaar zijn als verwerkroutes elders in Europa toegepast worden.

Disclaimer

Dit onderzoek gaat over een vergelijking van nieuwe technieken welke deels slechts op pilotschaal bewezen zijn en technieken die al jaren gebruikt worden. Voor al deze technieken is een model gemaakt van de toepassing van de technieken op de verschillende afvalstromen zoals beschreven in de ze rapportage. Dit betekent dat niet alle getallen 100% kloppen met de werkelijkheid zoals deze nu plaatsvindt bij de toepassing van bestaand technieken op een andere locatie. Het gaat immers om een andere afval-samenstelling. Tot slot richt het onderzoek zich op de gemiddelde Vlaamse situatie en is geen rekening gehouden met verschillen tussen de bestaande installaties.

Door deze factoren geeft dit onderzoek een beeld van welke technieken interessant zijn of kunnen worden voor de Vlaamse verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil maar geeft zij geen blauwdruk van hoe de afvalwerking er precies uit moet zien. Bij nieuwe projecten is het steeds raadzaam op maat aanbiedingen van technieken te vergelijken voor de specifieke situatie.

DEFINITIELIJST

Term	Toelichting
AVI	Afvalverbrandingsinstallatie
Bedrijfsafvalstoffen	Afvalstoffen die ontstaan ten gevolge van een industriële, ambachtelijke of wetenschappelijke activiteit, en de afvalstoffen die daarmee gelijkgesteld worden bij besluit van de Vlaamse Regering. (Vlaamse Regering, 2011)
Exergie	Bruikbare energie uit grond- en brandstoffen. Gelijk aan energie vermenigvuldigd met de kwaliteit van de energie.
GFT	Groente-, fruit- en tuinafval dat afkomstig is van het gescheiden ingezamelde organische deel van het huishoudelijk afval. (OVAM, 2016a)
Grofvuil	Alle afvalstoffen die ontstaan door de normale werking van een particuliere huishouding en de gelijkgestelde afvalstoffen die omwille van de omvang, aard en/of gewicht niet in het recipiënt voor huisvuilophaling kunnen geborgen worden, met uitzondering van papier en karton, textiel, glas, klein gevaarlijk afval, groente-, fruit- en tuinafval of groenafval, plasticverpakkingen, metalen verpakkingen en drankkartons, elektrische en elektronische apparatuur, bouw- en sloofafval, houtafval, metalen gemengd, autobanden en andere selectief ingezamelde afvalstoffen, en die huis-aan-huis worden ingezameld, of de restfractie die overblijft voor verwijdering na aanbidding op het containerpark. (OVAM, 2012).
Grondstofverklaring	Een verklaring afgeleverd door de Vlaamse Regering waarin wordt gesteld dat een bepaald materiaal niet of niet meer als een afvalstof moet worden beschouwd, eventueel gekoppeld aan een aantal randvoorwaarden. (Vlaamse Regering, 2011)
Huisvuil	Afvalstoffen die ontstaan door de normale werking van een particuliere huishouding en de gelijkgestelde afvalstoffen die in de voorgeschreven recipiënten voor huisvuilinzameling kunnen worden geborgen, met uitzondering van de afvalstoffen die selectief ingezameld worden (OVAM, 2016a).
Huishoudelijk afval	Het selectief ingezamelde afval, het huisvuil en het grofvuil van burgers. Aanvullend wordt ook het straat- en veegvuil, het zwerfvuil en het afval uit straatvuilbakjes dat door of in opdracht van de lokale besturen wordt ingezameld tot het huishoudelijk afval gerekend (OVAM, 2016a).
Huishoudelijke afvalstoffen	Afvalstoffen die ontstaan door de normale werking van een particuliere huishouding en afvalstoffen die daarmee gelijkgesteld worden bij een besluit van de Vlaamse Regering. (Vlaamse Regering, 2011)
Gelijkaardig bedrijfsafval	De bedrijfsafvalstoffen die naar aard en samenstelling vergelijkbaar zijn met huishoudelijk afval, maar in grotere hoeveelheden vrijkomen en voornamelijk worden ingezameld door privaatrechtelijke operatoren. (Vlaamse Regering, 2011)
Residuverwerking	Onder residuverwerking verstaan wij in deze studie de verwerking van het residu dat vrijkomt bij de eerste behandeling van huisvuil of bedrijfsafval gelijkaardig aan bedrijfsafval. Het gaat hierbij meestal over verbranding in een AVI.
LHV	Lower heating value
Netto thermisch rendement	Geleverde processtoom of warm water extern geleverd of ingezet op het eigen terrein voor een industrieel proces niet ten behoeve van de afvalverwerking als aandeel van de totale energie-inhoud van verwerkt afval.
Netto elektrisch rendement	Geleverde elektriciteit aan het net of ingezet op het eigen terrein voor een industrieel proces niet ten behoeve van de afvalverwerking als aandeel van de totale energie-inhoud van verwerkt afval.
ONF	Organische natte fractie. Het organische gedeelte van huisvuil of bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.
PMD	Plastic flessen en flacons, metalen verpakkingen en drankkartons. (OVAM, 2016a)

LIJST FIGUREN

<i>Figuur 1</i> Overzichtsschema geselecteerde verwerkroutes voor analyse.....	12
<i>Figuur 2</i> Klimaatimpact voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt huisvuil.....	14
<i>Figuur 3</i> Klimaatimpact voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil.....	16
<i>Figuur 4</i> Genormaliseerde impact schadecategorieën ten opzichte van hoogste schade voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil	17
<i>Figuur 5</i> Leeswijzer gehele rapport.....	38
<i>Figuur 6</i> Illustratie reststromen uit huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval	39
<i>Figuur 7</i> Algemeen schema hoofdroutes verwerking Vlaams huisvuil, grofvuil en gelijkaardig bedrijfsafval.....	58
<i>Figuur 8</i> Toepassen selectiecriteria: beslisboom.....	60
<i>Figuur 9</i> Overzichtsschema geselecteerde verwerkroutes.....	65
<i>Figuur 10</i> Huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil als onderdeel van huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval	68
<i>Figuur 11</i> Systeemgrenzen, generiek.....	71
<i>Figuur 12</i> Procesdiagram AVI.....	81
<i>Figuur 13</i> Procesdiagram natte scheiding en natte vergisting	83
<i>Figuur 14</i> Procesdiagram droge scheiding en droge vergisting	85
<i>Figuur 15</i> Procesdiagram droge scheiding, gecombineerd met droge vergisting en compostverwerking – huidige verwerking.....	86
<i>Figuur 16</i> Procesdiagram droge scheiding, gecombineerd met droge vergisting en compostverwerking – theoretische verwerking.....	87
<i>Figuur 17</i> Procesdiagram mechanisch-biologische scheiding.....	87
<i>Figuur 18</i> Vereenvoudigd procesdiagram voor geïntegreerde hydropyrolyse	88
<i>Figuur 19</i> Procesdiagram voor RenaSci-techniek (mechanische scheiding, thermochemische recyclage).....	89
<i>Figuur 20</i> Procesdiagram AVI+	91
<i>Figuur 21</i> Klimaatimpact voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt huisvuil.....	133
<i>Figuur 22</i> Genormaliseerde milieu-impact ten opzichte van hoogste milieu-impact voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt huisvuil (I).....	135
<i>Figuur 23</i> Genormaliseerde milieu-impact ten opzichte van hoogste milieu-impact voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt huisvuil (II)	136
<i>Figuur 24</i> Klimaatimpact voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil.....	138
<i>Figuur 25</i> Genormaliseerde milieu-impact ten opzichte van verbranding in AVI voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil	140
<i>Figuur 26</i> Genormaliseerde milieu-impact ten opzichte van verbranding in AVI voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil	142
<i>Figuur 27</i> Genormaliseerde impact schadecategorieën ten opzichte van hoogste schade voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt huisvuil	144
<i>Figuur 28</i> Genormaliseerde impact schadecategorieën ten opzichte van hoogste schade voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil	145
<i>Figuur 29</i> Resultaten exergie-onttrekking bestaande verwerkroutes (2020-2025) per ton huisvuil	147
<i>Figuur 30</i> Resultaten exergie-onttrekking theoretische verwerkroutes (2025-2030) per ton huisvuil	148
<i>Figuur 31</i> Klimaatimpact voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	152
<i>Figuur 32</i> Genormaliseerde milieu-impact ten opzichte van hoogste milieu-impact voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil (I).....	154
<i>Figuur 33</i> Genormaliseerde milieu-impact ten opzichte van hoogste milieu-impact voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil (II).....	155
<i>Figuur 34</i> Klimaatimpact voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	156

Figuur 35 Genormaliseerde milieu-impact ten opzichte van verbranding in AVI voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil (I).....	157
Figuur 36 Genormaliseerde milieu-impact ten opzichte van verbranding in AVI voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil (II).....	158
Figuur 37 Genormaliseerde impact schadecategorieën ten opzichte van hoogste schade voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	160
Figuur 38 Genormaliseerde impact schadecategorieën ten opzichte van hoogste schade voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	161
Figuur 39 Resultaten exergie-onttrekking bestaande verwerkroutes (2020-2025) per ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	163
Figuur 40 Resultaten exergie-onttrekking theoretische verwerkroutes (2025-2030) per ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	164
Figuur 41 Klimaatimpact verwerkroutes (2020 – 2025) – huisvuil. Gevoeligheidsanalyse uitbreiding recyclage verpakkingen.....	167
Figuur 42 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020–2025) – huisvuil. Gevoeligheidsanalyse uitbreiding inzameling GFT.....	172
Figuur 43 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020–2025) – huisvuil. Gevoeligheidsanalyse uitbreiding inzameling textiel.....	177
Figuur 44 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020–2025) – huisvuil. Gevoeligheidsanalyse rendement AVI.....	181
Figuur 45 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020–2025) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Gevoeligheidsanalyse rendement AVI	182
Figuur 46 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – huisvuil – gevoeligheidsanalyse CCS.....	184
Figuur 47 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil – gevoeligheidsanalyse CCS.....	185
Figuur 48 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – huisvuil – gevoeligheidsanalyse CCU	186
Figuur 49 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil – gevoeligheidsanalyse CCU.....	187
Figuur 50 Klimaatimpact theoretische verwerkroutes (2025-2030) – huisvuil – gevoeligheidsanalyse CCS.....	189
Figuur 51 Klimaatimpact theoretische verwerkroutes (2025-2030) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil – gevoeligheidsanalyse CCS.....	190
Figuur 52 Klimaatimpact theoretische verwerkroutes (2025-2030) – huisvuil – gevoeligheidsanalyse CCU	191
Figuur 53 Klimaatimpact theoretische verwerkroutes (2025-2030) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil – gevoeligheidsanalyse CCU.....	192
Figuur 54 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – huisvuil – gevoeligheidsanalyse keuze attributionele LCA/variantie elektriciteitsmix.....	195
Figuur 55 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil – gevoeligheidsanalyse keuze attributionele LCA/variantie elektriciteitsmix.....	196
Figuur 56 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – huisvuil – gevoeligheidsanalyse transport.....	199
Figuur 57 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil – gevoeligheidsanalyse transport.....	200
Figuur 58 Klimaatimpact theoretische verwerkroutes (2025-2030) – huisvuil – gevoeligheidsanalyse transport	201
Figuur 59 Klimaatimpact theoretische verwerkroutes (2025-2030) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil – gevoeligheidsanalyse transport..	202
Figuur 60 Klimaatimpact voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt huisvuil.....	211
Figuur 61 Klimaatimpact voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil.....	213
Figuur 62 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – huisvuil	257
Figuur 63 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	258
Figuur 64 Klimaatimpact theoretische verwerkroutes (2025-2030) – huisvuil	259
Figuur 65 Klimaatimpact theoretische verwerkroutes (2025-2030) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	260
Figuur 66 Schade aan menselijke gezondheid bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt huisvuil	288
Figuur 67 Schade aan menselijke gezondheid bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.	289
Figuur 68 Schade aan menselijke gezondheid theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil.....	290
Figuur 69 Schade aan menselijke gezondheid theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	291
Figuur 70 Schade aan ecosystemen bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt huisvuil	293
Figuur 71 Schade aan ecosystemen bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	294
Figuur 72 Schade aan ecosystemen theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil	295

<i>Figuur 73 Schade aan ecosystemen theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....</i>	<i>296</i>
<i>Figuur 74 Economische schade door uitputting grondstoffen bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt huisvuil.....</i>	<i>298</i>
<i>Figuur 75 Economische schade door uitputting bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil</i>	<i>299</i>
<i>Figuur 76 Economische schade door uitputting grondstoffen theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil.....</i>	<i>300</i>
<i>Figuur 77 Economische schade door uitputting theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil</i>	<i>301</i>
<i>Figuur 78 Vereenvoudigd procesdiagram voor mediumtemperatuurvergassing</i>	<i>320</i>

LIJST TABELLEN

<i>Tabel 1 Onderverdeling technieken in bestaande en theoretische verwerkingsroutes.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabel 2 Beschrijving TRLs.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabel 3 Niveau van ontwikkeling gehanteerd in deze studie.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabel 4 Thermochemische technieken met ontwikkelingsniveau.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabel 5 Overzicht chemische recyclage en selectieve extractietechnieken met ontwikkelingsniveau.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabel 6 Nascheidingstechnieken met ontwikkelingsniveau.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabel 7 Opties voor uitbreiding afvalverbrandingsinstallaties met ontwikkelingsniveau.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabel 8 Indeling technieken naar hoofdroutes.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabel 9 Selectiecriteria.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabel 10 Toepassing selectiecriteria op relevante technieken.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabel 11 Onderverdeling technieken in bestaande en theoretische verwerkingsroutes.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabel 12 De stappen van LCA, en waar ze te vinden zijn in dit rapport.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabel 13 Milieu-indicatoren en schadecategorieën volgens de methode ReCiPe2016.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabel 14 Leeswijzer Inventarisatie: Waar staat wat?.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabel 15 Verschil tussen de conventionele AVI en de AVI+.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabel 16 Overzicht van gemeenschappelijke processen en afvalverwerking en de verwerkroutes waarin deze toegepast worden.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabel 17 In- en outputs afvalwaterverwerking.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabel 18 In- en outputs biogasopwerking.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabel 19 Emissies bij stort materiaal.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabel 20 In- en outputs verwerking inert materiaal.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabel 21 In- en outputs drankenkarton verwerking.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabel 22 In- en outputs verwerking uitgesorteerd mixed kunststof.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabel 23 - In- en outputs verwerking uitgesorteerd HDPE.....</i>	<i>98</i>
<i>Tabel 24 In- en outputs verwerking uitgesorteerd PET.....</i>	<i>98</i>
<i>Tabel 25 In- en outputs uitgesorteerd PP.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabel 26 In- en outputs uitgesorteerd folies.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabel 27 - In- en outputs uitgesorteerd ferro metaal.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabel 28 In- en outputs uitgesorteerd non-ferro metaal.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabel 29 Overzicht van gelijkblijvende inputs en outputs.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabel 30 Type materiaal uitgespaard per type verwerkte kunststof.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabel 31 Verwerkingscapaciteit en flexibiliteit nascheidingstechnieken vergeleken met referentiescenario's.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabel 32 Verwerkingscapaciteit residuverwerking vergeleken met referentiescenario's.....</i>	<i>109</i>
<i>Tabel 33 Investeringskosten nascheidingstechnieken vergeleken met referentiescenario's.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabel 34 Financieel-economische aspecten residuverwerking vergeleken met referentiescenario's.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabel 35 Eindproducten conventionele AVI en AVI+ - huisvuil.....</i>	<i>116</i>
<i>Tabel 36 Eindproducten mechanische scheiding, thermochemische recyclage – huisvuil.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabel 37 Eindproducten natte nascheiding, natte vergisting – huisvuil.....</i>	<i>119</i>
<i>Tabel 38 Eindproducten droge nascheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking – huisvuil.....</i>	<i>120</i>
<i>Tabel 39 Eindproducten droge scheiding, droge vergisting – huisvuil.....</i>	<i>120</i>
<i>Tabel 40 Eindproducten mechanisch-biologische scheiding – huisvuil.....</i>	<i>121</i>
<i>Tabel 41 Eindproducten conventionele AVI en AVI+ – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....</i>	<i>122</i>
<i>Tabel 42 Eindproducten mechanische scheiding, thermochemische recyclage – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....</i>	<i>122</i>
<i>Tabel 43 Eindproducten natte nascheiding, natte vergisting – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....</i>	<i>124</i>
<i>Tabel 44 Eindproducten droge nascheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....</i>	<i>125</i>

Tabel 45 Eindproducten droge scheiding, droge vergisting – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	125
Tabel 46 Eindproducten mechanisch-biologische scheiding – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	126
Tabel 47 Grondstoffenefficiëntie bestaande verwerkroutes (2020-2025) huisvuil	127
Tabel 48 Grondstoffenefficiëntie theoretische verwerkroutes (2025-2030) huisvuil - residuverwerking AVI+	128
Tabel 49 Grondstoffenefficiëntie theoretische verwerkroutes (2025-2030) huisvuil - residuverwerking hydropyrolyse	128
Tabel 50 Grondstoffenefficiëntie bestaande verwerkroutes (2020-2025) bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	128
Tabel 51 Grondstoffenefficiëntie theoretische verwerkroutes (2025-2030) bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil – residuverwerking AVI+	130
Tabel 52 Grondstoffenefficiëntie theoretische verwerkroutes (2025-2030) bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil – residuverwerking hydropyrolyse.....	130
Tabel 53 Leeswijzer resultaten LCA milieu-indicatoren huisvuil: Waar staat wat?.....	131
Tabel 54 Leeswijzer resultaten LCA-schadecategorieën huisvuil: Waar staat wat?	143
Tabel 55 Leeswijzer resultaten LCA milieu-indicatoren bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil: Waar staat wat?	151
Tabel 56 Leeswijzer resultaten LCA--schadecategorieën bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil: Waar staat wat?.....	159
Tabel 57 Rendement Vlaamse AVI voor verbranding van huisvuil of bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil (2016).....	180
Tabel 58 Efficiëntie CCS en CCU.....	183
Tabel 59 CO ₂ -afvang mogelijk voor de bestaande verwerkroutes (2020-2025)	183
Tabel 60 CO ₂ -afvang mogelijk voor de theoretische verwerkroutes (2025-2030)	188
Tabel 61 Klimaatimpact verwerking huisvuil bij meerekenen biogene CO ₂	204
Tabel 62 Klimaatimpact verwerking bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil bij meerekenen biogene CO ₂	205
Tabel 63 Klimaatimpact verwerking huisvuil bij meerekenen biogene CO ₂	206
Tabel 64 Klimaatimpact verwerking bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil bij meerekenen biogene CO ₂	207
Tabel 65 Samenstelling grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil naar afvalsoort.....	208
Tabel 66 Samenstelling van Vlaams huisvuil (zie voor beschouwing kunststof verdeling onder deze tabel).....	226
Tabel 67 Samenstelling Vlaams bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	228
Tabel 68 Samenstelling huisvuil in gevoeligheidsanalyse 1: uitbreiding recyclage van verpakkingsmateriaal (cursieve getallen zijn aangepast).....	230
Tabel 69 Samenstelling huisvuil in gevoeligheidsanalyse 2: uitbreiding inzameling GFT	231
Tabel 70 Samenstelling huisvuil in gevoeligheidsanalyse 3: minder textiel in afval	232
Tabel 71 Rendement Vlaamse AVI voor verbranding van huisvuil of bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil (2016).....	233
Tabel 72 Emissies naar lucht conventionele AVI.....	234
Tabel 73 Hulpstoffen conventionele AVI.....	235
Tabel 74 Gebruikte gegevens voor bodemasverwerking voor de AVI.....	236
Tabel 75 Vliegassverwerking.....	236
Tabel 76 Scheidingsrendementen droge scheiding.....	238
Tabel 77 In- en outputs droge vergisting.....	239
Tabel 78 In- en outputs fijn digestaatverwerking.....	240
Tabel 79 Scheidingsrendementen droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie – huidige installatie.....	242
Tabel 80 Scheidingsrendementen SORDISEP-proces.....	244
Tabel 81 Compostkwaliteit en normen.....	245
Tabel 82 Emissies naar lucht droge scheiding	246
Tabel 83 Scheidingsrendementen droge scheiding.....	248
Tabel 84 Emissies naar lucht droge scheiding	249
Tabel 85 Typische conversierendementen van fracties in hydropyrolyse	251
Tabel 86 Gebruikte gegevens voor bodemasverwerking voor de AVI+	255
Tabel 87 Netto energieproductie verwerking huisvuil en aantasting ozonlaag per bestaande verwerkroute (2020-2025)	261
Tabel 88 Netto energieproductie verwerking bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en aantasting ozonlaag per bestaande verwerkroute (2020-2025)	261

Tabel 89 Netto energieproductie verwerking huisvuil en aantasting ozonlaag per theoretische verwerkroute (2025-2030)	262
Tabel 90 Netto energieproductie verwerking bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en aantasting ozonlaag per theoretische verwerkroute (2025-2030)	262
Tabel 91 Netto elektriciteitsproductie verwerking huisvuil en ioniserende straling per bestaande verwerkroute (2020-2025)	263
Tabel 92 Netto elektriciteitsproductie verwerking bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en ioniserende straling per bestaande verwerkroute (2020-2025)	263
Tabel 93 Netto elektriciteitsproductie verwerking huisvuil en ioniserende straling per theoretische verwerkroute (2025-2030)	264
Tabel 94 Netto elektriciteitsproductie verwerking bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en ioniserende straling per theoretische verwerkroute (2025-2030)	264
Tabel 95 Residu naar AVI en ozonvorming per bestaande verwerkroute (2020-2025) - huisvuil	265
Tabel 96 Residu naar AVI en ozonvorming per bestaande verwerkroute (2020-2025) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	265
Tabel 97 Ozonvorming per theoretische verwerkroute (2025-2030) - huisvuil	266
Tabel 98 Ozonvorming per theoretische verwerkroute (2025-2030) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	266
Tabel 99 Residuverwerking huisvuil en fijnstofvorming per bestaande verwerkroute (2020-2025)	267
Tabel 100 Residuverwerking bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en fijnstofvorming per bestaande verwerkroute (2020-2025)	267
Tabel 101 Fijnstofvorming per theoretische verwerkroute (2025-2030) - huisvuil	268
Tabel 102 Fijnstofvorming per theoretische verwerkroute (2025-2030) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	268
Tabel 103 Terugwinning kunststof uit huisvuil en terrestrische verzuring per bestaande verwerkroute (2020-2025)	269
Tabel 104 Terugwinning kunststof uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en terrestrische verzuring per bestaande verwerkroute (2020-2025)	269
Tabel 105 Terugwinning kunststof uit huisvuil en terrestrische verzuring per theoretische verwerkroute (2025-2030)	270
Tabel 106 Terugwinning kunststof uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en terrestrische verzuring per theoretische verwerkroute (2025-2030)	270
Tabel 107 Terugwinning non-ferro metaal uit huisvuil en vermesting per bestaande verwerkroute (2020-2025)	271
Tabel 108 Terugwinning non-ferro metaal uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en vermesting per bestaande verwerkroute (2020-2025)	272
Tabel 109 Terugwinning non-ferro metaal uit huisvuil en vermesting per theoretische verwerkroute (2025-2030)	272
Tabel 110 Terugwinning non-ferro metaal uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en vermesting per theoretische verwerkroute (2025-2030)	272
Tabel 111 Non-ferro en kunststofterugwinning uit huisvuil en humane toxiciteit (carcinogeen) per bestaande verwerkroute (2020-2025)	274
Tabel 112 Non-ferro en kunststofterugwinning uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en humane toxiciteit (carcinogeen) per bestaande verwerkroute (2020-2025)	274
Tabel 113 Non-ferro en kunststofterugwinning uit huisvuil en humane toxiciteit (carcinogeen) per theoretische verwerkroute (2025-2030)	275
Tabel 114 Non-ferro en kunststofterugwinning uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en humane toxiciteit (carcinogeen) per theoretische verwerkroute (2025-2030)	275
Tabel 115 Non-ferro en kunststofterugwinning uit huisvuil en humane toxiciteit (niet-carcinogeen) per bestaande verwerkroute (2020-2025)	276
Tabel 116 Non-ferro en kunststofterugwinning uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en humane toxiciteit (niet-carcinogeen) per bestaande verwerkroute (2020-2025)	276
Tabel 117 Non-ferro en kunststofterugwinning uit huisvuil en humane toxiciteit (niet-carcinogeen) per theoretische verwerkroute (2025-2030)	277
Tabel 118 Non-ferro en kunststofterugwinning uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en humane toxiciteit (niet-carcinogeen) per theoretische verwerkroute (2025-2030)	277
Tabel 119 Elektriciteitsproductie en kunststofterugwinning uit huisvuil en landgebruik per bestaande verwerkroute (2020-2025)	278
Tabel 120 Elektriciteitsproductie en kunststofterugwinning uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en landgebruik per bestaande verwerkroute (2020-2025)	278
Tabel 121 Elektriciteitsproductie en kunststofterugwinning uit huisvuil en landgebruik per theoretische verwerkroute (2025-2030)	279

Tabel 122 Elektriciteitsproductie en kunststofterugwinning uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en landgebruik per theoretische verwerkroute (2025-2030)	279
Tabel 123 Metaalterugwinning verwerking huisvuil en schaarste - mineralen per bestaande verwerkroute (2020-2025).....	280
Tabel 124 Metaalterugwinning verwerking bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en schaarste - mineralen per bestaande verwerkroute (2020-2025)	281
Tabel 125 Metaalterugwinning verwerking huisvuil en schaarste - mineralen per theoretische verwerkroute (2025-2030).....	281
Tabel 126 Metaalterugwinning verwerking bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en schaarste - mineralen per theoretische verwerkroute (2025-2030)	282
Tabel 127 Schaarste – fossiele grondstoffen per bestaande verwerkroute (2020-2025) - huisvuil.....	283
Tabel 128 Schaarste – fossiele grondstoffen per bestaande verwerkroute (2020 – 2025) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	283
Tabel 129 Schaarste – fossiele grondstoffen per theoretische verwerkroute (2025-2030) - huisvuil.....	284
Tabel 130 Schaarste – fossiele grondstoffen per theoretische verwerkroute (2025-2030) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	284
Tabel 131 Watergebruik per bestaande verwerkroute (2020 -2025) - huisvuil	285
Tabel 132 Watergebruik per bestaande verwerkroute (2020 – 2025) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	285
Tabel 133 Watergebruik per theoretische verwerkroute (2025 – 2030) - huisvuil.....	285
Tabel 134 Watergebruik per theoretische verwerkroute (2025 – 2030) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	286
Tabel 135 Details resultaten conventionele AVI - huisvuil	302
Tabel 136 Details resultaten conventionele AVI – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	303
Tabel 137 Details resultaten natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI - huisvuil.....	303
Tabel 138 Details resultaten natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	304
Tabel 139 Details resultaten natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+ - huisvuil.....	304
Tabel 140 Details resultaten natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+ – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	305
Tabel 141 Details resultaten natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse - huisvuil	305
Tabel 142 Details resultaten natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	306
Tabel 143 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI - huisvuil	306
Tabel 144 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	307
Tabel 145 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+ - huisvuil.....	308
Tabel 146 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+ – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	308
Tabel 147 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse - huisvuil.....	309
Tabel 148 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	309
Tabel 149 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking, residu naar conventionele AVI - huisvuil	310
Tabel 150 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking, residu naar conventionele AVI – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	310
Tabel 151 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking, residu naar AVI+ - huisvuil	311
Tabel 152 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking, residu naar AVI+ – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	312
Tabel 153 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking, residu naar hydrolyse - huisvuil	313
Tabel 154 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking, residu naar hydrolyse – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	313
Tabel 155 Details resultaten mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI - huisvuil.....	314
Tabel 156 Details resultaten mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	314
Tabel 157 Details resultaten mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+ - huisvuil.....	315
Tabel 158 Details resultaten mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+ – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	315
Tabel 159 Details resultaten mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse - huisvuil.....	316
Tabel 160 Details resultaten mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....	316
Tabel 161 Details resultaten AVI+ - huisvuil	317

<i>Tabel 162 Details resultaten AVI+ – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil</i>	<i>318</i>
<i>Tabel 163 Details resultaten mechanische scheiding, thermochemische recyclage - huisvuil.....</i>	<i>318</i>
<i>Tabel 164 Details resultaten mechanische scheiding, thermochemische recyclage – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.....</i>	<i>319</i>

1 INTRODUCTIE

In 2001 heeft de Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij (OVAM) een studie laten uitvoeren naar verwerkingsscenario's voor de restfractie van huishoudelijk afval en niet-specifiek categorie II-afval (Vrancken, Torfs, Van der Linden, Vercaemst, & Geuzens, 2001). In de studie uit 2001 is specifiek gekeken naar het huisvuil. Sinds 2001 zijn nieuwe technieken ontwikkeld, of in ontwikkeling, voor verwerking van huisvuil. De vraag is of deze technieken voldoende ontwikkeld zijn en/of deze technieken van toepassing zijn op het Vlaams huisvuil. OVAM laat daarom een actualisatie uitvoeren van de studie uit 2001. Naast huisvuil worden ook andere restfracties uit huishoudelijk afval verbrand, ook deze stromen dienen meegenomen te worden in de actualisatie van de studie.

1.1 DOEL STUDIE

Het doel van deze studie is het vergelijken van verschillende verwerkingsmethoden voor de verwerking van huisvuil, grofvuil en gelijkaardig bedrijfsafval (gelijkaardig aan huisvuil of grofvuil) evenals de sorteeresiduen die vrijkomen bij selectieve inzameling van huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval. De studie moet helpen om de verschillende verwerkingstechnieken die op het moment van deze studie ter beschikking zijn onderling te vergelijken evenals te vergelijken met de huidige verwerking in een afvalverbrandingsinstallatie (AVI). De OVAM wil de uitkomsten van de studie gebruiken ter onderbouwing van beleidskeuzes. De studie wordt openbaar beschikbaar en heeft tot doel om OVAM te ondersteunen in het maken van beleidskeuzes.

1.2 AFBAKENING

De studie handelt over Vlaams huisvuil, grofvuil en gelijkaardig bedrijfsafval evenals de sorteeresiduen die vrijkomen bij selectieve inzameling van huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval, en zoomt in op techniekcombinaties die relevant zijn in de periode 2020-2030.

1.3 SELECTIE TECHNIEKEN

In dit rapport worden beschikbare technieken omschreven voor de verwerking van de beschreven afvalstromen. Vervolgens worden er een aantal verwerkroutes geselecteerd en verder onderzocht. Elke verwerkroute bestaat uit één of meerdere technieken. De verwerkroutes verschillen in type en hoeveelheid eindproduct. Sommige verwerkroutes zijn chemisch van aard en richten zich op de productie van brandstof. Andere verwerkroutes richten zich op (mechanische) sortering en recyclage tot grondstof. Tot slot richten verbrandingsinstallaties zich op energierecuperatie en metaalrecuperatie.

1.4 ONDERZOEKSMETHODIEK

Het onderzoek omvat een milieukundige analyse, een exergetische LCA, beschrijving van de verwerkingscapaciteit en flexibiliteit en analyse van de investeringskosten per geselecteerde techniek. Er wordt zowel gekeken naar de productieprocessen als naar de geproduceerde eindproducten (energie, grondstoffen of brandstoffen). Bij de analyse worden de aspecten in kaart gebracht die tot een milieu-impact of een exergie-onttrekking leiden. Ook wordt bepaald wat men kan met de eindproducten: welke conventionele grond- of brandstof vermijden zij? Centraal staat de balans tussen input en output: hoeveel energie en hulpstoffen zijn nodig voor het produceren van welke hoeveelheid aan nuttig eindproduct.

1.5 DISCLAIMER

Dit onderzoek gaat over een vergelijking van nieuwe technieken welke deels slechts op pilotschaal bewezen zijn en technieken die al jaren gebruikt worden. Voor al deze technieken is een model gemaakt van de toepassing van de technieken op de verschillende afvalstromen zoals beschreven in de ze rapportage. Dit betekent dat niet alle getallen 100% kloppen met de werkelijkheid zoals deze nu plaatsvindt bij de toepassing van bestaande technieken op een andere locatie. Het gaat immers om een andere afval-samenstelling. Tot slot richt het onderzoek zich op de gemiddelde Vlaamse situatie en houden we geen rekening met de bestaande installaties ter plekke.

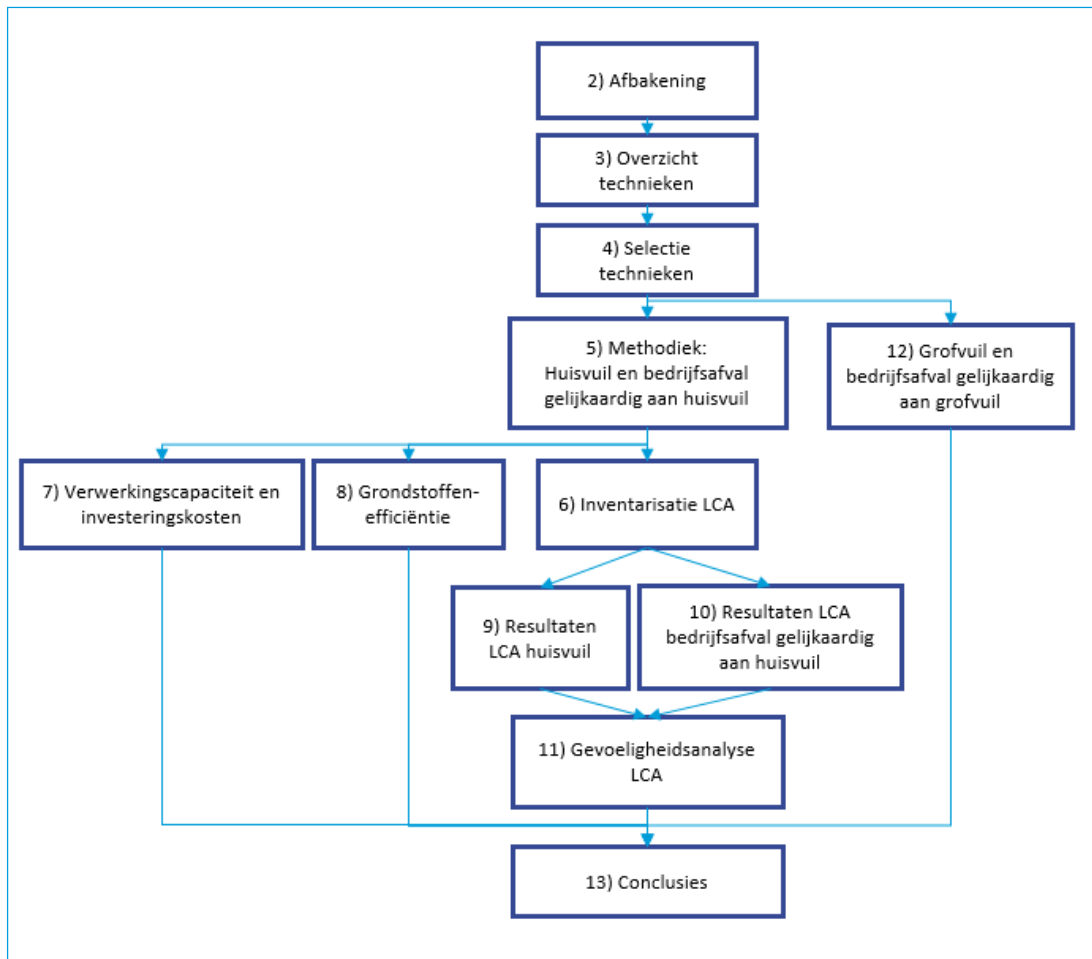
Door deze factoren geeft dit onderzoek een beeld van welke technieken interessant kunnen zijn of worden voor de Vlaamse verwerking van huisvuil maar geeft zij geen blauwdruk van hoe de afvalwerking er precies uit moet zien. Bij nieuwe projecten is het steeds raadzaam op maat aanbiedingen van technieken precies te vergelijken voor de specifieke situatie.

1.6 LEESWIJZER

- Hoofdstuk 2 beschrijft de afbakening van deze studie;
- Hoofdstuk 0 geeft een overzicht van beschikbare en opkomende technieken voor afvalverwerking;
- Hoofdstuk 4 maakt uit dit overzicht een selectie van afvalverwerkingstechnieken op basis van een aantal selectiecriteria;
- Hoofdstuk 5 gaat in op de onderzoeksmethodiek: de uitgangspunten, analysemethoden, en gevoeligheidsanalyses;
- Hoofdstuk 6 beschrijft de geïnventariseerde gegevens die ten grondslag liggen aan de analyse; een uitgebreider overzicht van de gegevens wordt gepresenteerd in de bijlagen;
- Hoofdstuk 7 beschrijft de verwerkingscapaciteit, flexibiliteit en investeringskosten per techniek;
- Hoofdstuk 8 geeft inzicht in de grondstofefficiëntie van geselecteerde technieken;
- Hoofdstuk 9 toont een overzicht van de resultaten van de milieu-indicatoren, schadecategorieën, en de exergieanalyse (CEENE) voor huisvuil;
- Hoofdstuk 10 toont een overzicht van de resultaten van de milieu-indicatoren, schadecategorieën, en de exergieanalyse (CEENE) voor bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil;
- Hoofdstuk 11 behandelt de gevoeligheidsanalyses voor zowel huisvuil als bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil;
- Hoofdstuk 12 bevat een kwalitatieve beschrijving van de verwerking van Vlaams grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil;

- Hoofdstuk 13 beschrijft de conclusies;
- de bijlagen geven zowel de inventarisatie van de gegevens als de resultaten in meer detail weer.

Figuur 5 Leeswijzer gehele rapport



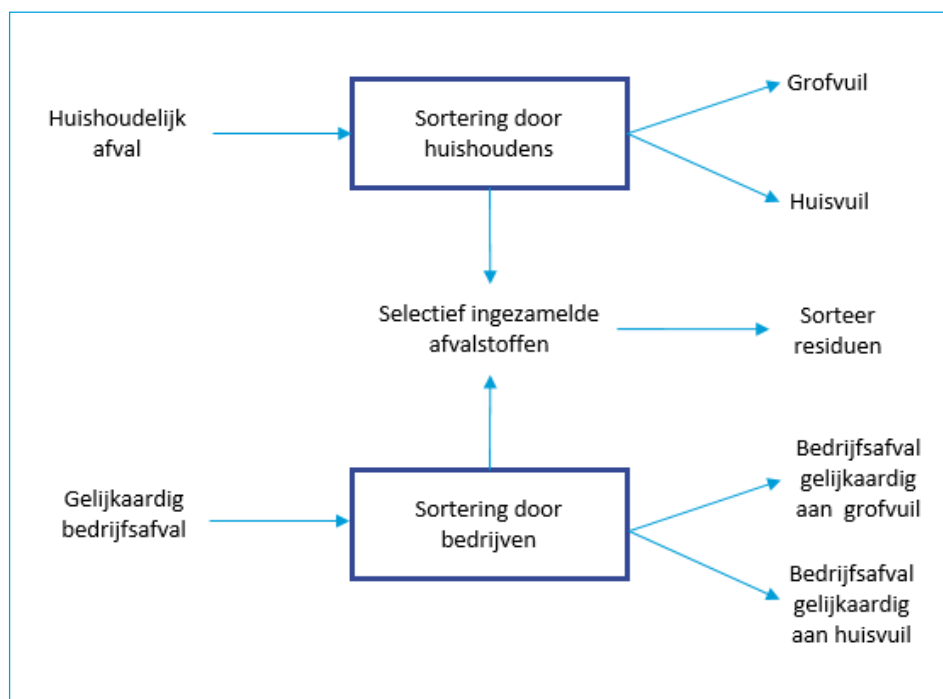
2 AFBAKENING STUDIE

In dit hoofdstuk beschrijven we de afbakening van de studie. We beschrijven de afvalsoorten die onderdeel zijn van deze studie, de geografische locatie waarbinnen de afvalstromen verwerkt dienen te worden evenals de tijdsafbakening waarvoor technieken onderzocht zullen worden.

2.1 AFVALSOORTEN

Onderwerp van deze studie zijn de reststromen uit huishoudelijk afval en het gelijkaardig bedrijfsafval. Dit zijn de afvalstromen die nu verwerkt worden in Vlaamse AVIs en in een mechanisch-biologische scheidingsinstallatie (MBS). In Figuur 6 wordt geïllustreerd om welke afvalstromen dit gaat: grofvuil en huisvuil (evenals daarop gelijkend bedrijfsafval) en sorteeresiduen uit de verwerking van selectief ingezamelde afvalstromen (zoals kleine plastic verpakkingsdelen zoals losse dopjes).

Figuur 6 Illustratie reststromen uit huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval



In totaal wordt er per jaar in Vlaanderen ongeveer 2 miljoen reststromen uit huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval verbrand in AVIs. Daarnaast wordt 67 kton verwerkt in een installatie voor MBS. Deze 2 miljoen ton was in 2016 als volgt opgebouwd (OVAM, 2017):

- 900 kton huisvuil (inclusief veeg- en gemeentevuil);
- 152 kton grofvuil;
- ~1 miljoen ton sorteeresiduen en gelijkaardig bedrijfsafval, waarvan tussen de 750 en 800 kton aan gelijkaardig bedrijfsafval.³

³ Dit zijn waarden voor 2013 en 2015, waarden voor 2016 zijn niet genoemd in (OVAM, 2017).

Voor vier afvalstromen zijn sorteeranalyses uitgevoerd door OVAM. Voor huisvuil is de samenstelling bekend voor 2013/2014, voor grofvuil voor 2011 en voor twee typen gelijkaardig bedrijfsafval voor 2017⁴. Sorteeresiduen worden buiten beschouwing gelaten door de onzekerheid over de samenstelling van deze afvalstroom.

2.2 HUIDIGE AVI ALS REFERENTIETECHNIEK

Op dit moment worden de betreffende afvalstromen verwerkt in een afvalverbrandingsinstallatie die elektriciteit en vaak ook warmte produceert. De bestaande AVIs in Vlaanderen zijn daarmee de referentie voor deze studie, en de AVI dus de referentietechniek.

2.3 GEOGRAFISCHE LOCATIE

De inzameling van de afvalstromen vindt plaats in Vlaanderen (het gaat immers om Vlaams afval). Het zelfvoorzieningsprincipe is van toepassing voor de verwerking van gemengd stedelijk afval van huishoudens evenals gelijkaardig bedrijfsafval indien dit gelijkaardig bedrijfsafval samen ingezameld wordt met dat van huishoudens. Dit houdt in dat de eerste verwerkingstap van huishoudelijk afval geschiedt binnen Vlaanderen (zie (OVAM, 2014a)). We gaan ervan uit dat dit in het geval van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil over het algemeen ook zo gebeurt. De eerste verwerkingstap (verbranding, scheiding) van de afvalstromen voor de te bekijken technieken zal dus ook in Vlaanderen plaats moeten vinden. De overige verwerkingsstappen (bijv. verwerking van uitgesorteerde kunststof) hoeven volgens het zelfvoorzieningsprincipe niet in Vlaanderen plaats te vinden.

2.4 TIJDSAFBAKENING

De verwerkingstechnieken zijn beschikbaar voor toepassing op korte tot middellange termijn. Enerzijds betekent dit toepassing vóór het eind van het huidige 'Uitvoeringsplan huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval' (dit loopt af in 2022). Tegelijk is er vraag naar veelbelovende technieken die zich nu nog in de ontwikkelfase bevinden, maar rond 2030 operationeel kunnen zijn. Grofweg is de tijdsspanne hierdoor 2020-2030.

⁴ Bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil. In het geval van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wordt uitgegaan van de afvalsamenstelling van bedrijfsafval ingezameld via rolcontainers. Zie Bijlage A.1.2 voor de precieze samenstelling.

3 OVERZICHT RELEVANTE TECHNIEKEN

Er zijn diverse technieken beschikbaar - of nog in ontwikkeling - voor de verwerking van huisvuil, grofvuil, gelijkaardig bedrijfsafval of deelstromen van deze afvalstromen.

De verwerking van huisvuil en grofvuil in een huidige Vlaamse afvalverbrandingsinstallatie wordt in deze studie gehanteerd als referentie, waarmee andere technieken worden vergeleken. Deze keuze is gemaakt omdat (het grootste gedeelte van) het huisvuil en grofvuil evenals gelijkaardig bedrijfsafval nu verwerkt wordt in een Vlaamse afvalverbrandingsinstallatie.

In dit hoofdstuk beschrijven we verschillende technieken. In Hoofdstuk 4 wordt een selectie gemaakt van de technieken die beschikbaar zijn op basis van een aantal criteria. In Hoofdstuk 6 bespreken we de geselecteerde technieken uitgebreider.

3.1 INTRODUCTIE

Sinds de jaren zeventig zijn er wereldwijd een groot aantal thermochemische afvalverwerkingstechnieken op de markt gebracht. Dit zijn vaak technieken die onder relatief hoge temperatuur afval omzetten in de bouwstenen van het materiaal (polymeren, monomeren of atomen). Daarnaast zijn er een aantal innovatieve technieken in ontwikkeling die zich vaak richten op specifieke deelstromen uit het huishoudelijk afval.

3.1.1 Inventarisatie relevante technieken

De technieken in dit hoofdstuk zijn geïnterviewd op basis van een recente studie van het Europese Joint Research Center (JRC), eerder uitgevoerd werk door CE Delft, en aan de hand van inschattingen van experts. Het Europese Joint Research Center beschrijft in een recente studie verschillende technologieën om afval om te zetten naar energie en grondstoffen (JRC; Ricardo AEA Ltd; Bio by Deloitte, 2016). Naast conventionele afvalverbrandingsinstallaties voor directe productie van energie zoals deze ook in Vlaanderen te vinden zijn beschrijft het JRC ook technieken die gebruik maken van afval voor biogasproductie en andere innovatieve afvalverwerkingstechnieken. In het rapport zijn echter expliciet geen technieken opgenomen die zich richten op recyclage; deze zijn toegevoegd op basis van eerdere studies van CE Delft en inschattingen van experts. CE Delft heeft onder anderen in 2017 een onderzoek uitgevoerd naar innovatieve afvalverwerkingstechnieken voor de Nederlandse gemeente Rotterdam (CE Delft, 2017a) en een vergelijking gemaakt van verschillende nascheidingstechnieken voor o.a. de Nederlandse gemeenten Eindhoven en Den Bosch (CE Delft, 2017b).

3.1.2 Indeling technieken

De geïnterviewde technieken zijn ingedeeld in de volgende categorieën:

- thermochemische verwerkingstechnieken;
- chemische recyclage- en selectieve extractietechnieken;
- nascheidingstechnieken;
- uitbreiding/modernisering van bestaande afvalverbrandingsinstallaties.

3.1.3 Niveau van ontwikkeling technieken

Per techniek geven we een korte beschrijving waarbij de mogelijke afvalfracties, een aantal relevante ontwikkelaars en het niveau van ontwikkeling aan bod komen. Dit is gebaseerd op het geschatte Technology Readiness Level (TRL). Zie volgende box voor meer informatie.

Technology Readiness Level (TRL)

Het Technology Readiness Level is een indicator voor de volwassenheid van een techniek. De indicator is ooit ontwikkeld door de NASA, wordt veel gebruikt in de Amerikaanse defensie-industrie en wordt ook steeds meer gebruikt in andere techniekvelden. Ook in Europa hebben ESA en de Europese commissie het TRL-systeem in gebruik en beide hebben deze ook gedefinieerd. Tegenwoordig wordt het vooral voor innovatiestimulering veel gebruikt. De indicator wordt onder andere in het Horizon 2020 (H2020) toegepast om de impact die innovatiesubsidies hebben te benchmarken. De indicator kent negen fasen van innovatie/productontwikkeling, die in Tabel 2 worden weergegeven. Deze definitie is afkomstig van de Europese Commissie.

Tabel 2 Beschrijving TRLs

TRL	Beschrijving
1	Basisprincipes geobserveerd.
2	Technologisch concept geformuleerd.
3	Technologisch concept bewezen.
4	Technologie gevalideerd in labsetting.
5	Technologie gevalideerd in een relevante omgeving.
6	Technologie gedemonstreerd in een relevante omgeving.
7	Prototype installatie gedemonstreerd in een operationele omgeving.
8	Installatie compleet en gekwalificeerd.
9	Daadwerkelijke systeem bewezen in een operationele omgeving.

Bron: Gebaseerd op (EC, 2014).

Een TRL geeft geen inschatting voor de tijd benodigd voor – en kans op doorontwikkeling van – een techniek. Ze zijn enkel bruikbaar om in te schatten welk niveau van ontwikkeling een techniek op dit moment bereikt heeft. Daarnaast is een TRL geen wetenschappelijk toetsbare indicator. In deze studie is daarom gekozen om de TRLs te clusteren tot vier groepen: concept, gevalideerd concept, proefinstallatie en commerciële toepassing. Deze inschatting doet meer recht aan de onzekerheid van de bepaling van dit niveau. Voor de bepaling van de mate van ontwikkeling wordt onderscheid gemaakt tussen de toepasbaarheid de totale fractie huisvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil, de totale fractie grofvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil evenals residuen die vrijkomen na de verwerking van deze twee afvalsoorten.

Tabel 3 Niveau van ontwikkeling gehanteerd in deze studie

Niveau van ontwikkeling	Bijbehorende TRLs
A. Concept	1, 2
B. Gevalideerd concept	3, 4
C. Proefinstallatie	5, 6, 7
D. Commerciële toepassing	8, 9

3.2 THERMOCHEMISCHE TECHNIEKEN

Thermochemische technieken breken afvalstromen onder invloed van temperatuur en/of druk af tot hun bouwstenen. Dit is een grote groep technieken waarbij heel verschillende producten (zowel bouwstenen als

energiedragers) geproduceerd worden. De verschillende technieken kunnen aan de hand van verschillende parameters gecategoriseerd worden. Voor deze inventarisatie is gekozen voor een indeling gebaseerd op temperatuur.

In Tabel 4 wordt een overzicht gegeven van de thermochemische technieken, deze technieken worden onder de tabel verder beschreven. Per techniek is een ontwikkelingsniveau weergegeven voor de ontwikkelaar die de techniek het verste heeft doorontwikkeld, dit niveau geldt dus niet voor alle techniekontwikkelaars.

Tabel 4 Thermochemische technieken met ontwikkelingsniveau

	Techniek	Toepasbaar op	Ontwikkelingsniveau op huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	Ontwikkelingsniveau op residu uit huisvuil en gelijkaardig bedrijfsafval	Ontwikkelingsniveau op grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil	Voorbeelden van ontwikkelaars/leveranciers ⁵
Toenemende temperatuur ↓	Radiolyse	Organisch afval, Autobanden	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	ENERPY
	Torrefactie	Biomassa	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	Torrgas, Torr-Coal, Topell, ECN
	Pyrolyse	Gescheiden kunststoffen (PE, PP), GFT, residu-stromen	B	C	N.v.t.	Mitsui Recycling R21, Sweep, Technip-BTG, POR-Engie, Splainex, (Seaways)PyrOil, BlueAlp (PetroGas)
	Geïntegreerde hydropyrolyse	Gescheiden kunststoffen (PE, PP, PUR, PS), GFT, residu-stromen	B	B	N.v.t.	Green Modem, Fraunhofer (Susteen), IH2 (Shell), Energy
	Lagetemperatuur-vergassing	Kunststoffen, GFT	C	C	N.v.t.	Royal Dahlmann, BTG
	Medium-temperatuur-vergassing	GFT, residu-stromen	C	C ⁶	N.v.t.	Enerkem
	Plasmavergassing	Huisvuil, grofvuil, residu-stromen	C	C	N.v.t.	Europlasma, Alter NRG

Toelichting: Ontwikkelingsniveau A= Concept, B= Gevalideerd concept, C= Proefinstallatie en D= Commerciële toepassing.

3.2.1 Radiolyse

Radiolyse oftewel radiolyse-ondersteunde pyrolyse is een thermisch kraakproces. In het kraakproces wordt naast warmte ook gebruik gemaakt van ioniserende straling. Met radiolyse kan homogeen warmte wordt toegevoerd waardoor de temperatuur in de installatie constant gehouden kan worden. De eerste proeven van

⁵ Een uitputtende lijst van pyrolyse partijen bestaat uit circa 150 aanbieders. <http://www.routekaartchemie.nl/images/2012-11/depolymerisatie-basis-routekaart.pdf>

⁶ Wordt nu in Canada bedreven op basis van een mix van biomassa en sorteeresidu als input (post-sorted municipal solid waste (after recycling and composting) zie <https://enerkem.com/facilities/enerkem-alberta-biofuels/>

Energy gebeuren bij 650°C. Deze methode wordt op dit moment door ENERPY toegepast in een demonstratie-installatie waarin organisch afval verwerkt kan worden. De techniek is ook toegepast op autobanden in een proefinstallatie in Paraguay. Uit de verwerking komen onder anderen olie en gas.

In Paraguay, Zuid-Amerika is in 2011 een pilot plant gebouwd waar getest is op autobanden. Grotere opschaling naar een demonstratie-installatie in Nederland heeft plaatsgevonden tussen 2014-2016, hierbij is getest op enkel bermgras dat geperst was tot graspelletts. De installatie is niet getest op huisvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil, residu uit huisvuil, of grofvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil en voor al deze afvalstromen is de techniek dus (nog) niet van toepassing.

3.2.2 Torrefactie (200-400°C)

Torrefactie wordt toegepast op biomassa om de biomassa beter geschikt te maken voor transport, en voor verbranding of vergassing. Torrefactie is een milde vorm van pyrolyse op een temperatuur tussen de 200 en 400°C, waarbij bepaalde eigenschappen van de biomassa worden veranderd zodat een homogener product wordt geproduceerd dat op houtskool lijkt. Deze techniek wordt commercieel toegepast, o.a. bij Torr-Coal in België.

Torrefactie is een ontwikkelde techniek met een aantal installaties in België en Nederland die commercieel opereren voor biomassafracties. De techniek is echter niet ontwikkeld voor toepassing op huisvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil, residuen uit huisvuil, of grofvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil. Voor deze afvalstromen is de techniek dus (nog) niet van toepassing.

3.2.3 Pyrolyse (400-600°C)

Pyrolyse is de verwarming van inputmateriaal zonder zuurstof op een temperatuur tussen de 400 en 600°C. Hierbij vindt omzetting plaats naar pyrolyseolie (o.b.v. biomassa, banden) of kerosine/dieselachtige brandstof (o.b.v. plastics en afvalolie), syngas, zouten en metalen, organische zuren en koolstof/char. De verhouding en kwaliteit van deze producten hangt af van de specifieke techniek en de samenstelling van de input. 1^{ste} generatie pyrolyseprocessen hebben meer last van stoorstoffen zoals te veel PET en PVC dan 2^{de} generatie processen, en de kwaliteit van de olie of brandstof is bij 2^{de} generatie pyrolyse vaak ook hoger.

Er bestaat wereldwijd een groot aantal grootschalige commerciële pyrolyse installaties. Voor de specifieke toepassing van het omzetten van plastic tot olie zijn wereldwijd momenteel 87 installaties operationeel (Ricardo Energy & Environment, 2017). Verschillende installaties richten zich specifiek op de productie van biobrandstoffen uit biomassa d.m.v. pyrolyse, of, zoals bijv. BioGreen Energy, op de verwerking van residuen uit huisvuil. De schaal varieert sterk van 10-150 kton/jaar.

De toepassing op huisvuil en residu uit huisvuil is beschreven in o.a. (Chen, Yin, Wang, & He, 2014) en (Czajczyńska, et al., 2017). De eerstgenoemde studie beschrijft een aantal (vaak inmiddels gestopte) grootschalige installaties die pyrolyse toepast op gemengd afval (MSW). Ook in de tweede bron worden installaties genoemd die langzame pyrolyse toepassen op huisvuilstromen in o.a. Duitsland en Japan. Hierdoor is de inschatting dat pyrolyse voor huisvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil een niveau van ontwikkeling "B" heeft omdat de kwaliteit van het outputproduct (nog) niet hoog genoeg is, dit is ook een belangrijke reden waarom installaties gestopt zijn met huisvuil te verwerken. Voor de residuen uit huisvuil hanteren we het niveau van ontwikkeling "C" heeft. De meeste pyrolyse-ontwikkelaars richten zich op een input van plastic afval met vooral PE en PP en liever geen PET en PVC. Deze techniek is daarmee vooral geschikt voor

afvalstromen die uitvallen uit het kunststofsorteer- en verwerkingssysteem en niet voor huisvuil zonder voorbereiding.

De techniek is niet ontwikkeld voor toepassing op grofvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil en is daarom niet van toepassing op deze afvalstroom.

3.2.4 Geïntegreerde hydrolyse

Geïntegreerde hydrolyse is een meer geavanceerde vorm van pyrolyse, waarbij een brandstof van hogere kwaliteit wordt geproduceerd. Het verschil met conventionele pyrolyse is dat het kraakproces plaatsvindt in de aanwezigheid van water. De temperatuur ligt ongeveer tussen de 300-600°C.

Geïntegreerde hydrolyse is beter geschikt voor wisselende heterogene input dan conventionele pyrolyse, en ook minder gevoelig voor geoxygeneerde plastics (PET). Hierdoor is hydrolyse in theorie een afvalverwerkingstechniek die op een groot deel van brandbare huisvuilstromen kan worden toegepast. Niet-recycleerbaar plastic afval en biomassa-afval vormen geschikte inputs. In de praktijk vinden nu vooral toepassingen plaats in niches, die zich richten op een specifieke afvalstroom zoals B-hout, slibverwerking of bermgras.

De schaal varieert sterk van 10-150 kton/jaar. De IH2-technologie van Shell is een voorbeeld van een groot-schalige installatie die in ontwikkeling is voor de verwerking van biomassa en huishoudelijk afval in India. De verwachting was 2012 dat realisatie nog enkele jaren zou duren (GTI, 2012), de installatie was eind 2018 nog niet gerealiseerd. Demonstratieschaalinstallaties die biomassa of andere stromen verwerken zijn beschreven in o.a. (GTI, 2017). De toepassing op gemengde afvalstromen is beschreven in White papers zoals (GET, 2013). Geïntegreerde hydrolyseprojecten richten zich nu vooral op mixed plastic fracties of mixed plastic fracties met ook biomassa en niet op gemengd huisvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Geïntegreerde hydrolyse krijgt daarom het niveau van ontwikkeling "B" voor deze stromen. De techniek is niet ontwikkeld voor toepassing op grofvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil.

3.2.5 Lagetemperatuurvergassing (800-1.000°C)

Vergassing is het verwarmen (~800-1.000°C) van brandstof met toevoer van zuurstof, bij stoichiometrie <1. De brandstof wordt bij vergassing afgebroken tot de kleinste moleculaire bouwstenen: H₂ en CO. Deze combinatie van bouwstenen wordt syngas genoemd (van synthetisch gas). Er bestaan veel verschillende varianten van vergassing, die plaatsvinden in verschillende soorten installaties zoals bijv. wervelbedvergassing. Lagetemperatuurvergassing wordt vooral toegepast op biomassahoudende afvalstromen. Er zijn ook voorbeelden van installaties die zich richten op huishoudelijke afvalstromen, en die met name gericht zijn op de productie van energie. Het geproduceerde syngas wordt hierbij direct ingezet in een WKK. De New Energy lagetemperatuurvergassingsinstallatie in Karratha (Australië) is hier een voorbeeld van. Door dergelijke installaties schatten we in dat deze technologie toepasbaar is voor huisvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en residu uit huisvuil, echter is deze nog nooit toegepast op Vlaams huisvuil of residu uit Vlaams huisvuil we gaan daarom uit van een niveau van ontwikkeling "C". De techniek is niet ontwikkeld voor toepassing op grofvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil.

3.2.6 Mediumtemperatuurvergassing (900-1.650°C)

Mediumtemperatuurvergassing produceert een syngas van hogere kwaliteit dan bij lagetemperatuurvergassing. Verder is het proces vergelijkbaar opgebouwd. Ook hier bestaan er veel varianten: o.a. stofwolkvergassing en wervelbedvergassing. De temperatuur loopt doorgaans op tot tussen 900 en 1.650°C.

Het Europese Joint Research Center (JRC) is positief over de techniek en noemt de brede toepasbaarheid op verschillende soorten afval (JRC; Ricardo AEA Ltd; Bio by Deloitte, 2016). Het Canadese bedrijf Enerkem past wervelbedvergassing commercieel toe in Quebec. Hier worden biobrandstoffen en biobased chemicaliën geproduceerd uit biomassahoudend gemengd huisvuil. In Nederland is een samenwerkingsverband tussen AkzoNobel, Van Gansewinkel, Enerkem en andere partijen opgezet voor de realisatie van een installatie in Rotterdam. Deze richt zich op een mix van biomassa-input en gemengde kunststofafvalstromen.

De commerciële installatie in Quebec geeft aan dat het niveau van ontwikkeling hoog is "D". De toepassing op huisvuil ligt genuanceerd. Hoewel Enerkem in openbare communicatie gericht lijkt te zijn op huisvuil, wordt de techniek in de literatuur vaak primair gezien als geschikt voor residu met een hoge energetische waarde. Daarnaast is integraal onderdeel van het proces een sorteerstap die biomassa en vervuilingen verwijdert. Dit is echter bij een groot aantal (nascheidings)technieken ook het geval. Daarom wordt de techniek ook toepasbaar geacht op heterogene huisvuilstromen. Na communicatie met Enerkem wordt de techniek in deze studie behandeld als verwerker van residu uit huisvuil. Omdat er nog geen installatie bestaat die huisvuil vergelijkbaar aan Vlaams huisvuil verwerkt of vergelijkbaar residu uit huisvuil verwerkt scoort de techniek een "C" op beide stromen. De techniek is niet ontwikkeld voor toepassing op grofvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil.

Deze techniek is later geselecteerd om door te rekenen in de LCA-analyse. Het is echter niet gelukt om in dialoog met Enerkem te komen tot een goede doorrekening van een massa- en energiebalans van verwerking van Vlaams huisvuil en residu van Vlaams huisvuil.

3.2.7 Plasmavergassing (tot 5.000°C)

Plasmavergassing is een vergassingstechniek waarbij gebruik wordt gemaakt van een zogeheten plasmatoorts. De temperatuur kan oplopen tot meer dan 5.000°C. De techniek wordt toegepast op verschillende typen heterogene input en wordt gekenmerkt door een hoog energieverbruik. Voor huisvuil wordt plasmavergassing toegepast door bijvoorbeeld Mihama-Mikata in Japan⁷. Deze installatie produceert elektriciteit en warmte. Er bestaat ook de mogelijkheid om uit plasmavergassing syngas te produceren dat als grondstof kan dienen voor o.a. de chemie. In Frankrijk staat een demonstratie-installatie voor plasmavergassing waarbij in twee stappen vergassing plaatsvindt (JRC; Ricardo AEA Ltd; Bio by Deloitte, 2016)⁸. De eerste stap is in dat geval conventionele vergassing en de tweede stap plasmavergassing van de vergassingsproducten. Volgens het JRC heeft het proces een relatief laag rendement door het hoge elektriciteitsverbruik en is de toepasbaarheid op huisvuil nog niet volledig bewezen.

In België is Machiels bezig met het opzetten van een locatie waar plasmavergassing plaats zal vinden op basis van afval uit een gesloten stortplaats evenals huisvuil. Het plan is om hierbij syngas te produceren waaruit vervolgens waterstof gemaakt zal worden.

Omdat plasmavergassing grootschalig op verschillende afvalfracties wordt toegepast in Japan wordt ingeschat dat deze technologie ook toepasbaar is op Vlaams huisvuil/ bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en residu uit Vlaams huisvuil. Echter is dit nog niet bewezen en daarom gaan we uit van een niveau van ontwikkeling van een "C". De techniek is niet ontwikkeld voor toepassing op grofvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil.

3.3 CHEMISCHE RECYCLAGE EN SELECTIEVE EXTRACTIETECHNIEKEN

Naast thermochemische technieken, waarbij de afvalfracties teruggebracht worden tot hun bouwstenen, zijn er chemische recyclagetechnieken waarbij de output bestaat uit deelfracties van het inputmateriaal. Ook bestaan er chemische recyclagetechnieken waarbij virginkwaliteit materiaal geproduceerd wordt (Ioniqa, Synbra). In Tabel 5 wordt een overzicht gegeven van chemische recyclagetechnieken, deze technieken worden onder de tabel verder beschreven. Deze technieken zijn echter allen niet ontwikkeld en geschikt voor huisvuil of residu uit gesorteerd huisvuil. Deze technieken zijn geschikt voor uitgesorteerde stromen afval uit huisvuil (zoals gemixt plastic) en het sorteerresidu uit selectief ingezamelde afvalstromen. Dit is in de tweede kolom van de tabel aangegeven.

⁷ http://www.alternrg.com/waste_to_energy/projects/

⁸ Deze techniek van installatie is ontwikkeld door Europlasma en de installatie staat in Morcenx in Frankrijk.

Tabel 5 Overzicht chemische recyclage en selectieve extractietechnieken met ontwikkelingsniveau

Techniek	Toepasbaar op	Ontwikkelingsniveau op huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	Ontwikkelingsniveau op residu uit huisvuil en gelijkaardig bedrijfsafval	Ontwikkelingsniveau op grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil	Voorbeelden van ontwikkelaars
Cellulose-extractie	Papier, cellulose-houdende fracties	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	Better BeGreen, Cellupalm, ReNeWi
Depolymerisatie d.m.v. magnetische katalysator	Gescheiden gekleurde PET-kunststoffen	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	Ioniqa
Hydrolyse i.c.m. vergisting	Luiers, biomassa-houdende fracties	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	Elsinga
Selectieve polymeer-extractie met oplosmiddelen	(Gescheiden) gemengde gekleurde afvalkunststoffen	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	Synbra, CreaSolv, Indigo (Sea-Ways)

Toelichting: Ontwikkelingsniveau A= Concept, B= Gevalideerd concept, C= Proefinstallatie en D= Commerciële toepassing.

3.3.1 Cellulose-extractie

Bij cellulose-extractie wordt onder druk cellulosepulp geproduceerd uit cellulose-houdende afvalstromen zoals papier. Dit gebeurt onder toevoeging van onder andere organisch zuur en stoom. Cellulosederivaten kunnen onder andere worden toegepast in cellulose bioplastics, folies en viscose voor kleding.

Bij BetterBeGreen in Rotterdam wordt een deel van de biogene fractie uit huishoudelijk afval, bestaande uit onbruikbare papier rejeestromen en cellulose-houdende stromen uit hygiëneproducten (luiers, etc.) omgezet naar cellulose en hoogwaardige cellulosederivaten. Lignocellulose vezel houdende residuen worden omgezet met (hydro)pyrolyse naar groene brandstoffen, gas en elektriciteit en dit proces levert tevens de warmte voor het extractieproces.

De cellulosederivaten zijn dermate hoogwaardig dat een 'retoursysteem van biomassa' kan worden toegepast. BetterBeGreen beoogt met eigen zelfontwikkelde bioafbreekbare tasjes aan de bron het biogene deel van het huishoudelijke afval in te zamelen die tegen een vergoeding bij de supermarkt kan worden ingeleverd. Dit past in retourlogistiek van vrachtauto's bij supermarkten. Het gaat hierbij dus om een selectief ingezamelde fractie en niet een fractie die wordt gesorteerd uit huisvuil.

Een pilot in Rotterdam van dit systeem in combinatie met pyrolyse is voorzien. De techniek is niet bedoeld voor heterogene huisvuilstromen/bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil, residu uit huisvuil, of grofvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil.

3.3.2 Depolymerisatie d.m.v. magnetische katalysator

De Nederlandse startup Ioniqa heeft een techniek ontwikkeld waarbij afval-PET chemisch gedepolymeriseerd wordt onder invloed van een magnetische vloeistof. Dit kan bijvoorbeeld toegepast worden op PET-schaaltjes nagescheiden uit huisvuil. Hierbij wordt de grondstof BHET geproduceerd ($C_6H_4(CO_2CH_2CH_2OH)_2$) dat normaal een tussenproduct is in het DMT-proces om PET te maken. BHET van Ioniqa wordt in dit proces toegevoegd en zo omgevormd tot PET. In het proces worden diverse kleurstoffen en andere vervuiling in de input verwijderd, waardoor dit proces geschikt om PET te maken om flessen van te maken.

Hoewel de techniek nog in ontwikkeling is, werkt Ioniqa aan de realisatie van een productiefaciliteit van 10.000 ton. In april 2018 had de pilotinstallatie bij Plant One in Rotterdam 50 testruns van 1.000 liter volbracht. Ioniqa's techniek richt zich niet op de verwerking van gemengde afvalstromen of residuen.

3.3.3 Hydrolyse i.c.m. vergisting

De Nederlandse bedrijven Elsinga Beleidsplanning & Innovatie B.V. en ARN B.V. hebben een innovatieve techniek ontwikkeld voor het verwerken en recyclen van gebruikte babyluiers en incontinentiemateriaal. Deze methode is gebaseerd op thermische drukhydrolyse op $250^{\circ}C > 40$ Bar ('TDH') van het afval, waarbij vervolgens een vloeistof met een drijflaag aan kunststoffen (LDPE/PP) wordt geproduceerd. Hierna produceert een vergister uit de organische bestanddelen biogas. De bouw van de installatie is gestart in 2018 en deze zal waarschijnlijk in 2019 in gebruik genomen worden.⁹

Ongeveer 12% van de Vlaamse afvalsamenstelling bestaat uit luiers. Bij separate inzameling van luiers kan deze fractie d.m.v. thermische drukhydrolyse worden verwerkt. Ook het JRC noemt hydrolyse, maar er wordt alleen ingezoomd op de verwerking van rioolslib (JRC; Ricardo AEA Ltd; Bio by Deloitte, 2016).

Elsinga Beleidsplanning & Innovatie B.V. en ARN B.V. hebben de techniek ongeveer een jaar getest met een kleinschalige proefinstallatie. De techniek is niet ontwikkeld om andere stromen dan separaat ingezamelde luiers te verwerken.

3.3.4 Selectieve polymeerextractie met oplosmiddelen

Techniek waarbij aan een mengsel van afvalkunststoffen achtereenvolgend specifieke oplosmiddelen toegevoegd en afgescheiden worden. Hierna volgt een extractiestap die kleurstoffen en weekmakers verwijdert. De techniek wordt ook wel 'solvolyse' genoemd. Dit proces is formeel geen chemische recyclage, omdat het oorspronkelijke polymeer behouden blijft.

De output van het proces bestaat uit gescheiden stromen, met name PE- en PP-granulaten, die direct opnieuw door de kunststofverwerkende industrie kunnen worden ingezet. Het voordeel van deze techniek is dat hiermee composieten, producten die zijn opgebouwd uit meerdere materialen, uit elkaar kunnen worden gehaald.

Selectieve extractie is meer een geschikte scheidingstechniek van polymeerafval mengsels die tevens onzuiverheden uit het ingezamelde kunststofafval halen. Dit is bijvoorbeeld toegepast om het cadmium te verwijderen uit de bierkratten van Heineken (Sea-Ways). Een andere grootschalige toepassing wordt

⁹ <http://www.vanluiernaargrondstof.nl/>

momenteel ontwikkeld door een breed consortium van partijen onder de naam 'PolyStyrene Loop'. Dit project is specifiek gericht op het verwijderen (en terugwinnen) van de broomhoudende vlamvertrager HBCD uit EPS.

Een aantal selectieve polymeerextractietechnieken zijn op pilotschaal getest, en er staan grootschalige installaties gepland. Deze zijn op het moment van schrijven nog niet in bedrijf. De techniek is specifiek gericht op gesorteerde (kunststof) stromen en daardoor niet geschikt voor heterogene stromen als de totale fractie huisvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil, residu uit huisvuil, of grofvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil.

3.4 NASCHEIDINGSTECHNIEKEN

Bij nascheiding worden waardevolle materialen uit het huisvuil gescheiden voordat het huisvuil en de verschillende uitgesorteerde fracties naar de eindverwerking gaan. In de studie uitgevoerd door VITO werd gesproken over een combinatie van mechanisch-biologische voorbehandeling met thermische valorisatie van het residu (Vrancken, Torfs, Van der Linden, Vercaemst, & Geuzens, 2001). Deze techniekcombinaties zijn vormen van nascheiding. VITO identificeerde de volgende techniekcombinaties voor de mechanisch-biologische voorbehandeling:

- mechanische scheiding in combinatie met droge vergisting;
- mechanische scheiding in combinatie met natte vergisting;
- biologische droging in combinatie met mechanische scheiding.

Sinds 2001 zijn de nascheidingstechnieken verder geoptimaliseerd en zijn er techniekcombinaties bijgekomen. Bestaande techniekcombinaties zijn in Tabel 6 weergegeven, en een specifiekere beschrijving is te vinden onder de tabel.

Vooraf twee opmerkingen:

- Hierbij moet opgemerkt worden dat in ieder geval de eerste twee beschreven technieken (mechanische scheiding, thermochemische recyclage en autoclaving, mechanische scheiding) bestaat uit combinaties van technieken die al beschreven zijn in Sectie 3.2. We benoemen deze techniekcombinaties wel, omdat deze in combinatie mogelijk wel/niet van toepassing zijn op de verschillende afvalfracties.
- Voor alle nascheidingstechnieken geldt dat er een residufractie geproduceerd wordt na verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil evenals bij de verwerking van residu uit een andere nascheidingstechniek. Deze zullen verder verwerkt dienen te worden bijvoorbeeld in een AVI. De evaluatie van het ontwikkelingsniveau is dus in combinatie met een residuverwerking.

Tabel 6 Nascheidingstechnieken met ontwikkelingsniveau

Techniek	Toepasbaar op	Ontwikkelings-niveau op huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	Ontwikkelings-niveau op residu uit huisvuil en gelijkaardig bedrijfsafval	Ontwikkelings-niveau op grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil	Ontwikkelaar
Mechanische scheiding, thermochemische recyclage	Niet-gescheiden afval (plastics, residu)	B	B	N.v.t.	RenaSci
Autoclaving, mechanische scheiding	Niet-gescheiden afval	C	B	N.v.t.	Biolektra, Autothermal
Natte scheiding, natte vergisting	Niet-gescheiden afval	D	C	N.v.t.	Renescience (Ørsted)
Droge scheiding, droge vergisting	Niet-gescheiden afval	D	C	N.v.t.	OMRIN/Attero/AEB
Droge scheiding, droge vergisting incl. compost-productie	Niet-gescheiden afval	D	C	N.v.t.	OWS
Droge scheiding zonder biologische behandeling	Niet-gescheiden afval	D	C	N.v.t.	HVC/AVR
Biologisch drogen, mechanische scheiding	Niet-gescheiden afval	D	C	N.v.t.	IOK/IVAREM

Toelichting: Ontwikkelingsniveau A= Concept, B= Gevalideerd concept, C= Proefinstallatie en D= Commerciële toepassing.

3.4.1 Mechanische scheiding, thermochemische recyclage

RenaSci is een techniek in ontwikkeling waarbij geschakelde mechanische, thermische en op langere termijn, biologische processen gecombineerd worden.

In deze installatie worden recycleerbaar kunststof en metaal uitgesorteerd. Niet-recycleerbare restdelen worden omgezet in koolwaterstoffen. Dit gebeurt met de 'Plastic-to-Chemicals' (P2C) technologie'; een vorm van thermolyse, hierbij wordt een brandstof geproduceerd. De inerte outputs kunnen worden ingezet als vulstof voor bouwmaterialen. Daarnaast worden er restmaterialen verbrand voor de opwekking van stroom voor de installatie.

Organische bestanddelen van de input worden omgezet in bio-kool via hydrothermische carbonisatie. De verdeling van de verschillende stromen is op hoofdlijnen weergegeven in Figuur 19. In een tweede fase die gepland staat vóór 2030 zal in plaats van biokool bio-ethanol geproduceerd worden uit deze organische bestanddelen met behulp van enzymatische behandeling. Voor de ontwikkeling van de enzymatische behandeling is een Horizon 2020 onderzoekssubsidie ontvangen in samenwerking met verschillende onderzoeksinstituten.

RenaSci claimt dat de techniek geschikt is voor de gehele niet-gescheiden huisvuilstroom. Daarnaast kunnen de recycleerbare plastics na bewerking dienen als vervanging van virgin materiaal in de markt. Een kanttekening is wel dat RenaSci tot nu alleen vergunningen heeft verkregen voor het verwerken van residuen en bepaalde fracties uitgesorteerde kunststoffen evenals sorteerresten van o.a. verwerkers van PMD (plastic, metaal en drankkartons). In 2019 start RenaSci met de bouw van een installatie in Oostende in België, waarbij nu nog geen huisvuil behandeld mag worden. RDF uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil mag wel verwerkt worden.

Omdat deze installatie nog niet gebouwd is maar de ontwikkelaar wel een vergunning heeft ontvangen is het niveau van ontwikkeling vastgesteld op "B" (gevalideerd concept). De onderdelen van de installatie (dus bijvoorbeeld de P2C) hebben allen individueel wel een hoger niveau van ontwikkeling "D" maar zijn nog niet samen toegepast. De te bouwen installatie is sterk gericht op het verwerken van de totale fractie huisvuil. De schakeling van technieken en interne flexibiliteit is specifiek geënt op heterogene stromen. De verwerking van deze stromen is echter in de praktijk nog niet op deze stromen getest of commercieel uitgevoerd. Hierdoor krijgt de techniek voor deze stromen het niveau van ontwikkeling "B". De techniek is niet ingesteld op de verwerking van grofvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil.

3.4.2 Autoclaving, mechanische scheiding

Het Poolse bedrijf Biolektra Group heeft een techniek ontwikkeld die gericht is op het steriel verwerken en sorteren van gemengde afvalstromen. Deze techniek combinatie begint met het autoclaveren (steriliseren) van huisvuil onder druk van 2-5 bar. Er worden temperaturen van 120-150°C toegepast. Vervolgens worden met optische, mechanische en magnetische scheidingstechnieken afvalfracties van elkaar gescheiden. In deze techniek worden o.a. glas, metaal en kunststof teruggewonnen. Het overige materiaal kan worden ingezet voor energieretrouwning. In het proces wordt geen biogas geproduceerd. Wel zou de biomassa nog verder verwerkt kunnen worden om als compost ingezet te kunnen worden. In Vlaanderen en Nederland vormt wet- en regelgeving een barrière voor deze toepassing. Daarnaast noemt de ontwikkelaar de mogelijke rol van de techniek als producent van alternatieve brandstoffen die als grondstof voor bijvoorbeeld vergassing gebruikt zouden kunnen worden.

In Polen is in 2016 een testinstallatie neergezet waarin nu ongeveer 50 kton huisvuil kan worden verwerkt. Dit betekent dat de techniek het niveau van ontwikkeling "C" heeft. De techniek is niet getest op residu uit andere afvalverwerkingsmethoden, maar aangezien deze stromen heterogener zijn dan gemengd huisvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil is de inschatting dat dit ook mogelijk is. Voor deze stromen nemen we daarom een ontwikkelingsniveau "B" aan. Deze techniek is niet ingesteld op de verwerking van grofvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil.

3.4.3 Natte scheiding, natte vergisting

Anders dan bij droge scheiding het geval is kan nascheiding ook plaatsvinden in een natte omgeving. Het Renaissance-proces is een nat scheidingsproces dat werkt met enzymen. In het proces worden voedselafval, papier en karton, het celluloseachtige gedeelte van luiers en het papier uit drankkartons omgezet in een 'biolvloeistof' waaruit biogas wordt geproduceerd. Daarnaast worden andere fracties (kunststoffen en metalen) en lignocellulose-houdende vezels afgescheiden.

In Manchester, Verenigd Koninkrijk is de eerste Renaissance-installatie gerealiseerd. Volgens berichten in april zou deze installatie half 2019 op volledige schaal (120.000 ton afval/jaar) draaien (Doherty, 2019). Met een

kleine onzekerheid stellen wij daarom het niveau van ontwikkeling vast op “D” omdat Brits huisvuil vergelijkbaar is met Vlaams huisvuil.

In Nederland is Ørsted in gesprek met de gemeenten Eindhoven en Den Bosch om een installatie te plaatsen. Hiervoor zou een Renaissance-installatie gerealiseerd worden waarbij de 3D-fractie (bakjes, flessen, etc.) ook uitgesorteerd wordt naar verschillende typen kunststof evenals ferro- en non-ferro metaal.

Hoewel er voor zowel de totale fractie van huisvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil als op residuen nog geen lange termijn operationele resultaten zijn, gaan wij ervan uit dat de techniek ook geschikt is om residuen uit huisvuil te verwerken. Voor deze stromen is het niveau van ontwikkeling van Renaissance daarom op “C” vastgesteld. De Renaissance-techniek wordt niet toegepast op grofvuil en is hier ook niet voor ontwikkeld.

3.4.4 Droge scheiding, droge vergisting

Droge scheiding wordt vaak gecombineerd met een afscheiding van het organische materiaal. Dit materiaal wordt vergist om zo biogas te produceren. Dit leidt ertoe dat er minder materiaal naar een afvalverbrander gaat dan zonder biologische behandeling, evenals dat het residu een hogere energie-inhoud heeft.

Deze combinatie wordt op dit moment grootschalig en commercieel in Nederland toegepast bij Omrin en Attero. Ook bij AEB in Nederland is een scheidingslijn in gebruik genomen. Bij deze techniekcombinatie kunnen in theorie kunststof, drankenkartons, metalen, glas en biogas (mogelijk als groengas) worden afgescheiden. De techniek heeft hiermee voor de totale fractie huisvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil het ontwikkelingsniveau ‘D’. De techniek is niet getest op residu uit andere afvalverwerkingsmethoden, maar zou daar theoretisch wel op toepasbaar kunnen zijn. We schatten deze daarom in op ontwikkelingsniveau C. Droge scheiding i.c.m. droge vergisting is niet ontwikkeld om toepasbaar te zijn op grofvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil.

3.4.5 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie

Droge scheiding van organisch materiaal zorgt er in veel gevallen nog voor dat er vervuiling in de fractie zit. Het digestaat wat overblijft kan nog een extra verwerkingsslag maken, waardoor er schone hoogwaardige compost wordt geproduceerd. Qua samenstelling voldoet deze “compost” aan de Vlaamse normen. Het is in Vlaanderen echter niet toegestaan om compost te maken uit restafval. Op deze laatste grond is dit nu dus niet toegestaan in Vlaanderen. Dit gebeurt met het zogenoemde SORDISEP (SORTing, Digestion en SEParation) proces waarbij er water wordt toegevoegd aan het digestaat. Door verschillende zeef- en centrifugetechnieken worden de verschillende vervuilende onderdelen uit het digestaat gefilterd, zoals plastics, textiel en zand.

Deze methode van compostproductie wordt momenteel toegepast in de gemengde afvalverwerkingsfaciliteit in Bourg-en-Bresse, Frankrijk. Het bedrijf verwerkt 66.000 ton huisvuil per jaar, waarvan met de SORDISEP-methode 20.000 ton compost wordt geproduceerd. Met de techniek worden in Bourg-en-Bresse metalen en biogas afgescheiden, en worden andere uitgestorteerde materialen hergebruikt in de bouw van wegen. De techniek heeft hiermee voor de totale fractie huisvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil het ontwikkelingsniveau “D”. Momenteel is de techniek niet getest op het residu uit andere afvalverwerkingsmethoden. We schatten het daarom op ontwikkelingsniveau “C” voor residuverwerking.

3.4.6 Droge scheiding zonder biologische behandeling

Huisvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil hoeft niet biologisch voorbehandeld te worden als deze maar thermisch verwerkt wordt. Bij twee Nederlandse afvalverbrandingsinstallaties is een mechanische scheidingslijn voor het verbrandingsproces in aanbouw. In deze installaties willen zowel de Nederlandse afvalverwerkers HVC en AVR kunststof, metaal en drankenkartons uitsorteren. De rest van het afval wordt hierna verbrand. De scheidingstechniek is vergelijkbaar met wat er nu al toegepast wordt in Nederland bij de afvalverwerkers Omrin en Attero. De techniek is niet getest op residu uit andere afvalverwerkingsmethoden, maar zou daar theoretisch wel op toepasbaar kunnen zijn. We schatten deze daarom in op ontwikkelingsniveau “C”. Droge scheiding zonder biologische behandeling is niet ontwikkeld voor toepassing op grofvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil.

3.4.7 Biologisch drogen, mechanische scheiding

In Vlaanderen wordt het huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil bij IOK/IKAREM behandeld door deze eerst biologisch te drogen en dan mechanisch te scheiden (ontwikkelingsniveau “D”). Hierbij kan metaal en inert materiaal teruggewonnen worden, en wordt een residu geproduceerd dat makkelijk energetisch te verwerken is. Dit residu wordt in de huidige situatie vervolgens verbrand.

De techniek wordt vaak mechanisch-biologisch scheiden genoemd, en wordt sinds 2006 in een scheidingsinstallatie in Geel toegepast op het restafval uit de Kempense en Mechelse regio. De eerder uitgevoerde studie van VITO (Vrancken, Torfs, Van der Linden, Vercaemst, & Geuzens, 2001) gaf de techniek een goede score op de onderdelen procesbeheersing, onderhoud en flexibiliteit t.o.v. de input en output. Mede door deze conclusie is deze techniek in de jaren erna gerealiseerd voor de verwerking van huishoudelijk afval.

De techniek is niet getest op residu uit andere afvalverwerkingsmethoden, maar zou daar theoretisch wel op toepasbaar kunnen zijn. We schatten deze daarom in op ontwikkelingsniveau “C”. De techniek is niet ontwikkeld voor toepassing op grofvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil.

3.5 UITBREIDING/MODERNISERING VAN HUIDIGE AFVALVERBRANDINGSTECHNIEK

Er is een aantal opties beschikbaar om afvalverbrandingsinstallaties te optimaliseren zoals weergegeven in Tabel 7. Uiteraard kunnen er ook combinaties gemaakt worden van deze verschillende technieken. Er bestaan verschillende AVIs die een hoger energetisch rendement halen dan de AVIs in Vlaanderen. Het gaat hierbij om een combinatie van een hoger (gemiddeld) elektrisch rendement als de afzet van warmte in een warmtenet. Dit gebeurt op verschillende plekken in Europa maar met name in Scandinavië waar veel gebruik gemaakt wordt van warmtenetten. In Nederland heeft bijvoorbeeld de REC van Omrin in Harlingen op dit moment het hoogste totaalrendement gemeten met de formule van de EU voor de R1-waarde (formule waarbij warmte en elektriciteit gewogen worden opgeteld geeft 1,15¹⁰). Het gaat hier om een elektrisch rendement van 28% en warmte rendement van 54%. Deze techniek heeft daarom een ontwikkelingsniveau "D".

De techniek die wordt toegepast bij de opwerking van bodemassen is geavanceerd en wordt in meerdere landen grootschalig toegepast, en heeft daarom een ontwikkelingsniveau "D".

De techniek van CO₂-afvang is uitontwikkeld, en afgevangen CO₂ wordt al in een aantal landen in Europa opgeslagen of verkocht als product. Dit is echter niet het geval voor CO₂-afvang bij een AVI, hier is de techniek nog niet commercieel toegepast. Wel is er bij Twence in Nederland bijv. een proefinstallatie in gebruik, de techniek heeft daarom toegepast bij een AVI een ontwikkelingsniveau "C".

Tabel 7 Opties voor uitbreiding afvalverbrandingsinstallaties met ontwikkelingsniveau

Techniek	Ontwikkelingsniveau	Beschrijving	Ontwikkelaar
AVI met hoog energetisch rendement	D	Een AVI met een hoog elektrisch rendement en levering van warmte aan een warmtenet.	-
Opwerking bodemassen (ADR, wasinstallaties)	D	Techniek om kleine waardevolle deeltjes (aluminium, koper, zink) uit bodemassen te halen.	Inashco, Indaver, Mineralz (Renewi), Heros
CO ₂ -afvang bij AVI	C	CO ₂ kan met verschillende technieken worden afgevangen bij een AVI, en vervolgens worden opgeslagen of op verschillende manieren worden ingezet.	-

Toelichting: Ontwikkelingsniveau A= Concept, B= Gevalideerd concept, C= Proefinstallatie en D= Commerciële toepassing.

4 SELECTIE VAN TECHNIEKEN

De lijst relevante technieken brengen we op basis van de volgende drie stappen terug tot vijftien verwerkingsscenario's:

¹⁰ De R1-berekening komt uit de EU-methodiek vastgelegd in <https://ec.europa.eu/environment/waste/framework/pdf/guidance.pdf> In Vlaanderen is dit verder gespecificeerd in artikel 4.2.2 Vlarema.

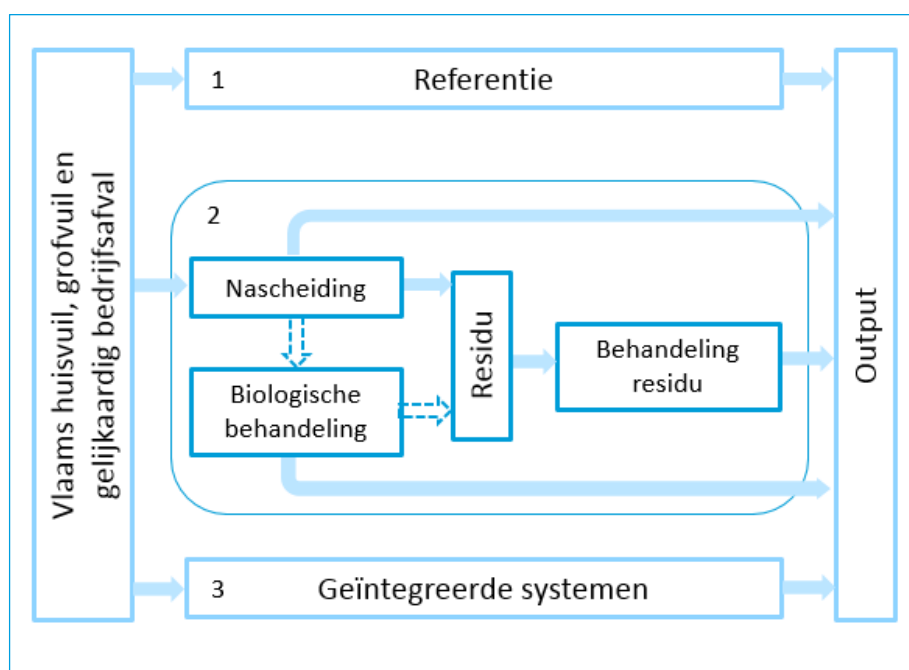
1. Verdere categorisering van technieken op basis van het 'algemeen schema' voor hoofdroutes voor verwerking zoals opgesteld in (Vrancken, Torfs, Van der Linden, Vercaemst, & Geuzens, 2001).
2. Het uitsluiten van een aantal technieken op basis van selectiecriteria die voortkomen uit de hoofdvraag van deze studie.
3. Het combineren van de overgebleven relevante technieken tot een aantal verwerkingsscenario's.

In Sectie 4.1 beschrijven we het schema voor de hoofdroutes. In Sectie 4.2 beschrijven we de selectiecriteria op basis waarvan de technieken gescoord zijn en vatten we kort samen welke eerder beschreven technieken niet zijn meegenomen op basis van deze criteria. In Sectie 4.3 worden de gekozen verwerkingsscenario's, die bestaan uit combinaties van de eerder geselecteerde technieken, beschreven. Deze worden vervolgens in Hoofdstuk 5 in detail uitgewerkt.

4.1 ALGEMEEN SCHEMA HOOFDROUTES

In (Vrancken, Torfs, Van der Linden, Vercaemst, & Geuzens, 2001) worden drie hoofdroutes beschreven voor de verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Wij gebruiken deze hoofdroutes ook voor het indelen van de technieken zoals beschreven in het vorige hoofdstuk. Het algemeen schema hoofdroutes wordt weergegeven in Figuur 7, waarbij deze aangepast is om ook grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig en grofvuil te omvatten, onder de figuur beschrijven we de drie hoofdroutes verder.

Figuur 7 Algemeen schema hoofdroutes verwerking Vlaams huisvuil, grofvuil en gelijkaardig bedrijfsafval



1. Referentie (integrale verwerking in AVI)

Bij integrale verwerking wordt huisvuil, grofvuil of gelijkaardig bedrijfsafval zonder voorbehandeling voor thermische verwerking aangeboden. In deze studie is dit de referentiecasse: verbranding in een conventionele Vlaamse AVI met opwekking van elektriciteit en warmte en opwerking van bodemassen. Deze verwerkingsmethode is ingesteld op verwerking van heterogene stromen.

2. Nascheiding en verwerking residu

Het gaat hierbij om het (nat of droog) nascheiden van Vlaams huisvuil, grofvuil of gelijkaardig bedrijfsafval, waarbij de waardevolle materialen uit het afval gescheiden worden voordat het residu en de verschillende uitgesorteerde fracties naar de eindverwerking gaan. Hierbij kan een biologische stap worden toegepast (bijvoorbeeld vergisting). Het residu dat overblijft kan met verschillende eerder beschreven thermochemische technieken worden omgezet tot grond- en brandstoffen. Onder residuverwerking verstaan wij in deze studie eindverwerking waarna alleen materiaal overblijft dat gestort wordt. In de voorgaande studie (Vrancken, Torfs, Van der Linden, Vercaemst, & Geuzens, 2001) wordt deze hoofdroute 'voorbehandeling + valorisatie' genoemd.

3. Geïntegreerde verwerking

In geïntegreerde systemen worden voorbehandeling en thermochemische verwerking gecombineerd op dezelfde locatie. Hiermee is de verwerking tegelijkertijd voorbehandeling en residuverwerking. Vaak wordt het afval via productie van een tussenproduct omgezet in syngas of een andere brandstof.

In Tabel 8 delen we alle beschreven technieken in naar de hoofdroutes. De technieken kunnen onder meerdere categorieën geplaatst worden. Zo kan mediumtemperatuurvergassen mogelijk zowel toegepast worden als residuverwerkingsmethoden als, als geïntegreerd systeem.

Tabel 8 Indeling technieken naar hoofdroutes

Hoofdroute	Technieken
Referentie	Conventionele AVI
Nascheiding	Autoclaving, mechanische scheiding (BioElektra) Natte scheiding, natte vergisting (Renescience) Droge scheiding, droge vergisting Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostproductie Droge scheiding zonder biologische behandeling Biologisch drogen, mechanische scheiding (IOK/IKAREM)
Behandeling residu	Radiolyse Torrefactie Pyrolyse Geïntegreerde hydropyrolyse Lagetemperatuurvergassing Mediumtemperatuurvergassing Cellulose-extractie Depolymerisatie d.m.v. magnetische katalysator Hydrolyse Selectieve polymeerextractie met oplosmiddelen
Geïntegreerde systemen	Pyrolyse Geïntegreerde hydropyrolyse Lagetemperatuurvergassing Mediumtemperatuurvergassing Plasmavergassing Mechanische scheiding, thermochemische recyclage (RenaSci)
	AVI+

4.2 SELECTIE OP BASIS VAN SELECTIECRITERIA

4.2.1 De selectiecriteria

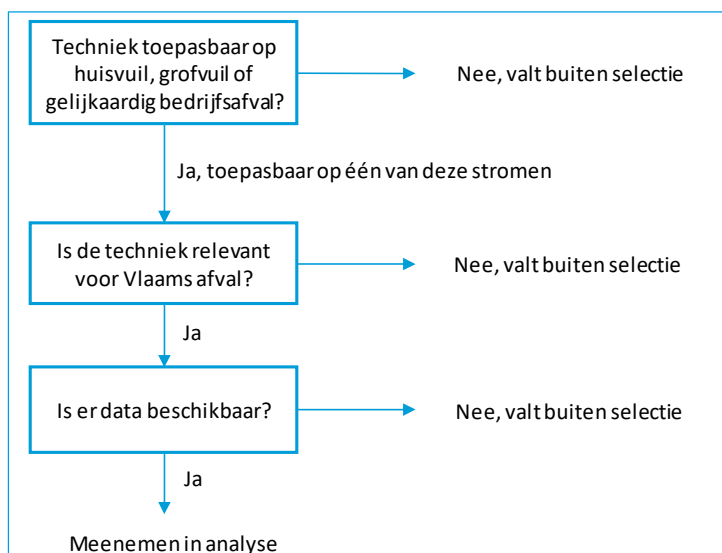
Alle hiervoor gesuggereerde technieken zullen we scoren op basis van toepasbaarheid, relevantie voor Vlaanderen en beschikbaarheid van data. De selectiecriteria zijn toegelicht in Tabel 9.

Tabel 9 Selectiecriteria

Criterium	Achtergrond
Toepasbaarheid	De scope van het onderzoek is de verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil evenals de verwerking van grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil. De eis is dat een techniek(combinatie) de gehele stroom kan verwerken. De toepasbaarheid van de geïnventariseerde technieken is daarmee het belangrijkste criterium. Zoals Figuur 7 laat zien vormen technieken die geschikt zijn voor de verwerking van residu, na nascheiding, ook onderdeel van de analyse. Ook de toepasbaarheid op deze stroom wordt meegenomen in dit criterium.
Relevantie voor Vlaams afval	Meerdere technieken zijn in ontwikkeling of reeds toegepast in Vlaanderen en in andere West-Europese landen (Nederland, Denemarken). Voor selectie moet een techniek zich richten op de verwerking van afval met een samenstelling die hetzelfde is of vergelijkbaar is met de afvalsamenstelling van Vlaams huisvuil, Vlaams grofvuil, of gelijkaardig bedrijfsafval.
Beschikbaarheid van data	Er moet voldoende data beschikbaar zijn om een LCA-analyse uit te kunnen voeren. Het gaat hierbij zowel om praktijkgegevens van al draaiende installaties als om theoretische gegevens voor te realiseren installatie.

We passen de selectiecriteria toe op basis van de beslisboom zoals weergegeven in Figuur 8.

Figuur 8 Toepassen selectiecriteria: beslisboom



4.2.2 Toepassing selectiecriteria

We passen de criteria toe om een aantal technieken uit te sluiten, en zo te komen tot een selectie van technieken voor verdere analyse. De toepassing van de criteria is weergegeven in Tabel 10 voor alle technieken, onder de tabel wordt de analyse toegelicht.

Tabel 10 Toepassing selectiecriteria op relevante technieken

Techniek	Toepasbaar huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil?	Toepasbaar residu huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil?	Toepasbaar grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan bedrijfsafval?	Relevant Vlaams afval?	Data beschikbaar?
Conventionele AVI	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
AVI+	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Autoclaving, mechanische scheiding (BioElektra)	Ja	Nee	Nee	Nee	-
Natte scheiding, natte vergisting (Renescience)	Ja	Nee	Nee	Ja	Ja
Droge scheiding, droge vergisting	Ja	Nee	Nee	Ja	Ja
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie	Ja	Nee	Nee	Ja	Ja
Droge scheiding zonder biologische behandeling	Nascheiding met een biologische behandeling beter toepasbaar	Nascheiding met een biologische behandeling beter toepasbaar	Nee	-	-
Biologisch drogen, mechanische scheiding (IOK/IKAREM)	Ja	Nee	Nee	Ja	Ja
Mechanische scheiding, thermo- chemische recyclage (RenaSci)	Ja	Nee	Nee	Ja	Ja
Radiolyse	Nee	Nee	Nee	-	-
Torrefactie	Nee	Nee	Nee	-	-
Pyrolyse	Geïntegreerde hydrolyse is beter toepasbaar	Geïntegreerde hydrolyse is beter toepasbaar	Nee	-	-
Geïntegreerde hydrolyse	Ja, maar beter geschikt voor residuverwerking	Ja	Nee	Ja	Ja
Lagetemperatuurvergassing	Mediumtemperatuurvergassing is beter toepasbaar	Mediumtemperatuurvergassing is beter toepasbaar	Nee	-	-
Mediumtemperatuurvergassing	Ja, maar beter geschikt voor residuverwerking	Ja	Nee	Ja	Nee
Cellulose-extractie	Nee	Nee	Nee	-	-
Depolymerisatie d.m.v. magnetische katalysator	Nee	Nee	Nee	-	-

Techniek	Toepasbaar huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil?	Toepasbaar residu huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil?	Toepasbaar grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan bedrijfsafval?	Relevant Vlaams afval?	Data beschikbaar?
Hydrolyse	Nee	Nee	Nee	-	-
Selectieve polymeerextractie met oplosmiddelen	Nee	Nee	Nee	-	-
Plasmavergassing	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee

4.2.2.1 Criterium 1: Toepasbaarheid

Behalve de AVI en de AVI+ is geen enkele geïnventariseerde techniek geschikt voor de verwerking van grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil.

Van de *thermochemische technieken* zijn er een aantal niet van toepassing op huisvuil/ gelijkaardig bedrijfsafval of het residu na nascheiding van deze stroom. Zo wordt radiolyse toegepast op bermgras en autobanden en is torrefactie een techniek die gericht is op het verwerken van biomassa.

Er zijn thermochemische technieken die qua techniek erg op elkaar lijken, maar waarbij bepaalde varianten waarschijnlijk beter geschikt zijn voor verwerking van de stromen die behoren tot de scope van de studie dan anderen. Het gaat hierbij om:

- Geïntegreerde hydrolyse: deze techniek is minder gevoelig voor fluctuaties in de samenstelling van de input dan pyrolyse. Deze pyrolyseolie is geschikt om te gebruiken als grondstof voor de chemische industrie en om weer plastics van te maken. De output van pyrolyse (pyrolyseolie) moet worden opgewaardeerd met waterstof voordat deze inzetbaar is als Marine Gas Oil (MGO). Dit is bij hydrolyse niet nodig. Hydrolyse is daarom robuuster en daarmee interessanter.
- Mediumtemperatuurvergassing: deze techniek is minder gevoelig voor fluctuaties in inputstromen dan lagetemperatuurvergassing. Verder wordt lagetemperatuurvergassing wereldwijd niet op gemengde afvalstromen toegepast.

Geïntegreerde hydrolyse, mediumtemperatuurvergassing en plasmavergassing zijn potentieel wel toepasbaar op zowel huisvuil/gelijkaardig bedrijfsafval als het residu na nascheiding van deze stroom. Deze technieken zijn meer geschikt voor de verwerking residu.

De *chemische recyclage- en selectieve extractietechnieken* zijn ontwikkeld voor een toepassing op een specifieke afvalstroom, zoals PET-afval of luiers. De geïnventariseerde technieken onder deze categorie¹¹ zijn niet toepasbaar op de huisvuil/gelijkaardig bedrijfsafval of het residu na nascheiding van deze stroom omdat dit samengestelde afvalstromen zijn.

De *nascheidingstechnieken* zijn allemaal toepasbaar op huisvuil/gelijkaardig bedrijfsafval. Wel wordt van droge scheiding zonder biologische voorbehandeling verwacht dat nascheidingstechnieken die gebruik maken van

¹¹ Cellulose-extractie, depolymerisatie d.m.v. magnetische katalysator, hydrolyse, en selectieve polymeerextractie met oplosmiddelen.

een biologische (vergistings)stap een betere milieukundige performance zullen laten zien. Daarom is droge scheiding zonder biologische behandeling niet opgenomen in de selectie.

De nascheidingstechnieken zijn niet geschikt voor de verwerking van residu uit de nascheiding van huisvuil/ gelijkaardig bedrijfsafval. Dit residu dient verder verwerkt te worden met een techniek geschikt voor residuverwerking.

Niet geschikte technieken voor huisvuil/gelijkaardig bedrijfsafval en residuverwerking zijn dus: radiolyse, torrefactie, cellulose-extractie, depolymerisatie d.m.v. magnetische katalysator, hydrolyse, selectieve polymeerextractie met oplosmiddelen, pyrolyse, lagetemperatuurvergassing, droge scheiding zonder biologische behandeling.

Niet geschikte technieken voor grofvuil zijn: alle technieken behalve de conventionele AVI (referentie) en de AVI+.

4.2.2.2 Criterium 2: Relevantie voor Vlaams afval

De technieken die over zijn na toepassing van het eerste selectiecriteria zijn ontwikkeld/ worden nu in ieder geval toegepast in de volgende landen:

- België:
 - toegepast: “Conventionele AVI”, “Biologisch drogen, mechanische scheiding (IOK/IKAREM)”;
 - ontwikkeld: “Mechanische recyclage, thermochemische recyclage (RenaSci)”, “Plasmavergassing”.
- Denemarken: toegepast “AVI+”;
- Polen: toegepast “Autoclaving, mechanische scheiding (Bioelektra)”;
- Nederland:
 - toegepast: “Droge scheiding, droge vergisting”;
 - ontwikkeld: “Geïntegreerde hydrolyse”, “Mediumtemperatuurvergassing”, “Natte scheiding, natte vergisting (Renescience)”;
- Frankrijk: toegepast: “Droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking”;
- Engeland: toegepast: “Natte scheiding, natte vergisting (Renescience)”.

In het geval van toepassing in België, Nederland en Frankrijk mag aangenomen worden dat de technieken Vlaams huisvuil en gelijkaardig bedrijfsafval of residu uit nascheiding van deze afvalstromen kunnen verwerken. Al is het dan in het geval van nog niet in de praktijk toegepaste technieken nog iets onzekerder. De AVI+ is een combinatie van verschillende technieken, waardoor de AVI o.a. een hoger energetisch rendement heeft dan een conventionele AVI. Aangezien er in Vlaanderen al verschillende AVI's bestaan met verschillende rendementen is geen reden waarom een hoger energetisch rendement, zoals we zien in o.a. Denemarken in Kopenhagen (28% elektrische en 71% warmterendement zie Bijlage G1), niet mogelijk is.

Er is in een vroeg stadium gekozen om Bioelektra uit Polen niet mee te nemen in de studie omdat de biomassaoutput in Vlaanderen niet kan worden ingezet als meststof, en omdat de afvalsamenstelling in Polen mogelijk erg verschilt van deze in Vlaanderen. Bij nader inzien had de techniek meegenomen kunnen worden als onderdeel van de theoretische verwerkroutes, zoals ook voor de toepassing van compost uit “droge vergisting, droge scheiding incl. compostproductie” het geval is. (Bij deze route bleek later echter ook dat deze in die vorm niet echt geschikt is voor de Vlaamse situatie.) Dan was echter ook gebleken dat verbranding in een AVI van het als meststof afgescheiden materiaal niet goed zou scoren. Deze route is daarmee niet geschikt voor Vlaanderen. Daarnaast was het aantal routes waarnaar gekeken kon worden gelimiteerd.

Uitgesloten technieken: autoclaving met mechanische scheiding.

4.2.2.3 Criterium 3: Beschikbaarheid van data

Na bovenstaande eerste selectiestappen is contact opgenomen met de ontwikkelaars van de technieken die na selectie overbleven. Voor een aantal technieken was uit eerder onderzoek al informatie beschikbaar; hierbij is de ontwikkelaar gevraagd of het mogelijk zou zijn deze gegevens opnieuw in te zetten voor dit onderzoek. Voor plasmavergassing en mediumtemperatuurvergassing was het helaas niet mogelijk om binnen de looptijd van de studie de benodigde gegevens te ontvangen. Bij mediumtemperatuurvergassing is in een laat stadium gebleken dat het opnemen van de techniek in deze studie niet mogelijk was. Er was toen al een gedeeltelijke inventarisatie uitgevoerd. Deze informatie is terug te vinden in Bijlage 0.

Uitgesloten technieken: plasmavergassing, mediumtemperatuurvergassing.

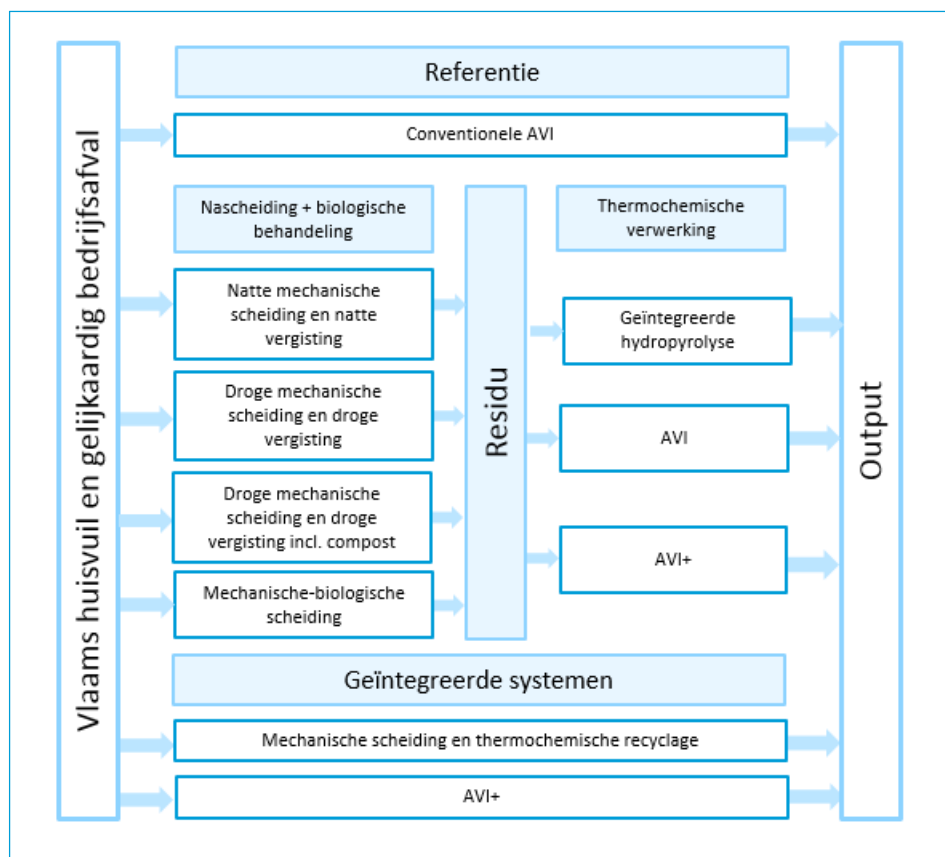
4.3 GESELECTEERDE VERWERKROUTES

De geselecteerde verwerkroutes op basis van bovenstaande criteria zijn weergegeven in Figuur 9.

Samengevat zijn de verwerkroutes samengesteld op basis van de volgende uitgangspunten:

- Verbranding in een conventionele AVI wordt gezien als referentietechniek, zoals aangegeven door de OVAM.
- De nascheidingstechnieken dienen te worden gecombineerd met een residuverwerkingstechniek. Geïntegreerde hydropyrolyse is geschikt voor residuverwerking, evenals verbranding in een conventionele AVI en in een AVI+.
- Mechanische scheiding en thermochemische verwerking (RenaSci) integreert de volledige verwerking op één locatie. Ook de AVI+ kan gezien worden als een geïntegreerde verwerkingstechniek.

Figuur 9 Overzichtsschema geselecteerde verwerkroutes



4.3.1 Onderverdeling technieken

Voor de vergelijking tussen verschillende verwerkroutes maken we gebruik van een indeling van de verschillende technieken. Het grootste gedeelte van de technieken die bekeken zijn, zijn technieken voor verwerking van huisvuil die in de toekomst kunnen worden ontwikkeld en ingezet in Vlaanderen. Een deel van de verwerkroutes bevat ontwikkelde technieken, die nog niet in Vlaanderen toegepast is op huisvuil. De rest van de technieken zijn nog niet toegepast op huisvuil en dus ook niet op Vlaams huisvuil. De resultaten voor de verwerkroutes die deze laatste technieken bevatten zijn theoretische resultaten op basis van een inschatting van de werking van een installatie door de ontwikkelaar.

We maken daarom het volgende onderscheid bij het weergeven van de resultaten voor de verschillende verwerkingsroutes: Bestaande verwerkingsroutes (mogelijk 2020-2025) en theoretische verwerkingsroutes (mogelijk toepasbaar tussen 2025-2030). In het eerste geval zijn praktijkgegevens beschikbaar voor de vergelijking, in het tweede geval zijn deze niet beschikbaar en gaat het dus om theoretische resultaten die iets zeggen over verdere ontwikkelingsmogelijkheden in de toekomst.

Tabel 11 Onderverdeling technieken in bestaande en theoretische verwerkingsroutes

Nascheidingstechniek/	2020-2025	2025-2030
-----------------------	-----------	-----------

geïntegreerd systeem	Bestaande verwerkingsroutes	Theoretische verwerkingsroutes
Referentietechniek	AVI	AVI
Droge scheiding en droge vergisting Droge scheiding en droge vergisting incl. compostproductie Mechanisch-biologische scheiding	Gecombineerd met: Residu naar AVI	Gecombineerd met: Residu naar AVI+ Residu naar hydropyrolyse
Natte scheiding en natte vergisting	Nog geen praktijkgegevens beschikbaar van verwerking op volledige schaal	Gecombineerd met: Residu naar AVI Residu naar AVI+ Residu naar hydropyrolyse
Mechanisch scheiding, thermochemische recyclage	Nog niet mogelijk (i.v.m. vergunning) voor verwerking huisvuil (nu alleen voor RDF)	Als geïntegreerd systeem theoretisch mogelijk vanaf 2025.
AVI+	Nog niet mogelijk (i.v.m. infrastructuurbehoefte warmteafzet)	Als geïntegreerd systeem theoretisch mogelijk vanaf 2025.

5 ONDERZOEKSMETHODIEK – HUISVUIL EN BEDRIJFSAFVAL GELIJKAARDIG AAN HUISVUIL

In dit hoofdstuk beschrijven we de onderzoeksmethodiek die wordt toegepast in deze studie op de geselecteerde technieken voor huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Omdat geen van de technieken, naast de AVI (en AVI+), van toepassing is op grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil wordt hiervoor alleen een kwalitatieve analyse uitgevoerd. Deze is terug te vinden in Hoofdstuk 12.

5.1 DOEL

In deze studie worden verschillende geselecteerde verwerkingsmethoden vergeleken voor de verwerking van Vlaams huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

5.2 AFBAKENING

In deze Sectie beschrijven we de precieze afbakening van het onderzoek naar verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. De precieze afbakening bestaat in dit geval uit de functionele eenheid en de systeemgrenzen. De systeemgrenzen omvatten een afbakening van de soorten technieken, de geografische locatie waar deze technieken worden toegepast alsmede een tijdspanne waarbinnen deze technieken toepasbaar moeten zijn voor de verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

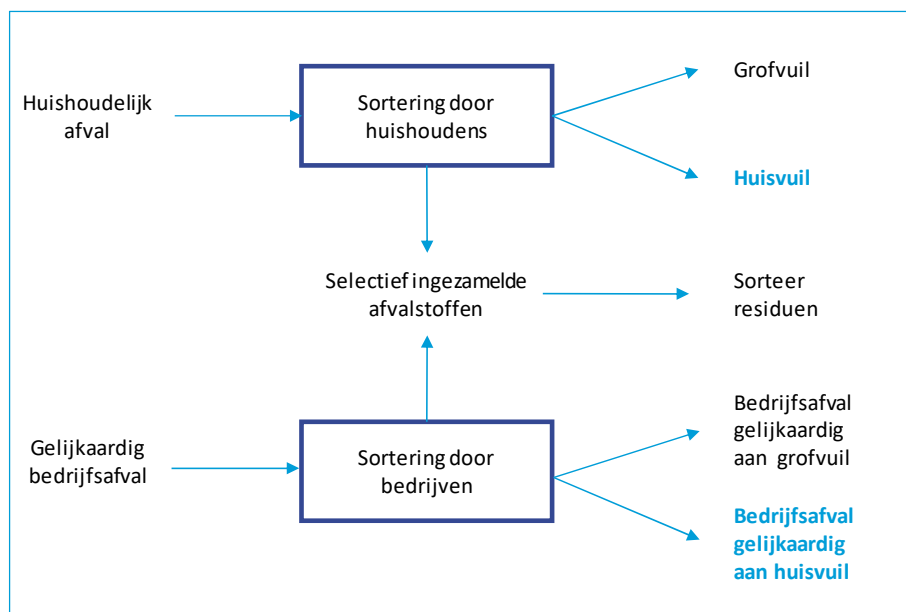
5.2.1 Functionele eenheid

De functionele eenheid beschrijft de precieze dienst die in deze studie milieukundig bekeken wordt. In deze studie wordt uitgegaan van twee functionele eenheden:

- de verwerking van 1 ton Vlaams huisvuil in de periode 2020-2030;
- de verwerking van 1 ton Vlaams bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in de periode 2020-2030.

Figuur 10 laat zien dat huisvuil onderdeel uitmaakt van het totaal aan huishoudelijk afval en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil onderdeel uitmaakt van het totaal aan gelijkaardig bedrijfsafval. Dit afval bevat fijn afval dat niet selectief is ingezameld door huishoudens en bedrijven niet terechtkomt in het grofvuil/bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

Figuur 10 Huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil als onderdeel van huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval



In (delen van) Vlaanderen worden de volgende huishoudelijke afvalstoffen selectief ingezameld:

- Groenafval;
- Bouw- en sloopafval;
- Groente-, fruit- en tuinafval (GFT);
- Papier- en kartonafval;
- Afdankte elektrische en elektronische apparatuur (AEEA);
- Frituurvet en -olie;
- Autobanden;
- PMD-afval (plastic, metalen en drankenkartons);
- Verpakkingsglas;
- Vlakglas;
- Textiel;
- Auto accu's;
- Klein gevaarlijk afval (KGA);
- Houtafval;
- Geneesmiddelen.

Daarnaast wordt ook een aantal fracties van het gelijkaardig bedrijfsafval selectief ingezameld.

OVAM heeft in 2015 de samenstelling van 1 ton Vlaams huisvuil (voor 2013/2014) gepubliceerd (OVAM, 2015). De samenstelling voor 2020-2030 is uiteraard nog niet beschikbaar. We maken daarom gebruik van deze samenstelling voor de basisanalyse. Voor 1 ton Vlaams bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil is een afvalsamenstelling bekend voor 2017¹² De precieze functionele eenheden inclusief de samenstellingen

¹² In het geval van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wordt uitgegaan van de afvalsamenstelling van bedrijfsafval ingezameld via rolcontainers. Zie Bijlage A.1.2 voor de precieze samenstelling.

(huisvuil en bedrijfsafval) zoals gebruikt in deze studie worden weergegeven in Bijlage A. In de gevoeligheidsanalyses wordt dieper ingegaan op mogelijk afwijkende samenstellingen van huisvuil zoals deze mogelijk zullen plaatsvinden tussen nu en 2030.

5.2.2 Systeemgrenzen

Randvoorwaarden bij analyse van de verwerkroutes zijn hetzelfde als voor de gehele studie, we herhalen deze hieronder:

- **Geografische locatie:** De inzameling van de afvalstromen vindt plaats in Vlaanderen (het gaat immers om Vlaams afval). Het zelfvoorzieningsprincipe is van toepassing op de verwerking van gemengd stedelijk afval van huishoudens evenals gelijkaardig bedrijfsafval indien samen ingezameld met dat van huishoudens. Dit houdt in dat de eerste verwerkingstap van huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval geschiedt binnen Vlaanderen (zie (OVAM, 2014a)). De eerste verwerkingsstap (verbranding, scheiding) van de afvalstromen voor de te bekijken technieken zal dus ook in Vlaanderen plaats moeten vinden. De overige verwerkingsstappen (bijv. verwerking van uitgesorteerde kunststof) hoeven volgens het zelfvoorzieningsprincipe niet in Vlaanderen plaats te vinden.
- **Tijdsafbakening:** De technieken die onderdeel uitmaken van een verwerkroute zijn beschikbaar voor toepassing op korte tot middellange termijn. Enerzijds betekent dit toepassing vóór het eind van het huidige 'Uitvoeringsplan huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval' (dit loopt af in 2022). Tegelijk is er vraag naar veelbelovende technieken die zich nu nog in de ontwikkelfase bevinden, maar rond 2030 operationeel kunnen zijn. Grofweg is de tijdsspanne hierdoor 2020-2030.

Figuur 11 toont de systeemgrenzen op hoofdlijnen, ongeacht de precieze verwerkroute.

In Sectie 4.3 zijn de verschillende combinaties van verwerkingstechnieken weergegeven die toegepast kunnen worden om 1 ton Vlaams huisvuil met de beschreven samenstelling te verwerken. Voor elke verwerkroute is een specifiek processchema weergegeven in Hoofdstuk 6.

De inventarisatie van milieu-ingrepen, verwerkingscapaciteit, flexibiliteit en investeringskosten start bij binnenkomst van het huisvuil bij de verwerker. Op de verwerklocatie vindt meestal sortering plaats en bewerking van (een deel van) de gesorteerde stromen. Voor deze processtap(pen) is energie nodig (elektriciteit, brandstof) en vaak ook hulpmiddelen zoals water, chemicaliën of andere ingekochte hulpstoffen. De processtap(pen) leveren gesorteerde grondstoffen en brandstoffen op en/of grondstoffen die worden vermarkt en/of brandstoffen die worden vermarkt. Soms is nog verdere opwerking nodig totdat een bruikbaar product wordt verkregen. Denk bijvoorbeeld aan het wassen en granuleren van kunststof of aan het verwijderen van CO₂ uit syngas. Ook dit soort opwerking valt binnen het te analyseren systeem.

Er is vrijwel altijd materiaal in het huisvuil dat niet tot bruikbaar product wordt opgewerkt. Dit materiaal blijft afval, het valt uit bij sortering en opwerkprocessen, en gaat naar finale afvalverwerking: verbranding (met energierugwinning) voor niet inert materiaal. De rest gaat naar de stortplaats.

De bruikbare eindproducten vermijden conventionele productie van dat eindproduct.

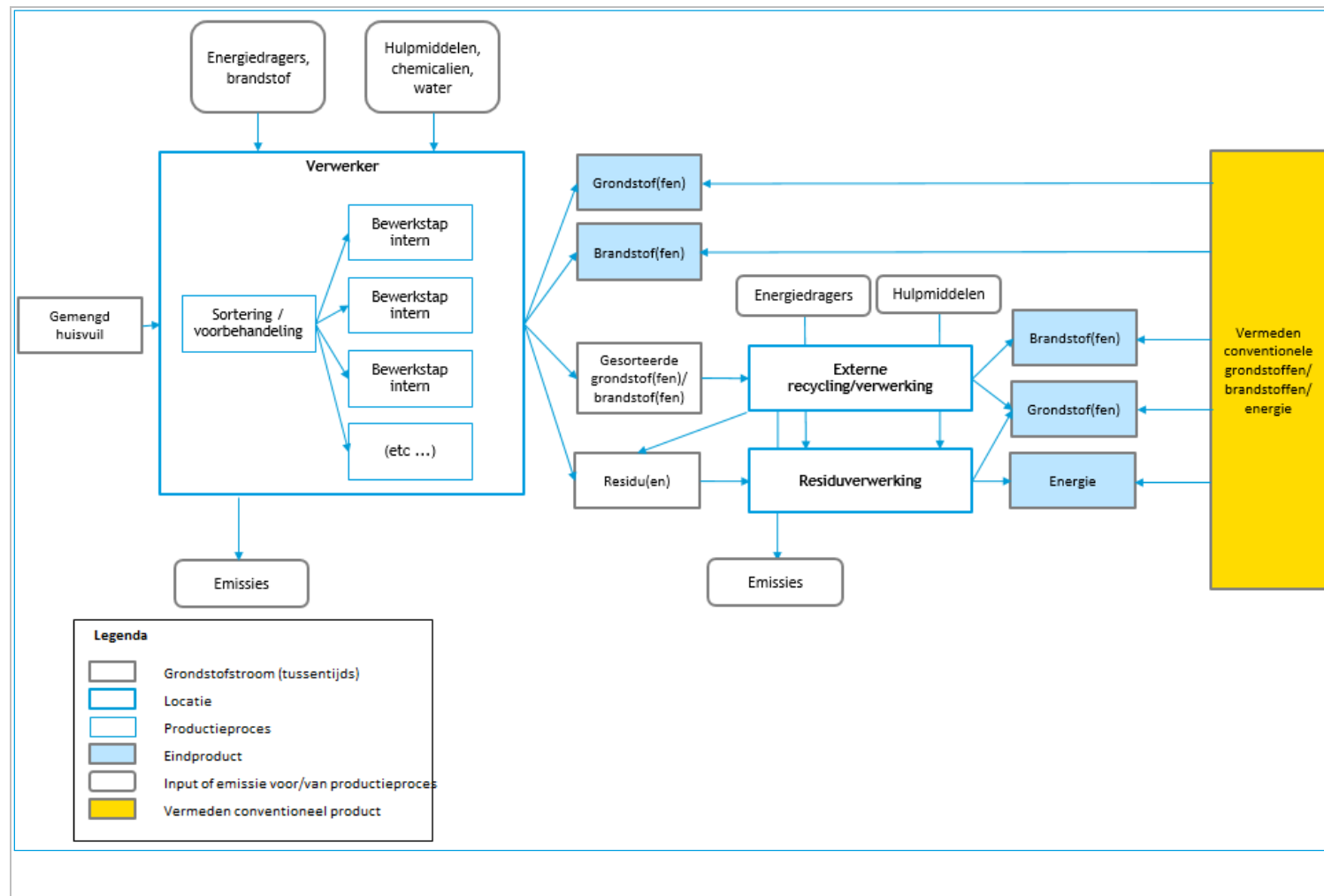
We gaan hierbij uit van vervanging in een relevante markt (bijv. huidige elektriciteitsmix België en staal geproduceerd op de wereldmarkt), om de economische werkelijkheid zoveel mogelijk te benaderen. De vermeden productie levert een milieuwinst op. Ook vermijden de bruikbare eindproducten onttrekking van exergie (beschikbare primaire energie) aan de natuur en zorgen de bruikbare eindproducten voor inkomsten. In de analyse duiden we (kwaliteit van) de eindproducten door aan te geven welk type brandstof of grondstof zij vermijden.

Buiten de analyse vallen:

- Transport is niet inbegrepen in de systeemgrenzen ook niet voor de vermeden grondstoffen. De verwerkroutes zijn namelijk niet allen al gerealiseerd in Vlaanderen, dus is het vaak niet bekend waar de verwerklocaties zullen worden gebouwd. Ook is de transportafstand van verdere verwerking van gesorteerde stromen en afvalstoffen valt nog niet te bepalen. Door transport uit te sluiten richt de analyse zich puur op de technieken zelf. Wel is het interessant om te bepalen hoe (de impact van) transport zich verhoudt tot de (impact van) verwerking en is het interessant om te zien wat de invloed is van relatief veel versus weinig transport. Daarom wordt in de gevoeligheidsanalyse gekeken naar de invloed van transport. Zie voor verdere toelichting op de gevoeligheidsanalyses Hoofdstuk 11.
- De verwerkingslocatie (de materialen die nodig zijn voor het bouwen van de fabriek) is ook niet inbegrepen binnen de systeemgrenzen ook niet voor de vermeden grondstoffen en energie. De ervaring leert dat bij afvaltechnieken de productielocatie geen onderscheidend vermogen kent, omdat het installaties zijn die jaren in bedrijf zijn en er voor elke afvaltechniek een installatie nodig is.

Het energie- en grondstoffengebruik van verwerking wordt altijd wel meegenomen.

Figuur 11 Systeemgrenzen, generiek



5.2.3 Biogeen en fossiel koolstof

Uitstoot van biogeen CO₂, ofwel kortcyclisch CO₂, is niet inbegrepen in de milieu-indicator 'klimaatimpact'; CO₂ uit fossiele grondstoffen wel.

Omdat uit deze processen zowel energiedragers (bijvoorbeeld de conventionele AVI en AVI+) als grondstoffen worden geproduceerd hebben we erop gelet dat in de modellering het voordeel dat biogene CO₂-emissies geeft zowel bij productie van energie als bij het produceren van grondstoffen goed meegenomen worden.

5.2.3.1 Toelichting

Onderdeel van de studie is de berekening van de klimaatimpact, ofwel de uitstoot van broeikasgassen. Bij verbranding komt het broeikasgas CO₂ vrij door de reactie van koolstof (C) met zuurstof (O₂). In afval zit biotisch materiaal¹³, zoals papier, karton, hout en tuin- en keukenafval. De koolstof in dit materiaal is recent (minder dan 100 jaar geleden) vastgelegd. Bij hun groei leggen planten CO₂ uit de atmosfeer vast als koolstof. Dit CO₂ komt nu bij verbranding weer vrij. Het is gebruikelijk bij levenscyclusanalyses om dit kortgeleden vastgelegde CO₂ niet mee te nemen. De biomassa is wat dat betreft CO₂-neutraal. Omdat deze CO₂ neutraliteit gekoppeld is aan het afval en in alle processen hetzelfde afval wordt toegepast werkt deze methodische keuze op gelijke manier door in alle verwerkingsprocessen (alle processen profiteren hier gelijk van). Als deze emissies wel zouden worden meegenomen dan zouden de onderlinge absolute verschillen dus niet veranderen (zie hiervoor de gevoeligheidsanalyse in Hoofdstuk 11.5). Deze keuze betekent ook dat bij CO₂-afvang en -opslag of gebruik (CCS of CCU) er sprake kan zijn van negatieve emissies (zie gevoeligheidsanalyse in Hoofdstuk 11.2.2).

5.3 ONDERZOEKSMETHODEN

Om een volledig beeld te krijgen van de afvalverwerkingstechnieken van huisvuil gebruiken we een aantal verschillende onderzoeksmethoden:

- levenscyclusanalyse (LCA) inclusief exergetische LCA;
- duiding van de hoeveelheid en kenmerken van de eindproducten van de afvalverwerkingstechnieken: geproduceerde energie, grondstoffen en overgebleven afvalstoffen;
- analyse van de verwerkingscapaciteit, flexibiliteit en investeringskosten.

De onderzoeksmethoden worden hieronder kort toegelicht.

¹³ Dit in tegenstelling tot a-biotisch materiaal zoals kunststoffen (uit olie geproduceerd), metalen en inert materiaal.

5.3.1 Levenscyclusanalyse (LCA)

5.3.1.1 De stappen van LCA

LCA brengt de milieu-impact over de hele levensduur van een product of dienst in kaart. Uitvoer van LCA omvat vier stappen:

- Vaststelling doel en reikwijdte van de studie.
- Inventarisatie van alle milieukundige ingrepen¹⁴, emissies en nuttige outputs in het te bestuderen systeem.
- Het modelleren van de geïnventariseerde gegevens, door de ingrepen te koppelen aan milieukundige achtergrondinformatie¹⁵ en het toepassen van analysemethoden op het model: kwantificering van milieu-indicatoren, schadecategorieën en exergie-onttrekking.
- Interpretatie van de resultaten en het trekken van conclusies.

Tabel 12 geeft weer waar in dit rapport welke stappen worden weergegeven.

Tabel 12 De stappen van LCA, en waar ze te vinden zijn in dit rapport

Stap LCA	Hoofdstuk/Sectie	
1	Sectie 5.1 en 5.2	
2	Hoofdstuk 5: Inventarisatie op hoofdlijnen Bijlagen: Specifieke inventarisatie Vertrouwelijke informatie is niet opgenomen in deze rapportage, maar is uiteraard wel geïnventariseerd en meegenomen in de berekeningen.	
3	<i>Huishvuil (Hoofdstuk 9)</i>	<i>Bedrijfsafval gelijkaardig aan huishvuil (Hoofdstuk 10)</i>
	Sectie 9.2: Resultaten milieu-indicatoren Sectie 9.3: Resultaten schadecategorieën Sectie 9.4: Resultaten exergie	Sectie 10.2: Resultaten milieu-indicatoren Sectie 10.3: Resultaten schadecategorieën Sectie 10.4: Resultaten exergie
4	Hoofdstuk 11: Gevoeligheidsanalyses Hoofdstuk 13: Conclusies	

5.3.1.2 Gekozen LCA-type

Er bestaan twee soorten LCA-types: attributionele LCA en consequentiële LCA. In het eerste geval worden de impact van het realiseren van de functionele eenheid bekeken waarbij het realiseren geen invloed heeft op een groter systeem. Kortom er wordt aangenomen dat de rest van de wereld niet verandert. In het geval van een consequentiële LCA wordt ervan uit gegaan dat er ook in de rest van de wereld een verandering optreedt. Een voorbeeld: in een consequentiële LCA gerekend wordt met de marginale milieudruk van elektriciteit en in een attributionele LCA met de gemiddelde milieudruk (JRC, 2010).

In deze LCA maken we gebruik van een attributionele LCA omdat:

- We kijken naar de verwerking van een kleine hoeveelheid huishvuil, we kijken naar installaties met een verwerkingsgrootte van maximaal ~500 kton per jaar. De systemische veranderingen zullen dus klein zijn in het geval van een verschuiving van “conventionele” huishvuil verwerking naar een van de bekeken andere afvalverwerkingstechnieken.
- Het uitvoeren van een consequentiële LCA-studie is complexer omdat er voor verschillende materialen en energiedragers marginale marktanalyses dienen te worden uitgevoerd.

¹⁴ Een milieukundige ingreep is een aspect dat leidt tot milieu-impact zoals het verstoken van brandstof voor een productieproces of de extractie van een grondstof uit de natuur.

¹⁵ Milieukundige achtergrondinformatie is beschikbaar in milieudatabases, zoals de Ecoinvent-database. Het modelleren vindt plaats in LCA-softwareprogramma SimaPro. In SimaPro zijn zowel milieudatabases beschikbaar als analysemethoden.

5.3.1.3 Allocatie

Afvalverwerking zorgt niet alleen voor de verwerking van afval (de productie van de functionele eenheid) maar leidt ook tot bijv. elektriciteitsproductie. Hoe verdeel je in dit geval de milieu-impact over de verschillende producten en diensten die afvalverwerking oplevert? In deze studie kiezen we ervoor om de milieu-impact niet te alloceren maar deze volledig toe te rekenen aan huisvuilverwerking. In plaats hiervan maken we gebruik van substitutie waarbij we de productie van bijv. elektriciteit toerekenen als voordeel aan afvalverwerking door middel van vermeden productie van elektriciteit op een “conventionele manier”. Elektriciteitsproductie uit afvalverwerking zorgt er immers voor dat er elders geen elektriciteit geproduceerd hoeft te worden middels een kolencentrale, gascentrale of biomassacentrale. We hebben daarvoor gerekend met de gemiddelde Belgische elektriciteitsmix.

5.3.1.4 Gebruik van software en databases voor de LCA

Bij de uitvoer van deze studie wordt gebruik gemaakt van:

- LCA-softwareprogramma SimaPro, versie 8.5.0.
- Ecoinvent-database V3.4¹⁶ voor milieugegevens van achtergrondprocessen, behalve als CE Delft beschikt over recentere of beter passende milieu-inventarisatie. Dit wordt dan duidelijk aangegeven.

5.3.1.5 Gekozen analysemethoden

Bij de analyse (Stap 3 van de levenscyclusanalyse) maken we onderscheid tussen milieu-indicatoren, schadecategorieën en een exergie-indicator. Deze lichten we hieronder toe. De analysemethode ReCiPe (Huijbregts, et al., 2016) kwantificeert achttien **milieu-indicatoren** (*‘midpoints’*), waaronder de klimaatimpact (uitgedrukt in CO₂-equivalenten). De ReCiPe-methode drukt daarnaast de individuele milieu-indicatoren uit in schade. Er worden drie **schadecategorieën** (*‘endpoints’*) onderscheiden. De nieuwste versie van de analyse-methode is in 2016 gepubliceerd. Tabel 13 geeft een overzicht van de indicatoren en de schadecategorieën waar de indicatoren aan bijdragen. In deze studie maken we gebruik van de ReCiPe hierarchiemethode omdat deze uitgaat van een gemiddelde benadering ten opzichte van milieueffecten.

Tabel 13 Milieu-indicatoren en schadecategorieën volgens de methode ReCiPe2016

Milieu-indicatoren (midpoint)	Schadecategorieën (endpoint)
Fijnstofvorming	Schade aan menselijke gezondheid (DALY)
Ozonvorming – menselijke gezondheid	
Ioniserende straling	
Aantasting ozonlaag	
Menselijke toxiciteit (carcinogeen)	
Menselijke toxiciteit (niet-carcinogeen)	
Klimaatverandering	Schade aan menselijke gezondheid (DALY)
Watergebruik	Schade aan ecosysteemkwaliteit (afname soortenrijkdom)
Ecotoxiciteit, zoetwater	Schade aan ecosysteemkwaliteit (afname soortenrijkdom)
Zoetwatervermesting	
Ozonvorming – ecosystemen	
Ecotoxiciteit, bodem	
Terrestrische verzuring	
Landgebruik/landgebruiksverandering	
Ecotoxiciteit, zoutwater	
Zoutwatervermesting	
Uitputting van mineralen/metalen	Schade aan grondstofbeschikbaarheid (\$)
Uitputting van fossiele brandstoffen	

¹⁶ Proceskaarten met de aanduiding ‘Cut-off’ worden gebruikt zodat eigen aannames gemaakt kunnen worden over de substitutie van geproduceerde grondstoffen en energie i.p.v. dat deze in het geval van proceskaarten met de aanduiding ‘APOS’ al gemaakt zijn in de proceskaarten.

Naast de bovenstaande LCA-indicatoren waarmee zowel energieproducten als grondstoffen milieukundig geduid worden, wordt een exergetische LCA uitgevoerd. Deze maat komt oorspronkelijk uit de energie-techniek om verschillende energiedragers met elkaar te vergelijken maar is ook bruikbaar om grondstoffen energetisch te waarderen.

Exergie drukt bruikbare energie uit, het is gelijk aan energie vermenigvuldigd met de kwaliteit van de energie. Het geeft aan hoeveel energie maximaal vrij beschikbaar is, opgeslagen in grondstoffen of brandstoffen. Daardoor is het een relevante indicator bij beoordeling van (de eindproducten van) de verwerkroutes: de **exergie-indicator** maakt het mogelijk om zowel brandstoffen als grondstoffen in dezelfde eenheid uit te drukken (Finnveden, Arushanyan, & Brandao, 2016).

In deze studie gebruiken we de CEENE-methodiek, zoals ontwikkeld door de Universiteit Gent, gebaseerd op wetenschappelijk werk van (Dewulf, et al., 2007), om exergie te kwantificeren. CEENE staat voor Cumulative Exergy Extraction from the Natural Environment en wordt gebruikt in LCAs voor het kwantitatief uitdrukken van de exergie die uit natuurlijke ecosystemen wordt onttrokken door grondstoffengebruik. De karakterisatiefactoren voor uitvoer van een exergetische LCA zijn openbaar toegankelijk op de website van de Universiteit Gent. Voor de analyse van huisvuil is de methode geïmporteerd in het LCA-softwareprogramma SimaPro.

Bij de resultaten zullen we bekijken of de exergetische LCA vergelijkbare resultaten oplevert als de milieukundige LCA of dat er verschillen zijn.

5.3.1.6 Aansluiten bij ISO 14040/14044

De ISO 14040- en ISO 14044-standaarden beschrijven hoe een LCA uitgevoerd dient te worden.

In deze studie sluiten we waar mogelijk aan bij deze ISO-standaarden. Op de volgende punten wordt niet aangesloten bij de ISO-standaarden:

- Geen gebruik van wegingsmethoden. In deze studie wordt ook gekeken naar schadecategorieën op verzoek van OVAM, hierin wordt wel gebruik gemaakt van weging.
- De studie maakt een vergelijking van verschillende technieken.
- De ISO-standaarden schrijven dan voor dat een review uitgevoerd wordt door minimaal drie reviewers (een review-panel). Deze studie is enkel gereviewed door Vito. Deze review is te vinden in Bijlage K.

5.3.2 Kenmerken van de output

De verschillende technieken produceren uit huisvuil verschillende soorten en hoeveelheden grondstoffen, energie en residuen. De hoeveelheden en soorten outputs zullen zowel kwantitatief als kwalitatief vergeleken worden met behulp van een energie- en grondstoffenbalans. Waar mogelijk zal ook een duiding worden gegeven van de marktvraag naar de output.

5.3.3 Analyse verwerkingscapaciteit, flexibiliteit en investeringskosten

Voor de verschillende technieken zullen praktische zaken voor de bedrijfsvoering worden bekeken en waar nodig becommentarieerd. Het gaat hierbij om o.a.:

- het aantal in gebruik zijnde installaties;
- het aantal jaren dat de installaties in gebruik zijn;
- de omvang/capaciteit per installatie;
- continue of batchgewijze productie en aantal draaiuren.

Naast deze kenmerken wordt overzicht gemaakt van de gerapporteerde investeringskosten voor de beschouwde installaties en dit wordt omgerekend naar het benodigde investeringsbedrag per kiloton verwerkingsinput. Dit geeft een indruk van de kostenverhoudingen van de verschillende installaties. Het is niet mogelijk gebleken om op basis van openbaar beschikbare informatie een compleet beeld van alle vaste en variabele kosten van de verschillende installaties te verzamelen in dit project.

5.4 DATAKWALITEIT

De discussie over datakwaliteit is op te splitsen in twee onderdelen: datakwaliteit over de te bestuderen techniek en datakwaliteit voor de achtergrondgegevens (zoals kengetallen voor elektriciteitsgebruik en afzet van outputs).

5.4.1 Datakwaliteit bestudeerde technieken

In deze studie vergelijken we verschillende technieken met elkaar die zich allen op verschillende ontwikkelniveaus bevinden. Een aantal technieken worden al toegepast op huisvuil en/of bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil (al dan niet in Vlaanderen) hier zijn dan ook praktijkgegevens voor beschikbaar. Voor een aantal andere technieken zijn alleen nog inschattingen beschikbaar voor de toekomstige bouw van deze installaties. Om een eerlijke vergelijking tussen verwerkingsroutes te krijgen op basis van datakwaliteit maken we onderscheid tussen:

- Bestaande verwerkingsroutes (mogelijk 2020-2025): combinaties van ontwikkelde technieken die worden ingezet voor de verwerking van huisvuil (al dan niet Vlaams huisvuil). Hiervoor zijn praktijkgegevens beschikbaar.
- Theoretische verwerkingsroutes (mogelijk 2025-2030): combinaties van technieken waarvan in ieder geval één techniek nog niet wordt toegepast op huisvuil en dus ook niet op Vlaams huisvuil óf waarbij nog geen praktijkgegevens beschikbaar zijn. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van gegevens gebaseerd op een inschatting van de werking van een installatie door de ontwikkelaar.

5.4.2 Datakwaliteit achtergrondgegevens

Voor de achtergrondgegevens maken we, in het geval van de LCA, gebruik van gegevens uit de Ecoinvent-database (Versie 3.4). De kwaliteit van deze data is deels van een lagere kwaliteit dan deze over de verschillende technieken. Voor alle technieken wordt echter gebruik gemaakt van dezelfde achtergrondgegevens. Verder wordt in de gevoeligheidsanalyse gekeken naar de invloed van mogelijke onzekerheden in deze data op de resultaten.

5.5 GEVOELIGHEIDSANALYSES

Omdat in deze studie gekeken wordt naar de verwerking van huisvuil in de toekomst zal onzekerheid bestaan over een deel van de gebruikte data en gemaakte keuzes. Om deze onzekerheid in kaart te brengen maken we gebruik van gevoeligheidsanalyses. De volgende aspecten worden middels gevoeligheidsanalyse onderzocht:

- verandering in de samenstelling van huisvuil;
- onzekerheden in onderzochte verwerkingsroutes voor zowel huisvuil als bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil;
- invloed van weglaten transport uit analyse voor zowel huisvuil als bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil;
- invloed van de keuze voor een attributionele LCA voor zowel huisvuil als bedrijfsafval.

We beschrijven hieronder deze gevoeligheidsanalyses kort. Voor een uitgebreidere bespreking van de gevoeligheidsanalyses zie Hoofdstuk 11.

5.5.1 Verandering in de samenstelling van huisvuil

De samenstelling van huisvuil zou kunnen veranderen door:

- Uitbreiding recyclage verpakkingsmateriaal: Uitbreiding van de typen kunststof verpakkingsmateriaal die met het Fost Plus-systeem worden ingezameld. In 2019 wordt hierover een beslissing genomen. De uitbreiding van het Fost Plus-systeem kan ervoor zorgen dat de hoeveelheid folies en vormvaste kunststoffen in het huisvuil sterk afneemt.
- Uitbreiding inzameling GFT: Grootschalige GFT-inzameling in alle Vlaamse gemeenten. Dit verlaagt het biogene deel van het huishoudelijk restafval.
- Uitbreiding inzameling textiel.

Deze veranderingen in samenstelling worden niet onderzocht voor bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

5.5.2 Onzekerheden in onderzochte verwerkingsroutes

Onder onzekerheden in onderzochte verwerkingsroutes gaat het over alle mogelijke veranderingen in de verwerkingsroutes die niet meegenomen zijn én over onzekerheden over de gemaakte aannames:

- realisatie van CO₂-afvang en opslag (CCS);
- variatie in rendement conventionele AVIs.

5.5.3 Invloed weglaten transport uit de analyse

Door de complexiteit is transport buiten beschouwing gelaten in de analyse. In deze gevoeligheidsanalyse kijken we wat het gevolg van deze keuze is op de resultaten.

5.5.4 Invloed keuze attributionele LCA

In de analyse wordt zoals eerdere aangegeven gebruik gemaakt van de attributionele LCA-methode.

Dit betekent dat gebruik gemaakt wordt van een gemiddelde marktmix voor zowel het gebruik van materialen als energie als voor de vervanging bij de productie van materialen en energie. In het geval gekozen wordt voor een consequentiële LCA zou gerekend worden met de kengetallen voor marginale energie en materiaal.

We kijken naar de invloed van deze keuze op de Belgische elektriciteitsmix en de invloed op de resultaten.

6 INVENTARISATIE – HUISVUIL EN BEDRIJFSAFVAL GELIJKAARDIG AAN HUISVUIL

Leeswijzer 2^{de} stap LCA: inventarisatie

Dit hoofdstuk beschrijft een deel van de 2^{de} stap van LCA, de inventarisatie. We beschrijven de technieken die onderdeel zijn van de geselecteerde verwerkingsscenario's in meer detail. De eerder gemaakte selectie voor technieken is aangehouden zoals gepresenteerd in Figuur 7. Verder bevat dit hoofdstuk een beschrijving van processen, inputs en outputs die voor meerdere verwerkingsscenario's (indien van toepassing) op een vergelijkbare manier worden behandeld.

De rest van de inventarisatie, de uitgebreide inventarisatie, is terug te vinden in een bijlage per technologie. Tabel 14 geeft een overzicht van waar welke informatie te vinden is.

Tabel 14 Leeswijzer Inventarisatie: Waar staat wat?

Onderwerp	Inventarisatie op hoofdlijnen	Uitgebreide inventarisatie
Referentie		
Conventionele AVI	Sectie 6.1.1	Bijlage B
Nascheidingstechnieken/geïntegreerde technieken		
Natte scheiding, natte vergisting	Sectie 6.2.1	Inventarisatie vertrouwelijk, niet opgenomen in dit rapport.
Droge scheiding, droge vergisting	Sectie 6.2.2	Bijlage C
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking	Sectie 6.2.3	Bijlage D
Mechanisch-biologische scheiding	Sectie 6.2.4	Bijlage D
Mechanische scheiding, thermochemische verwerking	Sectie 6.4.1	Inventarisatie vertrouwelijk, niet opgenomen in dit rapport.
AVI+	Sectie 6.4.2	Bijlage G
Residuverwerking		
Geïntegreerde hydropyrolyse	Sectie 6.3.1	Bijlage F
Conventionele AVI	Sectie 6.3.2	Bijlage B
AVI+	Sectie 6.4.2	Bijlage G
Gelijkblijvende keuzes bij alle verwerkingsscenario's		
Gemeenschappelijke processen	-	Sectie 6.5.1
Gemeenschappelijke inputs/outputs	-	Sectie 6.5.2

Vertrouwelijke informatie is niet opgenomen in deze rapportage, maar is uiteraard wel geïnventariseerd. We geven bij de specifieke inventarisatie aan welke informatie vertrouwelijk is (en dus niet is opgenomen in de rapportage).

6.1 REFERENTIESCENARIO

In de analyse nemen we twee verschillende afvalverbrandingsinstallaties mee: een conventionele AVI en een geoptimaliseerde AVI (de AVI+). De AVI+ is hierbij geen innovatieve techniek, maar geeft een beter beeld van wat er mogelijk is in de (nabije) toekomst. In Tabel 15 geven we het verschil tussen de twee installaties weer, daarna beschrijven we de installaties in meer detail. De conventionele AVI wordt gezien als het referentiescenario omdat dit is hoe het Vlaams huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil nu verwerkt wordt. De AVI+ is een theoretische geïntegreerde techniek en wordt daarom besproken in Sectie 6.4.2.

Tabel 15 Verschil tussen de conventionele AVI en de AVI+

Geleverd product	Conventionele AVI (2016)	AVI+
Elektriciteit ¹⁷	18,2% nettorendement	28% nettorendement
Warmte ¹⁸	6,7% nettorendement	71% nettorendement
Ferro metaal	87%	95%
Non-ferro metaal	74%	85%
Bodemas als bouwstof	85% [#]	100%
Vliegass als bouwstof	Nee	100%

De beschrijving hiervan staat in Bijlage B.4.2 en is gebaseerd op basis van gegevens ontvangen van Valomac.

Zie voor een uitgebreide inventarisatie en toelichting Bijlage B en Bijlage G.

Naast de verschillende geleverde producten is er ook een verschil tussen de verbrandingsemissies die vrijkomen bij de conventionele AVI en de AVI+. De AVI+ kent lagere NO_x-emissies dan de conventionele AVI.

6.1.1 Conventionele AVI

Tijdens de verbranding van huisvuil wordt door AVIs energie geproduceerd. In een aantal gevallen wordt naast elektriciteit ook warmte afgezet. Voor de conventionele AVI maken we gebruik van gegevens over elektrisch en thermisch rendement van Vlaamse AVIs over 2015. Deze gegevens zijn verkregen van OVAM, aangevuld met gegevens verkregen van een aantal grote verbrandingsinstallaties (Biostoom Oostende, Indaver, SLECO, Stora Enso). We kijken naar de volgende negen installaties die huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil verwerkten in 2015: Bioenerga, Biostoom Oostende, IMOG, Indaver, SLECO, Stora Enso, IVBO, IVOO, ISVAG, IVAGO, IVM, MIROM. Ontwikkelingen in met name thermische rendementen die hebben plaatsgevonden en zullen plaatsvinden worden meegenomen onder de AVI+.

Bodemassen die voortkomen uit de verbranding van huisvuil in de Vlaamse AVIs worden op dit moment bij vier verschillende partijen verwerkt: Indaver, Heros (Sluiskil, Nederland), IMOG en Valomac. Tijdens de bodemasverwerking worden ferro en non-ferro metalen teruggewonnen en wordt de overige bodemas geschikt gemaakt voor nuttige toepassing.

Na bewerking wordt de bodemas zonder metalen met name gebruikt in wegwerken, hierbij wordt het gebruik van zand en andere primaire grondstoffen vermeden. Ongeveer 75% werd hierbij nuttig toegepast en de andere 18% werd gestort in 2017 (het verschil is de metaalafscheiding), waar gaan ervan uit dat dit in 2016 vergelijkbaar was. Vliegassen werden volledig gestort in 2016. (Deze gegevens staan in Bijlage B.4.2 en zijn gebaseerd op informatie van Valomac)

Achtergrondgegevens met betrekking tot het thermische- en elektrische rendement, de inzet van bodemas als bouwstof, de terugwinning van ferro en non-ferro metaal uit bodemas evenals emissies die vrijkomen uit een AVI zijn terug te vinden in Bijlage B.

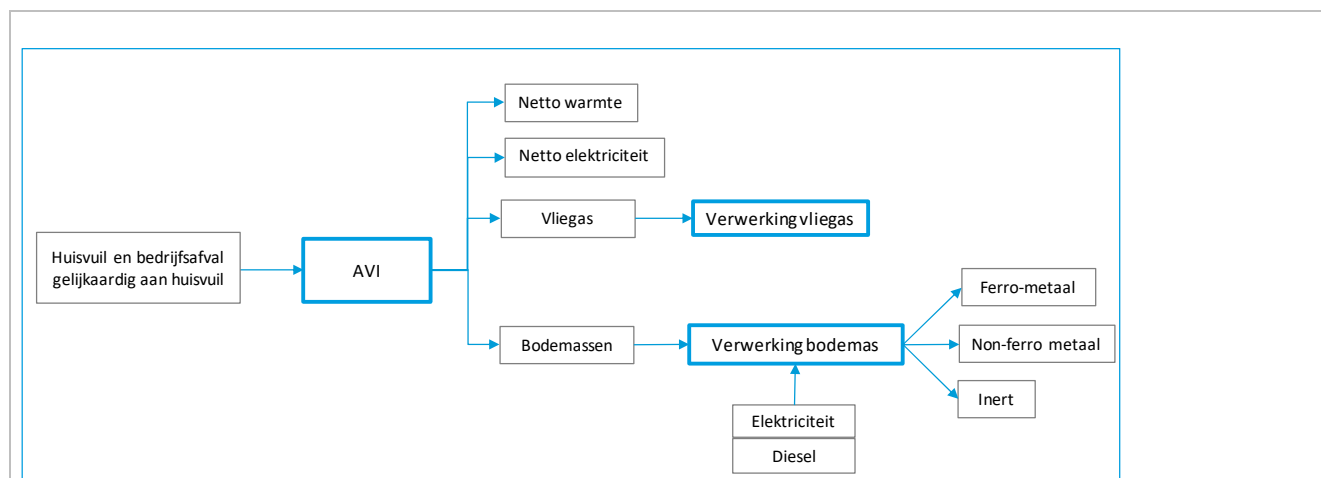
In

¹⁷ Met netto elektrische rendement wordt bedoeld; Geleverde elektriciteit aan het net of ingezet op het eigen terrein voor een industrieel proces niet ten behoeve van de afvalverwerking als aandeel van de totale energie-inhoud van verwerkt afval.

¹⁸ Met netto warmte rendement wordt bedoeld; geleverde processtoom of warm water extern geleverd of ingezet op het eigen terrein voor een industrieel proces niet ten behoeve van de afvalverwerking als aandeel van de totale energie-inhoud van verwerkt afval.

Figuur 12 is het procesdiagram weergegeven voor de 'conventionele AVI' case.

Figuur 12 Procesdiagram AVI



6.2 NASCHEIDING

Voor de analyse zijn vier nascheidingsystemen geselecteerd; “natte scheiding, natte vergisting”, “droge scheiding, droge vergisting”, “droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking” en “mechanisch-biologische scheiding”. De technieken worden hieronder verder beschreven aan de hand van een procesdiagram en een beschrijving van de in- en outputs.

Het residu dat overblijft kan op verschillende manieren verwerkt worden. De technieken die hiervoor geselecteerd zijn, worden in Sectie 6.3 beschreven.

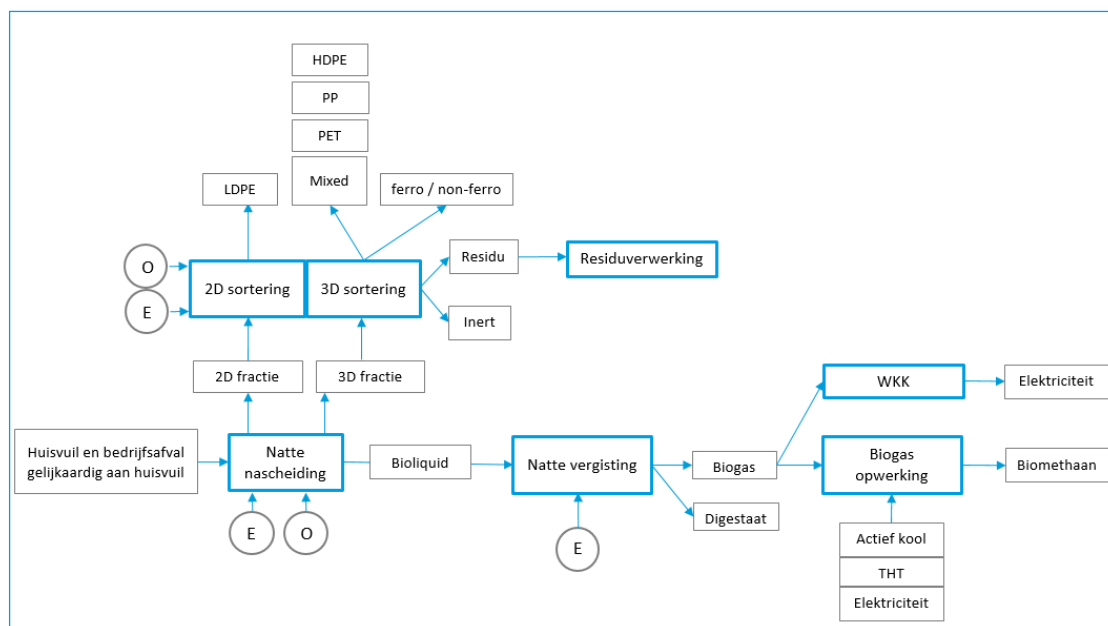
6.2.1 Natte scheiding, natte vergisting

We kijken naar de techniek combinatie natte scheiding en natte vergisting die ontwikkeld is door Dong Energy (nu Ørsted) onder de naam Renescience. Het is een enzymatische techniek waarbij huisvuil gescheiden/verwerkt wordt tot plastics in verschillende DKR-kwaliteiten, inerte stoffen (o.a. metalen), residu en zogeheten ‘bioliquid’ waaruit biogas geproduceerd wordt.

Figuur 13 geeft een overzicht van de techniek zoals deze nu is toegepast in Manchester, aangevuld met 3D-sortering (bakjes, flessen, etc.) zoals voorzien voor de Renaissance-fabriek in Nederland (Eindhoven). Dit is een theoretische techniekcombinatie die nog niet als zodanig is toegepast. De besluitvorming over het wel of niet concreet gaan bouwen loopt nog in Eindhoven (juni 2019).

In deze opzet zou de output van residu, bestaande uit niet-verwerkte huishoudelijke afvalresten, nu verbrand worden in een AVI. In deze studie kijken we naar residuverwerking op basis van een conventionele AVI, AVI+ en geïntegreerde hydropyrolyse.

Figuur 13 Procesdiagram natte scheiding en natte vergisting



Toelichting: (E) is energie-input en (O) is overige input. Dit is weergegeven op deze manier omdat de specifieke inputs vertrouwelijke informatie zijn. (Uit de 3D-sortering komen monostromen HDPE, PP en PET, een mixed plasticfractie voor toepassing in de bouw en daarnaast nog een residufractie)

De processen die specifiek zijn voor natte scheiding in combinatie met natte vergisting zijn: natte nascheiding, 3D-sortering (sortering van 3D-voorwerpen zoals flesjes en flacons in verschillende plastics), 2D-sortering (sortering van 2D-voorwerpen zoals folies in LDPE), biogasproductie. De geïnventariseerde gegevens hiervoor zijn vertrouwelijk en zijn dus niet opgenomen in dit rapport. In Sectie 6.5.1 is de inventarisatie voor de overige processen te vinden. Deze processen zijn bij meerdere verwerkroutes van toepassing.

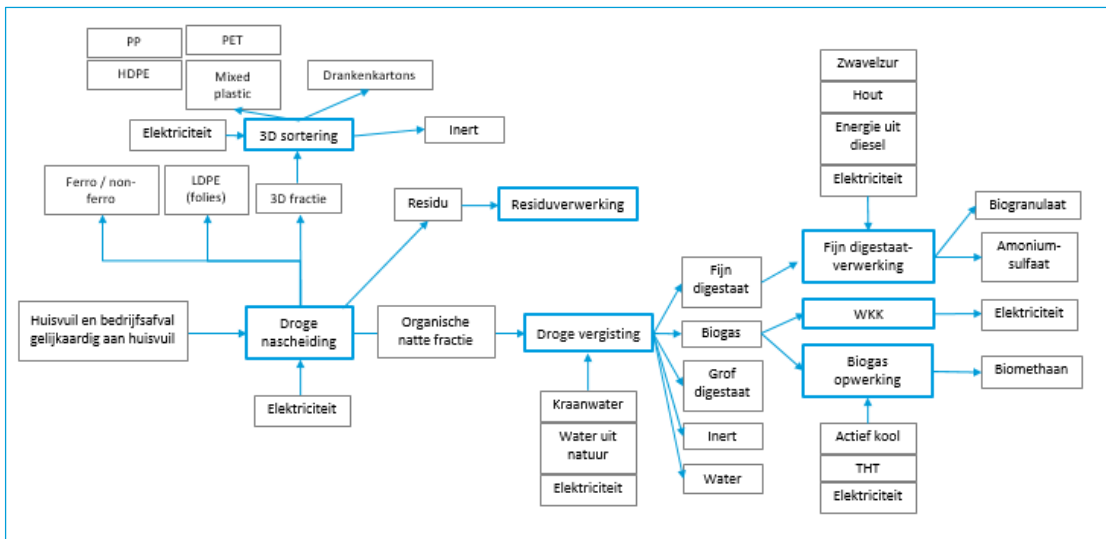
6.2.2 Droge scheiding, droge vergisting

Droge scheiding in combinatie met droge vergisting wordt in Nederland toegepast door Attero en Ommen. In deze installaties worden restafvalfracties biomechanisch verwerkt. De outputs bestaan uit verschillende plastic fracties, ferro en non-ferro metaal, andere typen inert materiaal, biogas, digestaat en een restfractie (uitvallen). In

Figuur 14 wordt het proces weergegeven zoals deze nu wordt toegepast bij Omrin.

In de huidige opzet wordt de output van residu, bestaande uit niet-verwerkte huishoudelijke afvalresten, verbrand in een AVI. In deze studie kijken we naar residuverwerking op basis van een conventionele AVI, AVI+ en geïntegreerde hydrolyse.

Figuur 14 Procesdiagram droge scheiding en droge vergisting



Toelichting: Een WKK-installatie is een warmtekrachtkoppelingsinstallatie.

In Bijlage C worden de geïnventariseerde gegevens weergegeven voor de processen die specifiek zijn voor droge scheiding in combinatie met droge vergisting: droge nascheiding, 3D-sortering en droge vergisting. In Sectie 6.5.1 is de inventarisatie voor de overige processen te vinden. Deze processen zijn bij meerdere verwerkroutes van toepassing.

6.2.3 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking

6.2.3.1 Huidige verwerking

Droge scheiding, droge vergisting waarna compost wordt geproduceerd wordt momenteel toegepast in Bourg-en-Bresse, Frankrijk. Dit proces lijkt op het proces bij Attero en Omrin voor de mechanische scheiding en droge vergisting. Wel wordt door de andere afvaldoelstellingen in Nederland en Frankrijk andere keuzes gemaakt voor uitsortering van materiaal. Dit betekent dat er tijdens de sortering de volgende fracties voortkomen uit de droge scheiding en droge vergisting:

- grote items (grote stukken metaal, grote stukken folies);
- ferro metaal;
- hoogcalorisch residu;
- zwaar residu;
- biogas;
- digestaat.

Het biogas wordt in de Bourg-en-Bresse-installatie verwerkt in een WKK. Hierbij wordt de warmte gebruikt in het eigen proces en de elektriciteit wordt verkocht aan het net.

Bovenop de droge scheiding en de daaropvolgende droge vergisting van de fijne organische fractie wordt na de vergister het digestaat verwerkt tot compost. De fijne organische fractie en nadien dus ook het digestaat bevatten nog aanzienlijk wat verontreinigingen. Deze worden verwijderd uit het digestaat door het digestaat te mengen met proceswater in het SORDISEP (SORTing, Digestion en SEPARation) proces.

Daarin worden door verschillende zeef- en centrifugetechnieken verschillende fracties uit het digestaat gehaald. Dit zijn:

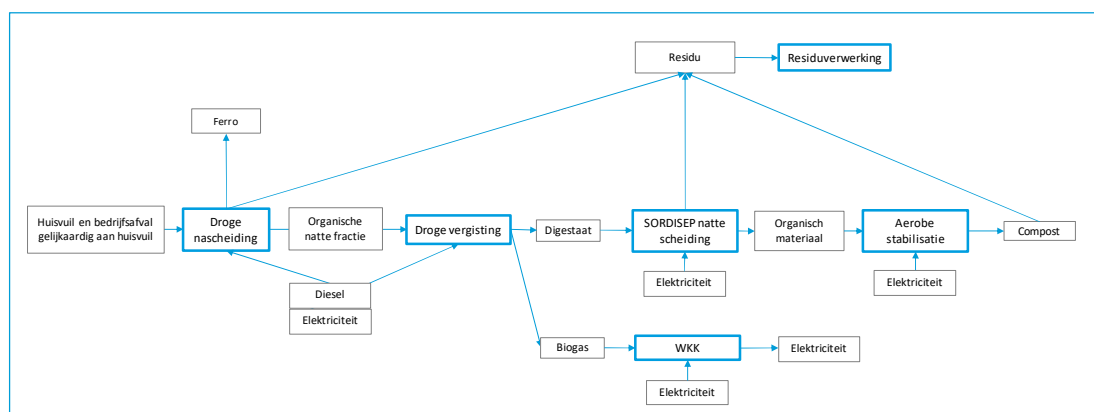
- inert residu (voornamelijk stenen, glas);

- licht residu (voornamelijk lichte kunststoffen, textiel);
- zeer puur organisch materiaal.

In Frankrijk wordt het compost dat geproduceerd wordt uit het organisch materiaal ingezet in de landbouw. De compostkwaliteit van de installatie in Bourg-en-Bresse voldoet nu ruimschoots aan de Franse compost-eisen, de eisen in Vlaanderen zijn echter strenger. Voornamelijk omwille van bepaalde zware metalen zou deze compost daarom vandaag in Vlaanderen niet ingezet mogen worden¹⁹. Daarnaast mag compost in Vlaanderen alleen ingezet worden als bodemverbeterend middel als deze geproduceerd wordt uit organisch-biologische afvalstoffen. Dit betekent dat compost uit huisvuil niet ingezet mag worden in Vlaanderen. Hij zal dus ook verwerkt dienen te worden als residu of vereist verdere aanpassingen aan het SORDISEP-proces. We hebben dit proces daarom gemodelleerd alsof het “compost” wordt verbrand in een AVI of AVI+ voor de bestaande verwerkroutes (2020-2025) en in het geval van de theoretische verwerkroutes (2025-2030) is afzet van compost wel meegenomen (zoals wel toegestaan in Frankrijk).

Figuur 15 heeft de huidige verwerking zoals deze plaatsvindt in Bourg-en-Bresse weer. De toepassing van de geproduceerde stromen zijn hierbij echter toegepast op de Vlaamse situatie.

Figuur 15 Procesdiagram droge scheiding, gecombineerd met droge vergisting en compostverwerking – huidige verwerking



Toelichting: Een WKK-installatie is een warmtekrachtkoppelingsinstallatie.

In Bijlage 0 worden de geïnventariseerde gegevens weergegeven voor de processen die specifiek zijn voor deze techniek zoals weergegeven in bovenstaande figuur: droge nascheiding, droge vergisting, SORDISEP. In Sectie 6.5.1 is de inventarisatie voor de overige processen te vinden. Deze processen zijn bij meerdere verwerkroutes van toepassing.

6.2.3.2 Theoretische verwerking

Zoals gezegd is dit de installatie die in Frankrijk staat, niet geoptimaliseerd op de Vlaamse situatie.

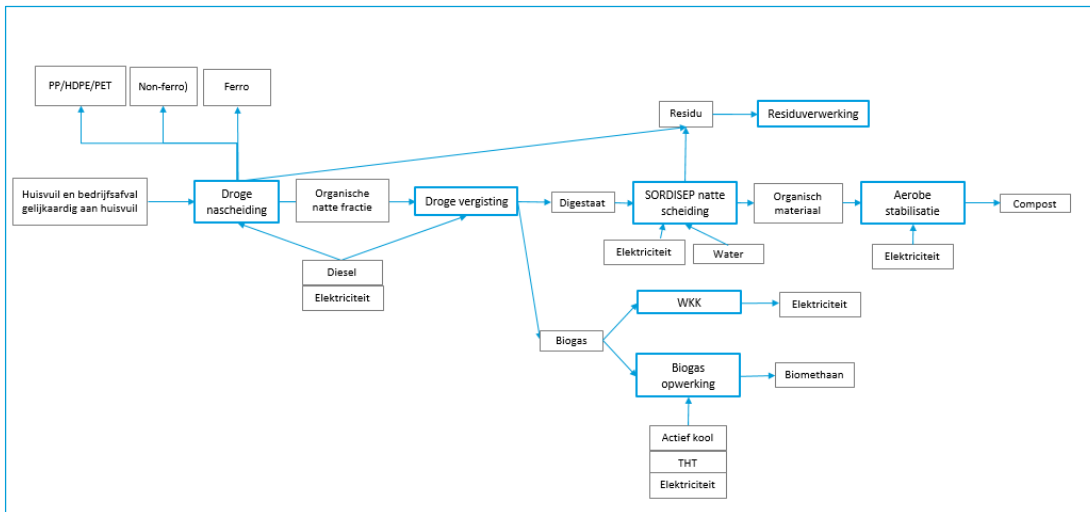
Met een aantal (kleine) aanpassingen sluit de installatie beter aan bij Vlaams beleid. Voor de theoretische verwerking gaan we uit van de volgende aanpassingen:

- uitsortering van non-ferro metaal in de droge nascheiding;
- uitsortering van hard HDPE/PET/PP in de droge nascheiding;
- biogasgebruik voor productie van warmte met behulp van een WKK voor gebruik in het proces, de rest van het biogas wordt opgewaardeerd tot groengas;
- de installatie wordt zo bijgesteld dat de Vlaamse compostkwaliteitseisen behaald kunnen worden en het compost dus in Vlaanderen in de land- en tuinbouw ingezet kan worden (zoals wel toegestaan in Frankrijk).

¹⁹ Zie Bijlage 0 voor een vergelijking van de composteisen tussen Frankrijk en Vlaanderen, en de compostkwaliteit die die locatie in Bourg-en-Bresse nu levert.

Figuur 16 geeft het aangepast proces weer. De aanpassingen leiden uiteraard tot een aanpassing in het energie- en hulpstoffengebruik voor het verwerken van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

Figuur 16 Procesdiagram droge scheiding, gecombineerd met droge vergisting en compostverwerking – theoretische verwerking

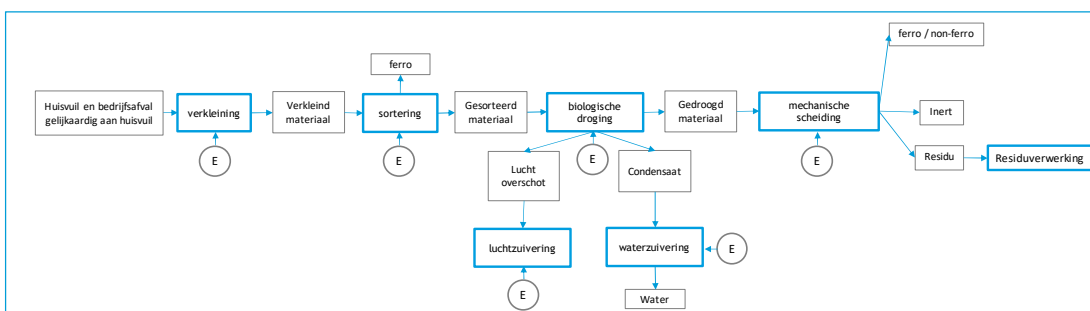


Toelichting: Een WKK-installatie is een warmtekrachtkoppelinginstallatie.

In Bijlage 0 worden de geïnventariseerde gegevens weergegeven voor de processen die specifiek zijn voor deze techniek zoals weergegeven in bovenstaande figuur: droge nascheiding, droge vergisting, SORDISEP. In Sectie 6.5.1 is de inventarisatie voor de overige processen te vinden. Deze processen zijn bij meerdere verwerkroutes van toepassing.

6.2.4 Mechanisch-biologische scheiding

Figuur 17 Procesdiagram mechanisch-biologische scheiding



Mechanisch-biologische scheiding is een techniek die gebaseerd is op de techniek om GFT-afval te composteren. Het aangevoerde afval wordt eerst verzameld in de ontvangsthal, waar een eerste controle en voorsortering plaatsvindt. Het afval wordt eerst verkleind, waarna de ferrodelen uit het afval worden gesorteerd. Hierna wordt de fractie in de zogeheten bufferbunker gebracht, waaruit het afval de droogtunnels wordt ingebracht. Bedrijfsafvalstromen die nu verwerkt worden slaan deze drogingsstep over. De installatie beschikt over dertien droogtunnels. Als deze tunnels gevuld zijn met afval worden ze afgesloten, waarna het composteringsproces in werking treedt. Hierbij ontstaat warmte, waardoor het aanwezige water verdampt. Dit wordt gezuiverd in een eigen bioreactor en membraanfiltratie, waarna het in een koeltoren wordt gebracht en hierna weer wordt ingezet in het proces. De lucht die vrijkomt bij het proces wordt in een stoffilter behandeld, en wordt grotendeels gerecirculeerd. Het overschot aan lucht wordt gezuiverd in een thermische luchtbehandelingsinstallatie. In totaal duurt het drogingsproces 8 tot 10 dagen.

Na het drogen worden er verschillende mechanische scheidingsstappen toegepast op het gedroogde materiaal (o.a. zeven, windsifting, ballistische scheiding, magnetische scheiding). Hierbij wordt een klein deel inert materiaal, een klein deel ferro/non-ferro materiaal en een groter deel residu geproduceerd. Dit residu is redelijk hoogcalorisch en kan vervolgens verder worden verwerkt in thermochemische verwerkingsprocessen (zie Sectie 6.3).

In Bijlage E worden de geïnventariseerde gegevens weergegeven voor de processen die specifiek zijn voor deze techniek zoals weergegeven in bovenstaande figuur: verkleining, sortering, biologische droging, mechanische scheiding, luchtzuivering, waterzuivering. In Sectie 6.5.1 is de inventarisatie voor de overige processen te vinden. Deze processen zijn bij meerdere verwerkroutes van toepassing.

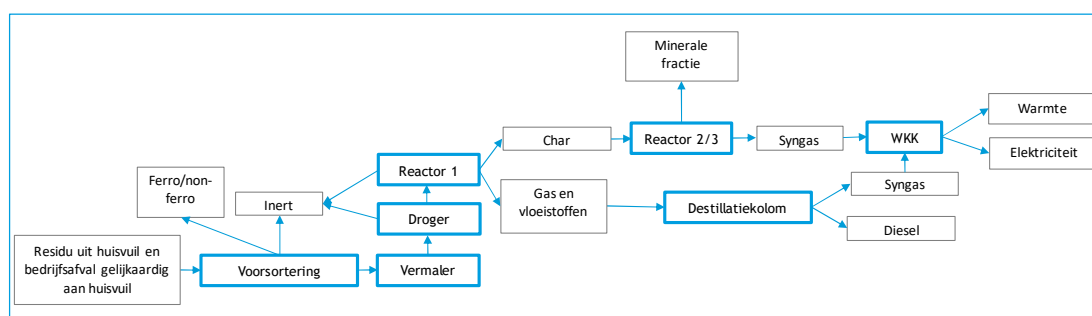
6.3 BEHANDELING RESIDU

6.3.1 Geïntegreerde hydropyrolyse (3de generatie)

Geïntegreerde hydropyrolyse is een geavanceerde vorm van pyrolyse, waarbij een brandstof van hogere kwaliteit wordt geproduceerd. De outputstromen zijn warmte, elektriciteit en diesel. De techniek wordt, hoewel steeds gebruikmakend van net andere procestechnologie, o.a. ontwikkeld door Fraunhofer (Susteen), Energy, Obbotec (Green Modem) en Shell (IH2-proces). Ook is de pyrolyseolie geschikt als grondstof voor de chemische industrie. Er wordt veel onderzoek gedaan naar geïntegreerde hydropyrolyse, maar de techniek is nog niet uitontwikkeld en wordt nog niet grootschalig toegepast. Hierdoor schatten we in dat dit de meest innovatieve en daardoor onzekere techniek is binnen de selectie van verwerkingsystemen.

We kijken in deze studie specifiek naar de 3^{de} generatie hydropyrolyse, waarbij de char of het syngas wordt ingezet als energiedrager in het proces zelf, waardoor er geen externe energie toegevoegd hoeft te worden. De techniek waar we naar kijken is de GreenModem-techniek. Deze techniek is ontwikkeld om toepasbaar te zijn op residustromen met een hoge calorische waarde uit huisvuil en bedrijfsafval. De hoeveelheden PET en PVC zoals deze in de input aanwezig zijn (<10%) vormen geen probleem voor het functioneren van de installatie en de kwaliteit van de output.

Figuur 18 Vereenvoudigd procesdiagram voor geïntegreerde hydropyrolyse



Toelichting: Warmte en elektriciteitsproductie in deze figuur refereert aan netto warmte en netto elektriciteitsproductie, het energiegebruik is hier reeds vanaf getrokken.

In Bijlage F worden de geïnventariseerde gegevens weergegeven voor de processen die specifiek zijn voor geïntegreerde hydropyrolyse: voorsortering en vermalen, drogen, reactoren en de destillatiekolom. In Sectie 6.5.1 is de inventarisatie voor de overige processen te vinden (WKK, stort van de minerale fractie). Deze processen zijn bij meerdere verwerkroutes van toepassing.

6.3.2 Overige residuverwerkingsprocessen

De overige residuverwerkingsprocessen (de AVI en de AVI+) zijn hetzelfde als die onder het referentiescenario en/of de geïntegreerde systemen zijn toegelicht. Hierbij dient in de procesdiagrammen alleen “huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil” vervangen te worden door “residu uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil”.

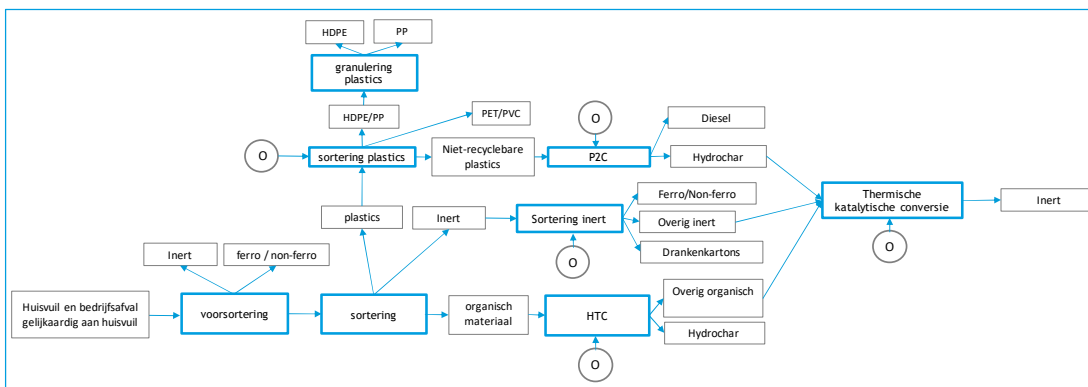
6.4 GEÏNTEGREERDE TECHNIEKEN

6.4.1 Mechanische scheiding, thermochemische recyclage

In het Vlaamse initiatief RenaSci worden mechanische scheiden en thermochemische recyclage gecombineerd. In de toekomst is het plan om de techniek ook uit te breiden met fermentatie van biologisch materiaal. Deze techniek mag in een te bouwen installatie in Oostende alleen nog worden toegepast op residu uit huisvuilsortering, gemengd kunststofafval en gemengd industrieel afval (sorteerresidu's en vergelijkbaar bedrijfsafval of RDF) maar is in de toekomst mogelijk ook toepasbaar voor de verwerking van huisvuil. Omdat de studie kijkt tot en met 2030 bekijken we hier de mogelijke verwerking van huisvuil met deze installatie. (Deze techniek is zowel voor huisvuil als voor bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil bekeken. Er is uiteraard verschil. De techniek scoort beter op huisvuil (Vergelijk Figuur 24 en Figuur 34).)

Figuur 19 laat een overzicht zien van de techniek. Onder de figuur gaan we verder in op de verschillende onderdelen van het proces.

Figuur 19 Procesdiagram voor RenaSci-techniek (mechanische scheiding, thermochemische recyclage)



Toelichting: (O) is overige input, deze is niet gespecificeerd omdat het gaat om vertrouwelijke informatie. De figuur geeft alleen netto inputs weer, omdat de RenaSci-techniek meer energie produceert dan gebruikt is geen input van energie weergegeven in het procesdiagram.

6.4.1.1 Voorsortering

De huidige geplande site voor RenaSci is gericht op ander materiaal dan huisvuil. Om inkomend huisvuil geschikt te maken is een voorsortering nodig, waarbij een deel inert en metaal wordt afgescheiden en het vochtgehalte wordt verminderd.

6.4.1.2 Sortering

Het voorbehandeld huisvuil wordt in drie stromen gescheiden:

- organisch materiaal dat in de HTC (hydrothermische carbonisatie) verwerkt wordt;
- inert materiaal dat in verdere sortering verwerkt wordt;
- kunststof dat verder gesorteerd wordt met behulp van optische sortering (NIR) en densiteitsscheiding.

6.4.1.3 Sortering plastics

Tijdens de plasticsortering wordt het plastic verdeeld in:

- Rigide PE/PP-plastics om in granulering te worden verwerkt tot gerecycled HDPE- en PP-recycalaat.
- PET-kunststoffen voor verwerking tot recycalaat elders.
- In de functionele eenheid die we hanteren in deze studie zit geen PVC. Maar mocht dit wel onderdeel uitmaken kunnen PVC-kunststoffen uitgesorteerd worden voor verdere verwerking elders.
- Niet-recycleerbare kunststoffen (voornamelijk folies) voor verdere verwerking tot een energiedrager in de P2C.

6.4.1.4 Kraking van niet-recycleerbare kunststoffen (P2C)

Het P2C-proces houdt een niet-katalytisch krakingsproces bij 380-400°C van polymeren (PE, PP, PS) waarbij koolstof-koolstofbindingen worden verbroken met vorming van een reeks koolwaterstoffen. Door een specifieke en efficiënte reactor constructie en een geoptimaliseerde warmtewisseling worden de polymeer-ketens omgezet tot koolwaterstoffen met een kookpuntbereik van 60-350°C (6 tot 24 koolstofatomen) naast vluchtige gassen en een residu. De koolwaterstoffen worden gecondenseerd en door middel van een fractionele distillatie gescheiden in een lichte fractie (60-180°C) en een zware fractie (180-350°C). De koolwaterstoffen bestaan uit lineaire en vertakte alkanen, lineaire en vertakte alkenen, cyclisch alkanen en aromaten.

De niet-recycleerbare kunststoffen (met name folies) worden via dit proces omgezet tot diesel die voldoet aan de Europese EN590-norm of een grondstof voor de chemie. In dit proces wordt ook een klein aandeel biogeen materiaal omgezet tot diesel. We gaan in deze studie uit van diesel. De gasvormige koolwaterstoffen (syngas) die vrijkomen bij dit proces worden, e.v.t. in combinatie met olieoutput die niet voldoet aan de technische specificaties, verbrand voor opwekking van energie. De char die geproduceerd wordt, wordt verwerkt met behulp van thermisch katalytische verwerking.

6.4.1.5 Sortering inert

De verdere sortering van inert materiaal wordt uitgesorteerd in:

- ferro metalen met een elektromagneet;
- non-ferro metalen met een wervelstromscheiding (eddy current separator);
- drankenkartons.

Het materiaal dat overblijft wordt verwerkt met behulp van thermisch katalytische verwerking.

6.4.1.6 HTC

De organische fractie wordt verwerkt door middel van hydrothermische carbonisatie (HTC). Dit proces wordt ook wel 'verkolen' genoemd. De output van dit proces bestaat uit hydrochar, dit kan worden ingezet als vervanging van houtkoolpellets²⁰. We gaan er in deze analyse van uit dat deze worden verbrand net als alle andere residu's naar verbranding. Zie Sectie 6.5.2. De overige outputs uit de HTC die niet terechtkomen in hydrochar, worden verwerkt in de thermisch katalytische conversie.

In de toekomst (voor 2030) staat gepland om op een deel van de organische fractie (voornamelijk bestaande uit cellulosederivaten) mechanisch-enzymatisch om te zetten in een suikeroplossing (enzymatische behandeling) om deze te vergisten met een specifieke giststem (fermentatie). Hiervoor zijn nog geen gegevens beschikbaar, waardoor deze stap niet in de inventarisatie kon worden meegenomen. Bij deze geplande stap wordt de organische input eerst voorbehandeld met autoclavering, waarbij het volume wordt verkleind en de fractie wordt gesteriliseerd. Hierna wordt de organische fractie onder toevoeging van een gistsoort omgezet in bio-ethanol en/of iso-butanol. Het deel iso-butanol zou vervolgens omgezet worden naar Glycerol Tertiair

²⁰ Voor de toepassing van hydrochar zal een aanvraag gedaan worden voor een grondstofverklaring bij de OVAM. Omdat er nog geen grondstofverklaring is, is ervoor gekozen om uit te gaan van de conservatieve inschatting van inzet van dit materiaal in een AVI. Bij het inzetten van hydrochar als houtskoolvervanging zou het materiaal immers ingezet kunnen worden als houtskool- of steenkoolvervanging welke een hogere milieuwinst oplevert.

Butyl Ether (GTBE). Dit is een biobrandstof die kan worden toegevoegd aan diesel en benzine, waarbij de uitstoot van ultra-fijnstof wordt gereduceerd.

Voor de ontwikkeling van de enzymatische behandeling is een Horizon 2020-onderzoekssubsidie ontvangen in samenwerking met verschillende onderzoeksinstituten.

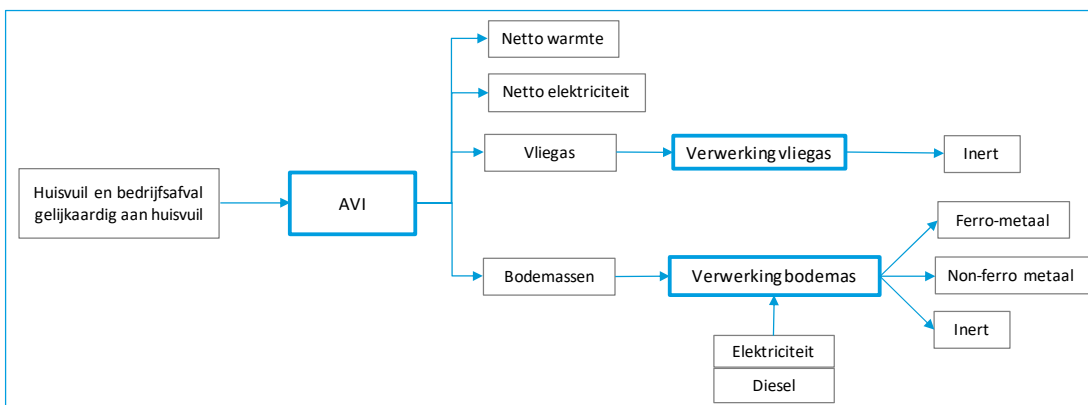
6.4.1.7 Thermisch-katalytische conversie inert materiaal en residu

Het inerte en residu materiaal wordt via katalytische conversie verwerkt tot granulaten en energie. Dit is een gecombineerd krakings- en oxidatieproces onder hoge temperatuur. De anorganische delen worden hierbij omgezet in inert restmateriaal, de organische input wordt omgezet in energie. Deze energie wordt vervolgens intern ingezet, en er wordt momenteel gekeken naar de inzet van het inerte restmateriaal als bouw materiaal. Hiervoor is uiteindelijk een COPRO-certificering nodig, waarbij het restmateriaal beschouwd wordt als een bodemas en ingezet kan worden als bouw materiaal. De verwachting van de aanbieder is dat het mogelijk is het restmateriaal zo schoon te krijgen dat dit mogelijk wordt. Op dit moment is dit nog niet bereikt en daarmee dus een onzekerheid. De toepassing is daarmee vergelijkbaar met de toepassing van bodemassen uit de AVI, dit wil niet zeggen dat de kwaliteit van de inerten gelijk is.

6.4.2 AVI+

De AVI+ is een geoptimaliseerde versie van een afvalverbrandingscentrale. Een AVI-plus heeft een verhoogd elektrisch- en thermisch rendement, een zo optimaal mogelijke verwerking van de bodemassen en vliegas. In de toekomst is ook de afvang van CO₂-emissies bij afvalverbranders relevant. In Figuur 20 is het procesdiagram weergegeven voor de 'AVI+' case.

Figuur 20 Procesdiagram AVI+



De AVI+ is gebaseerd op de combinatie van de volgende technieken:

- Verbranding van huisvuil in Scandinavische AVI met hoog rendement zoals Amager Bake in Kopenhagen. Dit is in lijn met de uitbreidingen en verbeteringen van de Vlaamse AVIs op dit moment.
- VliegGasverwerking tot bouw materiaal.
- Geoptimaliseerde bodemasverwerking.

Zie voor de gehele inventarisatie Bijlage G.

6.5 GELIJKBLIJVEND BIJ VERSCHILLENDE VERWERKINGSSCENARIO'S

Bij verschillende verwerkingsscenario's maken we gebruik van dezelfde gegevens voor een aantal processen (zoals biogasopwerking tot biomethaan met aardgaskwaliteit), voor afvalverwerking (zoals afvalwater), een aantal inputs (zoals elektriciteitsgebruik) en de toepassing van een aantal outputs (zoals uitgesorteerde kunststoffen). De beschrijving voor deze gelijkblijvende aspecten is hieronder terug te vinden; de processen in Sectie 6.5.1 en de inputs en outputs in Sectie 6.5.2.

6.5.1 Gemeenschappelijke processen

In Tabel 16 wordt een overzicht gegeven van de (afvalverwerkings)processen die voor meerdere verwerkingsscenario's relevant zijn. Alle processtappen worden onder de tabel verder toegelicht.

Tabel 16 Overzicht van gemeenschappelijke processen en afvalverwerking en de verwerkroutes waarin deze toegepast worden

Processtap	Verwerkingsscenario
Afvalwaterverwerking	Droge scheiding, droge vergisting
	Natte scheiding, natte vergisting
	Mechanisch-biologische scheiding
Biogasopwerking	Droge scheiding, droge vergisting
	Natte scheiding, natte vergisting
Stort van materiaal	Alle verwerkroutes
Verwerking inert materiaal	Alle verwerkroutes
Verwerking uitgesorteerde drankenkartons	Mechanische scheiding, thermochemische verwerking
	Droge scheiding, droge vergisting
Verwerking uitgesorteerd mixed plastic	Droge scheiding, droge vergisting
	Natte scheiding, natte vergisting
Verwerking uitgesorteerd HDPE	Mechanische scheiding, droge vergisting
	Natte scheiding, natte vergisting
Verwerking uitgesorteerd PET	Mechanische scheiding, thermochemische verwerking
	Droge scheiding, droge vergisting
	Natte scheiding, natte vergisting
Verwerking uitgesorteerd PP	Droge scheiding, droge vergisting
	Natte scheiding, natte vergisting
Verwerking uitgesorteerde folies	Droge scheiding, droge vergisting
	Natte scheiding, natte vergisting
Verwerking uitgesorteerd ferro metaal	Alle verwerkroutes
Verwerking uitgesorteerd non-ferro metaal	Alle verwerkroutes
Verwerkingsprocessen voor overige uitval	Mechanische scheiding, thermochemische verwerking
	Droge scheiding, droge vergisting
	Natte scheiding, natte vergisting
WKK biogas	Droge scheiding, droge vergisting
	Natte scheiding, natte vergisting

6.5.1.1 Afvalwaterverwerking

Voor afvalwaterverwerking wordt in alle gevallen gebruik gemaakt van dezelfde in- en outputs, zoals weergegeven in

Tabel 17. Dit is ongeacht het verschil in vervuiling van het water. Deze inschatting is beargumenteerbaar omdat afvalwaterverwerking alleen plaatsvindt bij lozing op het rioleringsysteem waar ook huishoudelijk afvalwater in geloosd wordt, het gaat dus maar om beperkt vervuild water. De overige afvalwaterverwerking vindt plaats op de locatie van de verwerker van huisvuil.

Tabel 17 In- en outputs afvalwaterverwerking

Hoeveelheid Per liter afvalwater	
Input	
Elektriciteit	Zoals aangegeven in het Ecoinvent-proces “Wastewater, average {CH} treatment of, capacity 5E9l/year”
Warmte	Zoals aangegeven in het Ecoinvent-proces “Wastewater, average {CH} treatment of, capacity 5E9l/year”
Hulpstoffen	Zoals aangegeven in het Ecoinvent-proces “Wastewater, average {CH} treatment of, capacity 5E9l/year”
Output	
Directe emissie	Zoals aangegeven in het Ecoinvent-proces “Wastewater, average {CH} treatment of, capacity 5E9l/year”
Afvalstoffen	Zoals aangegeven in het Ecoinvent-proces “Wastewater, average {CH} treatment of, capacity 5E9l/year”

6.5.1.2 Biogasopwerking

Voor de opwerking van biogas tot biomethaan nemen we dezelfde in- en outputs aan bij de verschillende technieken. In- en outputs staan weergegeven in Tabel 18. Voor tetrahydrothiofeen is gekozen voor de voorloper tetrahydrofuran omdat THT niet beschikbaar is in Ecoinvent Versie 3.4.

Tabel 18 In- en outputs biogasopwerking

Hoeveelheid Per Nm ³ biogas	
Input	
Elektriciteit	0,25 kWh
Actief kool ²¹	3 gram
THT (Tetrahydrothiofeen) ²²	60 milligram
Output	
Biomethaan met aardgaskwaliteit	0,67 Nm ³
Biogeen-CO ₂ -emissie	0,33 Nm ³

Bron: (CE Delft, 2017b).

6.5.1.3 Stort van materiaal

Materiaal dat in Vlaanderen gestort wordt mag niet brandbaar zijn en niet recycleerbaar. In dit onderzoek gaat het in het geval van te storten materiaal om vliegafval en bodemas. Beiden bevatten, als ze niet toepasbaar zijn als materiaal een aandeel vervuiling. We gaan bij storten van materiaal uit van storten van gevaarlijk afval op een categorie-1-stortplaats.

De VLAREM definieert de grenswaarden voor uitloging voor stort van gevaarlijk afval. We nemen aan dat de grenswaarden (maximumwaarden) behaald worden bij stort en gaan er hierbij vanuit dat het materiaal dat gestort wordt bestaat uit 100% droge stof.

²¹ “Activated carbon, granular {GLO} | market for”.

²² “Tetrahydrofuran {GLO} | market for”.

Tabel 19 Emissies bij stort materiaal

Component	Grenswaarde voor uitloging (mg/kg droge stof)
As	25
Ba	300
Cd	5
Crtotaal	70
Chroom VI	5
Cu	100
Hg	2
Mo	30
Ni	40
Pb	50
Sb	5
Se	7
Zn	200
Cyanide (totaal)	10
Chloride	25.000
Fluoride	500
Sulfaat	50.000

Bron: (Vlaamse Overheid, 2017) "korrelvormig afval dat aanvaardbaar is op stortplaatsen voor gevaarlijke afvalstoffen".

6.5.1.4 Verwerking inert materiaal

Het gesorteerde inert materiaal moet verder opgewerkt worden om toegepast te kunnen worden als bouw materiaal. Bij een externe verwerker wordt het materiaal daarom schoongemaakt door het organisch materiaal eraf te branden, hierbij wordt energie gebruikt.

Het is onduidelijk hoeveel organisch er precies verwijderd wordt, gaan we hier uit van de productie van 0,99 kg inert per kg inert materiaal in. We gaan ervan uit dat dit organisch materiaal volledig verbrandt en vervalt in biogene CO₂ en stoom (H₂O).

Tabel 20 In- en outputs verwerking inert materiaal

	Hoeveelheid Per ton inert materiaal
Input	
Elektriciteit	0,78 kWh
Warmte uit diesel	20,8 MJ
Output	
Verwerkt inert materiaal	0,99 kg

Bron input: (CE Delft, 2017b).

6.5.1.5 Verwerking uitgesorteerde drankenkartons

De drankenkartons die zijn uitgesorteerd gaan naar een papierproducent. Hier vindt sortering plaats van het aluminium en het LDPE uit drankenkartons, voordat het drankenkarton verpulpt wordt. Hierbij gaat een kleine hoeveelheid karton verloren. Zowel de LDPE als het aluminium gaat naar een AVI.

Tabel 21 In- en outputs drankenkarton verwerking

Hoeveelheid Per ton drankenkartons	
Input	
Elektriciteit	36,4 kWh
Output	
Papierpulp ²³	811 kg
Residu naar AVI	189 kg, waarvan: 25 kg aluminium; 160 kg LDPE; 4 kg karton

Bron: (CE Delft, 2017c).

6.5.1.6 Verwerking uitgesorteerd mixed kunststof

Het uitgesorteerde mixed kunststof kan verwerkt worden tot een kunststof composiet waarbij de composiet ingezet kan worden in verschillende toepassingen, met name in straatmeubilair. In de modelering is opgenomen op basis van eerder onderzoek in Nederland en Duitsland (CE Delft, 2017d) dat hierbij gedeeltelijke beton, hardhout, kunststof en metaal wordt vervangen. Het milieuvoordeel van de inzet van dit materiaal is daarmee qua klimaatvoordeel ongeveer de helft van de inzet van monorecycalaat. Milieukundig is het verschil kleiner met name omdat tropisch hardhout vervangen wordt (landgebruik/biodiversiteit). De inputs die hiervoor nodig zijn evenals de geproduceerde outputs zijn weergegeven in Tabel 22.

Tabel 22 In- en outputs verwerking uitgesorteerd mixed kunststof

Hoeveelheid Per ton mixed kunststof	
Input	
Elektriciteit	1.000 kWh
Warmte uit aardgas	28,6 m ³
Natronloog	10 kg
Kraanwater	300 kg
Output	
Uitval mixed kunststof naar AVI	150 kg
Aanhangend vuil naar AVI	100 kg
Verwerkt mixed kunststof	750 kg
Afvalwater naar afvalwaterverwerking	300 kg

Bron: (CE Delft, 2017d).

6.5.1.7 Verwerking uitgesorteerd HDPE

Het uitgesorteerde HDPE wordt verwerkt tot gerecycleerd HDPE-granulaat voor inzet in nieuwe kunststof-producten. De benodigde input en geproduceerde outputs zijn weergegeven in

²³ Sulfate pulp {GLO} | market for"

Tabel 23. Dit zijn cijfers uit de praktijk van de Nederlandse sortering die lijkt op die in Vlaanderen en Duitsland.

Tabel 23 - In- en outputs verwerking uitgesorteerd HDPE

		Hoeveelheid Per ton HDPE
Input		
Elektriciteit		1.280 kWh
Warmte uit aardgas		28,6 m ³
Natronloog		10 kg
Kraanwater		300 kg
Output		
Uitval HDPE naar AVI		30 kg
Aanhangend vuil naar AVI		35 kg
Verwerkt HDPE		935 kg
Afvalwater naar afvalwaterverwerking		300 kg

Bron: (CE Delft, 2017d).

6.5.1.8 Verwerking uitgesorteerd PET

Het uitgesorteerde PET wordt verwerkt tot gerecycleerd PET-granulaat voor inzet in nieuwe kunststofproducten. De benodigde input en geproduceerde outputs zijn weergegeven in Tabel 24. Het energiegebruik voor de verwerking van uitgesorteerd PET is lager dan bij de verwerking van de uitgesorteerde andere kunststoffen omdat het aandeel aanhangend vuil lager is. Dit zijn cijfers uit de praktijk van de Nederlandse sortering die lijkt op die in Vlaanderen en Duitsland.

Tabel 24 In- en outputs verwerking uitgesorteerd PET

		Hoeveelheid Per ton PET
Input		
Elektriciteit		119 kWh
Warmte uit aardgas		28,6 m ³
Natronloog		10 kg
Kraanwater		300 kg
Output		
Uitval PET naar AVI		0 kg
Aanhangend vuil naar AVI		20 kg
Verwerkt PET		980 kg
Afvalwater naar afvalwaterverwerking		300 kg

Bron: (CE Delft, 2017d).

6.5.1.9 Verwerking uitgesorteerd PP

Het uitgesorteerde PP wordt verwerkt tot gerecycleerd PP-granulaat voor inzet in nieuwe kunststofproducten. De benodigde input en geproduceerde outputs zijn weergegeven in

Tabel 25.

Tabel 25 In- en outputs uitgesorteerd PP

Hoeveelheid Per ton PP	
Input	
Elektriciteit	1.278 kWh
Warmte uit aardgas	28,6 m ³
Natronloog	10 kg
Kraanwater	300 kg
Output	
Uitval PP naar AVI	30 kg
Aanhangend vuil naar AVI	35 kg
Verwerkt PP	935 kg
Afvalwater naar afvalwaterverwerking	300 kg

Bron: (CE Delft, 2017d).

6.5.1.10 Verwerking uitgesorteerde folies

De uitgesorteerde folies kan verwerkt worden tot een kunststof composiet waarbij de composiet ingezet kan worden in verschillende toepassingen, met name in straatmeubilair. De inputs die hiervoor nodig zijn evenals de geproduceerde outputs zijn weergegeven in Tabel 26. Dit zijn cijfers uit de praktijk van de Nederlandse sortering die lijkt op die in Vlaanderen en Duitsland.

Tabel 26 In- en outputs uitgesorteerd folies

Hoeveelheid Per ton uitgesorteerde folies	
Input	
Elektriciteit	1.000 kWh
Warmte uit aardgas	28,6 m ³
Natronloog	10 kg
Kraanwater	300 kg
Output	
Uitval folies naar AVI	150 kg
Aanhangend vuil naar AVI	45 kg
Verwerkte folies	805 kg
Afvalwater naar afvalwaterverwerking	300 kg

Bron: (CE Delft, 2017d).

6.5.1.11 Verwerking uitgesorteerd ferro metaal

Verwerking van uitgesorteerd ferro metaal is het voorbereiden van dit metaal om het toe te kunnen passen in een Electric Arc Furnace (AEF) of in een Blast Furnace (BF) voor productie van nieuw ferro metaal (staal). Het ferro metaal bevat nog verschillende soorten ferro metaal en wordt altijd nogmaals gesorteerd. Hiervoor gaan we uit van de sortering van dit materiaal zoals ook plaats vindt bij andere soorten ijzerschroot.

Tijdens de sortering van ferro metaal vindt vrijwel geen verlies van materiaal plaats. We gaan hier uit van de productie van 999 kg ferro metaal per ton verwerkt ferro metaal.

Tabel 27 - In- en outputs uitgesorteerd ferro metaal

Hoeveelheid Per ton ferro metaal	
Input	
Elektriciteit	Zoals aangegeven in het Ecoinvent-proces “iron scrap, sorted, pressed {RER} sorting and pressing of iron scrap”
Diesel	Zoals aangegeven in het Ecoinvent-proces “iron scrap, sorted, pressed {RER} sorting and pressing of iron scrap”
Output	
Verwerkt ferro metaal	999 kg

6.5.1.12 Verwerking uitgesorteerd non-ferro metaal

Verwerking van uitgesorteerd non-ferro metaal is het voorbereiden van dit metaal om het toe te kunnen passen voor nieuwe metaalproductie. Het non-ferro metaal bevat nog verschillende soorten metaal (aluminium, koper en zink) en wordt altijd nogmaals gesorteerd. Hiervoor gaan we uit van de sortering van dit materiaal zoals ook plaatsvindt bij andere soorten aluminiumschroot. Tabel 28 laat zien waar de inputs en outputs op gebaseerd zijn. Hierbij is gebruik gemaakt van de Ecoinvent-database (APOS). Omdat we tijdens het gehele onderzoek gebruik maken van cut-off-processen, zijn alle inputs en outputs ook gekozen uit die database.

Tijdens de sortering van non-ferro metaal vindt iets meer verlies plaats dan tijdens de sortering van ferro metaal. We gaan uit van de productie van 980 kg non-ferro metaal per ton verwerkt materiaal.

Tabel 28 In- en outputs uitgesorteerd non-ferro metaal

Hoeveelheid Per ton non-ferro metaal	
Input	
Elektriciteit	Zoals aangegeven in het Ecoinvent-proces “aluminium scrap, post-consumer {RER} treatment of, by collecting, sorting, cleaning, pressing” APOS
Warmte	Zoals aangegeven in het Ecoinvent-proces “aluminium scrap, post-consumer {RER} treatment of, by collecting, sorting, cleaning, pressing” APOS
Hulpstoffen	Zoals aangegeven in het Ecoinvent-proces “aluminium scrap, post-consumer {RER} treatment of, by collecting, sorting, cleaning, pressing” APOS
Output	
Verwerkt non-ferro metaal	980 kg
Directe emissie	Zoals aangegeven in het Ecoinvent-proces “aluminium scrap, post-consumer {RER} treatment of, by collecting, sorting, cleaning, pressing” APOS
Afvalstoffen	Zoals aangegeven in het Ecoinvent-proces “aluminium scrap, post-consumer {RER} treatment of, by collecting, sorting, cleaning, pressing” APOS

6.5.1.13 Verbrandingsprocessen voor overige uitval

Voor uitval van afvalstromen die niet terechtkomen in de residufractie die verder verwerkt kan worden in een van de residu behandeling technieken (conventionele AVI, AVI+, geïntegreerde hydropyrolyse), gaan we ervan uit dat de fractie in een conventionele AVI verwerkt wordt. Dit komt voor bij beide nascheidingsprocessen waar vergisting plaatsvindt evenals bij de verwerking van kunststoffen zoals hierboven aangegeven.

De precieze aanpak is aangegeven in Bijlage B.

6.5.1.14 WKK-biogas

De WKK, gebruikt voor de verbranding van biogas, heeft een thermische efficiëntie van 42% en een elektrische efficiëntie van 44%. Per m³ biogas leidt dit tot een productie van 10,6 MJe- en 10,2 MJ-warmte. Emissies uit de WKK zijn gebaseerd op twee Ecoinvent-processen²⁴ behalve voor de volgende emissies:

- stof: 0,000015 kg/m³ biogas;
- koolstofmonoxide: 0,0043959 kg/m³ biogas;
- NO_x: 0,0021980 kg/m³ biogas.

Deze emissies zijn gebaseerd op gegevens ontvangen van OWS over de WKK die toegepast wordt bij de Bourg-en-Bresse-installatie in Frankrijk.

6.5.2 Gemeenschappelijke inputs en outputs

Inputs en outputs die gebruikt worden in verschillende verwerkingsprocessen behandelen we op dezelfde manier. In Tabel 29 is een overzicht gegeven van deze inputs en outputs.

Tabel 29 Overzicht van gelijkblijvende inputs en outputs

Gelijkblijvend proces	Input	Output	Toepassing output
Elektriciteit	X	X	Invoer in Belgisch elektriciteitsnet
Energie uit diesel	X		-
Warmte uit aardgas	X		-
Kraanwater	X		
Water uit natuur	X		
Warmte		X	Inzet in (chemische) industrie
Biomethaan met aardgaskwaliteit		X	Invoer in het aardgasnetwerk voor inzet in industrie
Verwerkte kunststoffen		X	Levering aan verwerker voor inzet in kunststofproducten
Verwerkt ferro metaal		X	Levering aan verwerker voor inzet in metaalproducten
Verwerkt non-ferro metaal		X	Levering aan verwerker voor inzet in metaalproducten
Verwerkt inert		X	Levering aan verwerker voor inzet als bouw materiaal
Diesel		X	Inzet als brandstof

6.5.2.1 Elektriciteit

Voor elektriciteitsgebruik voor huisvuil verwerking en productie van elektriciteit door huisvuil verwerking maken we gebruik van het Ecoinvent-proces voor Belgische elektriciteit²⁵. Deze elektriciteitsmix heeft een CO₂-kengetal van 0,238 kg per kWh.

6.5.2.2 Energie uit diesel

In sommige verwerkroutes wordt diesel gebruikt in het proces. Voor alle verwerkroutes gaan we hierbij uit van verbranding van diesel op basis van hetzelfde Ecoinvent-proces²⁶.

In het geval dat de emissies uit dieselgebruik al in de procesemissies gevat zijn, vernoemen we dit expliciet en rekenen we uiteraard niet tweemaal met emissies uit diesel.

6.5.2.3 Warmte uit aardgas (input)

In sommige verwerkroutes wordt aardgas gebruikt in een installatie. Voor alle verwerkroutes gaan we hierbij uit van verbranding van aardgas op basis van hetzelfde Ecoinvent-proces²⁷ op de proceslocatie.

²⁴ 'Electricity, high voltage {BE} | heat and power co-generation, biogas, gas engine' and 'Heat, central or small-scale, other than natural gas {BE} | heat and power co-generation, biogas, gas engine'.

²⁵ Electricity, medium voltage {BE} | market for

²⁶ Diesel, burned in diesel-electric generating set {GLO} | market for

²⁷ Electricity, medium voltage {NL} | natural gas burned in gas turbine, for compressor station. Dit proces beschrijft de emissies uit verbranding van 0,298913043478261 m³ aardgas. Hiermee zijn dus de emissies per m³ aardgas te bepalen.

6.5.2.4 Kraanwater

Voor kraanwater maken we gebruik van gemiddeld kraanwater zoals dit in Europa geproduceerd wordt op basis van Ecoinvent.²⁸ We gaan ervan uit dat alle technieken gebruik maken van hetzelfde kraanwater.

6.5.2.5 Water uit natuur

Voor water uit de natuur gaan we ervan uit dat water uit een Vlaamse rivier onttrokken wordt.²⁹

6.5.2.6 Geleverde warmte (output)

Geleverde warmte door verbranding van een aandeel van het huisvuil kan op verschillende plekken worden afgezet. Wij gaan uit van afzet in de industrie en/of een warmtenet bedoeld voor de industrie. Conventioneel wordt in de industrie vaak aardgas gebruikt voor warmteproductie. We gaan uit van een Ecoinvent-proces dat de impact per MJ geleverde warmte aangeeft³⁰. Hierbij worden de verliezen tijdens transport van warmte meegenomen, dit is dus een ander proces dan warmte input.

6.5.2.7 Biomethaan

Biomethaan met aardgaskwaliteit kan in Vlaanderen ingevoerd worden in het aardgasnetwerk waar nu gas uit Slochteren (Nederland) in gepompt wordt³¹. Dit gas wordt hierna ergens toegepast, waarbij het uiteindelijk verbrand wordt (of het nu eerst toegepast wordt in een product of niet). Geproduceerd biomethaan vervangt hiermee:

- conventionele aardgaslevering via het aardgasnetwerk;
- de fossiele CO₂-emissies die vrijkomen bij verbranding van aardgas.

Beiden komen voor in het proces voor warmte uit aardgas zoals hierboven besproken³², hieruit zijn de andere emissies behalve CO₂-emissies verwijderd.

6.5.2.8 Diesel

Geproduceerde diesel kan ingezet worden als brandstof zoals conventionele diesel gebruikt wordt. Deze diesel wordt hierna ergens toegepast, waarbij het uiteindelijk gebruikt wordt als brandstof. Geproduceerd diesel vervangt hiermee:

- conventionele diesellevering³³;
- de fossiele CO₂-emissies die vrijkomen bij verbranding van diesel³⁴.

Voor de fossiele emissies is uitgegaan van een fossiele koolstofinhoud van 0,861 kg koolstof per kg diesel.

6.5.2.9 Verwerkte kunststoffen

De verwerkte kunststoffen zijn teruggebracht naar een vorm waarbij ze ingezet kunnen worden in een nieuw kunststofproduct. Dit betekent dat de kwaliteit van het geproduceerde kunststof (kunststof granulaat of flake) goed genoeg is om te gebruiken in producten. Het materiaal dat conventioneel gebruikt wordt voor dit kunststofproduct verschilt per type kunststof. Zie Tabel 30 voor het type materiaal dat uitgespaard wordt per type verwerkte kunststof.

In het geval van folies en mixed kunststof wordt het materiaal verwerkt tot een kunststof composiet dat met name gebruik wordt in straatmeubilair. Conventioneel bestaat dit meubilair uit hout (hardhout of verduurzaamd hout), beton, PP of gecoat staal. Elk van deze materialen wordt in een 1/4^{de} van de

²⁸ Tap water {Europe without Switzerland} | market for.

²⁹ Water, rivier, BE.

³⁰ Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} | market for heat, district or industrial, natural gas.

³¹ De extractie van aardgas in Nederland wordt afgebouwd, en de vraag is dus of dit rond 2030 nog het geval is. Mocht er echter geen aardgas uit Nederland geïmporteerd worden, dan zal het gaan om aardgas uit bijvoorbeeld Rusland. Deze aardgas heeft een iets andere samenstelling. Deze verandering in samenstelling nemen we niet mee omdat de precieze samenstelling van aardgas in het Vlaamse aardgasnetwerk nog niet bekend is.

³² Electricity, medium voltage {NL} | natural gas burned in gas turbine, for compressor station. Dit proces beschrijft de emissies uit verbranding van 0,298913043478261 m³ aardgas. Hierbij is gekozen voor een proces over Nederland, omdat dit proces voor België niet bestaat.

³³ Diesel, low-sulfur {Europe without Switzerland} | market for

³⁴ Uiteraard alleen in zover als de diesel die geproduceerd wordt van biogene oorsprong is. Dit is in het geval van beide technologieën die diesel produceren maar voor een (klein) gedeelte het geval.

toepassingen gebruikt. PP en gemixt kunststof hebben een vergelijkbare dichtheid. In het geval van de andere materialen is de dichtheid verschillend, dan vindt vervanging plaats op basis van volume.

Tabel 30 Type materiaal uitgespaard per type verwerkte kunststof

Type verwerkte kunststof	Type materiaal uitgespaard
HDPE	Virgin HDPE ³⁵
Folies/mixed kunststof	0,175 m ³ hardhout/ton verwerkt kunststof ³⁶
	0,175 m ³ afgelakt niet-hardhout/ton verwerkt kunststof ³⁷
	0,35 m ³ beton/ton verwerkt kunststof ³⁸
	250 kg PP/ton verwerkt kunststof ³⁹
	313 kg gecoat staal/ton verwerkt kunststof ⁴⁰
PP	Virgin PP ⁴¹
PET	Virgin PET ⁴²

Uiteraard kan men nooit helemaal zeker zijn van het feit dat uitgesorteerd en verwerkt kunststof ook daadwerkelijk toegepast wordt in producten. Dit is afhankelijk van zowel de vraag vanuit de markt als de gevraagde prijs voor de uitgesorteerde en verwerkte kunststoffen. Een marktontwikkeling in de toekomst is lastig te maken, en in de analyse gaan we er daarom vanuit dat afzet mogelijk is. Dit wordt verder ondersteunt door de vraag van de verpakkende industrie naar steeds meer circulair kunststof en naar de grote volumes mixed kunststof die in de bouw mogelijk zijn (een sector met grote volumes).

6.5.2.10 Verwerkt ferro metaal

Verwerkt ferro metaal kan ingezet worden in een Electric Arc Furnace (AEF) of in een Blast Furnace (BF) voor productie van nieuw ferro metaal (staal). Hiermee wordt de productie van virgin ijzerproductie vermeden. We gaan hierbij uit van de vervanging van ruwijzer⁴³.

Door de grote vraag naar staal en het tekort aan schroot op de markt lijkt het onwaarschijnlijk dat dit uitgesorteerde materiaal niet ingezet kan worden en kan zorgen voor de vervanging van ruwijzer.

6.5.2.11 Verwerkt non-ferro metaal

Voor de vervanging van verwerkt non-ferro metaal gaan we uit van de vervanging van: aluminium (60%), koper (20%) en zink (20%).

In het geval van aluminium wordt de productie van nieuwe aluminium vermeden maar hiervoor moet het gesorteerde secundaire aluminium wel eerst opnieuw opgewerkt worden (een deel zal zijn geoxideerd) en daarna opnieuw gesmolten. Hiervoor gebruiken we twee afzonderlijke processen uit de Ecoinvent-database: een met milieugegevens over de opwerking⁴⁴ en een met milieugegevens over de vervanging van de marktmix van aluminium⁴⁵. Voor koper geldt hetzelfde en worden ook twee processen uit de Ecoinvent-database

³⁵ Polyethylene, high density, granulate {GLO} | market for. Transport is uit dit proces verwijderd.

³⁶ Roundwood, azobe from sustainable forest management, under bark {GLO} | market for. Transport is uit dit proces verwijderd.

³⁷ Roundwood, parana pine from sustainable forest management, under bark {GLO} | market for roundwood, parana pine from sustainable forest management, under bark. Aangenomen dat dit geïmpregneerd is met 0,131 kg lak "Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {GLO} | market for". Transport is uit deze processen verwijderd.

³⁸ Concrete, normal {CH} | market for. Transport is uit dit proces verwijderd.

³⁹ Propylene, granulate {GLO} | market for. Transport is uit dit proces verwijderd.

⁴⁰ Steel, low-alloyed {GLO} | market for. Transport is uit dit proces verwijderd. Aangenomen dat dit gecoat is met zink voor 20 m² "Zinc coat, pieces {GLO} | market for".

⁴¹ Propylene, granulate {GLO} | market for. Transport is uit dit proces verwijderd.

⁴² Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous {GLO} | market for. Transport is uit dit proces verwijderd.

⁴³ Pig iron {GLO} | market for.

⁴⁴ Aluminium, cast alloy {RER} | treatment of aluminium scrap, post-consumer, prepared for recycling, at refiner. Hieruit zijn de infrastructuurprocessen en de input van aluminium scrap verwijderd.

⁴⁵ Aluminium, primary, ingot {Al Area, EU27 & EFTA} | market for. Hieruit is transport verwijderd.

gebruikt: de verwerking van secundair koper⁴⁶ en vervanging van de marktmix van koper⁴⁷. Voor zink zijn er niet zulke gedetailleerde processen beschikbaar. Hierbij gaan we uit van de vervanging van de marktmix van zinkproductie⁴⁸.

Door de hoge waarde van non-ferro metaal en het feit dat het metaal uitgesorteerd beschikbaar komt is het onlogisch dat het materiaal niet ingezet wordt en de productie van primair materiaal vervangt.

6.5.2.12 Verwerkt inert materiaal

Het verwerkte inert materiaal kan ingezet worden in bouw materiaal, als ophoogmateriaal of vulmiddel in bijvoorbeeld beton. We gaan uit van een vervanging van zand.⁴⁹

⁴⁶ Copper {RER} | treatment of scrap by electrolytic refining.

⁴⁷ Copper {GLO} | market for.

⁴⁸ Zinc {GLO} | market for.

⁴⁹ "Sand {GLO} market for". Transport is uit dit proces verwijderd.

7 BEDRIJFSECONOMISCHE ASPECTEN

7.1 INLEIDING

De kern van dit onderzoek gaat over de milieueffecten van de technieken. Daarnaast is er beperkt gekeken naar bedrijfseconomische effecten, met name naar de verwerkingscapaciteit, de flexibiliteit en investeringskosten van de technieken. Dit hoofdstuk is niet bedoeld om *business cases* te presenteren of de geselecteerde technieken te rangschikken op financiële haalbaarheid. Binnen de randvoorwaarden van dit onderzoeksproject was het niet mogelijk om een compleet beeld van de kosten en baten te verkrijgen. Met de investeringskosten geven we een eerste beeld.

7.2 VERWERKINGSCAPACITEIT EN FLEXIBILITEIT

We vergelijken de verwerkingscapaciteit en flexibiliteit en robuustheid van de verschillende nascheidingstechnieken en voor de verschillende technieken die geselecteerd zijn voor residuverwerking.

7.2.1 Nascheidingstechnieken

Tabel 31 geeft een indicatie van de verwerkingscapaciteit en flexibiliteit van verschillende nascheidings-technieken. Voor alle technieken is dit gebaseerd op operationele installaties behalve voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage (RenaSci). In dit laatste geval zal, als alles goed loopt, de installatie in 2019 in gebruik worden genomen en zijn de vermeldde getallen dus inschattingen. Hierbij moet wel aangegeven worden dat deze installatie niet bedoeld is voor de verwerking van huisvuil, de precieze capaciteit voor een installatie gericht op huisvuil is nog niet bekend.

Alleen de AVI en de AVI+ richten zich ook op het verwerken van grof huishoudelijk afval. Deze technieken zijn daarmee robuuster en flexibeler dan de andere technieken.

Tabel 31 Verwerkingscapaciteit en flexibiliteit nascheidingstechnieken vergeleken met referentiescenario's

Techniek	Verwerkings- capaciteit kton afval/jaar	Nascheiding	
		Flexibiliteit en robuustheid (+=goed, ++ zeer goed, +++ uitmuntend, - matig en ?= onzeker)	Installatie in gebruik
Mechanische scheiding, thermochemische verwerking	120 kton is gepland voor ingebruikname 2019	- Max 1% halogenen aan input in thermochemische verwerking. PVC, PTFE en PET worden daarom uitgesorteerd.	Vergunning verleend aan RenaSci, Oostende, voor afvalfractie exclusief huisvuil, bouw start december 2018 verwachte start operatie najaar 2019.
Natte scheiding, natte vergisting	120 kton (Doherty, 2019)	? Installatie met enzymen kan verstoord worden door toxische stoffen in input.	Renescience (Ørsted) in Northwich; volledig in bedrijf naar verwachting in 1e helft 2019 (Doherty, 2019). Functioneerde eind 2018 op 50% capaciteit.
Droge scheiding, droge vergisting	100–520 kton verwerkt in	++ Robuuste techniek die versturende stoffen door- geleidt naar AVI.	— Oudehaske Friesland Nederland sinds 2002 eerst gericht op afscheiding van een hoogcalorische fractie voor energieteerugwinning en sinds 2007

Nascheiding			
Techniek	Verwerkings- capaciteit kton afval/jaar	Flexibiliteit en robuustheid (+=goed, ++ zeer goed, +++ uitmuntend, - matig en ?= onzeker)	Installatie in gebruik
	4 verschillende installaties (2015) ⁵⁰		gericht op recyclage en in 2015 aangevuld met drankenkartonafscheiding (Omrin, 2018). – Wijster Drenthe Nederland door Attero sinds 2010 – Groningen, Nederland door Attero sinds 2008 – Amsterdam, Nederland AEB, sinds 2018
Droge scheiding, zonder biologische behandeling	140 kton HVC en 200 kton AVR (Verbraeken, 2018)	++ Robuuste techniek die verstorende stoffen door- geleidt naar AVI.	– HVC, Alkmaar, Nederland sinds 2017 – AVR, Rozenburg Nederland, medio 2018
Mechanisch-biologische scheiding	150 kton installatie (117 kton verwerkt in 2017)	++ Verstorende stoffen worden vooraf uit- gesorteerd.	IOK/IVAREM Sinds 2006, Geel, regio Mechelen, België.
OVS droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie	73,5 kton per jaar waarvan 66 kton huisvuil en capaciteit vergisting 40 kton	++/- Robuuste techniek, met als nadeel dat compost niet mag worden afgezet in Vlaanderen. (daarom -)	Bourg-en-Bresse, Frankrijk in bedrijf sinds juni 2016.
Referentiescenario's			
Conventionele AVI/AVI+	65–510 kton verwerkt (2016)	+++ Zeer robuuste techniek geschikt voor divers afval.	Vanaf de jaren '70 vele installaties in bedrijf.

Bron: Alle getallen van de techniekontwikkelaars, behalve als anders aangegeven.

7.2.2 Residuverwerkingstechnieken

In

⁵⁰ Gebaseerd op drie verschillende verwerkingslocaties van Omrin en Attero in Nederland. Omrin heeft een verwerkingscapaciteit van 210 kiloton. Attero in Wijster heeft een capaciteit van 520 kton.

Tabel 32 worden de verwerkingscapaciteiten weergegeven voor de residuverwerkingstechnieken. Hierbij is duidelijk dat de capaciteiten nog een stuk onzekerder zijn omdat de technieken nog niet toegepast worden in Nederland en/of België. De geplande mediumtemperatuurvergassingsinstallatie in Rotterdam kan dezelfde orde grootte materiaal verwerken als de bestaande AVIs in Vlaanderen. Verwacht wordt dat grootschalige commerciële exploitatie in 2021 van start zal gaan.

De hydropyrolyse-installaties die in ontwikkeling zijn hebben een kleinere capaciteit van rond de 10 kton en kunnen meer lokaal ingezet worden.

Tabel 32 Verwerkingscapaciteit residuverwerking vergeleken met referentiescenario's

Residuverwerking				
Techniek	Verwerkingscapaciteit Ton afval/jaar	Bedrijfstijd uur/jaar	Flexibiliteit en robuustheid (+=goed, ++ zeer goed, +++ uitmuntend, - matig en ?= onzeker)	Installatie in gebruik
Geïntegreerde hydropyrolyse	10 kton	8.000	?+ Green Modem: biomassa/plastic mengsels input > 14 GJ/ton, met extra voor- droging met warmte uit syngas WKK is later mogelijk ?+ TCR Fraunhofer Susteen idem, kan ook zuiveringsslib verwerken ?+	Green Modem: Ontwikkelplan gereed voor intrede markt 2020 à 2022 gedistribueerde aanpak met 10 kton/jaar. TCR Fraunhofer (Susteen): H2020 ontwikkelingsproject, opschaling. IH2 (GTI-Shell) op pilotschaal, starten in 2019 met opschaling.
Referentiescenario's				
Conventionele AVI/AVI+	65-510 kton verwerkt (2016)	Ca. 7.860 (90%)	+++ Zeer flexibel	Vanaf de jaren '70.

Bron: Alle getallen van de techniekontwikkelaars, behalve als anders aangegeven.

De Green Modem hydropyrolysetechniek heeft afval nodig met een stookwaarde groter dan 14 MJ/kg en rapporteert een bedrijfstijd van 8.000 uur per jaar. Het gaat om een volcontinu proces met vier weken onderhoud per jaar. Hydropyrolyse is nog niet in gebruik maar wordt door verschillende partijen ontwikkeld.

7.3 INVESTERINGSKOSTEN

7.3.1 Nascheidingskosten

Tabel 33 geeft een indicatie van de investeringskosten per kton verwerkingscapaciteit van verschillende nascheidings technieken. Deze getallen zijn gebaseerd op openbare gegevens voor de investeringskosten. Onder de tabel geven we toelichting over hoe de constructiekosten bepaald zijn.

Tabel 33 Investeringskosten nascheidings technieken vergeleken met referentiescenario's

Techniek	Investeringskosten exclusief investeringskosten voor deel dat nog verbrand wordt. €/kton verwerkingscapaciteit	Aandeel afval nog naar AVI, AVI+ of hydropyrolyse	Investeringskosten nascheidings techniek inclusief investeringskosten deel naar AVI
Mechanische scheiding, thermochemische recyclage(RenaSci)	€ 0,47 mln/kton	0%	€ 0,47 mln/kton
Natte scheiding, natte vergisting (Renescience)	€ 0,65 mln/kton	53%	€ 0,65 + € 0,53 = € 1,18 mln/kton
Droge scheiding, droge vergisting (Omrin, Attero AEB)	€ 0,19 mln/kton	61,5%	€ 0,19 + € 0,615 = € 0,81 mln/kton
Mechanisch-biologische scheiding (IOK)	€ 0,33 mln/kton	76,5%	€ 0,33 + € 0,765 = € 1,10 mln/kton
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie (OWS)	€ 0,74 mln/kton	71%	€ 0,74 + € 0,71 = € 1,45 mln/kton
Investeringskosten bij 100% verbranding			
Conventionele AVI	Nieuw € 1,0 mln/kton (JRC; Ricardo AEA Ltd; Bio by Deloitte, 2016)	100%	€ 1,0 mln/kton
AVI+	€ 1,375 mln/kton (excl. constructie van warmtenet)	100%	€ 1,375 mln/kton

Bron: Alle getallen van de techniekontwikkelaars, behalve als anders aangegeven in de toelichting onder tabel.

Als het gaat om door initiatiefnemers gerapporteerde investeringskosten voor alle installaties (inclusief scheiding en residu deels naar AVI), dan heeft 'mechanische scheiding, thermochemische verwerking' (RenaSci) de laagste investeringskosten. Deze kosten zijn ongeveer de helft van de investeringskosten voor een AVI. Investeringskosten voor 'droge scheiding, droge vergisting' (Omrin, Attero AEB) zijn ongeveer 80% van de investeringskosten voor een conventionele AVI. Voor de andere technieken geldt dat de investeringskosten inclusief verwerking van het residu in een AVI hoger zijn dan de investeringskosten voor een AVI. 'Mechanisch-biologische scheiding' (IOK) heeft 10% hogere investeringskosten (in de praktijk gaat het residu naar een SRF/RDF-verwerker met andere investeringskosten dan een AVI), 'natte scheiding, natte vergisting' (Renescience) 18% hogere kosten en 'droge scheiding, droge vergisting' inclusief compostproductie (OWS) 45% hogere kosten.

De relatief hoge kosten voor deze laatstgenoemde techniek zijn vooral te wijten aan het feit dat de compost die deze installatie produceert in Vlaanderen niet als compost afgezet mag worden (zoals in Frankrijk op dit moment mag en wel gebeurt). Het is zeer onzeker of dit blijvend is omdat de Europese richtlijn meststoffen dit zou kunnen gaan verbieden.

7.3.1.1 Mechanische scheiding, thermochemische recyclage

De constructiekosten voor de RenaSci-installatie bedragen € 63 mln bij een verwerkingscapaciteit van 120 kton (De Tijd (red.), 2017). RenaSci zelf meldt dat dit bijgesteld is naar € 56 mln is gelijk aan € 0,47 mln per kiloton. De constructiekosten voor de installatie zijn voor de huidige te bouwen installatie voor afval waar een vergunning voor verleend is. Hier valt huisvuil niet onder. Om huisvuil te verwerken is nog een voorbereidingsstap nodig, dit is niet inbegrepen in de constructiekosten. RenaSci geeft aan dat om huisvuil te verwerken met de geplande installatie alleen de reeds aanwezige trommelzeef moet worden aangepast van 50 naar 80 mm om zo de organische natte fractie af te zeven die naar de HTC kan, dan wel naar de enzymatische verwerking in de toekomst. De investering hiervan is zeer klein. Totaal zouden de constructiekosten voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage dan ongeveer neerkomen op 470.000 per kiloton verwerkingscapaciteit. RenaSci geeft aan dat er geen residu ontstaat en dat alle materialen verwerkt worden en als product worden afgezet. Als toch een deel van de residu's afgezet moet worden naar een AVI dan zouden de totale investeringskosten van deze installatie hoger worden. De praktijk zal leren of dit werkelijk mogelijk is.

7.3.1.2 Droge scheiding, droge vergisting

De constructiekosten voor een installatie met zowel droge scheiding en droge vergisting zijn onbekend maar kunnen samengesteld worden uit twee elementen. Een mechanische scheidingsinstallatie voor de gemeente Amsterdam kostte recent ongeveer € 40 mln bij een verwerkingscapaciteit van 300 kton per jaar (Didde, 2017), als aanvulling op de al eerdere gebouwde AVI van AEB. Dit komt neer op constructiekosten van € 133.000 per kiloton verwerkingscapaciteit. Uit deze installatie komt 25% (bedrijfsafval) a 45% (huishoudelijk afval) aan biologisch materiaal dat vergist kan worden. De kosten voor een allesvergister (dus niet alleen gericht op organisch materiaal uit huisvuil) bedragen ongeveer € 6 miljoen voor de verwerking van 50 kton per jaar⁵¹. Als de vergister op 50% van de input ontworpen wordt (iets meer dan max 45% input) dan voegt dit € 60.000⁵² per kiloton afvalinput per jaar toe. Totaal geeft dit (133 + 60 =) € 193.000 per kiloton investeringskosten. Daarbij moet worden opgemerkt dat het hier gaat om de kosten voor deze installatie als aanvulling op een AVI/AVI+.

7.3.1.3 Natte scheiding, natte vergisting

De voorziene constructiekosten voor een Renaissance-installatie in Nederland zijn € 77,4 mln bij een verwerkingscapaciteit van 120 kton (Theeuwen, 2016). Een installatie in Vlaanderen zou een vergelijkbare prijs hebben, omdat de installatie een vergelijkbare verwerking van huisvuil zou uitvoeren. Dit komt neer op constructiekosten van ongeveer € 650.000 per kiloton verwerkingscapaciteit. De installatie in het VK draaide eind 2018 op 50% en had nog technische problemen welke naar verwachting in 2019 opgelost worden. Dan kan ook worden geëvalueerd of deze vooraf ingeschatte kosten bijgesteld moeten worden.

7.3.1.4 Mechanisch-biologische scheiding

De constructiekosten voor de huidige MBS-installatie in Vlaanderen was € 40 mln bij een verwerkingscapaciteit van 120 kton per jaar (Boeckx, 2014). Dat komt neer op € 333.333 per kiloton verwerkingscapaciteit.

7.3.1.5 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie

De investeringskosten voor de installatie gebouwd door OWS in Bourg-en-Bresse waren 56 miljoen voor een capaciteit van 73,5 kton. Dat is € 0,77 mln per kiloton. In Vlaanderen zijn er plannen voor € 67,5 mln en een capaciteit van 91,5 kton. Dat is € 740.000 per kton. We gaan uit van deze laatste waarde.

⁵¹ Gebaseerd op investeringskosten ingeschat door TNO voor de bepaling van SDE+ subsidies voor 2018 in Nederland.

⁵² Per kiloton afvalinput is er maximaal 0,5 kton biomateriaal voor de vergister. Een vergister van 50 kton kost €6 miljoen. Voor 0,5 kton is dat dus 100 maal minder is gelijk aan € 60.000,-. Dit bedrag moet per kton afval toegevoegd worden aan deze investeringsinschatting.

7.3.1.6 Conventionele AVI

De constructiekosten voor een conventionele AVI zijn volgens (JRC; Ricardo AEA Ltd; Bio by Deloitte, 2016) ongeveer € 1 mln per kton verwerkingscapaciteit.

7.3.1.7 AVI+

De constructiekosten voor de Amager Bakke AVI in Kopenhagen die model staat voor de AVI+ bedragen ongeveer € 550 mln bij een verwerkingscapaciteit van 400 kton (Business Insider, 2018). Dat komt neer op € 1.375.000 per kiloton verwerkingscapaciteit. Deze installatie is gebouwd in stedelijk gebied met veel aandacht voor architectuur en inpassing in de omgeving wat waarschijnlijk deels deze relatief hoge kosten verklaart. (In Voetnoot 53 (zie volgende pagina) is ook ingeschat hoe deze kosten opwegen tegen de waarde van de warmte.)

7.3.2 Residuverwerkingstechnieken

Tabel 34 geeft een indicatie van de constructiekosten per kton verwerkingscapaciteit van verschillende residuverwerkingstechnieken. Deze getallen zijn gebaseerd op openbare gegevens voor de constructiekosten. Onder tabel geven we toelichting over hoe de constructiekosten bepaald zijn.

Tabel 34 Financieel-economische aspecten residuverwerking vergeleken met referentiescenario's

Techniek	Constructiekosten €/kton verwerkingscapaciteit	Kostenopgaaf fabrikanten
Geïntegreerde hydropyrolyse	€ 0,670 mln/kton, op basis van opgaven techniekontwikkelaar.	SOFC.nl holding 20 €/ct/liter (SOFC.nl, 2017), terugverdientijd investering ongeveer 2 jaar.
Conventionele AVI	Geen, als al gebouwd, nieuw € 1,0 mln/kton (JRC; Ricardo AEA Ltd; Bio by Deloitte, 2016).	
AVI+	€ 1,375 mln/kton (Business Insider, 2018).	

Bron: Alle getallen van de techniekontwikkelaars, behalve als anders aangegeven in de toelichting onder tabel.

Geïntegreerde hydropyrolyse rapporteert lagere investeringskosten dan een verbrandingsinstallatie maar wordt op dit moment nog uitontwikkeld. Als de kosten 50% hoger uitvallen dan zijn deze gelijk aan de kosten voor een conventionele AVI, als ze 100% hoger uitvallen dan zijn ze ongeveer gelijk aan de kosten voor een AVI+. De AVI+ die hier gemodelleerd is naar de nieuwe AVI in Copenhagen, heeft 37% hogere investeringskosten dan een conventionele AVI. Een globale berekening geeft aan dat deze meerkosten terugverdiend⁵³ kunnen worden in circa 12,5 jaar als de warmte afgezet kan worden.

7.3.2.1 Geïntegreerde hydropyrolyse

De constructiekosten voor hydropyrolyse zijn geschat op € 5,3 mln voor de installatie, € 1,1 mln voor de generator en € 0,3 mln voor infrastructuur eromheen⁵⁴. Dit is een totaal van € 6,7 mln voor een capaciteit van 10 kton. Dit komt neer op € 670.000 per kton afval verwerkt.

7.4 CONCLUSIES

De combinaties van technieken bestaan veelal uit een eerste stap die stromen sorteert en deels verwerkt en tweede stap die het residu uit de eerste stap verwerkt.

⁵³ Met een thermisch rendement van 71% en een elektrisch rendement van 28% wordt ongeveer evenveel elektriciteit geproduceerd als door de huidige Vlaamse AVI met het hoogste rendement (30%) en is het thermisch rendement 71-15,5% = 55,5% hoger. Het gaat totaal om 400 kton x 10 GJ/ton x 55,5% = 2.200 TJ warmte extra. Met een marktwaarde op de Benelux markt van 20 €/MWth = 5,5 €/GJ levert die extra warmte 12 miljoen euro op per jaar. De meerkosten voor de AVI+ in Copenhagen zijn 400 kton x 0,375 = 150 mln. De meerprijs van de AVI+ zou zo na ongeveer 12,5 jaar terugverdiend zijn.

⁵⁴ Informatie ontvangen van GreenModem.

Qua robuustheid en flexibiliteit scoren vooral AVI en AVI+ goed, met name omdat zij ook grof huishoudelijk afval kunnen verwerken. 'Droge scheiding, droge vergisting' 'droge scheiding zonder biologische behandeling' en ook 'mechanisch-biologische scheiding' hebben zich in combinatie met een AVI of AVI+ bewezen als robuuste techniek. Qua investeringskosten worden de laagste investeringskosten gerapporteerd voor 'mechanische scheiding, thermochemische recyclage' (RenaSci). Deze zijn ongeveer de helft van de investeringskosten voor een AVI. Deze techniek moet zich echter nog bewijzen. Al wel in bedrijf is 'droge scheiding, droge vergisting' (Omrin, Attero en AEB) in combinatie met een AVI. Deze combinatie heeft ook relatief lage investeringskosten: ongeveer 80% van de investeringskosten voor een AVI.

Voor het verwerken van residu worden voor hydropyrolyse door initiatiefnemers lagere kosten gerapporteerd dan voor een AVI. Deze techniek moet zich echter nog bewijzen. De AVI+ die hier gemodelleerd is naar de nieuwe AVI in Kopenhagen heeft 37% hogere investeringskosten dan een standaard AVI. Afhankelijk van de mogelijkheid om warmte af te zetten geeft een grove terugverdienberekening aan dat deze meerkosten terugverdiend kunnen worden in ongeveer 12,5 jaar.

De investeringskosten zijn echter maar een deel van het financiële plaatje, de variabele kosten en waarde van de outputs zijn niet meegenomen. Ze geven een eerste beeld dat nieuwe technieken zeker niet duurder hoeven te zijn dan de huidige verwerking. Voor een compleet financieel beeld dienen er offertes opgevraagd te worden bij techniekleveranciers.

In Tabel 35 en Tabel 36 zijn de verschillende parameters op het gebied van bedrijfsvoering kwalitatief samengevat.

Tabel 35 Overzicht bedrijfsvoering van de bestaande verwerkingstechnieken (scheiding en sorteerresidu verwerking) 2020-2025 (0= referentie 0/+=beperkt beter +=goed, ++ zeer goed, +++ uitmuntend, - matig, --slecht of niet en ?= onzeker)

Scheidingstechniek	Residu verwerkingstechniek	Flexibiliteit en robuustheid	Investeringskosten (+ = lagere kosten dan AVI - = hogere kosten dan AVI)	Geschikt voor bedrijfsafval gelijkend op huisvuil	Geschikt voor grofvuil
Droge scheiding, droge vergisting	AVI	++	0\	++	--
Mechanisch-biologische scheiding	AVI	++	-	++	--
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie	AVI	++	--	++	--
Referentiescenario's					
Conventionele AVI		+++	0=referentie	++	++

NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modelering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.

Tabel 36 Overzicht bedrijfsvoering van de theoretische verwerkingstechnieken (scheiding en sorteerresidu verwerking) 2025-2030 (0= referentie 0/+=beperkt beter +=goed, ++ zeer goed, +++ uitmuntend, - matig, --slecht of niet en ?= onzeker)

Scheidingstechniek	Sorteerresidu verwerking	Flexibiliteit en robuustheid	Investeringskosten (+ = lagere kosten dan AVI - = hogere kosten dan AVI)	Geschikt voor bedrijfsafval gelijkend op huisvuil	Geschikt voor grofvuil
Mechanische scheiding, thermo-chemische verwerking	n.v.t.	-	+	++	--
Natte scheiding, natte vergisting	AVI+ of hydrolyse	?	-	++	--
Droge scheiding, droge vergisting	AVI+ of hydrolyse	++	0/+	++	--
Mechanisch-biologische scheiding	AVI+	++	-	++	--
	hydrolyse			++	
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie	AVI+ of hydrolyse	++/-	--	++	--
Referentiescenario's					
Conventionele AVI		+++	0=referentie	++	++
AVI+		+++	+/- afhankelijk opbrengst warmte afzet	++	++

NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.

8 GRONDSTOFEFFICIËNTIE – HUISVUIL EN BEDRIJFSAFVAL GELIJKAARDIG AAN HUISVUIL

8.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk beschrijft de hoeveelheid nuttig eindproduct per verwerkroute per ton Vlaams huisvuil. Elke verwerkroute levert nuttige eindproducten: grondstoffen en/of brandstoffen op. De grondstoffen kunnen worden ingezet in nieuwe (consumenten)producten; de brandstoffen (kunnen) worden ingezet in transportmiddelen of voor opwekking van elektriciteit en/of warmte. Het verschilt per verwerkroute welke nuttige eindproducten worden opgeleverd en hoeveel. Het gaat hierbij om de netto geleverde eindproducten, dit is dus het geleverde product minus de gebruikte hoeveelheid van hetzelfde product.

Meer is niet beter, noodzakelijkerwijs

Belangrijke notie bij dit hoofdstuk is dat meer niet noodzakelijkerwijs ook milieukundig en economisch beter is. Dit hangt sterk af van:

- hoeveel energie (anders dan elektriciteit) nodig is voor productie;
- de eigenschappen van de geproduceerde brandstof/grondstof (wat kan men er mee).

Een eerlijke vergelijking van de verwerkroutes op basis van de hoeveelheid geproduceerde eindproducten per ton afval is dus niet mogelijk. De waarde en kwaliteit van de eindproducten verschillen daarvoor te veel. Om deze reden wordt in dit rapport ook onderzoek gedaan naar de milieukundige kant van de verwerkroutes.

In Sectie 8.2 wordt de hoeveelheid nuttig eindproduct weergegeven voor de verschillende routes. In deze sectie wordt nog geen vergelijking gemaakt omdat deze verwerkroutes allen een andere staat van ontwikkeling hebben.

In Sectie 8.3 vergelijken we de verwerkroutes op basis van de indeling zoals beschreven in Sectie 4.3 (bestaande verwerkroutes en theoretische verwerkroutes). Hiervoor maken we gebruik van een efficiëntie voor de volgende stromen:

- energie-efficiëntie: het aandeel van de lage verbrandingswaarde van het huisvuil of bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil dat tot uitdrukking komt als energie (geleverde warmte, elektriciteit en de lage verbrandingswaarde van de brandstoffen diesel en biomethaan);
- metaalefficiëntie: het aandeel metalen in het huisvuil of bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil dat de productie van een nieuw metaal voorkomt (ferro of non-ferro metaal);
- kunststofefficiëntie: het aandeel kunststoffen in het huisvuil of bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil dat verwerkt wordt tot plastic granulaat.

8.2 GRONDSTOFEFFICIËNTIE PER VERWERKROUTE

8.2.1 Huisvuil

Volgende tabellen tonen, per verwerkroute, de geproduceerde eindproducten. De hoeveelheid is de netto geleverde hoeveelheid: na aftrek van eventueel verbruik van elektriciteit in de eigen faciliteit, voor het productieproces. Per tabel wordt aangegeven, waar mogelijk, wat de totale input is in 1 ton huisvuil.

Dit is mogelijk in het geval van energieproductie (incl. brandstofproductie) en terugwinning van een aantal grondstoffen zoals metalen en kunststoffen. Het is niet mogelijk om dit te doen voor inert materiaal, omdat een deel van de fracties in de input een inert gedeelte bevatten (bijvoorbeeld zand in tuinafval).

8.2.1.1 Conventionele AVI en AVI+

Tabel 37 laat een vergelijking zien van de eindproducten geproduceerd door verwerking van 1 ton huisvuil in een conventionele AVI en een AVI+. Zoals te verwachten levert de AVI+ een hogere hoeveelheid elektriciteit en warmte (door een hoger elektrisch en thermisch rendement) evenals een hogere terugwinning van ferro metaal, non-ferro metaal en inert materiaal geschikt voor inzet als bouwstof. Dit laatste komt door de potentiële ontwikkeling in de verwerking van bodemas. Uit de tabel is duidelijk dat de AVI, of dit nu de conventionele AVI of de AVI+ is, zich richt op energieproductie.

Tabel 37 Eindproducten conventionele AVI en AVI+ huisvuil (Gebaseerd op redementen van 2016, zie Bijlage B.1)

Geproduceerd product	Conventionele AVI <i>Hoeveelheid</i>	AVI+ <i>Hoeveelheid</i>	Totaal input in 1 ton huisvuil
Energie			
Elektriciteit	1.930 MJ	2.970 MJ	10.620 MJ
Warmte	712 MJ	7.550 MJ	
Metaal			
Ferro metaal	14,1 kg	15,4 kg	16,2 kg
Non-ferro metaal	2,8 kg	3,2 kg	4,8 kg
Overig			
(Inert)	(143 kg)	(180 kg)	(Niet bepaald)

8.2.1.2 Mechanische scheiding, thermochemische recyclage

Tabel 38 laat de eindproducten zien die voortkomen uit de verwerking van 1 ton huisvuil via mechanische scheiding en thermochemische recyclage zoals theoretisch bepaald voor de te bouwen RenaSci-installatie in Vlaanderen. Hierbij wordt elektriciteit en warmte geproduceerd evenals diesel. Verder wordt zowel een groot deel van het metaal aanwezig in het afval evenals drie kunststofstromen en papierpulp uit drankenkartons worden teruggewonnen. Mechanische scheiding en thermochemische recyclage richt dus zowel op energierugwinning als op grondstofterugwinning.

De diesel die geproduceerd wordt via een thermolyse stap is van vergelijkbare, of betere kwaliteit, als conventionele diesel. Er zijn testen uitgevoerd door Intertek voor RenaSci waaruit blijkt dat bij het gebruik van deze diesel in plaats van conventionele diesel de NO_x-emissies lager zijn bij toepassing als brandstof in een voertuig⁵⁵.

⁵⁵ Deze testen zijn uitgevoerd op de diesel die geproduceerd is in de test P2C installatie zoals deze gerealiseerd is door Petrogas (BlueAlp).

Tabel 38 Eindproducten mechanische scheiding, thermochemische recyclage – huisvuil

Geproduceerd product	Mechanische scheiding, thermochemische recyclage <i>Hoeveelheid</i>	Totaal input in 1 ton huisvuil
Energie		
Elektriciteit	425 MJ	10.620 MJ
Warmte	159 MJ	
Diesel	55,0 kg (2.514 MJ)	
Metaal		
Ferro metaal	16,2 kg	16,2 kg
Non-ferro metaal	3,1 kg	4,8 kg
Kunststof		
PP	19,1 kg	27,3 kg
HDPE	19,1 kg	27,3 kg
PET	26,2 kg	27,3 kg
Overig		
Papierpulp	5,0 kg	10,6 kg *
(Inert)	(167 kg)	(Niet bepaald)

* Papierpulp komt voort uit drankenkartons, hoeveelheid aangegeven als input is het papiergedeelte in drankenkartons in de input.

8.2.1.3 Natte scheiding, natte vergisting

Tabel 39 laat de eindproducten zien die voortkomen uit de verwerking van 1 ton huisvuil via natte scheiding en natte vergisting, mocht een installatie in Vlaanderen gebouwd worden. Natte scheiding, natte vergisting richt zich zówel op energierugwinning als op grondstofruggwinning. De resultaten worden weergegeven voor natte scheiding, natte vergisting in combinatie met een residuverwerkingstechniek (AVI, AVI+ of hydrolyse).

Voor de metalen en plastics gaat het hierbij om materiaal ná alle verwerkingsstappen, dus uitsortering en opwerking. Bijv. 16,3 kg HDPE is 16.3 kg HDPE granulaat dat opnieuw ingezet kan worden in een product.

Tabel 39 Eindproducten natte nascheiding, natte vergisting – huisvuil

Geproduceerd product	Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI <i>Hoeveelheid</i>	Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+ <i>Hoeveelheid</i>	Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydropyrolyse <i>Hoeveelheid</i>	Totaal input in 1 ton huisvuil
Energie				
Elektriciteit	425 MJ	855 MJ	323 MJ	10.620 MJ
Warmte	264 MJ	3.090 MJ	634 MJ	
Diesel	-	-	59,3 kg (2.711 MJ)	
Biomethaan	31 m3 (1.090 MJ)	31 m3 (1.090 MJ)	31 m3 (1.090 MJ)	
Metaal				
Ferro metaal	15,3 kg	15,4 kg	14,4 kg	16,2 kg
Non-ferro metaal	3,5 kg	3,6 kg	3,3 kg	4,8 kg
Kunststoffen				
HDPE	16,3 kg	16,3 kg	16,3 kg	27,3 kg
Folies	27,9 kg	27,9 kg	27,9 kg	41,0 kg
Mixed kunststof	11,1 kg	11,1 kg	11,1 kg	21,1 kg*
PET	17,1 kg	17,1 kg	17,1 kg	27,3 kg
PP	16,3 kg	16,3 kg	16,3 kg	27,3 kg
Overig				
(Inert)	(207 kg)	(227 kg)	(183 kg)	(Niet bepaald)

* Voor mixed kunststof gaan we uit van het overige kunststof (PVC, PS, hard overig kunststof en vuilniszakken) in de input. In de praktijk komen vooral HDPE/folies/PET en PP terecht in deze stroom die niet uitgesorteerd zijn als kunststof monostroom.

8.2.1.4 Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking

Tabel 40 laat de eindproducten zien die voortkomen uit de verwerking van 1 ton huisvuil via droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking, mocht een installatie in Vlaanderen gebouwd worden. Droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking richt zówel op energietेरugwinning als op grondstofferugwinning (bijv. terugwinning van ferrometaal). De resultaten worden weergegeven voor droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking in combinatie met een residuerverwerkingstechniek (AVI, AVI+ of hydropyrolyse).

In het geval van de huidige verwerkroutes wordt het compost verwerkt in een AVI, dit is aangepast in de tabel (er is 0 kg compost als product). In het geval van de toekomstige verwerkroutes wordt de compost afgezet en is er dus inderdaad wel een hoeveelheid compost zoals weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 40 Eindproducten droge nascheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking – huisvuil

Geproduceerd product	Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking, residu naar conventionele AVI <i>Hoeveelheid</i>	Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking, residu naar AVI+ <i>Hoeveelheid</i>	Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking, residu naar hydropyrolyse <i>Hoeveelheid</i>	Totaal input in 1 ton huisvuil
Energie				
Elektriciteit	2.520 MJ	988 MJ	149 MJ	10.620 MJ
Warmte	578 MJ	4.020 MJ	728 MJ	
Diesel	-	-	84,7 kg (3.872 MJ)	
Biomethaan	-	81 m³ (2.835 MJ)	81 m³ (2.835 MJ)	
Metaal				
Ferro metaal	16,0 kg	16,1 kg	15,1 kg	16,2 kg
Non-ferro metaal	2,0 kg	3,3 kg	2,8 kg	4,8 kg
Kunststoffen				
HDPE	0 kg	17,2 kg	17,2 kg	27,3 kg
PET	0 kg	18,1 kg	18,1 kg	27,3 kg
PP	0 kg	17,2 kg	17,2 kg	27,3 kg
Overig				
(Inert)	(156 kg)	(216 kg)	(98 kg)	(Niet bepaald)
(Compost)	(0 kg)	(263 kg)	(263 kg)	(Niet bepaald)

* Voor mixed kunststof gaan we uit van het overige kunststof (PVC, PS, hard overig kunststof en vuilniszakken) in de input. In de praktijk komen vooral HDPE/folies/PET en PP terecht in deze stroom die niet uitgesorteerd zijn als kunststof monostroom.

8.2.1.5 Droge scheiding, droge vergisting

Tabel 41 laat de eindproducten zien die voortkomen uit de verwerking van 1 ton huisvuil via droge mechanische scheiding en droge vergisting, mocht een installatie in Vlaanderen gebouwd worden. Droge scheiding, droge vergisting richt zówel op energieteerugwinning als op grondstofterugwinning. De resultaten worden weergegeven voor droge scheiding, droge vergisting in combinatie met een residuverwerkings-techniek (AVI, AVI+ of hydropyrolyse).

Tabel 41 Eindproducten droge scheiding, droge vergisting – huisvuil

Geproduceerd product	Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI <i>Hoeveelheid</i>	Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+ <i>Hoeveelheid</i>	Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydropyrolyse <i>Hoeveelheid</i>	Totaal input in 1 ton huisvuil
Energie				
Elektriciteit	682 MJ	1.180 MJ	484 MJ	10.620 MJ
Warmte	465 MJ	3.720 MJ	814 MJ	
Diesel	-	-	74,5 kg (3.406 MJ)	
Biomethaan	34 m³ (1.196 MJ)	34 m³ (1.196 MJ)	34 m³ (1.196 MJ)	
Metaal				
Ferro metaal	16,2 kg	16,3 kg	16,0 kg	16,2 kg
Non-ferro metaal	3,8 kg	3,8 kg	3,7 kg	4,8 kg
Kunststof				
HDPE	11,5 kg	11,5 kg	11,5 kg	27,3 kg
Folies	14,9 kg	14,9 kg	14,9 kg	41,0 kg
Mixed kunststof	14,9 kg	14,9 kg	14,9 kg	21,1 kg* ¹
PET	5,4 kg	5,4 kg	5,4 kg	27,3 kg
PP	8,9 kg	8,9 kg	8,9 kg	27,3 kg

Geproduceerd product	Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI <i>Hoeveelheid</i>	Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+ <i>Hoeveelheid</i>	Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydropyrolyse <i>Hoeveelheid</i>	Totaal input in 1 ton huisvuil
Overig				
Papierpulp	5,3 kg	5,3 kg	5,3 kg	10,6 kg**
Inert	(198 kg)	(218 kg)	(176 kg)	(Niet bepaald)

*1 Voor mixed kunststof gaan we uit van het overige kunststof (PVC, PS, hard overig kunststof en vuilniszakken) in de input.

In de praktijk komen vooral HDPE/folies/PET en PP terecht in deze stroom die niet uitgesorteerd zijn als kunststof monostroom.

** Papierpulp komt voort uit drankenkartons, hoeveelheid aangegeven als input is het papiergedeelte in drankenkartons in de input.

8.2.1.6 Mechanisch-biologische scheiding

Tabel 42 laat de eindproducten zien die voortkomen uit de verwerking van 1 ton huisvuil via mechanisch-biologische scheiding van de installatie die op dit moment in Vlaanderen in gebruik is. Mechanisch-biologische scheiding richt zich met name op energieteerugwinning. De resultaten worden weergegeven voor mechanisch-biologische scheiding in combinatie met een residuverwerkingstechniek (AVI, AVI+ of hydropyrolyse).

Bij de geproduceerde eindproducten moet gezegd worden dat mechanisch-biologische scheiding zoals deze nu in gebruik is door IOK/IVAREM meer elektriciteit en warmte oplevert dan weergegeven wordt onder 'residu naar conventionele AVI'. Dit komt omdat de energie-inhoud van het residu uit mechanisch-biologische scheiding het mogelijk maakt om te verwerken in een AVI met een hoger rendement in Vlaanderen dan de gemiddelde conventionele AVI waar we hiervan uitgaan.

Tabel 42 Eindproducten mechanisch-biologische scheiding – huisvuil

Geproduceerd product	Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI <i>Hoeveelheid</i>	Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+ <i>Hoeveelheid</i>	Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydropyrolyse <i>Hoeveelheid</i>	Totaal input in 1 ton huisvuil
Energie				
Elektriciteit	1.620 MJ	2.660 MJ	1.150 MJ	10.620 MJ
Warmte	711 MJ	7.540 MJ	1.390 MJ	
Diesel	-	-	159 kg (7.269 MJ)	
Metaal				
Ferro metaal	16,1 kg	16,2 kg	15,5 kg	16,2 kg
Non-ferro metaal	3,7 kg	3,7 kg	3,6 kg	4,8 kg
Overig				
Inert	(187 kg)	(215 kg)	(105 kg)	(Niet bepaald)

8.2.2 Bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Volgende tabellen tonen, per verwerkroute, de geproduceerde eindproducten. De hoeveelheid is de netto geleverde hoeveelheid: na aftrek van eventueel verbruik van elektriciteit in de eigen faciliteit, voor het productieproces. Per tabel wordt aangegeven, waar mogelijk, wat de totale input is in 1 ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. We benoemen alleen noemenswaardige verschillen met de verwerking van huisvuil.

8.2.2.1 Conventionele AVI en AVI+

Tabel 43 laat een vergelijking zien van de eindproducten geproduceerd door verwerking van 1 ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in een conventionele AVI en een AVI+. Evenals bij huisvuil levert de AVI+ een hogere hoeveelheid elektriciteit en warmte (door een hoger elektrisch en thermisch rendement) evenals een hogere terugwinning van ferro metaal, non-ferro metaal en inert materiaal geschikt voor inzet als bouwstof.

Tabel 43 Eindproducten conventionele AVI en AVI+ – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Geproduceerd product	Conventionele AVI Hoeveelheid	AVI+ Hoeveelheid	Totaal input in 1 ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil
Energie			
Elektriciteit	2.590 MJ	3.980 MJ	14.236 MJ
Warmte	955 MJ	10.115 MJ	
Metaal			
Ferro metaal	15,9 kg	17,4 kg	18,3 kg
Non-ferro metaal	3,4 kg	3,9 kg	5,8 kg
Overig			
(Inert)	(140 kg)	(185 kg)	(Niet bepaald)

8.2.2.2 Mechanische scheiding, thermochemische recyclage

Tabel 44 laat de eindproducten zien die voortkomen uit de verwerking van 1 ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil via mechanische scheiding en thermochemische recyclage zoals theoretisch bepaald voor de te bouwen RenaSci-installatie in Vlaanderen.

Tabel 44 Eindproducten mechanische scheiding, thermochemische recyclage – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Geproduceerd product	Mechanische scheiding, thermochemische recyclage Hoeveelheid	Totaal input in 1 ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil
Energie		
Elektriciteit	314 MJ	14.236 MJ
Warmte	116 MJ	
Diesel	70,2 kg (3.210 MJ)	
Metaal		
Ferro metaal	18,3 kg	18,3 kg
Non-ferro metaal	3,7 kg	5,8 kg
Kunststof		
PP	35,2 kg	35,2 kg
HDPE	2,9 kg	2,9 kg
PET	18,4 kg	19,5 kg
Overig		
Papierpulp	0,7 kg	1,5 kg *
(Inert)	(301 kg)	(Niet bepaald)

* Papierpulp komt voort uit drankenkartons, hoeveelheid aangegeven als input is het papiergedeelte in drankenkartons in de input.

8.2.2.3 Natte scheiding, natte vergisting

Tabel 45 laat de eindproducten zien die voortkomen uit de verwerking van 1 ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil via natte scheiding en natte vergisting, mocht een installatie in Vlaanderen gebouwd worden. De resultaten worden weergegeven voor natte scheiding, natte vergisting in combinatie met een residuverwerkingstechniek (AVI, AVI+ of hydrolyse).

Tabel 45 Eindproducten natte nascheiding, natte vergisting – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Geproduceerd product	Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI <i>Hoeveelheid</i>	Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+ <i>Hoeveelheid</i>	Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydropyrolyse <i>Hoeveelheid</i>	Totaal input in 1 ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil
Energie				
Elektriciteit	1.180 MJ	1.950 MJ	1.130 MJ	14.236 MJ
Warmte	664 MJ	5.670 MJ	1.430 MJ	
Diesel	-	-	697,2 kg (444 MJ)	
Biomethaan	9,2 m³ (322 MJ)	9,2 m³ (322 MJ)	9,2 m³ (322 MJ)	
Metaal				
Ferro metaal	17,4 kg	17,4 kg	16,3 kg	18,3 kg
Non-ferro metaal	4,3 kg	4,3 kg	4,1 kg	5,8 kg
Kunststoffen				
HDPE	1,7 kg	1,7 kg	1,7 kg	2,9 kg
Folies	53,1 kg	53,1 kg	53,1 kg	86,1 kg
Mixed kunststof	15,9 kg	15,9 kg	15,9 kg	42,3 kg*
PET	12,2 kg	12,2 kg	12,2 kg	19,5 kg
PP	21,1 kg	21,1 kg	21,1 kg	35,2 kg
Overig				
(Inert)	(167 kg)	(213 kg)	(97 kg)	(Niet bepaald)

* Voor mixed kunststof gaan we uit van het overige kunststof (PVC, PS, hard overig kunststof en vuilniszakken) in de input. In de praktijk komen vooral HDPE/folies/PET en PP terecht in deze stroom die niet uitgesorteerd zijn als kunststof monostroom.

8.2.2.4 Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking

Tabel 46 laat de eindproducten zien die voortkomen uit de verwerking van 1 ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil via droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking, mocht een installatie in Vlaanderen gebouwd worden. Droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking richt zowel op energierugwinning als op grondstofterugwinning (zoals terugwinning van ferrometaal). De resultaten worden weergegeven voor droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking in combinatie met een residuverwerkingstechniek (AVI, AVI+ of hydropyrolyse).

Tabel 46 Eindproducten droge nascheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Geproduceerd product	Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking, residu naar conventionele AVI <i>Hoeveelheid</i>	Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking, residu naar AVI+ <i>Hoeveelheid</i>	Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking, residu naar hydropyrolyse <i>Hoeveelheid</i>	Totaal input in 1 ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil
Energie				
Elektriciteit	3.180 MJ	1.710 MJ	414 MJ	14.236 MJ
Warmte	749 MJ	5.770 MJ	946 MJ	
Diesel	-	-	129 kg (5.898 MJ)	
Biomethaan	-	93 m³ (3265 MJ)	93 m³ (3.265 MJ)	
Metaal				
Ferro metaal	18,1 kg	18,2 kg	17,0 kg	16,2 kg
Non-ferro metaal	1,9 kg	4,0 kg	3,4 kg	4,8 kg
Kunststoffen				
HDPE	0 kg	2,0 kg	2,0 kg	27,3 kg
PET	0 kg	13,0 kg	13,0 kg	27,3 kg
PP	0 kg	22,0 kg	22,0 kg	27,3 kg
Overig				
(Inert)	(137 kg)	(121 kg)	(26 kg)	(Niet bepaald)
(Compost)	(207 kg)	(207 kg)	(207 kg)	(Niet bepaald)

8.2.2.5 Droge scheiding, droge vergisting

Tabel 47 laat de eindproducten zien die voortkomen uit de verwerking van 1 ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil via droge mechanische scheiding en droge vergisting, mocht een installatie in Vlaanderen gebouwd worden. De resultaten worden weergegeven voor droge scheiding, droge vergisting in combinatie met een residuverwerkingstechniek (AVI, AVI+ of hydropyrolyse).

Tabel 47 Eindproducten droge scheiding, droge vergisting – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Geproduceerd product	Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI <i>Hoeveelheid</i>	Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+ <i>Hoeveelheid</i>	Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydropyrolyse <i>Hoeveelheid</i>	Totaal input in 1 ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil
Energie				
Elektriciteit	1.400 MJ	2.340 MJ	1.310 MJ	14.236 MJ
Warmte	727 MJ	6.920 MJ	1.660 MJ	
Diesel	-	-	124,0 kg (5.669 MJ)	
Biomethaan	17 m³ (594 MJ)	17 m³ (594 MJ)	17 m³ (594 MJ)	
Metaal				
Ferro metaal	18,4 kg	18,4 kg	18,1 kg	18,3 kg
Non-ferro metaal	4,6 kg	4,6 kg	4,5 kg	5,8 kg
Kunststof				
HDPE	1,2 kg	1,2 kg	1,2 kg	2,9 kg
Folies	31,2 kg	31,2 kg	31,2 kg	86,1 kg
Mixed kunststof	23,0 kg	23,0 kg	23,0 kg	42,3 kg*
PET	3,8 kg	3,8 kg	3,8 kg	19,5 kg
PP	11,5 kg	11,5 kg	11,5 kg	35,2 kg
Overig				

Geproduceerd product	Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI <i>Hoeveelheid</i>	Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+ <i>Hoeveelheid</i>	Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse <i>Hoeveelheid</i>	Totaal input in 1 ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil
Papierpulp	0,8 kg	0,8 kg	0,8 kg	1,5 kg**
Inert	(154 kg)	(210 kg)	(64 kg)	(Niet bepaald)

* Voor mixed kunststof gaan we uit van het overige kunststof (PVC, PS, Hard overig kunststof en vuilniszakken) in de input. In de praktijk komen vooral HDPE/Folies/PET en PP terecht in deze stroom die niet uitgesorteerd zijn als kunststof monostroom.

** Papierpulp komt voort uit drankenkartons, hoeveelheid aangegeven als input is het papiergedeelte in drankenkartons in de input.

8.2.2.6 Mechanisch-biologische scheiding

Tabel 48 laat de eindproducten zien die voortkomen uit de verwerking van 1 ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil via mechanisch-biologische scheiding van de installatie die op dit moment in Vlaanderen in gebruik is. De resultaten worden weergegeven voor mechanisch-biologische scheiding in combinatie met een residu-verwerkingstechniek (AVI, AVI+ of hydrolyse).

Tabel 48 Eindproducten mechanisch-biologische scheiding – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Geproduceerd product	Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI <i>Hoeveelheid</i>	Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+ <i>Hoeveelheid</i>	Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydropyrolyse <i>Hoeveelheid</i>	Totaal input in 1 ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil
Energie				
Elektriciteit	2.289 MJ	3.670 MJ	1.740 MJ	14.236 MJ
Warmte	953 MJ	10.140 MJ	1.950 MJ	
Diesel	-	-	206 kg (9.418 MJ)	
Metaal				
Ferro metaal	18,2 kg	18,2 kg	17,6 kg	18,3 kg
Non-ferro metaal	4,5 kg	4,5 kg	4,4 kg	5,8 kg
Overig				
Inert	(146 kg)	(185 kg)	(33 kg)	(Niet bepaald)

8.3 GRONDSTOFFEFFICIËNTIE VERGELEKEN

8.3.1 Huisvuil

We vergelijken de grondstoffefficiëntie op basis van de onderverdeling van technieken zoals beschreven in Sectie 4.3.

8.3.1.1 Bestaande verwerkroutes (2020-2025)

Zoals te zien in Tabel 49 is de huidige terugwinning van metaal bij deze technieken hoger dan bij de conventionele AVI, en wordt er in het geval van 'droge scheiding, droge vergisting' ook kunststoffen teruggewonnen. De kwaliteit van het metaal is vergelijkbaar tussen de verschillende nascheidingsstechnieken.

De energierugwinning is in het geval van de conventionele AVI hoger dan die van alle nascheidingsstechnieken behalve van 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie'. Dit is te verklaren door de hoge biogasproductie in deze route. Verder moet genoemd worden dat zoals mechanisch-biologische scheiding op dit moment in Vlaanderen wordt toegepast deze een hoger energie-efficiëntie heeft dan weergegeven in Tabel 49. Dit komt omdat de AVIs waar het residu van mechanisch-biologische scheiding verwerkt wordt een hoger totaal energetisch rendement hebben dan de conventionele AVI.

Op basis van deze efficiënties kan echter niet benoemd worden welke van de verwerkroutes de voorkeur heeft. Om deze verschillende terugwinning van materiaal en energie tegen elkaar af te kunnen wegen is een milieukundige analyse bij uitstek geschikt.

Tabel 49 Grondstoffenefficiëntie bestaande verwerkroutes (2020-2025) huisvuil

	Droge scheiding, droge vergisting	Mechanisch-biologische scheiding	Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostproductie	Conventionele AVI
	Residuverwerking conventionele AVI			
Energie	22%	22%	29%	25%
Metaal	95%	94%	86%	80%
Kunststof	39%	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.

8.3.1.2 Theoretische verwerkroutes (2025-2030)

De energierugwinning is in het geval van alle theoretische verwerkroutes hoger dan die van de conventionele AVI. De AVI+ levert het hoogste energierendement op. De residuverwerking in de AVI+ en middels hydropyrolyse zijn vergelijkbaar qua energierugwinning. Het verschil is het type energie dat teruggewonnen wordt (in het geval van geïntegreerde hydropyrolyse wordt er ook diesel geproduceerd).

Zoals te zien in volgende tabellen is de terugwinning van metaal hoger voor alle theoretische verwerkroutes dan voor de conventionele AVI. De rendementen zijn vergelijkbaar met die van de AVI+. Wel is er mogelijk een verschil in kwaliteit van de teruggewonnen metalen; het metaal uit de AVI+ is immers in een verbrandingsinstallatie geweest waardoor het (gedeeltelijk) oxideert. In het geval van alle nascheidingsstechnieken behalve 'mechanisch-biologische scheiding' worden ook kunststoffen teruggewonnen, dit is niet het geval bij de AVI+. De kwaliteit van het metaal en de kunststoffen is vergelijkbaar tussen de verschillende nascheidingsstechnieken.

Ook op basis van deze efficiënties kan niet benoemd worden welke van de verwerkroutes de voorkeur heeft. Allereerst zijn de materialen die teruggewonnen sterk verschillend. Een kilogram aluminium, een kilogram staal en een kilogram kunststof zijn zowel qua economische waarde als qua milieu-impact die vermeden wordt

voor productie sterk verschillend. Daarnaast scoren sommige installaties goed op materiaal en andere op energie en deze wil je daarom ook afwegen. Om deze verschillende terugwinning van verschillende materialen en energie tegen elkaar af te kunnen wegen is een milieukundige analyse bij uitstek geschikt.

Tabel 50 Grondstoffenefficiëntie theoretische verwerkroutes (2025-2030) huisvuil- residuverwerking AVI+

	AVI+	Mechanische scheiding, thermochemische recyclage	Natte scheiding, natte vergisting	Droge scheiding, droge vergisting	Mechanisch-biologische scheiding	Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostproductie	Conventionele AVI
			Residuverwerking AVI+				
Energie	99%	29%	47% (17%)	57%	96%	74%	25%
Metaal	89%	92%	90%	96%	95%	92%	80%
Kunststof	N.v.t.	45%	62%	39%	N.v.t.	36%	N.v.t.

Toelichting: Voor natte scheiding, natte vergisting wordt voor energie tussen () aangegeven wat het rendement is bij residuverwerking in een conventionele AVI.

Tabel 51 Grondstoffenefficiëntie theoretische verwerkroutes (2025-2030) huisvuil - residuverwerking hydropyrolyse

	AVI+	Mechanische scheiding, thermochemische recyclage	Natte scheiding, natte vergisting	Droge scheiding, droge vergisting	Mechanisch-biologische scheiding	Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostproductie	Conventionele AVI
			Residuverwerking hydropyrolyse				
Energie	99%	29%	45%	56%	92%	71%	25%
Metaal	89%	92%	84%	94%	91%	85%	80%
Kunststof	N.v.t.	45%	62%	39%	N.v.t.	36%	N.v.t.

8.3.2 Bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

We vergelijken de grondstoffefficiëntie op basis van de onderverdeling van technieken zoals beschreven in Sectie 4.3.

8.3.2.1 Bestaande verwerkroutes (2020-2025)

Zoals te zien in Tabel 52 is de huidige terugwinning van metaal bij de bestaande verwerkroutes hoger dan bij de conventionele AVI, en wordt er in het geval van de nascheidingstechniek 'droge scheiding, droge vergisting' ook kunststoffen teruggewonnen. De kwaliteit van het metaal is vergelijkbaar tussen de verschillende nascheidingstechnieken. De energietrugwinning is in het geval van de conventionele AVI hoger dan dat van de nascheidingstechnieken, met uitzondering van 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostproductie'.

Tabel 52 Grondstoffenefficiëntie bestaande verwerkroutes (2020-2025) bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

	Droge scheiding, droge vergisting	Mechanisch-biologische scheiding	Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostproductie	Conventionele AVI
	Residuverwerking conventionele AVI			
Energie	19%	23%	28%	25%
Metaal	96%	95%	83%	80%
Kunststof	38%	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.

8.3.2.2 Theoretische verwerkroutes (2025-2030)

De energietrugwinning is in het geval van alle theoretische verwerkroutes hoger dan dat van de conventionele AVI. De AVI+ levert het hoogste energierendement op. De residuverwerking in de AVI+ en middels

hydropyrolyse zijn zeer vergelijkbaar qua energierugwinning. Het verschil is het type energie dat teruggewonnen wordt (in het geval van geïntegreerde hydropyrolyse wordt er ook diesel geproduceerd).

Zoals te zien in volgende tabellen is de terugwinning van metaal hoger voor alle theoretische verwerkroutes dan voor de conventionele AVI. De rendementen zijn vergelijkbaar met die van de AVI+. Wel is er mogelijk een verschil in kwaliteit van de teruggewonnen metalen; het metaal uit de AVI+ is immers in een verbrandingsoven geweest waardoor het (gedeeltelijk) oxideert.

In het geval van alle nascheidingstechnieken behalve 'mechanisch-biologische scheiding' worden ook kunststoffen teruggewonnen, dit is niet het geval bij de AVI+. De kwaliteit van het metaal en de kunststoffen is vergelijkbaar tussen de verschillende nascheidingstechnieken.

Ook op basis van deze efficiënties kan niet benoemd worden welke van de verwerkroutes de voorkeur heeft voor de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Om deze verschillende terugwinning van materiaal en energie tegen elkaar af te kunnen wegen is een milieukundige analyse bij uitstek geschikt.

Tabel 53 Grondstoffenefficiëntie theoretische verwerkroutes (2025-2030) bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil – residuverwerking AVI+

	AVI+	Mechanische scheiding, thermochemische recyclage	Natte scheiding, natte vergisting	Droge scheiding, droge vergisting	Mechanisch-biologische scheiding	Droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking	Conventionele AVI
	Residuverwerking AVI+						
Energie	99%	26%	56% (15%)	69%	97%	76%	25%
Metaal	89%	92%	91%	96%	95%	92%	80%
Kunststof	N.v.t.	36%	56%	38%	N.v.t.	20%	N.v.t.

Toelichting: Voor natte scheiding, natte vergisting wordt voor energie tussen () aangegeven wat het rendement is bij residuverwerking in een conventionele AVI.

Tabel 54 Grondstoffenefficiëntie theoretische verwerkroutes (2025-2030) bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil – residuverwerking hydropyrolyse

	AVI+	Mechanische scheiding, thermochemische recyclage	Natte scheiding, natte vergisting	Droge scheiding, droge vergisting	Mechanisch-biologische scheiding	Droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking	Conventionele AVI
	Residuverwerking hydropyrolyse						
Energie	99%	26%	51%	65%	92%	74%	25%
Metaal	89%	92%	85%	94%	92%	92%	80%
Kunststof	N.v.t.	36%	56%	38%	N.v.t.	20%	N.v.t.

8.4 CONCLUSIES

Op basis van de bepaalde efficiënties voor energie, metaal en kunststof voor de bekeken verwerkroutes voor huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Er is één bestaande verwerkroute die tussen 2020 en 2025 gerealiseerd kan worden die een hogere energie-efficiëntie heeft dan de conventionele AVI. Het gaat hierbij om 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostproductie'⁵⁶. Ook is de metaalefficiëntie hoger van de bestaande verwerkroutes en is de kunststofefficiëntie hoger voor (een deel van) de bestaande verwerkroutes. Op basis van de efficiënties kan echter voor bestaande verwerkroutes geen conclusie getrokken worden over welke verwerkroute het meest aantrekkelijk is. Hiervoor is een milieukundige analyse benodigd.
- Van de theoretische verwerkroutes lijken alle verwerkroutes hogere efficiënties te hebben voor alle drie de bekeken efficiënties dan de conventionele AVI. Al deze verwerkroutes zijn daarmee interessant om verder te bekijken.

⁵⁶ Hierbij moet worden aangetekend dat het de vraag is of deze compost blijvend afgezet kan worden gezien de komende EU-richtlijnen over meststoffen.

9 RESULTATEN LCA: HUISVUIL

9.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk worden de resultaten weergegeven van de LCA voor Vlaams huisvuil. Hierbij worden opnieuw (net als in het vorige hoofdstuk over grondstofefficiëntie) de resultaten opgedeeld in bestaande en theoretische verwerkroutes.

In Sectie 9.2 gaan we in op de resultaten voor alle 18 milieu-indicatoren die onderdeel zijn van de ReCiPe-methodologie, in Sectie 9.3 we naar de resultaten voor drie schadecategorieën uit de ReCiPe-methodologie en in Sectie 9.4 bekijken de resultaten van de exergetische LCA (CEENE). Samen geven deze resultaten een goed overzicht van de milieu-impact van de verschillende verwerkroutes.

9.2 RESULTATEN MILIEU-INDICATOREN

9.2.1 Inleiding

In dit onderzoek worden de verschillende verwerkroutes milieukundig geëvalueerd door middel van de methode van levenscyclusanalyse (LCA). Zoals beschreven in Sectie 5.2.3 wordt de analysemethode ReCiPe 2016 toegepast. Deze analysemethode kwantificeert 18 milieu-indicatoren. Tabel 55 laat zien waar de informatie per milieu-indicator wordt weergegeven.

Tabel 55 Leeswijzer resultaten LCA milieu-indicatoren huisvuil: Waar staat wat?

Milieu-indicator	Resultaten op hoofdlijnen	Resultaten in detail
Klimaatverandering	Sectie 9.2.2	Bijlage H.1
Aantasting ozonlaag		Bijlage H.2
Ioniserende straling		Bijlage H.3
Ozonvorming – menselijke gezondheid		Bijlage H.4
Ozonvorming - ecosystemen		Bijlage H.5
Fijnstofvorming		
Terrestrische verzuring		
Zoetwatervermesting		Bijlage H.6
Zoutwatervermesting		Bijlage 0
Ecotoxiciteit bodem		
Ecotoxiciteit zoetwater		
Ecotoxiciteit zoutwater		Bijlage H.8
Humane toxiciteit – carcinogeen		
Humane toxiciteit – niet-carcinogeen		
Landgebruik		Bijlage H.9
Schaarste - mineralen		Bijlage H.10
Schaarste – fossiele grondstoffen		Bijlage H.11
Watergebruik		Bijlage H.12
		Bijlage H.13
		Bijlage H.14

De resultaten in detail (de getallen) zijn voor elke verwerkroute apart weergegeven in Bijlage I.

9.2.2 Resultaten op hoofdlijnen

9.2.2.1 Resultaten bestaande verwerkroutes (2020-2025)

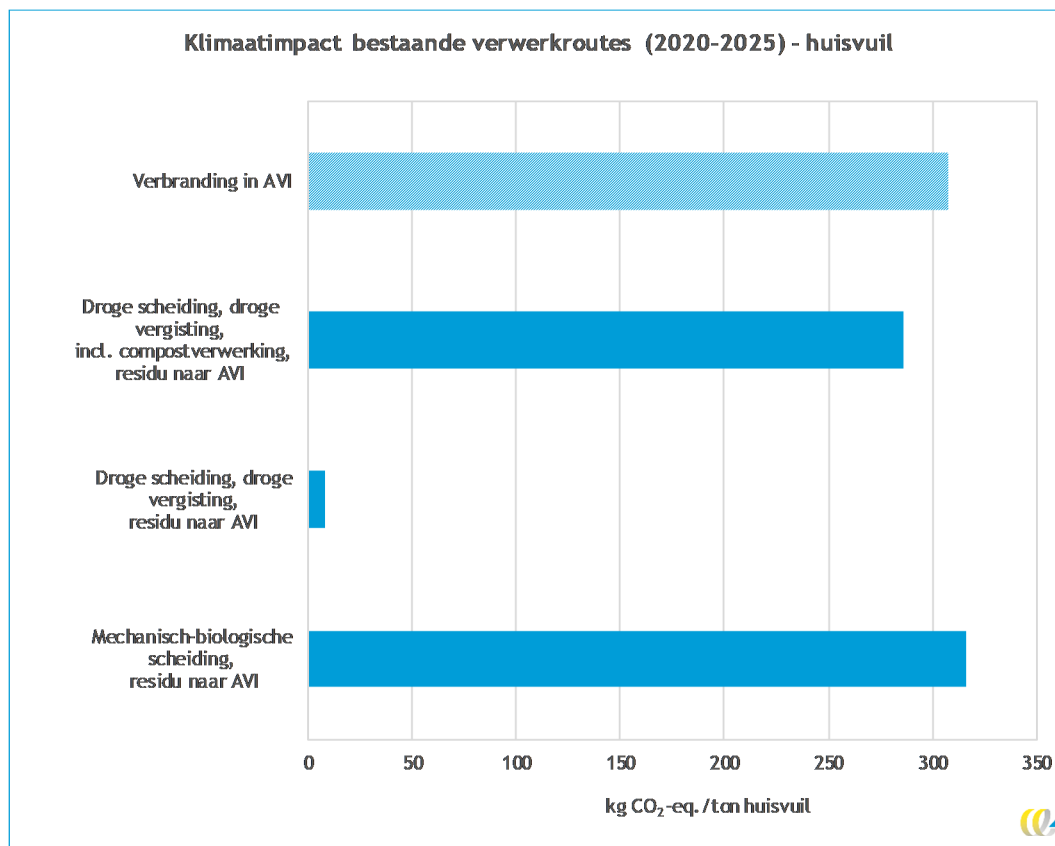
Klimaatimpact

De resultaten op klimaatimpact voor de bestaande verwerkroutes is te zien in Figuur 21. Figuur 21 laat een duidelijke verlaging van de klimaatimpact te zien ten opzichte van verbranding in de conventionele AVI, bij 'droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI'. Deze bestaande verwerkroute zet in op uitgebreide scheiding en leidt daarom tot een kleine klimaatimpact bij verbranding van het residu in de conventionele AVI.

'Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking' leidt tot een kleine reductie in klimaatimpact. Deze route levert een iets hoger energie-rendement dan de conventionele AVI maar het verschil is niet groot (zie Hoofdstuk 8). De fossiele CO₂-emissies zijn daarentegen precies gelijk aan dat van de conventionele AVI omdat al het materiaal dat fossiel koolstof bevat in deze verwerkroute naar de residuverwerking gaat.

Verder is te zien is dat 'mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI' een iets hogere klimaatimpact (maar eigenlijk niet significant verschillende) heeft dan complete verbranding van het huisvuil in een conventionele AVI. Dit is te verklaren door het gebruik van energie tijdens de verwerking voor de mechanisch-biologische scheiding terwijl de energieproductie en fossiele CO₂-emissies gelijk blijven aan verwerking in een conventionele AVI. Hierbij dient de kanttekening geplaatst te worden dat dit niet de werkelijkheid is zoals deze nu in Vlaanderen plaatsvindt, door de hogere energie-inhoud van het residu bij mechanisch-biologische scheiding kan het in een AVI verwerkt worden die een hogere energie-inhoud aan kan en een hoger rendement heeft dan de gemiddelde conventionele AVI. Het invloed op de resultaten van een hoger energetische rendement laten we zien tijdens de gevoeligheidsanalyse in Hoofdstuk 11.

Figuur 21 Klimaatimpact voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt huisvuil



- NB1 De technieken ‘verbranding in AVI’ en ‘mechanisch-biologische scheiding’ worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk (‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking’) en Nederland (‘droge scheiding, droge vergisting’). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze “compost” in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

Overige milieu-impacts

We rapporteren de overige milieu-impacts in twee figuren, één figuur waar de verwerking in ‘droge sortering, droge vergisting incl. compostverwerking’ de hoogste milieu-impact heeft (Figuur 22) en een figuur waarbij een andere bestaande verwerkroute of de ‘conventionele AVI’ de hoogst milieu-impact heeft (Figuur 23). Figuur 22 laat zien dat ‘droge sortering, droge vergisting incl. compostverwerking’ in 12 van de 18 milieu-impacts, de hoogste milieu-impact of laagste milieuvoordeel heeft, in de zes andere milieu-impacts heeft een van de andere verwerkroutes een hogere milieu-impact⁵⁷

‘Droge sortering, droge vergisting incl. compostverwerking’ wordt nu toegepast in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost maar omdat dit in Vlaanderen nu wettelijk niet is toegestaan

⁵⁷ Voor één milieu-impact “Verbranding in de AVI”, voor drie milieu-impacts “mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI”, en voor twee “Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI”.

wordt deze “compost” in onze berekening gezien als residu en dus ook verbrand in een AVI. Deze optie (waarbij compost niet afgezet kan worden) is dus eigenlijk niet geschikt voor Vlaanderen.

De figuren laten een milieuvoordeel zien als een negatieve genormaliseerde impact (-), en een milieunadeel als een positieve genormaliseerde impact (+).

Zoals te zien in Figuur 22 en Figuur 23 leveren alle verwerkroutes in voor de meeste milieu-impacts een milieuvoordeel op. Alleen in de volgende milieu-impacts is dit niet het geval:

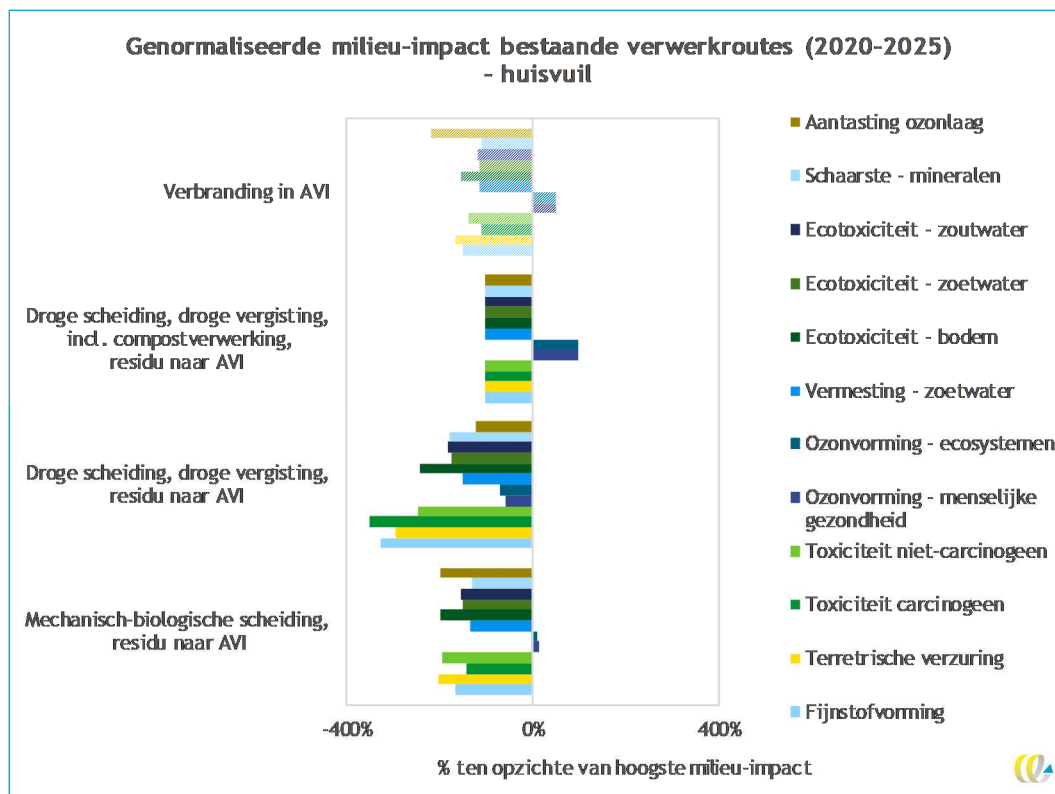
- klimaatimpact;
- ozonvorming – ecosystemen;
- ozonvorming – menselijke gezondheid.

Dat verwerking van huisvuil in ‘droge sortering, droge vergisting incl. compostverwerking’ het minst goed scoort op de 12 milieu-impacts zoals weergegeven in Figuur 22 is te verklaren door de hogere grondstof-terugwinning in de andere bestaande verwerkroutes. Hierbij gaat het om terugwinning van metaal (zowel ferro als non-ferro metaal) en om de terugwinning van kunststof.

Over het algemeen zien we de hoogste milieuwinst bij de verwerkroute waarbij uitgebreide scheiding plaatsvindt⁵⁸. Deze verwerkroute heeft een milieuvoordeel omdat zij veel nuttige producten uit het afval oplevert (grondstoffen en/of brandstoffen) en er zo min mogelijk afval wordt verbrand.

⁵⁸ “Droge scheiding en droge vergisting”.

Figuur 22 Genormaliseerde milieu-impact ten opzichte van hoogste milieu-impact voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt huisvuil (I)



Toelichting: Negatieve genormaliseerde impact levert een milieuvoordeel op, positieve genormaliseerde impact levert een milieunadeel op.

- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

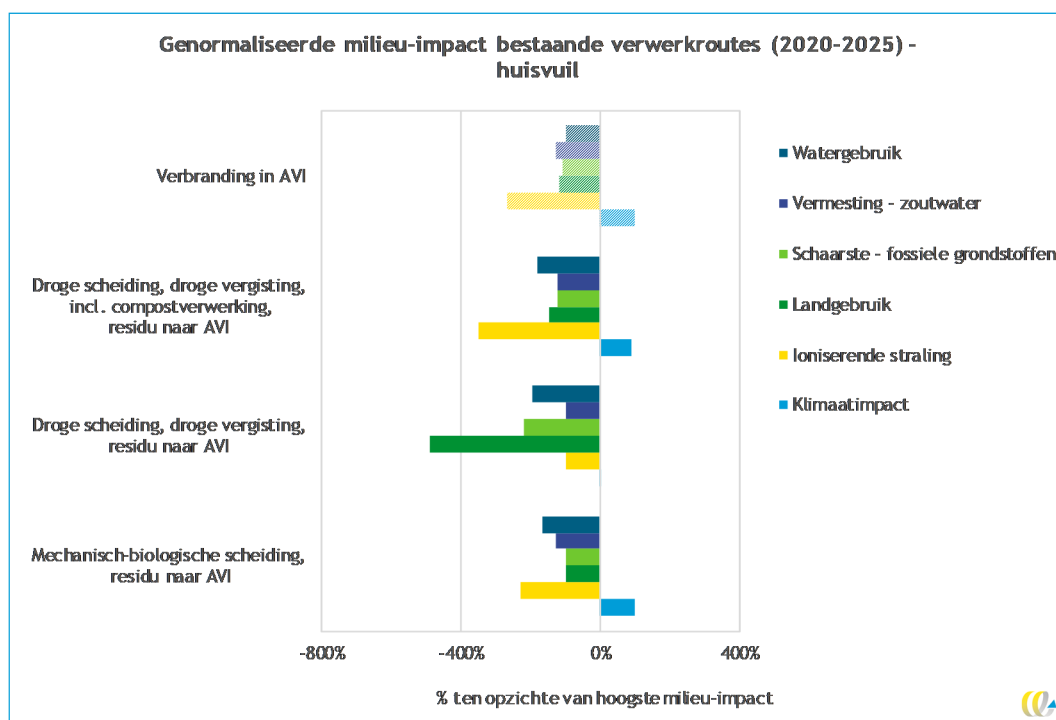
Zowel voor 'klimaatimpact', 'schaarste – fossiele grondstoffen' en 'landgebruik' heeft 'mechanisch-biologische scheiding, residu naar de conventionele AVI' de hoogste milieu-impact. In al deze milieu-impacts leidt het terugwinnen van kunststoffen tot een milieuvoordeel, evenals netto energieproductie. Aangezien 'mechanisch-biologische scheiding, residu naar de conventionele AVI' niet leidt tot kunststofterugwinning én minder netto energieproductie oplevert dan een conventionele AVI en 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking' heeft deze verwerkroute de hoogste impact.

De resultaten voor 'ioniserende straling' is volledig te verklaren door netto elektriciteitsproductie. Radioactieve straling komt immers vrij bij de productie van elektriciteit in kerncentrales (ioniserende straling) en N₂O komt vrij bij de verbranding van fossiele brandstoffen voor elektriciteitsproductie (aantasting

ozonlaag). De netto elektriciteitsproductie is het laagst in het geval van 'droge scheiding, droge vergisting, residu naar de conventionele AVI'.

De resultaten voor 'vermesting - zoutwater' liggen zo dicht bij elkaar dat het verschil nauwelijks te zien is in Figuur 23. En tot slot gebruikt de conventionele AVI het meeste water in het proces en voorkomt dus het minste 'watergebruik'.

Figuur 23 Genormaliseerde milieu-impact ten opzichte van hoogste milieu-impact voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt huisvuil (II)



Toelichting: Negatieve genormaliseerde impact levert een milieuvoordeel op, positieve genormaliseerde impact levert een milieunadeel op.

- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modelering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

9.2.2.2 Resultaten theoretische verwerkroutes (2020-2025)

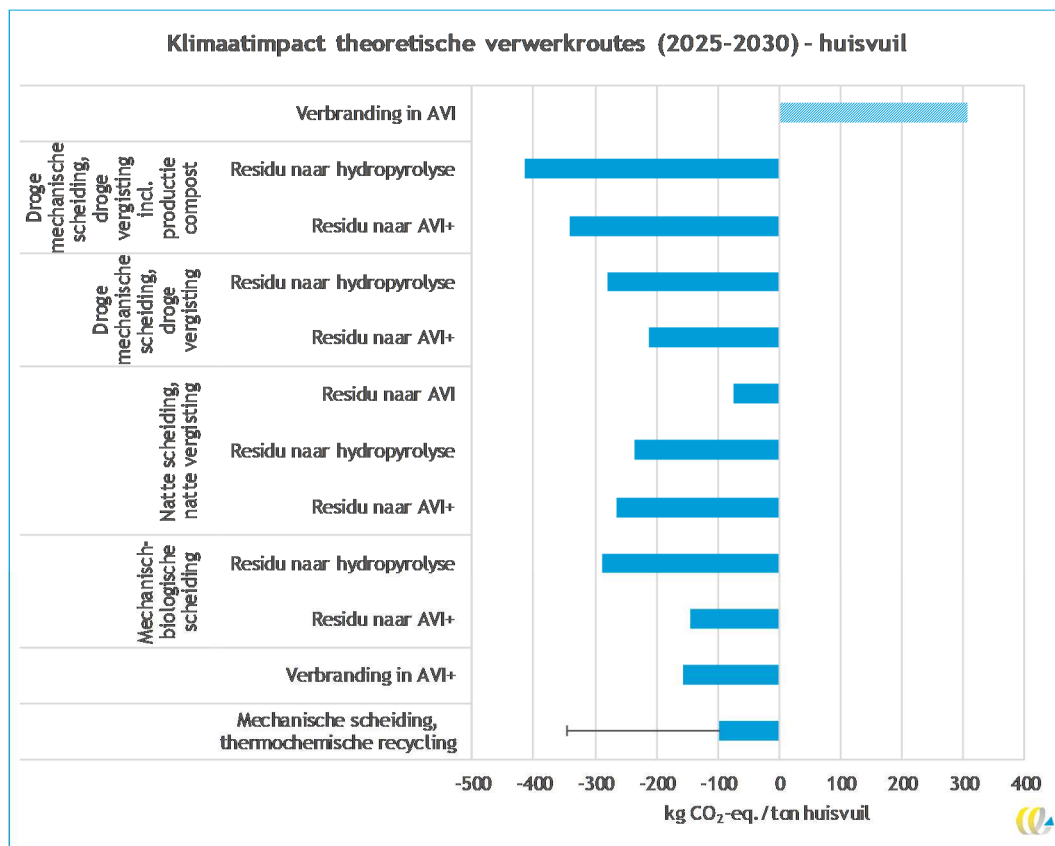
Klimaatimpact

Figuur 24 laat zien dat alle theoretische verwerkroutes een voordeel opleveren voor het klimaat, terwijl een conventionele AVI een klimaatimpact oplevert. Op basis van deze resultaten lijkt het er dus op dat een combinatie van een nascheidingstechniek met (theoretische) residuverwerking altijd een klimaatvoordeel oplevert.

Verder laat de figuur zien:

- De AVI+ zorgt voor een groter klimaatvoordeel dan in het geval van 'mechanisch-biologische scheiding met residu naar een AVI+'. Dit komt omdat er in de theoretische verwerkroute 'mechanisch-biologische scheiding met residu naar een AVI+' energie gebruikt wordt om het residu in te drogen.
- De AVI+ zorgt voor een vergelijkbaar klimaatvoordeel als de theoretische verwerkroutes 'mechanische scheiding, thermochemische verwerking' als er geen fermentatie toegepast wordt. Dit komt omdat we ervan uit gaan dat in dit geval het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI. Als dit ook in een AVI+ gebeurt zou het klimaatvoordeel van mechanische scheiding, thermochemische recycling groter zijn dan dat van de AVI+.
- De residuverwerking met behulp van hydropyrolyse heeft een hoger klimaatvoordeel naarmate er meer plastic in het residu zit (en er meer diesel geproduceerd wordt). Hierdoor is ook te zien dat in het geval van droge nascheiding, droge vergisting incl. compostverwerking residuverwerking met behulp van hydropyrolyse een hoger klimaatvoordeel oplevert dan residuverwerking in een AVI+. In het geval van 'natte scheiding, natte vergisting' is dit precies omgekeerd omdat er weinig plastic in het residu aanwezig is door het hoge scheidingsrendement van plastics met 'natte scheiding, natte vergisting'. In het geval dat er diesel wordt geproduceerd dan vervangt dit de impact van de productie van fossiele diesel. De gebruiksfase van de diesel hoeft voor de verschilberekening niet meegenomen te worden omdat dit bij beide routes gelijk speelt.

Figuur 24 Klimaatimpact voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil



Toelichting: De onzekerheidsbalk voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is een inschatting van het klimaatvoordeel als ook fermentatie toegepast wordt. Dit is mogelijk rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat dit materiaal ingezet wordt als compost, uiteraard alleen als compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost. Hierbij is wel de vraag of dit gezien de komende eisen vanuit de EU voor meststoffen na 2027 nog steeds mag.

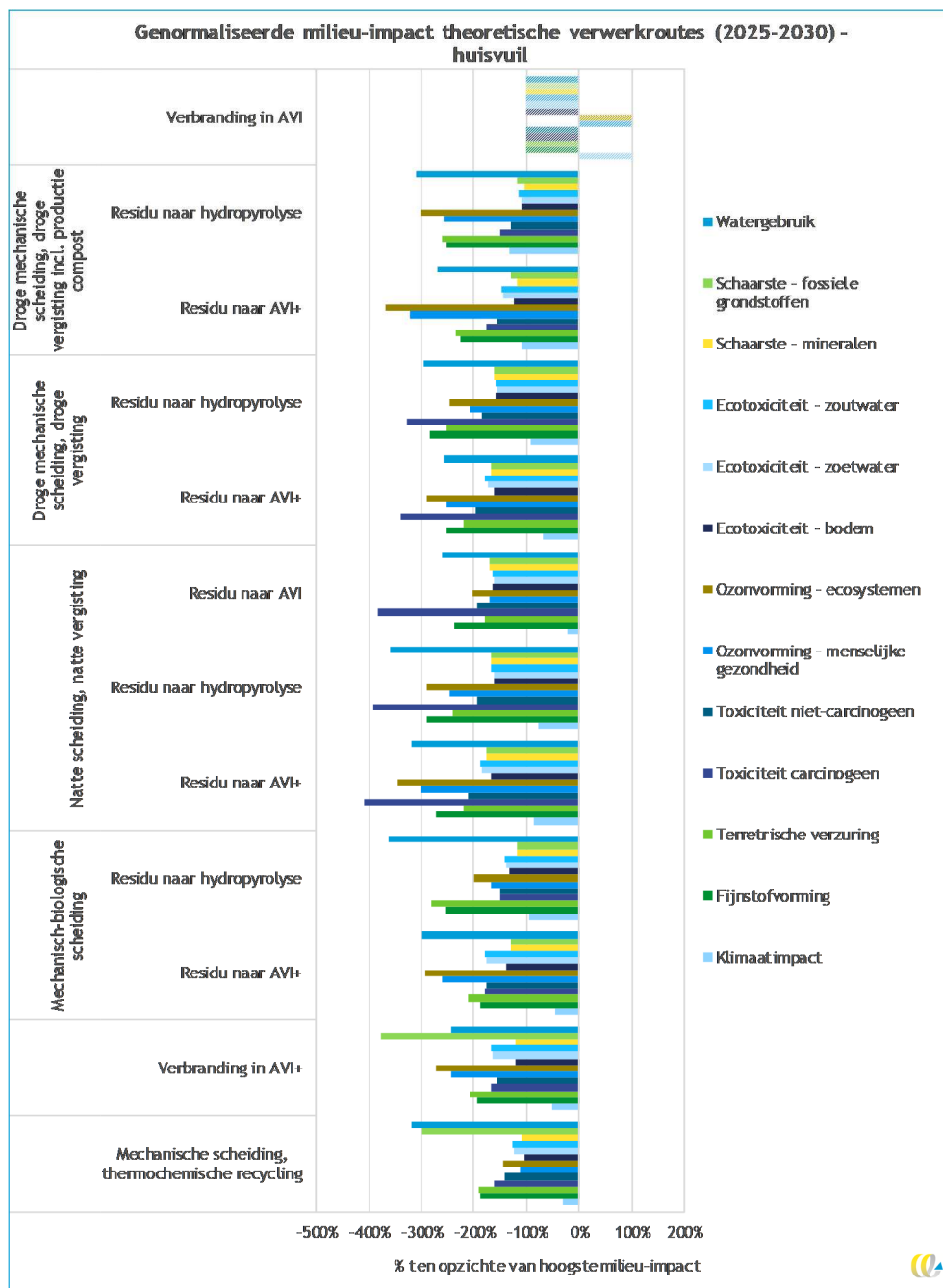
Overige milieu-impacts

We rapporteren de overige milieu-impacts in twee figuren, één figuur waar de verbranding in een conventionele AVI de hoogste milieu-impact heeft (Figuur 25) en één figuur waarbij een theoretische verwerkroute de hoogst milieu-impact heeft (Figuur 26). Figuur 26 laat zien dat verbranding in de conventionele AVI in 13 van de 18 milieu-impacts, de hoogste milieu-impact of laagste milieuvoordeel heeft, in de vijf andere milieu-impact (ioniserende straling, landgebruik, aantasting ozonlaag, vermesting – zoutwater en vermesting - zoetwater) heeft een theoretische verwerkroute een hogere milieu-impact.

Het precieze onderscheid tussen verschillende routes is lastig op te maken uit de figuur er is echter wel te zien dat:

- de AVI+ een stuk beter scoort op de milieu-impacts dan de conventionele AVI;
- dat een combinatie van een nascheidingstechniek en residuverwerking (hydropyrolyse of AVI+ of AVI in het geval van “natte scheiding, natte vergisting”) een milieuvoordeel oplevert op alle milieu-impacts (en op 13 van de 18 ten opzichte van de conventionele AVI).

Figuur 25 Genormaliseerde milieu-impact ten opzichte van verbranding in AVI voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil



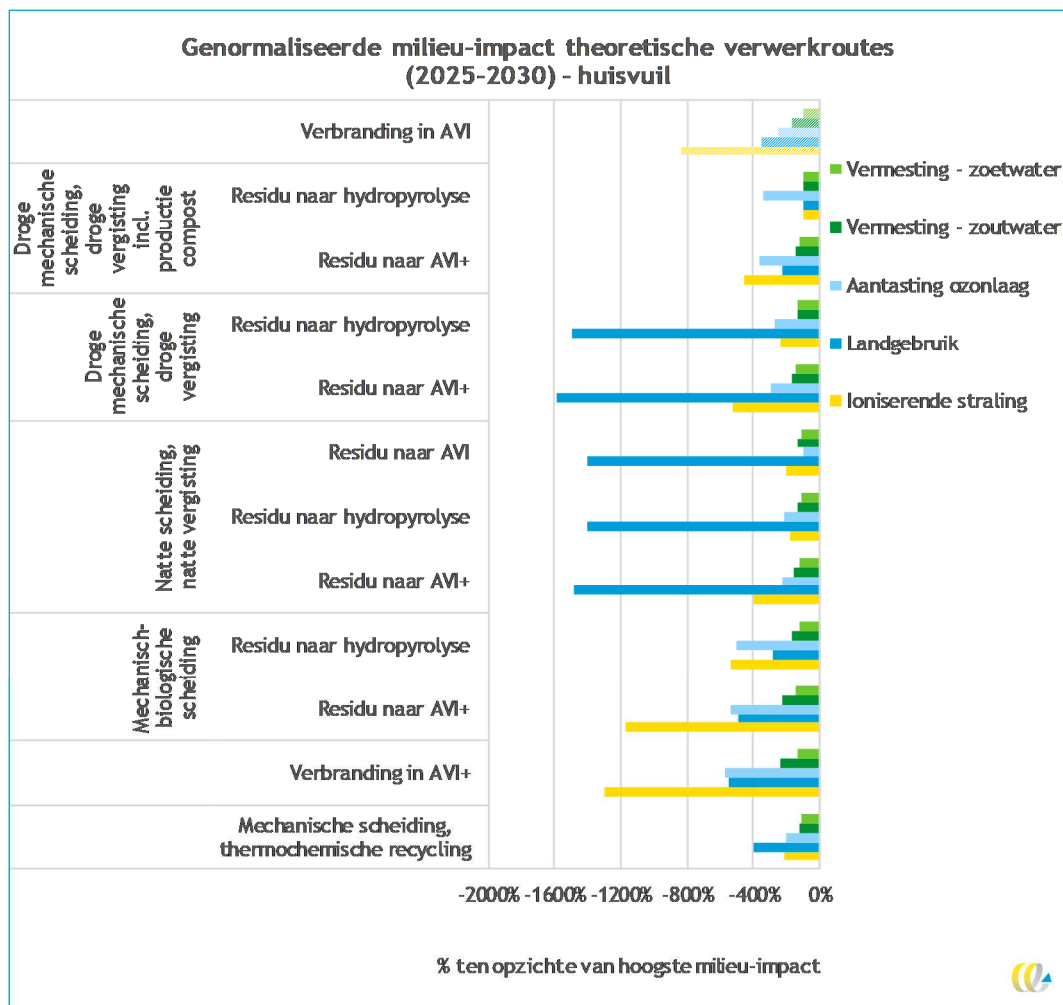
- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

Figuur 26 laat zien dat ‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking, residuverwerking met behulp van hydropyrolyse’ een lager milieuvoordeel oplevert dan de verbranding van huisvuil in een conventionele AVI voor de milieu-impacts ‘ioniserende straling’, ‘landgebruik’ en ‘vermesting – zoutwater’. Dit komt omdat het resultaat voor deze milieu-indicatoren (deels) samenhangt met de hoeveelheid netto elektriciteitsproductie (en het voorkomen van radioactiviteit bij elektriciteitsproductie in een kerncentrale, het voorkomen van biomassagebruik bij elektriciteitsproductie in een biomassacentrale, het voorkomen van bruinkool voor elektriciteitsproductie), deze verwerkroute produceert meer energie dan verbranding in een conventionele AVI maar niet in de vorm van elektriciteit.

De figuur laat verder zien dat ‘natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydropyrolyse’ een lager milieuvoordeel oplevert dan de verbranding van huisvuil in een conventionele AVI voor de milieu-impact ‘aantasting ozonlaag’. Dit komt omdat deze route het minste warmte en elektriciteit produceert.

In het geval van “vermesting – zoetwater” ligt het resultaat van verbranding van huisvuil in een conventionele AVI heel dicht bij (1% verschil) de verwerking van huisvuil met behulp van “droge mechanische scheiding, droge vergisting incl. compostproductie”. Dit verschil is niet significant.

Figuur 26 Genormaliseerde milieu-impact ten opzichte van verbranding in AVI voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil



- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

9.3 RESULTATEN SCHADECATEGORIEËN

9.3.1 Inleiding

De milieu-indicatoren, vertellen niet het hele verhaal. Een ogenschijnlijk lage waarde (in vergelijking met andere milieu-indicatoren) kan toch een relevante milieuschade representeren. En andersom hoeft een hoge waarde niet noodzakelijkerwijs te wijzen op een hoge schade. De ReCiPe-analysmethode biedt de mogelijkheid om ook *schade* te kwantificeren. De methode drukt de milieu-indicatoren uit in:

- schade aan menselijke gezondheid;
- schade aan ecosystemen;

- economische schade door uitputting van grondstoffen.

Door ook naar deze drie schadecategorieën te kijken ontstaat een beeld dat eenvoudiger te interpreteren is dan wanneer alleen naar de milieu-indicatoren wordt gekeken. Immers, elke schadecategorie bevat de schade veroorzaakt door meerdere milieu-indicatoren. Door het gebruiken van schadecategorieën neemt de onzekerheid in resultaten toe door de aggregatie. De ISO-normen staan presentatie van de schadecategorieresultaten echter wel toe (weging naar 1 enkele indicator is niet toegestaan bij vergelijkende LCAs). Wij zien de schadecategorieën als aanvullende informatie, in lijn met het statement uit ISO 14044: *“An LCIA that is intended to be used in comparative assertions intended to be disclosed to the public shall employ a sufficiently comprehensive set of category indicators.”*

Tabel 56 Leeswijzer resultaten LCA-schadecategorieën huisvuil: Waar staat wat?

Schadecategorie	Resultaten op hoofdlijnen	Resultaten in detail
Schade aan menselijke gezondheid	Sectie 9.3.2	Bijlage H.15
Schade aan ecosystemen		Bijlage H.16
Economische schade door uitputting van grondstoffen		Bijlage H.17

De resultaten in detail (de getallen) zijn voor elke verwerkroute apart weergegeven in Bijlage I.

9.3.2 Resultaten op hoofdlijnen

9.3.2.1 Resultaten bestaande verwerkroutes (2020-2025)

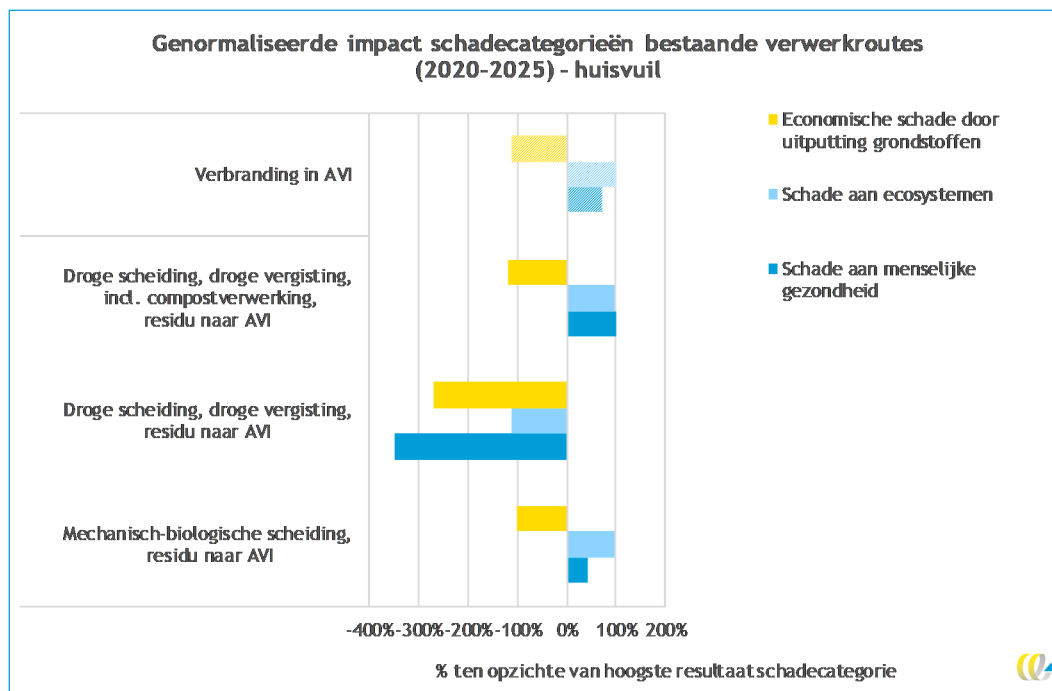
Alle verwerkroutes zorgen voor een vermindering van schade in de schadecategorie ‘economische schade door uitputting grondstoffen’. Dit komt omdat in alle routes óf energie wordt geproduceerd óf grondstoffen worden teruggewonnen (of een combinatie van beiden). In het geval dat er een combinatie van beiden plaatsvindt, en met name als er kunststoffen worden teruggewonnen, zorgt een verwerkroute voor een hogere vermindering van schade.

In de andere twee schadecategorieën (ecosystemen en menselijke gezondheid) leiden ‘verbranding in AVI’, ‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking, residu naar AVI’ en ‘mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI’ een vergelijkbare schade op aan het milieu. Dit komt met name door de emissie van fossiele CO₂-emissie uit de verbranding in de conventionele AVI. Het resultaat op deze schadecategorieën hangt namelijk erg samen met het resultaat voor de milieu-indicator ‘klimaatimpact’. In het geval van schade aan menselijke gezondheid speelt ook de milieu-indicator ‘fijnstofvorming’ een belangrijke rol.

Hierbij dient opnieuw de kanttekening geplaatst te worden dat dit niet de werkelijkheid zoals deze nu in Vlaanderen plaatsvindt, door de hogere energie-inhoud van het residu bij mechanisch-biologische scheiding kan het in een AVI verwerkt worden die een hogere energie-inhoud aan kan en vaak ook een hoger rendement heeft. Deze variant laten we zien tijdens de gevoeligheidsanalyse in Hoofdstuk 11.

De verwerkroute ‘droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI’ zorgt op alle drie de schadecategorieën voor een vermindering in schade door het voorkomen van verbranding, de productie van biomethaan en terugwinning van metaal en kunststoffen.

Figuur 27 Genormaliseerde impact schadecategorieën ten opzichte van hoogste schade voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt huisvuil



Toelichting: negatieve genormaliseerde schade levert een milieuvoordeel op, positieve genormaliseerde schade een milieunadeel.

NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen.

De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.

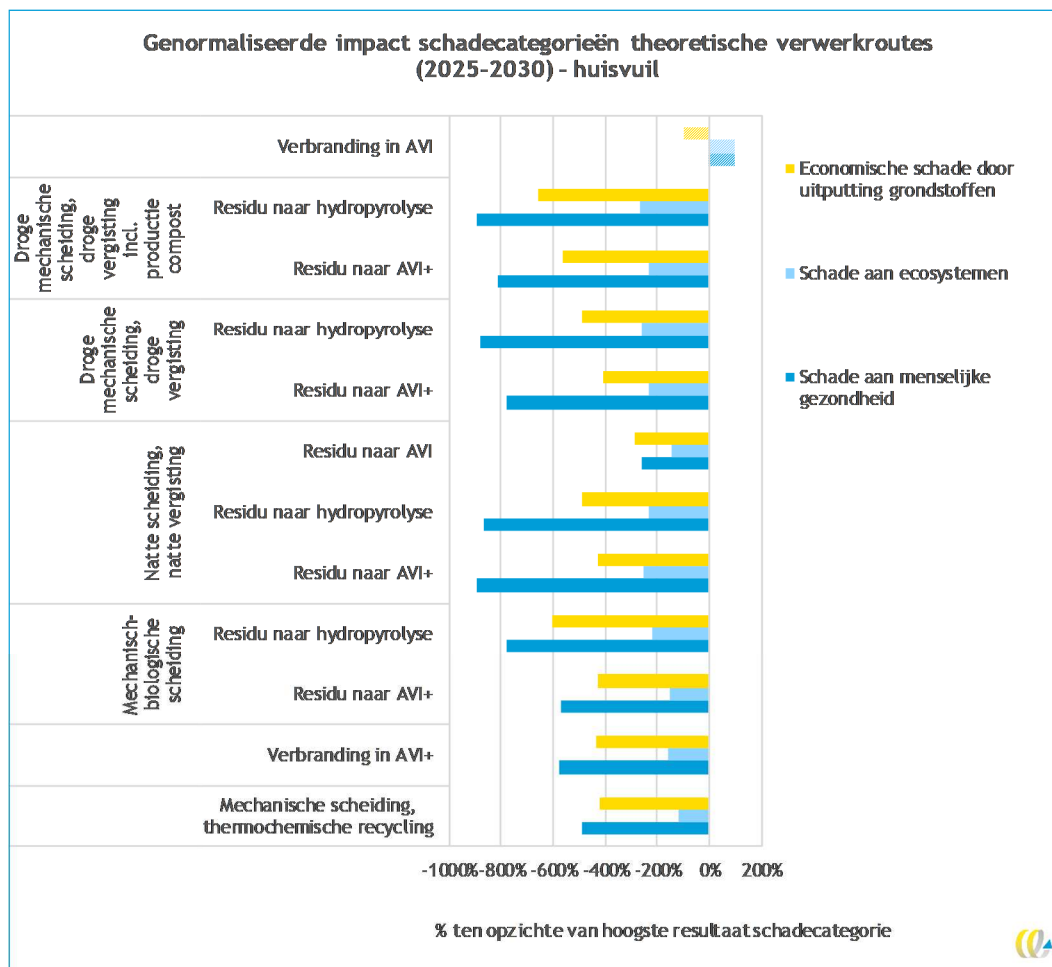
NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.

NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

9.3.2.2 Resultaten theoretische verwerkroutes (2025-2030)

Alle verwerkroutes zorgen voor een vermindering van schade in de schadecategorie 'economische schade door uitputting grondstoffen'. Dit komt omdat in alle routes óf energie wordt geproduceerd óf grondstoffen worden teruggewonnen (of een combinatie van beiden). In het geval dat er een combinatie van beiden plaatsvindt, en met name als er kunststoffen worden teruggewonnen, zorgt een verwerkroute voor een hogere vermindering van schade. Ook in de andere twee schadecategorieën leiden alle theoretische verwerkroutes tot een vermindering van schade. Dit is niet het geval voor verbranding in een conventionele AVI.

Figuur 28 Genormaliseerde impact schadecategorieën ten opzichte van hoogste schade voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil



- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

9.4 RESULTATEN EXERGETISCHE LCA (CEENE)

9.4.1 Inleiding

CEENE staat voor Cumulative Exergy Extraction from the Natural Environment en wordt gebruikt in levenscyclusanalyses voor het kwantitatief uitdrukken van de exergie die uit natuurlijke ecosystemen wordt onttrokken door grondstoffen- en brandstofgebruik. Omdat het zowel grondstoffen als brandstoffen omvat is het een relevante indicator bij beoordeling van (de eindproducten van) afvalverwerkroutes. De exergie-indicator maakt het mogelijk om zowel brandstoffen als grondstoffen in dezelfde eenheid uit te drukken

(Finnveden, Arushanyan, & Brandao, 2016). Deze indicator neemt echter geen emissies mee in haar beoordeling. De impact van bijvoorbeeld CO₂-emissies wordt in de indicator dus niet meegenomen.

De exergieanalyse combineert:

- extra onttrokken exergie door verbruik van energie en grondstoffen (hulpstoffen) bij de verwerkprocessen en opwerking;
- vermeden onttrokken exergie door productie van nuttige eindproducten (grond- en brandstoffen en opgewekte elektriciteit en warmte).

De resultaten voor exergie worden in de volgende sectie besproken.

9.4.2 Resultaten op hoofdlijnen

9.4.2.1 Resultaten bestaande verwerkroutes (2020-2025)

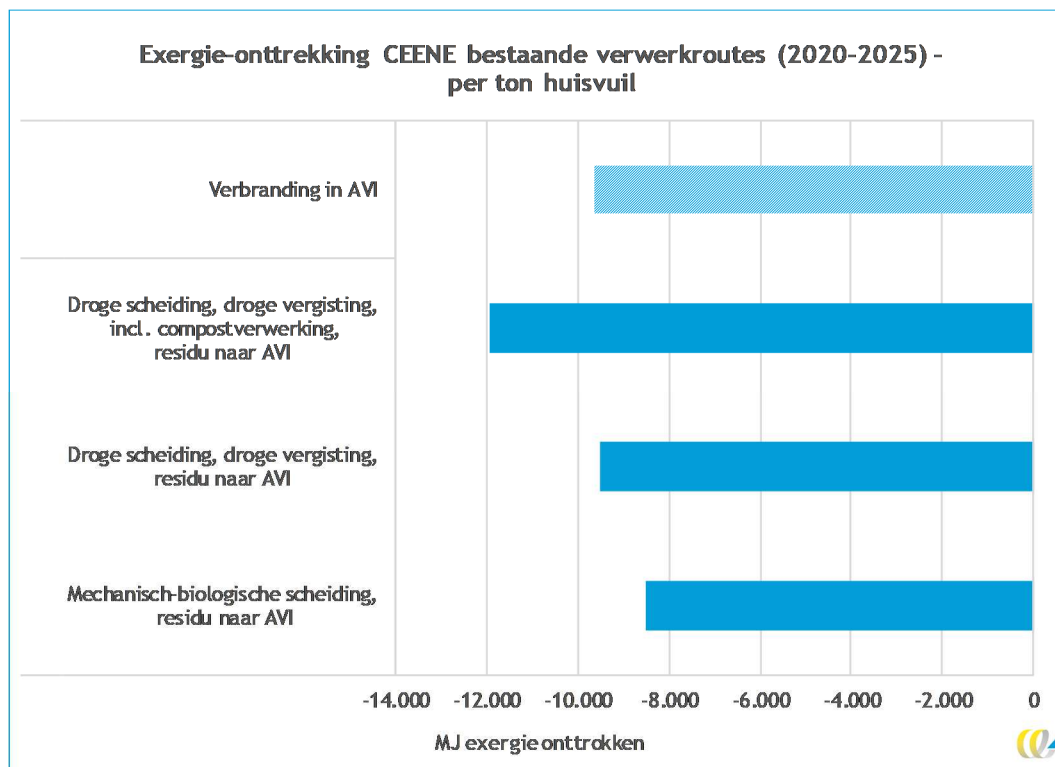
Alle verwerkroutes zorgen voor netto vermeden onttrokken exergie (exergiewinst)⁵⁹, er komt exergie beschikbaar in de vorm van geproduceerde grondstoffen en brandstoffen. Het valt op dat de verwerkroute ‘droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI’ een vergelijkbaar resultaat oplevert als verbranding in een AVI. Dit heeft twee redenen:

- Schadelijke emissies, waaronder CO₂, vormen geen onderdeel van de exergieanalyse. De fossiele CO₂-emissies van volledige verbranding van het huisvuil, ook in een AVI, zijn het hoogst van alle bekeken verwerkingsroutes en dit is duidelijk terug te zien in de resultaten voor de milieu-indicatoren en schadecategorieën.
- De route levert een combinatie van materiaalherwinning en energieproductie. Waarbij minder energie wordt geproduceerd maar meer materiaal wordt teruggewonnen.

Verder valt op dat de verwerkroute ‘droge scheiding, droge vergisting, incl. compostproductie, residu naar AVI’ het meeste exergiewinst oplevert omdat deze verwerkroute de hoogste energie-efficiëntie heeft (zie Hoofdstuk 8). De verwerkroute ‘mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI’ levert het minste exergiewinst op omdat deze verwerkroute een lagere energie-efficiëntie heeft en er geen kunststoffen worden teruggewonnen.

⁵⁹ We gebruiken de term exergiewinst door het gehele rapport. Hiermee bedoelen we de netto vermeden onttrokken exergie en dus niet een toename (winst) van de hoeveelheid exergie.

Figuur 29 Resultaten exergie-onttrekking bestaande verwerkroutes (2020-2025) per ton huisvuil



- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen.
- De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrisch rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

9.4.2.2 Resultaten theoretische verwerkroutes (2025-2030)

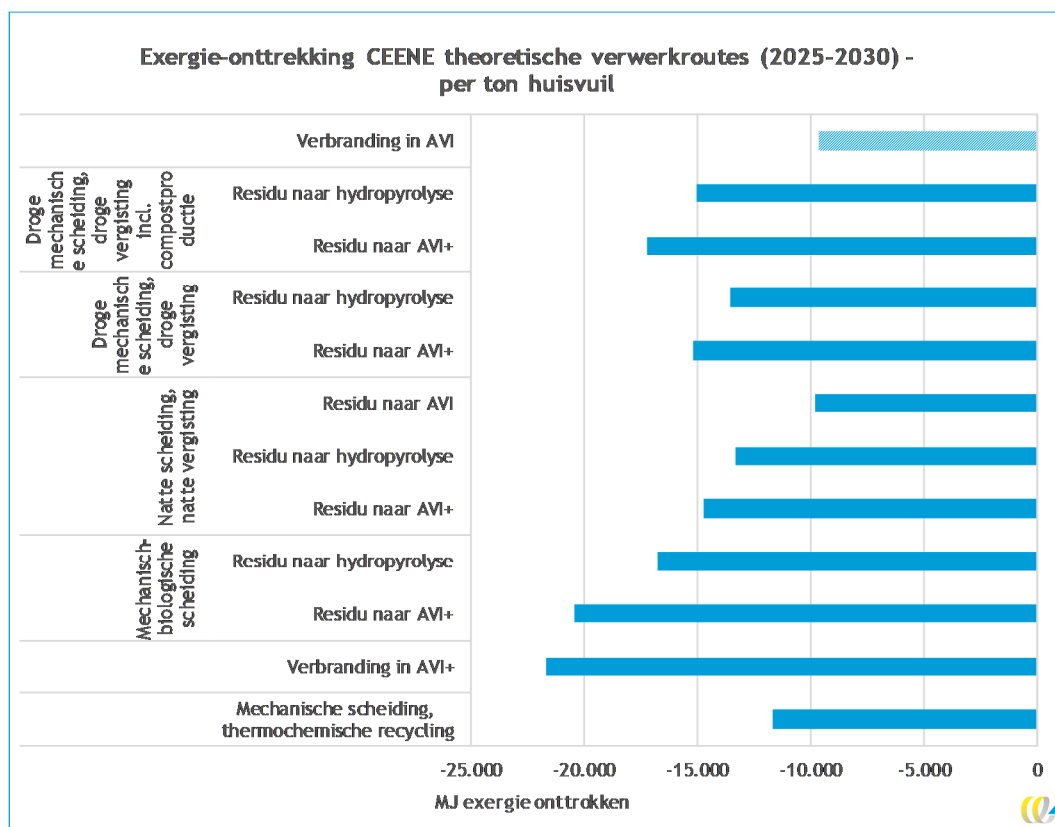
Alle verwerkroutes leveren een exergiewinst, er komt exergie beschikbaar in de vorm van geproduceerde grondstoffen en brandstoffen. Het valt op dat verbranding in de AVI+ het beste resultaat oplevert (meeste exergiewinst). Dit heeft twee redenen:

- Schadelijke emissies, waaronder CO₂, vormen geen onderdeel van de exergieanalyse.
De emissies van volledige verbranding van het huisvuil, ook in een AVI+, zijn het hoogst van alle bekeken verwerkingsroutes en dit is duidelijk terug te zien in de resultaten op de voorgaande bladzijden.
- De AVI+ heeft een zeer hoogenergetisch rendement (elektrisch + thermisch: 99%). Vooral het thermisch rendement is zeer hoog. Er wordt dus relatief veel energie verkregen, wat in de exergieanalyse 1-op-1 wordt gewaardeerd.

Mechanisch-biologische scheiding voorafgaand aan verbranding in een AVI+ van het afval leidt tot een iets minder gunstig resultaat, omdat mechanisch-biologische scheiding energie verbruikt, maar komt dicht in de buurt bij de AVI+.

De resultaten van de nascheidingsroutes in combinatie met residuverwerking in een AVI+ of met hydrolyse zijn erg vergelijkbaar. Over het algemeen levert de residuverwerking in een AVI+ een iets betere exergiebalans op dan residuverwerking met behulp van hydrolyse.

Figuur 30 Resultaten exergie-onttrekking theoretische verwerkroutes (2025-2030) per ton huisvuil



- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

9.5 CONCLUSIES

De volgende conclusies die getrokken werden naar aanleiding van de resultaten in dit hoofdstuk voor de verwerking van huisvuil:

- **Bestaande verwerkroutes:** De verwerkroute ‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking’ is alleen interessant voor toepassing in Vlaanderen als compost afgezet mag worden. Op dit moment staat de wetgeving dit niet toe. **Bestaande verwerkroutes:** De verwerkroute ‘mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI’ heeft een iets hogere klimaat-impact, een iets lagere vermeden ‘economische schade door uitputting grondstoffen’ en een iets lagere exergiewinst dan verwerking van huisvuil in een conventionele AVI, uitgaande van hetzelfde energierendement van de AVI. Voor bijna alle andere milieu-indicatoren en schadecategorieën levert deze verwerkroute wél een groter milieuvoordeel of lagere milieu-impact dan bij de verwerking van huisvuil in een conventionele AVI.
- **Bestaande verwerkroutes:** De verwerkroute ‘droge scheiding, droge vergisting’ levert op 15 van de 18 milieu-indicatoren en alle schadecategorieën een lagere milieu-impact of een hoger milieuvoordeel op dan verbranding van huisvuil in een conventionele AVI. Deze twee verwerkroutes leveren een vergelijkbaar resultaat op voor CEENE. Kortom deze nascheidingsroute lijkt een interessante afvalverwerkingsroute voor de verwerking van Vlaams huisvuil vanaf 2020.
- **Theoretische verwerkroutes:** De theoretische verwerkroutes hebben allemaal een groter milieuvoordeel op 13 van de 18 milieu-indicatoren, alle drie de schadecategorieën en op CEENE dan verwerking van huisvuil in een conventionele AVI. Het zijn daarom interessante verwerkroutes om te bekijken voor mogelijke toepassing na 2025.
- **Theoretische verwerkroutes:** Of hydrolyse of verbranding in een AVI+ als residuverwerking interessanter is hangt af van de indicator. De AVI+ levert een beter resultaat op voor CEENE en hydrolyse over het algemeen voor de milieu-indicatoren en de schadecategorieën. Allebei deze residuverwerkingstechnieken zijn daarom interessant om te bekijken voor mogelijke toepassing na 2025.

10 RESULTATEN LCA: BEDRIJFSAFVAL GELIJKAARDIG AAN HUISVUIL

10.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk worden de resultaten weergegeven van de LCA voor bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Hierbij worden opnieuw de resultaten opgedeeld in bestaande en theoretische verwerkroutes. De resultaten zijn vergelijkbaar met de resultaten voor huisvuil (zoals weergegeven in het vorige hoofdstuk). We gaan daarom in dit hoofdstuk met name in op de verschillen die er bestaan tussen de resultaten voor huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

Bij de resultaten dient in het achterhoofd gehouden te worden dat de onzekerheden in resultaten voor bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil groter zijn dan voor huisvuil omdat van ongeveer 40% van het afval niet precies bekend is wat de inhoud is. Dit afval wordt door de OVAM (OVAM, 2018) deels aangemerkt als “rest (niet-recycleerbaar)” en deels als “zeefrest”. Zie Bijlage A voor de samenstelling zoals aangegeven door de OVAM en gebruikt in deze studie.

In Sectie 10.2 gaan we in op de resultaten voor alle 18 milieu-indicatoren die onderdeel zijn van de ReCiPe-methodologie, in Sectie 10.3 kijken we naar de resultaten voor drie schadecategorieën uit de ReCiPe-methodologie en in Sectie 10.4 bekijken de resultaten van de exergetische LCA (CEENE). Samen geven deze resultaten een goed overzicht van de milieu-impact van de verschillende verwerkroutes.

10.2 RESULTATEN MILIEU-INDICATOREN

10.2.1 Inleiding

Tabel 57 laat zien waar de informatie per milieu-indicator wordt weergegeven.

Tabel 57 Leeswijzer resultaten LCA milieu-indicatoren bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil: Waar staat wat?

Milieu-indicator	Resultaten op hoofdlijnen	Resultaten in detail
Klimaatverandering	Sectie 10.2.2	Bijlage H.1
Aantasting ozonlaan		Bijlage H.2
Ioniserende straling		Bijlage H.3
Ozonvorming – menselijke gezondheid		Bijlage H.4
Ozonvorming - ecosystemen		
Fijnstofvorming		Bijlage H.5
Terrestrische verzuring		Bijlage H.6
Zoetwatervermesting		Bijlage 0
Zoutwatervermesting		
Ecotoxiciteit bodem		Bijlage H.8
Ecotoxiciteit zoetwater		
Ecotoxiciteit zoutwater		
Humane toxiciteit – carcinogeen		Bijlage H.9
Humane toxiciteit – niet-carcinogeen		Bijlage H.10
Landgebruik		Bijlage H.11
Schaarste - mineralen		Bijlage H.12
Schaarste – fossiele grondstoffen		Bijlage H.13
Watergebruik		Bijlage H.14

De resultaten in detail (de getallen) zijn voor elke verwerkroute apart weergegeven in Bijlage I.

10.2.2 Resultaten op hoofdlijnen

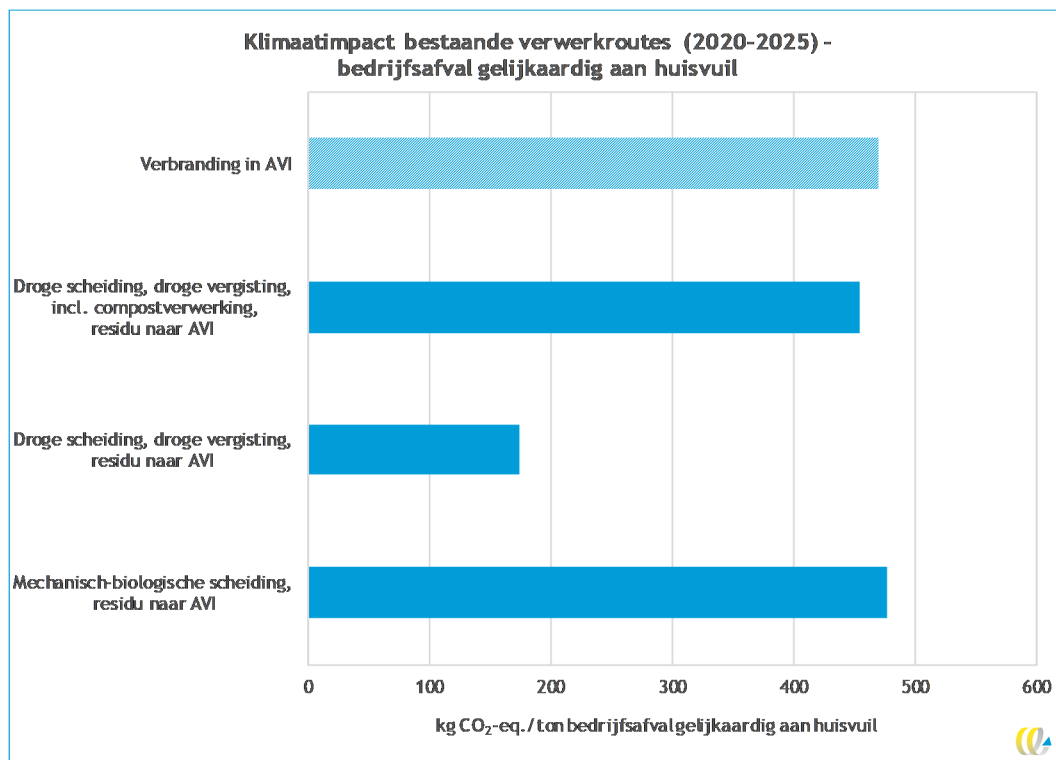
10.2.2.1 Resultaten bestaande verwerkroutes (2020-2025)

Klimaatimpact

De resultaten op klimaatimpact voor de bestaande verwerkroutes is te zien in Figuur 31. Figuur 31 laat een duidelijke verlaging van de klimaatimpact te zien ten opzichte van verbranding in de conventionele AVI, bij 'droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI'. Het verschil met de verwerking van huisvuil is dat het aandeel GFT in de afvalfractie veel lager is in het geval van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Hierdoor wordt er minder biogas geproduceerd en is de klimaatimpact van verbranding van residu hoger.

Verder is net als bij huisvuil (zie vorige hoofdstuk) te zien is dat mechanisch-biologische scheiding met residuverwerking in een conventionele AVI een iets hogere klimaatimpact heeft dan complete verbranding van het bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en dat 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking' een iets lagere klimaatimpact heeft dan verbranding in de conventionele AVI.

Figuur 31 Klimaatimpact voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil



- NB1 De technieken ‘verbranding in AVI’ en ‘mechanisch-biologische scheiding’ worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk (‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking’) en Nederland (‘droge scheiding, droge vergisting’). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze “compost” in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrisch rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

Overige milieu-impacts

We rapporteren de overige milieu-impacts in twee figuren, één figuur waar de verwerkroute ‘droge sortering, droge vergisting incl. compostverwerking, residu naar AVI’ de hoogste milieu-impact heeft (Figuur 32) en één figuur waarbij een andere bestaande verwerkroute de hoogst milieu-impact heeft (Figuur 33). Figuur 32 laat zien dat deze verwerkroute in 12 van de 18 milieu-impacts, de hoogste milieu-impact of laagste milieuvoordeel heeft, in de andere milieu-impacts hebben andere bestaande verwerkroutes een hogere milieu-impact.

“Droge sortering, droge vergisting incl. compostverwerking, residu naar AVI” wordt nu toegepast in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost maar omdat dit in Vlaanderen nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze “compost” in onze berekening gezien als residu en dus ook verbrand in een AVI. Deze optie (waarbij compost niet afgezet kan worden) is dus eigenlijk niet geschikt voor Vlaanderen.

De figuren laten een milieuvoordeel zien als een negatieve genormaliseerde impact (-), en een milieunadeel als een positieve genormaliseerde impact (+) levert een milieunadeel op. Zoals te zien in Figuur 32 en Figuur 33

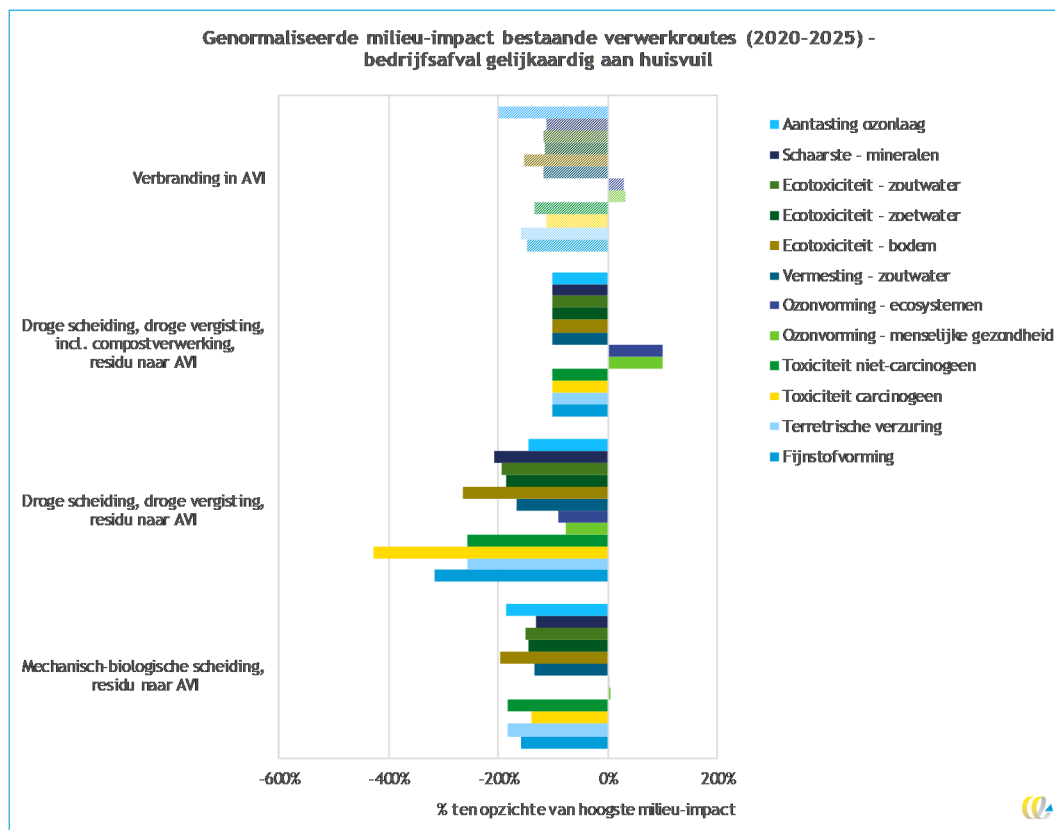
leveren alle verwerkroutes in voor de meeste milieu-impacts een milieuvoordeel op. Alleen in de volgende milieu-impacts is dit niet het geval:

- klimaatimpact;
- ozonvorming – ecosystemen;
- ozonvorming – menselijke gezondheid.

Dat verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in de verwerkroute 'droge sortering, droge vergisting incl. compostverwerking, residu naar AVI' het minst goed scoort op de milieu-impacts weergegeven in Figuur 32 is te verklaren door de hogere grondstofterugwinning in de andere bestaande verwerkroutes. Over het algemeen zien we de hoogste milieuwinst bij de verwerkroute waarbij uitgebreide scheiding plaatsvindt⁶⁰. Deze verwerkroute heeft een milieuvoordeel omdat zij veel nuttige producten uit het afval oplevert (grondstoffen en/of brandstoffen) en er zo min mogelijk afval wordt verbrand.

⁶⁰ "Droge scheiding en droge vergisting".

Figuur 32 Genormaliseerde milieu-impact ten opzichte van hoogste milieu-impact voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil (I)



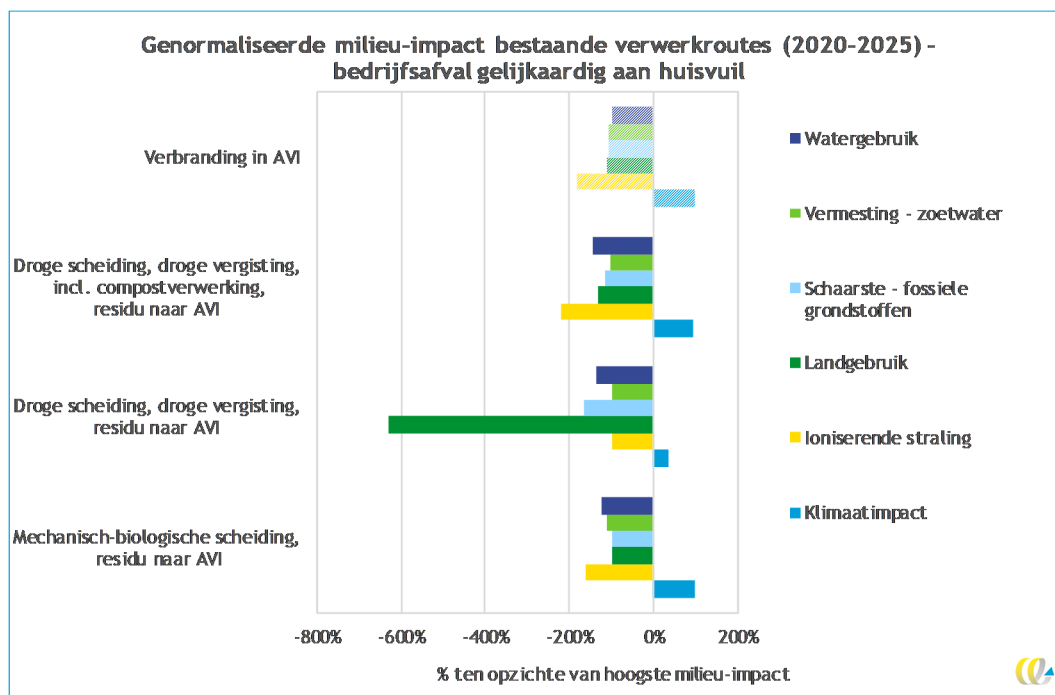
- NB1 De technieken ‘verbranding in AVI’ en ‘mechanisch-biologische scheiding’ worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk (‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking’) en Nederland (‘droge scheiding, droge vergisting’). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze “compost” in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

Zowel voor ‘klimaatimpact’, ‘landgebruik’ en ‘schaarste – fossiele grondstoffen’ heeft ‘mechanisch-biologische scheiding, residu naar de conventionele AVI’ de hoogste milieu-impact. In al deze milieu-impacts leidt het terugwinnen van kunststoffen tot een milieuvoordeel, evenals netto energieproductie. Aangezien ‘mechanisch-biologische scheiding, residu naar de conventionele AVI’ niet leidt tot kunststofterugwinning én minder netto energieproductie oplevert dan een conventionele AVI heeft deze verwerkroute de hoogste impact.

De resultaten voor ‘ioniserende straling’ zijn volledig te verklaren door netto elektriciteitsproductie. Radioactieve straling komt immers vrij bij de productie van elektriciteit in kerncentrales (ioniserende straling) en N₂O komt vrij bij de verbranding van fossiele brandstoffen voor elektriciteitsproductie (aantasting ozonlaag). De netto elektriciteitsproductie is het laagst in het geval van ‘droge scheiding, droge vergisting, residu naar de conventionele AVI’.

De resultaten voor ‘vermesting - zoetwater’ liggen zo dicht bij elkaar dat het verschil nauwelijks te zien is in Figuur 33. En tot slot gebruikt de conventionele AVI het meeste water in het proces en voorkomt dus het minste ‘watergebruik’.

Figuur 33 Genormaliseerde milieu-impact ten opzichte van hoogste milieu-impact voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil (II)



NB1 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost maar omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze “compost” in deze berekening verbrand in een AVI. Deze optie is dus eigenlijk niet geschikt voor Vlaanderen.

10.2.2.2 Resultaten theoretische verwerkroutes (2020-2025)

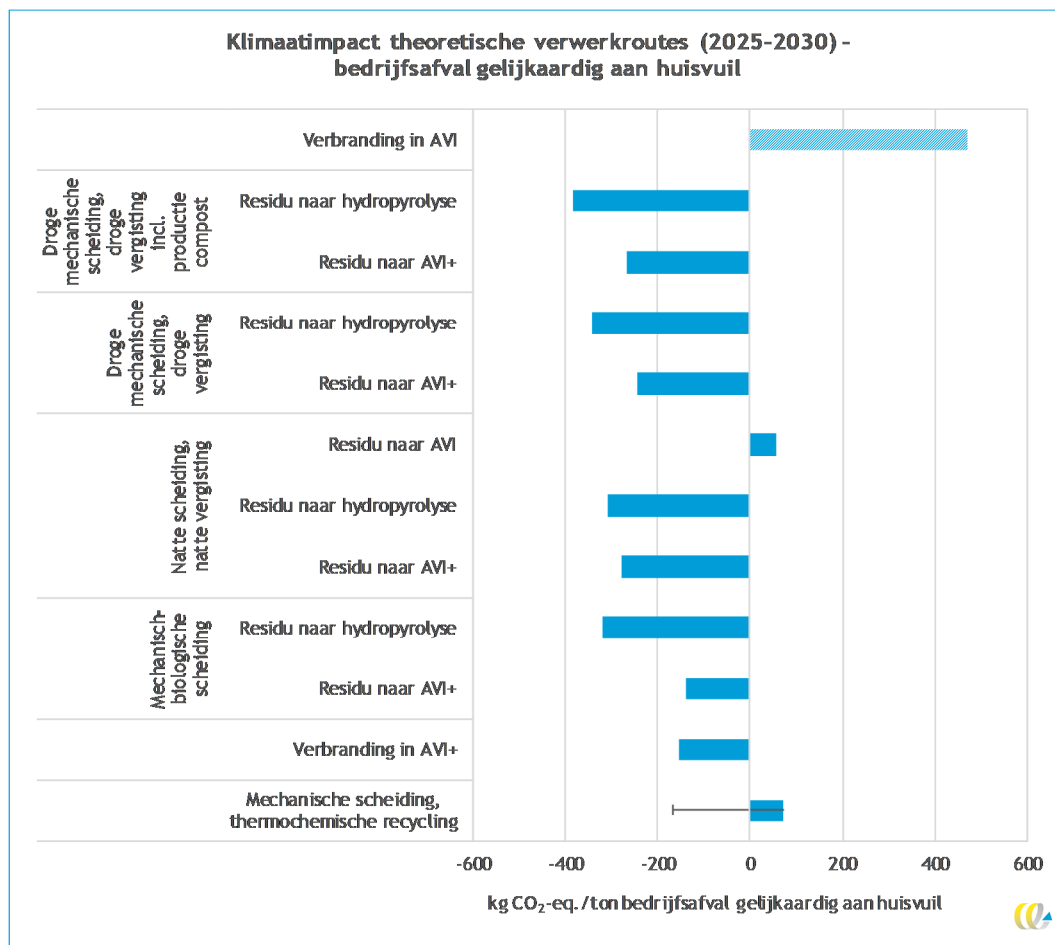
Klimaatimpact

Figuur 34 laat zien dat alle theoretische verwerkroutes behalve ‘mechanische scheiding, thermochemische recycling’ en “natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI” een voordeel opleveren voor het klimaat, terwijl een conventionele AVI een klimaatimpact oplevert. Op basis van deze resultaten lijkt het er dus op dat een combinatie van een nascheidingstechniek met een (theoretische) residuverwerking (vrijwel) altijd een klimaatvoordeel opleveren.

Verder laat de figuur zien dat:

- De AVI+ zorgt voor een groter klimaatvoordeel dan in het geval van mechanisch-biologische scheiding met residu naar een AVI+.
- De AVI+ zorgt voor een klimaatvoordeel terwijl dit bij mechanische scheiding, thermochemische verwerking niet het geval is (als er geen fermentatie toegepast wordt). Dit komt omdat we ervan uit gaan dat in dit geval het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI. Als dit ook in een AVI+ gebeurt zou het klimaatvoordeel van mechanische scheiding, thermochemische recycling groter zijn dan dat van de AVI+.
- De residuverwerking met behulp van hydropyrolyse heeft een hoger klimaatvoordeel naarmate er meer plastic in het residu zit (en er meer diesel geproduceerd wordt).

Figuur 34 Klimaatimpact voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil



Toelichting: De onzekerheidsbalk voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is een inschatting van het klimaatvoordeel als ook fermentatie toegepast wordt. Dit is mogelijk rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.

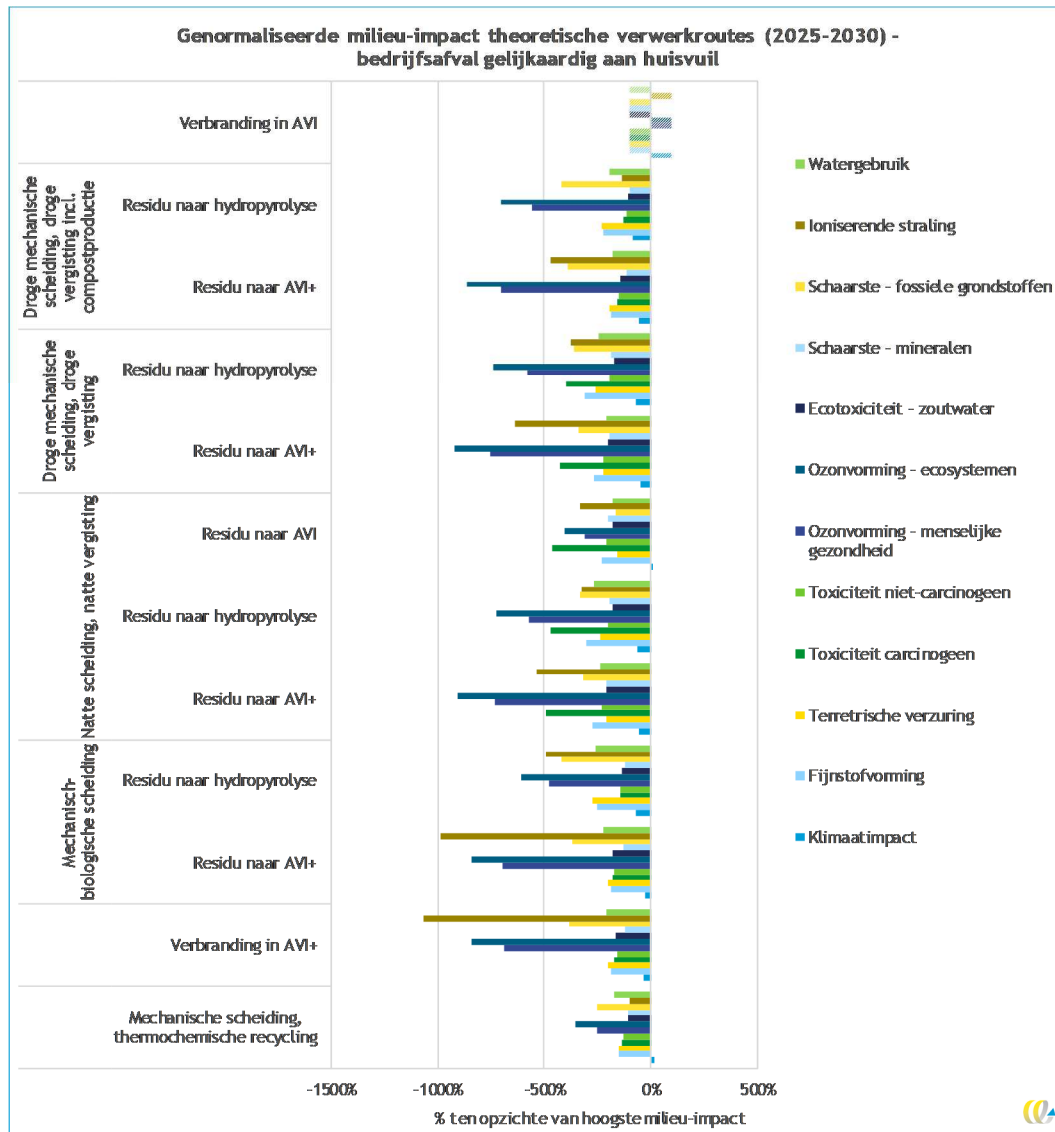
Overige milieu-impacts

We rapporteren de overige milieu-impacts opnieuw in twee figuren, één figuur waar de verbranding in een conventionele AVI de hoogste milieu-impact heeft (Figuur 35) en één figuur waarbij een theoretische verwerkroute de hoogst milieu-impact heeft (Figuur 36). Figuur 35 laat zien dat verbranding in de conventionele AVI in 12 van de 18 milieu-impacts, de hoogste milieu-impact of laagste milieuvoordeel heeft, voor de andere milieu-impacts heeft een theoretische verwerkroutes een hogere milieu-impact.

Uit Figuur 35 is op te maken dat:

- de AVI+ een stuk beter scoort op de milieu-impacts dan de conventionele AVI;
- dat een combinatie van een nascheidingstechniek en residuverwerking (hydropyrolyse of AVI+ en AVI in het geval van “natte scheiding, natte vergisting”) een milieuvoordeel oplevert op alle milieu-impacts (en op 12 van de 18 ten opzichte van de conventionele AVI).

Figuur 35 Genormaliseerde milieu-impact ten opzichte van verbranding in AVI voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil (I)



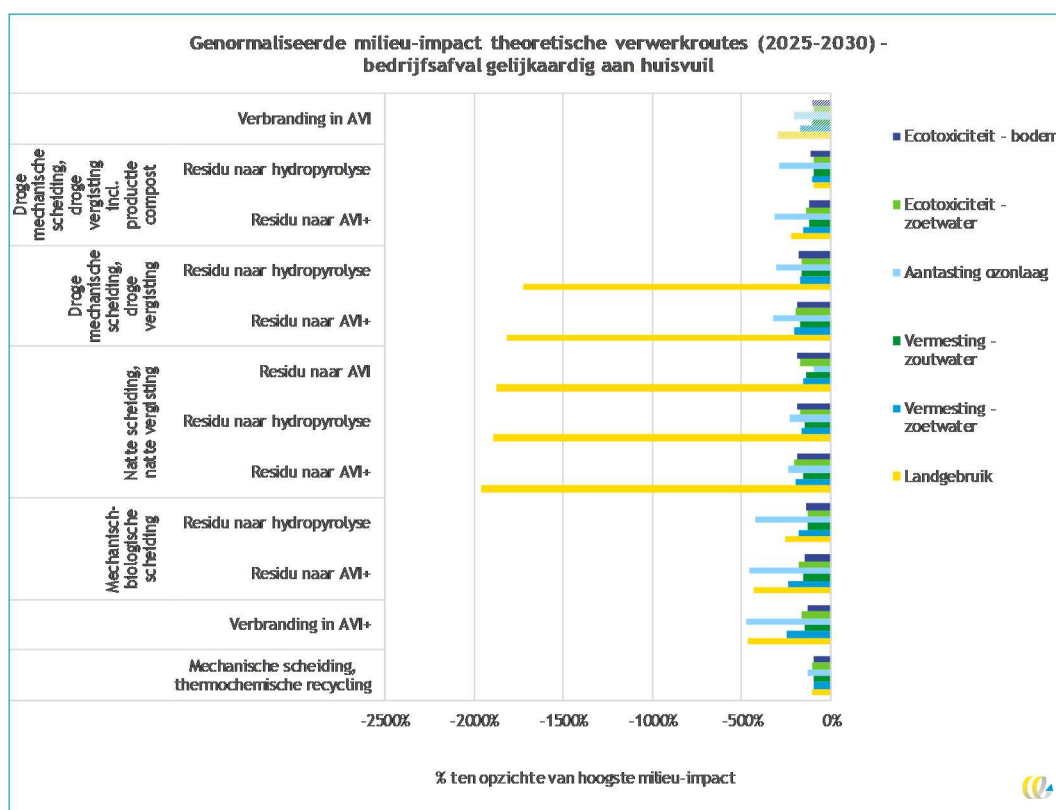
- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

Figuur 36 laat zien dat 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking, residuverwerking met behulp van hydropyrolyse' en 'mechanische scheiding, thermochemische recyclage' een lager milieuvoordeel opleveren dan de verbranding van huisvuil in een conventionele AVI voor de milieu-impacts 'landgebruik' en

‘vermesting – zoetwater’. Dit komt omdat het resultaat voor deze milieu-indicatoren (deels) samenhangt met de hoeveelheid netto elektriciteitsproductie (en het voorkomen van biomassagebruik bij elektriciteitsproductie in een biomassacentrale, het voorkomen van bruinkool⁶¹ voor elektriciteitsproductie), deze verwerkroute produceert meer energie dan verbranding in een conventionele AVI maar niet in de vorm van elektriciteit. Beide theoretische verwerkroutes hebben een iets lager milieuvoordeel voor de milieu-impact ‘ecotoxiciteit – zoetwater’ en ‘vermesting – zoutwater’, het verschil is echter niet significant (5%).

De figuur laat verder zien dat ‘natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI’ een lager milieuvoordeel oplevert dan de verbranding van huisvuil in een conventionele AVI voor de milieu-impact ‘aantasting ozonlaag’. Dit komt omdat deze route het minste warmte en elektriciteit produceert.

Figuur 36 Genormaliseerde milieu-impact ten opzichte van verbranding in AVI voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil (II)



- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

⁶¹ Elektriciteit uit bruinkool is beperkt aanwezig in de Belgische elektriciteitsmix door import van elektriciteit uit Duitsland.

10.3 RESULTATEN SCHADECATEGORIEËN

10.3.1 Inleiding

Tabel 58 laat zien waar de informatie per schadecategorie wordt weergegeven.

Tabel 58 Leeswijzer resultaten LCA--schadecategorieën bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil: Waar staat wat?

Schadecategorie	Resultaten op hoofdlijnen	Resultaten in detail
Schade aan menselijke gezondheid	Sectie 10.3.2	Bijlage H.15
Schade aan ecosystemen		Bijlage H.16
Economische schade door uitputting van grondstoffen		Bijlage H.17

De resultaten in detail (de getallen) zijn voor elke verwerkroute apart weergegeven in Bijlage I.

10.3.2 Resultaten op hoofdlijnen

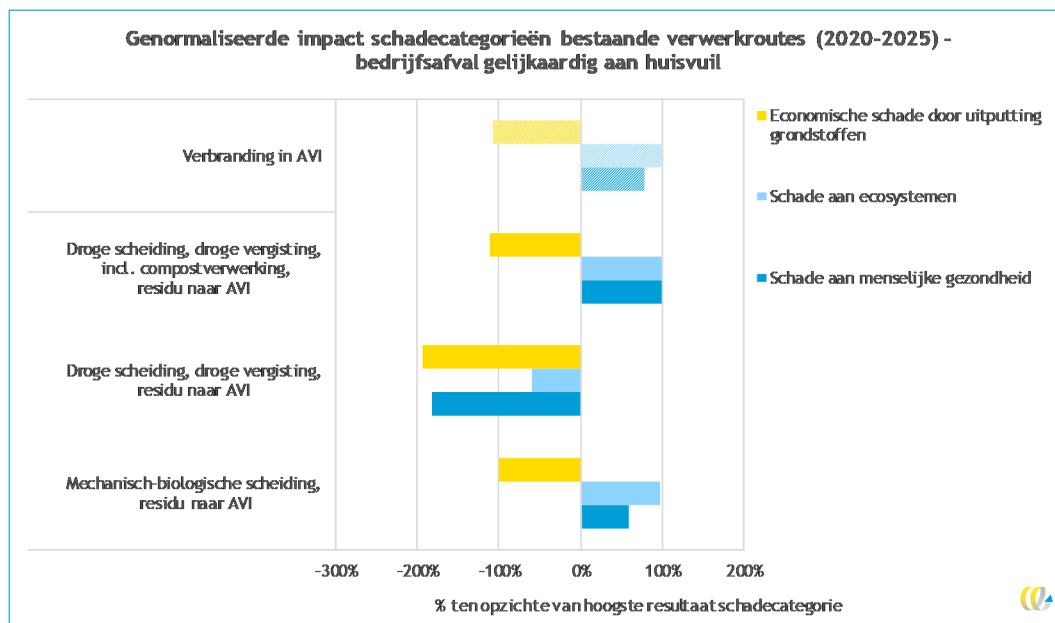
10.3.2.1 Resultaten bestaande verwerkroutes (2020-2025)

Alle verwerkroutes zorgen voor een vermindering van schade in de schadecategorie 'economische schade door uitputting grondstoffen'. Dit komt omdat in alle routes óf energie wordt geproduceerd óf grondstoffen worden teruggewonnen (of een combinatie van beiden). In het geval dat er een combinatie van beiden plaatsvindt, en met name als er kunststoffen worden teruggewonnen, zorgt een verwerkroute voor een hogere vermindering van schade.

In de andere twee schadecategorieën (ecosystemen en menselijke gezondheid) leiden 'verbranding in AVI', 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking, residu naar AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI' een vergelijkbare schade op aan het milieu. Dit komt met name door de emissie van fossiele CO₂-emissie uit de verbranding in de conventionele AVI. Het resultaat op deze schadecategorieën hangt namelijk erg samen met het resultaat voor de milieu-indicator 'klimaatimpact'. In het geval van schade aan menselijke gezondheid speelt ook de milieu-indicator 'fijnstofvorming' een belangrijke rol. Hierbij dient opnieuw de kanttekening geplaatst te worden dat dit niet de werkelijkheid zoals deze nu in Vlaanderen plaatsvindt, door de hogere energie-inhoud van het residu bij mechanisch-biologische scheiding kan het in een AVI verwerkt worden die een hogere energie-inhoud aan kan en vaak ook een hoger rendement heeft. Deze variant laten we zien tijdens de gevoeligheidsanalyse in Hoofdstuk 11.

De verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI' zorgt op alle drie de schadecategorieën voor een vermindering in schade door het voorkomen van verbranding, de productie van biomethaan en terugwinning van metaal en kunststoffen.

Figuur 37 Genormaliseerde impact schadecategorieën ten opzichte van hoogste schade voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil



Toelichting: negatieve genormaliseerde schade geeft een milieuvoordeel weer, positieve genormaliseerde schade een milieunadeel

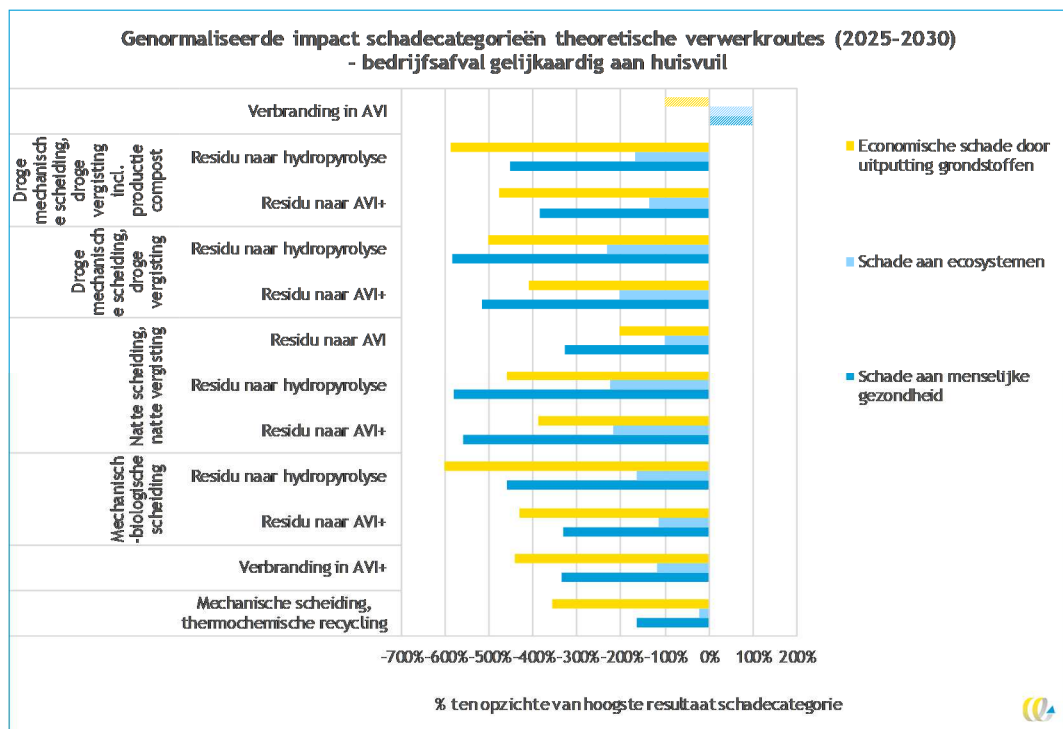
- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

10.3.2.2 Resultaten theoretische verwerkroutes (2025-2030)

Alle verwerkroutes zorgen voor een vermindering van schade in de schadecategorie 'economische schade door uitputting grondstoffen'. Dit komt omdat in alle routes óf energie wordt geproduceerd óf grondstoffen worden teruggewonnen (of een combinatie van beiden). In het geval dat er een combinatie van beiden plaatsvindt, en met name als er kunststoffen worden teruggewonnen, zorgt een verwerkroute voor een hogere vermindering van schade.

Ook in de andere twee schadecategorieën leiden alle theoretische verwerkroutes tot een vermindering van schade. Dit is niet het geval voor verbranding in een conventionele AVI.

Figuur 38 Genormaliseerde impact schadecategorieën ten opzichte van hoogste schade voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil



- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

10.4 RESULTATEN EXERGETISCHE LCA (CEENE)

10.4.1 Inleiding

De exergieanalyse combineert:

- extra onttrokken exergie door verbruik van energie en grondstoffen (hulpstoffen) bij de verwerkprocessen en opwerking;
- vermeden onttrokken exergie door productie van nuttige eindproducten (grond- en brandstoffen en opgewekte elektriciteit en warmte).

De resultaten voor exergie worden in de volgende sectie besproken.

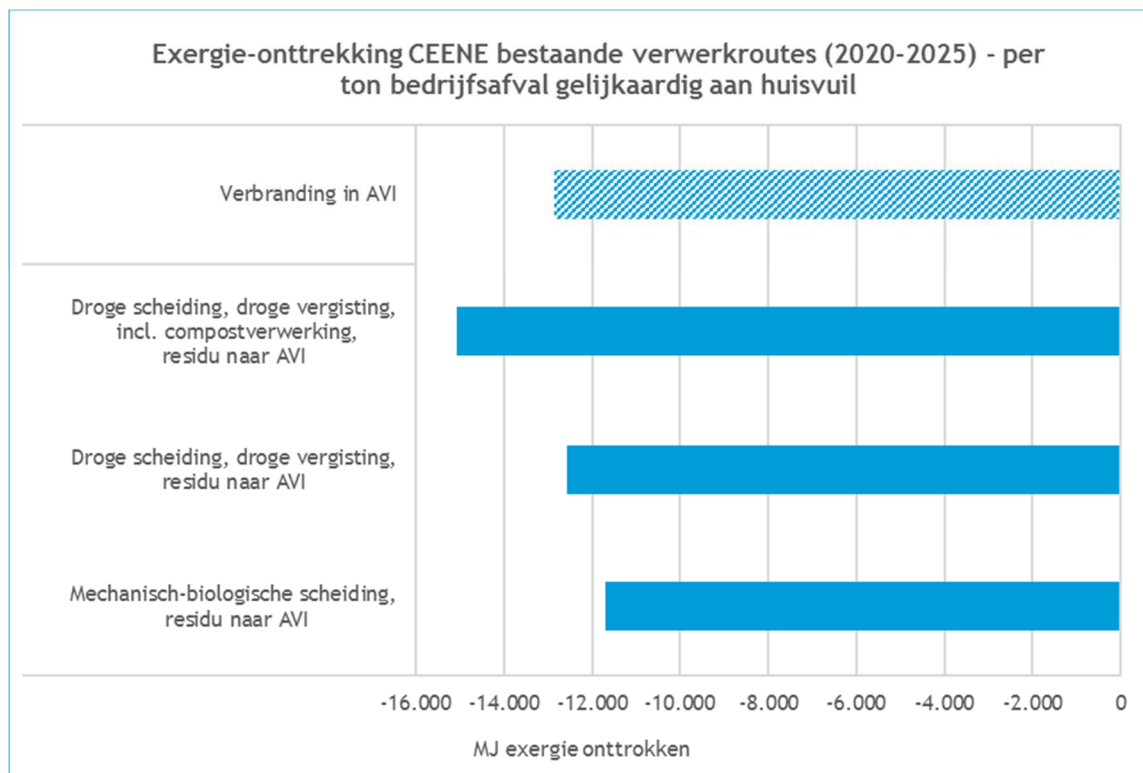
10.4.2 Resultaten op hoofdlijnen

10.4.2.1 Resultaten bestaande verwerkroutes (2020-2025)

Alle verwerkroutes zorgen voor netto vermeden onttrokken exergie (exergiewinst)⁶², er komt exergie beschikbaar in de vorm van geproduceerde grondstoffen en brandstoffen. Het valt op dat de verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostproductie, residu naar AVI' het meeste exergiewinst oplevert omdat deze verwerkroute de hoogste energie-efficiëntie heeft (zie Hoofdstuk 8).

⁶² We gebruiken de term exergiewinst door het gehele rapport. Hiermee bedoelen we de netto vermeden onttrokken exergie en dus niet een toename (winst) van de hoeveelheid exergie.

Figuur 39 Resultaten exergie-onttrekking bestaande verwerkroutes (2020-2025) per ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil



- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrisch rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

10.4.2.2 Resultaten theoretische verwerkroutes (2025-2030)

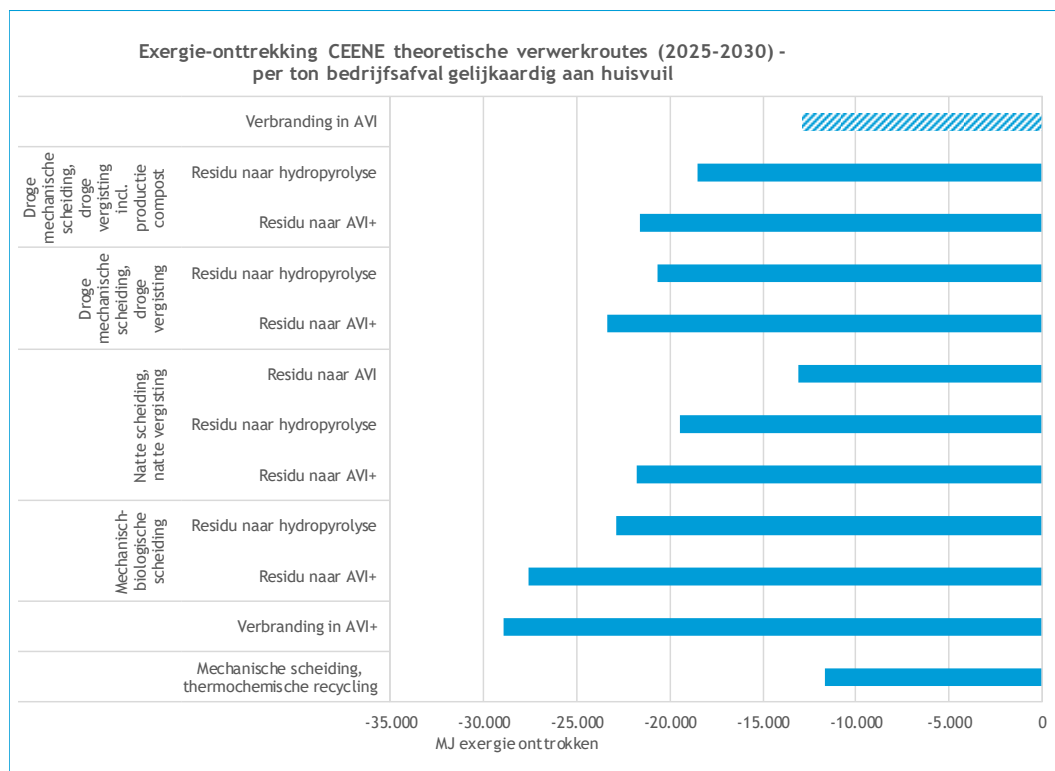
Alle verwerkroutes leveren een exergiewinst, er komt exergie beschikbaar in de vorm van geproduceerde grondstoffen en brandstoffen. Het valt op dat verbranding in de AVI+ het beste resultaat oplevert (meeste exergiewinst). Dit heeft twee redenen:

- Schadelijke emissies, waaronder CO₂, vormen geen onderdeel van de exergieanalyse. De emissies van volledige verbranding van het bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil, ook in een AVI+, zijn het hoogst van alle bekeken verwerkingsroutes en dit is duidelijk terug te zien in de resultaten in resultaten op de vorige bladzijden.
- De AVI+ heeft een zeer hoogenergetisch rendement (elektrisch + thermisch: 99%). Vooral het thermisch rendement is zeer hoog. Er wordt dus relatief veel energie verkregen, wat in de exergieanalyse 1-op-1 wordt gewaardeerd.

Mechanisch-biologische scheiding voorafgaand aan verbranding in een AVI+ van het afval leidt tot een iets minder gunstig resultaat, omdat mechanisch-biologische scheiding energie verbruikt maar komt dicht in de

buurt bij de AVI+. De resultaten van de nascheidingsroutes in combinatie met residuverwerking in een AVI+ of met hydropyrolyse zijn erg vergelijkbaar. Over het algemeen levert de residuverwerking in een AVI+ een iets betere exergiebalans op dan residuverwerking met behulp van hydropyrolyse.

Figuur 40 Resultaten exergie-onttrekking theoretische verwerkroutes (2025-2030) per ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil



- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

10.5 CONCLUSIES

De volgende conclusies die getrokken werden naar aanleiding van de resultaten in dit hoofdstuk voor de verwerking van bedrijfsafval:

- **Bestaande verwerkroutes:** De verwerkroute ‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking’ is alleen interessant voor toepassing in Vlaanderen als compost afgezet mag worden. Op dit moment staat de wetgeving dit niet toe.
- **Bestaande verwerkroutes:** De verwerkroute ‘mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI’ heeft een iets hogere klimaat-impact, een iets lagere vermeden ‘economische schade door uitputting grondstoffen’ en een iets lagere exergiewinst dan verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in een conventionele AVI, uitgaande van hetzelfde energierendement van de AVI. Voor bijna alle andere milieu-

indicatoren en schadecategorieën levert deze verwerkroute wél een groter milieuvoordeel of lagere milieu-impact dan bij de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in een conventionele AVI.

- **Bestaande verwerkroutes:** De verwerkroutes ‘droge scheiding, droge vergisting’ levert op 15 van de 18 milieu-indicatoren en alle schadecategorieën een lagere milieu-impact of een hoger milieuvoordeel op dan verbranding van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in een conventionele AVI. Deze verwerkroute levert een lagere exergiewinst op dan verbranding van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in een conventionele AVI. Toch lijkt deze nascheidingsroute interessante afvalverwerkingsroutes voor de verwerking van Vlaams bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil vanaf 2020.
- **Theoretische verwerkroutes:** De theoretische verwerkroutes hebben allemaal een groter milieuvoordeel op 12 van de 18 milieu-indicatoren, alle drie de schadecategorieën en op CEENE dan verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in een conventionele AVI. Het zijn daarom interessante verwerkroutes om te bekijken voor mogelijke toepassing na 2025.
- **Theoretische verwerkroutes:** Of hydropyrolyse of verbranding in een AVI+ als residuverwerking interessanter is hangt af van de indicator. De AVI+ levert een beter resultaat op voor CEENE en hydropyrolyse over het algemeen voor de milieu-indicatoren en de schadecategorieën. Allebei deze residuverwerkingstechnieken zijn daarom interessant om te bekijken voor mogelijke toepassing na 2025.

11 GEVOELIGHEIDSANALYSES

Omdat in deze studie gekeken wordt naar de verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in de toekomst bestaat er onzekerheid over een deel van de gebruikte data en gemaakte keuzes. Om deze onzekerheid in kaart te brengen maken we gebruik van gevoeligheidsanalyses. De volgende aspecten worden middels gevoeligheidsanalyse onderzocht:

- verandering in de samenstelling van huisvuil;
- onzekerheden in onderzochte verwerkingsroutes;
- invloed van de keuze voor een attributionele LCA/variatie in elektriciteitsmix;
- invloed van weglaten transport uit analyse.

11.1 VERANDERING IN DE SAMENSTELLING VAN HUISVUIL

De samenstelling van huisvuil zou kunnen veranderen door:

- Uitbreiding recyclage verpakkingsmateriaal: Uitbreiding van de typen kunststof verpakkingsmateriaal die met het Fost Plus-systeem worden ingezameld. In 2019 wordt hierover een beslissing genomen. De uitbreiding van het Fost Plus-systeem kan ervoor zorgen dat de hoeveelheid folies en vormvaste kunststoffen in het huisvuil sterk afneemt.
- Uitbreiding inzameling GFT: Grootschalige GFT-inzameling in alle Vlaamse gemeenten. Dit verlaagt het biogene deel van het huishoudelijk restafval.
- Uitbreiding inzameling textiel.

Deze veranderingen in samenstelling zijn alleen bekeken voor een verandering in samenstelling van het huisvuil.

De scenario's hebben gevolgen voor de hoeveelheid kunststof, GFT en/of textiel in het huisvuil. De samenstellingen van het huisvuil die gebruikt worden in deze gevoeligheidsanalyse zijn terug te vinden in Bijlage A.2.

11.1.1 Uitbreiding recyclage verpakkingsmateriaal

In 2018 is besloten dat het aantal typen plastic verpakkingsmateriaal die in het Fost Plus- systeem worden ingezameld wordt uitgebreid. Deze invoering gaat ervoor zorgen dat o.a. de hoeveelheid folies en harde kunststoffen in het huisvuil zal afnemen.

Omdat nog onduidelijk is wat het scheidingspercentage gaat zijn voor deze plastics is besloten om uit te gaan van twee verschillende scenario's:

- een scenario waarbij 80% van de aanwezige folies en harde (vormvaste) kunststoffen (PET, HDPE, PP, PS, PVC en overige harde kunststoffen) selectief wordt ingezameld via het Fost Plus-systeem;
- een scenario waarbij 40% van de aanwezige folies en harde (vormvaste) kunststoffen (PET, HDPE, PP, PS, PVC en overige harde kunststoffen) selectief wordt ingezameld via het Fost Plus-systeem.

De verwachting is dat een afname van 40% van deze kunststoffen op korte termijn mogelijk is (voor 2025), maar dat de afname van 80% langer op zich zal laten wachten.

Verbranding van kunststof leidt tot emissies en dus tot milieu-impact. Het scheiden en verwerken van kunststof leidt tot vermeden grondstoffen en/of brandstoffen, en dus tot een milieuwinst. Vermindering van kunststof in het huisvuil zal zodoende leiden tot:

- Een verlaging van de procesemissies van de volledige verwerking van huisvuil in een AVI en AVI+ en een verlaging van procesemissies uit de residuverwerking in een AVI, AVI+ en hydropyrolyse door een vermindering in de hoeveelheid residu uit de nascheidingsroutes.
- Een verlaging van de opgewekte warmte en elektriciteit bij de volledige verwerking van huisvuil in een AVI en AVI+ en bij de residuverwerking in een AVI, AVI+ en hydropyrolyse. In het laatste geval gaat het om een verlaging van dieselopbrengst.
- Een verlaging van de hoeveelheid teruggewonnen kunststof bij de nascheidingsroutes.

We beschrijven alleen de belangrijkste verschillen met de verwerking van huisvuil in de basisanalyse.

Let op: de invloed op het totale afvalverwerkingssysteem is niet bekeken in deze gevoeligheidsanalyse, de studie richt zich immers alleen op de verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Waar mogelijk is een indicatie gegeven van de verwachte invloed op het totale afvalverwerkingssysteem. De invloed op het afvalverwerkingssysteem van een uitbreiding van Fost Plus is naast de resultaten per ton huisvuil in ieder geval:

- De totale milieu-impact van het afvalverwerkingssysteem neemt af door een toename in kunststofrecycling. In deze analyse is het milieuvoordeel van het Fost Plus-systeem niet meegenomen.
- De totale energieproductie bij verwerking van residu in een AVI neemt af (bij gelijkblijvende thermisch en elektrisch rendement), omdat er simpelweg minder huisvuil beschikbaar is voor verbranding. Het gaat hierbij niet alleen om minder huisvuil, maar de totale energie-inhoud van het huisvuil is ook lager. Door meer selectieve inzameling (Fost Plus uitgebreid) zoals we veronderstellen in deze gevoeligheidsanalyse gaat er minder afval via de AVI.

11.1.1.1 Bestaande verwerkroutes (2020-2025)

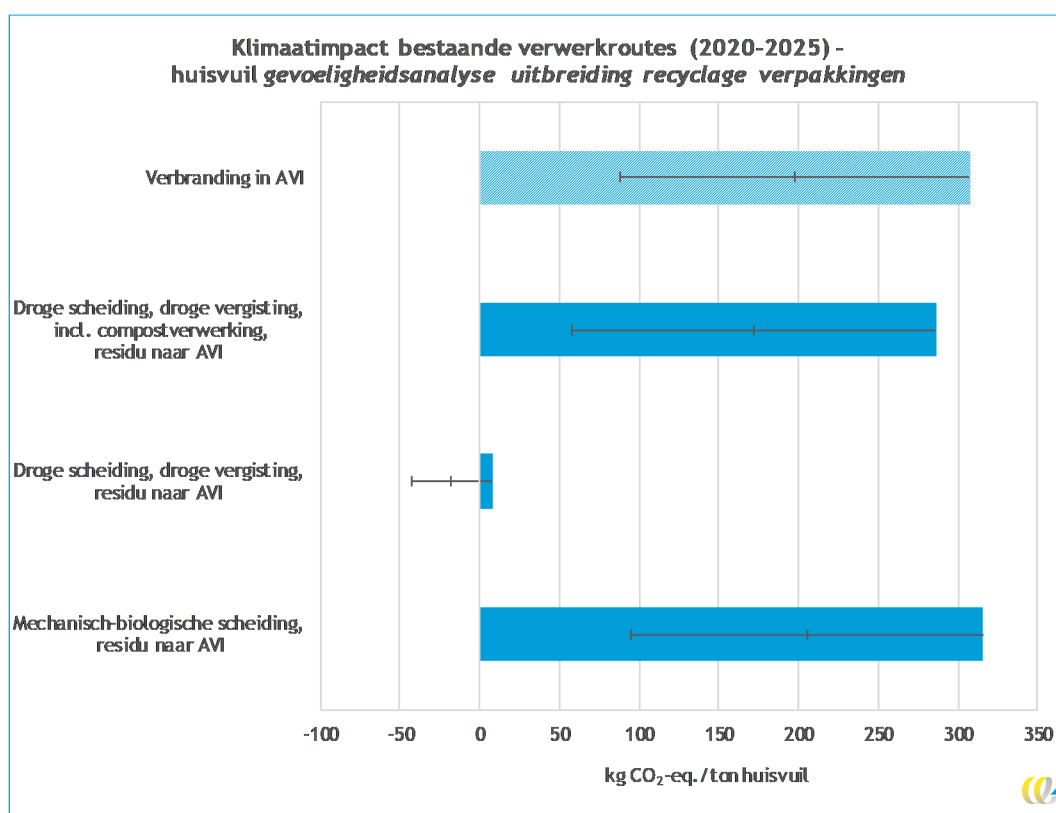
Resultaten klimaatimpact

Door een verlaging van de procesemissies neemt de klimaatimpact van de verwerking van huisvuil in een conventionele AVI, 'mechanisch-biologische scheiding' en 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking' af. Het klimaatvoordeel van 'droge scheiding, droge vergisting, verbranding in conventionele AVI' neemt toe, maar de verandering is een stuk minder dan dat van de andere drie verwerkroutes. De routes komen daarmee dicht bij elkaar zoals te zien in Figuur 41. Hoe hoger de scheiding aan de bron (selectieve inzameling), hoe dicht de routes elkaar naderen.

Het klimaatvoordeel van de verwerkroute ‘droge scheiding, droge vergisting, verbranding in conventionele AVI’ neemt nog toe met name door de lagere fossiel koolstof inhoud in het residu uit deze route. Omdat er minder kunststof in een ton restafval zit, is er meer biogeen materiaal in het restafval.

De resultaten per ton huisvuil zeggen niks over de klimaatimpact van het totale afvalverwerkingssysteem van huisvuil en selectief ingezamelde afvalstromen van huishoudens. Als gevolg van meer selectieve inzameling neemt de totale hoeveelheid te verwerken huisvuil af. Er is daarnaast een toename in de verwerking van selectief ingezamelde plastic verpakkingen. Ook bij de verwerking van selectief ingezamelde plastic verpakkingen wordt nog een klimaatvoordeel behaald omdat een deel van deze ingezamelde plastic verpakkingen na verwerking tot granulaat of flakes zorgen voor een vermindering in vraag naar primair plastic. De totale klimaatimpact van het afvalverwerkingssysteem neemt dus ook af.

Figuur 41 Klimaatimpact verwerkroutes (2020 – 2025) – huisvuil. Gevoeligheidsanalyse uitbreiding recyclage verpakkingen



Toelichting: Foutbalk geeft de invloed weer van uitbreiding selectieve inzameling van kunststofverpakkingen.

De meest linkse foutbalk is een reductie van 80% kunststof in het huisvuil, en de meest rechtse foutbalk een reductie van 40% kunststof in het huisvuil.

- NB1 De technieken ‘verbranding in AVI’ en ‘mechanisch-biologische scheiding’ worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk (‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking’) en Nederland (‘droge scheiding, droge vergisting’). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze “compost” in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

Resultaten overige milieu-indicatoren

Door de vermindering van de afscheiding van kunststof neemt het milieuvoordeel van 'droge scheiding, droge vergisting' af in 16 van de 18 milieu-indicatoren of blijft de milieu-impact vrijwel gelijk. De uitzonderingen hierop is de klimaatimpact, zoals net al besproken, en ioniserende straling. In dit laatste geval neemt het milieuvoordeel toe omdat er minder elektriciteit nodig is voor de verwerking van het uitgesorteerde kunststof (er is immers minder kunststof)⁶³. De reductie van het milieuvoordeel is groter in het geval van een 80% reductie van kunststof in het huisvuil dan in het geval van 40% reductie van kunststof in het huisvuil.

Het is goed hierbij te vermelden dat het milieuvoordeel van kunststofrecycling wel toeneemt, maar omdat de kunststof selectief is ingezameld is dit voordeel niet terug te zien per ton huisvuil. In deze zelfde 16 milieu-indicatoren blijft de impact van de andere verwerkroutes gelijk behalve in het geval van 'aantasting ozonlaag' hier neemt het milieuvoordeel in alle verwerkroutes significant af. Dit komt door de afname van netto energieproductie in alle verwerkroutes door de afname van energie-inhoud in het huisvuil ten opzichte van de basisanalyse.

Voor de verwerkroutes 'Verbranding in AVI', 'mechanisch-biologische scheiding' en 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking' geldt ook dat het milieuvoordeel van ioniserende straling afneemt omdat er minder elektriciteit geproduceerd wordt door de lager energie-inhoud van het huisvuil ten opzichte van de basisanalyse.

Ondanks deze verschillen blijft het grootste gedeelte van de conclusies uit de basisanalyse in stand:

- De verwerkroute 'droge sortering, droge vergisting incl. compostverwerking' in 12 van de 18 milieu-impacts, de hoogste milieu-impact of het laagste milieuvoordeel. In de andere zes milieu-impacts hebben andere verwerkroutes een hogere milieu-impact.
- Net als in de basisanalyse van huisvuil leveren alle verwerkroutes in voor de meeste milieu-impacts een milieuvoordeel op. Alleen in de volgende milieu-impacts is dit niet het geval: 'klimaatimpact', 'ozonvorming – ecosystemen' en 'ozonvorming – menselijke gezondheid'.
- Net als in de basisanalyse heeft 'mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI' nog steeds de hoogste milieu-impact of het laagste milieuvoordeel voor klimaatimpact, landgebruik en 'schaarste – fossiele grondstoffen'.
- Net als in de basisanalyse heeft 'verbranding in conventionele AVI' nog steeds het hoogste watergebruik.
- Net als in de basisanalyse heeft 'droge scheiding, droge vergisting, verbranding in conventionele AVI' nog steeds het laagste milieuvoordeel voor 'ioniserende straling' en 'vermesting – zoutwater'.

Resultaten schadecategorieën

Alle verwerkroutes zorgen voor deze afvalsamenstelling voor een vermindering van schade in de schadecategorieën 'menselijke gezondheid' en 'economische schade door uitputting grondstoffen'.

De verandering in de schadecategorie menselijke gezondheid ten opzichte van de basisanalyse komt door de afname van de klimaatimpact voor 'verbranding in AVI', 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking, residu naar AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI'. In de schadecategorie 'ecosystemen' leidt 'verbranding in AVI' nog steeds tot een schade aan het milieu. De schade is echter minimaal.

De verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI' zorgt nog steeds op alle drie de schadecategorieën voor een vermindering in schade door het voorkomen van verbranding en terugwinning van metaal en kunststoffen. De voorkomen schade is echter wel kleiner dan in de basisanalyse. Het is goed hierbij te vermelden dat het milieuvoordeel van kunststofrecycling wel plaatsvindt, maar omdat de kunststof selectief is ingezameld is dit voordeel niet terug te zien per ton huisvuil.

⁶³ Het gaat hierbij niet om de het elektriciteitsgebruik van scheiding in de nascheidingsinstallatie, deze is laag, maar om het elektriciteitsgebruik tijdens de verwerking van de kunststoffen bij een kunststofverwerker. Hier worden de vervuilingen uit de kunststof gehaald en wordt de kunststof omgevormd tot flakes of granulaat.

All-in-all betekent dit dat het verschil tussen de verwerkroutes kleiner wordt naarmate er minder kunststof in het huisvuil aanwezig is.

Resultaten exergetische LCA (CEENE)

Net als in de basisanalyse leveren alle verwerkroutes een exergiewinst op. 'Droge mechanische scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking' levert net als in de basisanalyse de hoogste exergiewinst op door de hoge biogasopbrengst en elektriciteitsproductie hieruit. 'Mechanisch-biologische scheiding' levert de laagste exergiewinst op.

11.1.1.2 Theoretische verwerkroutes (2025-2030)

Resultaten klimaatimpact

Net als in de basisanalyse leveren alle verwerkroutes een voordeel op voor klimaat, terwijl een conventionele AVI een klimaatimpact oplevert. Op basis van deze resultaten lijkt het er dus op dat een combinatie van een nascheidingstechniek met een theoretische residuverwerking (of in combinatie met de conventionele AVI in het geval van 'natte scheiding, natte vergisting') altijd een klimaatvoordeel opleveren.

De resultaten per ton huisvuil zeggen niks over de klimaatimpact van het totale afvalverwerkingssysteem van huisvuil en selectief ingezamelde afvalstromen van huishoudens. Als gevolg van meer selectieve inzameling neemt de totale hoeveelheid te verwerken huisvuil af. Er is daarnaast een toename in de verwerking van selectief ingezamelde plastic verpakkingen. Ook bij de verwerking van selectief ingezamelde plastic verpakkingen wordt nog een klimaatvoordeel behaald omdat een deel van deze ingezamelde plastic verpakkingen na verwerking tot granulaat of flakes zorgen voor een vermindering in vraag naar primair plastic. De totale klimaatimpact van het afvalverwerkingssysteem (de combinatie van verwerking van selectief ingezamelde stromen en verwerking van huisvuil) neemt dus ook af.

Resultaten overige milieu-indicatoren

Anders dan in de basisanalyse heeft verbranding in de conventionele AVI bij 80% reductie in kunststof in huisvuil in 12 van de 18 milieu-indicatoren, de hoogste milieu-impact of laagste milieuvoordeel, en bij 40% reductie in kunststof in huisvuil in 10 van de 18 milieu-indicatoren. In de andere milieu-indicatoren heeft een theoretische verwerkroute een hogere milieu-impact. Het gaat hierbij om dezelfde milieu-indicatoren als in de basisanalyse plus:

- bij 40% reductie in kunststof in huisvuil: fijnstofvorming, 'ecotoxiciteit bodem';
- bij 80% reductie in kunststof in huisvuil: 'ecotoxiciteit bodem'.

Verder heeft in het geval van 'vermesting-zoetwater' een andere theoretische verwerkroute het laagste milieuvoordeel: 'natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI', in de basisanalyse was dit 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking, residu naar hydropyrolyse'.

Resultaten schadecategorieën

Net als in de basisanalyse zorgen alle verwerkroutes voor een vermindering van schade in de schadecategorie 'economische schade door uitputting grondstoffen'. Door de verandering in afvalsamenstelling zorgen alle verwerkroutes nu ook voor een vermindering van schade in de schadecategorie 'menselijke gezondheid' dit komt met name door de reductie in klimaatimpact door vermindering van fossiele koolstofinhoud van het huisvuil.

In de schadecategorie 'ecosystemen' leiden alle theoretische verwerkroutes nog steeds tot een vermindering van schade, terwijl dit in het geval van verwerking in een conventionele AVI niet het geval is.

Resultaten exergetische LCA (CEENE)

Net als in de basisanalyse leveren alle verwerkroutes een exergiewinst op. Verbranding in de AVI+ levert ook nog steeds het beste resultaat op en ook mechanisch-biologische scheiding komt nog steeds dicht in de buurt bij de AVI+. Ook de resultaten van de nascheidingsroutes in combinatie met residuverwerking in een AVI+ of met hydropyrolyse zijn nog erg vergelijkbaar. Over het algemeen levert de verwerking van residu in een AVI+ een iets betere exergiebalans op.

11.1.1.3 Conclusies

De volgende conclusies die getrokken werden naar aanleiding van de resultaten in Hoofdstuk 9 blijven onveranderd bij minder kunststof in het huisvuil:

- **Bestaande verwerkroutes:** De verwerkroute ‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking’ is alleen interessant voor toepassing in Vlaanderen als compost afgezet mag worden. Op dit moment staat de wetgeving dit niet toe. **Bestaande verwerkroutes:** De verwerkroute ‘mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI’ heeft een iets hogere klimaat-impact, een iets lagere vermeden ‘economische schade door uitputting grondstoffen’ en een iets lagere exergiewinst dan verwerking van huisvuil in een conventionele AVI, uitgaande van hetzelfde energierendement van de AVI. Voor bijna alle andere milieu-indicatoren en schadecategorieën levert deze verwerkroute wél een groter milieuvoordeel of lagere milieu-impact dan bij de verwerking van huisvuil in een conventionele AVI.
- **Theoretische verwerkroutes:** De theoretische verwerkroutes hebben allemaal een groter milieuvoordeel op 12 van de 18 milieu-indicatoren (bij 80% reductie in kunststof in huisvuil) of op 10 van de 19 milieu-indicatoren (bij 40% reductie in kunststof in huisvuil), alle drie de schadecategorieën dan verwerking van huisvuil in een conventionele AVI. Het zijn daarom interessante verwerkroutes om te bekijken voor mogelijke toepassing na 2025.

De volgende conclusies zijn iets anders dan die getrokken werden naar aanleiding van de resultaten in Hoofdstuk 9:

- **Bestaande verwerkroutes:** De verwerkroute ‘droge scheiding, droge vergisting’ levert op 15 van de 18 milieu-indicatoren (bij 40% reductie in kunststof in huisvuil) en bij 13 van de 18 milieu-indicatoren bij 80% reductie in kunststof in huisvuil (twee minder dan in de basisanalyse) en alle schadecategorieën een lagere milieu-impact of een hoger milieuvoordeel op dan verbranding van huisvuil in een conventionele AVI. Deze verwerkroute levert wél, anders dan in de basisanalyse, minder exergiewinst op dan verbranding in een AVI. Deze nascheidingsroutes lijken echter nog steeds een interessante afvalverwerkingsroute voor de verwerking van Vlaams huisvuil vanaf 2020.
- **Theoretische verwerkroutes:** Door de vermindering in het aandeel kunststof in het huisvuil levert verwerking in een conventionele AVI nu een hogere exergiewinst op dan verwerking van huisvuil met de theoretische verwerkroute ‘natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI’. Alle andere theoretische verwerkroutes leveren wel, net als in de basisanalyse, een hogere exergiewinst op dan verbranding in een conventionele AVI.
- **Theoretische verwerkroutes:** Door de vermindering in het aandeel kunststof in het huisvuil levert de residuverwerking in een AVI+ een beter resultaat op voor bijna alle milieu-indicatoren, schadecategorieën en CEENE dan residuverwerking met behulp van geïntegreerde hydropyrolyse. Dit is anders dan in de basisanalyse. De resultaten van deze twee theoretische residuverwerkingsmethoden liggen echter nog steeds redelijk dicht bij elkaar en zijn dus beiden interessant om te bekijken voor mogelijke toepassing na 2025.

11.1.2 Uitbreiding inzameling GFT

De resultaten zullen veranderen als er minder GFT in het huisvuil zit. Gemiddeld zit er nu per ton meer van andere afvalstromen in het huisvuil wat leidt tot emissies en dus tot milieu-impact. Het scheiden en verwerken van GFT leidt tot vermeden grondstoffen en/of brandstoffen (compost, biogas), en dus tot een milieuwinst. Vermindering van GFT in het huisvuil zal zodoende leiden tot:

- Een verhoging van de procesemissies van de volledige verwerking van huisvuil in een AVI en AVI+ en een verhoging van procesemissies uit de residuverwerking in een AVI, AVI+ en hydropyrolyse. Immers, de CO₂-emissie van GFT was biogeen CO₂ en dat wordt niet meegeteld in de klimaatimpact⁶⁴. In dit scenario, wordt het GFT deels ‘vervangen’ door materialen als kunststof, textiel en drankenkartons, die wel een fossiele CO₂-uitstoot opleveren bij thermochemische verwerking.
- Een verhoging van de opgewekte warmte en elektriciteit bij de volledige verwerking van huisvuil in een AVI en AVI+ en bij de residuverwerking in een AVI, AVI+ en hydropyrolyse. In het laatste geval gaat het om een verlaging van dieselopbrengst. De verbrandingswaarden van tuinafval en van composteerbaar keukenafval zijn lager dan de gemiddelde verbrandingswaarde van huisvuil. Dus als het gehalte GFT in huisvuil afneemt is dat per ton huisvuil gunstig voor de netto energieopwekking.
- Een verlaging van de hoeveelheid geproduceerd biogas en/of compost in de nascheidingsroutes en een verhoging van de terugwinning van andere materialen zoals kunststof en metaal.

Let op: de invloed op het totale afvalverwerkingssysteem is niet bekeken in deze gevoeligheidsanalyse, de studie richt zich immers alleen op de verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Waar mogelijk is een indicatie gegeven van de verwachte invloed op het totale afvalverwerkingssysteem. De invloed op het afvalverwerkingssysteem van een uitbreiding van inzameling van GFT is naast de resultaten per ton huisvuil in ieder geval:

- De totale milieu-impact van het afvalverwerkingssysteem neemt af door een toename in selectieve inzameling van GFT.
- De totale energieproductie bij verwerking van residu in een AVI neemt af (bij gelijkblijvende thermisch en elektrisch rendement), omdat er simpelweg minder huisvuil beschikbaar is voor verbranding. Het gaat hierbij niet alleen om minder huisvuil, maar de totale energie-inhoud van het huisvuil is ook lager.

11.1.2.1 Verwerkroutes (2020-2025)

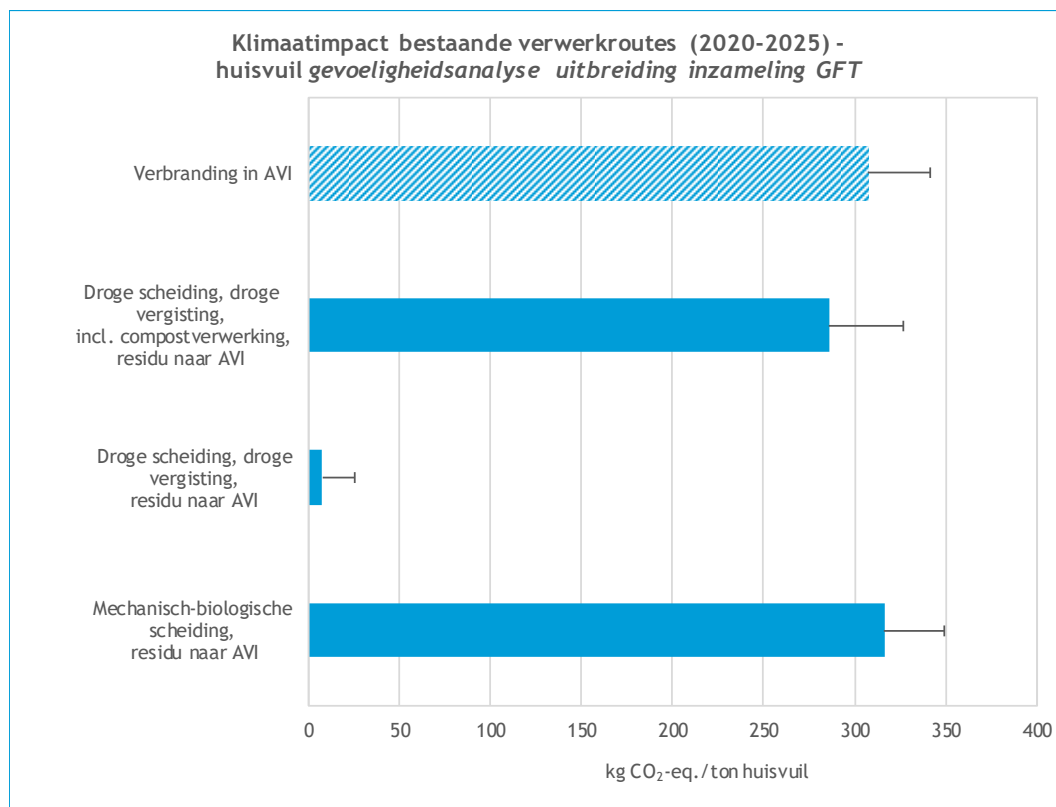
Resultaten klimaatimpact

Door een verhoging van de procesemissies (door een groter aandeel fossiel CO₂ per ton huisvuil) neemt de klimaatimpact van alle routes toe. Dit verandert weinig aan de onderlinge verhouding tussen de verwerkroutes zoals weergegeven in Figuur 42.

De resultaten per ton huisvuil zeggen niks over de klimaatimpact van het totale afvalverwerkingssysteem van huisvuil en selectief ingezamelde afvalstromen van huishoudens. Als gevolg van meer selectieve inzameling neemt de totale hoeveelheid te verwerken huisvuil af. Er is daarnaast een toename in de verwerking van GFT. Ook bij de verwerking van GFT wordt nog een klimaatvoordeel behaald. Het klimaatvoordeel van het totale afvalverwerkingssysteem neemt dus wel toe.

⁶⁴ Want biogeen CO₂ is kortcyclisch: dit CO₂ werd bij productie van het gewas opgenomen door de plant en wordt nu weer uitgestoten. De balans is dus 0 (CO₂-neutraal).

Figuur 42 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020–2025) – huisvuil. Gevoeligheidsanalyse uitbreiding selectieve inzameling GFT



Toelichting: De foutbalk geeft de klimaatimpact weer als de selectieve inzameling van GFT wordt uitgebreid in Vlaanderen.

- NB1 De technieken ‘verbranding in AVI’ en ‘mechanisch-biologische scheiding’ worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk (‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking’) en Nederland (‘droge scheiding, droge vergisting’). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze “compost” in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

Resultaten overige milieu-indicatoren

In het grootste gedeelte van de milieu-indicatoren zorgt de andere samenstelling van het huisvuil voor een groter milieuvoordeel of een lagere milieu-impact dan het geval is in de basisanalyse. We zagen eerder al dat dit niet het geval is voor klimaatimpact, en dit is ook niet het geval voor ‘ioniserende straling’ voor de verwerkroute ‘droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking’. De verandering is echter minimaal in dit laatste geval en komt door een vermindering van elektriciteitsproductie uit biogas in de verwerkroute. Het grotere milieuvoordeel of lagere milieu-impact is te verklaren door de toename aan metaal en kunststof in het restafval, evenals een toename in de energie-inhoud waardoor er meer energie wordt opgewekt.

Net als in de basisanalyse heeft ‘droge sortering, droge vergisting incl. compostverwerking’ in 12 van de 18 milieu-impacts, de hoogste milieu-impact of het laagste milieuvoordeel. In de andere 6 milieu-impacts hebben andere verwerkroutes een hogere milieu-impact.

Net als in de basisanalyse heeft:

- ‘mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI’ nog steeds de hoogste milieu-impact of het laagste milieuvoordeel voor ‘klimaatimpact’, ‘landgebruik’ en ‘schaarste – fossiele grondstoffen’;
- ‘droge scheiding, droge vergisting’ nog steeds het laagste milieuvoordeel voor ‘vermesting - zoutwater’ en ‘ioniserende straling’;
- ‘verbranding in conventionele AVI’ nog steeds het hoogste watergebruik;

Net als in de basisanalyse van huisvuil leveren alle verwerkroutes in voor de meeste milieu-impacts een milieuvoordeel op. Alleen in de volgende milieu-impacts is dit niet het geval:

- klimaatimpact;
- ozonvorming – ecosystemen;
- ozonvorming – menselijke gezondheid.

Resultaten schadecategorieën

Alle verwerkroutes zorgen voor deze afvalsamenstelling voor een vermindering van schade in de schadecategorieën ‘economische schade door uitputting grondstoffen’. Ten opzichte van de basisanalyse is de vermindering van schade groter of de schade kleiner bij een huisvuilsamenstelling met minder GFT voor de verwerkroutes ‘verbranding in een AVI’, en ‘droge scheiding, droge vergisting’, dit is te wijten aan de hogere energie-inhoud van het huisvuil en het hogere aandeel kunststof en metaal in het afval waardoor er meer energie wordt teruggewonnen evenals meer grondstoffen. Dit voorkomt de nieuwe productie van minerale en fossiele grondstoffen.

In het geval van de verwerkroutes ‘mechanisch-biologische scheiding’ en ‘droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking’ neemt de ‘economische schade door uitputting grondstoffen’ toe. Dit komt omdat beide verwerkroutes geen kunststoffen terugwinnen terwijl de CO₂-inhoud van het huisvuil wel toeneemt.

In de schadecategorieën ‘ecosystemen’ en ‘menselijke gezondheid’ leiden ‘verbranding in AVI’, ‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking, residu naar AVI’ en ‘mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI’ nog steeds tot een vergelijkbare schade op aan het milieu. Dit komt met name door de emissie van fossiele CO₂-emissie uit de verbranding in de conventionele AVI. De schade in deze schadecategorieën is iets hoger voor deze drie verwerkroutes dan in de basisanalyse. De verwerkroute ‘droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking’ levert de meeste schade op in de schadecategorie ‘ecosystemen’, dit is anders dan in basisanalyse waar dit ‘verbranding in een AVI’ was.

De verwerkroute ‘droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI’ zorgt nog steeds op alle drie de schadecategorieën voor een vermindering in schade door het voorkomen van verbranding en terugwinning van metaal en kunststoffen. Deze vermeden schade is groter dan in de basisanalyse door een groter aandeel aan kunststoffen in het huisvuil.

Resultaten exergetische LCA (CEENE)

Net als in de basisanalyse leveren alle verwerkroutes een exergiewinst op. Alle verwerkroutes leveren een iets hogere exergiewinst op door de toename van de energie-inhoud van het huisvuil.

11.1.2.2 Theoretische verwerkroutes (2025-2030)

Resultaten klimaatimpact

Net als in de basisanalyse leveren alle theoretische verwerkroutes een voordeel op voor klimaat, terwijl een conventionele AVI een klimaatimpact oplevert. Op basis van deze resultaten lijkt het er dus op dat een combinatie van een nascheidingstechniek met een theoretische residuverwerking (en in combinatie met de conventionele AVI in het geval van ‘natte scheiding, natte vergisting’ altijd een klimaatvoordeel opleveren.

Ook de andere resultaten op klimaatimpact blijven overeind.

De resultaten per ton huisvuil zeggen niks over de klimaatimpact van het totale afvalverwerkingssysteem van huisvuil en selectief ingezamelde afvalstromen van huishoudens. Als gevolg van meer selectieve inzameling neemt de totale hoeveelheid te verwerken huisvuil af. Er is daarnaast een toename in de verwerking van GFT. Ook bij de verwerking van GFT wordt nog een klimaatvoordeel behaald. Het klimaatvoordeel van het totale afvalverwerkingssysteem neemt dus toe.

Resultaten overige milieu-indicatoren

Anders dan in de basisanalyse heeft verbranding in de conventionele AVI in 14 van de 18 milieu-impacts de hoogste milieu-impact of laagste milieuvoordeel, in de basisanalyse waren dit 13 milieu-impacts.

In deze analyse heeft de conventionele AVI nu ook de hoogste milieu-impact in het geval van 'vermesting – zoetwater', in de basisanalyse was dit 'droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse'.

Het verschil tussen de verwerkroutes is echter 1%, het verschil is dus niet significant. In de vier andere milieu-impacts heeft een theoretische verwerkroute een hogere milieu-impact. Het gaat hierbij nog steeds om dezelfde verwerkroutes als in de basisanalyse.

Resultaten schadecategorieën

Net als in de basisanalyse zorgen alle verwerkroutes voor een vermindering van schade in de schadecategorie 'economische schade door uitputting grondstoffen'. In de andere twee schadecategorieën leiden alle theoretische verwerkroutes nog steeds tot een vermindering van schade, terwijl dit in het geval van verwerking in een conventionele AVI niet het geval is.

Resultaten exergetische LCA (CEENE)

Net als in de basisanalyse leveren alle verwerkroutes een exergiewinst, verbranding in de AVI+ levert ook nog steeds het beste resultaat op en ook mechanisch-biologische scheiding komt nog dicht in de buurt bij de AVI+. Ook de resultaten van de nascheidingsroutes in combinatie met residuverwerking in een AVI+ of met hydrolyse zijn nog erg vergelijkbaar. Over het algemeen levert de verwerking in een AVI+ een iets betere exergiebalans op.

11.1.2.3 Conclusies

De volgende conclusies die getrokken werden naar aanleiding van de resultaten in Hoofdstuk 9 blijven onveranderd bij minder GFT in het huisvuil:

- **Bestaande verwerkroutes:** De verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking' is alleen interessant voor toepassing in Vlaanderen als compost afgezet mag worden. Op dit moment staat de wetgeving dit niet toe. **Bestaande verwerkroutes:** De verwerkroute 'mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI' heeft een iets hogere klimaat-impact, een iets lagere vermeden 'economische schade door uitputting grondstoffen' en een iets lagere exergiewinst dan verwerking van huisvuil in een conventionele AVI, uitgaande van hetzelfde energierendement van de AVI. Voor bijna alle andere milieu-indicatoren en schadecategorieën levert deze verwerkroute wél een groter milieuvoordeel of lagere milieu-impact dan bij de verwerking van huisvuil in een conventionele AVI.
- **Bestaande verwerkroutes:** De verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting' levert op 15 van de 18 milieu-indicatoren en alle schadecategorieën een lagere milieu-impact of een hoger milieuvoordeel op dan verbranding van huisvuil in een conventionele AVI. Deze twee verwerkroutes leveren ook een vergelijkbare exergiewinst op als verbranding in een AVI. Deze nascheidingsroute lijkt nog steeds een interessante afvalverwerkingsroute voor de verwerking van Vlaams huisvuil vanaf 2020.
- **Theoretische verwerkroutes:** De theoretische verwerkroutes hebben allemaal een groter milieuvoordeel op 14 van de 18 milieu-indicatoren, alle drie de schadecategorieën en op CEENE dan verwerking van huisvuil in een conventionele AVI. Het zijn daarom interessante verwerkroutes om te bekijken voor mogelijke toepassing na 2025.

- **Theoretische verwerkroutes:** Of hydrolyse of verbranding in een AVI+ als residuverwerking interessanter is hangt af van de indicator. De AVI+ levert een beter resultaat op voor CEENE en hydrolyse over het algemeen voor de milieu-indicatoren en de schadecategorieën. Allebei deze residuverwerkingstechnieken zijn daarom interessant om te bekijken voor mogelijke toepassing na 2025.

11.1.3 Uitbreiding selectieve inzameling textiel

De resultaten zullen veranderen als er minder textiel in het huisvuil zit door een toename van selectieve inzameling van textiel. Let op: de invloed op het totale afvalverwerkingssysteem is niet bekeken in deze gevoeligheidsanalyse, de studie richt zich immers alleen op de verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Waar mogelijk is een indicatie gegeven van de verwachte invloed op het totale afvalverwerkingssysteem. De invloed op het afvalverwerkingssysteem van een uitbreiding van selectieve inzameling van textiel is naast de resultaten per ton huisvuil in ieder geval:

- De totale milieu-impact van het afvalverwerkingssysteem neemt af door een toename in selectieve inzameling van textiel. (Omdat we in deze studie alleen naar huisvuil kijken komt dat hier echter niet terug in de resultaten.)
- De totale energieproductie bij verwerking van residu in een AVI neemt af (bij gelijkblijvende thermisch en elektrisch rendement), omdat er simpelweg minder huisvuil beschikbaar is voor verbranding. Het gaat hierbij niet alleen om minder huisvuil, maar de totale energie-inhoud van het huisvuil is ook lager.

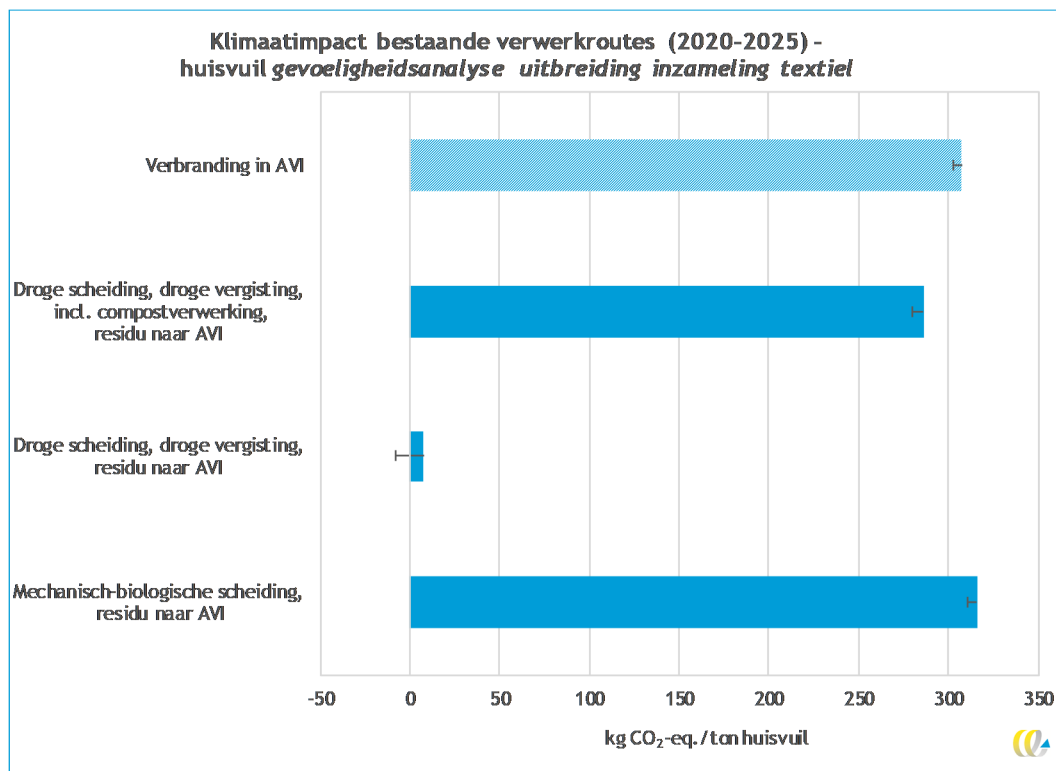
11.1.3.1 Bestaande verwerkroutes (2020-2025)

Resultaten klimaatimpact

Door een verlaging van de procesemissies (door een lager aandeel fossiel CO₂ per ton huisvuil) neemt de klimaatimpact van alle routes af. Dit verandert weinig aan de onderlinge verhouding tussen de verwerkroutes zoals weergegeven in

Figuur 43. De verwachting is ook dat de klimaatimpact van het totale afvalverwerkingssysteem afneemt omdat het selectief ingezamelde textiel (gedeeltelijk) hergebruikt kan worden of nuttig toegepast kan worden in bijvoorbeeld de productie van poetsdoeken of isolatie.

Figuur 43 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020–2025) – huisvuil. Gevoeligheidsanalyse uitbreiding inzameling textiel



Toelichting: De foutbalk geeft de klimaatimpact weer als de selectieve inzameling van textiel wordt uitgebreid in Vlaanderen.

- NB1 De technieken ‘verbranding in AVI’ en ‘mechanisch-biologische scheiding’ worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk (‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking’) en Nederland (‘droge scheiding, droge vergisting’). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze “compost” in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

Resultaten overige milieu-indicatoren

In het grootste gedeelte van de milieu-indicatoren zorgt de andere samenstelling van het huisvuil voor een klein beetje groter milieuvoordeel of een klein beetje lagere milieu-impact dan het geval is in de basisanalyse. Het verschil is echter niet groot. Er zijn een aantal uitzonderingen:

- Aantasting ozonlaag, ioniserende straling: Voor alle verwerkroutes neemt het milieuvoordeel op deze twee milieu-indicatoren af. Dit komt door de kleine afname in energie-inhoud ten opzichte van de basisanalyse.
- Landgebruik: Het milieuvoordeel op landgebruik neemt fors toe in de verwerkroute ‘droge scheiding, droge vergisting’. Dit komt door de toename in kunststoffen in het huisafval en dus een toename van terugwinning van folies die deels gebruikt worden in straatmeubilair die normaal van hout gemaakt worden.

- Watergebruik: Het watergebruik neemt af in alle verwerkroutes behalve de conventionele AVI omdat er iets minder residu naar de residuverwerking gaat door de aangepaste samenstelling. De overige resultaten zijn vergelijkbaar met die in de basisanalyse.

Resultaten schadecategorieën

Alle verwerkroutes zorgen voor deze afvalsamenstelling voor een vermindering van schade in de schadecategorie 'economische schade door uitputting grondstoffen'. Ten opzichte van de basisanalyse is de vermindering van schade kleiner bij huisvuilsamenstelling met minder textiel, dit is te wijten aan de lagere energie-inhoud van het huisvuil.

In de schadecategorieën 'ecosystemen' en 'menselijke gezondheid' leiden 'verbranding in AVI', 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking, residu naar AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI' nog steeds tot een vergelijkbare schade op aan het milieu. Dit komt met name door de emissie van fossiele CO₂-emissie uit de verbranding in de conventionele AVI. Het voorkomen van schade neemt toe voor de route 'droge scheiding, droge vergisting' door de afname van klimaatimpact (door de koolstofinhoud van het residu en de hoeveelheid biogasproductie).

Resultaten exergetische LCA (CEENE)

Net als in de basisanalyse leveren alle verwerkroutes een exergiewinst op. Er is vrijwel geen verandering in de exergiewinst ten opzichte van de basisanalyse.

11.1.3.2 Theoretische verwerkroutes (2025-2030)

Resultaten klimaatimpact

Net als in de basisanalyse leveren alle verwerkroutes een voordeel op voor klimaat, terwijl een conventionele AVI een klimaatimpact oplevert. Op basis van deze resultaten lijkt het er dus op dat een combinatie van een nascheidings techniek met een theoretische residuverwerking (of in combinatie met verbranding in een conventionele AVI voor 'natte scheiding, natte vergisting') altijd een klimaatvoordeel opleveren. Ook de andere resultaten op klimaatimpact blijven overeind.

De verwachting is ook dat de klimaatimpact van het totale afvalverwerkingssysteem afneemt omdat het selectief ingezamelde textiel (gedeeltelijk) hergebruikt kan worden of nuttig toegepast kan worden in bijvoorbeeld de productie van poetsdoeken of isolatie.

Resultaten overige milieu-indicatoren

Net als in de basisanalyse heeft verbranding in de conventionele AVI in 13 van de 18 milieu-impacts, de hoogste milieu-impact of laagste milieuvoordeel, in de andere milieu-indicatoren heeft een theoretische verwerkroutes een hogere milieu-impact.

Resultaten schadecategorieën

Net als in de basisanalyse zorgen alle verwerkroutes voor een vermindering van schade in de schadecategorie 'economische schade door uitputting grondstoffen'. In de andere twee schadecategorieën leiden alle theoretische verwerkroutes nog steeds tot een vermindering van schade, terwijl dit in het geval van verwerking in een conventionele AVI niet het geval is.

Resultaten exergetische LCA (CEENE)

Net als in de basisanalyse leveren alle verwerkroutes voor een exergiewinst, Verbranding in de AVI+ levert ook nog steeds het beste resultaat op en ook mechanisch-biologische scheiding komt nog dicht in de buurt bij de AVI+. Ook de resultaten van de nascheidingsroutes in combinatie met residuverwerking in een AVI+ of met hydrolyse zijn nog erg vergelijkbaar. Over het algemeen levert de verwerking in een AVI+ een iets betere exergiebalans op.

11.1.3.3 Conclusies

De volgende conclusies die getrokken werden naar aanleiding van de resultaten in Hoofdstuk 9 blijven onveranderd bij minder textiel in het huisvuil:

- **Bestaande verwerkroutes:** De verwerkroute ‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking’ is alleen interessant voor toepassing in Vlaanderen als compost afgezet mag worden. Op dit moment staat de wetgeving dit niet toe. **Bestaande verwerkroutes:** De verwerkroutes ‘natte scheiding, natte vergisting’ en ‘droge scheiding, droge vergisting’ levert op 15 van de 18 milieu-indicatoren en alle schadecategorieën een lagere milieu-impact of een hoger milieuvoordeel op dan verbranding van huisvuil in een conventionele AVI. Deze twee verwerkroutes leveren ook een vergelijkbare exergiewinst op als verbranding in een AVI. Deze twee nascheidingsroutes lijken nog steeds interessante afvalverwerkingsroutes voor de verwerking van Vlaams huisvuil vanaf 2020.
- **Theoretische verwerkroutes:** De theoretische verwerkroutes hebben allemaal een groter milieuvoordeel op 13 van de 18 milieu-indicatoren, alle drie de schadecategorieën en op CEENE dan verwerking van huisvuil in een conventionele AVI. Het zijn daarom interessante verwerkroutes om te bekijken voor mogelijke toepassing na 2025.
- **Theoretische verwerkroutes:** Of hydrolyse of verbranding in een AVI+ als residuverwerking interessanter is hangt af van de indicator. De AVI+ levert een beter resultaat op voor CEENE en hydrolyse over het algemeen voor de milieu-indicatoren en de schadecategorieën. Allebei deze residuverwerkingstechnieken zijn daarom interessant om te bekijken voor mogelijke toepassing na 2025.

De volgende conclusie is iets anders dan die getrokken werden naar aanleiding van de resultaten in Hoofdstuk 9:

- **Bestaande verwerkroutes:** De verwerkroute ‘mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI’ heeft een iets hogere klimaat-impact en een iets lagere exergiewinst dan verwerking van huisvuil in een conventionele AVI, uitgaande van hetzelfde energierendement van de AVI. Voor bijna alle andere milieu-indicatoren en schadecategorieën levert deze verwerkroute wél een groter milieuvoordeel of lagere milieu-impact dan bij de verwerking van huisvuil in een conventionele AVI. Dit betekent dat anders dan in de basisanalyse ‘mechanisch-biologische scheiding’ een hogere vermeden ‘economische schade door uitputting grondstoffen geeft’ dan de conventionele AVI. Het verschil is echter niet groot.

11.2 ONZEKERHEDEN IN ONDERZOCHE VERWERKINGSROUTES

Onder onzekerheden in onderzochte verwerkingsroutes gaat het over alle mogelijke veranderingen in de verwerkingsroutes die niet meegenomen zijn én over onzekerheden over de gemaakte aannames:

- variatie in rendement conventionele AVIs;
- realisatie van CO₂-afvang en opslag (CCS) en toepassing (CCU);
- efficiëntie kunststofafscheiding technieken toegepast in Nederland.

11.2.1 Variatie AVI-rendement

De momenteel in bedrijf zijnde AVIs in Vlaanderen verschillen in hun netto elektrisch en thermisch rendement en daarom in de hoeveelheid elektriciteit- en warmteproductie. In deze sectie is daarom een bandbreedte aangegeven op basis van een AVI met de laagste totale efficiëntie (geen warmteproductie, alleen elektriciteitsproductie) en een AVI met zowel hoge thermische als elektrische efficiëntie. Dit om te laten zien wat de gevoeligheid is in de resultaten voor de conventionele AVI.

Tabel 59 geeft het gewogen gemiddelde aan van de rendementen van de Vlaamse AVIs in 2016. Ook worden de minimum en maximumwaarde weergegeven. Deze laatste twee worden gebruikt in deze gevoeligheidsanalyse.

Tabel 59 Rendement Vlaamse AVI voor verbranding van huisvuil of bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil (2016)

	Gewogen gemiddeld rendement (%)	Laagste totaal rendement (%)	Hoogste totaal rendement (%)
Netto thermisch rendement	6,7%	0,5%	15,5%
Netto elektrisch rendement	18,2%	10,7%	30,0%
Totaal nettorendement	24,9%	11,2%	45,5%

11.2.1.1 Bestaande verwerkroutes (2020-2025)

We kijken alleen naar de invloed van deze aanpassing op de bestaande verwerkroutes, de AVI komt immers niet voor in de theoretische verwerkroutes. Bij de theoretische verwerkroutes is in de basisresultaten al weergegeven wat het gevolg is van een hoog totaal nettorendement met de AVI+.

In Figuur 44 en Figuur 45 is te zien is dat de klimaatimpact vermindert of de klimaatwinst groter wordt bij het hoogste totale rendement (de foutbalk naar links), en de klimaatimpact groter wordt of de klimaatwinst minder bij het laagste totale rendement (de foutbalk naar rechts). Hoe meer residu er naar een AVI gaat hoe groter de impact op het resultaat.

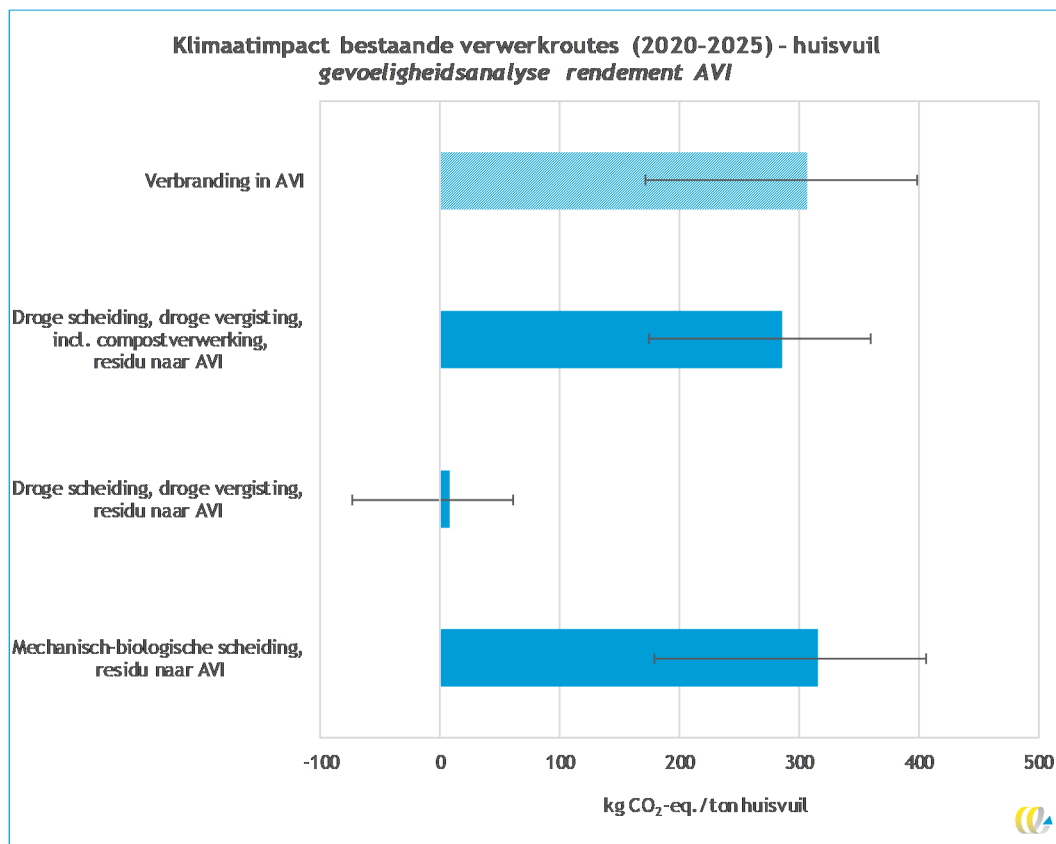
Dit betekent dat als in alle verwerkroutes hetzelfde AVI-rendement gebruik wordt:

- een hoger nettorendement de resultaten van ‘droge scheiding, droge vergisting’ dichter in de buurt brengt van de resultaten van de andere verwerkroutes.
- een lager nettorendement de resultaten van ‘droge scheiding, droge vergisting’ een groter milieuvoordeel of een lagere milieu-impact oplevert ten opzichte van de andere drie verwerkroutes dan in de basisanalyse.

Als het residu uit de verschillende verwerkroutes elk in een AVI met een ander AVI-rendement verwerkt worden dan gaan deze conclusies uiteraard niet op. Eén voorbeeld hiervan is dat ‘mechanisch-biologische scheiding met residu naar AVI’ in de praktijk in Vlaanderen nu wordt bedreven met afzet naar een installatie met een hoger rendement. Als het residu voor deze verwerkroute wordt afgezet in de AVI met het hoogste totale rendement en het afval anders verwerkt wordt in een AVI met een gemiddeld rendement (de conventionele AVI) dan wordt het verschil tussen deze twee routes groter, in het geval van huisvuil gaat het (zie volgende figuur) om ongeveer 120 kilogram CO₂-eq. per ton huisvuil.

De afname van de klimaatimpact (foutbalk naar links in figuur) bij een toename van het energetische rendement van een AVI dan de toename van de klimaatimpact (foutbalk naar rechts in de figuur) bij een afname van het energetisch rendement. De reden hiervoor is dat de energetische toename 20,6% is, terwijl de energetische afname 13,7% is.

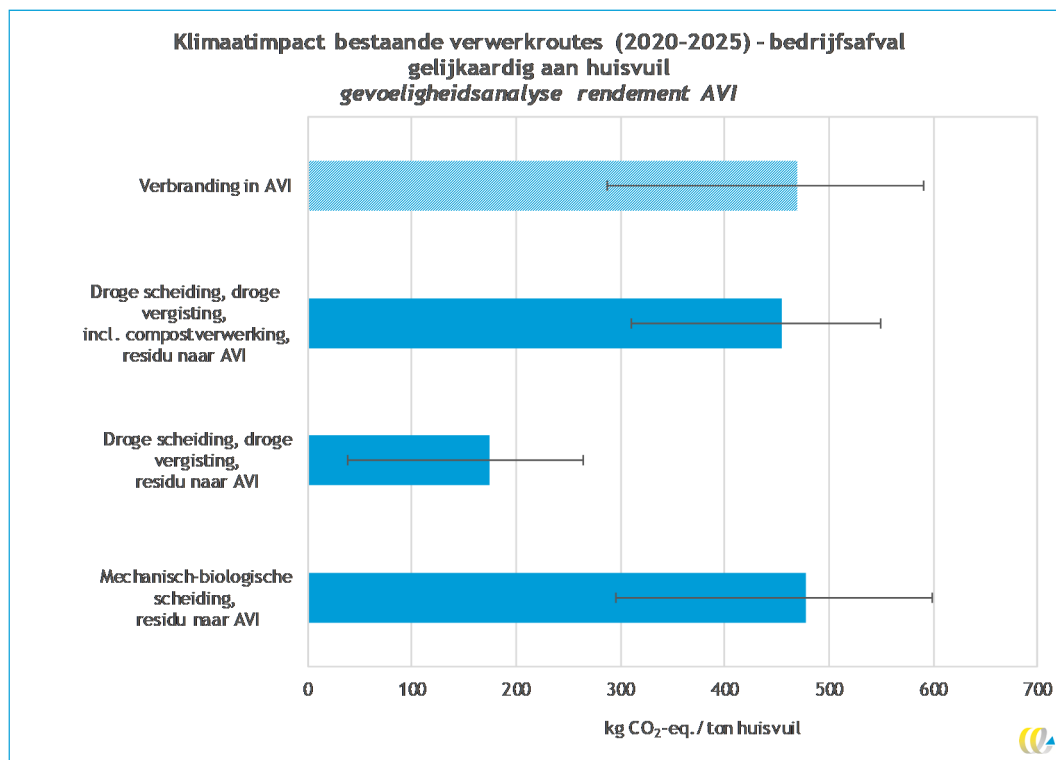
Figuur 44 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020–2025) – huisvuil. Gevoeligheidsanalyse rendement AVI



Toelichting: Foutbalk naar links geeft een toename van het AVI-rendement naar het totaal nettorendement van 45,5% weer en de foutbalk naar rechts een afname van het AVI-rendement naar een totaal nettorendement van 11,2% weer. In de basisanalyse wordt een nettorendement van 24,9% gehanteerd.

- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

Figuur 45 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020–2025) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Gevoeligheidsanalyse rendement AVI



Toelichting: Foutbalk naar links geeft een toename van het AVI-rendement naar het totaal nettorendement van 45,5% weer en de foutbalk naar rechts een afname van het AVI-rendement naar een totaal nettorendement van 11,2% weer. In de basisanalyse wordt een nettorendement van 24,9% gehanteerd.

De invloed van het hoogste totale rendement en laagste totale rendement geldt niet alleen voor de klimaatimpact maar ook voor alle andere milieu-indicatoren, schadecategorieën en de exergiebalans. Voor al deze indicatoren neemt de milieu-impact of wordt de milieuwinst groter.

11.2.1.2 Conclusies

De conclusies over huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil zoals getrokken in Hoofdstuk 9 en Hoofdstuk 10 blijven onveranderd na deze gevoeligheidsanalyse. Wél kan er geconcludeerd worden dat bij een hoger nettorendement de verwerkroutes dichter bij elkaar in de buurt komen, en bij een lager nettorendement het verschil tussen de verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting' en de andere bestaande verwerkroutes groter wordt.

11.2.2 Realisatie van CO₂-afvang en -opslag (CCS) en -toepassing (CCU)

Als CO₂ vrijkomt als puntbron, zoals uit de schoorsteen bij een verbrandingsproces, dan kan de CO₂ worden afgevangen en opgeslagen in, bijvoorbeeld, een oud gasveld of een aquifer (watervoerende laag in de ondergrond). Deze techniek kan toegepast worden bij emissies uit de volgende verwerkroutes:

- Procesemissies uit de schoorsteen bij de AVI en de AVI+, zowel bij verwerking van de volledige fractie huisvuil als bij verwerking van residu.
- Biogene CO₂ die vrijkomt bij het opwerken van biogas tot biomethaan bij natte en droge nascheiding met vergisting. Afvang gebeurt nu al bij droge nascheiding in Nederland maar toepassing vindt nu plaats in de tuinbouw, er vindt dus nog geen opslag plaats.
- Procesemissies uit de rookgasreiniging bij mechanische scheiding, thermochemische recyclage.

Het is minder logisch dat dit toegepast wordt bij de verwerking van residu met hydrolyse, omdat deze techniek op veel kleinere schaal wordt toegepast. Het zou technisch wel mogelijk zijn, maar de vraag is of dit economisch ook haalbaar is. Er zijn twee manieren waarop CO₂-afvang toegepast kan worden als opslag (CCS)

of als toepassing (CCU). Als opslag wordt de emissie van CO₂ voor een zeer groot deel voorkomen. Bij toepassing varieert dit naar gelang de toepassing.

In Tabel 60 worden de efficiënties weergegeven van het als aandeel van de afgevangen CO₂ dat leidt tot CO₂-emissiereductie bij CCS en twee typen CCU. In deze efficiëntie zijn ook de vermeden broeikasgasemissies meegenomen van het geproduceerde product in het geval van CCU. Dit betekent dat 117% efficiëntie bereikt kan worden (in het geval van CCU-mineralisatie – biomethaanproductie) omdat CO₂ niet alleen voor 100% opgeslagen wordt maar er ook toe leidt dat er geen ander bouw materiaal geproduceerd hoeft te worden.

Hierbij moet opgemerkt worden dat gebruik gemaakt is van gegevens voor afvang bij een AVI in Nederland (Twence), zoals deze gebruikt zijn in de studie (CE Delft, 2018). Het gaat hierbij om een proefinstallatie die in gebruik is. Er zijn nog geen gegevens beschikbaar over energie- en massabalansen van een draaiende installatie op volle schaal. Deze gevoeligheidsanalyse moet dus gezien worden als een indicatie.

In de toekomst zou CO₂-afvang ook mogelijk kunnen zijn bij de procesemissies uit rookgasreiniging bij mechanische scheiding, thermochemische recyclage. Omdat er echter geen zicht is op de energiebehoefte voor deze afvang nemen we deze niet mee in de analyse.

Tabel 60 Efficiëntie CCS en CCU

Type CO ₂ -afvang en -toepassing	Efficiëntie (% van afgevangen CO ₂ dat leidt tot CO ₂ -emissiereductie)
CCS – AVI en AVI+	74% (CE Delft, 2018)
CCS – biomethaanproductie	98% *
CCU methanol voor gebruik als brandstof geproduceerd met 100% duurzame energie – AVI en AVI+	35% (CE Delft, 2018)
CCU methanol voor gebruik als brandstof geproduceerd met 100% duurzame energie – biomethaanproductie	60% *
CCU mineralisatie – AVI en AVI+	93% (CE Delft, 2018)
CCU mineralisatie – biomethaanproductie	117% *

* Gebaseerd op (CE Delft, 2018) waarbij de afvang niet meegerekend is, de CO₂ is immers klaar voor afvang bij biomethaanproductie en behoeft geen extra energie.

11.2.2.1 Bestaande verwerkroutes

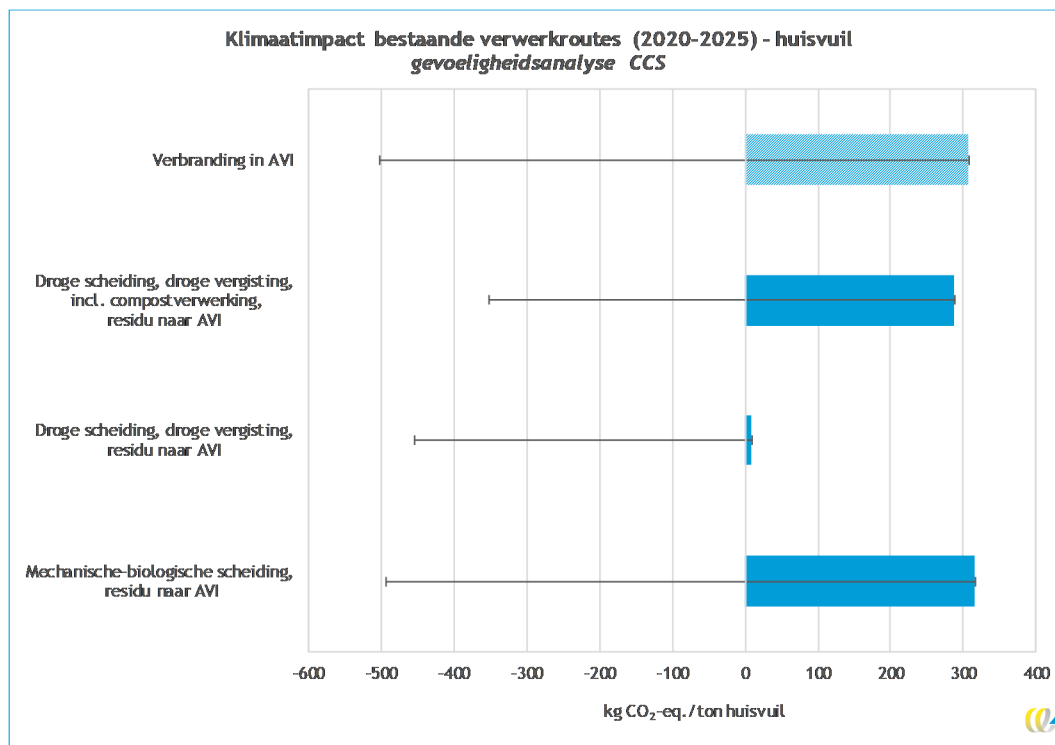
In Tabel 61 wordt voor de bestaande verwerkroutes (2020-2025) aangegeven voor zowel huisvuil als bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil om hoeveel potentiële CO₂-afvang het gaat voor de verschillende routes.

Tabel 61 CO₂-afvang mogelijk voor de bestaande verwerkroutes (2020-2025)

Verwerkroute	Huisvuil (kg CO ₂ -eq./ton afval)	Bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil (kg CO ₂ -eq./ton afval)	Afvangpunt
Verbranding in AVI	579 kg biogeen-CO ₂ 513 kg fossiel-CO ₂	623 kg biogeen-CO ₂ 737 kg fossiel-CO ₂	AVI
Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking, residu naar AVI	376 kg biogeen-CO ₂ 486 kg fossiel-CO ₂	423 kg biogeen-CO ₂ 644 kg fossiel-CO ₂	AVI, biogasopwerking
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI	295 kg biogeen-CO ₂ 294 kg fossiel-CO ₂	470 kg biogeen-CO ₂ 485 kg fossiel-CO ₂	AVI, biogasopwerking
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI	579 kg biogeen-CO ₂ 513 kg fossiel-CO ₂	623 kg biogeen-CO ₂ 737 kg fossiel-CO ₂	AVI

Voor de bestaande verwerkroutes heeft dit als gevolg dat bij toepassing van CCS de klimaatimpact van alle routes afneemt. Het klimaatvoordeel is na CCS-toepassing het laagst in het geval van 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking' en het hoogst in het geval van 'verbranding in AVI'. Dit betekent dat de rangschikking van de routes verandert. De nascheidingsroute (droge scheiding in combinatie met vergisting) levert nog steeds een groot klimaatvoordeel maar 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' leveren nu een vergelijkbaar klimaatvoordeel. Dit komt omdat een deel van de koolstof terecht komt in het biomethaan en deze niet afgevangen wordt.

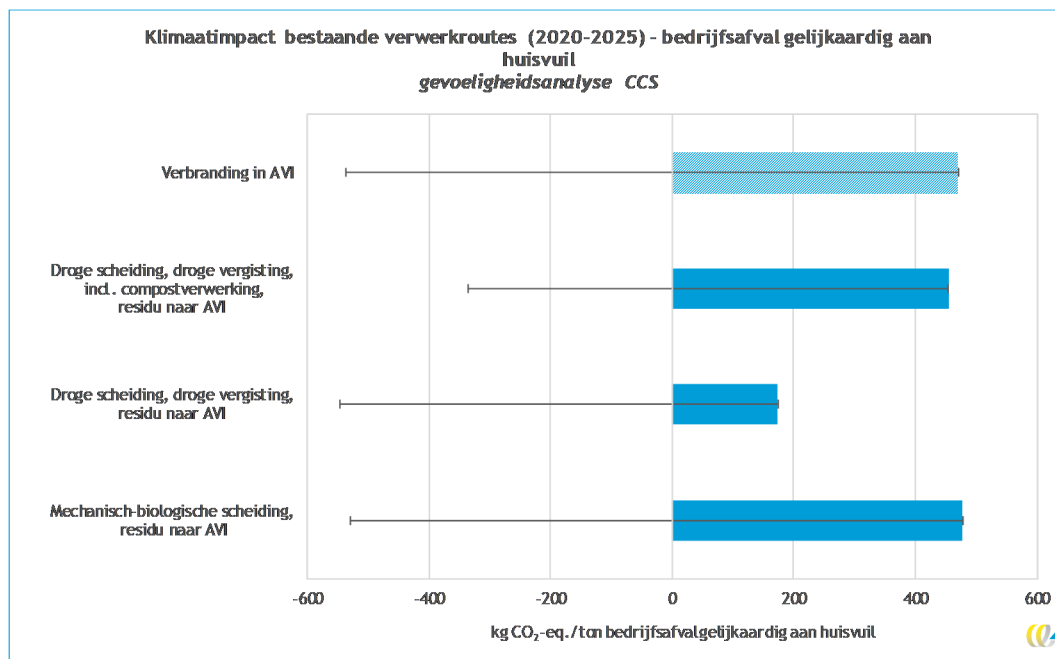
Figuur 46 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – huisvuil – gevoeligheidsanalyse CCS



Toelichting: De foutbalk geeft de klimaatimpact weer bij toepassing van CCS.

- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrisch rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

Figuur 47 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil – gevoeligheidsanalyse CCS



Toelichting: De foutbalk geeft de klimaatimpact weer bij toepassing van CCS.

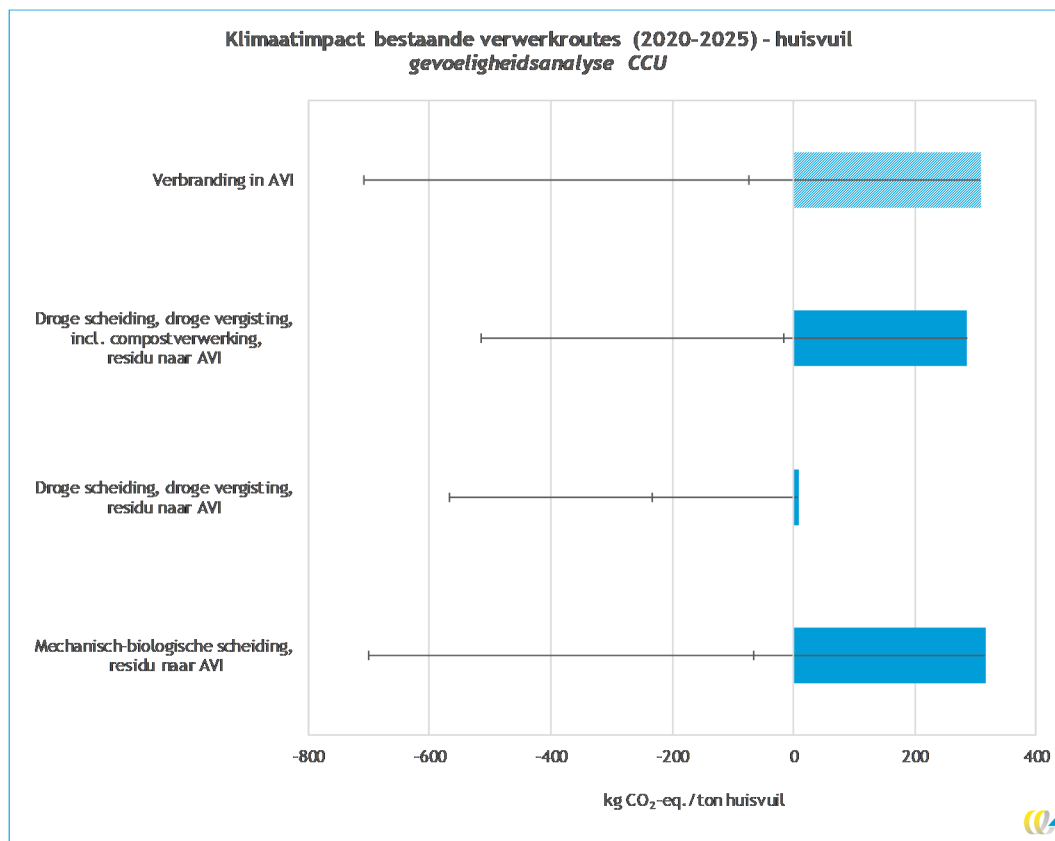
- NB1 De technieken ‘verbranding in AVI’ en ‘mechanisch-biologische scheiding’ worden al toegepast in Vlaanderen. De modelering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk (‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking’) en Nederland (‘droge scheiding, droge vergisting’). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze “compost” in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

Bij toepassing van CCU neemt de klimaatimpact van alle routes af (in ieder geval voor de twee bekeken CCU-routes).

Het klimaatvoordeel is na CCU-toepassing voor mineralisatie het laagst in het geval van ‘droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking’ en het hoogst in het geval van ‘mechanisch-biologische scheiding’ en verbranding in een AVI. Dit betekent dat de rangschikking van de routes verandert omdat een deel van de koolstof terechtkomt in het biomethaan en deze emissies niet in een CCU-route terecht komen. De route ‘droge scheiding, droge vergisting’ levert hierbij niet meer de laagste klimaatimpact of het grootste klimaatvoordeel op.

Het klimaatvoordeel is na CCU-toepassing voor methanolproductie (op basis van 100% duurzame energie) het laagst in het geval van ‘droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking’ en het hoogst in het geval van ‘droge scheiding, droge vergisting’. Dit betekent dat de rangschikking van de routes verandert omdat een deel van de koolstof terechtkomt in het biomethaan en deze emissies niet in een CCU-route terecht komen. Wel blijft de route ‘droge scheiding, droge vergisting’ de laagste klimaatimpact of het grootste klimaatvoordeel opleveren.

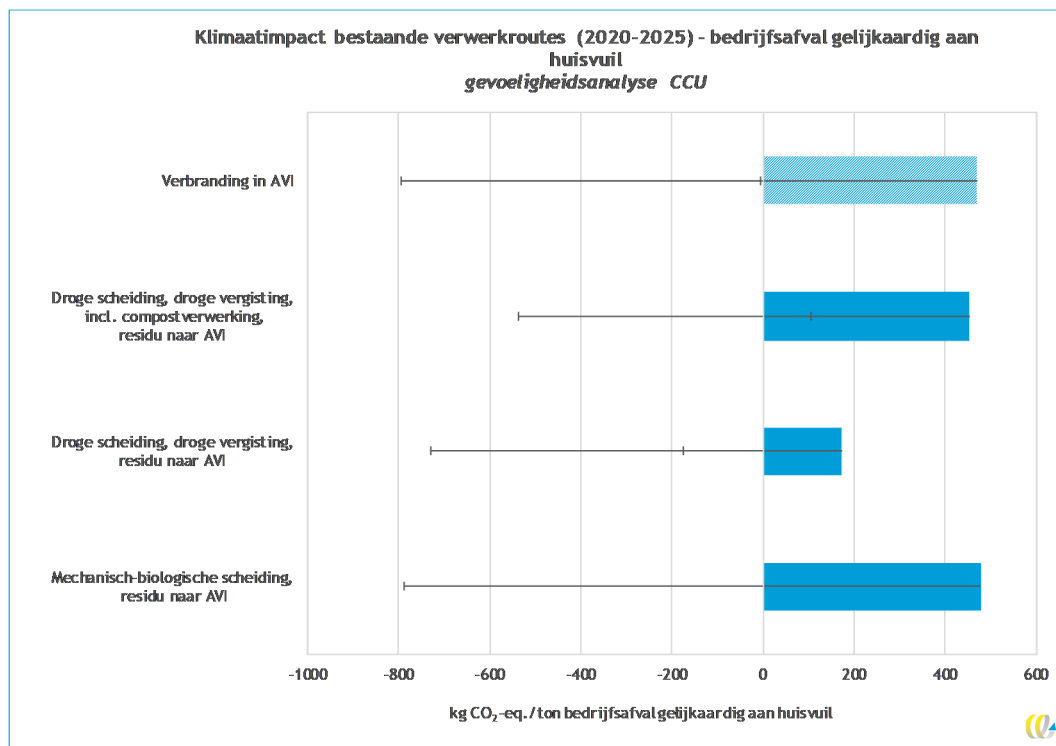
Figuur 48 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – huisvuil – gevoeligheidsanalyse CCU



Toelichting: De laagste klimaatimpact/grootste voordeel is aangegeven als foutbalk het meest naar links in de grafiek dit representeert de mineralisatie, het laagste klimaatvoordeel is weergegeven als een streepje in de foutbalk dit representeert de methanolproductie op basis van 100% duurzame energie.

- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrisch rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

Figuur 49 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil – gevoeligheidsanalyse CCU



Toelichting: De laagste klimaatimpact/grootste voordeel is aangegeven als foutbalk het meest naar links in de grafiek dit representeert de mineralisatie, het laagste klimaatvoordeel is weergegeven als een streepje in de foutbalk dit representeert de methanolproductie op basis van 100% duurzame energie.

- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

11.2.2.2 Theoretische verwerkroutes

In Tabel 62 wordt voor de theoretische verwerkroutes (2025-2030) aangegeven voor zowel huisvuil als bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil om hoeveel potentiële CO₂-afvang het gaat voor de verschillende routes.

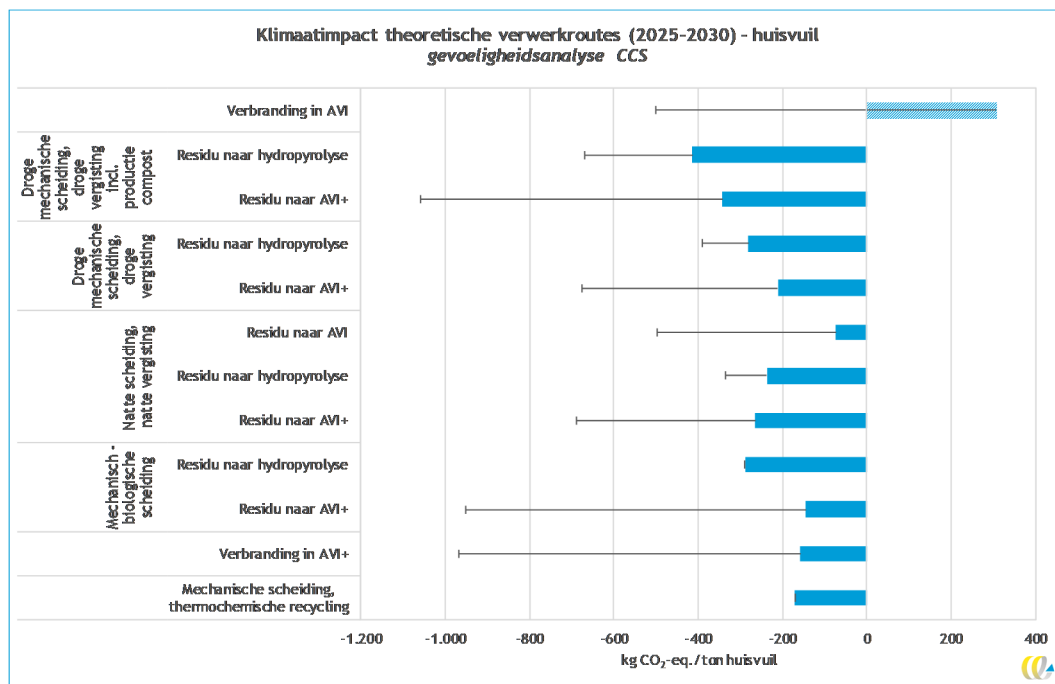
Tabel 62 CO₂-afvang mogelijk voor de theoretische verwerkroutes (2025-2030)

Verwerkroute	Huisvuil (kg CO ₂ -eq./ton afval)	Bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil (kg CO ₂ -eq./ton afval)	Afvangpunt
Verbranding in AVI	579 kg biogeen-CO ₂ 513 kg fossiel-CO ₂	623 kg biogeen-CO ₂ 737 kg fossiel-CO ₂	AVI
Verbranding in AVI+	579 kg biogeen-CO ₂ 513 kg fossiel-CO ₂	623 kg biogeen-CO ₂ 737 kg fossiel-CO ₂	AVI+
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI	330 kg biogeen-CO ₂ 210 kg fossiel-CO ₂	410 kg biogeen-CO ₂ 356 kg fossiel-CO ₂	AVI, biogasopwerking
Droge scheiding, droge vergisting, incl. compost- verwerking, residu naar AVI+	585 kg biogeen-CO ₂ 300 kg fossiel-CO ₂	766 kg biogeen-CO ₂ 456 kg fossiel-CO ₂	AVI+, biogasopwerking
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	295 kg biogeen-CO ₂ 294 kg fossiel-CO ₂	470 kg biogeen-CO ₂ 485 kg fossiel-CO ₂	AVI+, biogasopwerking
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	330 kg biogeen-CO ₂ 210 kg fossiel-CO ₂	410 kg biogeen-CO ₂ 356 kg fossiel-CO ₂	AVI+, biogasopwerking
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	579 kg biogeen-CO ₂ 513 kg fossiel-CO ₂	623 kg biogeen-CO ₂ 737 kg fossiel-CO ₂	AVI+
Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking, residu naar hydropyrolyse	262 kg biogeen-CO ₂ 0 kg fossiel-CO ₂	301 kg biogeen-CO ₂ 0 kg fossiel-CO ₂	Biogasopwerking
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydropyrolyse	112 kg biogeen-CO ₂ 0 kg fossiel-CO ₂	55 kg biogeen-CO ₂ 0 kg fossiel-CO ₂	Biogasopwerking
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydropyrolyse	101 kg biogeen-CO ₂ 0 kg fossiel-CO ₂	30 kg biogeen-CO ₂ 0 kg fossiel-CO ₂	Biogasopwerking
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydropyrolyse	0 kg biogeen-CO ₂ 0 kg fossiel-CO ₂	0 kg biogeen-CO ₂ 0 kg fossiel-CO ₂	Geen

Voor de theoretische verwerkroutes heeft dit als gevolg dat bij toepassing van CCS de klimaatimpact van alle routes afneemt. Het klimaatvoordeel is na CCS-toepassing het laagst in het geval van 'mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydropyrolyse' en het hoogst in het geval van 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostproductie, residu naar AVI+'.⁶⁵ Dit betekent dat de rangschikking van de routes iets verandert. In alle gevallen scoort residuverwerking in een AVI+ nu beter dan residuverwerking bij hydropyrolyse. Dit is logisch omdat we geen CO₂-afvang bij hydropyrolyse hebben meegenomen omdat het om kleinschalige verwerking gaat.

⁶⁵ Hierbij moet opgemerkt worden dat als er geen CO₂-afvang mogelijk is bij mechanische scheiding, thermochemische recycling deze verwerkroute het laagste klimaatvoordeel oplevert.

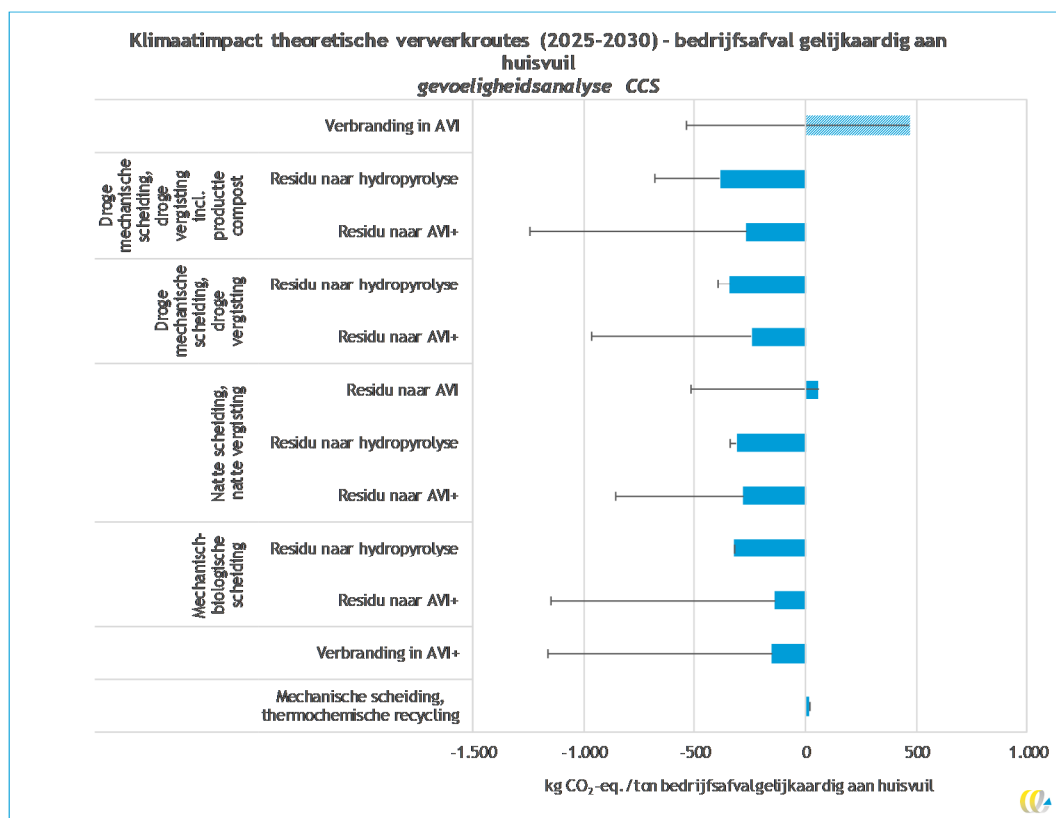
Figuur 50 Klimaatimpact theoretische verwerkroutes (2025-2030) – huisvuil – gevoeligheidsanalyse CCS



Toelichting: De foubalk heeft de klimaatimpact weer bij het toepassen van CCS.

- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

Figuur 51 Klimaatimpact theoretische verwerkroutes (2025-2030) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil – gevoeligheidsanalyse CCS



Toelichting: De foutbalk geeft de klimaatimpact weer bij toepassing van CCS.

- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

Bij toepassing van CCU neemt de klimaatimpact van alle routes af (in ieder geval voor de twee gekozen CCU-routes).

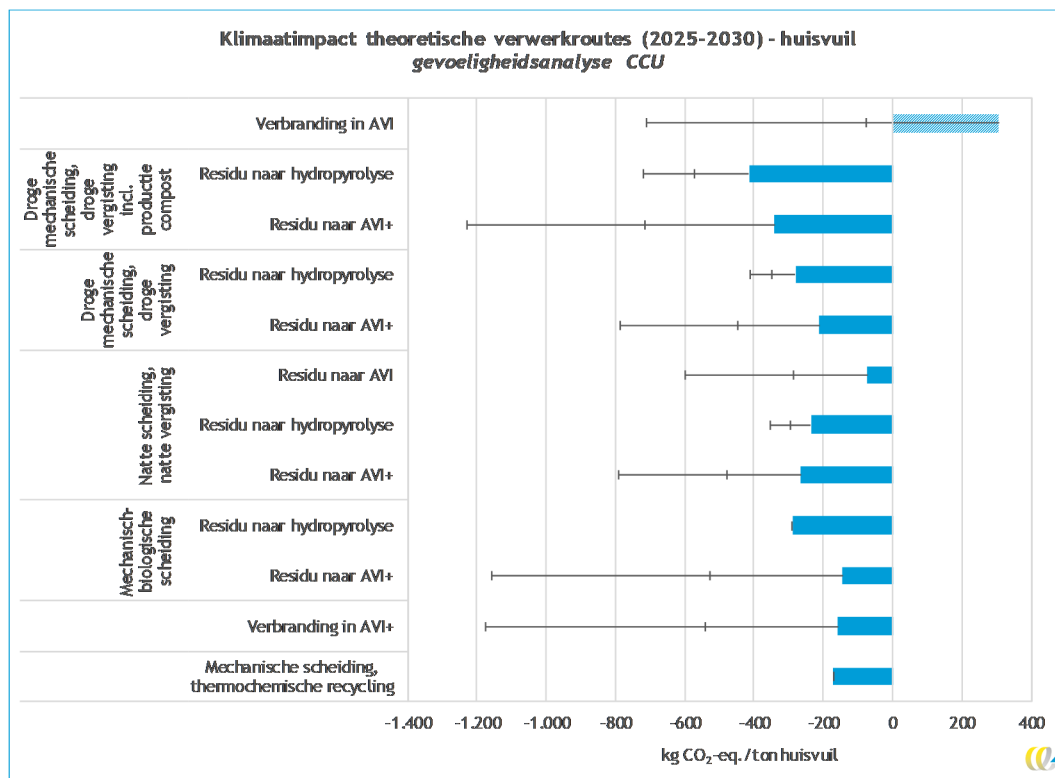
Het klimaatvoordeel is na CCU-toepassing voor mineralisatie het hoogst in het geval van 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking, residu naar AVI+' en het laagst in het geval van 'mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse'.⁶⁶ Dit betekent dat de rangschikking van de routes verandert omdat een deel van de koolstof terecht komt in het biomethaan en deze emissies niet in een CCU-route terecht komen en omdat er geen CO₂-afvang plaatsvindt bij hydrolyse.

Het klimaatvoordeel is na CCU-toepassing voor methanolproductie (op basis van 100% duurzame energie) het hoogst in het geval van 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking, residu naar AVI+' en het

⁶⁶ Hierbij moet opgemerkt worden dat als er geen CO₂-afvang mogelijk is bij mechanische scheiding, thermochemische recycling deze verwerkroute het laagste klimaatvoordeel oplevert.

laagst in het geval van ‘verbranding in een AVI’. Dit betekent dat de rangschikking van de routes verandert omdat een deel van de koolstof terecht komt in het biomethaan en deze emissies niet in een CCU-route terecht komen en omdat er geen CO₂-afvang plaatsvindt bij hydrolyse.

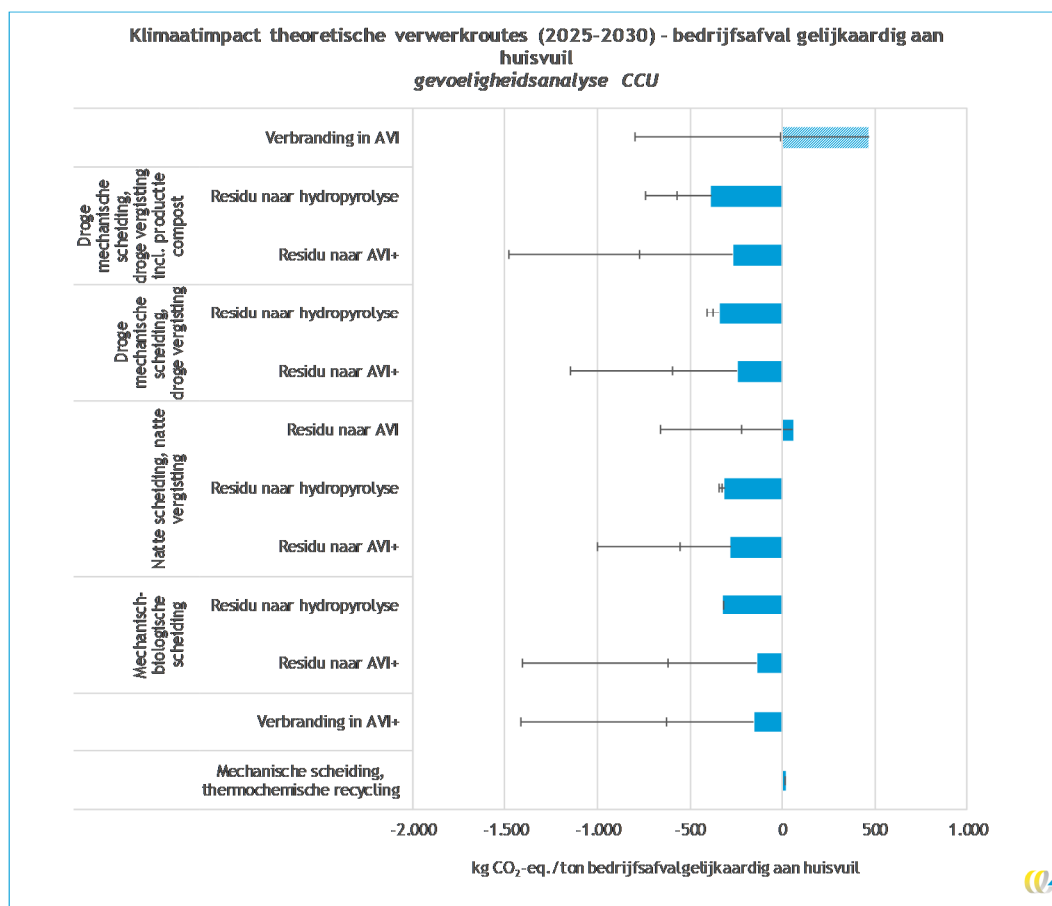
Figuur 52 Klimaatimpact theoretische verwerkroutes (2025-2030) – huisvuil – gevoeligheidsanalyse CCU



Toelichting: De laagste klimaatimpact/grootste voordeel is aangegeven als foutbalk het meest naar links in de grafiek dit representeert de mineralisatie, het laagste klimaatvoordeel is weergegeven als een streepje in de foutbalk dit representeert de methanolproductie op basis van 100% duurzame energie.

- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

Figuur 53 Klimaatimpact theoretische verwerkroutes (2025-2030) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil – gevoeligheidsanalyse CCU



Toelichting: De laagste klimaatimpact/grootste voordeel is aangegeven als foutbalk het meest naar links in de grafiek dit representeert de mineralisatie, het laagste klimaatvoordeel is weergegeven als een streepje in de foutbalk dit representeert de methanolproductie op basis van 100% duurzame energie.

- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

11.2.2.3 Conclusies gevoeligheidsanalyse – realisatie CCS en CCU

Het gevolg voor de resultaten is dat de klimaatimpact van de procesemissies vrijwel geheel verdwijnt voor alle verwerkingsroutes. De conventionele AVI laat bij toepassing van CCS en CCU ook een netto klimaatwinst zien.

Bij toepassing van de verschillende CCS/CCU-technieken betekent dit het volgende voor de bestaande verwerkroutes:

- Bij toepassing van CCS leveren alle verwerkroutes behalve ‘droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking’ een vergelijkbaar klimaatvoordeel op. Dit is anders dan in de basisanalyse waar verwerking in een conventionele AVI en ‘mechanisch-biologische scheiding’ een hogere klimaatimpact overleverde dan ‘droge scheiding, droge vergisting’.

- Bij toepassing van de CCU-variant methanolproductie op basis van 100% duurzame energie zorgt de verwerkroute ‘droge scheiding, droge vergisting’ nog steeds voor het grootste klimaatvoordeel, net als in de basisanalyse.
- Bij toepassing van de CCU-variant mineralisatie zorgt de verwerkroute ‘verbranding in AVI’ voor het grootste klimaatvoordeel, het klimaatvoordeel van ‘mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI’ is vergelijkbaar. De andere verwerkroutes zorgen voor een minder groot klimaatvoordeel, anders dan in de basisanalyse.
- In alle gevallen levert de verwerkroute ‘mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI’ een iets lager klimaatvoordeel dan verwerking in een conventionele AVI.

Kortom er kan geconcludeerd worden dat de conclusie zoals getrokken in Hoofdstuk 9 en Hoofdstuk 10 voor bestaande verwerkroutes dat ‘droge scheiding, droge vergisting’ het grootste klimaatvoordeel oplevert geen stand houdt bij een zeer efficiënte CO₂-afvang bij een AVI en toepassing (gelijk of meer dan 74% van de directe broeikasgasemissies uit de conventionele AVI worden vermeden).

Bij toepassing van de verschillende CCS/CCU-technieken betekent dit het volgende voor de theoretische verwerkroutes:

- Bij toepassing van CCS levert de verwerking van residu in aan AVI+ een groter klimaatvoordeel dan de verwerking met behulp van hydropyrolyse. Dit is anders dan in de basisanalyse. Wél leveren alle verwerkroutes waarbij de AVI+ als residuverwerkingsmethode gebruikt wordt een groter klimaatvoordeel op dan ‘verbranding in een conventionele AVI’.
- Bij toepassing van de CCU-variant methanolproductie op basis van 100% duurzame energie levert de verwerking van residu in aan AVI+ een groter klimaatvoordeel dan de verwerking met behulp van hydropyrolyse. Dit is anders dan in de basisanalyse. Alle verwerkroutes leveren nog wel een groter klimaatvoordeel op dan verwerking in een conventionele AVI.
- Bij toepassing van de CCU-variant mineralisatie levert de verwerking van residu in aan AVI+ een groter klimaatvoordeel dan de verwerking met behulp van hydropyrolyse. Dit is anders dan in de basisanalyse. Alleen de verwerkroutes waar het residu verwerkt wordt in een AVI+ leveren een groter klimaatvoordeel dan verwerking van huisvuil of bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in een conventionele AVI.

Kortom er kan geconcludeerd worden dat de conclusie zoals getrokken in Hoofdstuk 9 en Hoofdstuk 10 voor theoretische verwerkroutes dat alle theoretische verwerkroutes een lagere klimaatimpact opleveren dan verwerking in een conventionele AVI geen stand houdt bij een zeer efficiënte CO₂-afvang bij een AVI.⁶⁷ Wél leveren alle verwerkroutes waar een AVI+ wordt toegepast als residuverwerkingsmethode een groter klimaatvoordeel op dan verwerking in een conventionele AVI bij zowel CCS als de beide CCU-routes.

Het is goed om te vermelden dat deze resultaten alleen gelden voor de klimaatimpact, want alleen CO₂ wordt afgevangen en opgeslagen. Het heeft dus weinig gevolgen voor de andere milieu-indicatoren of vergroot de milieu-impact op deze indicatoren door een vermindering van energieproductie (er wordt immers energie gebruikt tijdens de afvang en toepassing van CO₂).

11.2.3 Efficiëntie kunststofafscheiding en kunststofsamenstelling – huisvuil

Vanuit de klankbordgroep is de vraag gerezen of de nascheidingstechnieken, en met name de nascheidings-technieken waarover operationele gegevens bekend zijn voor de Nederlandse situatie of waarover de theoretische installatie opzet gericht is op Nederland (natte nascheiding en droge nascheiding in combinatie met vergisting), even efficiënt kunststof kunnen scheiden in Vlaanderen als in Nederland. Beiden gebieden hebben immers een ander voorscheidingssysteem, in Nederland worden folies ingezameld via het PMD terwijl

⁶⁷ De precieze efficiëntie is hierbij niet bepaald maar het dient ieder geval ergens tussen de 35 en 74% te zijn van de directe broeikasgasemissies uit de conventionele AVI worden vermeden.

dit in Vlaanderen niet het geval is bij Fost Plus. Verder kent Nederland een statiegeldsysteem voor grote PET-flessen terwijl Vlaanderen deze niet kent.

In Bijlage A.1.1 is uiteengezet wat de mogelijke verschillen qua samenstelling in het huisvuil zullen zijn tussen Vlaanderen en Nederland. Op basis hiervan lijkt het erop alsof er een vergelijkbare hoeveelheid harde kunststof in het huisvuil zit als in Nederland en is er dus geen reden om aan te nemen dat de scheidingsrendementen niet vergelijkbaar zijn. De samenstelling van kunststof in Vlaams huisvuil zal ook meer gaan lijken op de samenstelling in Nederlands huisvuil als Fost Plus uitgebreid wordt. Zie voor de gevolgen hiervan de gevoeligheidsanalyse in Sectie 11.1.1.

11.3 INVLOED KEUZE ATTRIBUTIONELE LCA/VARIATIE IN ELEKTRICITEITSMIX

In de analyse wordt zoals eerder aangegeven gebruik gemaakt van de attributieve LCA-methode. Dit betekent dat gebruik gemaakt wordt van een gemiddelde marktmix voor zowel het gebruik van materialen als energie als voor de vervanging bij de productie van materialen en energie. In het geval gekozen wordt voor een consequentiële LCA zou gerekend worden met de kengetallen voor marginale energie en materiaal. We kijken naar de invloed van deze keuze op de resultaten voor de Belgische elektriciteitsmix. Hierbij nemen we de volgende elektriciteitsmixen:

- Fossiele marginale elektriciteitsmix: Vooralsnog blijft de energievoorziening in Vlaanderen een mix van zowel duurzame bronnen als van fossiele bronnen. Het grootste deel van die duurzame bronnen (wind en zon) is aanbod gestuurd en heeft voorrang bij inzet. Variaties in vraag zullen waarschijnlijk vooral opgevangen worden door de fossiele bronnen. De netto elektriciteitsproductie vervangt in dit geval dus vooral fossiele bronnen net zoals op dit moment het geval is. We gaan hierbij uit van elektriciteitsproductie in een kolencentrale omdat dit van de fossiele bronnen de minst gunstige is (worst case benadering)⁶⁸.
- Duurzame marginale elektriciteitsmix: Als bijvoorbeeld door een groot aandeel biomassa in de duurzame mix de duurzame mix wel gevoelig is voor vraag en aanbod dan zal ook de marginale mix verduurzamen. Er bestaat daarmee een mogelijkheid dat de marginale mix een biomassacentrale is. We gaan hierbij uit van elektriciteitsproductie in een biomassacentrale.⁶⁹

We kijken in deze gevoeligheidsanalyse alleen naar de bestaande verwerkroutes, omdat het een erg complexe analyse is.

11.3.1 Bestaande verwerkroutes (2020-2025)

11.3.1.1 Resultaten klimaatimpact

Alle bestaande verwerkroutes leveren een (groter) klimaatvoordeel op bij de fossiele marginale elektriciteitsmix dan bij de gemiddelde Belgische elektriciteitsmix. Dit komt omdat er nu meer broeikasgasemissies vervangen worden bij de netto elektriciteitsproductie dan het geval is in de basisanalyse.

In Figuur 54 en Figuur 55 is te zien dat de invloed van de verandering van elektriciteitsmix op de klimaatimpact groter is naarmate er meer netto elektriciteit geproduceerd wordt. De verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking' heeft daarom het hoogste klimaatvoordeel bij een fossiele marginale elektriciteitsmix. Bij de fossiele marginale elektriciteitsmix hebben de verwerkroutes 'droge scheiding, droge vergisting' en verwerking in een conventionele AVI een vergelijkbaar klimaatvoordeel.

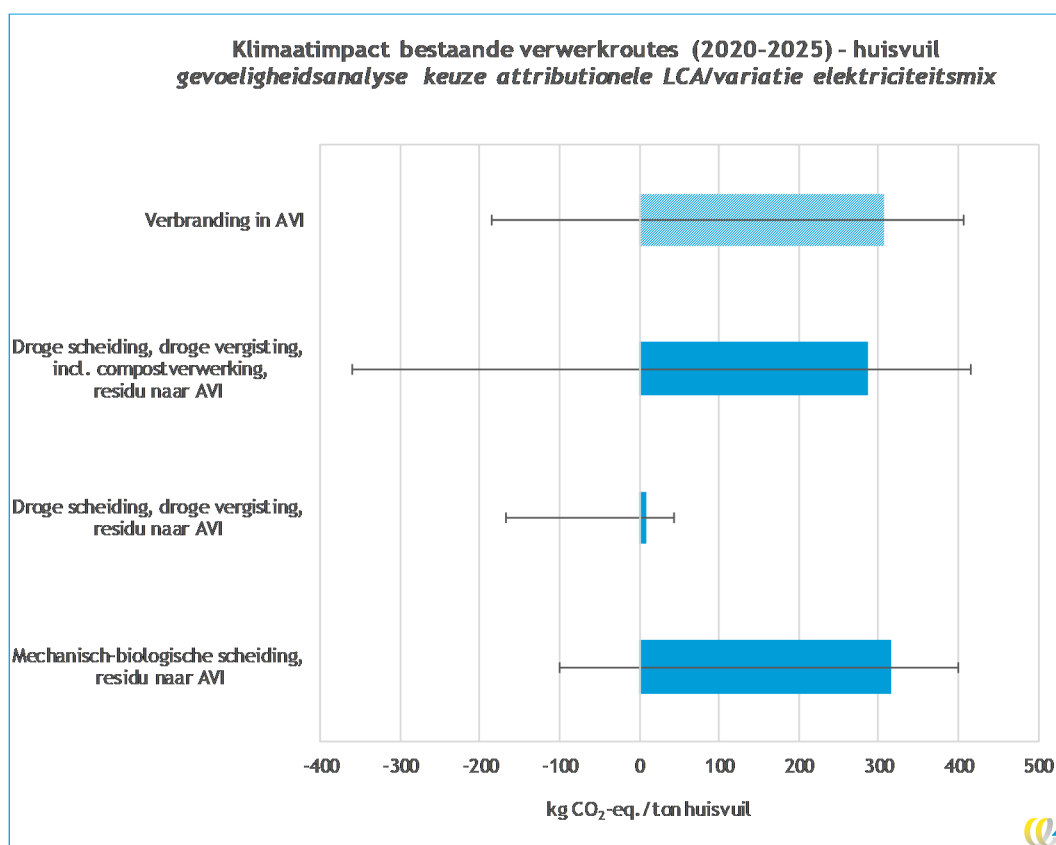
⁶⁸ Hetzelfde Ecoinvent-proces is gebruikt voor de elektriciteitsproductie alleen is de marktmix van high voltage elektriciteitsproductie in België vervangen door "Electricity, high voltage {BE} | electricity production, hard coal".

⁶⁹ Hetzelfde Ecoinvent-proces is gebruikt voor de elektriciteitsproductie alleen is de marktmix van high voltage elektriciteitsproductie in België vervangen door "Electricity, high voltage {BE} | heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014".

Alle bestaande verwerkroutes leveren een lager klimaatvoordeel of een hogere klimaatimpact op bij de duurzame elektriciteitsmix dan bij de gemiddelde Belgische elektriciteitsmix. Dit komt omdat er nu minder broeikasgasemissies vervangen worden bij de netto elektriciteitsproductie dan het geval is in de basisanalyse.

In Figuur 54 en Figuur 55 is te zien dat de invloed van de verandering van elektriciteitsmix op de klimaatimpact groter is naarmate er meer netto elektriciteit geproduceerd wordt. De resultaten voor de verwerkroute ‘droge scheiding, droge vergisting’ worden daarom het minst beïnvloed door een duurzame marginale mix, terwijl de resultaten van de andere drie verwerkroutes meer beïnvloed worden.

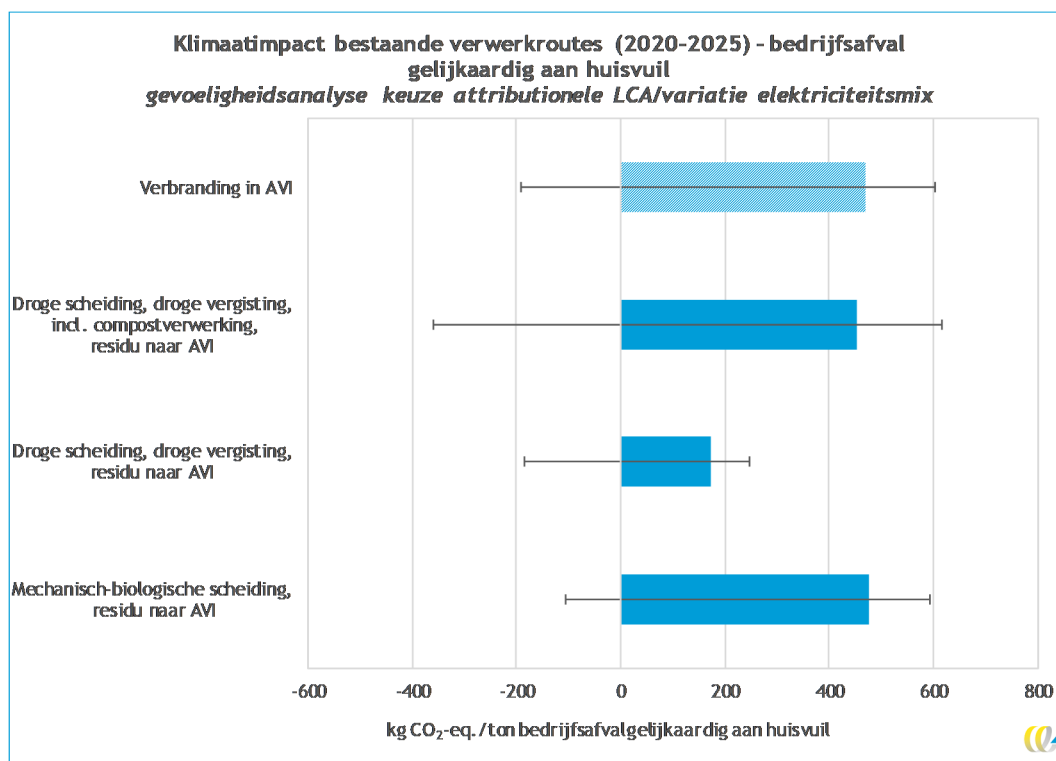
Figuur 54 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – huisvuil – gevoeligheidsanalyse keuze attributionele LCA/variatie elektriciteitsmix



Toelichting: De laagste klimaatimpact/grootste klimaatvoordeel is aangegeven als foutbalk het meest naar links in de grafiek dit representeert de marginale fossiele elektriciteitsmix, het laagste klimaatvoordeel/hogste klimaatimpact is weergegeven als een streepje in de foutbalk naar rechts dit representeert de marginale duurzame elektriciteitsmix.

- NB1 De technieken ‘verbranding in AVI’ en ‘mechanisch-biologische scheiding’ worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk (‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking’) en Nederland (‘droge scheiding, droge vergisting’). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze “compost” in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

Figuur 55 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil – gevoeligheidsanalyse keuze attributionele LCA/variatie elektriciteitsmix



Toelichting: De laagste klimaatimpact/grootste klimaatvoordeel is aangegeven als foutbalk het meest naar links in de grafiek dit representeert de marginale fossiele elektriciteitsmix, het laagste klimaatvoordeel/hogste klimaatimpact is weergegeven als een streepje in de foutbalk naar rechts dit representeert de marginale duurzame elektriciteitsmix.

- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

11.3.1.2 Resultaten overige milieu-indicatoren

We beschrijven hieronder de resultaten zowel voor huisvuil als bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

Bij een marginale fossiele elektriciteitsmix:

- Is er een reductie van het milieuvoordeel of een toename van de milieu-impact op in 6 van de 18 milieu-indicatoren voor alle bestaande verwerkroutes. Kortom als een elektriciteitsmix meer elektriciteit uit fossiele bronnen bevat dan zorgt dit voor een toename van milieuvoordeel of een afname van milieu-impact voor 12 van de 18 milieu-indicatoren (waaronder klimaatimpact zoals we net gezien hebben) ten opzichte van de gemiddelde Belgische elektriciteitsmix.

- Is 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking' de verwerkroute die het minste milieuvoordeel of de hoogste milieu-impact heeft op 6 van de 18 milieu-indicatoren. Dit zijn er een stuk minder dan in de basisanalyse, daar was dit het geval voor 12 van de 18 milieu-indicatoren. De verwerkroutes komen dus dichterbij elkaar, zoals we al zagen bij de klimaatimpact.
- Heeft de verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting' een groter milieuvoordeel of een lagere milieu-impact dan de conventionele AVI op 8 van de 18 milieu-indicatoren. Dit zijn er een stuk minder dan in de basisanalyse, daar was dit het geval voor 15 van de 18 milieu-indicatoren. De verwerkroutes komen dus dichterbij elkaar, zoals we al zagen bij de klimaatimpact.

Bij een marginale duurzame elektriciteitsmix:

- Is er een reductie van het milieuvoordeel of een toename van de milieu-impact in 9 van de 18 milieu-indicatoren ten opzichte van de basisanalyse. Kortom als een elektriciteitsmix meer elektriciteit uit biomassa bevat dan zorgt dit voor een toename van milieuvoordeel of een afname van milieu-impact voor de andere 9 van de 18 milieu-indicatoren (waaronder klimaatimpact zoals we net gezien hebben) ten opzichte van de gemiddelde Belgische elektriciteitsmix.
- Is 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking' de verwerkroute die het minste milieuvoordeel of de hoogste milieu-impact heeft op 13 van de 18 milieu-indicatoren. Dit zijn er meer dan in de basisanalyse, daar was dit het geval voor 12 van de 18 milieu-indicatoren. De conclusies blijven dus gelijk.
- Heeft de verwerkroutes 'droge scheiding, droge vergisting' een groter milieuvoordeel of een lagere milieu-impact dan de conventionele AVI op 14 van de 18 milieu-indicatoren. In de basisanalyse was dit het geval voor 15 van de 18 milieu-indicatoren. De conclusies blijven dus gelijk.

11.3.1.3 Resultaten schadecategorieën

We beschrijven hieronder de resultaten zowel voor huisvuil als bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

Bij een marginale fossiele elektriciteitsmix:

- Is er een reductie van de schade of een toename van de vermeden schade voor alle bestaande verwerkroutes, voor alle schadecategorieën.
- Is 'mechanisch-biologische scheiding' de verwerkroute die het minste schade vermijdt in alle drie de schadecategorieën.
- Heeft de verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting' een grotere vermeden schade in twee van de drie schadecategorieën dan de conventionele AVI bij de verwerking van huisvuil. In de basisanalyse was dit het geval voor alle drie de schadecategorieën. Bij de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil gaat het wél om alle drie de schadecategorieën.

Bij een marginale duurzame elektriciteitsmix:

- Is er een reductie van de schade of een toename van de vermeden schade voor alle bestaande verwerkroutes, in de schadecategorieën 'menselijke gezondheid' en 'ecosystemen'.
- Is 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking' de verwerkroute die het minste schade vermijdt in de schadecategorieën 'menselijke gezondheid' en 'economische schade door uitputting grondstoffen'.
- Heeft de verwerkroutes 'droge scheiding, droge vergisting' een grotere vermeden schade in twee van de drie schadecategorieën dan de conventionele AVI. De vermeden schade aan ecosystemen is nu groter in het geval van de conventionele AVI omdat er meer elektriciteit vermeden wordt waar biomassa bij benodigd is voor de productie.

11.3.1.4 Resultaten exergetische LCA (CEENE)

Bij een marginale fossiele elektriciteitsmix levert 'mechanisch-biologische scheiding' nog steeds de minste exergiewinst op, terwijl dit bij een marginale duurzame elektriciteitsmix nu 'droge scheiding, droge vergisting' is.

11.3.2 Conclusies

In het algemeen zullen verwerkingsroutes die meer grondstoffen terugwinnen ten koste van energieproductie (warmte of elektriciteit) beter uit de analyse komen als het aandeel duurzame energie toeneemt. Dit betekent dat de conclusie, zoals deze eerder gepresenteerd is, versterkt wordt. In het geval van een toename van het aandeel fossiele energie op basis is de conclusie andersom, deze vermindert de zekerheid over de conclusies.

11.4 INVLOED WEGLATEN TRANSPORT UIT DE ANALYSE

Transport is niet inbegrepen in de basisanalyse. De locatie van de verschillende installaties zal ergens zijn in Vlaanderen maar de precieze locatie ligt niet vast. Op dit moment wordt huisvuil ook binnen Vlaanderen op diverse locaties verwerkt. Er is dus nu al sprake van transport. In de basisanalyse gaan we ervan uit dat ook met nieuwe technieken er sprake zal zijn van vergelijkbare transportafstanden naar de verwerklocaties, wel vindt er bij de ene techniek meer transport plaats dan bij de andere techniek. Om een beeld te krijgen van de impact van transport in relatie tot de milieu-impact voeren we een gevoeligheidsanalyse uit.

In de gevoeligheidsanalyse hebben we twee transportsценario's opgesteld voor een ton huisvuil:

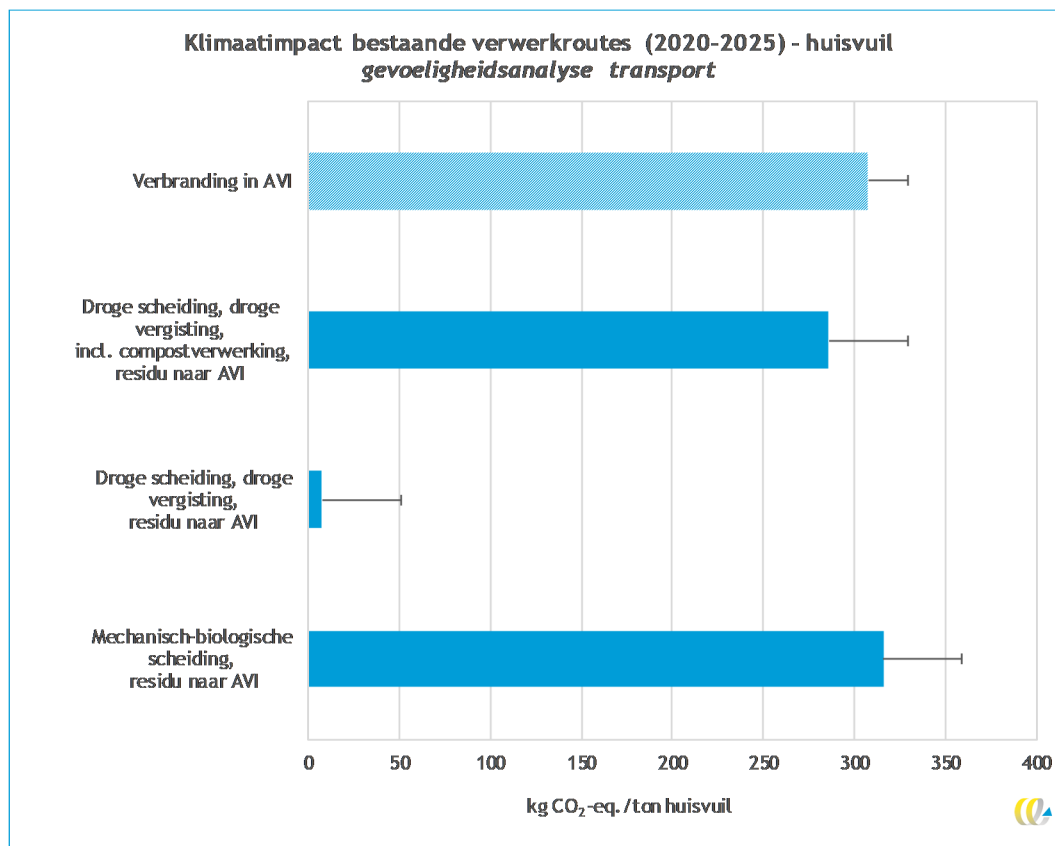
4. 'Laag': 100 km met een middelgrote, al wat oudere afval/vrachtwagen, Euro 4. Dit gaat om eenmaal transport binnen Vlaanderen zoals nu het geval bij de conventionele AVI. En ook het geval zal zijn bij een AVI+, en 'mechanische scheiding, thermochemische recyclage'.
5. 'Hoog': 200 km met een middelgrote, al wat oudere afval/vrachtwagen, Euro 4. Dit gaat om meerdere malen transport en zal het geval zijn voor de rest van de verwerkroutes.

We geven de resultaten weer voor zowel de bestaande als de theoretische verwerkroutes.

11.4.1 Bestaande verwerkroutes (2020-2025)

Zoals volgende twee figuren laten zien heeft het weglaten van transport invloed op de klimaatimpact van de bestaande verwerkroutes van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. De conclusies over klimaat-impact veranderen echter niet door het toevoegen van transport, zelfs niet als we ervan uit zouden gaan dat er bij verbranding in een conventionele AVI bijna geen transport plaatsvindt en in het geval van de andere verwerkroutes een ton afval voor 200 kilometer vervoerd wordt.

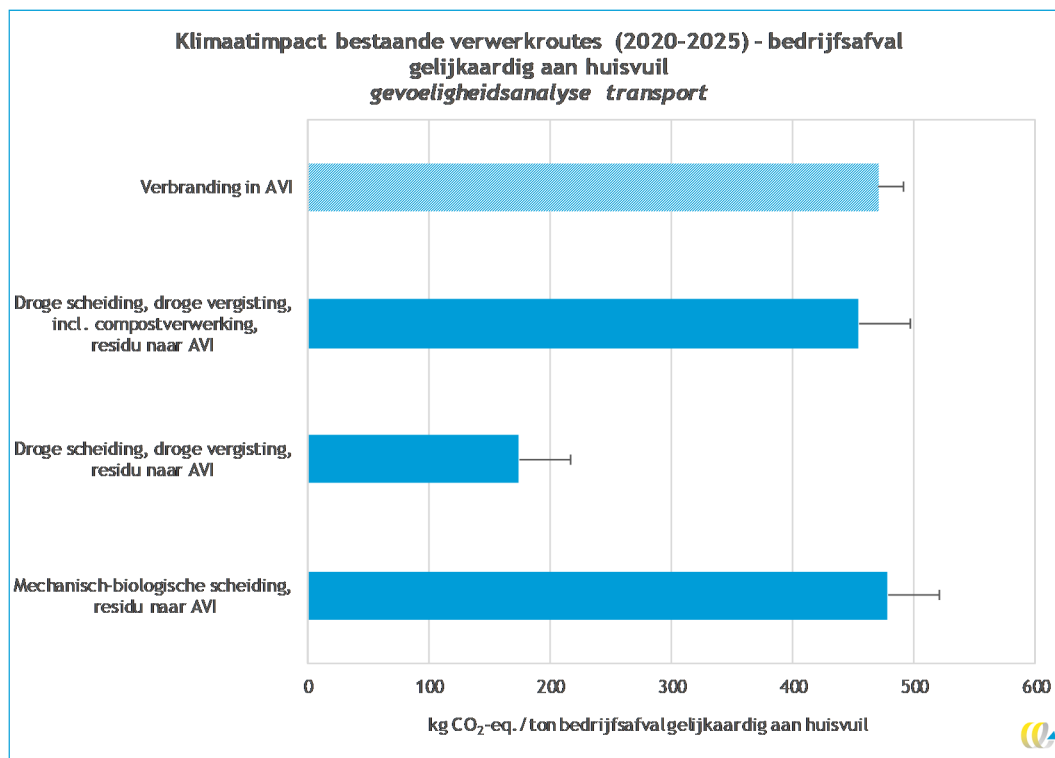
Figuur 56 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – huisvuil – gevoeligheidsanalyse transport



Toelichting: Foutbalken geven de klimaatimpact weer als transport meegenomen zou worden in de analyse.

- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen.
- De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

Figuur 57 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil – gevoeligheidsanalyse transport



Toelichting: Foutbalken geven de klimaatimpact weer als transport meegenomen zou worden in de analyse.

- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modelering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

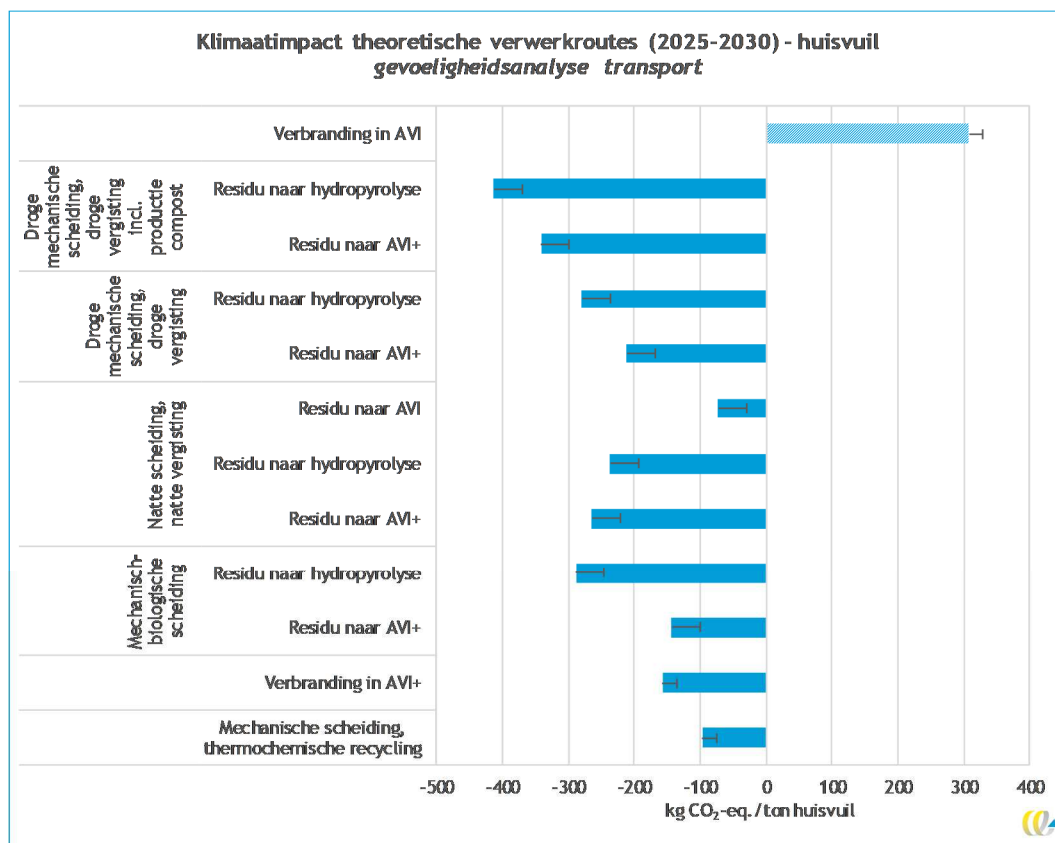
Ook de resultaten voor de andere milieu-indicatoren veranderen wél, het milieuvoordeel neemt af of het de milieu-impact neemt toe, maar de rangorde van de conclusies zoals getrokken in Hoofdstuk 9 en 10 veranderen hier niet door. Zowel niet voor huisvuil als niet voor bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor de schadecategorieën is de verwerkroute die de meeste schade oplevert aan ecosystemen voor verwerking van huisvuil na toevoegen van transport 'biologisch-mechanische scheiding' in plaats van verbranding in een AVI zoals het geval in de basisanalyse. Dit is logisch, de resultaten voor de routes lagen al dichtbij elkaar, en we hebben in deze gevoeligheidsanalyse aangenomen dat het afval verder getransporteerd dient te worden in het geval van 'biologisch-mechanische scheiding' dan in het geval van verbranding in een conventionele AVI. Bij de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil vindt geen verandering plaats.

Ook voor de resultaten voor de exergetische LCA (CEENE) geldt dat de exergiewinst afneemt voor alle verwerkroutes maar dat de rangorde van de conclusies zoals getrokken in Hoofdstuk 9 en 10 hier niet door veranderen.

11.4.2 Theoretische verwerkroutes (2025-2030)

Zoals Figuur 58 en Figuur 59 laten zien heeft het weglaten van transport maar een kleine impact op de klimaatimpact van de theoretische verwerkroutes van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. De conclusies over klimaatimpact veranderen echter niet door het toevoegen van transport, zelfs niet als we ervan uit zouden gaan dat er bij verbranding in een conventionele AVI bijna geen transport plaatsvindt en in het geval van de andere verwerkroutes een ton afval voor 200 kilometer vervoerd wordt.

Figuur 58 Klimaatimpact theoretische verwerkroutes (2025-2030) – huisvuil – gevoeligheidsanalyse transport



Toelichting: Foutbalken geven de klimaatimpact weer als transport meegenomen zou worden in de analyse.

- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

Klimaatimpact theoretische verwerkroutes (2025-2030) - bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

gevoeligheidsanalyse transport

Verwerkingsroute	Klimaatimpact (kg CO ₂ -eq./ton)
Verbranding in AVI	450
Residu naar hydrothermale ontleding	-380
Residu naar AVI+	-280
Residu naar hydrothermale ontleding	-350
Residu naar AVI+	-250
Residu naar AVI	50
Residu naar hydrothermale ontleding	-300
Residu naar AVI+	-280
Residu naar hydrothermale ontleding	-320
Residu naar AVI+	-150
Verbranding in AVI+	-150
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	50

kg CO₂-eq./ton bedrijfsafvalgelijkaardig aan huisvuil

NB1	Theoretische verwerkroues zijn verwerkroues die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroues. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
NB2	Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
NB3	Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

- Voor de milieu-indicator 'ecotoxiciteit bodem' heeft de verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking, residu naar hydropyrolyse' nu het laagste milieuvoordeel. Dit was in de basisanalyse 'verbranding in AVI'. Dit betekent dat in plaats van in 14 milieu-indicatoren bij de toevoeging van transport de verwerkroute 'verbranding in AVI' in 13 milieu-indicatoren het laagste milieuvoordeel of de hoogste milieu-impact heeft.

Voor de schadecategorieën is de verwerkroute die de meeste schade oplevert nog steeds ‘verbranding in AVI’. Alle theoretische verwerkroutes hebben een hoger milieuvoordeel of een lagere milieu-impact. Ook levert residuverwerking met behulp van geïntegreerde hydropyrolyse nog steeds voor de meeste verwerkroutes een hoger milieuvoordeel of een lagere milieu-impact dan verwerking met behulp van een AVI+, zowel bij de milieu-indicatoren als de schadecategorieën.

Ook voor de resultaten voor de exergetische LCA (CEENE) geldt dat de exergiewinst afneemt voor alle verwerkroutes maar dat de rangorde van de conclusies zoals getrokken in Hoofdstuk 9 en 0 hier niet door veranderen.

11.4.3 Conclusies

De getrokken conclusies in Hoofdstuk 9 en 0 veranderen niet door het meenemen van transport in de analyse. Ook niet als we ervan uitgaan dat er bijna geen transport plaatsvindt in het geval van de conventionele AVI.

11.5 BIOGENE CO₂ MEENEMEN IN KLIMAATIMPACT

In de analyse is er voor gekozen om, in lijn met LCA-methodologie, ervan uit te gaan biogene CO₂ geen invloed heeft op klimaatverandering. Deze aanpak wordt gehanteerd omdat biogene CO₂ kortcyclische CO₂ is. Omdat het gaat om een LCA van afvalverwerking wordt echter in de afbakening de opname van CO₂ niet meegenomen, we kijken immers net naar de productie van bijv. een tomaat maar enkel naar de afvalverwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil waar plantaardige resten in zitten. In deze gevoeligheidsanalyse kijken we daarom naar de impact op de resultaten voor klimaatimpact als we ervan uit zouden gaan dat biogene CO₂ wél een invloed heeft op het klimaat.

11.5.1 Bestaande verwerkroutes (2020-2025)

De biogene koolstofinhoud huisvuil is 158 kg C (579 kg CO₂-eq.) en de biogene koolstofinhoud van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil 170 kg C (623 kg CO₂-eq.). Deze emissies komen geheel vrij binnen 100 jaar in alle verwerkroutes. Dit betekent dat alle verwerkroutes nu een klimaatimpact hebben maar dat de absolute verschillen tussen de verwerkroutes gelijk blijven. Tabel 63 en

Tabel 64 geven de resultaten weer van de gevoeligheidsanalyse.

Tabel 63 Klimaatimpact verwerking huisvuil bij meerekenen biogene CO₂

Verwerkroute	Klimaatimpact basisanalyse	Klimaatimpact bij meerekenen biogene CO ₂
	Kg CO ₂ -eq./ton huisvuil	Kg CO ₂ -eq./ton huisvuil
Verbranding in AVI	308 kg CO ₂ -eq.	609 kg CO ₂ -eq.
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking, residu naar AVI	286 kg CO ₂ -eq.	865 kg CO ₂ -eq.
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI	8 kg CO ₂ -eq.	587 kg CO ₂ -eq.
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI	316 kg CO ₂ -eq.	895 kg CO ₂ -eq.

Tabel 64 Klimaatimpact verwerking bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil bij meerekenen biogene CO₂

Verwerkroute	Klimaatimpact basisanalyse	Klimaatimpact bij meerekenen biogene CO ₂
	Kg CO ₂ -eq./ton bedrijfsafval gelijkaardig na huisvuil	Kg CO ₂ -eq./ton bedrijfsafval gelijkaardig na huisvuil
Verbranding in AVI	470 kg CO ₂ -eq.	1.093 kg CO ₂ -eq.
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking, residu naar AVI	454 kg CO ₂ -eq.	1.077 kg CO ₂ -eq.
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI	174 kg CO ₂ -eq.	797 kg CO ₂ -eq.
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI	478 kg CO ₂ -eq.	1.101 kg CO ₂ -eq.

11.5.2 Theoretische verwerkroutes (2025-2030)

De biogene koolstofinhoud huisvuil is 158 kg C (579 kg CO₂-eq.) en de biogene koolstofinhoud van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil 170 kg C (623 kg CO₂-eq.). Deze emissies komen geheel vrij binnen 100 jaar in alle verwerkroutes. Dit betekent dat alle verwerkroutes nu een klimaatimpact hebben maar dat de absolute verschillen tussen de verwerkroutes gelijk blijven. Tabel 63 en

Tabel 64 geven de resultaten weer van de gevoeligheidsanalyse.

Tabel 65 Klimaatimpact verwerking huisvuil bij meerekenen biogene CO₂

Verwerkroute	Klimaatimpact basisanalyse	Klimaatimpact bij meerekenen biogene CO ₂
	Kg CO ₂ -eq./ton huisvuil	Kg CO ₂ -eq./ton huisvuil
Verbranding in AVI	308 kg CO ₂ -eq.	609 kg CO ₂ -eq.
Verbranding in AVI+	-157 kg CO ₂ -eq.	422 kg CO ₂ -eq.
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	-97 kg CO ₂ -eq.	482 kg CO ₂ -eq.
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI	-74 kg CO ₂ -eq.	505 kg CO ₂ -eq.
Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking, residu naar AVI+	-342 kg CO ₂ -eq.	237 kg CO ₂ -eq.
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	-212 kg CO ₂ -eq.	367 kg CO ₂ -eq.
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	-264 kg CO ₂ -eq.	315 kg CO ₂ -eq.
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	-144 kg CO ₂ -eq.	435 kg CO ₂ -eq.
Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking, residu naar hydrolyse	-413 kg CO ₂ -eq.	166 kg CO ₂ -eq.
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	-280 kg CO ₂ -eq.	299 kg CO ₂ -eq.
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	-237 kg CO ₂ -eq.	342 kg CO ₂ -eq.
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	-289 kg CO ₂ -eq.	290 kg CO ₂ -eq.

Tabel 66 Klimaatimpact verwerking bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil bij meerekenen biogene CO₂

Verwerkroute	Klimaatimpact basisanalyse	Klimaatimpact bij meerekenen biogene CO ₂
	Kg CO ₂ -eq./ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil	Kg CO ₂ -eq./ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil
Verbranding in AVI	470 kg CO ₂ -eq.	1.093 kg CO ₂ -eq.
Verbranding in AVI+	-153 kg CO ₂ -eq.	470 kg CO ₂ -eq.
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	73 kg CO ₂ -eq.	696 kg CO ₂ -eq.
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI	58 kg CO ₂ -eq.	681 kg CO ₂ -eq.
Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking, residu naar AVI+	-267 kg CO ₂ -eq.	356 kg CO ₂ -eq.
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	-243 kg CO ₂ -eq.	380 kg CO ₂ -eq.
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	-279 kg CO ₂ -eq.	344 kg CO ₂ -eq.
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	-138 kg CO ₂ -eq.	485 kg CO ₂ -eq.
Droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking, residu naar hydrolyse	-385 kg CO ₂ -eq.	238 kg CO ₂ -eq.
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	-341 kg CO ₂ -eq.	282 kg CO ₂ -eq.
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	-310 kg CO ₂ -eq.	313 kg CO ₂ -eq.
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	-321 kg CO ₂ -eq.	302 kg CO ₂ -eq.

11.5.3 Conclusies

Als we de klimaatimpact van biogene CO₂-emissies meenemen in de analyse dan hebben alle verwerkroutes een hogere klimaatimpact. De absolute verschillen tussen de verwerkroutes blijven echter gelijk aan de resultaten uit de basisanalyse. De relatieve verschillen veranderen echter wel doordat het absolute verschil dan gedeeld wordt door een andere basiswaarde. In dit rapport gebruiken we echter weinig relatieve verschillen vooral ook omdat een deel van de processen een positieve emissie heeft en een deel een negatieve. Duiding met relatieve verschillen is dan weinig zinvol.

12 KWALITATIEVE ANALYSE GROFVUIL EN BEDRIJFSAFVAL GELIJKAARDIG AAN GROFVUIL

AVIs verbranden naast huisvuil ook grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil. Het gaat hierbij om gemengd grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan deze stroom (bedrijfsrestafval ingezameld in een afzetcontainer). Het zijn grove gemixte afvalstromen die *niet* separaat zijn ingeleverd of ingezameld en om de fracties uit de milieuparken die niet direct naar een recycler kunnen. Het moge duidelijk zijn dat de huidige Vlaamse AVIs deze stroom verwerken en dat een toekomstige AVI (AVI+) deze stroom ook aankan.

In dit hoofdstuk bespreken we de (eventuele) verwerking van deze stroom in de verwerkingstechnieken. Tijdens de verkenning van de verschillende verwerkingstechnieken is duidelijk geworden dat deze zich niet richten op grofvuil en ook geen data hebben over het eventueel verwerken hiervan (zie Hoofdstuk 4). Een kwantitatieve analyse bleek daardoor niet mogelijk. Opnieuw met uitzondering van de AVI (en de AVI+) die nu deze stroom al verwerkt.

In een groot deel van de onderzochte Vlaamse gemeenten werd het overgebleven, niet separaat ingezamelde grofvuil integraal in de AVI verbrand (in 2012). In een klein aantal gemeenten (intercommunale IMOG) vond nasortering van het overgebleven grofvuil plaats (OVAM, 2012). (Uitgebreidere) nasortering zou ook plaats kunnen vinden in andere gemeenten. We bekijken daarom de samenstelling van het gemengde grofvuil en het bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil en benoemen mogelijke verwerkingstechnieken per te sorteren stroom.

Het milieuvoordeel van dit voorstel ten opzichte van verbranding is op dit moment niet te bepalen door de onzekerheid over de daadwerkelijke mogelijkheden van sortering op deze manier evenals de specifieke afzetmogelijkheden van het materiaal.

Tabel 67 Samenstelling grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil naar afvalsoort

Component	Grofvuil – huis-aan-huis-ophaling (2012)	Bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil – afzetcontainer
	Aandeel gewicht%	Aandeel gewicht%
Ferro metalen	0,89%	3,33%
Non-ferro metalen	0,05%	0,74%
Kunststoffen PVC	1,44%	2,63%
Kunststoffen HDPE	3,38%	0,49%
Hout	12,33%	21,85%
Glas	0,09%	0,41%
Inert	17,86%	8,99%
Andere	0,33%	0,47%
Piepschuim	0,32%	0,25%
KGA	0,06%	1,05%
Tapijt	3,64%	2,37%
Matras	7,42%	0%
Brandbaar	52,49%	57,41%

Bron voor grofvuil (OVAM, 2012) en bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil (OVAM, 2018).

Nasortering zou in drie stappen kunnen, waarna de overgebleven fracties worden verbrand:

1. Handmatig of semi-handmatig sorteren van grote stromen die gerecycled kunnen worden, die in relatief grote aandelen aanwezig zijn.

2. Mechanische nasortering met verwerktechnieken zoals beschreven in Hoofdstuk 4 of met een toegespitste nasortering voor grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil.
3. Verbranding van niet-recycleerbare, vervuilde en zeer kleine fracties.

(semi-)handmatige sortering van grote fracties

Deze sorteerstap richt zich op het scheiden van gelijkaardige fracties van groot formaat, die geschikt zijn voor recyclage en die in relatief grote hoeveelheden voorkomen. Dit kan volledig handmatig plaatsvinden op de gemeentewerf of bij een nasorteerder door middel van een (door de mens aangestuurde) grijper. Het zou dan kunnen gaan om de volgende fracties:

- Grote stukken houtafval en houten meubels voor toepassing in spaanplaten of toepassing voor energieproductie in een (biomassa)energiecentrale.
- Grote stukken bouw- en sloopafval, met name steenpuin, asfalt en toiletpotten om verder te verkleinen tot bouw materiaal (ophoogmateriaal, vulstof).
- Grote stukken kunststof, bijvoorbeeld PVC-buizen (kunststofafval) en kunststof (tuin)meubilair voor verdere kunststofverwerking. De moeilijkheid hierbij is het vaststellen van het type kunststof van zulke grote stukken afval. Een mogelijkheid is ook om dit kunststof nadien te verkleinen en door een NIR te halen voor sortering naar kunststofsoort.
- Grote stukken metaal, bijvoorbeeld fietsen en schroot voor verdere metaalsortering bij een schroothandelaar.
- Matrassen voor verwerking bij een matrassrecycler. Deze trekt het matras uit elkaar en wint hierbij staal en bijv. latex en schuim terug. Uiteraard hoe vervuiler het matras hoe minder ervan hergebruikt kan worden.
- Autobanden voor conventionele verwerking van autobanden of via een toekomstig innovatief verwerkingssysteem zoals radiolyse.
- Eventueel: textiel. Mits er een recycleroute voor beschikbaar is en het textiel niet te zeer vervuild is.

Mechanische nasortering van individuele materialen

Van het overgebleven materiaal zou een deel nagesorteerd kunnen worden. Dit zou kunnen met nascheidingstechnieken zoals onderzocht in deze studie voor huisvuil of in een specifiek toegepaste methode voor grofvuil of bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil. Allereerst is verkleining van de overgebleven fracties nodig. Daarna zou het mogelijk zijn om te sorteren met een droge nascheidingsinstallatie. Een voorbeeld van zo'n scheidingslijn is in bedrijf bij IMOG in Vlaanderen en bij van Gansewinkel in Nederland.

Nascheiding kan zich richten op de volgende typen materiaal:

- Inert materiaal, in te zetten als funderingsmateriaal in de bouw. Afkomstig bijvoorbeeld van klusafval, vlakglas en glazen producten.
- Kunststof. Bijvoorbeeld afkomstig van kunststof onderdelen van producten en afval/puinzakken.
- Metalen. Afkomstig van metalen onderdelen (zoals van meubilair), schroot en elektronische apparatuur. Dit gebeurt nu ook bij IMOG.
- Hout. Kleinere delen afkomstig van producten, klusafval en zaag- en snoeiafval.

Verbranding van fracties waarvoor nasortering waarschijnlijk niet mogelijk is

De overige stromen zullen waarschijnlijk zowel niet (gedeeltelijk) handmatig als via een nascheidingsinstallatie uitgesorteerd kunnen worden. Het gaat hierbij om de fracties die in kleine aandelen aanwezig zijn in het grofvuil, zoals klein huisraad, groenafval, klein gevaarlijk afval, papier en karton en textiel. Deze stromen zijn brandbaar en door de variërende samenstelling is verwerking van deze stromen in een AVI het meest waarschijnlijk.

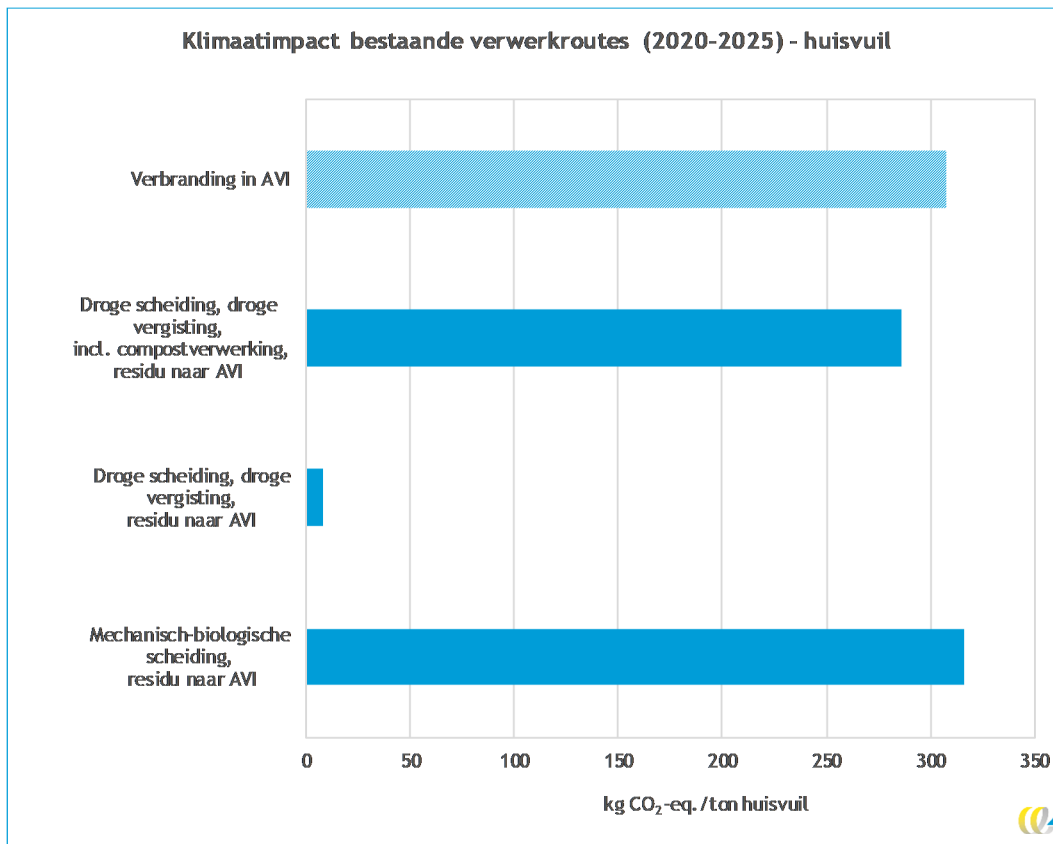
13 CONCLUSIES

13.1 CONCLUSIES MILIEUKUNDIGE ANALYSE KORTE TERMIJN (2020-2025)

Omdat de klimaatimpact gezien wordt als een heel belangrijk milieuaspect en deel van de andere milieu-effecten hier sterk mee correleren presenteren we hier de resultaten aan de hand van de klimaatimpact. Andere milieueffecten vindt u in de resultaat hoofdstukken.

Figuur 60 laat een duidelijke verlaging van de klimaatimpact zien ten opzichte van verbranding in de conventionele AVI, bij verwerking van huisvuil via de verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI'. De verwerking van huisvuil in een van de andere twee bestaande verwerkroutes leidt tot een vergelijkbare klimaatimpact als verbranding van het huisvuil in een conventionele AVI. Voor de verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking, residu naar AVI' is dit te verklaren door het feit dat het compost zoals dit nu geproduceerd wordt in Frankrijk niet afgezet mag worden volgens Vlaams wetgeving om twee redenen: de compostkwaliteit (zware metalen in compost) en compost uit huisvuilverwerking (ongeacht de compostkwaliteit) mag niet afgezet worden in de land- en tuinbouw.

Figuur 60 Klimaatimpact voor bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt huisvuil



- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

De resultaten voor bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil zijn vergelijkbaar met die voor verwerking van huisvuil. De absolute klimaatimpact is iets hoger bij de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil dan bij de verwerking van huisvuil, met name door het lagere aandeel biologisch materiaal in het bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

13.2 CONCLUSIES MILIEUKUNDIGE ANALYSE LANGERE TERMIJN (2025-2030)

Omdat de klimaatimpact gezien wordt als een heel belangrijk milieuaspect en deel van de andere milieueffecten hier sterk mee correleren presenteren we hier de resultaten aan de hand van de klimaatimpact. Andere milieueffecten vindt u in de resultaat hoofdstukken.

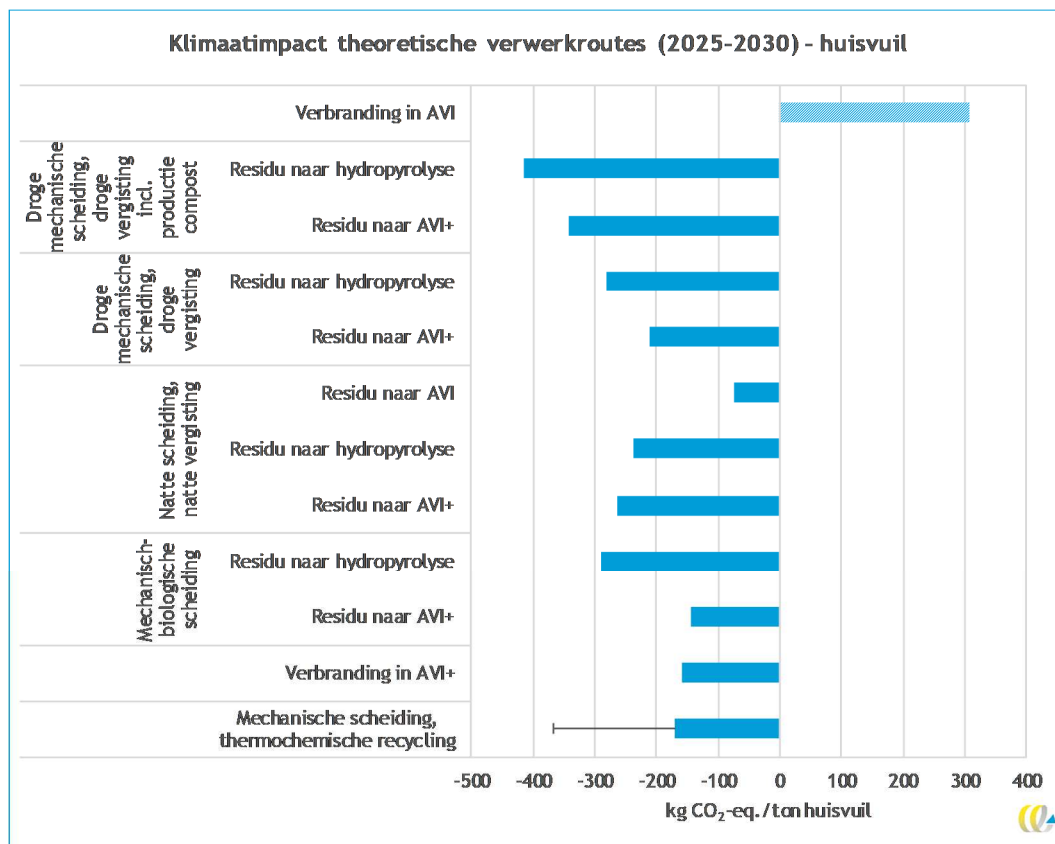
Figuur 61 laat zien dat alle theoretische verwerkroutes een klimaatvoordeel opleveren, terwijl een conventionele AVI een klimaatimpact oplevert. Op basis van deze resultaten lijkt het er dus op dat een combinatie van een nascheidingstechniek met een (theoretische) residuverwerking altijd een klimaatvoordeel opleveren.

In de verdere toekomst zijn er theoretisch nog meer technieken beschikbaar voor Vlaanderen, deze technieken zijn nu nog in ontwikkeling. Het gaat dan om afvalverbranding met bijna 100% totaal energetisch rendement zoals recent gebouwd in Kopenhagen (de AVI+), 'natte scheiding, natte vergisting', 'mechanische scheiding, thermochemische recycling', een aangepaste versie van 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking' en 'geïntegreerde hydropyrolyse'. De eerste optie met aanzienlijk milieuvoordeel voor de toekomst is de afvalverbranding met een hoger rendement (AVI+) eventueel in combinatie met CO₂-afvang. Nog weer iets beter scoren alle combinaties van droge of natte voorscheiding in combinatie met residu naar een AVI+ of naar hydropyrolyse.

Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost zoals in Frankrijk nu gebeurt scoort door deze laatste stap (afzet van de compost) het beste. Het is technisch mogelijk dat de compost uit de route 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking' aan de Vlaamse kwaliteitseisen voor compost voldoet. Echter is het in Vlaanderen nu wettelijk niet toegestaan om compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil toe te passen in de land- en tuinbouw. Voor deze variant zou dus wetswijziging nodig zijn, zodat hoogwaardige compost zonder vervuilingen die niet afkomstig is van gescheiden ingezameld GFT of groenafval wél ingezet mag worden. Binnen de EU is er echter juist discussie om in de nieuwe richtlijn voor meststoffen vanaf 2027 dit niet mogelijk te laten zijn.

'Mechanisch-biologische scheiding met residu naar een AVI+' scoort vergelijkbaar met de AVI+.

Figuur 61 Klimaatimpact voor theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil



Toelichting: De onzekerheidsbalk voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is een inschatting van het klimaatvoordeel als ook fermentatie toegepast wordt. Dit is mogelijk rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.

De resultaten voor bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil zijn vergelijkbaar met die voor verwerking van huisvuil. De absolute klimaatimpact is iets hoger bij de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil dan bij de verwerking van huisvuil, met name door het lagere aandeel biologisch materiaal in het bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

13.3 CONCLUSIES EXERGETISCHE

Naast naar milieu-indicatoren is in de LCA gerekend met een exergetische LCA-indicator. Hieruit is gebleken dat alle verwerkroutes voor zowel de verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil leiden tot het voorkomen van exergie-onttrekking. Er komt exergie beschikbaar in de vorm van geproduceerde grondstoffen en brandstoffen. De exergieanalyse geeft geen uitdrukking aan de uitstoot van emissies zoals CO₂. Van de theoretische verwerkroutes die mogelijk op de langere termijn toepasbaar zijn in Vlaanderen

wordt de meest exergie-onttrekking voorkomen bij verwerking van huisvuil in een AVI+ omdat deze vrijwel 100% van de beschikbare energie in de grondstoffen benut.

13.4 CONCLUSIES GEVOELIGHEIDSANALYSES

13.4.1 Verandering in afvalsamenstelling: Uitbreiding Fost Plus

Bij het uitvoeren van deze analyse was nog niet bekend dat het Fost Plus-systeem voor kunststofinzameling, sortering en recycling uitgebreid zou gaan worden naar vrijwel alle kunststof verpakkingen van huishoudens. Het effect hiervan is daarom in een gevoeligheidsanalyse onderzocht. Minder kunststof in het huisvuil door meer kunststofafscheiding via bronscheiding (Fost Plus) zorgt ervoor dat de klimaatimpact bij verwerking van huisvuil bij de verschillende verwerkroutes verminderd ten opzichte van de basisanalyse. De verschillen tussen de verwerkroutes zijn hiermee kleiner. Bij een 80% reductie van kunststoffen in het huisvuil halveren de verschillen tussen nascheidingsverwerkroutes en de overige technieken ongeveer. Als we uitgaan van een minder optimistische afname van kunststof in het huisvuil van 40% (uitgebreidere inzameling) dan worden de verschillen tussen de nascheidingsverwerkroutes en de overige verwerkroutes ongeveer 25% minder. Dit komt omdat de scheidingstechnieken nu minder kunststof uit het huisvuil kunnen afscheiden. Hierbij dient vermeld te worden dat deze analyse alleen over huisvuil gaat. Het grotere milieuvoordeel van het Fost Plus-systeem door meer kunststofrecycling is niet opgenomen in deze analyse.

13.4.2 Verandering in afvalsamenstelling: Minder GFT in huisvuil door betere scheiding GFT

Minder biotische materiaal per ton huisvuil betekent dat dit relatief gezien meer niet biotische materiaal bevat. Minder GFT in het huisvuil zorgt daarom voor alle verwerkroutes voor een iets hogere milieu-impact of lager milieuvoordeel dan in de basisanalyse. De rangorde van de verschillende verwerkroutes verandert echt niet.

13.4.3 Verandering in afvalsamenstelling: Minder textiel in huisvuil door uitbreiding selectieve inzameling textiel

Minder textiel in het huisvuil zorgt in alle verwerkroutes voor een iets lagere milieu-impact of lager milieuvoordeel dan in de basisanalyse. Ook dit heeft geen effect op de rangorde van de verwerkroutes.

13.4.4 Variatie in AVI-rendement conventionele AVI

Een hoger of lager AVI-rendement zorgt voor alle verwerkroutes voor en iets hogere milieu-impact of lager milieuvoordeel (bij een lager rendement) of een iets lagere milieu-impact of hoger milieuvoordeel (bij een hoger rendement). De onderlinge rangorde van technieken verandert hier echter heel weinig door.

13.4.5 Variatie in elektriciteitsmix

Er kan discussie zijn over de vraag welke vorm van conventionele elektriciteitsproductie verdrongen wordt door elektriciteitsproductie uit afval. Er kan beargumenteerd worden dat de gemiddelde Belgische mix door duurzame energie in de toekomst schoner gaat worden. Aan andere kant zou het ook in de toekomst nog zo zijn dat de marginale mix (effect 1 kWhe meer) vooral bestaat uit fossiele bronnen omdat duurzame bronnen niet gestuurd worden. Daarom is voor de berekening wat de invloed op de resultaten is van fossiele marginale elektriciteitsmix uit kolenstroom of een duurzame marginale elektriciteitsmix uit biomassa.

Alle bestaande verwerkroutes leveren een (groter) klimaatvoordeel op bij de fossiele (kolen) marginale elektriciteitsmix dan bij de gemiddelde Belgische elektriciteitsmix.

Dit komt omdat er nu meer broeikasgasemissies vermeden worden bij de netto elektriciteitsproductie dan het geval is in de basisanalyse. Het effect van de verandering van elektriciteitsmix op de klimaatimpact groter is naarmate er meer netto elektriciteit geproduceerd wordt. De verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking' (compost naar AVI) heeft daarom het hoogste klimaatvoordeel bij een fossiele

marginale elektriciteitsmix. Alle bestaande verwerkroutes leveren een lager klimaatvoordeel of een hogere klimaatimpact op bij de duurzame elektriciteitsmix dan bij de gemiddelde Belgische elektriciteitsmix. Dit komt omdat er nu minder broeikasgasemissies vervangen worden bij de netto elektriciteitsproductie dan het geval is in de basisanalyse.

13.4.6 CO₂-vastlegging en opslag (CCS) en toepassing (CCU)

Als CO₂ vrijkomt als puntbron, zoals uit de schoorsteen bij een verbrandingsproces, dan kan de CO₂ worden afgevangen en opgeslagen in, bijvoorbeeld, een oud gasveld of een aquifer (watervoerende laag in de ondergrond). De CO₂ kan ook worden toegepast in plaats van opgeslagen. Deze techniek zou in de toekomst toegepast kunnen worden op een aantal soorten emissies in een aantal verwerkingsroutes.

Volledig afvangen van CO₂ bij een AVI en AVI+ en opslaan of toepassen van de CO₂ in bepaalde toepassingen leidt tot een volledig ander resultatenplaatje qua klimaatimpact van de technieken dan het geval was in de basisanalyse. De verbrandingstechnieken (AVI en AVI+) hebben dan een klimaatimpact vergelijkbaar met de verwerkingsroutes waarbij materialen uitgesorteerd en gerecycleerd worden. Dit geldt alleen voor de klimaatimpact, want alleen CO₂ wordt afgevangen en opgeslagen. Het heeft dus weinig gevolgen voor de andere milieu-indicatoren of vergroot de milieu-impact op deze indicatoren.

13.4.7 Transport

Transport van huisvuil naar de verwerkingsinstallatie is niet meegenomen in de basisanalyse. In een gevoeligheidsanalyse is daarom geanalyseerd wat het effect zou zijn van het gebruik een vrachtwagen over 100 km in het geval van verwerking in een AVI of AVI+ en over 200 km voor de andere verwerkingsroutes. Toevoegen van dit transport maakt alle routes beperkt ongunstiger. Het effect zorgt er echter niet voor dat de rangordes van de technieken niet verandert.

13.5 CONCLUSIES UIT LCA-ANALYSE

13.5.1 Korte termijn (2020-2025)

Op de korte termijn (2020-2025) levert verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil met behulp van 'droge scheiding, droge vergisting, residu naar de AVI' een milieuvoordeel op ten opzichte van volledige verwerking van deze afvalstromen in een conventionele AVI. Dit geldt voor 15 van de 18 bekeken milieu-indicatoren en alle milieuschadecategorieën. Deze verwerkroute levert daarnaast een vergelijkbare vermeden exergie-onttrekking op als verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in een conventionele AVI.

De gevoeligheidsanalyses laten zien dat de verschillen tussen 'droge scheiding, droge vergisting, residu naar de AVI' en de overige bestaande verwerkroutes kleiner wordt voor huisvuilverwerking naarmate er meer kunststof selectief wordt ingezameld. In het geval van een 80% reductie van kunststof in het huisvuil levert deze verwerkroute een milieuvoordeel op ten opzichte van volledige verwerking van huisvuil in een conventionele AVI in 14 van de 18 milieu-indicatoren. Dit is er één minder dan in de basisanalyse. Ook is de vermeden exergie-onttrekking bij zowel een 40 als 80% reductie van kunststof in het huisvuil lager bij verwerking van huisvuil met 'droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI' dan in het geval van verwerking van huisvuil in een conventionele AVI.

De gevoeligheidsanalyses laten verder zien dat de klimaatimpact van verwerking van huisvuil of bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil met de verschillende bestaande verwerkroutes vergelijkbaar is als CCS wordt toegepast of als een efficiënte CCU-methode gebruikt wordt.

De overige gevoeligheidsanalyses leiden niet tot het bijstellen van de conclusies.

13.5.2 Langere termijn (2025-2030)

Op de lange termijn zijn er drie manieren om de huidige verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil milieukundig en exergetisch te verbeteren. In de eerste plaats is het mogelijk om droge en of natte nascheiding van het afval toe te passen waardoor er een deel van huisvuil als grondstof gerecycled kan worden. De tweede manier is het stap voor stap verhogen van het energierendement van bestaande of nieuwe afvalverbrandingsinstallaties. De derde optie is het afvangen en opslaan of gebruiken van de CO₂-emissies uit afvalverbranding. Een veelbelovende manier is het combineren van deze verschillende opties; het nascheiden van grondstoffen en verwerken van het biologisch materiaal combineren met een hoogrendement residuverwerking (AVI+/hydropyrolyse) en het afvangen van CO₂ afgevangen bij residuverwerking.

13.6 ONZEKERHEDEN MILIEUKUNDIGE ANALYSE

Omdat het hier gaat om het vergelijken van technieken die verschillende producten produceren (elektriciteit, warmte, chemische producten, kunststoffen, biogas) en deze gewaardeerd worden naar het vervangen van huidige manier om die producten te maken is de vergelijking gevoelig voor trends in deze conventionele producten. Als de marginale elektriciteit⁷⁰ mix in Vlaanderen meer gaat bestaan uit duurzame bronnen dan worden technieken (AVI en AVI+) die elektriciteit produceren minder gunstig. Als de manier van produceren van kunststof duurzamer wordt (bijvoorbeeld door CO₂-afvang in de industrie) dan wordt het recyclen van kunststof minder gunstig. De huidige rangorde van technieken blijft alleen geldig als alle producten beschikbaar op de Vlaamse markt ongeveer even snel verduurzamen.

Daarnaast geldt voor de theoretische technieken dat er mee- en tegenvallers kunnen zijn in de verder ontwikkeling van de technieken.

13.7 BEDRIJFSECONOMISCHE ASPECTEN

Qua robuustheid en flexibiliteit scoren vooral AVI en AVI+ goed, met name omdat zij ook grof huishoudelijk afval kunnen verwerken. 'Droge scheiding, droge vergisting' en 'droge scheiding zonder biologische behandeling' en ook 'mechanisch-biologische scheiding' hebben zich in combinatie met een AVI of AVI+ bewezen als robuuste techniek. Qua investeringskosten worden de laagste investeringskosten gerapporteerd voor 'mechanische scheiding, thermochemische recyclage' (RenaSci). Deze zijn ongeveer de helft van de investeringskosten voor een AVI. Deze techniek moet zich echter nog bewijzen. Al wel in bedrijf is 'droge scheiding, droge vergisting' (Omrin, Attero en AEB) in combinatie met een AVI. Deze combinatie heeft ook relatief lage investeringskosten: ongeveer 80% van de investeringskosten van een AVI.

Voor het verwerken van residu worden voor hydropyrolyse door initiatiefnemers lagere kosten gerapporteerd dan voor een AVI. Deze techniek moet zich echter nog bewijzen. De AVI+ heeft 37% hogere investeringskosten dan een standaard AVI. Als de warmte afgezet kan worden kunnen deze meerkosten terugverdiend kunnen worden in ongeveer 12,5 jaar.

De investeringskosten zijn echter maar een deel van het financiële plaatje. Ze geven een eerste beeld dat nieuwe technieken zeker niet duurder hoeven te zijn dan de huidige verwerking. Voor een compleet financieel beeld dienen er offertes opgevraagd te worden bij techniekleveranciers.

13.8 GRONDSTOFFEFFICIËNTIE

Op basis van de bepaalde efficiënties voor energie, metaal en kunststof voor de bekeken verwerkroutes voor huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

⁷⁰ De manier van produceren van de laatste kWh op een bepaald moment.

- Er is één bestaande verwerkroute die tussen 2020 en 2025 gerealiseerd kan worden die een hogere energie-efficiëntie heeft dan de conventionele AVI. Het gaat hierbij om “droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI”. Ook is de metaal-efficiëntie hoger van de bestaande verwerkroutes en is de kunststofefficiëntie hoger voor (een deel van) de bestaande verwerkroutes. Op basis van de efficiënties kan echter voor bestaande verwerkroutes geen conclusie getrokken worden over welke verwerkroute het meest aantrekkelijk is. Hiervoor is een milieukundige analyse benodigd.
- Van de theoretische verwerkroutes lijken alle verwerkroutes hogere efficiënties te hebben voor alle drie de bekeken efficiënties dan de conventionele AVI, met uitzondering van de verwerkroute “natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI”. De theoretische verwerkroutes met hogere efficiënties zijn daarmee interessant om verder te bekijken.

13.9 CONCLUSIES GROFVUIL

Tijdens de verkenning van de verschillende verwerkingstechnieken is duidelijk geworden dat deze zich niet richten op grofvuil en ook geen data hebben over het eventueel verwerken van grofvuil. Uitzonderingen hierop zijn verwerking van grofvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan grofvuil met behulp van een AVI zoals deze nu in gebruik zijn in Vlaanderen of met een AVI+. Een kwantitatieve analyse bleek daardoor niet mogelijk. Er is wel verbetering mogelijk van de verwerking van grofvuil in Vlaanderen. Nasortering van gemengd, overgebleven grofvuil zou in drie stappen kunnen, waarna de overgebleven fracties worden verbrand.

13.10 OVERKOEPELENDE CONCLUSIES

Zowel het realiseren van het afscheiden van grondstoffen uit huisvuil en het realiseren van een hoger energierendement zijn een mogelijkheid om de milieu-impact van huisvuilverwerking te verlagen in Vlaanderen. Er zijn verschillende **nascheidingstechnieken** beschikbaar die een **milieukundig voordeel opleveren ten opzichte van volledige verbranding van huisvuil**, zeker in combinatie met efficiënte residuverwerking. Voor de kortere termijn is met name droge scheiding en droge vergisting te overwegen als voorstap voor bestaande en nieuwe AVIs omdat:

- deze techniek een milieuvoordeel oplevert ten opzichte van volledige verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in een AVI;
- deze techniek zich in Nederland heeft bewezen als robuuste techniek;
- de investeringskosten voor deze techniek in combinatie met de nog benodigde AVI investeringskosten niet hoger zijn dan de kosten voor een AVI;
- door behoud van AVI-capaciteit in deze combinatie blijft er ook een oplossing beschikbaar voor grofvuil.

Voor de langere termijn zijn nascheiding, een hoger energierendement voor het energetisch verwerken van het residu en eventueel CO₂-afvang interessante opties. Of de nieuwe nu nog in ontwikkeling zijnde technieken voor scheiding (bijvoorbeeld natte scheiding of droge mechanische scheiding met droge vergisting) en de nieuwe technieken voor residuverwerking (bijvoorbeeld hydropyrolyse) ook bedrijfseconomisch interessant zullen zijn zal de komende jaren moeten blijken. Sowieso blijven de nu al ontwikkelde technieken van droge scheiding en droge vergisting samen met de AVI+ een interessante combinatie zowel milieukundig als bedrijfseconomisch.

In

Tabel 68 en Tabel 69 zijn de verschillende kenmerken van de technieken qua flexibiliteit, investeringskosten, CO₂ score, ReCiPe milieupunten en CEENE exergie score kwalitatief samengevat.

Tabel 68 Overzicht scores van de bestaande verwerkingstechnieken (scheiding en sorteerresidu verwerking) 2020-2025
(0=referentie 0/+beperkt beter +=goed, ++ zeer goed, +++ uitmuntend, - matig, --= slecht en ?= onzeker)

Scheidingstechniek	Sorteerresidu verwerking	Flexibiliteit en robuustheid	Investeringskosten (+ = lagere kosten dan AVI - = hogere kosten dan AVI)	CO ₂ score	ReCiPe end points	CEENE exergie score
Droge scheiding, droge vergisting	AVI	++	0\+	+++	++	-
Mechanisch-biologische scheiding	AVI	++	-	0	0	-
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie	AVI	++	--	0	0	0
Referentiescenario's						
Conventionele AVI		+++	0=referentie	0=referentie	0=referentie	0=referentie

- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modelering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

Tabel 69 Overzicht scores van de theoretische verwerkingstechnieken (scheiding en sorteerresidu verwerking) 2025-2030
(0=referentie 0/+beperkt beter +=goed, ++ zeer goed, +++ uitmuntend, - matig en ?= onzeker)

Scheidingstechniek	Sorteerresidu verwerking	Flexibiliteit en robuustheid	Investeringskosten (+ = lagere kosten dan AVI - = hogere kosten dan AVI)	CO ₂ score	ReCiPe end points	CEENE exergie score
Mechanische scheiding, thermo-chemische verwerking	nvt	-	+	+ / +++	+	0
Natte scheiding, natte vergisting	AVI+ of hydrolyse	?	-	+++	+++	+
Droge scheiding, droge vergisting	AVI+ of hydrolyse	++	0/+	+++	+++	+
Mechanisch-biologische scheiding	AVI+	++	-	+	+	++
	hydrolyse			+++	+++	0
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie	AVI+ of hydrolyse	++/-	--	+++	+++	+
Referentiescenario's						
Conventionele AVI		+++	0=referentie	0	0	0
AVI+		+++	+/- afhankelijk warmte afzet	+	+	++

- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat dit materiaal in Frankrijk ingezet wordt als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost. Hierbij is wel de vraag of dit gezien de komende eisen vanuit de EU voor meststoffen na 2027 nog steeds mag.

13.11 AANBEVELINGEN VOOR VERVOLG

In dit onderzoek hebben we zoveel mogelijk relevante technieken beoordeeld op zoveel mogelijk relevante punten maar het is zeker niet mogelijk gebleken om compleet te zijn. Wij denken dat het nuttig is om als vervolg te kijken naar de volgende aspecten:

1. Een belangrijke manier van het verlagen van de milieudruk is het verhogen van het energierendement van AVIs. Hier zijn al ontwikkelingen in. Dit aspect is door schaalgrootte, mogelijkheden tot afzet van warmte en de ouderdom van de bestaande AVIs verschillend per locatie en installatie. Een analyse en een plan hoe stap voor stap in Vlaanderen het energierendement praktisch verhoogd kan worden zou een goede aanvulling zijn op de analyse in deze rapportage waarbij er alleen uitgegaan is van een gemiddelde Vlaamse AVI. Voor een compleet beeld zou naast de milieuberekeningen een complete kostenanalyse extra inzicht geven. Wil dit mogelijk zijn dan zal met de verschillende techniekleveranciers echter eerst overeenstemming over het delen van financiële data verkregen moeten worden. De milieuresultaten van verwerking van huisvuil met verschillende verwerkingstechnieken worden aanzienlijk beïnvloed door de mate van bronscheiding voor plastics. Nu de bronscheiding van kunststof in Vlaanderen uitgebreid gaat worden is het aan te bevelen rond 2025 op basis van de samenstelling van het huisvuil de nieuwe technieken nog een keer tegen het licht te houden. Het is daarbij belangrijk om het gehele afvalverwerkingssysteem mee te nemen in de analyse, zodat ook het milieuvoordeel van het brongescheiden kunststof naar voren komt in de analyse.
1. Het is technisch mogelijk dat de compost uit de route ‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking’ aan de Vlaamse kwaliteitseisen voor compost voldoet. Echter is het in Vlaanderen nu wettelijk niet toegestaan om compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil toe te passen in de land- en tuinbouw. Mocht de compost wel ingezet kunnen worden dan levert deze verwerkroute het hoogste milieuvoordeel op van alle bekeken verwerkingsroutes. Het is te overwegen om nog eens af te wegen of hoogwaardige compost die afkomstig is van gescheiden ingezameld GFT of groenafval wél kan worden toegestaan, mits uiteraard de compost voldoet aan de Vlaamse eisen aan compostkwaliteit.
2. Voor het realiseren van een AVI+ situatie is met name de afzet van warmte belangrijk. Het verdient aanbeveling als gekozen wordt voor deze richting om in de praktijk in Vlaanderen te onderzoeken waar uitbreiding van warmtelevering mogelijk is.

Tot slot is het aan te bevelen om de bekeken verwerkroutes nogmaals tegen het licht te houden als deze mogelijk daadwerkelijk gerealiseerd zijn in Vlaanderen en/of als meer praktijkgegevens beschikbaar zijn als verwerkroutes elders in Europa toegepast worden.

14 BIBLIOGRAFIE

- Afvalfonds Verpakkingen. (2016). *Monitoring verpakkingen : resultaten inzameling en recycling 2015*. Leidschendam: Afvalfonds Verpakkingen.
- Afvalfonds, V. (2018). *Monitoring Verpakkingen, Resultaten inzameling en recycling 2017*.
- AkzoNobel. (2018, Februari 16). *Partners agree on initial funding to kick off waste-to-chemistry project in Rotterdam*. Opgeroepen op Augustus 15, 2018, van <https://www.akzonobel.com/for-media/media-releases-and-features/partners-agree-initial-funding-kick-waste-chemistry-project>
- B&W Volund. (2016). *Waste-to-energy plant with multiple purposes*. Opgeroepen op 6 29, 2018, van ARC, Copenhill / Amager Balle, Copenhagen, Denmark: http://www.volund.dk/Waste_to_Energy/References/ARC_Amager_Bakke_Copenhagen
- Boeckx, J. (2014). *Ervaringen met mechanisch-biologische voorbehandelingsinstallaties in Europa, powerpoint presentatie*. Muizen: IVAREM.
- Business Insider. (2018, Januari 8). *Copenhagen's new \$640 million power plant will have a ski slope on its roof : take a look*. Opgeroepen op Augustus 15, 2018, van <https://www.businessinsider.com/copenhagen-arc-power-plant-energy-waste-2018-1?international=true&r=US&IR=T>
- CE Delft. (2017a). *Innovatieve afvalverwerkingstechnieken doorgelicht*. Delft: CE Delft.
- CE Delft. (2017b). *LCA Renescience : Comparison of wet and dry post-consumer municipal waste separation*. Delft: CE Delft.
- CE Delft. (2017c). *LCA Renescience (Vertrouwelijk)*. Delft: CE Delft.
- CE Delft. (2017d). *Milieuanalyse verwerking kunststofverpakkingen*. Delft: CE Delft.
- CE Delft. (2018). *Screening LCA for CCU route connected to CO2 Smart Grid*. Delft: CE Delft.
- Chen, D., Yin, L., Wang, H., & He, P. (2014). Pyrolysis technologies for municipal solid waste : A review. *Waste Management*, 34(12), 2466-2486.
- Czajczyńska, D., Anguilano, L., H., G., Krzyżyńska, R., Reynolds, A., Spencer, N., & Jouhara, H. (2017, September). Potential of pyrolysis processes in the waste management sector. *Thermal Science and Engineering Progress*, 3(September), 171-197.
- De Tijd (red.). (2017, December 28). Desender ambieert industriële comeback in Oostende. *De Tijd*.
- Depauw, A. (2018). Mailwisseling met An Depauw : Belgian Waste-tot-Energy (BW2E).
- Dewulf, J., Bösch, M. d., van der Vorst, G., van Langenhove, H., Hellweg, S., & Huijbregts, M. (2007). Cumulative Exergy Extraction from the Natural Environment (CEENE): a comprehensive Life Cycle Impact Assessment method for resource accounting. *Environmental Science & Technology*, 8477-8483.
- Didde, R. (2017, mei 26). Zo probeert Amsterdam meer afval te hergebruiken. *de Volkskrant*.
- Doherty, J. (2019, January 31). *Mechanical challenges' delay Ørsted bioliquid plant*. Opgeroepen op 2019, van <https://www.letsrecycle.com/news/latest-news/renescience-fully-operational/>
- EC. (2014). *General Annexes to Horizon 2020 Work Programme 2014-2015*. Brussels: European Commission (EC).
- Finnveden, G., Arushanyan, Y., & Brandao, M. (2016). Exergy as a Measure of Resource Use in Life Cycle Assessment and Other Sustainability Assessment Tools. *Resources*, 5(3), 1-23.
- Fost Plus. (2018, 5 14). *Jaarverlag 2017 : Een nieuw elan voor het beheer van huishoudelijk verpakkingsafval*. Opgehaald van https://www.fostplus.be/sites/default/files/Files/Publicaties/fostplus_jaarverslag2017_nl_low.pdf
- GET. (2013). *The Green MoDEM : Power to the people*. Green Energy Technologies (GET).
- GTI. (2012). *Biomass to gasoline and diesel using integrated hydropyrolysis and hydroconversion : technical report, revised*. Des Plaines (USA): Gas Technology Institute (GTI).
- GTI. (2017). *Catalytic Conversion of Cellulosic or Algal Biomass plus Methane to Drop-in Hydrocarbon fuels and Chemicals*. Des Plains (USA): Gas Technology Institute (GTI).
- ISVAG. (2017). *ISVAG Jaarverslag 2016*. Wilrijk: ISVAG.

- JRC. (2010). *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Provisions and Action Steps*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- JRC. (2018). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration, Final Draft*. Seville: European Union.
- JRC; Ricardo AEA Ltd; Bio by Deloitte. (2016). *Towards a better exploitation of the technical potential of waste-to-energy*. Sevilla: European Commission.
- KIDV. (2016). *Overzicht van de keten van kunststofverpakkingsafval, deelproject volumes en ketenstappen*. Den Haag: KIDV.
- Nevens, B., Gryffroy, A., Vandaele, W., Ronse, A., Lantmeesters, J., & Remen, G. (2018). *Conceptnota voor nieuwe regelgeving betreffende een nieuwe afvalrace voor Vlaanderen, 1464 (2017-2018) nr.1*. Brussel: Vlaams Parlement.
- Omrin. (2018, Augustus 21). *Omrin door de jaren heen*. Opgeroepen op Augustus 21, 2018, van <http://www.omrin.nl/over-omrin/wie-zijn-we/historie>
- OVAM. (2012). *Sorteeranalyse grofvuil en analyse grofvuilinzameling*. Mechelen: OVAM.
- OVAM. (2014a). *Implementatie zelfvoorzieningsprincipe in Vlaanderen*. Mechelen: OVAM.
- OVAM. (2014b). *Uitvoeringsplan Milieuverantwoord Beheer van Huishoudelijke Afvalstoffen*. Mechelen: OVAM.
- OVAM. (2015). *Sorteeranalyse-onderzoek huisvuil 2013-2014*. Mechelen: OVAM.
- OVAM. (2016a). *Uitvoeringsplan huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval*. Mechelen: OVAM.
- OVAM. (2016b). *Tarieven en capaciteiten voor storten en verbranden : actualisatie tot 2016*. Mechelen: OVAM.
- OVAM. (2017). *Huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval 2016 : opvolging van de indicatoren in het uitvoeringsplan*. Mechelen: OVAM.
- OVAM. (2018). *Sorteeranalyse van bedrijfsrestafval ingezameld door private verzamelaars*. Mechelen: OVAM.
- OVAM. (2019). *Algemeen Reglement van de Certificering voor de biologische verwerking van organisch-biologisch afval tot grondstof (meststof of bodemverbeterend middel)*. OVAM.
- Ramböll. (2014). *Amagar Bakke - Världsklass Design*. Stockholm: Ramböll.
- Ricardo Energy & Environment. (2017). *Plastic to Fuel Market Review*. Didcot: Ricardo Energy & Environment.
- SOFC.nl. (2017). *Integrated hydro-pyrolysis : Low sulfur waste-derived-fuels based on of mixed waste and biomass*. Opgehaald van <https://www.sofc.nl/docs/integrated-hydro-pyrolysis-2017.pdf>
- Theeuwen, M. (2016, Oktober 22). *Afvalfabriek Cure in Eindhoven kost 77,4 miljoen*. *Eindhovens Dagblad*.
- Tirez, K., Poelmans, E., Duyssens, K., Cluyts, A., De Wit, J., Van Hasselt, B., . . . Vanderreydt, I. (2007). *Bepaling van de calorische waarde : sorteeranalyse huishoudelijk afval*. OVAM.
- Verbraeken, H. (2018, feb 7). *Plastic zelf scheiden voor recycling sust het geweten*. *FD*.
- Vlaamse Overheid. (2017). *VLAREM : Vlaams Reglement betreffende de milieuvergunning*. Opgeroepen op 4 1, 2019, van <https://navigator.emis.vito.be/>
- Vlaamse Regering. (2011). *Materialendecreet ; d.d. 23 DECEMBER 2011. - Decreet betreffende het duurzaam beheer van materiaalkringlopen en afvalstoffen*. Brussel: Vlaamse Regering.
- Vrancken, K., Torfs, R., Van der Linden, A., Vercaemst, P., & Geuzens, P. (2001). *Vergelijking van verwerkingsscenario's voor restfractie van HHA en niet-specifiek categorie II bedrijfsafval, eindrapport*. Mol: VITO.

A TOELICHTING FUNCTIONELE EENHEID

A.1 FUNCTIONELE EENHEID

We maken gebruik van twee functionele eenheden:

- de verwerking van 1 ton Vlaams huisvuil;
- de verwerking van 1 ton Vlaams bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

De samenstelling van beide afvalstromen is weergegeven in tabelvorm, Vlaams huisvuil in en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in

Tabel 71.

A.1.1 Huisvuil

De samenstelling van het huisvuil is gebaseerd op informatie uit het OVAM-rapport ‘Sorteeranalyse onderzoek huisvuil 2013-2014’ (OVAM, 2015). In deze rapportage wordt de analysemethode en bepaling van een representatieve steekproef beschreven. De hoeveelheden zoals aangegeven in dit OVAM-rapport zijn weergegeven in Tabel 70 in de tweede kolom.

Noch de chemische samenstelling noch de verbrandingswaarde van de verschillende fracties wordt in dit OVAM-rapport vermeld. Daarom maken we gebruik van een eerder uitgevoerde analyse in 2007 waarbij de verbrandingswaarde, het vochtgehalte, evenals de chemische samenstelling (koolstof, stikstof, zwavel, zuurstof en asgehalte) bepaald zijn per fractie (Tirez, et al., 2007). Een deel van deze waarden worden in Tabel 66 weergegeven in de derde t/m de zesde kolom.

Door de verbrandingswaarden per fractie uit (Tirez, et al., 2007) te combineren met de samenstelling uit (OVAM, 2015) komen we uit op een gewogen gemiddelde verbrandingswaarde van 10,6 MJ/kg. Dit komt in de buurt van een inschatting van OVAM die een waarde van 10,45 MJ/kg aanhielden (OVAM, 2014b).

Een aantal AVIs (IVM, IVBO, Indaver, ISVAG, Mirom, IVAGO, Bionerga, SLECO) hebben analyses aangeleverd over het biogene koolstofgehalte in hun afval over 2014. Hieruit blijkt dat tussen de 49 en 57 massa% van het koolstof in het verwerkte afval biogeen is. Uitgaande van een gemiddelde is 53% van het verwerkte afval biogeen. Dit sluit aan bij de volgende aannames per afvalfractie:

- 100% van de koolstof in keukenafval (zowel composteerbaar als niet-composteerbaar), tuinafval, papier & karton en hout is biogeen koolstof;
- 81,5% van de koolstof in drankenkartons is biogeen koolstof, dit sluit aan bij de gewichtspercentages voor de verhouding van verschillend materiaal in drankenkartons;
- 80% van de koolstof in gebruikte luiers is biogeen koolstof;
- 60% van de koolstof in textiel is biogeen koolstof;
- 50% van de koolstof in de “overige” fractie is biogeen koolstof.

A.1.2 Gelijkaardig bedrijfsafval

De samenstelling van het gelijkaardig bedrijfsafval is gebaseerd op informatie uit het OVAM-rapport ‘sorteeranalyse van bedrijfsrestafval ingezameld door private inzamelaars’ (OVAM, 2018). Hierbij maken we gebruik van de afvalsamenstelling voor rolcontainers omdat deze het meest overeenkomt met huisvuil.

Dat terwijl de afvalsamenstelling voor afzetcontainers meer lijkt op de samenstelling van grofvuil.

We gaan uit van dezelfde gegevens voor de chemische samenstelling en verbrandingswaarden als voor huisvuil. Door de verbrandingswaarden per fractie uit (Tirez, et al., 2007) te combineren met de samenstelling uit (OVAM, 2018) komen we uit op een gewogen gemiddelde verbrandingswaarde van 14,2 MJ/kg. Deze

verbrandingswaarde is onzekerder dan voor huisvuil omdat de beschreven afvalsamenstelling in het OVAM-rapport ongeveer 40% afval bevat dat niet gekarakteriseerd is dit bestaat voornamelijk uit "Rest (niet-recycleerbaar)" en "Zeefrest".

Tabel 70 Samenstelling van Vlaams huisvuil (zie voor beschouwing kunststof verdeling onder deze tabel)

Fractie	Gewicht (1) (kg/ton)	DS- gehalte (2) (massa %)	LHV in huisvuil (2) (MJ/kg)	HHV in huisvuil (2) (MJ/kg)	C bij 100% droog (2) (massa %)	Biogeen C (4) (kg/ton)	Fossiel C (4) (kg/ton)	Toelichting fractie
Composteerbaar keukenafval	89	35%	4,5	19,2	48%	16,8	0,0	“Composteerbaar keukenafval”(1)
Niet-composteerbaar keukenafval	65	62%	5,8	13,7	35%	21,7	0,0	“Niet-composteerbaar keukenafval”(1)
Tuinafval	60	43%	4,1	14,0	36%	15,5	0,0	“Tuinafval”(1)
Papier & karton	174	72%	8,7	14,2	41%	29,5	0,0	Papier & karton (1)
Glas	31	100%	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	Glas verpakkingen en glas niet- verpakkingen (1)
Ferro metalen	16	100%	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	77% van “Metalen verpakkingen” en “Metalen niet-verpakkingen” (1)
Non-ferro metalen	5	100%	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	23% van “Metalen verpakkingen” en “Metalen niet-verpakkingen” (1)
Folies	41	84%	27,1	35,6	75%	0,0	63,0	“Kunststoffolies” (1)
Hard PET	27	90%	30,6	36,8	82%	0,0	73,8	30% elk uit “Harde kunststoffen” (1) “Kunststofflessen en flacons” uit (2)
Hard HDPE	27	90%	30,6	36,8	82%	0,0	73,8	
Hard PP	27	90%	30,6	36,8	82%	0,0	73,8	
Hard PS	1	84%	28,8	36,7	63%	0,0	52,9	1% PS en 0% PVC uit “Harde kunststoffen” (1) “Rest plastic verpakkingen” uit (2)
Hard PVC	0	84%	28,8	36,7	63%	0,0	52,9	
Hard overig kunststof	8	94%	33,3	37,6	80%	0,0	75,2	9% uit “Harde kunststoffen” (1) “Rest plastic niet verpakkingen” uit (2)
Hout	23	83%	13,6	18,2	49%	40,7	0,0	“Hout”(1)
Drankenkartons	13	77%	14,8	21,1	51%	32,0	7,3	“Drankenkarton” (1)
Inert (steen)	79	100%	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	“Inert (steen)” (1)

Fractie	Gewicht (1) (kg/ton)	DS- gehalte (2) (massa %)	LHV in huisvuil (2) (MJ/kg)	HHV in huisvuil (2) (MJ/kg)	C bij 100% droog (2) (massa %)	Biogeen C (4) (kg/ton)	Fossiel C (4) (kg/ton)	Toelichting fractie
Laminaatverpakkingen	13	75%	9,5	14,9	43%	0,0	32,3	“Laminaatverpakkingen” (1), “Gemengd en rest verpakking” uit (2)
Textiel	70	84%	16,3	21,2	54%	27,2	18,1	“Textiel” (1)
KGA	2	75% (3)	25,1	25,1	Onbekend	Onbekend	Onbekend	“KGA”(1) Aannee HHV gelijk aan LHV
Hygiënische fractie	120	38%	5,8	21,2	50%	15,2	3,8	“Hygiënische fractie” (1)
Vuilniszak	12	77%	28,4	40,4	78%	0,0	60,1	“Vuilniszak” (1)
Overig	97	79%	13,6	18,7	45%	17,8	17,8	“Overig” (1)
Totaal	1.000	-	10,6	18,0		158	140	-

Bronnen: (1) (OVAM, 2015), (2) (Tirez, et al., 2007), (3) Aannee op basis van afval verf, zoals gebruikt in de studie (CE Delft, 2017c). (4) berekend zie toelichting boven tabel.

Verantwoording verdeling kunststoffen over soorten kunststof

In Vlaanderen is geen data beschikbaar over hoe de gemeten 81 kg harde kunststoffen per ton huisvuil verdeeld is over de materialen PET, HDPE en PET. In Nederland is de schatting dat elk van deze materialen 1/3^{de} van de harde kunststoffen uitmaakt. Omdat deze verdeling geen grote invloed heeft op de resultaten gebruiken we deze Nederlandse verdeling ook voor het Vlaamse afval. Hieronder verantwoorden we deze keuze.

Inzameling en recycling Vlaanderen

Fost Plus meldt in haar jaarverslag van 2017 (Fost Plus, 2018) dat er 232 kton plastic verpakkingen voor consumenten op de markt kwam waarvan 38% gerecycled werd = 88 kton. Van deze 232 kton was 88 kton flessen en flacons waarvan 80,3% gerecycled = 70 kton. Voor Vlaanderen zijn er geen recente cijfers over de verdeling over verschillende kunststoffen beschikbaar. Daarom is voor de verdeling over kunststoffen gekeken naar data uit Nederland met daarbij de vraag of daar correcties op nodig zijn.

Inzameling en recycling Nederland

Voor Nederland is de rapportage over 2017 van het Afvalfonds (Afvalfonds, 2018) dat kunststofverpakkingen van huishoudens en bedrijven voor 50% gerecycled werden. Op de markt kwam 512 kton waarvan 258 kton gerecycled werd. Deze 258 kton komt voor 30 kton van statiegeldflessen en de 228 kton overige recycling komt voor de helft van bedrijven en voor de helft van huishoudens. In het kunststofketenproject van KIDV is in Nederland de verdeling over de kunststoffen onderzocht. Zie (KIDV, 2016). Op blz. 46 wordt aangegeven dat 10,7% van het ingezameld kunststof in Nederland flessen en flacons zijn (14 kton inzameling van dus circa 28 kton op de markt). Daarnaast zijn er de statiegeld flessen met 30 kton. Zonder statiegeld zou de hele markt in Nederland 20% flessen en flacons zijn.

Conclusie flessen en flacons

In Vlaanderen is het recycling percentage voor flessen en flacons hoger dan in Nederland (resp. 80% in Vlaanderen en 50% in Nederland). De hoeveelheid op de markt is echter ook ongeveer tweemaal hoger (vooral door meer waterflessen). Deze twee effecten compenseren elkaar vrijwel richting de hoeveel flessen en flacons in huisvuil. Meer inzameling en recycling in België maar ook meer op de markt dus netto ongeveer evenveel in huisvuil. Flessen en flacons bestaan voor een groot deel uit PET en PE.

Conclusie niet flessen en flacons (folies en bakjes)

In Nederland is het recycling percentage van niet flessen en flacons hoger dan in Vlaanderen. Wel is het logisch dat de samenstelling van niet flessen en flacons in beide landen vergelijkbaar zijn. Niet flessen en flacons bestaan uit folies (circa de helft) en uit bakje (circa de helft). In deze metingen zit echter vrij veel onzekerheid. Deze mix bestaat vooral uit PE en PET en deels nog uit PP.

Conclusie totaal verdeling kunststoffen

De verpakkingenmix van Nederland en Vlaanderen verschillen doordat er in Vlaanderen geen statiegeld is op grote PET-flessen en omdat deze meer voor water worden verkocht. Daarnaast richt de inzameling voor kunststof in Vlaanderen zich enkel op flessen en flacons. Netto komen er in Vlaanderen en in Nederland daarmee ongeveer evenveel flessen en flacons in het huisvuil. Van de overige kunststoffen wordt er in Nederland meer ingezameld. Het Vlaamse huisvuil zal daardoor iets meer folies en bakjes bevatten. Voor al deze fracties gaat het om een mix van PET, PE en PP. De verhouding van deze materialen in huisvuil zal verschillen maar de verschillen zullen niet groot zijn. Deze kunststoffen zijn weliswaar milieukundig en qua stookwaarde verschillend maar de verschillen zijn klein. Het gebruiken van de Nederlandse samenstelling voor de verdeling van kunststoffen in huishoudens is daarmee het meest geschikt wat er beschikbaar is. Daarnaast zal een eventuele afwijking wegens de grote overeenkomst tussen de kunststoffen maar een klein effect op de uitkomst van de analyses hebben.

Tabel 71 Samenstelling Vlaams bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Fractie	Gewicht (1) (kg/ton)	DS- gehalte (2) (massa %)	LHV in huisvuil (2) (MJ/kg)	HHV in huisvuil (2) (MJ/kg)	C bij 100% droog (2) (massa %)	Biogeen C (4) (kg/ton)	Fossiel C (4) (kg/ton)	Toelichting fractie
Composteerbaar keukenafval	68	35%	4,5	19,2	48%	16,8	0,0	“Organisch Biologisch afval (OBA), los” uit (1)
Niet-composteerbaar keukenafval	13	62%	5,8	13,7	35%	21,7	0,0	“Organisch Biologisch afval (OBA), verpakt” uit (1)
Tuinafval	15	43%	4,1	14,0	36%	15,5	0,0	“Groenafval (tuin)” uit (1)
Papier & karton	135	72%	8,7	14,2	41%	29,5	0,0	Alle papier en karton uit (1)
Glas	13	100%	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	Alle glas uit (1)
Ferro metalen	18	100%	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	“Metaal ferro”, en 77% van “blikjes uit PMD” uit (1)
Non-ferro metalen	6	100%	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	“Metaal non-ferro”, en 23% van “blikjes uit PMD” uit (1)
Folies	86	84%	27,1	35,6	75%	0,0	63,0	Alle folies uit (1)

Fractie	Gewicht (1) (kg/ton)	DS- gehalte (2) (massa %)	LHV in huisvuil (2) (MJ/kg)	HHV in huisvuil (2) (MJ/kg)	C bij 100% droog (2) (massa %)	Biogeen C (4) (kg/ton)	Fossiel C (4) (kg/ton)	Toelichting fractie
Hard PET	20	90%	30,6	36,8	82%	0,0	73,8	Alle PET, PE, en PP evenals “harde plastics spanbanden” uit (1). “Kunststofflessen en flacons” uit (2)
Hard HDPE	3	90%	30,6	36,8	82%	0,0	73,8	
Hard PP	35	90%	30,6	36,8	82%	0,0	73,8	
Hard PS	2	84%	28,8	36,7	63%	0,0	52,9	Alle PS en PVC uit (1). “Rest plastic verpakkingen” uit (2)
Hard PVC	17	84%	28,8	36,7	63%	0,0	52,9	
Hard overig kunststof	12	94%	33,3	37,6	80%	0,0	75,2	Alle EPS, overige kunststof en “Isolatiemateriaal” uit (1). “Rest plastic niet verpakkingen” uit (2)
Hout	78	83%	13,6	18,2	49%	40,7	0,0	Alles onder categorie hout uit (1)
Drankenkartons	2	77%	14,8	21,1	51%	32,0	7,3	PMD drankenkartons uit (1)
Inert (steen)	21	100%	0,0	0,0	0%	0,0	0,0	Steenpuin uit (1)
Laminaatverpakkingen	0	75%	9,5	14,9	43%	0,0	32,3	“Gemengd en rest verpakking” uit (2)
Textiel	28	84%	16,3	21,2	54%	27,2	18,1	Textiel uit (1)
KGA	4	75% (3)	25,1	25,1	onbekend	0,0	0,0	KGA uit (1). Aanname HHV gelijk aan LHV
Hygiënische fractie	0	38%	5,8	21,2	50%	15,2	3,8	
Vuilniszak	12	77%	28,4	40,4	78%	0,0	60,1	Vuilniszak uit (1)
Overig	414	79%	13,6	18,7	45%	17,8	17,8	“Rest (niet-recycleerbaar)”, “Zeefrest”, “Banden”, “Elektro” en “Asbest” uit (1)
Totaal	1.000	-	14,2	20,3		170	201	-

Bron: (OVAM, 2018), hierbij is gebruik gemaakt van de afvalsamenstelling van rolcontainers omdat deze het best overeenkomt met de samenstelling voor huisvuil.

A.2 AANPASSING FUNCTIONELE EENHEID VOOR GEVOELIGHEIDSANALYSES

A.2.1 Uitbreiding recyclage van verpakkingsmateriaal

In 2018 is besloten dat het aantal typen plastic verpakkingsmateriaal die in het Fost Plus-systeem worden ingezameld wordt uitgebreid. Deze invoering gaat ervoor zorgen dat o.a. de hoeveelheid folies en harde kunststoffen in het huisvuil zal afnemen.

Omdat nog onduidelijk is wat het scheidingspercentage gaat zijn voor deze plastics is besloten om uit te gaan van twee verschillende scenario's:

- een scenario waarbij 80% van de aanwezige folies en harde (vormvaste) kunststoffen (PET, HDPE, PP, PS, PVC en overige harde kunststoffen) selectief wordt ingezameld via Fost Plus;
- een scenario waarbij 40% van de aanwezige folies en harde (vormvaste) kunststoffen (PET, HDPE, PP, PS, PVC en overige harde kunststoffen) selectief wordt ingezameld via Fost Plus.

De verwachting is dat een afname van 40% van deze kunststoffen op korte termijn mogelijk is (voor 2025), maar dat de afname van 80% langer op zich zal laten wachten.

De afvalsamenstelling in beide situaties is bepaald door het gewicht dat hiermee verdwijnt uit het huisvuil gewogen te verdelen over alle overige fracties. De uiteindelijke verbrandingswaarde van de input zal lager liggen door een verminderd aandeel hoogcalorische kunststoffen.

Tabel 72 laat de samenstelling en bijbehorende verbrandingswaarde van de input in deze gevoeligheidsanalyse zien.

Tabel 72 Samenstelling huisvuil in gevoeligheidsanalyse 1: uitbreiding recyclage van verpakkingsmateriaal (cursieve getallen zijn aangepast)

Fractie	Afname 80%		Afname 40%	
	Gewicht per ton huisvuil (kg)	Verbrandings- waarde huisvuil (MJ/kg)	Gewicht per ton huisvuil (kg)	Verbrandings- waarde huisvuil (MJ/kg)
Composteerbaar keukenaafval	100	4,5	94	4,5
Niet-composteerbaar keukenaafval	73	5,8	69	5,8
Tuinafval	67	4,1	64	4,1
Papier & karton	195	8,7	185	8,7
Glas	35	0,0	33	0,0
Ferro metalen	18	0,0	17	0,0
Non-ferro metalen	5	0,0	5	0,0
Folies	8	27,1	25	27,1
Hard PET	5	30,6	16	30,6
Hard HDPE	5	30,6	16	30,6
Hard PP	5	30,6	16	30,6
Hard PS	0	28,8	1	28,8
Hard PVC	0	28,8	0	28,8
Hard overig kunststof	2	33,3	5	33,3
Hout	26	13,6	24	13,6
Drankenkartons	15	14,8	14	14,8
Inert (steen)	89	0,0	84	0,0

Fractie	Afname 80%		Afname 40%	
	Gewicht per ton huisvuil (kg)	Verbrandingswaarde huisvuil (MJ/kg)	Gewicht per ton huisvuil (kg)	Verbrandingswaarde huisvuil (MJ/kg)
Laminaatverpakkingen	15	9,5	14	9,5
Textiel	79	16,3	74	16,3
KGA	2	25,1	2	25,1
Hygiënische fractie	135	5,8	127	5,8
Vuilniszak	13	28,4	13	28,4
Overig	108	13,6	102	13,6
Totaal	1.000	8,3	1.000	9,5

A.2.2 Uitbreiding inzameling van GFT

Dit scenario richt zich op uitgebreider inzameling van groente-, fruit- & tuinafval (GFT). Op dit moment wordt in een derde van de gemeenten GFT niet apart opgehaald (Nevens, et al., 2018). In deze gevoeligheidsanalyse gaan we ervan uit dat het aandeel keukenafval en tuinafval met één-derde vermindert. Het gewicht dat hiermee verdwijnt is gewogen verdeeld over de overige fracties.

Tabel 73 Samenstelling huisvuil in gevoeligheidsanalyse 2: uitbreiding inzameling GFT

Fractie	Gewicht per ton huisvuil (kg)	Verbrandingswaarde huisvuil (MJ/kg)
Composteerbaar keukenafval	59	4,5
Niet-composteerbaar keukenafval	43	5,8
Tuinafval	40	4,1
Papier & karton	190	8,7
Glas	34	0,0
Ferro metalen	18	0,0
Non-ferro metalen	5	0,0
Folies	45	27,1
Hard PET	30	30,6
Hard HDPE	30	30,6
Hard PP	30	30,6
Hard PS	1	28,8
Hard PVC	0	28,8
Hard overig kunststof	9	33,3
Hout	25	13,6
Drankenkartons	14	14,8
Inert (steen)	86	0,0
Laminaatverpakkingen	14	9,5
Textiel	76	16,3
KGA	2	25,1
Hygiënische fractie	131	5,8
Vuilniszak	13	28,4
Overig	105	13,6
Totaal	1.000	11,1

A.2.3 Uitbreiding inzameling textiel

Er zijn plannen om de gescheiden inzameling van textiel te intensiveren. Dit zal daarmee minder in huisvuil terecht komen. In deze gevoeligheidsanalyse wordt aangenomen dat de hoeveelheid textiel in huisvuil met 50% afneemt. Het gewicht dat hiermee verdwijnt is gewogen verdeeld over de overige fracties.

Tabel 74 Samenstelling huisvuil in gevoeligheidsanalyse 3: minder textiel in afval

Fractie	Gewicht per ton huisvuil (kg)	Verbrandingswaarde huisvuil (MJ/kg)
Composteerbaar keukenafval	92	4,5
Niet-composteerbaar keukenafval	67	5,8
Tuinafval	62	4,1
Papier & karton	181	8,7
Glas	32	0,0
Ferro metalen	17	0,0
Non-ferro metalen	5	0,0
Folies	43	27,1
Hard PET	28	30,6
Hard HDPE	28	30,6
Hard PP	28	30,6
Hard PS	1	28,8
Hard PVC	0	28,8
Hard overig kunststof	8	33,3
Hout	24	13,6
Drankenkartons	13	14,8
Inert (steen)	82	0,0
Laminaatverpakkingen	13	9,5
Textiel	35	16,3
KGA	2	25,1
Hygiënische fractie	125	5,8
Vuilniszak	12	28,4
Overig	100	13,6
Totaal	1.000	10,4

B INVENTARISATIE CONVENTIONELE AVI

B.1 RENDEMENT AVI

Voor de bepaling van het gemiddelde thermische en elektrische rendement van AVIs zijn gegevens gebruikt uit 2016 zoals aangeleverd door OVAM voor de verwerkingscapaciteit (OVAM, 2016b) en opgewekte energie (vertrouwelijk informatie) voor de installaties die in 2016 huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil verwerkt hebben. Deze gegevens zijn aangevuld met gegevens verkregen van een aantal grote verbrandingsinstallaties (Biostoom Oostende, Indaver, SLECO, Stora Enso). Het gaat hierbij om de volgende installaties: Bionerga, Biostoom Oostende, IMOG, Indaveren Beveren, SLECO, IVBO, IVOO, Mirom Roeselare, ISVAG, IVAGO, Stora Enso en IVM. Veolia is buiten beschouwing gelaten omdat deze centrale is stopgezet in 2016.

Voor alle installaties is het netto thermisch en netto elektrisch rendement bepaald. Hierbij zijn de volgende definities toegepast:

- Netto thermisch rendement: Geleverde processtoom of warm water extern geleverd of ingezet op het eigen terrein voor een industrieel proces niet ten behoeve van de afvalverwerking als aandeel van de totale energie-inhoud van verwerkt afval.
- Netto elektrisch rendement: Geleverde elektriciteit aan het net of ingezet op het eigen terrein voor een industrieel proces niet ten behoeve van de afvalverwerking als aandeel van de totale energie-inhoud van verwerkt afval.

De gegevens van OVAM zijn gecombineerd met de aanname dat de energie-inhoud van 1 ton verwerkt afval 10,45 GJ was in 2016. Uitzondering hierop zijn, de direct uitgevraagde gegevens bij de installaties Biostoom Oostende, Indaver Beveren, Sleco en Stora Enso. Dit zijn de grootste installaties en hebben dus ook de grootste invloed op het gewogen rendement.

Tabel 75 geeft het gewogen gemiddelde aan van de rendementen van de Vlaamse AVIs in 2016. Ook worden de minimum en maximumwaarde weergegeven. Deze laatste twee worden gebruikt in de gevoeligheidsanalyse.

Tabel 75 Rendement Vlaamse AVI voor verbranding van huisvuil of bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil (2016)

	Gewogen gemiddeld rendement (%)	Laagste rendement (%)	Hoogste rendement (%)
Netto thermisch rendement	6,7%	0,5%	15,5%
Netto elektrisch rendement	18,2%	10,7%	30,0%
Totaal nettorendement	24,9%	11,2%	45,5%

B.2 VERBRANDINGSEMISSIES

De verbrandingsemissies (met uitzondering van CO₂-emissies) van de conventionele AVI zijn bepaald op basis van de daadwerkelijke emissies zoals deze op dit moment plaatsvinden in Vlaanderen. Van BW2E zijn de laagst gemeten emissiewaarden ontvangen per soort emissie. Hierbij moet vermeld worden dat deze emissiewaarden dus niet persé voorkomen in één individuele installatie.

Door de emissies op deze manier te bepalen zijn de emissies niet afhankelijk van een bepaalde afvalsamenstelling, het is immers de laagst gemeten emissie bij een AVI die bepaald is op basis van een jaargemiddelde. Ter vergelijking als referentie is dit een prima methode, maar in de gevoeligheidsanalyses bij een heel andere afvalsamenstelling moet hier aandacht aan besteed worden.

Omdat de conventionele AVI beschouwd wordt als de referentietechniek in deze studie nemen we de laagst gemeten emissiewaarden voor verbrandingsemissies. Op deze manier weten we zeker dat de conventionele AVI op een zo positief mogelijke manier wordt weergegeven, en kan een goede vergelijking gemaakt worden. De laagst gemeten emissiewaarden zijn weergegeven in Tabel 76.

Naast deze emissiewaarden komt er ook fossiele CO₂ vrij bij verbranding van afval in een AVI (uiteraard behalve als er volledig biogeen afval verbrandt wordt). Deze emissies bepalen we op basis van de afvalsamenstelling die verbrand wordt, op basis van de gegevens zoals weergegeven in Bijlage A.

Tabel 76 Emissies naar lucht conventionele AVI

Emissie naar lucht	Hoeveelheid	Eenheid
SO ₂	0,00000	kg/ton afval
Stof ⁷¹	0,00007	kg/ton afval
HF	0,00009	kg/ton afval
CO	0,00877	kg/ton afval
NO _x	0,43300	kg/ton afval
TOC	0,00214	kg/ton afval
Cd + Tl ⁷²	0,00000	kg/ton afval
Zware metalen	0,00000	kg/ton afval
Hg	0,00000	kg/ton afval
Dioxines ⁷³	0,00000	mg TEQ/ton afval

Toelichting: alle emissies zijn afgerond naar 5 cijfers achter de komma. TOC wordt niet gekarakteriseerd in de ReCiPe-methode.

Emissies van H₂S en HCl zijn na navraag bij BW2E niet opgegeven voor de Belgische AVI's en daarom niet meegenomen. Daarnaast zijn emissies tijdens de opslag van het afval (alles behalve de verbrandingsemissies) niet meegenomen. Deze zullen echter verwaarloosbaar zijn.

B.3 HULPSTOFFEN

De hulpstoffen die gebruikt worden bij een AVI zijn niet aangeleverd door de Vlaamse AVIs. In plaats hiervan maken we gebruik van de hulpstoffen zoals aangegeven in het Ecoinvent voor de verwerking van huishoudelijk afval. De hulpstoffen die benodigd zijn voor afvalwaterverwerking, DeNO_x en gaswasser zijn weergegeven in Tabel 77. Het gebruik van deze hulpstoffen is niet terug te zien in de resultaten en de inschatting is dat dit bij een (kleine) wijziging van hulpstoffen ook niet het geval is. Daarom is het ook niet verder opgevraagd.

⁷¹ We gaan hierbij uit van stofdeeltjes < 2,5 µm.

⁷² We gaan hierbij uit van cadmium.

⁷³ Uitgedrukt in 2,3,7,8-Tetrachloordibenzo-p-dioxine.

Tabel 77 Hulpstoffen conventionele AVI

Hulpstof	Hoeveelheid	Eenheid
Ammoniak	0,000699	kg/kg afval
Polyelektrolyt	0,000218	kg/kg afval
TMT15	0,00001284	kg/kg afval
Chroomoxide	0,0000089376	kg/kg afval
Zoutzuur	0,0000573	kg/kg afval
Ijzerchloride	0,0000596	kg/kg afval
Calcium oxide	0,0032775	kg/kg afval
Natriumhydroxide	0,001122	kg/kg afval
Titanium oxide	0,000043794	kg/kg afval
Gedecarboniseerd water	1,39	kg/kg afval

Toelichting: gebaseerd op het Ecoinvent-proces "Municipal solid waste {BE} | treatment of, incineration".

B.4 BODEMASVERWERKING

B.4.1 Terugwinning ferro en non-ferrometalen

Voor de bepaling van de gemiddelde terugwinrendementen van ferro en non-ferro metalen uit bodemassen na verbranding van huisvuil is informatie opgevraagd bij de vier bodemasverwerkers, die Vlaamse bodemas verwerken. Van alle vier de verwerkers zijn óf gegevens ontvangen óf gegevens in openbare bronnen gevonden. Op basis van deze gegevens gaan we uit van de hoogste terugwinpercentages voor ferro en non-ferro metaal die gerapporteerd zijn. Het gaat hierbij om:

- 74% rendement terugwinning non-ferro metalen;
- 87% rendement terugwinning ferro metalen.

Voor de terugwinning van deze metalen is energie nodig. We maken gebruik van elektriciteitsgebruik van 9,8 kWh per ton verwerkte bodemas. Voor het diesel gebruik door mobiele werktuigen maken we gebruik van gegevens die Heros publiek rapporteert, hier wordt gesproken over 1,5 liter diesel per ton verwerkte bodemas.⁷⁴ Bij Heros in Nederland worden ook Vlaamse bodemassen verwerkt.

B.4.2 Toepassing van verwerkte bodemas

Bodemassen die voortkomen uit de verbranding van huisvuil in AVIs worden op dit moment bij vier verschillende partijen verwerkt: Indaver, Heros (Sluiskil, Nederland), IMOG en Valomac. Voor Valomac zijn gegevens beschikbaar over het aandeel nuttige toepassing van de verwerkte bodemassen ten opzichte van het aandeel gestorte bodemas. Valomac verwerkte in 2017 175.000 ton bodemas; waarbij ongeveer 130.000 ton wordt gevaloriseerd als grind, zand en steenslag en ongeveer 28.000 ton gestort werd⁷⁵. De rest van het materiaal bestaat uit teruggewonnen metaal.

Van het aandeel inert materiaal in de bodemas (dus exclusief het teruggewonnen metaal) werd ongeveer 85% ter vervanging van bouw materiaal, en 15% gestort. Voor individuele AVI's kan dit anders liggen. Hier gaan we uit van dit gemiddelde ook al wisselt dit per jaar.

⁷⁴ 939.519 liter voor de verwerking van 610.840 ton bodemas.

⁷⁵ Gegevens ontvangen van Valomac op 9 juli 2018.

Tabel 78 Gebruikte gegevens voor bodemasverwerking voor de AVI

Input	Hoeveelheid Per ton bodemas
Elektriciteit	9,8 kWh
Energie uit diesel	1,5 liter diesel á 54 MJ
Rendement	
Ferro metaal	87%
Non-ferro metaal	74%
Inzet als bouw materiaal	
Totaal bodemas	187 kg/ton huisvuil naar AVI (opgaaf gemiddelde BW2E-leden)
Deel inzet bodemas als bouw materiaal	85%
Deel bodemas naar stort	15%

B.5 VLIEGASVERWERKING

Vliegassen uit AVIs werden in 2016 volledig gestort, meestal na solidificatie (Depauw, 2018). In Tabel 79 wordt een hoeveelheid vliegass die vrijkomt per fractie weergegeven evenals een benodigde hoeveelheid cement voor solidificatie. De hoeveelheden zijn overgenomen uit de Ecoinvent verbrandingsproceskaarten, deze zijn ook opgenomen in de tabel. In het geval van huisvuil gaat het om 22 kg vliegass per ton afval.

Tabel 79 Vliegassverwerking

Afvalfractie	Vliegass (kg/kg)	Cement (kg/kg) ⁷⁶	Ecoinvent-proces
Composteerbaar keukenafval	0,0263	0,0053	Biowaste {CH} treatment of, municipal incineration with fly ash extraction
Niet-composteerbaar keukenafval			
Tuinafval			
Hygiënische fractie (deel biowaste)			
Papier & karton	0,0076	0,0015	Waste paperboard {CH} treatment of, municipal incineration with fly ash extraction
Hygiënische fractie (deel cellulosevezels)			
Drankenkartons (deel papier)			
Glas	0	0 kg	Waste glass {CH} treatment of, municipal incineration with fly ash extraction
Ferro metalen	0	0 kg	Scrap steel {CH} treatment of, municipal incineration with fly ash extraction
Non-ferro metalen			
Folies	0,0011	0,0022	Waste polyethylene {CH} treatment of, municipal incineration with fly ash extraction
Hard HDPE			
Drankenkartons (deel plastic)			
Vuilniszak			
Hygiënische fractie (deel plastic)			
Hard PET	0,0067	0,0013	Waste polyethylene terephthalate {CH} treatment of, municipal incineration with fly ash extraction
Hard PP	0,0091	0,0018	Waste polypropylene {CH} treatment of, municipal incineration with fly ash extraction
Hard PS	0,0092	0,0018	Waste polystyrene {CH} treatment of, municipal incineration with fly ash extraction
Hard PVC	0,2446	0,0491	Waste polyvinylchloride {CH} treatment of, municipal incineration with fly ash extraction

⁷⁶ Cement, Portland {Europe without Switzerland} market for | cut off.

Afvalfractie	Vliegas (kg/kg)	Cement (kg/kg) ⁷⁶	Ecoinvent-proces
Hard overig kunststof Laminaatverpakkingen	0,0167	0,0034	Waste plastic, mixture {CH} treatment of, municipal incineration with fly ash extraction
Hout	0,0025	0,0005	Waste wood, untreated {CH} treatment of, municipal incineration with fly ash extraction
Inert (steen)	0,0009	0,0002	Waste cement-fibre slab, dismantled {CH} treatment of, municipal incineration with fly ash extraction
Textiel	0,0170	0,0034	Waste textile, soiled {CH} treatment of, municipal incineration with fly ash extraction
KGA	1	0,0118	Waste paint {CH} treatment of, hazardous waste incineration
Overig	0,0222	0,0089	Municipal solid waste {BE} treatment of, incineration

De emissies uit het storten van vliegas zijn gelijk aan de emissies uit stort van andere materialen.
Zie hiervoor het algemene proces uit SimaPro/Ecoinvent stort in Sectie 6.5.1.

C INVENTARISATIE DROGE SCHEIDING, DROGE VERGISTING

C.1 SCHEIDINGSRENDEMENTEN

De verschillende fracties in het Vlaams huisvuil worden uitgesorteerd naar verschillende stromen. Volgende tabel geeft weer welke fractie waar terecht komt in droge scheiding.

Tabel 80 Scheidingsrendementen droge scheiding

Fractie input Stroom output	ONF	Kunststof mono	Kunststof mixed	Metaal	Drankenkarton	Inert	Water	Residu
Composteerbaar keukenafval	100% ¹							
Niet-composteerbaar keukenafval	100% ¹							
Tuinafval	100% ¹							
Papier & karton	100% ¹							
Glas						75%		25%
Ferrometalen				98%				2%
Non-ferrometalen				98%				2%
Folies		45%	15%				10%	30%
Hard PET		20%	5%				10%	65%
Hard HDPE		45%	15%				10%	30%
Hard PP		35%	20%				10%	35%
Hard PS		0%	30%				10%	60%
Hard PVC		0%	30%				10%	60%
Hard overig kunststof		0%	30%				10%	60%
Hout								100%
Drankenkartons					50%			50%
Inert (steen)						75%		25%
Laminaatverpakkingen								100%
Textiel								100%
KGA								100%
Hygiënische fractie	67%		13%				20%	
Vuilszak								100%
Overig								100%

¹ Dit is de opgave van Omrin dat ervaring heeft met deze techniek. Waarschijnlijk is het echte rendement iets lager maar is deze hoge waarde door onzekerheden in de metingen ontstaan. Voor de resultaten heeft een beperkt lager percentage vrijwel geen effect. Daarom is toch deze waarde meegenomen.

C.2 DROGE NASCHEIDING EN 3D-SORTERING

Om de scheiding in verschillende facties voor elkaar te krijgen maakt droge scheiding gebruik van een installatie met o.a. trommels, windsifters, magneten en wervelstroomscheiders. Deze onderdelen kosten energie. Per ton huisvuil gaat het hierbij om ongeveer 20 kWh.

C.3 DROGE VERGISTING

De uitgesorteerde ONF wordt verwerkt in een droge vergister. Deze vergister levert een ander rendement op voor verschillende soorten ONF. We maken een onderscheid tussen de verwerking van GFT (keukenafval en tuinafval) en de verwerking van papier & karton in combinatie met de hygiënische fractie. Voor beide soorten verwerking worden de in- en outputs weergegeven in Tabel 81. De rest van het water dat in het proces gebruikt wordt verdampt, deze wordt niet weergegeven in de tabel.

Tabel 81 In- en outputs droge vergisting

Input	Hoeveelheid Per ton GFT in ONF	Hoeveelheid Per ton papier & karton/hygiënische fractie in ONF
Input		
Elektriciteit	46,5 kWh	46,5 kWh
Kraanwater ⁷⁷	0,05 m ³	0,05 m ³
Water uit natuur ⁷⁸	0,24 m ³	0,24 m ³
Warmte	191,5 MJ	191,5 MJ
Output		
Grof digestaat naar AVI	133,1 kg	276,9 kg
Fijn digestaat	234,7 kg	553,7 kg
Biogas naar biogasopwerking	104 m ³	112 m ³
Biogas naar WKK	26 m ³	28 m ³
Inert	178 kg	0 kg
Water	296,9 kg	0 kg

Bron: (CE Delft, 2017c).

⁷⁷ Tap water {Europe without Switzerland} | tap water production, conventional treatment.

⁷⁸ Water, river, BE.

C.4 FIJN DIGESTAATVERWERKING

Het fijn digestaat is gecomposteerd om het beter geschikt te maken als brandstof.
De inputs en outputs zijn weergegeven in Tabel 82.

Tabel 82 In- en outputs fijn digestaatverwerking

Input	Hoeveelheid Per ton fijn digestaat
Input	
Elektriciteit	50 kWh
Energie uit diesel	58,1 MJ
Hout ⁷⁹	50,19 kg
Zwavelzuur ⁸⁰	16,59 kg
Output	
Bio-granulaat naar AVI <i>Stookwaarde 5,58 GJ/ton</i>	402,82 kg
Ammoniumsulfaat ⁸¹	5,65 kg
N ₂ O-emissie	0,0061 kg
CH ₄ -emissies	0,3 kg

Bron: (CE Delft, 2017c).

C.5 EMISSIES NAAR LUCHT

Op de productielocatie van Omrin vinden naast nascheiding ook nog een aantal andere typen afvalverwerking plaats. Omrin heeft alleen gegevens over de emissies van de gehele productielocatie, en niet specifiek voor de nascheiding. We redeneren daarom het volgende:

- Tijdens de droge nascheiding, 3D-sortering en vergisting komen enkel emissies vrij die te maken hebben met het biogene materiaal in het afval en stofemissies. Deze emissies baseren we op emissies zoals aangegeven door OWS voor “droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie”.
Het gaat daarbij om de volgende emissies (afgerond naar 5 cijfers achter de komma):
 - SO₂: 0,00011 kg/ton afval;
 - TOC: 0,00003 kg/ton afval;
 - Stof: 0,00000 kg/ton afval.
- De enige verbrandingsemissies die bij Omrin plaatsvinden (dus exclusief de verwerking van residu) is bij de verbranding van biogas in de WKK. Deze emissies worden al meegenomen in de manier waarop we de WKK modeleren (zie Sectie 6.5.1).

⁷⁹ Wood chips, wet, measured as dry mass {RER} | market for.

⁸⁰ Sulfuric acid {GLO} | market for.

⁸¹ Ammonium sulfate, as N {GLO} | market for.

D INVENTARISATIE DROGE SCHEIDING, DROGE VERGISTING

INCL. COMPOSTPRODUCTIE

De inventarisatie voor OWS is opgesplitst in twee onderdelen: inventarisatie van de huidige verwerking met de techniek zoals nu gebeurt in Bourg-en-Bresse en de theoretische verwerking die mogelijk is in Vlaanderen bij een aanpassing van de techniek naar de Vlaamse situatie. In elk van de stappen bespreken we daarom beiden.

D.1 HUIDIGE VERWERKING

De huidige locatie in Bourg-en-Bresse kan zowel huisvuil als bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil verwerken. De afvalsamenstelling zoals deze nu verwerkt wordt in Bourg-en-Bresse heeft een andere samenstelling dan huisvuil en/of bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in Vlaanderen.

De vochtigheid van het materiaal is hoger en de energie-inhoud is daarmee ook lager. Ook bestaan er in Frankrijk andere eisen aan afvalverwerking en de toepassing van geproduceerde stromen. Bij huidige verwerking gaan we daarom uit van het bouwen van de installatie zoals deze in Bourg-en-Bresse staat met de verwerking op zo'n manier dat deze van toepassing is op de Vlaamse situatie. De afwijking van de verwerking zoals deze in Frankrijk plaatsvindt is duidelijk aangegeven in de volgende paragrafen in *schuine tekst*.

OWS geeft ook aan dat de installatie in Bourg-en-Bresse nu niet is gericht op maximale uitsortering van recyclables terwijl dit in een nieuwe gelijkaardige installatie natuurlijk wel zo kan voorzien worden. Dan worden dezelfde producten voor- of uit gesorteerd als opgegeven in andere installaties. De voorscheiding is geen OWS techniek en bevat bestaande losse toestellen die overal kunnen gebruikt worden in een droge scheiding. Deze zouden dus tot zelfde theoretische efficiënties moeten leiden. OWS kan dus ook een installatie ontwerpen die erg lijkt op “droge sortering/droge vergisting”. Deze installatie is maar dan in de vorm van die van Omrin ook opgenomen in dit onderzoek (zie Bijlage C).

D.1.1 Scheidingsrendementen

Op basis van gegevens verkregen van OWS hebben we de volgende scheidingsrendementen voor de huidige installatie kunnen bepalen.

Tabel 83 Scheidingsrendementen droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie – huidige installatie

Fractie input Stroom output	Ferro metaal	Residu, hoog calorisch	Residu, zware fractie	Residu, grote items	Biogas	Digestaat
Composteerbaar keukenafval	0%	12%	0%	0%	25%	63%
Niet-composteerbaar keukenafval	0%	12%	0%	0%	25%	63%
Tuinafval	0%	12%	0%	0%	25%	63%
Papier & karton	0%	19%	0%	0%	26%	55%
Glas	0%	29%	37%	0%	0%	34%
Ferro metalen	93%	0%	7%	0%	0%	0%
Non-ferro metalen	0%	43%	9%	0%	0%	48%
Folies	0%	49%	0%	0%	0%	51%
Hard PET	0%	68%	5%	0%	0%	27%
Hard HDPE	0%	68%	5%	0%	0%	27%
Hard PP	0%	68%	5%	0%	0%	27%
Hard PS	0%	69%	5%	0%	0%	26%
Hard PVC	0%	69%	5%	0%	0%	26%
Hard overig kunststof	0%	68%	5%	0%	0%	27%
Hout	0%	44%	6%	23%	0%	26%
Drankenkartons	0%	43%	5%	0%	12%	40%
Inert (steen)	0%	29%	37%	0%	0%	34%
Laminaatverpakkingen	0%	42%	5%	0%	12%	42%
Textiel	0%	48%	0%	0%	0%	52%
KGA	0%	54%	15%	0%	0%	32%
Hygiënische fractie	0%	44%	0%	0%	0%	56%
Vuilniszak	0%	70%	0%	0%	0%	30%
Overig	0%	23%	2%	0%	20%	55%

D.1.2 Algemene inputs

Tijdens het proces worden in Bourg-en-Bresse, de volgende inputs gebruikt:

- Diesel: 0,52 liter/ton huisvuil.
- Elektriciteit: 95,7 kWh/ton huisvuil.
- Warmte: 27 MJ/ton huisvuil. Deze warmte wordt op dit moment volledig geproduceerd in de WKK-installatie.

Daarnaast wordt er kraanwater gebruikt in de installatie. De hoeveelheid kraanwater is confidentieel en daarom hier niet gerapporteerd maar wordt wel meegenomen in de berekening.

D.1.3 Droge nascheiding

Tijdens de droge nascheiding wordt droge items uit het huisvuil verwijderd, deze worden nu gestort. *We gaan er in Vlaanderen van uit dat dit materiaal in het residu terecht komt.*

Na het verwijderen van een aantal grote items wordt in de huidige installatie in Bourg-en-Bresse ferro metaal afgescheiden, evenals een hoogcalorisch residu en een zware fractie die voornamelijk bestaat uit inerten. De rest van het materiaal wordt verwerkt in het droge vergisting proces.

De verschillende stromen hebben de volgende eigenschappen:

- hoogcalorisch residu: (>50 mm), energie-inhoud ongeveer 15 MJ/kg, drogestofgehalte 78%;
- zwaar residu: (<50 mm) energie-inhoud ongeveer 5 MJ/kg.

De beiden residuen worden nu gestort omdat de installatie reeds voldoet aan de vereiste 'landfill diversion rate' in Frankrijk en omdat dit een makkelijk uitweg is vermits de eigenaar op dezelfde site een stortplaats

heeft. *In Vlaanderen wordt alleen materiaal gestort als laatste oplossing, en aangezien deze fracties een energie-inhoud hebben gaan we ervan uit dat deze fracties in het sorteerresidu terechtkomt dat verbrand wordt.*

D.1.4 Droge vergisting

Droge vergisting in gebeurt in de Bourg-en-Bresse-installatie met behulp van het DRANCO-proces. Dit proces kan een vervuilde organische fractie aan, waar nog veel plastics en inert materiaal inzit. Het proces maximaliseert hiermee de massa naar de vergisting en dus de productie van biogas in vergelijking met een proces dat een schone organische fractie benodigd. Bij deze laatste gaat heel wat organisch materiaal verloren tijdens de intensieve verwijdering van de verontreinigingen voor het vergistingsproces.

In het droge vergistingsproces wordt biogas geproduceerd. Dit biogas wordt volledig toegepast in een WKK in Bourg-en-Bresse. De geproduceerde warmte wordt óf gebruikt in het proces óf gaat verloren. De geproduceerde elektriciteit wordt verkocht. *We gaan uit van dezelfde efficiëntie van de WKK als we ook bij de andere biogasverwerking aannemen (zie Sectie 6.5.1).*

Het materiaal dat overblijft uit het DRANCO-proces, het digestaat, wordt verwerkt in het SORDISEP-proces.

Voor de vergisting en verwerking van het digestaat wordt afhankelijk van de hoeveelheid materiaal die in de vergister verwerkt wordt, de volgende inputs gebruikt:

- ijzerchloride;
- antischuim;
- polymer powder.

De verbruikte hoeveelheden zijn bedrijfsgevoelige informatie, maar worden wel meegenomen in de berekening.

D.1.5 SORDISEP

Het digestaat uit het DRANCO-proces wordt in het SORDISEP gescheiden in verschillende fracties, zoals aangegeven in Tabel 84.

Tabel 84 Scheidingsrendementen SORDISEP-proces

Fractie input Stroom output	Lichte fractie	Inert	Compost	Water
Composteerbaar keukenafval	0%	0%	100%	0%
Niet-composteerbaar keukenafval	0%	0%	100%	0%
Tuinafval	0%	0%	100%	0%
Papier & karton	0%	0%	83%	17%
Glas	0%	98%	2%	0%
Ferro metalen	0%	0%	0%	0%
Non-ferro metalen	0%	91%	9%	0%
Folies	99%	0%	0%	1%
Hard PET	34%	0%	3%	63%
Hard HDPE	34%	0%	3%	63%
Hard PP	34%	0%	3%	63%
Hard PS	0%	0%	0%	100% ¹
Hard PVC	0%	0%	0%	100% ¹
Hard overig kunststof	56%	0%	4%	40%
Hout	0%	0%	0%	100% ¹
Drankenkartons	0%	0%	50%	50%
Inert (steen)	0%	98%	2%	0%
Laminaatverpakkingen	0%	0%	52%	48%
Textiel	100%	0%	0%	0%
KGA	0%	0%	0%	100% ¹
Hygiënische fractie	0%	0%	0%	100% ¹
Vuilniszak	0%	0%	0%	100% ¹
Overig	28%	6%	60%	7%

¹ Deze scheidingsrendementen zijn afgeronde waarden die in de praktijk waarschijnlijk niet 100% zijn. Afwijkingen van deze waarden hebben geen significante uitkomsten op de berekeningen.

De verschillende stromen hebben de volgende eigenschappen:

- lichte fractie: <50 mm materiaal, energie-inhoud ongeveer 12,5 MJ/kg. 50% droge stof;
- inerte fractie: <50 mm materiaal, energie-inhoud <0.1 MJ/kg. 90-95% droge stof, 400 mg organische koolstof/kg droge stof, oplosbare fractie minder dan 3.000 mg/kg droge stof;
- compost.

Het inerte materiaal wordt op dit moment in Bourg-en-Bresse gestort. In Vlaanderen lijkt het logischer dat dit materiaal toegepast wordt als inert materiaal, aangezien het een schone inerte fractie is. Mocht het gebruiken als inerte fractie niet mogelijk zijn dan zal deze alsnog gestort moeten worden. Omdat zowel het te vervangen inerte materiaal (zandvervanging) als storten een lage milieu-impact hebben zal dit geen invloed hebben op de resultaten.

Ook de lichte fractie wordt in Bourg-en-Bresse gestort. In Vlaanderen wordt alleen materiaal gestort als laatste oplossing, en aangezien deze fractie een energie-inhoud heeft zou het in Vlaanderen naar een residu-verwerkingsproces gaan. Dit betekent verwerking in een AVI, AVI+ of hydrolyse.

Het compost voldoet in Frankrijk aan de compost-eisen. De composteisen zijn in Vlaanderen echter anders. Het geproduceerde compost voldoet in België niet aan de kwaliteitseisen voor de compost. Het gaat dan vooral over enkele zware metalen (koper, zink en nikkel). We gaan er daarom vanuit dat als de Bourg-en-Bresse-installatie in Vlaanderen gebouwd zou worden, dat de compost naar een residuverwerkingsproces gaat. Tabel 85 geeft de verschillen tussen de compostkwaliteit die Bourg-en-Bresse levert en de Vlaamse normen weer voor compost.

Tabel 85 Compostkwaliteit en normen

Parameter	Eenheid	Kwaliteit Bourg-en-Bresse	Kwaliteitseis Vlaanderen	Norm behaald?
Fijnheid (door 40 mm zeef)	%	Onbekend	>99	Onbekend
Droge stof	Gewichts%	53%	>50	Ja
Organische stof	Gewichts%	Onbekend	>16	Onbekend
pH	-	8,67	6,5-9,5	Ja
Arseen	mg/kg DS	2,9	<20	Ja
Cadmium	mg/kg DS	1,37	<2	Ja
Chroom	mg/kg DS	93,07	<100	Ja
Koper	mg/kg DS	168	<150	Nee
Kwik	mg/kg DS	0,38	<1	Ja
Lood	mg/kg DS	79,23	<150	Ja
Nikkel	mg/kg DS	50,23	<50	Nee
Zink	mg/kg DS	537,00	<400	Nee
Onzuiverheden (>2 mm)	Gewichts%	0,45	<0,5	Ja
Steentjes (>5 mm)	Gewichts%	0,2	<2	Ja
Kiemkrachtige zaden	Aantal per liter	Onbekend	<1	Onbekend
Rijpingsgraad	Graden Celcius	Onbekend	<40	Onbekend

Toelichting: De kwaliteitseis Vlaanderen is de FOD-norm voor GFT-compost en GFT-compost van vergisting met nacompostering evenals voor groencompost zoals benoemd in (OVAM, 2019). Gegevens over de compostkwaliteit zijn van Bourg-en-Bresse ontvangen van OWS.

D.1.6 Emissies naar lucht

Voor OWS zijn gegevens ontvangen van emissies uit de luchtzuiveringsinstallaties en emissie die vrijkomen uit de WKK-installatie, evenals het debiet per jaar. Deze hoeveelheden zijn gedeeld door de verwerking van 60.593 ton afval die in 2017 verwerkt werd. Tabel 86 geeft de totale emissies weer per ton verwerkt huisvuil. De emissies uit de WKK zijn overgenomen voor alle verwerkroutes (zie Sectie 6.5.1).

Tabel 86 Emissies naar lucht droge scheiding

Emissie naar lucht	Hoeveelheid	Eenheid
Emissies per ton afval		
SO ₂	0,00011	kg/ton afval
TOC	0,00003	kg/ton afval
Stof	0,00000	kg/ton afval
Emissies WKK (per m³ biogas)		
H ₂ S	0,0000000	kg/m ³ biogas
Stof	0,000015	kg/m ³ biogas
CO	0,0043959	kg/m ³ biogas
NO _x	0,0021980	kg/m ³ biogas

Toelichting: Alle emissies zijn afgerond naar 5 cijfers achter de komma per ton afval, en 7 cijfers achter de komma per m³ biogas.

Er komen geen luchtmissies van zware metalen en dioxines voort uit de vergistingsinstallatie in Bourg-en-Bresse. Deze blijven in de output producten die verwerkt worden in een residuverwerkingsproces.

De emissie van NH₃ wordt wél gemeten maar zit onder detectielimiet. We gaan daarom uit van geen emissies. De detectielimiet ligt bij:

- <0,3 mg NH₃/Nm³, dit is minder dan 0,0000008 kg/ton afval.

Andere emissies zoals HF, HCl en anderen zijn niet gemeten omdat deze geen gevaarlijke parameters zijn bij vergistingsinstallaties.

D.2 THEORETISCHE VERWERKING

De theoretische verwerking verschilt op een aantal punten van de huidige verwerking. Voor de overige aspecten gaan we uit van de huidige verwerking.

Ten eerste voor de optimale installatie die OWS voorziet zoals deze in Vlaanderen neergezet kan worden gaan we uit de van dezelfde scheidingsrendementen als in de huidige verwerking met twee uitzonderingen:

- non-ferro metaal wordt ook uitgesorteerd, met een efficiëntie van 75%;
- hard HDPE/PET en PP worden uitgesorteerd, met een efficiëntie van 75%.

Ten tweede wordt in de theoretische verwerking de benodigde warmte geproduceerd met een WKK, en de rest van het biogas wordt opgewerkt tot groengas.

Tot slot heeft OWS aangegeven dat de verwerking zo bijgesteld kan worden dat de compost wél voldoet aan de compostkwaliteit die benodigd is in Vlaanderen. Dit betekent dat het koper-, nikkel- en zinkgehalte verlaagd wordt, en de kwaliteitseisen voor deze zware metalen wél behaald worden.

De compostsamenstelling waar we mee rekenen is als volgt:

- 0,89 massa% stikstof (N);
- 0,49 massa% fosfaat (P₂O₅);
- 0,55 massa% kalium (K₂O).

Hierbij is het belangrijk om te benoemen dat ook al voldoet de compost aan de kwaliteitseisen, dit nog niet betekend dat deze binnen de Vlaamse wetgeving wel mag worden ingezet. Op dit moment mag alleen compost ingezet worden van organisch-biologische oorsprong geproduceerd uit GFT of groenafval, niet uit

huisvuil. Voor de theoretische verwerking gaan we ervan uit dat afzet van dit compost vanaf 2025 wél mogelijk is, als het compost uiteraard voldoet aan de kwaliteitseisen.

Dit alles zorgt voor een verandering in het elektriciteitsgebruik naar 92,9 kWh/ton huisvuil. De hoeveelheid gebruikte ijzerchloride verandert ook, maar de hoeveelheid is bedrijfsgevoelige informatie en wordt daarom hier niet gerapporteerd. Het verbruik is wel meegenomen in de berekeningen.

E INVENTARISATIE MECHANISCH-BIOLOGISCHE SCHEIDING

E.1 SCHEIDINGSRENDEMENTEN

De verschillende fracties in het Vlaams huisvuil worden uitgesorteerd naar verschillende stromen.

Volgende tabel geeft weer welke fractie waar terecht komt in mechanisch-biologische scheiding.

Deze scheidingsrendementen zijn gebaseerd op de volgende bekende gegevens:

Het residu dat geproduceerd wordt heeft een vochtgehalte van 12,9% en een LHV van 17,4 MJ per kg residu.

- Het residu bestaat voor ongeveer 47,8% uit organisch materiaal en voor 0,17% uit metaal.
- Van het materiaal dat binnenkomt wordt 5% uitgesorteerd in ferro metaal, non-ferro metaal en inert materiaal. 60% als residu en 35% als water.
- Het vochtgehalte van het inkomende materiaal bij MBS is hoger dan de afvalsamenstelling van huisvuil of van bedrijfsafval vergelijkbaar met huisvuil. In totaal is 42,74% vocht.

Daarnaast maken we de volgende aannames:

- We maken gebruik van de afvalsamenstelling van bedrijfsafval vergelijkbaar met huisvuil omdat deze een hogere energie-inhoud heeft dan het huisvuil.
- We corrigeren de energie-inhoud voor de hoeveelheid vocht, waarbij het inerte materiaal/glas en de metalen niet gecorrigeerd worden die blijven een vochtgehalte van 0% hebben. Van de rest van de fracties wordt het drogestofgehalte met 18% verminderd.

Tabel 87 Scheidingsrendementen droge scheiding

Fractie input Stroom output	Ferro (% gewicht fractie)	Non-ferro (% gewicht fractie)	Inert (% gewicht fractie)	Residu (% gewicht fractie)	Water (% van inkomend water in fractie)
Composteerbaar keukenafval				Overig	82%
Niet-composteerbaar keukenafval				Overig	82%
Tuinafval				Overig	82%
Papier & karton				Overig	82%
Glas			79%	21%	0%
Ferro metalen	96%			4%	0%
Non-ferro metalen		96%		4%	0%
Folies				Overig	82%
Hard PET				Overig	82%
Hard HDPE				Overig	82%
Hard PP				Overig	82%
Hard PS				Overig	82%
Hard PVC				Overig	82%
Hard overig kunststof				Overig	82%
Hout				Overig	82%
Drankenkartons				Overig	82%
Inert (steen)			79%	21%	0%
Laminaatverpakkingen				Overig	82%
Textiel				Overig	82%

Fractie input Stroom output	Ferro (% gewicht fractie)	Non-ferro (% gewicht fractie)	Inert (% gewicht fractie)	Residu (% gewicht fractie)	Water (% van inkomend water in fractie)
KGA				Overig	82%
Hygiënische fractie				Overig	82%
Vuilniszak				Overig	82%
Overig				Overig	82%

Op basis van deze scheidingsrendementen en aannames heeft het residu de volgende eigenschappen:

- energie-inhoud: 17,1 MJ/kg;
- aandeel organisch: 45,4%;
- aandeel vocht: 12,9%;
- aandeel metaal: 0,17%.

Dit is nagenoeg gelijk aan de opgegeven waarden door IOK/IVAREM, en laat daarom zien dat het model waarheidsgetrouw is. Dit model is van toepassing op verschillende afvalsamenstellingen als we ervan uit gaan dat er altijd 82% van het vocht gereduceerd wordt.

De uitgesorteerde metalen en het inerte materiaal worden elders verder verwerkt waarna het ingezet kan worden als gerecycled metaal óf als zand/grind in de wegenbouw. Het residu wordt op dit moment verwerkt in verschillende AVIs. In dit model gaan we uit van verwerking in de verschillende mogelijke residuverwerkingsmethoden.

Het overgrote deel van het water verdampt. Daarnaast wordt er per jaar wordt 4.500 m³ water geloosd in de gemeentelijke afvalwaterzuivering. Bij een verwerking van 117.000 ton afval in 2017 was dat 38,5 kg water per ton afval.

E.2 ENERGIEGEBRUIK

Tijdens de verwerking van huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil worden de volgende hoeveelheden energie gebruikt:

- dieselgebruik = 0,24 liter/ton afval;
- aardgasgebruik = 1,45 m³/ton afval;
- elektriciteitsgebruik = 85,37 kWh/ton afval.

De emissies tijdens het gebruik van aardgas zijn onderdeel van de emissies weergegeven in Tabel 88 en worden dus niet opnieuw meegenomen. De emissies van het dieselgebruik worden wél nog opgenomen evenals de emissies van de productie van deze energiedragers.

E.3 EMISSIES NAAR LUCHT

Voor MBS zijn gegevens ontvangen van emissies uit twee verschillende luchtzuiveringsinstallaties, evenals hun debiet per jaar. Deze hoeveelheden zijn gedeeld door de verwerking van 117.000 ton afval per jaar. Tabel 88 geeft de totale emissies weer per ton verwerkt huisvuil of bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

Tabel 88 Emissies naar lucht droge scheiding

Emissie naar lucht	Hoeveelheid	Eenheid
SO ₂	0,01485	kg/ton afval

Stof	0,01794	kg/ton afval
HF	0,00000	kg/ton afval
NO _x	0,03398	kg/ton afval
TOC	0,02760	kg/ton afval

Toelichting: alle emissies zijn afgerond naar 5 cijfers achter de komma.

De emissies van dioxines, HCl en CO worden wél gemeten maar zitten onder detectielimiet.

We gaan daarom uit van geen emissies. De detectielimieten liggen voor deze emissies bij:

- <2 mg CO/Nm³, dit is minder dan 0,01485 kg/ton afval;
- <0,5 mg HCl/Nm³, dit is minder dan 0,00159 kg/ton afval;
- <0,005 ng TEQ/Nm³, dit is minder dan 4 mg TEQ/ton afval.

Andere emissies zoals HF, zware metalen en Hg zijn niet gemeten.

F INVENTARISATIE HYDROPYROLYSE

F.1 SCHEIDINGSRENDEMENTEN

De verschillende fracties in het Vlaams huisvuil worden óf omgezet in MGO-kwaliteit middendestillaat (zwavelarme scheepsdiesel), syngas en een inerte fractie. Tabel 89 geeft weer welke fractie waar terecht komt in hydropyrolyse. De getallen tellen niet op tot 100% om drie redenen:

- warmteverliezen ten koste van syngasopbrengst;
- MGO-kwaliteit diesel en syngas worden uitgedrukt in een % van de stookwaarde en inert en asrest in een massa percentage
- een deel van de massa verdwijnt als vocht in de droger.

In de praktijk wordt vocht uit biomassa gebruikt als bron van vocht in de reactie.

Tabel 89 Typische conversierendementen van fracties in hydropyrolyse

Fractie input Stroom output	MGO-kwaliteit diesel (% LHV)	Syngas (% LHV)	Inert (% massa)	Minerale fractie (% massa)
Composteerbaar keukenafval	40%	50%		2%
Niet-composteerbaar keukenafval	40%	50%		9%
Tuinafval	40%	50%		1%
Papier & karton	40%			
Glas			100%	
Ferro metalen			75%	25% (1)
Non-ferro metalen			25%	75% (1)
Folies	90%	5%		
Hard PET	85%	5%		
Hard HDPE	90%	5%		
Hard PP	90%	5%		
Hard PS	85%	5%		
Hard PVC	85%	5%		
Hard overig kunststof	85%	5%		
Hout	40%	50%		1%
Drankenkartons	40%	50%		1%
Inert (steen)			100%	
Laminaatverpakkingen	85%	5%		
Textiel	40%	50%		
KGA				100%
Hygiënische fractie	40%	50%		
Vuilniszak	85%	5%		
Overig	40%	50%		8%

¹ Het pyrolyseproces gaat primair om de conversie van biomassa- en plastic restmaterialen naar brandstof en syngas. De inerte fractie aan de input bepaalt direct die aan de output en er gebeurt hier in reducerend milieu niets mee. 75 m% van de zwaardere ferro valt vrij uit de voordroger, en 25 m% kleiner ferro materiaal komt vrij in de charvergasser (nietjes, e.d.). En voor aluminium andersom (25% non-ferro uit een paar blikjes in de voordroger en 75% van de non-ferro aan fijne deeltjes uit laminaten in de charvergasser). Naar schatting van de ontwikkelaars is dit de verdeling van de metalen over de inerte en de minerale fractie.

F.2 VOORSORTERING EN VERMALER

Bij het toepassen van hydropyrolyse op de volledige huisvuil of bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil is het nuttig en economisch om enkele voorbereidingsstappen toe te passen en zo de calorische kwaliteit van de input te verhogen. Eerst worden de grotere ferro en non-ferro delen gescheiden d.m.v. magneten en/of eddy current scheidingsmiddelen. Ook worden grote stukken puin, stenen en andere inerte materialen uit de input verwijderd. De overgebleven fractie wordt daarna vermalen tot stukken van ongeveer 4 cm met een voor die stroom passende shredder (hout, karton, plastic, enz.). Voor heel lastig te vermalen elastische stromen kan een vergelijkbare vermaler gebruikt worden als wordt gebruikt voor bandenvermaling, zodat steeds voor specifieke invoerstromen een passende oplossing wordt toegepast.

In de praktijk zal voor de toepassing op residu, die immers al een voorbereidingsstap heeft ondergaan weinig tot geen voorbereiding meer plaatsvinden, enkel als het nodig is het residu te vermalen als het residu nog te grof is.

F.3 DROGER

De output van de shredder wordt gedroogd in een droger die met restwarmte uit het proces wordt verwarmd. In deze droger wordt ook stukjes glas en steen (inert materiaal) afgescheiden, wat in de markt kan worden afgezet als vulstof. Het voorgedroogde materiaal wordt vervolgens met een schroef de eerste reactor ingebracht.

F.4 REACTOREN

De eerste reactor is een thermische kraker met een temperatuur van ~400 °C met een gefluidiseerd bed. De input wordt hierin omgezet in condenseerbare koolwaterstoffen (als damp), syngas en char (koolstofrijke vaste stof). De char wordt naar een tweede reactor geleid, waar deze 'fluffy' wordt gemaakt. Dit is een voorbehandelingsstap voor de derde reactor, waar de char bij lagere temperatuur drukloos met ondermaat lucht wordt vergast tot syngas. Dit syngas wordt vervolgens ingezet om het hydrokraken in de eerste reactor mogelijk te maken.

Een deel van het materiaal wordt niet omgezet in een energiedrager en/of kan uitgesorteerd worden als inert materiaal. Het gaat hierbij om het minerale gedeelte van biogeen materiaal, evenals de KGA zoals kleine batterijtjes. Deze fractie is dus potentieel schadelijk voor het milieu (door de KGA). De gasopwerking bevat een geprepareerd filter die deze sporen aan zware metalen afscheidt. We gaan er daarom vanuit dat deze filters met zware metalen gestort worden en deze buiten de primaire inerte fractie blijft en niet zal voldoen aan de kwaliteitseisen voor inzet als bouw materiaal in Vlaanderen. De kwaliteit zal in de praktijk verschillen over verschillende periodes.

F.5 DESTILLATIE-/FRACTIONERINGSKOLOM

Het gas en de vloeibare stoffen in dampvorm uit reactor 1 worden in een eenvoudige fractioneringskolom gescheiden in syngas en MGO-kwaliteit middendestillaat/dieselolie. De dieselolie bevat zeer weinig of geen zwavel en kan óf worden ingezet als drop-in fuel (MGO) óf als ultra-low sulphur blend stock voor de scheepvaart. De MGO/dieselolie is niet mengbaar met water, heeft een neutrale pH (niet zuur) en is geel tot oranje van kleur.

De MGO-kwaliteit pyrolyseolie die geproduceerd wordt heeft afhankelijk van de voedingssamenstelling gemiddeld een stookwaarde van 38-42 MJ per kilogram en een soortelijk gewicht van ongeveer 0,8 kg per liter. Als toepassing wordt gericht op levering van MGO scheepsdiesel aan de scheepvaartmarkt ter vervanging van fossiele diesel. Dit gezien de toenemende vraag door het instellen van SECA-gebieden op zee waar nu met laagzwavelige MGO gevaren moet gaan worden.

Het netto geproduceerde syngas kan óf worden toegepast in een WKK om lokaal deels groene stroom mee te produceren en warmte af te zetten óf worden gebruikt in een ketelhuis om aan een lokale warmtevraag te voldoen. Een deel wordt voor het interne elektriciteitsgebruik ingezet. Dit betekent dat er geen externe warmte of elektriciteit benodigd is om het proces te laten draaien. Enkel om de eerste keer het proces op te warmen en op te starten wordt een gasfles ingezet. Voor de WKK wordt hetzelfde rendement gehanteerd als deze ook voor de andere toepassingen gehanteerd wordt. Zie hiervoor Sectie 6.5.1. De netto geproduceerde warmte en elektriciteit wordt extern afgezet.

F.6 EMISSIES NAAR LUCHT

De precieze emissies uit hydropyrolyse zijn onbekend. Er is echter wel bekend dat de emissies lager zullen zijn dan in het geval van een conventionele AVI. We gaan voor de zekerheid uit van precies dezelfde emissies als bij de conventionele AVI. Wel maken we een aanpassing voor de fossiele CO₂-emissies, deze houden we afhankelijk van de samenstelling van het afval dat verwerkt wordt met behulp van hydropyrolyse.

F.7 INITIATIEFNEMERS GEÏNTEGREERDE HYDROPYROLYSE MET WEBSITES

- Enerpy, Amersfoortseweg 38, 3951 LC Maarn, <http://www.enerpy.nl/>.
- IH2, contact UK via website, filiaal CRI Panterschipstraat 331, 9000 Gent, België, <https://www.cricatalyst.com/cricatalyst/ih2/integrated-hydropyrolysis-and-hydroconversion.html>.
- Susteen, An der Maxhütte 1, 92237 Sulzbach-Rosenberg, Germany of via Zirk-Tech NL, <http://www.susteen.de/>.
- Green Modem, Obbotec B.V., Galileistraat 15, 3029 AL Rotterdam, www.obbotec.nl.

G INVENTARISATIE AVI+

G.1 RENDEMENT AVI+

In Kopenhagen staat een AVI met een erg hoog rendement, de Amager Bakke AVI. Deze centrale heeft een totaal rendement van 99%, waarvan 28% elektrische efficiëntie (B&W Volund, 2016). De 71% warmte wordt afgezet in een warmtenet. De capaciteit van de centrale is 400 kton per jaar. De AVIs zijn al (een tijd) bezig met het verbeteren van hun energierendement, en met name met het uitbreiden van infrastructuur om warmte af te zetten. Het is dan ook voor Vlaanderen niet ondenkbaar om voor 2030 een AVI te hebben met een hoog gecombineerd thermisch en elektrisch rendement. De AVI in Kopenhagen dient hiervoor als voorbeeld. In de JRC studie uit 2016 blz. 259 (JRC; Ricardo AEA Ltd; Bio by Deloitte, 2016) is de AVI van AEB in Amsterdam als best presterende meegenomen met een totaalrendement van 93% waarvan 27% rendement voor elektriciteit. De nieuwe installatie in Kopenhagen kan door een betere warmte optimalisatie en afzet hier dus nog beperkt beter op scoren.

G.2 VERBRANDINGSEMISSIES

Emissies uit de ISVAG-installatie liggen nu ongeveer rond de 100 mg NO_x/Nm³ (ISVAG, 2017) terwijl de emissies voor de Amager Bakke AVI vastgesteld zijn op 15 NO_x/Nm³ (B&W Volund, 2016). Dit is een stuk lager dan aangegeven in (JRC, 2018), die aangeeft dat de laagst mogelijk emissie 50 mg/Nm³ is, dit is waar we vanuit gaan. We stellen de NO_x-emissies zoals gemodelleerd voor de AVI daarom bij met 50%. De overige emissies die voorzien zijn bij de Amager Bakke AVI zijn vergelijkbaar met de daadwerkelijke emissies die nu plaatsvinden bij de ISVAG installatie, en we gaan dus uit van dezelfde emissies als bij de conventionele AVI.⁸²

Naast deze emissiewaarden komt er ook fossiele CO₂ vrij bij verbranding van afval in een AVI (uiteraard behalve als er volledig biogeen afval verbrandt wordt). Deze emissies bepalen we op basis van de afvalsamenstelling die verbrandt wordt, op basis van de gegevens zoals weergegeven in Bijlage A.

G.3 BODEMASVERWERKING

G.3.1 Terugwinning ferro en non-ferrometalen

Voor de Amagar Bakke AVI is de verwachting dat 90% van de metalen teruggewonnen kan worden uit bodemas (B&W Volund, 2016). In Nederland is op dit moment het afscheidingsrendement van staal (stalen blikjes) uit bodemas al 95% (Afvalfonds Verpakkingen, 2016) en de verwachting is dat door o.a. nieuwe wasinstallaties het terugwinrendement van non-ferro metalen uit bodemas rond de 85% uit zal komen. Dit ligt niet ver af van de 90% en we gaan dus uit van deze verdeling.

Voor het energiegebruik voor bodemasverwerking gaan we uit van hetzelfde energiegebruik als aangenomen is voor de AVI.

⁸² Zie verwachte emissies Amager Bakke (Ramböll, 2014) en daadwerkelijke emissies van ISVAG (ISVAG, 2017).

G.3.2 Toepassing van verwerkte bodemas

De bodemas die overblijft na afvalverbranding wordt 100% toegepast als bouw materiaal (B&W Volund, 2016). We gaan ervan uit dat dezelfde hoeveelheid bodemas geproduceerd wordt als in een conventionele AVI.

Tabel 90 Gebruikte gegevens voor bodemasverwerking voor de AVI+

Input	Hoeveelheid Per ton bodemas
Elektriciteit	9,8 kWh
Energie uit diesel	1,5 liter diesel á 54 MJ
Rendement	
Ferro metaal	95%
Non-ferro metaal	85%
Inzet als bouw materiaal	
Totaal bodemas	187 kg/ton huisvuil naar AVI (opgaaf gemiddelde BW2E-leden)
Deel inzet bodemas als bouw materiaal	100%

G.4 Vliegasserwerking

AVI-vliegassen kunnen, worden toegepast als bouw materiaal, bijvoorbeeld als vulstof. We gaan ervan uit dat dit in 2030 gebeurt in een AVI+ voor alle vliegasser en dat de vliegasser op een vergelijkbare manier behandeld wordt als de bodemas. De hoeveelheid vliegasser geproduceerd blijft gelijk per afvalfractie, zoals aangegeven voor de conventionele AVI (zie Bijlage B). Dit betekent dat er geen residuen gestort worden uit de AVI+. Alle materiaal wordt afgezet als bouw materiaal. We trekken de trend dat er steeds minder gestort hoeft te worden daarmee door. De toekomst zal leren of dit echt mogelijk is.

G.5 Hulpstoffen

Voor het hulpstoffengebruik voor de AVI+ maken we gebruik van dezelfde gegevens als voor de conventionele AVI. Zie hiervoor Bijlage B.

H RESULTATEN PER MILIEU-INDICATOR

In deze bijlage worden de resultaten per milieu-indicator besproken. De bespreking van een aantal milieu-indicatoren is gecombineerd omdat de resultaten erg vergelijkbaar zijn.

H.1 KLIMAATVERANDERING

De klimaatimpact, ook wel broeikasgaseffect genoemd, representeert de uitstoot van alle broeikasgassen in CO₂-equivalenten. Broeikasgassen zijn gassen die bijdragen aan het verhogen van de temperatuur op aarde doordat zij de warmte van zonlicht, teruggekaatst door het aardoppervlak, tegenhouden en in de atmosfeer vasthouden. Het bekendste en meest uitgestoten broeikasgas is CO₂, ofwel koolstofdioxide, dat vrijkomt bij verbranding van fossiele brandstoffen (bijvoorbeeld voor energie voor productieprocessen of als transport-brandstof). Enkele andere belangrijke broeikasgassen zijn methaan (CH₄), distikstofmonoxide (N₂O) en fluorkoolwaterstoffen (HFC's) en zwavelhexafluoride (SF₆). De mate waarop een broeikasgas bijdraagt aan temperatuursverhoging verschilt per broeikasgas en wordt onderzocht door het IPCC. De totale uitstoot van broeikasgassen wordt weergegeven in CO₂-equivalenten, door het effect op het klimaat van de diverse broeikasgassen te relateren aan het effect van CO₂ over 100 jaar.

De klimaatimpact van de verschillende verwerkingsroutes is te verklaren door de volgende verschillende aspecten:

- netto energieproductie (en vermeden elektriciteits- en warmteproductie);
- emissies tijdens de verwerking van afval, met name emissies die vrijkomen tijdens de verbranding van afval;
- terugwinning van metaal;
- in het geval van de nascheidingsroutes ('droge scheiding, droge vergisting' en 'natte mechanische scheiding, natte vergisting'): terugwinning ander materiaal zoals kunststoffen;
- in het geval van de nascheidingsroutes (excl. mechanisch-biologische scheiding): biogasproductie.

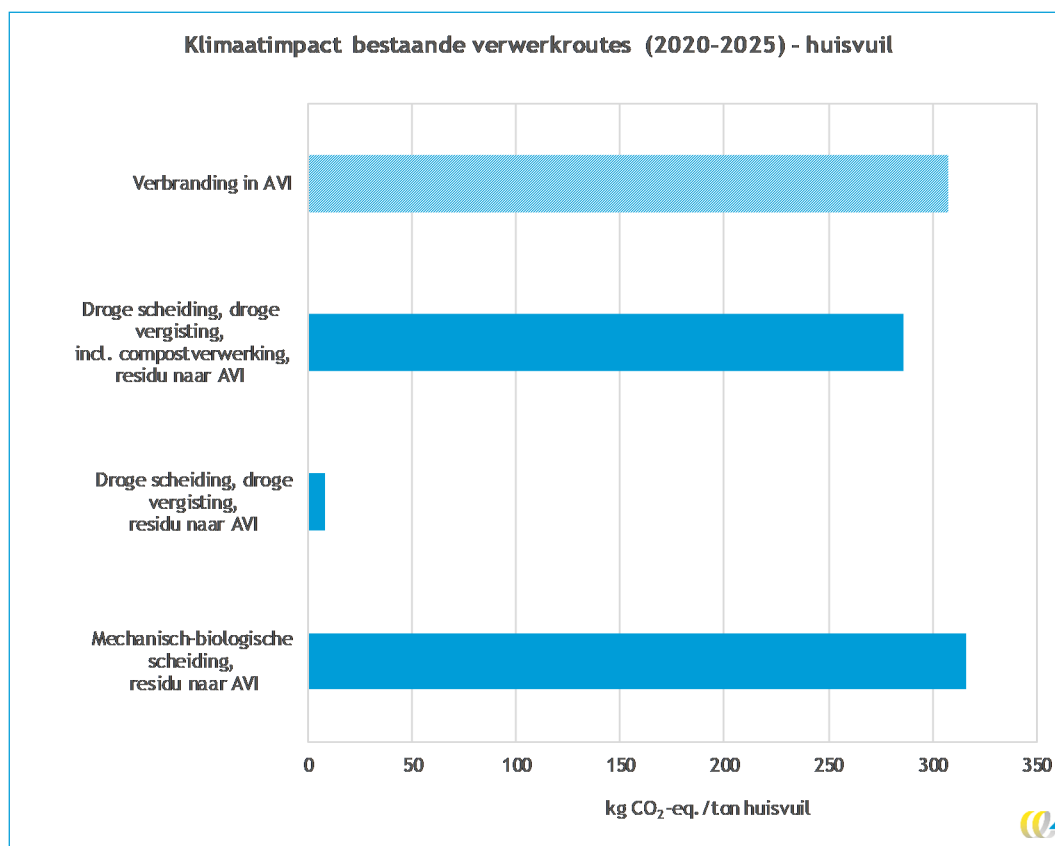
H.1.1 Bestaande verwerkroutes

In Figuur 62 is te zien dat in het geval van de bestaande verwerkroutes geldt dat hoe meer afval of residu er naar een AVI gaat hoe hoger de klimaatimpact is. De hoeveelheid afval/residu naar een AVI per verwerkroute is ongeveer:

- verbranding in conventionele AVI: 1.000 kg;
- droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking, residu naar AVI: 730 kg;
- droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI: 320 kg;
- mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI: 650 kg.

De klimaatimpact van 'mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI' is iets hoger dan volledige verbranding van het huisvuil in een conventionele AVI. Dit komt door het energiegebruik voor het drogen van het digestaat in het geval van 'mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI' waardoor de netto energieproductie lager is dan bij verbranding van het huisvuil in een AVI. Hierbij moet gezegd worden dat dit alleen geldt als de energetische rendementen van de AVIs in beide routes gelijk is. Zoals MBS nu wordt toegepast in Vlaanderen is het energetisch rendement van de verbrandingsinstallatie waar het residu verwerkt wordt hoger dan dat van een conventionele AVI en daarmee heeft MBS in de praktijk een lagere klimaatimpact dan weergegeven in Figuur 62. Deze verwerking is daarmee in de praktijk dicht in de buurt van de AVI met het hoogste rendement in zoals weergegeven in de gevoeligheidsanalyse naar het AVI-rendement (zie Sectie 11.2.1).

Figuur 62 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – huisvuil



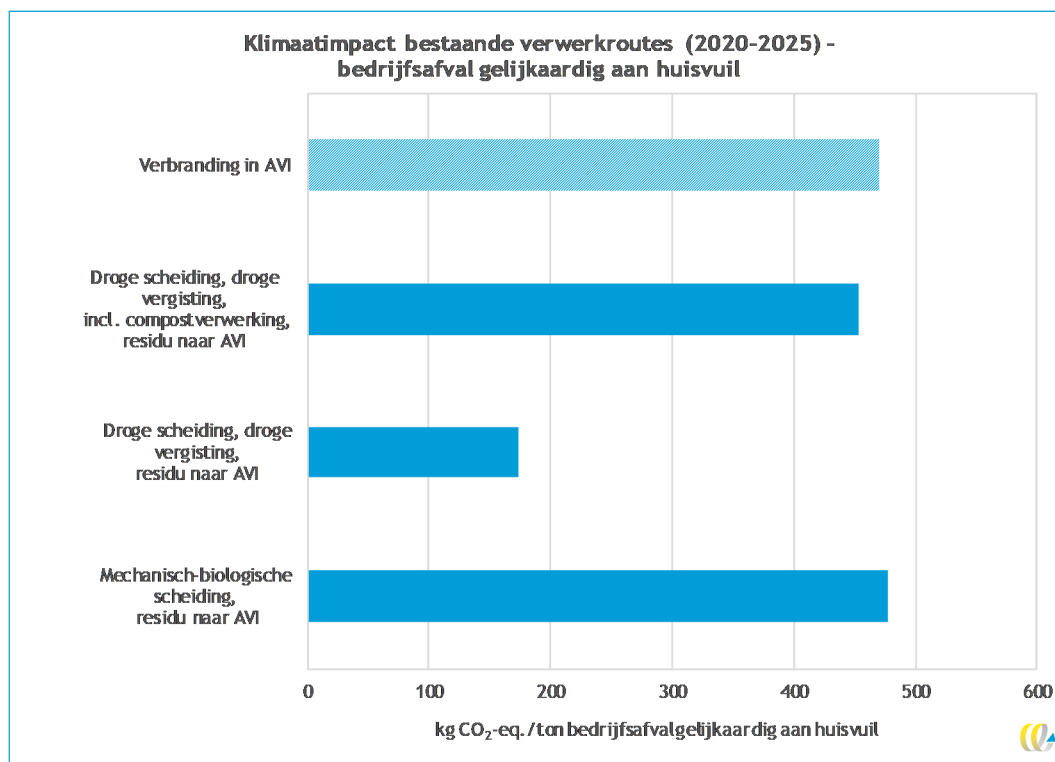
- NB1 De technieken ‘verbranding in AVI’ en ‘mechanisch-biologische scheiding’ worden al toegepast in Vlaanderen. De modelering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk (‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking’) en Nederland (‘droge scheiding, droge vergisting’). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze “compost” in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

Voor de resultaten voor bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil geldt dezelfde toelichting.

De hoeveelheid afval/residu naar een AVI per verwerkroute is hierbij ongeveer:

- verbranding in conventionele AVI: 1.000 kg;
- droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking, residu naar AVI: 710 kg;
- droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI: 615 kg;
- mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI: 765 kg.

Figuur 63 Klimaatimpact bestaande verwerkroutes (2020-2025) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

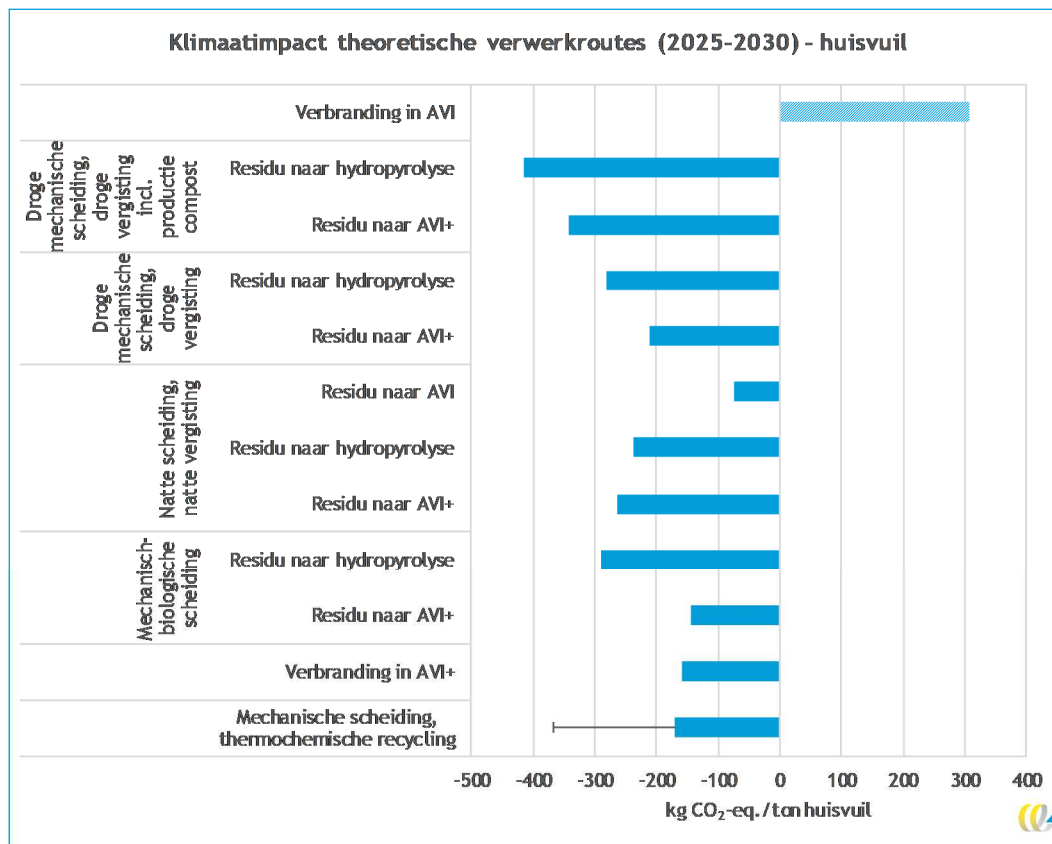


- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

H.1.2 Theoretische verwerkroutes

In het geval van de theoretische verwerkroutes is er niet één aspect dat het verschil tussen de verschillende verwerkroutes verklaart. Het verschil is te verklaren door een combinatie van de verschillende aspecten zoals aangegeven aan het begin van deze Sectie H.1.

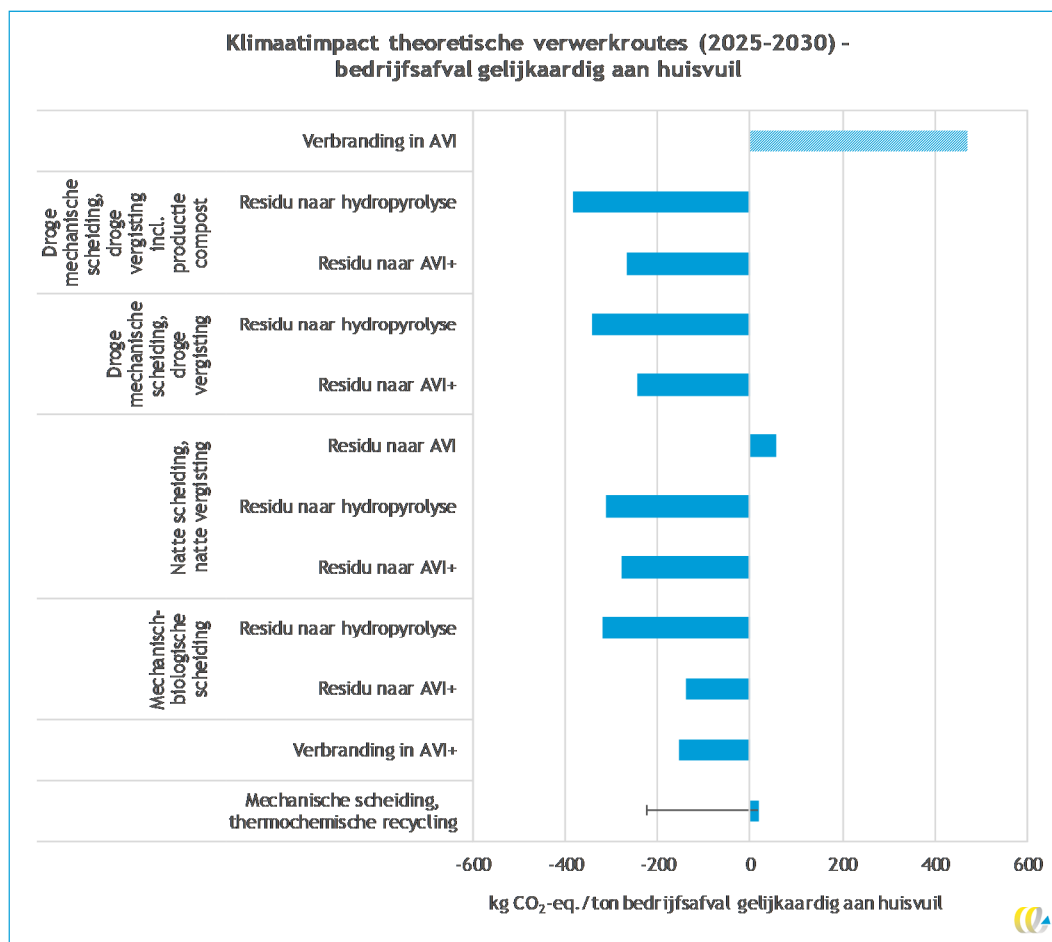
Figuur 64 Klimaatimpact theoretische verwerkroutes (2025-2030) – huisvuil



Toelichting: De onzekerheidsbalk voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is een inschatting van het klimaatvoordeel als ook fermentatie toegepast wordt. Dit is mogelijk rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.

Figuur 65 Klimaatimpact theoretische verwerkroutes (2025-2030) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil



Toelichting: De onzekerheidsbalk voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is een inschatting van het klimaatvoordeel als ook fermentatie toegepast wordt. Dit is mogelijk rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.

H.2 AANTASTING OZONLAAG

Aantasting van de ozonlaag wordt veroorzaakt door CFC's, HFC's en halomethanen. Dit zijn stoffen die met name gebruikt worden (of werden) als vlamvertragers en koelvloeistoffen. Deze stoffen komen niet voort uit de afvalverwerkroutes waar we naar kijken. Wél komen er N₂O-emissies vrij, dit is dan ook de enige ozonaantastende stof die we mee hebben genomen in de analyse.

N₂O komt bij de verwerkroutes vrij bij de verbranding van brandstoffen. Dit betekent dat er zowel N₂O-emissies vermeden worden bij energieproductie als er dat N₂O-emissies vrijkomen bij het gebruik van energie.

H.2.1 Bestaande verwerkroutes

Alle routes zorgen voor een vermindering van de aantasting van de ozonlaag. In alle gevallen wordt namelijk meer energie geproduceerd dan dat er gebruikt wordt voor het afvalverwerkingsproces. Het afvalverwerkingsproces dat netto de meeste energie oplevert is de conventionele AVI.

Volgende tabellen laten de hoeveelheid netto geproduceerde energie zien met daarbij de aantasting van de ozonlaag. Deze komen overeen voor zowel huisvuil verwerking als de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Om het resultaat inzichtelijk te maken zijn de resultaten gerangschikt van laagste netto energieproductie naar hoogste netto energieproductie.

Tabel 91 Netto energieproductie verwerking huisvuil en aantasting ozonlaag per bestaande verwerkroute (2020-2025)

Verwerkroute	Netto energieproductie per ton afval (MJ)	Aantasting ozonlaag (kg CFC11-eq.)
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	2.331	-1,09E-04
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	2.353	-6,77E-05
Verbranding in conventionele AVI	2.642	-1,20E-04
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	3.098	-5,50E-05

Tabel 92 Netto energieproductie verwerking bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en aantasting ozonlaag per bestaande verwerkroute (2020-2025)

Verwerkroute	Netto energieproductie per ton afval (MJ)	Aantasting ozonlaag (kg CFC11-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	2.721	-1,16E-04
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	3.242	-1,50E-04
Verbranding in conventionele AVI	3.545	-1,61E-04
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	3.929	-8,11E-05

H.2.2 Theoretische verwerkroutes

Alle routes zorgen voor een vermindering van de aantasting van de ozonlaag. In alle gevallen wordt namelijk meer energie geproduceerd dan dat er gebruikt wordt voor het afvalverwerkingsproces. Het afvalverwerkingsproces dat netto de meeste energie oplevert is de AVI+.

Volgende tabellen laten de hoeveelheid netto geproduceerde energie zien met daarbij de aantasting van de ozonlaag. Deze komen overeen voor zowel huisvuil verwerking als de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Om het resultaat inzichtelijk te maken zijn de resultaten gerangschikt van laagste netto energieproductie naar hoogste netto energieproductie.

Tabel 93 Netto energieproductie verwerking huisvuil en aantasting ozonlaag per theoretische verwerkroute (2025-2030)

Verwerkroute	Netto energieproductie per ton afval (MJ)	Aantasting ozonlaag (kg CFC11-eq.)
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	1.779	-4,84E-05
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	3.097	-1,00E-04
Verbranding in conventionele AVI	2.642	-1,20E-04
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	4.758	-1,04E-04
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	5.035	-1,12E-04
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	5.910	-1,32E-04
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	6.106	-1,41E-04
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	7.584	-1,64E-04
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	7.843	-1,78E-04
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	9.808	-2,43E-04
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	10.200	-2,62E-04
Verbranding in AVI+	10.520	-2,75E-04

Tabel 94 Netto energieproductie verwerking bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en aantasting ozonlaag per theoretische verwerkroute (2025-2030)

Verwerkroute	Netto energieproductie per ton afval (MJ)	Aantasting ozonlaag (kg CFC11-eq.)
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	2.166	-7,80E-05
Verbranding in conventionele AVI	3.545	-1,61E-04
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	3.640	-1,03E-04
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	7.326	-1,78E-04
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	7.942	-1,90E-04
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	9.234	-2,43E-04
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	9.854	-2,55E-04
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	10.522	-2,29E-04
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	10.744	-2,49E-04
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	13.108	-3,30E-04
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	13.810	-3,55E-04
Verbranding in AVI+	14.095	-3,69E-04

H.3 IONISERENDE STRALING

De milieu-indicator ioniserende straling beschrijft de hoeveelheid radioactiviteit die vrijkomt of vermeden wordt door de verschillende verwerkroutes. Omdat er niet direct gebruik wordt gemaakt van radioactieve hulpstoffen en het huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil naar alle waarschijnlijkheid geen radioactieve materialen bevatten, zijn de resultaten voor deze milieu-indicator volledig te verklaren door het gebruik of de uitsparing van elektriciteit geproduceerd in een kerncentrale. Een deel van de Belgische elektriciteitsmix wordt geproduceerd met behulp van kerncentrales.

H.3.1 Bestaande verwerkroutes

Omdat we rekenen met de vervanging van de gemiddelde elektriciteitsmix van België, scoort de verwerkroute die netto de meeste elektriciteit levert aan het elektriciteitsnet altijd het best op deze milieu-indicator.

De volgende tabellen laten de hoeveelheid netto geproduceerde elektriciteit zien met daarbij de ioniserende straling. Deze komen overeen voor zowel huisvuil verwerking als de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Om het resultaat inzichtelijk te maken zijn de resultaten gerangschikt van laagste netto elektriciteitsproductie naar hoogste netto elektriciteitsproductie.

Tabel 95 Netto elektriciteitsproductie verwerking huisvuil en ioniserende straling per bestaande verwerkroute (2020-2025)

Verwerkroute	Netto elektriciteits-productie per ton afval (MJe)	Ioniserende straling (kg kBq Co-60-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	682	-80,61
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	1.620	-183,26
Verbranding in conventionele AVI	1.930	-216,75
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	2.520	-281,97

Tabel 96 Netto elektriciteitsproductie verwerking bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en ioniserende straling per bestaande verwerkroute (2020-2025)

Verwerkroute	Netto elektriciteits-productie per ton afval (MJe)	Ioniserende straling (kg kBq Co-60-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	1.400	-160,98
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	2.289	-256,83
Verbranding in conventionele AVI	2.590	-290,61
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	3.180	-355,73

14.1.1 Theoretische verwerkroutes

Omdat we rekenen met de vervanging van de gemiddelde elektriciteitsmix van België, scoort de verwerkroute die netto de meeste elektriciteit levert aan het elektriciteitsnet altijd het best op deze milieu-indicator.

Volgende tabellen laten de hoeveelheid netto geproduceerde elektriciteit zien met daarbij de ioniserende straling. Deze komen overeen voor zowel huisvuil verwerking als de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Om het resultaat inzichtelijk te maken zijn de resultaten gerangschikt van laagste netto elektriciteitsproductie naar hoogste netto elektriciteitsproductie.

Tabel 97 Netto elektriciteitsproductie verwerking huisvuil en ioniserende straling per theoretische verwerkroute (2025-2030)

Verwerkroute	Netto elektriciteits-productie per ton afval (MJe)	Ioniserende straling (kg kBq Co-60-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydropyrolyse	149	-25,80
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydropyrolyse	323	-44,98
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	425	-53,35
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	425	-54,73
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydropyrolyse	484	-62,35
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	855	-102,19
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	988	-116,29
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydropyrolyse	1.150	-138,84
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	1.180	-136,86
Verbranding in conventionele AVI	1.930	-216,75
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	2.660	-301,18
Verbranding in AVI+	2.970	-335,03

Tabel 98 Netto elektriciteitsproductie verwerking bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en ioniserende straling per theoretische verwerkroute (2025-2030)

Verwerkroute	Netto elektriciteits-productie per ton afval (MJe)	Ioniserende straling (kg kBq Co-60-eq.)
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	314	-42,03
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydropyrolyse	414	-57,27
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydropyrolyse	1.130	-137,00
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	1.180	-138,59
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydropyrolyse	1.310	-157,33
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	1.710	-197,47
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydropyrolyse	1.740	-207,34
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	1.950	-225,01
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	2.340	-267,93
Verbranding in conventionele AVI	2.590	-290,61
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	3.670	-414,73
Verbranding in AVI+	3.980	-449,11

H.4 OZONVORMING – MENSELIJKE GEZONDHEID EN ECOSYSTEMEN

Het ontstaan van ozon in de troposfeer kan bij hogere concentraties zorgen voor smogvorming, welke niet bevorderlijk is voor de menselijke gezondheid, flora en fauna. De belangrijkste bron van ozonvorming zijn NO_x-emissies. Deze emissies ontstaan tijdens verbranding van fossiele brandstoffen. Deze milieu-indicator wordt uitgedrukt in kg NO_x-eq.

Bij de vergelijking tussen de verschillende verwerkingsroutes blijken de volgende aspecten invloed te hebben op de uitkomsten op deze milieu-indicatoren:

- directe emissies van NO_x uit afvalverwerking in een residuverwerkingsinstallatie en vermeden emissies door productie elektriciteit, warmte en diesel;

- directe emissies van NO_x uit een nascheidingstechniek;
- emissies door energiegebruik en vermeden emissies door energieproductie;
- vermeden emissies tijdens de productie van kunststoffen;
- vermeden emissies tijdens de productie van ferro en non-ferro metalen.

H.4.1 Bestaande verwerkroutes

De verwerkroutes waarbij de minste hoeveelheid afval verbrand wordt in een AVI en de meeste plastic en metaal worden teruggewonnen leveren een reductie in ozonvorming op. Het gaat hierbij om 'droge scheiding, droge vergisting'. In het geval van verbranding in een conventionele AVI en mechanisch-biologische scheiding belandt (het grootste gedeelte van) het afval in de verbrandingsoven, wat op dit moment minimaal leidt tot een emissie van 0,433 kg NO_x per ton afval.

De reden dat de verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie' een hogere milieu-impact heeft op deze milieu-indicator komt omdat er tijdens de verbranding van biogas in een WKK ook NO_x vrijkomt. Door de hoge productie van biogas in deze verwerkroute komt er ook veel NO_x vrij, daarbij komt dan nog de NO_x-emissie uit de residuverwerking in de conventionele AVI.

Tabel 99 Residu naar AVI en ozonvorming per bestaande verwerkroute (2020-2025) - huisvuil

Verwerkroute	Residu naar residuverwerking per ton afval (kg)	Ozonvorming - menselijke gezondheid (kg NO _x -eq.)	Ozonvorming – ecosystemen (kg NO _x -eq.)
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	319	-0,19	-0,22
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	648	0,05	0,04
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	733	0,32	0,31
Verbranding in conventionele AVI	1.000	0,17	0,16

Tabel 100 Residu naar AVI en ozonvorming per bestaande verwerkroute (2020-2025) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Verwerkroute	Residu naar residuverwerking per ton afval (kg)	Ozonvorming - menselijke gezondheid (kg NO _x -eq.)	Ozonvorming – ecosystemen (kg NO _x -eq.)
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	615	-0,21	-0,24
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	712	0,28	0,27
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	764	0,02	0,00
Verbranding in conventionele AVI	1.000	0,09	0,08

H.4.2 Theoretische verwerkroutes

In het geval van de theoretische verwerkroutes volstaat een weergave van de hoeveelheid residuproductie niet meer omdat het residu op verschillende manieren verwerkt wordt. We laten daarom in volgende tabellen alleen de resultaten zien per verwerkroute (geordend van laagste naar hoogste ozonvorming).

Uit deze resultaten blijkt dat het voorkomen van ozonvorming voor de verschillende theoretische verwerkroutes vergelijkbaar is en dat over het algemeen de verwerking van residu in een AVI+ tot een grotere reductie in ozonvorming leidt dan residuverwerking met behulp hydrolyse. Dit komt door de hogere hoeveelheid energieproductie in het geval van residuverwerking in een AVI+ dan bij hydrolyse.

Tabel 101 Ozonvorming per theoretische verwerkroute (2025-2030) - huisvuil

Verwerkroute	Ozonvorming -menselijke gezondheid (kg NO _x -eq.)	Ozonvorming – ecosystemen (kg NO _x -eq.)
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	-0,54	-0,58
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	-0,43	-0,47
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	-0,50	-0,54
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	-0,41	-0,45
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	-0,44	-0,46
Verbranding in AVI+	-0,41	-0,43
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	-0,35	-0,39
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	-0,28	-0,31
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI	-0,28	-0,32
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	-0,19	-0,23
Verbranding in conventionele AVI	0,17	0,16

Tabel 102 Ozonvorming per theoretische verwerkroute (2025-2030) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Verwerkroute	Ozonvorming - menselijke gezondheid (kg NO _x -eq.)	Ozonvorming – ecosystemen (kg NO _x -eq.)
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	-0,66	-0,70
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	-0,64	-0,69
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	-0,62	-0,65
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	-0,61	-0,64
Verbranding in AVI+	-0,61	-0,64
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	-0,51	-0,56
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	-0,50	-0,55
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	-0,49	-0,54
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	-0,42	-0,46
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI	-0,27	-0,31
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	-0,22	-0,27
Verbranding in conventionele AVI	0,09	0,08

H.5 FIJNSTOFVORMING

Fijnstof, ook wel ‘zwevend stof’ genoemd, is een mengsel van afzonderlijke deeltjes (vloeibare of vaste) met uiteenlopende samenstellingen en afmetingen. Het geheel aan deeltjes dat in de lucht blijft zweven valt onder de noemer fijnstof. De bronnen van antropogeen fijnstof zijn divers. Verbranding van grondstoffen en brandstoffen is een belangrijke bron van fijnstof. Fijne roetdeeltjes en gasvormige componenten komen hierbij vrij. Fijnstof dat veroorzaakt wordt door verbrandingsreacties behoort meestal tot de kleinste fracties van fijnstof. Andere bronnen van fijnstof zijn bijvoorbeeld het opwaaien van zand en vrijkomende deeltjes bij mechanische processen zoals vermalen of vergruizen (graan, beton).

Afhankelijk van hun grootte worden de stofdeeltjes afgezet in de neus-, keel- en mondholte, longen of de longblaasjes. De kleinere deeltjes dringen het diepst door in de longen. Fijnstof leidt zodoende tot gezondheidseffecten. Het verergert COPD⁸³ en astma en kan hartaandoeningen veroorzaken (ritmestoornissen, ontstekingen).

De milieu-indicator fijnstofvorming wordt uitgedrukt in PM_{2,5}-equivalenten. PM staat voor *particulate matter* en 2,5 is een aanduiding van het formaat van de deeltjes. Zowel stofemissies, NO_x-emissies als SO₂-emissies dragen bij aan fijnstofvorming.

Bij de vergelijking tussen de verschillende verwerkingsroutes blijken de volgende aspecten invloed te hebben op de uitkomsten op deze milieu-indicator:

- directe emissies van NO_x en stof uit afvalverbranding in AVI en vermeden emissies door productie elektriciteit en warmte;
- directe emissies van NO_x tijdens verbranding van biogas in een WKK;
- overige directe emissies;
- vermeden emissies tijdens de productie van ferro en non-ferro metalen.

H.5.1 Bestaande verwerkroutes

Alle verwerkroutes leveren vermeden fijnstofvorming op door de terugwinning van metaal en de productie van energie. Door met name de emissie van NO_x tijdens de afvalverbranding leveren de routes waarbij zo min mogelijke residu verbrand wordt het meeste voordeel op. De volgende tabellen laten de relatie zien tussen residu en fijnstofvorming. In volgende figuur is te zien dat met name 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI' een uitzondering is op deze samenhang. Dit komt omdat er veel biogas geproduceerd wordt in deze route en bij de verbranding van biogas in een WKK, zoals aangenomen in de basisanalyse, vrij veel emissies vrijkomen.

Tabel 103 Residuverwerking huisvuil en fijnstofvorming per bestaande verwerkroute (2020-2025)

Verwerkroute	Residu naar Residu-verwerking per ton afval (kg)	Fijnstofvorming (kg pm _{2,5} -eq.)
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	319	-0,37
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	648	-0,19
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	733	-0,11
Verbranding in conventionele AVI	1.000	-0,17

Tabel 104 Residuverwerking bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en fijnstofvorming per bestaande verwerkroute (2020-2025)

Verwerkroute	Residu naar residuverwerking per ton afval (kg)	Fijnstofvorming (kg pm _{2,5} -eq.)
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	615	-0,49
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	712	-0,15
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	764	-0,24
Verbranding in conventionele AVI	1.000	-0,23

⁸³ Chronische Obstructieve Long Ziekte

H.5.2 Theoretische verwerkroutes

Bij de theoretische verwerkroutes gaat de samenhang tussen de hoeveelheid residu en fijnstofvorming niet meer helemaal op, om de volgende redenen:

- Er is altijd een verschil te zien tussen de twee typen residuverwerking. Residuverwerking in een AVI+ levert altijd iets minder voordeel oplevert op de milieu-indicator fijnstofvorming dan verwerking met behulp van geïntegreerde hydropyrolyse. Dit komt door de productie van diesel, en het vermijden van de productie van diesel.
- Verbranding in een conventionele AVI levert minder vermeden fijnstofvorming dan verbranding in een AVI+ door het hogere energie-rendement in een AVI+.

Tabel 105 Fijnstofvorming per theoretische verwerkroute (2025-2030) - huisvuil

Verwerkroute	Residu naar residuverwerking per ton afval (kg)	Fijnstofvorming (kg PM _{2,5} -eq.)
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	0	-0,32
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	319	-0,43
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydropyrolyse	319	-0,49
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	357	-0,41
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	357	-0,46
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydropyrolyse	357	-0,50
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	413	-0,39
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydropyrolyse	413	-0,43
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	648	-0,32
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydropyrolyse	648	-0,44
Verbranding in AVI+	1.000	-0,33
Verbranding in conventionele AVI	1.000	-0,17

Tabel 106 Fijnstofvorming per theoretische verwerkroute (2025-2030) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Verwerkroute	Residu naar residuverwerking per ton afval (kg)	Fijnstofvorming (kg PM _{2,5} -eq.)
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	0	-0,37
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	464	-0,43
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydropyrolyse	464	-0,34
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	514	-0,53
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	514	-0,63
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydropyrolyse	514	-0,69
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	615	-0,61
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydropyrolyse	615	-0,70
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	764	-0,42
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydropyrolyse	764	-0,57
Verbranding in AVI+	1.000	-0,43
Verbranding in conventionele AVI	1.000	-0,23

H.6 TERRESTRISCHE VERZURING

Verzuring wordt omschreven als de gezamenlijke effecten van luchtverontreinigende stoffen die via de atmosfeer worden aangevoerd en waaruit zuren (zwavelzuur en salpeterzuur) kunnen worden gevormd. Voorbeelden zijn SO₂, NO_x en NH₃. Deze zuren kunnen via droge en natte depositie (regen) neerslaan op de bodem. Verzurende stoffen hebben lange verblijftijden in de atmosfeer en kunnen daardoor over lange afstanden getransporteerd worden. Dit geldt vooral voor SO₂ en NO_x.

Verzuring geeft effecten op gezondheid en ecosystemen. Zwaveldioxide werkt in op de slijmvliesmembranen van de mond, neus en longen. Verzuring van de bodem leidt tot verminderde plantengroei en ziektes bij planten. Ook het bodemleven, zoals schimmels en regenwormen, kunnen schade ondervinden van verzuring.

Bij de vergelijking tussen de verschillende verwerkingsroutes blijken de volgende aspecten invloed te hebben op de uitkomsten op deze milieu-indicator:

- directe emissie van NO_x uit afvalverbranding in een AVI en vermeden emissies (NO_x, SO₂) door productie elektriciteit en warmte;
- directe emissie van NO_x tijdens verbranding van biogas in een WKK;
- vermeden emissies tijdens de productie van ferro en non-ferro metalen;
- vermeden emissies tijdens de productie van kunststoffen.

H.6.1 Bestaande verwerkroutes

Alle verwerkroutes leveren vermeden terrestrische verzuring op door de terugwinning van metaal en de productie van energie. Door de terugwinning van kunststof en de emissie van NO_x tijdens de afvalverbranding leveren de routes waarbij zo min mogelijk residu verbrand wordt (en zoveel mogelijk kunststof wordt afgescheiden) het meeste voordeel op. Volgende tabellen laten de relatie zien tussen kunststofproductie en terrestrische verzuring.

Tabel 107 Terugwinning kunststof uit huisvuil en terrestrische verzuring per bestaande verwerkroute (2020-2025)

Verwerkroute	Kunststofterugwinning per ton afval (kg)	Terrestrische verzuring (kg SO ₂ -eq.)
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	0,0	-0,54
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	0,0	-0,27
Verbranding in conventionele AVI	0,0	-0,44
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	55,6	-0,78

Tabel 108 Terugwinning kunststof uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en terrestrische verzuring per bestaande verwerkroute (2020-2025)

Verwerkroute	Kunststof-terugwinning per ton afval (kg)	Terrestrische verzuring (kg SO ₂ -eq.)
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	0,0	-0,38
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	0,0	-0,69
Verbranding in conventionele AVI	0,0	-0,60
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	70,7	-0,97

H.6.2 Theoretische verwerkroutes

Voor de theoretische verwerkroutes is de verhouding tussen kunststofterugwinning en terrestrische verzuring iets minder duidelijk, om de volgende redenen:

- Er is altijd een verschil te zien tussen de twee typen residuverwerking. Residuverwerking in een AVI+ levert altijd iets minder voordeel op de milieu-indicator terrestrische verzuring dan verwerking met behulp van geïntegreerde hydrolyse. Dit komt door de productie van diesel, en het vermijden van de productie van diesel.

Tabel 109 Terugwinning kunststof uit huisvuil en terrestrische verzuring per theoretische verwerkroute (2025-2030)

Verwerkroute	Kunststof-terugwinning per ton afval (kg)	Terrestrische verzuring (kg SO ₂ -eq.)
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	0,0	-0,94
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	0,0	-1,25
Verbranding in AVI+	0,0	-0,92
Verbranding in conventionele AVI	0,0	-0,44
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	52,5	-1,04
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	52,5	-1,16
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	55,6	-0,97
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	55,6	-1,12
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	64,4	-0,85
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	89,0	-0,80
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	89,0	-0,98
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	89,0	-1,07

Tabel 110 Terugwinning kunststof uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en terrestrische verzuring per theoretische verwerkroute (2025-2030)

Verwerkroute	Kunststof-terugwinning per ton afval (kg)	Terrestrische verzuring (kg SO ₂ -eq.)
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	0,0	-1,23
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	0,0	-1,64
Verbranding in AVI+	0,0	-1,21
Verbranding in conventionele AVI	0,0	-0,60
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	36,9	-1,18
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	36,9	-1,38
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	66,6	-0,93
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	70,7	-1,34
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	70,7	-1,58
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI	104,0	-0,95
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	104,0	-1,26
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	104,0	-1,42

H.7 ZOETWATERVERMESTING EN ZOUTWATERVERMESTING

Bij vermessing komen er nutriënten terecht in een ecosysteem, als dit in te grote hoeveelheden gebeurt levert dit problemen op zoals een reductie in biodiversiteit. De biodiversiteit neemt af maar vaak ziet men wel een wildgroei aan een aantal bepaalde planten. Zowel in het geval van zoetwater als zoutwatervermessing neemt algengroei bijvoorbeeld toe

Het resultaat voor zoetwatervermessing wordt uitgedrukt in kg fosfor-equivalent en voor zoutwatervermessing in stikstof-equivalent. Uit de vergelijking van de verschillende routes blijkt dat de volgende aspecten een rol spelen voor deze milieu-indicatoren:

- De belangrijkste factor is de terugwinning van metaal, en dan met name koper.
Bij de productie van koper komt fosfaat en nitraat vrij uit de afvalproducten. Het terugwinnen van koper uit afval leidt dus tot het voorkomen van deze emissie.
- Netto elektriciteitsproductie: Door elektriciteit te produceren wordt productie van de Belgische marktmix aan elektriciteit voorkomen:
 - Minder zoetwatervermessing: België produceert niet alleen zelf elektriciteit maar importeert ook elektriciteit van andere Europese landen, dit is onderdeel van de Belgische marktmix. Bij het mijnen van bruinkool voor de elektriciteitsproductie in Duitsland komen fosfor-emissies vrij. Deze emissies worden voorkomen bij netto elektriciteitsproductie.
 - Minder zoutwatervermessing: Een deel van de Belgische elektriciteit wordt geproduceerd in kerncentrales. Tijdens de winning van het uranium dat hiervoor nodig is komt nitraat vrij.

H.7.1 Bestaande verwerkroutes

De vergelijking tussen de verschillende verwerkroutes wordt met name bepaald door de terugwinning van non-ferro metaal. In volgende tabellen is te zien wat de correlatie is tussen de hoeveelheid teruggewonnen non-ferro metaal en de vermeden impact op zoetwater- en zoutwatervermessing.

Alle bekeken routes zorgen voor een reductie in zoetwater- en zoutwatervermessing omdat in alle routes non-ferro metaal wordt uitgesorteerd (of dit nou bij de residuverwerking of in de nascheidingsinstallatie is). De hoogste terugwinning van non-ferro metaal gebeurt bij 'droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI'.

Tabel 111 Terugwinning non-ferro metaal uit huisvuil en vermessing per bestaande verwerkroute (2020-2025)

Verwerkroute	Terugwinning non-ferro metaal per ton afval (kg)	Zoetwater vermessing (kg P-eq.)	Zoutwater vermessing (kg N-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	2,00	-0,07	-0,0089
Verbranding in conventionele AVI	2,80	-0,09	-0,0091
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	3,70	-0,10	-0,0092
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	3,80	-0,11	-0,0073

Tabel 112 Terugwinning non-ferro metaal uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en vermesting per bestaande verwerkroute (2020-2025)

Verwerkroute	Terugwinning non-ferro metaal per ton afval (kg)	Zoetwater vermesting (kg P-eq.)	Zoutwater vermesting (kg N-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	1,90	-0,09	-0,0112
Verbranding in conventionele AVI	3,40	-0,11	-0,0118
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	4,50	-0,12	-0,0121
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	4,60	-0,15	-0,0110

H.7.2 Theoretische verwerkroutes

Tabel 113 Terugwinning non-ferro metaal uit huisvuil en vermesting per theoretische verwerkroute (2025-2030)

Verwerkroute	Terugwinning non-ferro metaal per ton afval (kg)	Zoetwater vermesting (kg P-eq.)	Zoutwater vermesting (kg N-eq.)
Verbranding in conventionele AVI	2,80	-0,09	-0,0091
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	2,80	-0,08	-0,0055
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	3,05	-0,09	-0,0065
Verbranding in AVI+	3,20	-0,11	-0,0131
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	3,30	-0,10	-0,0078
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	3,53	-0,10	-0,0075
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	3,34	-0,10	-0,0075
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	3,56	-0,11	-0,0089
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	3,60	-0,10	-0,0094
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	3,70	-0,12	-0,0126
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	3,70	-0,11	-0,0075
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	3,80	-0,12	-0,0090

Tabel 114 Terugwinning non-ferro metaal uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en vermesting per theoretische verwerkroute (2025-2030)

Verwerkroute	Terugwinning non-ferro metaal per ton afval (kg)	Zoetwater vermesting (kg P-eq.)	Zoutwater vermesting (kg N-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	3,40	-0,10	-0,0072
Verbranding in conventionele AVI	3,40	-0,11	-0,0118
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	3,66	-0,10	-0,0069
Verbranding in AVI+	3,90	-0,15	-0,0169
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	4,00	-0,12	-0,0106
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	4,30	-0,14	-0,0110
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	4,10	-0,14	-0,0115
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	4,30	-0,15	-0,0135
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	4,40	-0,13	-0,0125
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	4,50	-0,15	-0,0166
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	4,50	-0,16	-0,0120
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	4,60	-0,17	-0,0141

H.8 ECOTOXICITEIT BODEM, ZOETWATER EN ZOUTWATER

De milieu-indicatoren ecotoxiciteit bodem, zoetwater en zoutwater geven de impact weer van toxische stoffen op het bodemleven en aquatische milieus en daarmee de ecosystemen die hiermee samenhangen.

Ecotoxiciteit wordt uitgedrukt in kg 1,4-DCB-eq (1,4-dichlorobenzene). De belangrijkste toxische stoffen die meespelen in de vergelijking van de verschillende routes zijn de zware metalen koper, nikkel en zink.

Uit de vergelijking van de verschillende routes blijkt dat de volgende aspecten een rol spelen voor deze milieu-indicator:

- De belangrijkste factor is de terugwinning van metaal, en dan met name koper. Bij de productie van koper komen koper en zink vrij. Het terugwinnen van koper uit afval leidt dus tot het voorkomen van deze emissies.
- De terugwinning van kunststoffen, en dan gemixte kunststof en folies. Deze kunststoffracties vervangen deels gecoat staal dat gecoat wordt met zink. Emissies van zink worden dus voorkomen.

H.8.1 Bestaande verwerkroutes

Alle verwerkroutes zorgen voor een reductie van ecotoxiciteit. Hoe meer non-ferro metaal, mixed kunststof en folies er worden teruggewonnen hoe groter de reductie. In het geval van verwerking in een conventionele AVI, 'mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI' en 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI' worden geen kunststoffen afgescheiden deze zorgen dus voor een lagere reductie dan de andere nascheidingverwerkroutes. De route 'droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI' levert de meeste terugwinning van kunststoffen op en levert daarom de hoogste reductie van ecotoxiciteit op.

H.8.2 Theoretische verwerkroutes

Alle theoretische verwerkroutes zorgen voor een reductie van ecotoxiciteit. Hoe meer non-ferro metaal, mixed kunststof en folies er worden teruggewonnen hoe groter de reductie. De route 'natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+' levert de meeste terugwinning van kunststoffen op en levert daarom de hoogste reductie van ecotoxiciteit op.

H.9 HUMANE TOXICITEIT – CARCINOGEEN

Humane toxiciteit betreft stoffen die tot gezondheidsschade kunnen leiden bij de mens en die primair toxisch van aard zijn. Het gaat hierbij om zware metalen, gechloreerde koolwaterstoffen, dioxine, pesticiden en biociden en verbindingen uit de chemische industrie. De milieu-indicator 'toxiciteit – carcinogeen' richt zich op de stoffen die kankerverwekkend zijn. Toxiciteit wordt uitgedrukt in de relatieve toxiciteit van de stof 1,4-dichlorobenzeen.

Uit de vergelijking van de verschillende routes blijkt dat de volgende aspecten een rol spelen voor deze milieu-indicator:

- De belangrijkste factor is de terugwinning van metaal, en dan met name aluminium. Bij de productie van aluminium komt uit de rode aarde chroom VI vrij. Het terugwinnen van aluminium uit afval leidt dus tot het voorkomen van deze emissie.
- De terugwinning van kunststoffen. De kunststoffracties gemixte kunststof en folies vervangen deels gecoat staal. Tijdens de productie van staal komen chroom VI vrij uit de slakken.

H.9.1 Bestaande verwerkroutes

Alle verwerkroutes zorgen voor een reductie van humane toxiciteit (carcinogeen). Hoe meer non-ferro metaal, mixed kunststof en folies er worden teruggewonnen hoe groter de reductie. In het geval van verwerking in een conventionele AVI, 'mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI' en 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI' worden geen kunststoffen afgescheiden deze zorgen dus voor een lagere reductie dan de andere nascheidingverwerkroutes. De route 'droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI' levert de meeste terugwinning van kunststoffen op en levert daarom de hoogste reductie van humane toxiciteit (carcinogeen) op.

Tabel 115 Non-ferro en kunststofterugwinning uit huisvuil en humane toxiciteit (carcinogeen) per bestaande verwerkroute (2020-2025)

Verwerkroute	Terugwinning non-ferro metaal per ton afval (kg)	Terugwinning kunststof per ton afval (kg)	Humane toxiciteit (carcinogeen) (kg 1,4-DCB-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	2,00	0,0	-7,00
Verbranding in conventionele AVI	2,80	0,0	-7,81
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	3,70	0,0	-9,94
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	3,80	55,6	-24,59

Tabel 116 Non-ferro en kunststofterugwinning uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en humane toxiciteit (carcinogeen) per bestaande verwerkroute (2020-2025)

Verwerkroute	Terugwinning non-ferro metaal per ton afval (kg)	Terugwinning kunststof per ton afval (kg)	Humane toxiciteit (carcinogeen) (kg 1,4-DCB-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	1,90	0,0	-8,84
Verbranding in conventionele AVI	3,40	0,0	-9,87
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	4,50	0,0	-12,25
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	4,60	70,7	-37,80

H.9.2 Theoretische verwerkroutes

Alle theoretische verwerkroutes zorgen voor een reductie van humane toxiciteit (carcinogeen). Hoe meer non-ferro metaal, mixed kunststof en folies er worden teruggewonnen hoe groter de reductie. De route 'natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+' levert de meeste terugwinning van kunststoffen op en levert daarom de hoogste reductie van humane toxiciteit (carcinogeen) op.

Tabel 117 Non-ferro en kunststofterugwinning uit huisvuil en humane toxiciteit (carcinogeen) per theoretische verwerkroute (2025-2030)

Verwerkroute	Teugwinning non-ferro metaal per ton afval (kg)	Terugwinning kunststof per ton afval (kg)	Humane toxiciteit (carcinogeen) (kg 1,4-DCB-eq.)
Verbranding in conventionele AVI	2,80	0,0	-7,81
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	2,80	52,5	-11,74
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	3,05	64,4	-12,65
Verbranding in AVI+	3,20	0,0	-13,22
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	3,30	52,5	-13,70
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	3,53	89,0	-29,97
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	3,34	89,0	-30,59
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	3,56	89,0	-31,92
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	3,60	0,0	-11,81
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	3,70	0,0	-14,01
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	3,70	55,6	-25,53
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	3,80	55,6	-26,59

Tabel 118 Non-ferro en kunststofterugwinning uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en humane toxiciteit (carcinogeen) per theoretische verwerkroute (2025-2030)

Verwerkroute	Terugwinning non-ferro metaal per ton afval (kg)	Terugwinning kunststof per ton afval (kg)	Humane toxiciteit (carcinogeen) (kg 1,4-DCB-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	3,40	36,9	-7,81
Verbranding in conventionele AVI	3,40	0,0	-11,74
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	3,66	66,6	-13,45
Verbranding in AVI+	3,90	0,0	-13,22
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	4,00	36,9	-13,70
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	4,30	104,0	-45,43
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	4,10	104,0	-30,59
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	4,30	104,0	-31,92
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	4,40	0,0	-11,81
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	4,50	0,0	-14,01
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	4,50	70,7	-25,53
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	4,60	70,7	-26,59

H.10 HUMANE TOXICITEIT – NIET-CARCINOGEEN

Humane toxiciteit betreft stoffen die tot gezondheidsschade kunnen leiden bij de mens en die primair toxisch van aard zijn. Het gaat hierbij om zware metalen, gechlorideerde koolwaterstoffen, dioxine, pesticiden en biociden en verbindingen uit de chemische industrie. De milieu-indicator 'toxiciteit – niet-carcinogeen' richt zich op de stoffen die niet kankerverwekkend zijn. Toxiciteit wordt uitgedrukt in de relatieve toxiciteit van de stof 1,4-dichlorobenzene.

Uit de vergelijking van de verschillende routes blijkt dat de volgende aspecten een rol spelen voor deze milieu-indicator:

- De belangrijkste factor is de terugwinning van metaal, en dan met name koper. Bij de productie van koper komt zink vrij uit de afvalstoffen. Het terugwinnen van koper uit afval leidt dus tot het voorkomen van deze emissie.
- De terugwinning van kunststoffen. De kunststoffracties gemixte kunststof en folies vervangen deels gecoat staal met zink. Tijdens de productie van staal komt zink vrij uit de slakken en er komen emissies vrij tijdens de zinkproductie.

H.10.1 Bestaande verwerkroutes

Alle bestaande verwerkroutes zorgen voor een reductie van humane toxiciteit (niet-carcinogeen). Hoe meer non-ferro metaal, mixed kunststof en folies er worden teruggewonnen hoe groter de reductie. In het geval van verwerking in een conventionele AVI, 'mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI' en 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI' worden geen kunststoffen afgescheiden deze zorgen dus voor een lagere reductie dan de andere nascheidingverwerkroutes.

De route 'droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI' levert de meeste terugwinning van kunststoffen op en levert daarom de hoogste reductie van humane toxiciteit (niet-carcinogeen) op.

Tabel 119 Non-ferro en kunststofterugwinning uit huisvuil en humane toxiciteit (niet-carcinogeen) per bestaande verwerkroute (2020-2025)

Verwerkroute	Terugwinning non-ferro metaal per ton afval (kg)	Terugwinning kunststof per ton afval (kg)	Humane toxiciteit (niet-carcinogeen) (kg 1,4-DCB-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	2,00	0,0	-195,85
Verbranding in conventionele AVI	2,80	0,0	-268,17
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	3,70	0,0	-380,01
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	3,80	55,6	-480,25

Tabel 120 Non-ferro en kunststofterugwinning uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en humane toxiciteit (niet-carcinogeen) per bestaande verwerkroute (2020-2025)

Verwerkroute	Terugwinning non-ferro metaal per ton afval (kg)	Terugwinning kunststof per ton afval (kg)	Humane toxiciteit (niet-carcinogeen) (kg 1,4-DCB-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	1,90	0,0	-248,86
Verbranding in conventionele AVI	3,40	0,0	-332,25
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	4,50	0,0	-457,06
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	4,60	70,7	-636,43

H.10.2 Theoretische verwerkroutes

Alle theoretische verwerkroutes zorgen voor een reductie van humane toxiciteit (niet-carcinogeen). Hoe meer non-ferro metaal, mixed kunststof en folies er worden teruggewonnen hoe groter de reductie. De route 'natte

scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+' levert de meeste terugwinning van kunststoffen op en levert daarom de hoogste reductie van humane toxiciteit (niet-carcinogeen) op.

Tabel 121 Non-ferro en kunststofterugwinning uit huisvuil en humane toxiciteit (niet-carcinogeen) per theoretische verwerkroute (2025-2030)

Verwerkroute	Terugwinning non-ferro metaal per ton afval (kg)	Terugwinning kunststof per ton afval (kg)	Humane toxiciteit (niet-carcinogeen) (kg 1,4-DCB-eq.)
Verbranding in conventionele AVI	2,80	0,0	-268,17
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	2,80	52,5	-346,41
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	3,05	64,4	-379,49
Verbranding in AVI+	3,20	0,0	-422,71
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	3,30	52,5	-418,44
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	3,34	89,0	-518,90
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	3,53	89,0	-517,93
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	3,56	89,0	-568,32
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	3,60	0,0	-405,44
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	3,70	0,0	-471,52
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	3,70	55,6	-493,65
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	3,80	55,6	-527,06

Tabel 122 Non-ferro en kunststofterugwinning uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en humane toxiciteit (niet-carcinogeen) per theoretische verwerkroute (2025-2030)

Verwerkroute	Terugwinning non-ferro metaal per ton afval (kg)	Terugwinning kunststof per ton afval (kg)	Humane toxiciteit (niet-carcinogeen) (kg 1,4-DCB-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	3,40	36,9	-391,12
Verbranding in conventionele AVI	3,40	0,0	-332,25
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	3,66	66,6	-426,81
Verbranding in AVI+	3,90	0,0	-522,29
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	4,00	36,9	-499,28
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	4,30	104,0	-683,38
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	4,10	104,0	-678,95
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	4,30	104,0	-772,22
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	4,40	0,0	-476,14
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	4,50	0,0	-581,99
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	4,50	70,7	-646,37
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	4,60	70,7	-734,19

H.11 LANDGEBRUIK

Het resultaat voor landgebruik wordt m^2a , oftewel vierkante meter landgebruik per jaar. Uit de vergelijking van de verschillende routes blijkt dat de volgende aspecten een rol spelen voor deze milieu-indicatoren:

- Netto elektriciteitsproductie: Door elektriciteit te produceren wordt productie van de Belgische marktmix aan elektriciteit voorkomen. Een onderdeel van de Belgische elektriciteitsmix is elektriciteit geproduceerd in een biomassacentrale. Hierbij wordt biomassa gebruikt die uiteraard land behoeft om te groeien.
- Terugwinning van kunststoffen: De terugwinning van folies en gemixt kunststof leidt tot het voorkomen van het gebruik van hout in straatmeubilair.

De verhouding tussen de twee is ongeveer:

- 200 MJ opgewekte elektriciteit = $1 \text{ m}^2\text{a}$ landgebruik;
- 1 kg gerecycled kunststof = $1 \text{ m}^2\text{a}$ landgebruik.

H.11.1 Bestaande verwerkroutes

In de routes “natte scheiding, natte vergisting” en “droge scheiding, droge vergisting” wordt kunststof gescheiden en gerecycled. Een deel van dit kunststof (met name mix kunststof en LDPE) wordt ingezet in straatmeubilair zie Sectie 6.5.2 voor meer toelichting. Straatmeubilair wordt op dit moment in 1/3^{de} van de gevallen van hout geproduceerd. Bij gelijkblijvende vraag naar straatmeubilair, neemt de vraag naar hout dus af en is er minder landoppervlak nodig voor de verbouwing van hout. De recyclage van kunststof rekent daarom sterk door in het voorkomen van landgebruik, en deze twee routes voorkomen daarmee meer landgebruik dan integrale verbranding in een conventionele AVI.

De route “droge scheiding, droge vergisting” levert de grootste voorkoming van landgebruik op.

Tabel 123 Elektriciteitsproductie en kunststofterugwinning uit huisvuil en landgebruik per bestaande verwerkroute (2020-2025)

Verwerkroute	Netto elektriciteitsproductie per ton afval (MJe)	Terugwinning kunststof per ton afval (kg)	Landgebruik (m^2a)
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	682	55,6	-41,74
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	1.620	0,0	-8,52
Verbranding in conventionele AVI	1.930	0,0	-9,79
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	2.520	0,0	-12,29

Tabel 124 Elektriciteitsproductie en kunststofterugwinning uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en landgebruik per bestaande verwerkroute (2020-2025)

Verwerkroute	Netto elektriciteitsproductie per ton afval (MJe)	Terugwinning kunststof per ton afval (kg)	Landgebruik (m^2a)
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	1400	70,7	-74,11
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	2289	0,0	-11,76
Verbranding in conventionele AVI	2590	0,0	-13,06
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	3180	0,0	-15,53

H.11.2 Theoretische verwerkroutes

Alle theoretische verwerkroutes leiden tot een reductie in landgebruik. Te zien in volgende tabellen is weer dat een combinatie van netto elektriciteitsproductie en kunststofterugwinning zorgt voor de grootste reductie in landgebruik. Dit is het geval in de verwerkroutes “natte scheiding, natte vergisting” en “droge scheiding, droge vergisting” in combinatie met een residuverwerkingstechniek.

De route “droge scheiding, droge vergisting” levert een grotere voorkoming van landgebruik op niet omdat er meer kunststof gerecycled wordt maar omdat “natte scheiding, natte vergisting” gebruik maakt van enzymen in het proces die geproduceerd worden met biogene grondstoffen waar ook land voor nodig is.

Tabel 125 Elektriciteitsproductie en kunststofterugwinning uit huisvuil en landgebruik per theoretische verwerkroute (2025-2030)

Verwerkroute	Netto elektriciteitsproductie per ton afval (MJe)	Terugwinning kunststof per ton afval (kg)	Landgebruik (m ² a)
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	149	52,5	-2,78
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	425	64,4	-111,07
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	425	89,0	-38,97
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	323	89,0	-39,08
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	484	55,6	-41,55
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	855	89,0	-41,16
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	988	52,5	-6,13
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	1.150	0,0	-7,86
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	1.180	55,6	-44,25
Verbranding in conventionele AVI	1.930	0,0	-9,79
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	2.660	0,0	-13,78
Verbranding in AVI+	2.970	0,0	-15,13

Tabel 126 Elektriciteitsproductie en kunststofterugwinning uit bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en landgebruik per theoretische verwerkroute (2025-2030)

Verwerkroute	Netto elektriciteitsproductie per ton afval (MJe)	Terugwinning kunststof per ton afval (kg)	Landgebruik (m ² a)
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	414	36,9	-4,35
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	314	66,6	-4,63
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	1180	104,0	-81,49
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	1130	104,0	-82,18
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	1310	70,7	-74,95
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	1710	36,9	-9,56
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	1.740	0,0	-11,27
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	1.950	104,0	-85,36
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	2.340	70,7	-78,90
Verbranding in conventionele AVI	2.590	0,0	-13,06
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	3.670	0,0	-18,81
Verbranding in AVI+	3.980	0,0	-20,20

H.12 SCHAARSTE – MINERALEN

Schaarste van minerale grondstoffen wordt veroorzaakt door het gebruik van verschillende mineralen. Deze mineralen, zoals kopererts en gouderts, worden in de ReCiPe-methodiek uitgedrukt in een kilogram koper-eq. In deze indicator zie je dus met name de recycling van metalen terug.

Zoals hieronder besproken bij de schadecategorie 'economische schade door uitputting grondstoffen' hoeven we minder waarde te hechten aan de schade op deze indicator dan de schade in de milieu-indicator 'schaarste – fossiele grondstoffen' omdat deze laatste een grotere bijdrage levert aan de schade-indicator.

Zie Bijlage H.17 voor meer toelichting.

H.12.1 Bestaande verwerkroutes

Alle bestaande verwerkroutes zorgen voor voorkoming van schaarste, oftewel ze zorgen ervoor dat de voorraad minerale grondstoffen niet afneemt en dat er zelfs minder gewonnen hoeft te worden (uitgaande van gelijkblijvende vraag naar mineralen). In alle verwerkroutes wordt namelijk metaal teruggewonnen (gerecycled) uit het restafval. Het gaat hierbij om zowel ferro als non-ferro metaal. Naast terugwinning van metaal uit restafval speelt mee bij de resultaten de terugwinning van folies. Folies worden namelijk deels ingezet in straatmeubilair waar ze onder anderen stalen producten vervangen.

De verwerkingsroute die het hoogste aandeel van het metaal in het restafval (ferro en non-ferro metaal) terugwint en daarbij ook folies terugwint scoort het best op deze milieu-indicator. Het gaat hierbij om verwerking van droge scheiding en droge vergisting in combinatie met verbranding van het residu in een conventionele AVI.

Het verschil tussen 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie' en 'verbranding in conventionele AVI' is te verklaren door het verschil in het soort metaal dat wordt teruggewonnen. Er wordt meer non-ferro metaal teruggewonnen in een conventionele AVI dan in deze bestaande verwerkroute. Non-ferro metaal is schaarser dan ferro metaal en wordt dus ook sterker gewaardeerd in deze milieu-indicator.

Tabel 127 Metaalterugwinning verwerking huisvuil en schaarste - mineralen per bestaande verwerkroute (2020-2025)

Verwerkroute	Terugwinning metaal per ton afval (kg)	Terugwinning folie in deze route?	Schaarste – mineralen (kg Cu-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	18,00	Nee	-2,30
Verbranding in conventionele AVI	16,90	Nee	-2,52
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	19,80	Nee	-3,00
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	20,00	Ja	-4,09

Tabel 128 Metaalterugwinning verwerking bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en schaarste - mineralen per bestaande verwerkroute (2020-2025)

Verwerkroute	Terugwinning metaal per ton afval (kg)	Terugwinning folie in deze route?	Schaarste – mineralen (kg Cu-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	20,00	Nee	-2,70
Verbranding in conventionele AVI	19,30	Nee	-3,00
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	22,70	Nee	-3,57
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	23,00	Ja	-5,60

H.12.2 Theoretische verwerkroutes

Ook alle theoretische verwerkroutes zorgen voor voorkoming van schaarste, oftewel ze zorgen ervoor dat de voorraad minerale grondstoffen niet afneemt en dat er zelfs minder gewonnen hoeft te worden (uitgaande van gelijkblijvende vraag naar mineralen). In alle verwerkroutes wordt namelijk metaal teruggewonnen (gerecycled) uit het restafval. Het gaat hierbij om zowel ferro als non-ferro metaal. Naast terugwinning van metaal uit restafval speelt mee bij de resultaten de terugwinning van folies. Folies worden namelijk deels ingezet in straatmeubilair waar ze onder anderen stalen producten vervangen.

De verwerkingsroute die het hoogste aandeel van het metaal in het restafval (ferro en non-ferro metaal) terugwint en daarbij ook folies terugwint scoort het best op deze milieu-indicator. Het gaat hierbij om verwerking van natte scheiding en natte vergisting in combinatie met verbranding van het residu in een AVI+. In deze route worden meer folies teruggewonnen dan 'droge scheiding, droge vergisting, verbanding residu in een AVI+'.

Er is te zien dat residuverwerking in een AVI+ altijd zorgt voor een grotere vermindering van schaarste dan residuverwerking met behulp van geïntegreerde hydropyrolyse. Dit is gemakkelijk te verklaren omdat er meer metaal wordt teruggewonnen in het geval van een AVI+.

Tabel 129 Metaalterugwinning verwerking huisvuil en schaarste - mineralen per theoretische verwerkroute (2025-2030)

Verwerkroute	Terugwinning metaal per ton afval (kg)	Terugwinning folie in deze route	Schaarste – mineralen (kg Cu-eq.)
Verbranding in conventionele AVI	16,90	Nee	-2,52
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydropyrolyse	17,90	Nee	-2,61
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	19,25	Nee	-2,77
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	19,40	Nee	-2,96
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydropyrolyse	19,10	Nee	-3,02
Verbranding in AVI+	18,60	Nee	-3,06
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	19,90	Nee	-3,29
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydropyrolyse	19,70	Ja	-4,10
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydropyrolyse	17,74	Ja	-4,21
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	20,10	Ja	-4,22
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	18,83	Ja	-4,31
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	18,96	Ja	-4,44

Tabel 130 Metaalterugwinning verwerking bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil en schaarste - mineralen per theoretische verwerkroute (2025-2030)

Verwerkroute	Terugwinning metaal per ton afval (kg)	Terugwinning folie in deze route?	Schaarste – mineralen (kg Cu-eq.)
Verbranding in conventionele AVI	19,30	Nee	-3,00
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	20,40	Nee	-3,05
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	21,96	Nee	-3,11
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	22,20	Nee	-3,51
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	22,00	Nee	-3,63
Verbranding in AVI+	21,30	Nee	-3,68
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	22,70	Nee	-3,95
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	22,60	Ja	-5,69
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	23,00	Ja	-5,85
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	20,40	Ja	-5,93
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	21,70	Ja	-6,00
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	21,80	Ja	-6,23

H.13 SCHAARSTE – FOSSIELE GRONDSTOFFEN

Schaarste van fossiele grondstoffen wordt veroorzaakt door het gebruik van verschillende fossiele energiedragers. Deze energiedragers, zoals steenkool, olie en aardgas, worden in de ReCiPe-methodiek uitgedrukt in een kilogram olie-eq. In deze indicator zie je zowel de recyclage van kunststof, de productie van elektriciteit en warmte en de productie van biogas terug. Dit zijn te veel factoren om in tabellen te laten zien, we laten daarom alleen de totale resultaten zien (geordend van minste uitputting naar meeste uitputting).

In deze indicator worden (ongeveer) de volgende getallen aangehouden:

- 45 MJ opgewekte energie = 1 kg olie-eq.;
- 0,8 kg gerecyclede kunststof = 1 kg olie-eq.;
- 1,2 m³ biogas = 1 kg olie-eq.

H.13.1 Bestaande verwerkroutes

Alle bestaande verwerkroutes zorgen voor voorkoming van schaarste, oftewel ze zorgen ervoor dat de voorraad fossiele grondstoffen niet afneemt en dat er zelfs minder gewonnen hoeft te worden (uitgaande van gelijkblijvende vraag naar fossiele grondstoffen). Dit is te verklaren doordat het afval zelf een startwaarde van nul geeft omdat het geen uitputting van grondstoffen veroorzaakt, deze grondstoffenuitputting wordt al toegerekend aan producten die in het afval terecht komen (zoals oliegebruik voor een kunststofverpakking). In de route “droge scheiding, droge vergisting” worden zowel kunststoffen gerecycled en biogas geproduceerd uit de biogene fractie in het afval. Daarnaast wordt het residu verbrand in de conventionele AVI, waardoor warmte en elektriciteit geproduceerd worden. Door de recyclage van kunststoffen en de biogasproductie levert deze route een grotere voorkoming van schaarste op dan integrale verbranding in een conventionele AVI.

In deze indicator hebben de andere twee bestaande verwerkroutes en verbranding in de AVI een vergelijkbare vermeden schaarste.

De reden dat de verwerkroute ‘mechanisch-biologische scheiding’ een iets lagere vermeden schaarste heeft dan verbranding in de AVI is omdat er fossiele energie gebruikt wordt voor het drogen van afval, waarna het alsnog wordt verbrand. Hierbij moet gezegd worden dat de vergelijking tussen deze twee verwerkroutes alleen

klopt als het residu in een AVI met precies hetzelfde rendement wordt verwerkt als het rendement van de conventionele AVI. In de praktijk wordt in Vlaanderen het residu uit 'mechanisch-biologische scheiding' verwerkt in AVIs die een iets hoger rendement hebben dan het gemiddelde rendement van de conventionele AVI. Dit betekent dat in de praktijk 'mechanisch-biologische scheiding' wél een iets hogere vermeden schaarste laat zien dan verbranding in de conventionele AVI.

Tabel 131 Schaarste – fossiele grondstoffen per bestaande verwerkroute (2020-2025) - huisvuil

Verwerkroute	Schaarste – fossiele grondstoffen (kg olie-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	-124,85
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	-70,68
Verbranding in conventionele AVI	-62,88
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	-57,74

Tabel 132 Schaarste – fossiele grondstoffen per bestaande verwerkroute (2020 – 2025) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Verwerkroute	Schaarste – fossiele grondstoffen (kg olie-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	-127,53
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	-89,26
Verbranding in conventionele AVI	-83,22
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	-78,12

H.13.2 Theoretische verwerkroutes

Alle theoretische verwerkroutes zorgen voor voorkoming van schaarste, oftewel ze zorgen ervoor dat de voorraad fossiele grondstoffen niet afneemt en dat er zelfs minder gewonnen hoeft te worden (uitgaande van gelijkblijvende vraag naar fossiele grondstoffen). Dit heeft dezelfde verklaring als voor de bestaande verwerkroutes: het afval zelf heeft een startwaarde van nul omdat het geen uitputting van grondstoffen veroorzaakt, deze grondstoffenuitputting wordt al toegerekend aan producten die in het afval terecht komen (zoals aluminiumgebruik voor een drankenblikje).

Over het algemeen treedt een hogere vermeden schaarste op bij residuverwerking met behulp van geïntegreerde hydropyrolyse dan als het residu verwerkt wordt in een AVI+. Zoals we gezien hebben in het Hoofdstuk 8 (Grondstoffenefficiëntie) leidt residuverwerking in een AVI+ echter altijd tot een hogere energierugwinning dan residuverwerking met behulp van hydropyrolyse. Deze discrepantie is te verklaren door het type energie dat teruggewonnen wordt. Diesel (in het geval van geïntegreerde hydropyrolyse) vervangt direct fossiele grondstofextractie terwijl in Vlaanderen in het geval van elektriciteit vervanging ook elektriciteit uit kerncentrales vervangen wordt. In het laatste geval wordt geen fossiele grondstofextractie vermeden.

Tabel 133 Schaarste – fossiele grondstoffen per theoretische verwerkroute (2025-2030) - huisvuil

Verwerkroute	Schaarste – fossiele grondstoffen (kg olie-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	-294,45
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	-279,27
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	-262,00
Verbranding in AVI+	-237,05
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	-230,68
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	-223,26
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	-222,00
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	-214,79
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	-207,35
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	-188,09
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	-143,09
Verbranding in conventionele AVI	-62,88

Tabel 134 Schaarste – fossiele grondstoffen per theoretische verwerkroute (2025-2030) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Verwerkroute	Schaarste – fossiele grondstoffen (kg olie-eq.)
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	-349,37
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	-347,82
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	-322,82
Verbranding in AVI+	-316,50
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	-309,75
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	-301,86
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	-284,44
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	-277,68
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	-267,00
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	-207,78
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	-140,15
Verbranding in conventionele AVI	-83,22

H.14 WATERGEBRUIK

Watergebruik wordt uitgedrukt in m³ netto waterconsumptie. Het resultaat op deze milieu-indicator wordt in deze studie veroorzaakt door:

- watergebruik in de verbranding van huisvuil of bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in een AVI of een AVI+;
- het vermijden van watergebruik tijdens de productie van elektriciteit door netto elektriciteitsproductie;
- het vermijden van watergebruik tijdens de productie van kunststoffen door de terugwinning van kunststoffen uit huisvuil of bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

H.14.1 Bestaande verwerkroutes

Zoals aangegeven is een van de factoren die het resultaat verklaren op de milieu-indicator watergebruik de hoeveelheid residu die verwerkt wordt in een AVI of een AVI+. We laten daarom in volgende twee tabellen het aandeel residu naar residuverwerking zien in combinatie met het resultaat voor 'watergebruik'.

In het geval van verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil komt de rangorde van residu naar residuverwerking overeen met de rangorde van watergebruik (hoe meer residu hoe meer netto watergebruik of hoe lager de reductie in watergebruik). In het geval van verwerking van huisvuil komt de rangorde niet helemaal overeen omdat:

- Er meer netto elektriciteit geproduceerd wordt in het proces 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie' dan in 'mechanisch-biologische scheiding'. Elektriciteitsproductie gebruikt veel water en dit watergebruik wordt vermeden.

Tabel 135 Watergebruik per bestaande verwerkroute (2020 -2025) - huisvuil

Verwerkroute	Residu naar residu- verwerking (kg)	Watergebruik (m ³ water)
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	319	-1,59
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	648	-1,34
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	733	-1,46
Verbranding in conventionele AVI	1.000	-0,81

Tabel 136 Watergebruik per bestaande verwerkroute (2020 – 2025) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Verwerkroute	Residu naar residu- verwerking (kg)	Watergebruik (m ³ water)
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI	615	-1,97
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar conventionele AVI	712	-2,07
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI	764	-1,79
Verbranding in conventionele AVI	1.000	-1,45

H.14.2 Theoretische verwerkroutes

In het geval van de theoretische verwerkroutes volstaat een weergave van de hoeveelheid residuproductie niet meer omdat het residu op verschillende manieren verwerkt wordt. We laten daarom in volgende tabellen alleen de resultaten zien per verwerkroute (geordend van laagste naar hoogste watergebruik). Uit deze resultaten blijkt dat het voorkomen van watergebruik voor de verschillende theoretische verwerkroutes vergelijkbaar is en dat over het algemeen de verwerking van residu met behulp van geïntegreerde hydrolyse tot een grotere reductie in watergebruik leidt dan residuverwerking met behulp van een AVI+. Dit is omdat er in een AVI+ water gebruikt wordt terwijl dat in het geïntegreerde hydrolyseproces niet het geval is.

Tabel 137 Watergebruik per theoretische verwerkroute (2025 – 2030) - huisvuil

Verwerkroute	Watergebruik (m ³ water)
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	-2,95
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	-2,94
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	-2,66
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	-2,59
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	-2,52
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	-2,43
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	-2,41
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	-2,12
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	-2,19

Verwerkroute	Watergebruik (m³ water)
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	-2,11
Verbranding in AVI+	-1,98
Verbranding in conventionele AVI	-0,81

Tabel 138 Watergebruik per theoretische verwerkroute (2025 – 2030) – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Verwerkroute	Watergebruik (m³ water)
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydrolyse	-3,91
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydrolyse	-3,82
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydrolyse	-3,59
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+	-3,42
Mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+	-3,24
Verbranding in AVI+	-3,00
Droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+	-2,99
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar hydrolyse	-2,80
Natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI	-2,59
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie, residu naar AVI+	-2,58
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	-2,55
Verbranding in conventionele AVI	-1,45

H.15 SCHADE AAN MENSELIJKE GEZONDHEID

Schade aan menselijke gezondheid wordt uitgedrukt in DALYs. Dit staat voor Disability-Adjusted Life Years. Hiermee wordt het verlies in aantal gezonde mensenjaren aangeduid door ziekte of handicap. Als voorbeeld, 0,00274 DALY betekent dus dat één persoon één gezonde dag van zijn leven verliest.

In deze indicator wordt de milieu-impact van de volgende milieu-indicatoren bij elkaar gevoegd om zo te komen tot een indicatie van de schade aan menselijke gezondheid:

- fijnstofvorming, dit zorgt voor een toename in ademhalingsproblemen;
- ozonvorming - menselijke gezondheid, dit zorgt voor een toename in ademhalingsproblemen;
- ioniserende straling, dit zorgt voor een toename in het aantal zieken, zoals verschillende kankers als andere ziektes;
- aantasting ozonlaag, dit zorgt voor een toename in zieken, zoals verschillende kankers als andere ziektes;
- toxiciteit (carcinogeen) dit zorgt voor een toename van het aantal kankergevallen;
- toxiciteit (niet-carcinogeen) dit zorgt voor een toename van het aantal zieken (exclusief kanker);
- klimaatimpact dit zorgt voor een toename van het aantal zieken (exclusief kanker) en een toename van ondervoeding;
- watergebruik dit zorgt voor een toename van ondervoeding.

Voor alle resultaten voor de schade aan menselijke gezondheid geldt dat ze met name te verklaren zijn door de resultaten voor 'fijnstofvorming' en 'klimaatimpact'. We kunnen dus stellen dat er ook minder waarde gehecht hoeft te worden aan de resultaten voor de milieu-indicatoren: 'ozonvorming – menselijke gezondheid', 'ioniserende straling', 'aantasting ozonlaag', 'toxiciteit (carcinogeen)', 'toxiciteit (niet-carcinogeen)' en 'watergebruik'. Dit omdat deze milieu-indicatoren tot minder reductie in schade of minder schade zorgen aan menselijke gezondheid.

H.15.1 Bestaande verwerkroutes

De resultaten voor de bestaande verwerkroutes zijn weergegeven Figuur 66 en Figuur 67 voor huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. De eerste observatie die gemaakt kan worden is dat de verschillende verwerkroutes een vergelijkbaar resultaat laten zien op de indicator voor zowel huisvuil als bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

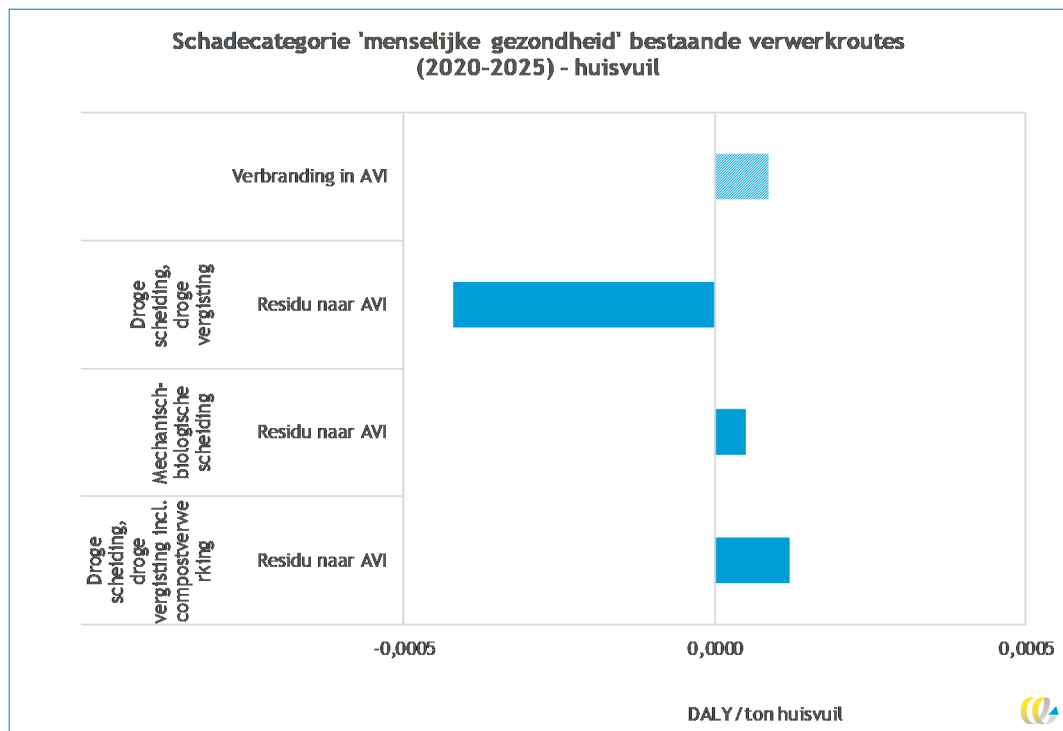
Verbranding van huisvuil in de AVI levert een netto schade op aan menselijke gezondheid, dit geldt ook voor 'mechanisch-biologische scheiding' en 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking'. Per ton huisvuil en per ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil valt de schade aan menselijke gezondheid mee. Maar als we uitgaan van 800 kiloton huisvuil en 400 kiloton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil komen we tot een schade voor deze drie verwerkroutes van rond de 200 DALYs voor de verwerking van het huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in Vlaanderen per jaar. Dit zijn dus 200 mensen die een gezond jaar van hun leven verliezen.

Hierbij is het goed om te vermelden dat 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking' een schade oplevert aan menselijke gezondheid omdat is aangenomen dat de compost in de periode 2020-2025 niet kan worden afgezet in de land- en tuinbouw in Vlaanderen. Deze compost wordt echter nu in Frankrijk wél afgezet in de landbouw en deze zou mogelijk in de toekomst (zie resultaten theoretische verwerkroutes) wél kunnen worden afgezet⁸⁴. Mocht afzet van compost niet mogelijk zijn dan is deze verwerkroute, zoals te zien in de figuren, uiteraard niet zo interessant als de bestaande verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting'.

'Droge scheiding, droge vergisting' leidt tot een vermindering van schade aan menselijke gezondheid zowel voor de verwerking van huisvuil als voor de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Het gaat dan om het voorkomen van 600 DALYs. Oftewel 600 mensen minder die een gezond levensjaar verliezen onder anderen door emissies uit energieproductie en emissies uit de productie van metaal en kunststoffen.

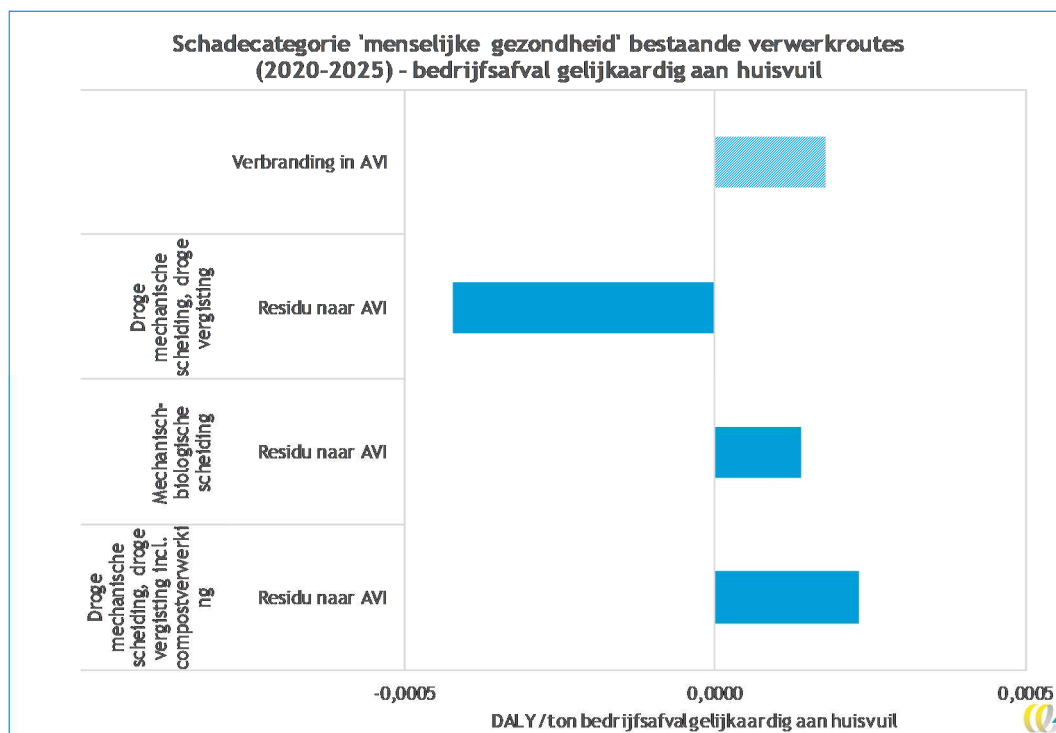
⁸⁴ Het lijkt technisch mogelijk om de kwaliteitseisen die aan compost gesteld worden in Vlaanderen te behalen met de technologie van OWS, echter mag op dit moment compost geproduceerd uit huisvuil niet afgezet worden.

Figuur 66 Schade aan menselijke gezondheid bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt huisvuil



- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrisch rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

Figuur 67 Schade aan menselijke gezondheid bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil



- NB1 De technieken ‘verbranding in AVI’ en ‘mechanisch-biologische scheiding’ worden al toegepast in Vlaanderen. De modelering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk (‘droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking’) en Nederland (‘droge scheiding, droge vergisting’). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze “compost” in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

H.15.2 Theoretische verwerkroutes

De resultaten voor de theoretische verwerkroutes zijn weergegeven Figuur 68 en Figuur 69 voor huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Hierbij moet opgemerkt worden dat het gaat om theoretische verwerkroutes die nog niet ingezet zijn in deze combinatie(s) voor de verwerking van deze twee afvalstromen.

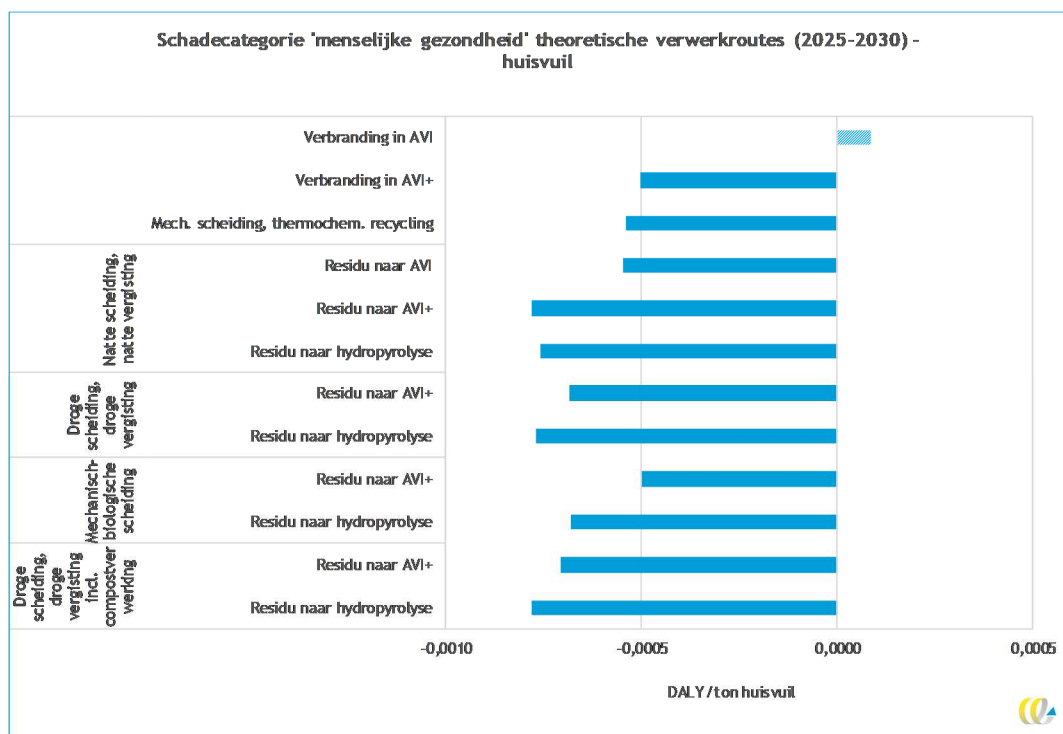
Verbranding van huisvuil in de AVI levert een netto schade op aan menselijke gezondheid, de theoretische verwerkroutes (weergegeven in het donkerblauw in de figuren) leiden tot een vermindering van schade aan menselijke gezondheid zowel voor de verwerking van huisvuil als voor de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

Het gaat dan om het voorkomen van ongeveer 1200 DALYs in het geval van ‘natte scheiding, natte vergisting’ en ‘droge scheiding, droge vergisting’ in combinatie met een residuverwerking in een AVI+ of met behulp van geïntegreerde hydropyrolyse. Oftewel 1.200 mensen minder die een gezond levensjaar verliezen onder anderen door emissies uit energieproductie en emissies uit de productie van metaal en kunststoffen.

Uit de twee figuren is verder op te maken dat:

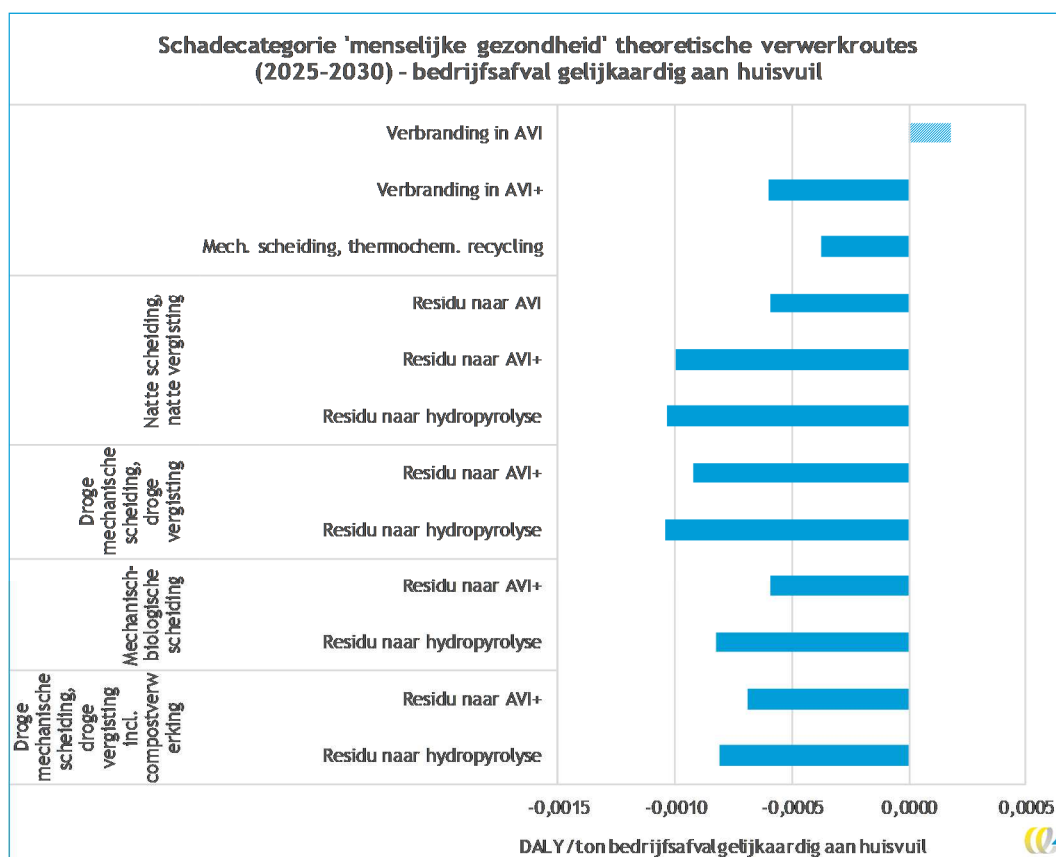
- De vermeden schade in het geval van residuverwerking met behulp van geïntegreerde hydropyrolyse en in een AVI+ vergelijkbaar is maar dat residuverwerking met behulp van geïntegreerde hydropyrolyse er over het algemeen net iets meer schade aan de menselijke gezondheid vermijdt.

Figuur 68 Schade aan menselijke gezondheid theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil



- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

Figuur 69 Schade aan menselijke gezondheid theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil



- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

H.16 SCHADE AAN ECOSYSTEMEN

Schade aan ecosystemen wordt uitgedrukt in soorten maal jaar. Dit staat voor het aantal soorten (dieren of planten) die ophouden te bestaan binnen een type ecosysteem maal het aantal jaren dat dit het geval is. Als voorbeeld, 1 soorten.jaar is dus het verlies van een soort voor één jaar binnen één type ecosysteem zoals bijvoorbeeld in zoetwater. De ecosystemen worden hierbij opgesplitst in drie soorten ecosystemen: terrestrische ecosystemen, zoetwater ecosystemen, zoutwater ecosystemen.

In deze indicator wordt de milieu-impact van de volgende milieu-indicatoren bij elkaar gevoegd om zo te komen tot een indicatie van de schade aan ecosystemen:

- klimaatimpact zorgt voor een afname in het aantal soorten in terrestrische en zoetwater ecosystemen;
- watergebruik zorgt voor een afname in het aantal soorten in terrestrische en zoetwater ecosystemen;

- ecotoxiciteit - zoetwater zorgt voor een afname in het aantal soorten in zoetwater ecosystemen;
- vermesting – zoetwater zorgt voor een afname in het aantal soorten in zoetwater ecosystemen;
- ozonvorming – ecosystemen zorgt voor een afname in het aantal soorten in terrestrische ecosystemen;
- ecotoxiciteit – bodem zorgt voor een afname in het aantal soorten in terrestrische ecosystemen;
- terrestrische verzuring zorgt voor een afname in het aantal soorten in terrestrische ecosystemen;
- ecotoxiciteit – zoutwater zorgt voor een afname in het aantal soorten in zoutwater ecosystemen;
- vermesting – zoutwater zorgt voor een afname in het aantal soorten in zoutwater ecosystemen.

Voor alle resultaten voor de schade aan ecosystemen geldt dat ze met name te verklaren zijn door de resultaten voor 'terrestrische verzuring' en 'klimaatimpact'. We kunnen dus stellen dat er ook minder waarde gehecht hoeft te worden aan de resultaten voor de milieu-indicatoren: 'ecotoxiciteit – bodem', 'vermesting – zoetwater' en 'ozonvorming – ecosystemen', 'vermesting – zoutwater', 'ecotoxiciteit – zoetwater', 'ecotoxiciteit – zoutwater', 'watergebruik'. Dit omdat deze milieu-indicatoren tot minder reductie in schade of minder schade zorgen aan ecosystemen.

H.16.1 Bestaande verwerkroutes

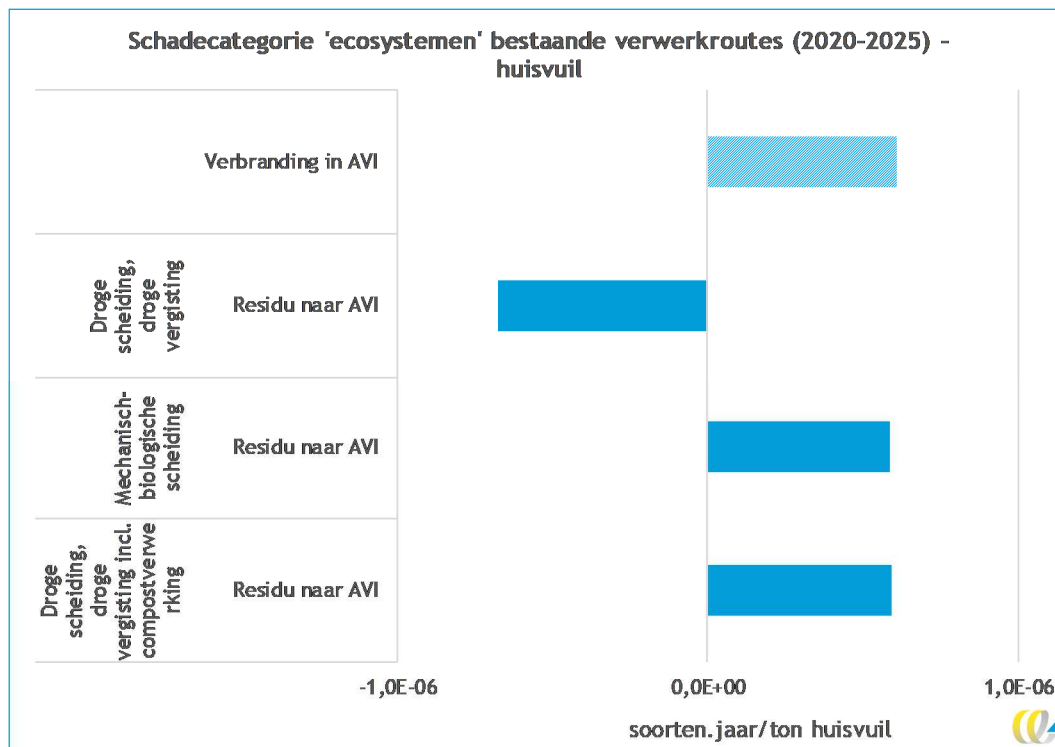
De resultaten voor de verwerkroutes die mogelijk tussen 2020 en 2025 ingezet zouden kunnen worden in Vlaanderen zijn weergegeven in volgende figuren voor huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. De eerste observatie die gemaakt kan worden is dat de resultaten voor huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil vergelijkbaar zijn voor de verschillende verwerkroutes.

Verbranding van huisvuil in de AVI levert een netto schade op aan ecosystemen, dit geldt ook voor 'mechanisch-biologische scheiding' en 'droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking'. Per ton huisvuil en per ton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil valt de schade aan ecosystemen mee. Maar als we uitgaan van 800 kiloton huisvuil en 400 kiloton bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil komen we tot een schade voor deze drie verwerkroutes van rond de 1,2 soorten die verloren gaan voor de verwerking van het huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil in Vlaanderen per jaar.

Hierbij is het goed om te vermelden dat 'droge scheiding, droge vergisting, incl. compostverwerking' een schade oplevert ecosystemen omdat is aangenomen dat de compost in de periode 2020-2025 niet kan worden afgezet in de land- en tuinbouw in Vlaanderen. Deze compost wordt echter nu in Frankrijk wél afgezet in de landbouw en deze zou mogelijk in de toekomst (zie resultaten theoretische verwerkroutes) wél kunnen worden afgezet. Mocht afzet van compost niet mogelijk zijn dan is deze verwerkroute, zoals te zien in de figuren, uiteraard niet zo interessant als de bestaande verwerkroute 'droge scheiding, droge vergisting'.

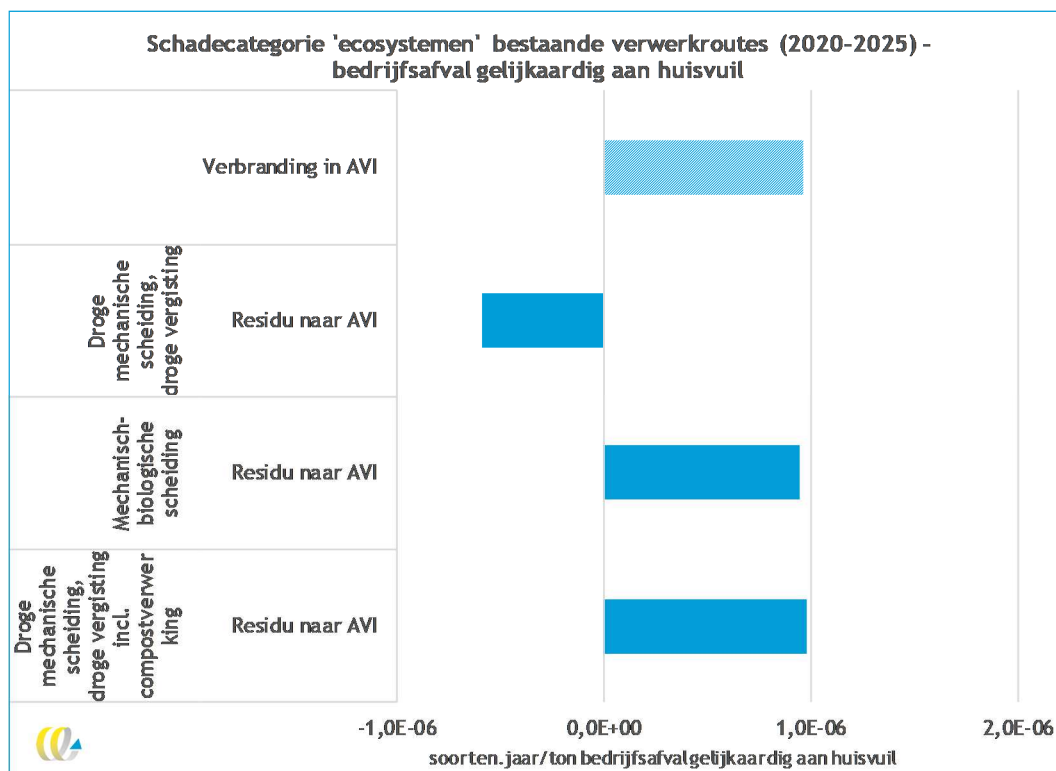
'Droge scheiding, droge vergisting' leidt tot een vermindering van schade aan ecosystemen zowel voor de verwerking van huisvuil als voor de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

Figuur 70 Schade aan ecosystemen bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt huisvuil



- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modelering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrisch rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

Figuur 71 Schade aan ecosystemen bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil



- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrisch rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

H.16.2 Theoretische verwerkroutes

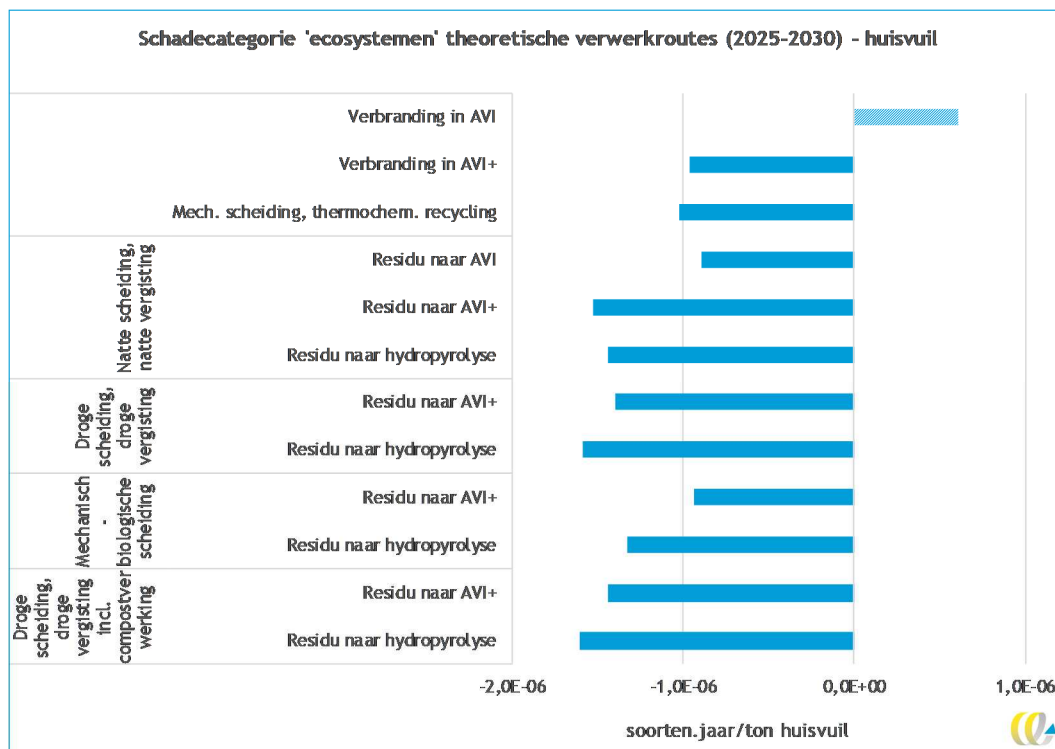
De resultaten voor de verwerkroutes die in mogelijk tussen 2025 en 2030 ingezet zouden kunnen worden in Vlaanderen zijn weergegeven in de twee volgende figuren voor huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Hierbij moet opgemerkt worden dat het gaat om theoretische verwerkroutes die nog niet ingezet zijn in deze combinatie(s) voor de verwerking van deze twee afvalstromen.

Verbranding van huisvuil in de AVI levert een netto schade op aan ecosystemen, de theoretische verwerkroutes (weergegeven in het donkerblauw in de figuren) leiden tot een vermindering van schade aan ecosystemen zowel voor de verwerking van huisvuil als voor de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

Uit de twee figuren is verder op te maken dat:

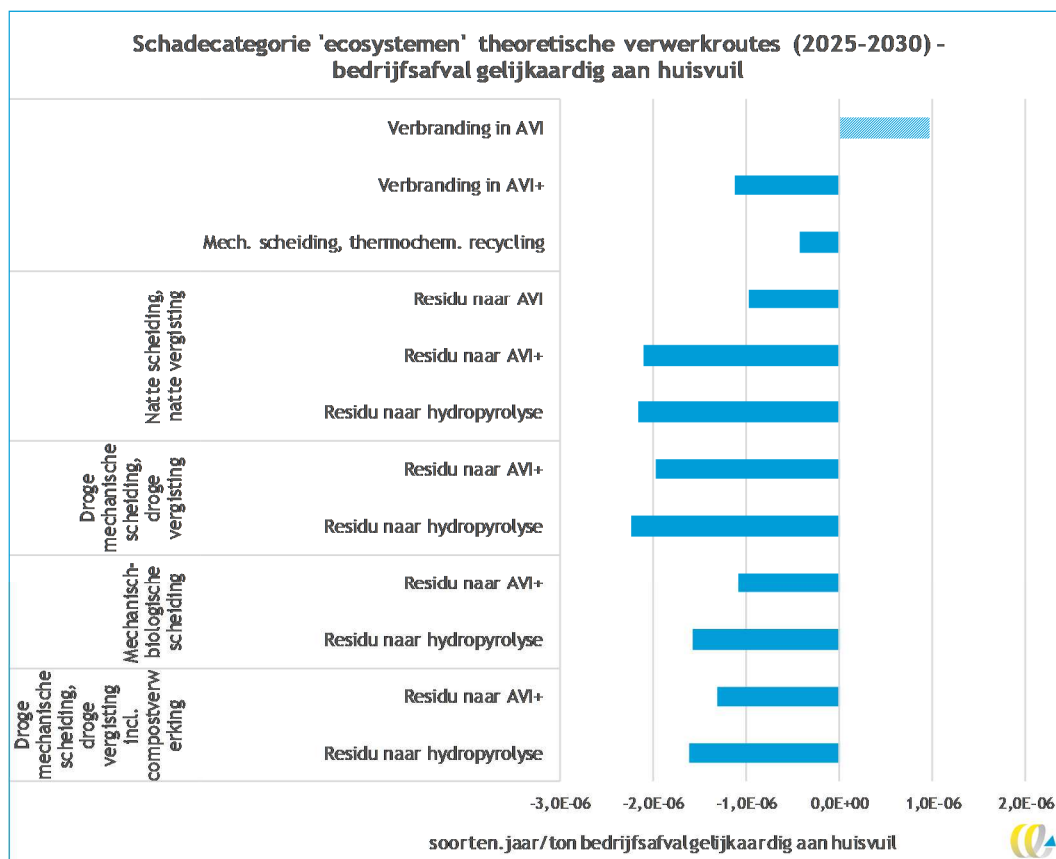
- De vermeden schade in het geval van residuverwerking met behulp van geïntegreerde hydropyrolyse en in een AVI+ vergelijkbaar is maar dat residuverwerking met behulp van geïntegreerde hydropyrolyse over het algemeen net iets meer schade aan de ecosystemen vermijdt.

Figuur 72 Schade aan ecosystemen theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil



- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

Figuur 73 Schade aan ecosystemen theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil



- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

H.17 ECONOMISCHE SCHADE DOOR UITPUTTING GRONDSTOFFEN

De schadecategorie economische schade door uitputting grondstoffen wordt uitgedrukt in dollars (\$). Het beschrijft de extra kosten die in de toekomst nodig zijn voor de extractie van minerale en fossiele grondstoffen omdat er nu uitputting van deze grondstoffen plaatsvindt. Bij het mijnen van grondstoffen wordt immers altijd gekozen voor de economisch meest aantrekkelijke locatie, als de grondstoffen hieruit uitgeput zijn zal mijnbouw plaatsvinden op een plek die minder economisch aantrekkelijk was.

In deze indicator wordt de milieu-impact van de volgende milieu-indicatoren bij elkaar gevoegd om zo te komen tot een indicatie van economische schade door uitputting grondstoffen:

- schaarste – metalen;
- schaarste – fossiele grondstoffen.

Voor alle resultaten voor de economische schade door uitputting grondstoffen geldt dat ze met name te verklaren zijn door de resultaten voor 'schaarste – fossiele grondstoffen'.

De resultaten voor 'schaarste – metalen' spelen nauwelijks een rol. We kunnen dus stellen dat er ook minder waarde gehecht hoeft te worden aan de resultaten voor de milieu-indicator 'schaarste – metalen' omdat de terugwinning van metalen dus tot minder reductie in economische schade leidt dan 'schaarste – fossiele grondstoffen'.

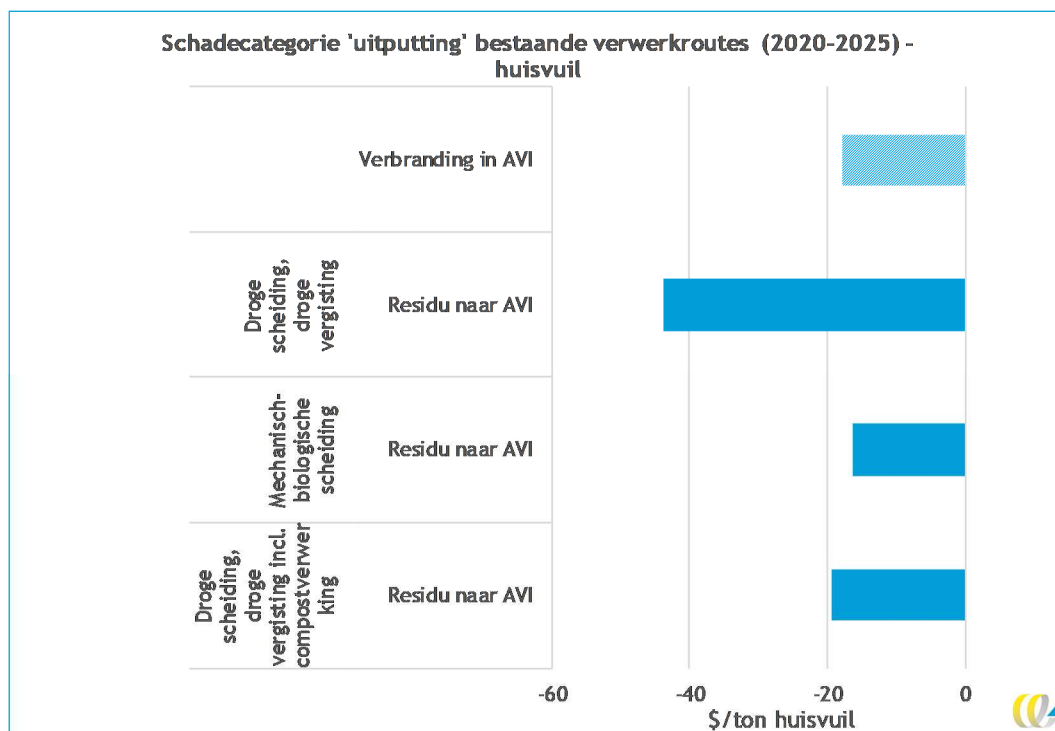
H.17.1 Bestaande verwerkroutes

De volgende twee figuren laten zien dat alle verwerkroutes een netto vermeden schade aan uitputting opleveren. Kortom er wordt meer waarde aan grond- en brandstoffen gecreëerd dan er wordt gebruikt (in de vorm van brandstof en hulpstoffen). Dit is te verklaren doordat het afval zelf een startwaarde van nul geeft omdat het geen uitputting van grondstoffen veroorzaakt, deze grondstoffenuitputting wordt al toegerekend aan producten die in het afval terecht komen (zoals aluminiumgebruik voor een drankenblikje).

De laagste schade, of hoogste vermeden schade, zien we bij de verwerkingsroute waarbij uitgebreide scheiding plaatsvindt en die inzetten op materiaalbehoud en/of brandstofproductie; 'droge scheiding, droge vergisting'.

De reden dat de verwerkroute 'mechanisch-biologische scheiding' een iets lagere vermeden schade heeft dan verbranding in de AVI is omdat er fossiele energie gebruikt wordt voor het drogen van afval, waarna het alsnog wordt verbrand. Hierbij moet gezegd worden dat de vergelijking tussen deze twee verwerkroutes alleen klopt als het residu in een AVI met precies hetzelfde rendement wordt verwerkt als het rendement van de conventionele AVI. In de praktijk wordt in Vlaanderen het residu uit 'mechanisch-biologische scheiding' verwerkt in AVIs die een iets hoger rendement hebben dan het gemiddelde rendement van de conventionele AVI. Dit betekent dat in de praktijk 'mechanisch-biologische scheiding' wél een iets hogere vermeden schade laat zien dan verbranding in de conventionele AVI.

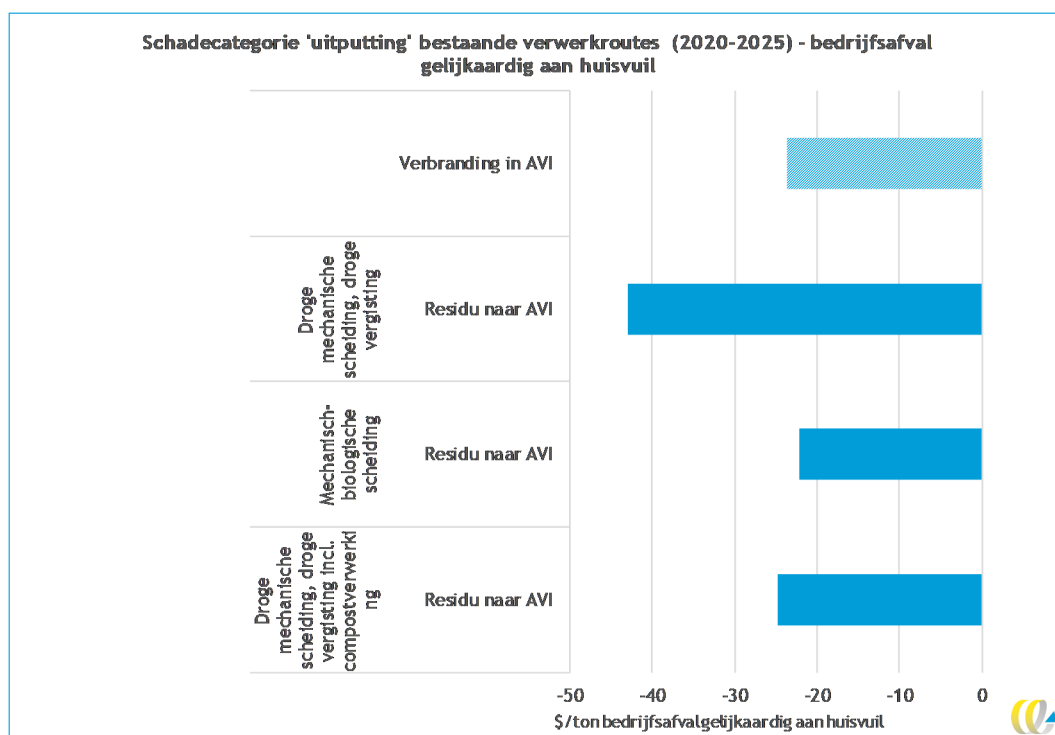
Figuur 74 Economische schade door uitputting grondstoffen bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt huisvuil



- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

Het verschil in de resultaten tussen de verwerking van huisvuil en de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil komt door het hogere aandeel kunststoffen in bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Dit betekent dat er ook meer grondstoffen en energie (want een hogere energie-inhoud in het afval) teruggewonnen kunnen worden.

Figuur 75 Economische schade door uitputting bestaande verwerkroutes (2020-2025), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil



- NB1 De technieken 'verbranding in AVI' en 'mechanisch-biologische scheiding' worden al toegepast in Vlaanderen. De modellering is daarom gebaseerd op praktijkgegevens van toepassing in Vlaanderen. De andere twee verwerkroutes zijn nog niet gerealiseerd in Vlaanderen en zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit Frankrijk ('droge scheiding, droge vergisting incl. compostverwerking') en Nederland ('droge scheiding, droge vergisting'). Bij de laatste twee verwerkroutes is dus enige onzekerheid over de vertaling van deze routes naar de Vlaamse situatie.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting en afzet van biologisch materiaal als compost is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk waar compost geproduceerd en afgezet wordt als compost. Omdat in Vlaanderen dit nu wettelijk niet is toegestaan wordt deze "compost" in deze berekening verbrand in een AVI. In de modellering wordt het biologische materiaal dat afgescheiden wordt dus verbrand in een AVI.
- NB3 In de modellering is gebruik gemaakt van het gemiddelde thermisch en elektrische rendement van een Vlaamse AVI uit 2016. (Deze rendementen zijn afgestemd met BW2E). Mechanisch-biologische scheiding wordt in de praktijk in Vlaanderen nu toegepast waarbij het residu verwerkt wordt in een AVI met een hoger energetische rendement dan het gemiddelde AVI-rendement zoals weergegeven in de figuur. Het resultaat bij verschillende rendementen voor verschillende verwerkroutes is terug te vinden in de gevoeligheidsanalyses (Hoofdstuk 11).

H.17.2 Theoretische verwerkroutes

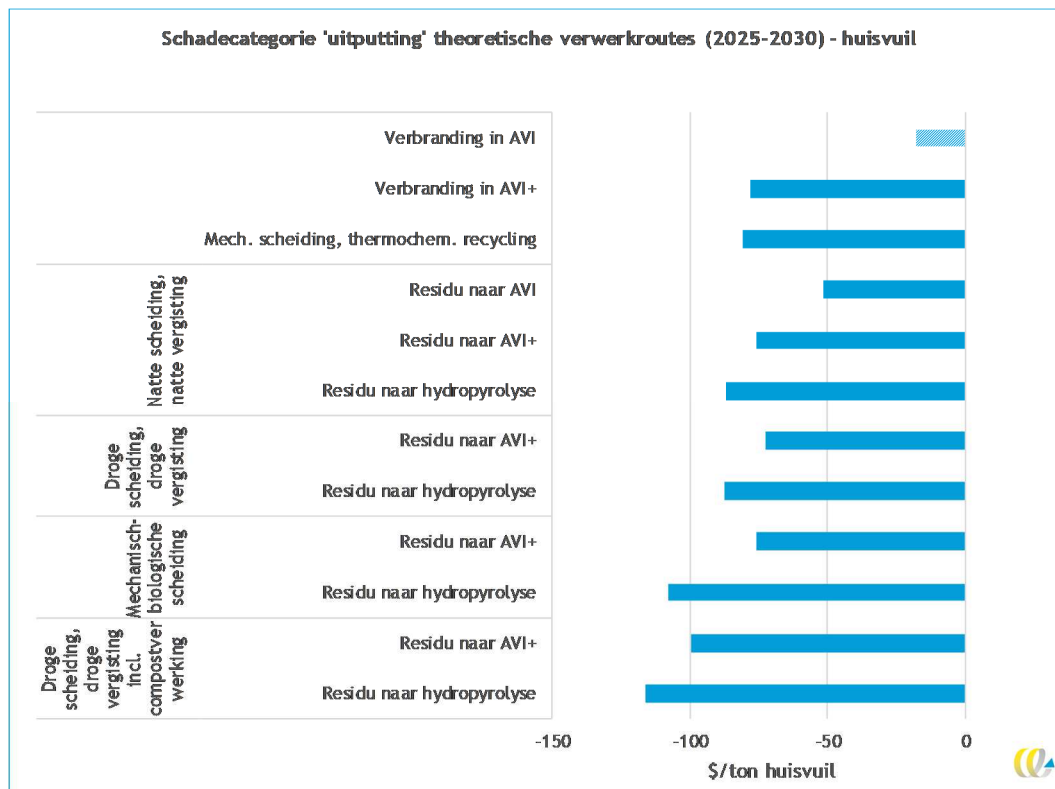
De volgende twee figuren laten zien dat alle theoretische verwerkroutes een netto vermeden schade aan uitputting opleveren. Kortom er wordt meer waarde aan grond- en brandstoffen gecreëerd dan er wordt gebruikt (in de vorm van brandstof en hulpstoffen). Dit heeft dezelfde verklaring als voor de bestaande verwerkroutes: het afval zelf heeft een startwaarde van nul omdat het geen uitputting van grondstoffen veroorzaakt, deze grondstoffenuitputting wordt al toegerekend aan producten die in het afval terecht komen (zoals aluminiumgebruik voor een drankenblikje).

Uit de figuren kan verder opgemaakt worden dat over het algemeen een hogere vermeden schade optreedt bij residuverwerking met behulp van geïntegreerde hydropyrolyse dan als het residu verwerkt wordt in een AVI+. Zoals we gezien hebben in het Hoofdstuk 8 (Grondstoffenefficiëntie) leidt residuverwerking in een AVI+ echter altijd tot een hogere energierugwinning dan residuverwerking met behulp van hydropyrolyse.

Deze discrepantie is te verklaren door het type energie dat teruggewonnen wordt. Diesel (in het geval van geïntegreerde hydropyrolyse) vervangt direct fossiele grondstofextractie terwijl in Vlaanderen in het geval van

elektriciteit vervanging ook elektriciteit uit kerncentrales vervangen wordt. In het laatste geval wordt geen fossiele grondstofextractie vermeden.

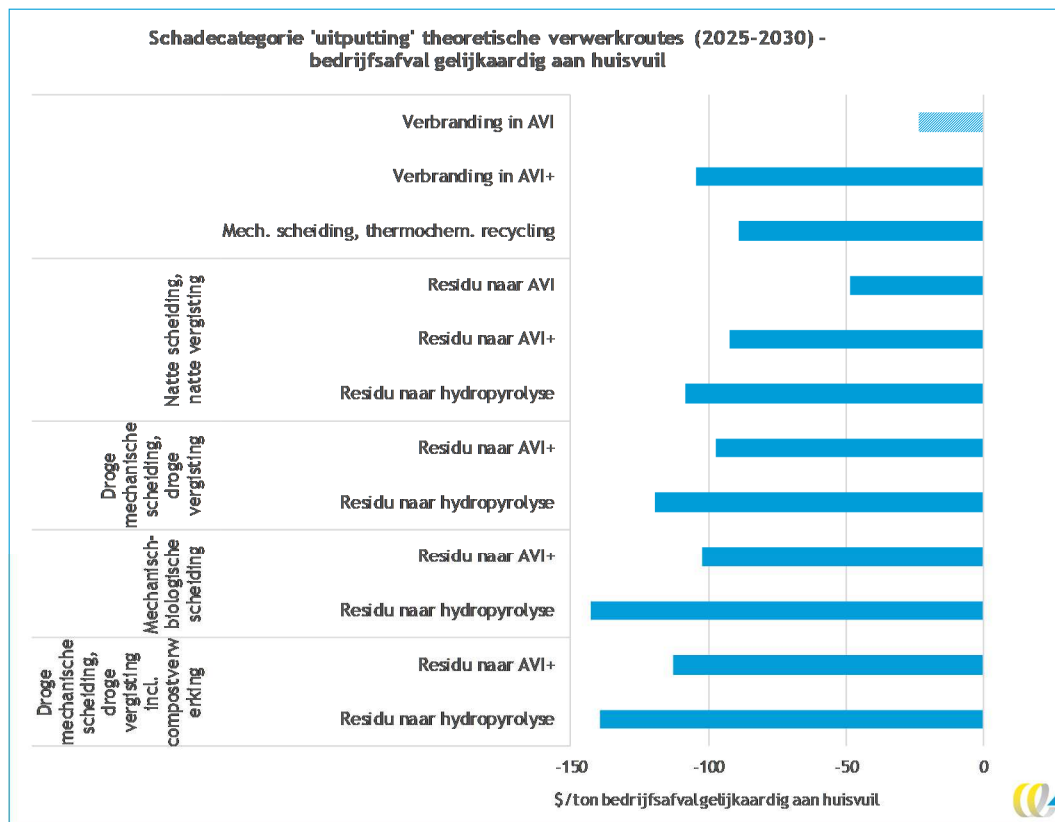
Figuur 76 Economische schade door uitputting grondstoffen theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt huisvuil



- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

Het verschil in de resultaten tussen de verwerking van huisvuil en de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil komt ook in het geval van de theoretische verwerkroutes door het hogere aandeel kunststoffen in bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Dit betekent dat er ook meer grondstoffen en energie (want een hogere energie-inhoud in het afval) teruggewonnen kunnen worden.

Figuur 77 Economische schade door uitputting theoretische verwerkroutes (2025-2030), per ton verwerkt bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil



- NB1 Theoretische verwerkroutes zijn verwerkroutes die nog niet in de praktijk op grote schaal toegepast zijn, of waar geen praktijkgegevens voor beschikbaar zijn. Hier is daarom een model voor gemaakt. Dit figuur geeft daarom een inschatting weer van de LCA-resultaten voor de verschillende verwerkroutes. Bij de verdere ontwikkeling van de technieken en de toepassing in de praktijk zouden dus zowel mee- als tegenvallers kunnen voorkomen.
- NB2 Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie is gemodelleerd naar de situatie in Frankrijk. In Vlaanderen is het nu wettelijk niet toegestaan compost te produceren uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil. Voor theoretische verwerking gaan we ervan uit dat de Vlaamse wetgeving wordt aangepast zodat compost geproduceerd uit huisvuil en bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil wel mag worden aangewend als compost, uiteraard alleen als de compost voldoet aan de huidige Vlaamse kwaliteitseisen die gesteld worden aan compost.
- NB3 Voor mechanische scheiding en thermochemische recyclage is nog geen inschatting gemaakt voor de fermentatie van het biogene aandeel in het afval. Dit is mogelijk wel rond 2030 het geval. In de huidige berekening wordt aangenomen dat het hydrochar verwerkt wordt in een conventionele AVI.

I RESULTATEN PER VERWERKROUTE

In deze bijlage worden alle numerieke resultaten in detail weergegeven voor alle verwerkroutes. De resultaten worden weergegeven per verwerkroute zowel voor de verwerking van huisvuil als voor de verwerking van bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil.

I.1 RESULTATEN CONVENTIONELE AVI

Tabel 139 Details resultaten conventionele AVI - huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	308,00
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-1,20E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-216,75
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	0,17
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,17
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	0,16
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-0,44
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,085
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0091
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-1348,59
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-9,02
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-13,02
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-7,81
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-268,17
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-9,79
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-2,52
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-62,88
Waterverbruik	m ³	-0,81
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	8,74E-05
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	6,09E-07
Schadecategorie uitputting	USD2013	-17,77
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-9644,04

Tabel 140 Details resultaten conventionele AVI – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	470,03
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-1,61E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-290,61
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	0,09
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,23
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	0,08
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-0,60
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,11
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0118
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-1653,16
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-11,42
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-16,43
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-9,87
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-332,25
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-13,06
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-3,00
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-83,22
Waternverbruik	m ³	-1,45
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	1,79E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	9,62E-07
Schadecategorie uitputting	USD2013	-23,68
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-12876,05

I.2 RESULTATEN NATTE SCHEIDING, NATTE VERGISTING

I.2.1 Resultaten natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI

Tabel 141 Details resultaten natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI - huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-73,60
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-4,84E-05
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-53,35
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,28
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,41
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,32
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-0,80
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,096
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0075
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-2220,55
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-14,64
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-21,58
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-29,97
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-517,93
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-38,97
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-4,31
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-143,09

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Waterverbruik	m ³	-2,12
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-5,47E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-8,93E-07
Schadecategorie uitputting	USD2013	-51,36
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-9753,38

Tabel 142 Details resultaten natte scheiding, natte vergisting, residu naar conventionele AVI – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	58,36
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-7,80E-05
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-138,59
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,27
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,53
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,31
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-0,95
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,14
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0110
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-2958,59
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-19,73
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-28,94
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-45,43
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-683,38
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-81,49
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-6,00
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-140,15
Waterverbruik	m ³	-2,59
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-5,91E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-9,79E-07
Schadecategorie uitputting	USD2013	-48,16
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-13072,24

I.2.2 Resultaten natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+

Tabel 143 Details resultaten natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+ - huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-264,32
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-1,12E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-102,19
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,50
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,46
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,54
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-0,98
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,106
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0089
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-2280,13
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-16,76
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-24,71

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-31,92
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-568,32
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-41,16
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-4,44
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-214,79
Waterverbruik	m ³	-2,59
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-7,80E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-1,53E-06
Schadecategorie uitputting	USD2013	-76,15
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-14679,48

Tabel 144 Details resultaten natte scheiding, natte vergisting, residu naar AVI+ – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-279,11
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-1,90E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-225,01
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,64
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,63
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,69
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-1,26
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,15
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0135
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-3057,18
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-23,47
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-34,47
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-48,87
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-772,22
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-85,36
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-6,23
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-267,00
Waterverbruik	m ³	-3,42
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-1,00E-03
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-2,10E-06
Schadecategorie uitputting	USD2013	-92,02
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-21788,09

1.2.3 Resultaten natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydropyrolyse

Tabel 145 Details resultaten natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydropyrolyse - huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-236,60
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-1,04E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-44,98
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,41
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,50
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,45
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-1,07
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,096
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0075

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-2191,23
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-14,71
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-21,78
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-30,59
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-518,90
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-39,08
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-4,21
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-223,26
Waterverbruik	m ³	-2,94
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-7,59E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-1,44E-06
Schadecategorie uitputting	USD2013	-86,90
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-13272,20

Tabel 146 Details resultaten natte scheiding, natte vergisting, residu naar hydropyrolyse – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-309,87
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-1,78E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-137,00
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,50
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,69
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,55
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-1,42
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,14
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0115
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-2955,29
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-19,69
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-29,10
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-46,45
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-678,95
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-82,18
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-5,93
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-277,68
Waterverbruik	m ³	-3,91
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-1,04E-03
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-2,17E-06
Schadecategorie uitputting	USD2013	-108,36
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-19493,30

I.3 RESULTATEN DROGE SCHEIDING, DROGE VERGISTING

I.3.1 Resultaten droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI

Tabel 147 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI - huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	7,77
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-6,77E-05
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-80,61

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,19
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,37
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,22
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-0,78
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,112
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0073
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-2129,96
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-13,70
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-20,22
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-24,59
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-480,25
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-41,74
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-4,09
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-124,85
Waterverbruik	m ³	-1,59
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-4,21E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-6,74E-07
Schadecategorie uitputting	USD2013	-43,82
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-9519,79

Tabel 148 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, residu naar conventionele AVI – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	173,74
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-1,16E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-160,98
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,21
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,49
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,24
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-0,97
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,15
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0110
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-2831,54
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-18,54
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-27,21
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-37,80
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-636,43
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-74,11
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-5,60
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-127,53
Waterverbruik	m ³	-1,97
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-4,21E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-5,84E-07
Schadecategorie uitputting	USD2013	-42,93
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-12571,25

I.3.2 Resultaten droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+

Tabel 149 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+ - huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-211,54
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-1,41E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-136,86
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,42
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,43
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,46
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-0,97
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,122
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0090
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-2187,72
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-15,77
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-23,33
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-26,59
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-527,06
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-44,25
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-4,22
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-207,35
Waterverbruik	m ³	-2,11
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-6,84
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-1,40E-06
Schadecategorie uitputting	USD2013	-72,35
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-15187

Tabel 150 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, residu naar AVI+ – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-243,46
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-2,55E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-267,93
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,66
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,61
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,70
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-1,34
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,17
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0141
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-2939,13
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-22,78
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-33,52
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-41,80
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-734,19
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-78,90
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-5,85
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-284,44
Waterverbruik	m ³	-2,99
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-9,24E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-1,96E-06

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Schadecategorie uitputting	USD2013	-97,20
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-23352,35

I.3.3 Resultaten droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydropyrolyse

Tabel 151 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydropyrolyse - huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-279,93
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-1,32E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-62,35
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,35
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,49
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,39
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-1,12
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,114
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0075
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-2166,33
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-14,00
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-20,82
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-25,53
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-493,65
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-41,55
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-4,10
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-222,00
Waterverbruik	m ³	-2,41
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-7,70E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-1,59E-06
Schadecategorie uitputting	USD2013	-87,24
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-13536,78

Tabel 152 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, residu naar hydropyrolyse – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-341,32
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-2,43E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-157,33
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,51
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,70
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,56
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-1,58
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,16
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0120
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-2925,35
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-18,84
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-27,96
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-39,41
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-646,37
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-74,95
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-5,69

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-301,86
WATERVERBRUIK	m ³	-3,59
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-1,04E-03
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-2,23E-06
Schadecategorie uitputting	USD2013	-119,23
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-20670,24

I.4 RESULTATEN DROGE SCHEIDING, DROGE VERGISTING, INCLUSIEF COMPOSTVERWERKING

I.4.1 Resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking, residu naar conventionele AVI

Tabel 153 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking, residu naar conventionele AVI - huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	286,10
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-5,50E-05
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-281,97
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	0,32
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,11
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	0,31
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-0,27
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,074
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0089
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-876,34
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-7,88
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-11,07
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-7,00
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-195,85
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-12,29
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-2,30
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-70,68
WATERVERBRUIK	m ³	-1,46
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	1,21E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	5,89E-07
Schadecategorie uitputting	USD2013	-19,42
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-11937,69

Tabel 154 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking, residu naar conventionele AVI – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	454,04
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-8,11E-05
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-355,73
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	0,28
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,15

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	0,27
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-0,38
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,09
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0112
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-1072,61
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-10,06
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-14,10
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-8,84
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-248,86
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-15,53
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-2,70
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-89,26
Waterverbruik	m ³	-2,07
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	2,31E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	9,78E-07
Schadecategorie uitputting	USD2013	-24,71
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-15067,20

I.4.2 Resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking, residu naar AVI+

Tabel 155 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking, residu naar AVI+ - huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-341,76
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-1,78E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-116,29
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,54
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,39
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,58
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-1,04
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,101
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0078
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-1665,57
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-12,94
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-19,27
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-13,70
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-418,44
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-6,13
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-2,96
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-279,27
Waterverbruik	m ³	-2,19
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-7,08E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-1,44E-06
Schadecategorie uitputting	USD2013	-99,77
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-17178,00

Tabel 156 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking, residu naar AVI+ – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-266,93
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-2,49E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-197,47
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,62
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,43
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,65
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-1,18
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,12
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0106
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-1982,25
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-15,92
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-23,67
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-15,66
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-499,28
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-9,56
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-3,51
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-322,82
Waterverbruik	m ³	-2,58
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-6,92E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-1,32E-06
Schadecategorie uitputting	USD2013	-112,99
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-21642,83

I.4.3 Resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking, residu naar hydropyrolyse

Tabel 157 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking, residu naar hydropyrolyse - huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-413,49
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-1,64E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-25,80
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,43
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,43
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,47
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-1,16
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,084
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0055
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-1473,38
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-9,98
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-15,02
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-11,74
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-346,41
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-2,78
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-2,61
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-294,45
WATERVERBRUIK	m ³	-2,52
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-7,79E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-1,61E-06
Schadecategorie uitputting	USD2013	-116,33
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-15044,80

Tabel 158 Details resultaten droge scheiding, droge vergisting, inclusief compostverwerking, residu naar hydropyrolyse – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-384,66
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-2,29E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-57,27
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,49
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,51
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,54
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-1,38
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,10
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0072
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-1746,28
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-11,36
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-17,19
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-12,68
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-391,12
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-4,35
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-3,05
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-349,37
WATERVERBRUIK	m ³	-2,80

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-8,13E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-1,61E-06
Schadecategorie uitputting	USD2013	-139,40
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-18472,65

I.5 RESULTATEN MECHANISCH-BIOLOGISCHE SCHEIDING

I.5.1 Resultaten mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI

Tabel 159 Details resultaten mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI - huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	316,05
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-1,09E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-183,26
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	0,05
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,19
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	0,04
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-0,54
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,099
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0092
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-1734,90
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-11,91
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-17,22
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-9,94
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-380,01
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-8,52
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-3,00
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-57,74
Waterverbruik	m ³	-1,34
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	5,05E-05
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	5,86E-07
Schadecategorie uitputting	USD2013	-16,22
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-8492,88

Tabel 160 Details resultaten mechanisch-biologische scheiding, residu naar conventionele AVI – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	477,62
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-1,50E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-256,83
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	0,02
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,24
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	0,00
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-0,69
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,12
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0121
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-2120,10
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-14,62
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-21,11
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-12,25

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-457,06
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-11,76
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-3,57
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-78,12
Waterverbruik	m ³	-1,79
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	1,38E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	9,43E-07
Schadecategorie uitputting	USD2013	-22,12
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-11710,09

I.5.2 Resultaten mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+

Tabel 161 Details resultaten mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+ - huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-143,65
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-2,62E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-301,18
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,44
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,32
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,46
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-0,94
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,121
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0126
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-1855,57
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-16,04
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-23,44
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-14,01
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-471,52
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-13,78
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-3,29
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-230,68
Waterverbruik	m ³	-2,43
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-4,98E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-9,32E-07
Schadecategorie uitputting	USD2013	-76,04
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-20370,47

Tabel 162 Details resultaten mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI+ – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-138,22
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-3,55E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-414,73
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,61
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,42
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,64
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-1,23
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,15
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0166
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-2280,90

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-20,23
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-29,54
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-17,74
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-581,99
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-18,81
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-3,95
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-309,75
Waterverbruik	m ³	-3,24
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-5,95E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-1,09E-06
Schadecategorie uitputting	USD2013	-102,24
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-27618,01

I.5.3 Resultaten mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydropyrolyse

Tabel 163 Details resultaten mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydropyrolyse - huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-289,02
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-2,43E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-138,84
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,28
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,44
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,31
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-1,25
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,103
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0094
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-1810,07
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-12,41
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-18,29
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-11,81
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-405,44
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-7,86
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-3,02
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-262,00
Waterverbruik	m ³	-2,95
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-6,82E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-1,33E-06
Schadecategorie uitputting	USD2013	-107,83
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-16745,95

Tabel 164 Details resultaten mechanisch-biologische scheiding, residu naar hydropyrolyse – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-320,75
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-3,30E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-207,34
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,42
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,57
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,46

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-1,64
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,13
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0125
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-2227,25
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-14,86
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-21,96
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-14,46
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-476,14
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-11,27
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-3,63
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-347,82
Waternverbruik	m ³	-3,82
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-8,24E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-1,58E-06
Schadecategorie uitputting	USD2013	-142,57
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-22879,42

I.6 RESULTATEN AVI+

Tabel 165 Details resultaten AVI+ - huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-157,42
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-2,75E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-335,03
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,41
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,33
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,43
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-0,92
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,115
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0131
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-1640,94
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-15,02
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-21,88
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-13,22
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-422,71
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-15,13
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-3,06
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-237,05
Waternverbruik	m ³	-1,98
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-5,02E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-9,61E-07
Schadecategorie uitputting	USD2013	-77,89
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-21617,44

Tabel 166 Details resultaten AVI+ – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-152,69
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-3,69E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-449,11
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,61
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,43
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,64
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-1,21
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,15
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0169
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-2021,34
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-18,92
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-27,56
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-16,76
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-522,29
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-20,20
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-3,68
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-316,50
WATERVERBRUIK	m ³	-3,00
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-5,98E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-1,12E-06
Schadecategorie uitputting	USD2013	-104,23
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-28911,13

I.7 RESULTATEN MECHANISCHE SCHEIDING, THERMOCHEMISCHE RECYCLAGE

Tabel 167 Details resultaten mechanische scheiding, thermochemische recyclage - huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	-96,95
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-1,00E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-54,73
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-0,19
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-0,32
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-0,23
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-0,85
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,094
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,0065
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-1396,30
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-11,32
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-16,44
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-12,65
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-379,49
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-11,07
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-2,77
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-188,09
WATERVERBRUIK	m ³	-2,60

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-4,27E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-7,03E-07
Schadecategorie uitputting	USD2013	-74,87
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-11615,42

Tabel 168 Details resultaten mechanische scheiding, thermochemische recyclage – bedrijfsafval gelijkaardig aan huisvuil

Indicator	Eenheid	Netto resultaat
Klimaatimpact	kg CO ₂ -eq.	72,87
Aantasting ozonlaag	kg CFC11-eq.	-1,03E-04
Ioniserende straling	kBq Co-60-eq.	-42,03
Ozonvorming – menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	-2,23E-01
Fijnstofvorming	kg PM _{2,5} -eq.	-3,38E-01
Ozonvorming - ecosystemen	kg NO _x -eq.	-2,67E-01
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	-0,93
Vermesting - zoetwater	kg P-eq.	-0,10
Vermesting - zoutwater	kg N-eq.	-0,01
Ecotoxiciteit - bodem	kg 1,4-DCB	-1581,82
Ecotoxiciteit - zoetwater	kg 1,4-DCB	-12,46
Ecotoxiciteit - zoutwater	kg 1,4-DCB	-18,14
Toxiciteit - carcinogeen	kg 1,4-DCB	-13,45
Toxiciteit - niet-carcinogeen	kg 1,4-DCB	-427
Landgebruik	m ² a crop-eq.	-4,63
Schaarste - mineralen	kg Cu-eq.	-3,11
Schaarste - fossiele grondstoffen	kg oil-eq.	-207,78
Waterverbruik	m ³	-2,55
Schadecategorie menselijke gezondheid	DALY	-2,93E-04
Schadecategorie ecosystemen	species.yr	-1,97E-07
Schadecategorie uitputting	USD2013	-84,44
Exergieanalyse (CEENE)	MJex	-11694

J GEGEVENS MEDIUMTEMPERATUURVERGASSING

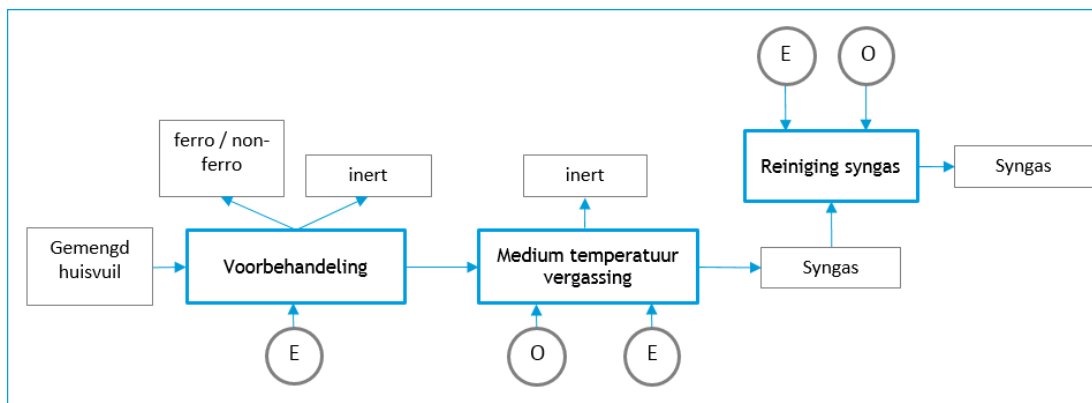
Bij mediumtemperatuurvergassing is in een laat stadium gebleken dat het opnemen van de techniek in deze studie niet mogelijk was omdat niet voldoende gegevens voorhanden waren. Er was toen al een gedeeltelijke inventarisatie uitgevoerd, deze gegevens worden deels weergegeven in deze bijlage.

J.1 BESCHRIJVING TECHNOLOGIE

Er bestaan veel verschillende varianten van mediumtemperatuurvergassing. De variant waar we in deze studie naar kijken is 'fluidized bed gasification', ofwel wervelbedvergassing. Hierbij wordt een warmtedrager, vaak zand, gefluidiseerd in een 'bed' bij een temperatuur van +/-900°C. De input, die niet volledig uniform hoeft te zijn, wordt gemengd met het bed en wordt omgezet in gas onder toevoeging van zuurstof.

Dit gas wordt vervolgens opgewaardeerd (schoongemaakt) zodat het kan worden ingezet als grondstof voor andere chemicaliën; o.a. methanol. Het Canadese bedrijf Enerkem past deze techniek commercieel toe in Quebec. Hier worden biobrandstoffen en biobased chemicaliën geproduceerd uit biomassahoudend gemengd huisvuil. In Nederland is een samenwerkingsverband tussen AkzoNobel, Port of Rotterdam, Air Liquide en Enerkem opgezet voor de realisatie van een installatie in Rotterdam.

Figuur 78 Vereenvoudigd procesdiagram voor mediumtemperatuurvergassing



Toelichting: (E) is energie-input en (O) is overige input.

J.2 VERWERKINGSCAPACITEIT EN INVESTERINGSKOSTEN

De mediumtemperatuurvergassingsinstallaties van Enerkem richt zich vooral op de verwerking van een combinatie van kunststof en biomassa. Er draait een installatie in Canada en samen met AkzoNobel wordt er een nieuwe ontwikkeld in de Rotterdamse regio. De installatie in Canada produceert sinds 2015 methanol en sinds 2017 ethanol.⁸⁵

De geschatte huidige investeringskosten die nodig zijn voor de vergassingsinstallatie in Rotterdam zijn ~€ 200 miljoen voor aan verwerkingscapaciteit van 360 kton (AkzoNobel, 2018). Dit komt neer op € 555.555 per kton verwerkingscapaciteit. Deze kosten zijn nog afhankelijk van het leveringscontract en uiteindelijke installatieontwerp.

⁸⁵ <https://enerkem.com/facilities/enerkem-alberta-biofuels/>

K REVIEW STATEMENT VAN RAPPORT:

‘VERWERKINGSSCENARIO’S VLAAMS HUISHOUDELIJK AFVAL EN GELIJKAARDIG BEDRIJFSAFVAL 2020-2030

Het document in deze bijlage beschrijft de review van het CE Delft rapport “Verwerkingsscenario’s Vlaams huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval 2020-2030”, Concept-eindversie januari 2019, volgens de ISO 14040 en 14044-normen. Deze studie vergelijkt nieuwe technieken voor de verwerking van huisvuil en niet-specifiek categorie II-afval met de huidige huisvuilverbranding (AVI) met energieproductie.

Finaal review statement van rapport Verwerkingsscenario's Vlaams huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval 2020-2030

Boonen Katrien

Studie uitgevoerd in opdracht van: OVAM

April 2019



VITO NV

Boeretang 200 - 2400 MOL - BELGIE
Tel. + 32 14 33 55 11 - Fax + 32 14 33 55 99
vito@vito.be - www.vito.be

BTW BE-0244.195.916 RPR (Turnhout)
Bank 375-1117354-90 ING
BE34 3751 1173 5490 - BBRUBEBB

Alle rechten, waaronder het auteursrecht, op de informatie vermeld in dit document berusten bij de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek NV ("VITO"), Boeretang 200, BE-2400 Mol, RPR Turnhout BTW BE 0244.195.916. De informatie zoals verstrekt in dit document is vertrouwelijke informatie van VITO. Zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van VITO mag dit document niet worden gereproduceerd of verspreid worden noch geheel of gedeeltelijk gebruikt worden voor het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin aangewend worden

VERSPREIDINGSLIJST

CE Delft:

Geert Bergsma
Diederik Jaspers
Sanne Nusselder
Erik Roos Lindgreen
Marijn Bijleveld

OVAM:

Luk Umans

VITO:

Katrien Boonen

INHOUD

<u>Verspreidingslijst</u>	I
<u>Inhoud</u>	I
<u>HOOFDSTUK 1. Inleiding</u>	1
<u>HOOFDSTUK 2. Finaal review statement</u>	2
<u>2.1. Beschrijving van de review procedure</u>	2
<u>2.2. Finaal review statement</u>	2
<u>Literatuurlijst</u>	4
<u>Bijlage A: Derde review statement</u>	5
<u>1. ISO 14040 en 14044 normen</u>	5
<u>2. Bepaling van doel en reikwijdte</u>	5
<u>3. Data inventarisatie (Life cycle inventory analysis)</u>	7
<u>4. Life cycle impact assessment</u>	7
<u>5. Life cycle interpretation</u>	8

HOOFDSTUK 1. INLEIDING

Dit document beschrijft de review van het CE Delft rapport “Verwerkingsscenario’s Vlaams huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval 2020-2030”, Concept-eindversie januari 2019, volgens de ISO 14040 en 14044 normen. Deze studie vergelijkt nieuwe technieken voor de verwerking van huisvuil en niet-specifiek categorie II afval met de huidige huisvuilverbranding (AVI) met energieproductie.

De opdrachtgever, OVAM, heeft de bedoeling om deze studie openbaar beschikbaar te maken. ISO 14040/44 schrijft in dit geval voor dat de review wordt uitgevoerd door een review panel: “In order to decrease the likelihood of misunderstandings or negative effects on external interested parties, a panel of interested parties shall conduct critical reviews on LCA studies where the results are intended to be used to support a comparative assertion intended to be disclosed to the public.” Deze review is gebeurd door een externe expert, en dus niet door een review panel. Dit is dus niet volledig conform ISO.

Volgens de ISO 14040 en 14044 normen, moet een kritische review garanderen dat:

- De gebruikte methodes voor de LCA consistent zijn met deze voorgeschreven in de ISO-normen;
- De gebruikte methodes voor de LCA wetenschappelijk correct en technisch onderbouwd zijn;
- De gebruikte data geschikt en relevant zijn volgens het doel van de studie;
- De interpretatie van de resultaten duidelijk de aangegeven beperkingen en doel en reikwijdte van de studie weerspiegelt;
- Het rapport transparant en consistent is.

Deze review richt zich op de LCA en niet op de analyse van technische- en kostenaspecten.

HOOFDSTUK 2. FINAAL REVIEW STATEMENT

2.1. BESCHRIJVING VAN DE REVIEW PROCEDURE

Volgende stappen zijn gevolgd tijdens dit review proces:

- CE Delft bezorgde VITO het *eerste interim-rapport* van de LCA-studie;
- VITO formuleerde review commentaar en aanbevelingen in een *eerste reviewverslag*;
- CE Delft hield rekening met deze feedback in het *tweede interim-rapport* van de LCA;
- VITO formuleerde review commentaar en aanbevelingen in een *tweede reviewverslag*;
- CE Delft hield rekening met deze feedback in het *concept eindrapport* van de LCA-studie;
- VITO formuleerde review commentaar, aanbevelingen en bijkomende vragen in een *derde reviewverslag*;
- CE Delft gaf feedback op dit review verslag (aangeduid in rood in Bijlage A);
- Tenslotte stelde VITO het *finaal reviewverslag* op, gebaseerd op het concept eindrapport, zoals ontvangen op 25 januari 2019, en de feedback van CE Delft op het derde review verslag (ontvangen op 8 april 2019). Het finaal reviewverslag zal worden opgenomen in het finaal rapport van de LCA-studie.

2.2. FINAAL REVIEW STATEMENT

Het rapport van de studie “Verwerkingsscenario’s Vlaams huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval 2020-2030” voldoet aan de ISO 14040 en 14044 standaarden. De methodes toegepast in de LCA zijn wetenschappelijk correct. De aannames zijn gerapporteerd en verduidelijkt, en ook de beperkingen van de studie zijn beschreven. De gebruikte data zijn voldoende gerapporteerd wat betreft de technieken waarvoor de informatie niet vertrouwelijk is (de vertrouwelijke gegevens zijn niet opgenomen in het rapport en konden dus niet nagekeken worden). Datakwaliteit en databronnen zijn zo goed mogelijk in overeenstemming met het doel en de scope van de studie. De datakwaliteit van de verschillende technieken is niet altijd vergelijkbaar, daarom wordt een onderscheid gemaakt in toekomstige verwerkingsroutes (praktijkdata) en theoretische verwerkingsroutes (theoretische data). De interpretatie van de resultaten is consistent met het doel van de studie. Er zijn voldoende gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om de robuustheid van de resultaten na te gaan. Een volledige calculatiecheck werd niet uitgevoerd tijdens deze review (zoals afgesproken in de scope van de review). Een globale check van de resultaten werd wel gedaan, welke aangaf dat de berekeningen op een correcte manier zijn uitgevoerd.

De auteurs van de studie hebben voldoende rekening gehouden met de reviewcommentaren en aanbevelingen van de reviewer. De belangrijkste zaken die werden aangegeven in de verschillende reviewverslagen en verwerkt door CE Delft zijn:

- Concretere uitwerking van de selectiecriteria voor de technieken;
- Nuanceren van de vergelijkbaarheid van de verschillende technieken (e.g. rekening houden met TRL-niveau, meenemen van dezelfde types emissies voor alle routes);
- Uitgebreidere beschrijving van de systeemgrenzen (e.g. voor transport en infrastructuur);
- Uitgebreidere rapportering van de data-inventarisatie van enkele aspecten (e.g. CO₂- opslag) en vermelden van een aantal aannames (e.g. kwaliteit eindproducten);
- Gebruik van primaire data waar mogelijk (e.g. Vlaamse AVI’s);

- Het niet ISO-conforme karakter van de weging waar nodig benadrukken.
- Het derde reviewverslag met feedback van CE Delft is opgenomen in bijlage A.

LITERATUURLIJST

ISO 14040, 'Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework', (2006).

ISO 14044, 'Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines', (2006).

JRC. 2011. Supporting Environmentally Sound Decisions for Waste Management - A technical guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA) for waste experts and LCA practitioners. Publications Office of the European Union

BIJLAGE A: DERDE REVIEW STATEMENT**1. ISO 14040 EN 14044 NORMEN**

In het rapport wordt goed vermeld voor welke delen de ISO 14040/44 normen gevolgd worden (par. 5.3.1).

2. BEPALING VAN DOEL EN REIKWIJDTE

Volgens de ISO-standaarden 14040 en 14044 zal een LCA-studie duidelijk het **doel** van de studie definiëren. Volgende aspecten moeten duidelijk en ondubbelzinnig worden opgenomen in de definitie van het doel van de studie:

- Toepassing van de LCA;
- Redenen voor het uitvoeren van de LCA-studie;
- Publiek waarvoor de studie bedoeld is;
- Is het de bedoeling de resultaten te gebruiken in vergelijkende studies dewelke publiek bekend gemaakt zullen worden.

Het doel van deze LCA-studie is beschreven in hoofdstuk 1 en 5. Deze delen bevatten alle elementen uit bovenstaande lijst.

Conform ISO 14040 en 14044 moeten bij het bepalen van de reikwijdte (scope) van de LCA de volgende aspecten worden benoemd en verduidelijkt:

- Productsystemen die onderzocht worden;
- Functie van de systemen;
- Functionele eenheid;
- Systeemgrenzen;
- Allocatieprocedures;
- Geselecteerde impact categorieën en impact assessment methodologie, en bijhorende interpretatie;
- Vereisten inzake gegevens en de kwaliteit ervan;
- Aannames;
- Waarde keuzes en optionele elementen;
- Beperkingen;
- Type van kritische review;
- Type en formaat van finaal rapport.

Onderzochte productsystemen

De beschikbare technieken worden kort beschreven, de geselecteerde technieken worden meer in detail uitgelegd (inclusief procesdiagrammen). Voor de selectie van de technieken is een duidelijke beslissingsboom opgesteld.

Functie van de systemen en functionele eenheid

De functie en functionele eenheid van de studie zijn correct gedefinieerd.

Systeemgrenzen

De systeemgrenzen worden voldoende beschreven.

Allocatieprocedures

De allocatieprocedures worden vermeld. Er wordt gewerkt met “system expansion” voor de producten en energie die afvalverwerking oplevert. Dit zou dus ook als consequential LCA beschouwd kunnen worden. De vermeden producten en energie worden wel met de gemiddelde marktmix gemodelleerd. In een gevoeligheidsanalyse wordt onderzocht wat het effect zou zijn indien met een marginale elektriciteitsmix gewerkt zou worden.

Impact assessment methodologie

De berekeningen zijn uitgevoerd met de ReCiPe 2016 en de CEENE-methode. Er wordt dus een brede waaier aan impactcategorieën meegenomen, dit lijkt zeker voldoende.

Vereisten inzake gegevens en de kwaliteit ervan

De datakwaliteit wordt besproken in par. 5.4. Er wordt onderscheid gemaakt tussen ontwikkelde technieken (toekomstige verwerkingsroutes) en technieken die nog niet toegepast zijn op huisvuil en waarvoor de onzekerheid dus veel groter is (theoretische verwerkingsroutes). Op deze manier wordt een relevante vergelijking gemaakt.

Aannames en ontbrekende data

Er wordt vermeld dat de kwaliteit van het metaal en de kunststoffen vergelijkbaar is tussen de verschillende nascheidingstechnieken. **Is deze kwaliteit ook gelijkaardig aan die van de vermeden primaire producten?**

Ja, bij de substitutie van kunststoffen houden we rekening met sorteren en schoonmaken zodat het ingezet kan worden als deels vervanger van hoogwaardige materialen en deels laagwaardige. Dit lichten we meer toe in het eindrapport.

De uitstoot van biogeen CO₂ is niet inbegrepen in de milieu-indicator ‘klimaatimpact’ (p.49). Het is inderdaad gebruikelijk om dit niet mee te nemen bij *cradle-to-grave* levenscyclusanalyses. Wat opgeslagen werd tijdens de productie wordt immers weer uitgestoten aan het einde van de levensduur. In deze studie is het echter de bedoeling om de beste manier van afvalverwerking te kiezen bij einde leven, en maakt het minder uit of de CO₂ die uitgestoten wordt biogeen was van oorsprong of niet. In ieder geval zou het wel meenemen van biogeen CO₂ niet tot andere conclusies mogen leiden. **Het is dus aangeraden om in een gevoeligheidsanalyse na te gaan of de conclusies overeind blijven indien er wel rekening gehouden wordt met biogene CO₂.**

We hebben de analyse zo gedaan dat in alle processen hetzelfde voordeel van het deels biogeen zijn van het afval meegenomen wordt. Als biogeen wel gerekend wordt als CO₂-emissie dan komt er bij alle routes dezelfde hoeveelheid aan emissies bij. De rangorde zal dus niet veranderen.

We zullen dit toelichten in de eindrapportage.

Type van kritische review

Het type van kritische review wordt vermeld.

Opbouw rapport en fasen LCA

In tabel 12 wordt aangegeven in welke hoofdstukken de verschillende stappen van een LCA volgens ISO teruggevonden kunnen worden.

De opbouw van de samenvatting is niet duidelijk. Bij “klimaatimpact” worden resultaten voor theoretische verwerkingsroutes getoond, maar deze technieken worden pas nadien uitgelegd, onder “Conclusies milieukundige analyse langere termijn (2025-2030)”. Deze uitleg kan best verplaatst worden naar “Selectie technieken”. Onder “Milieuschadecategorieën” wordt enkel een figuur voor

de theoretische en niet voor de toekomstige routes getoond. Bij alle paragrafen waarin resultaten besproken worden kan best een duidelijke onderverdeling gemaakt worden in theoretische en toekomstige routes. In “Conclusies milieukundige analyse langere termijn (2025-2030)” wordt er gesproken over technieken die beter scoren. Hier dient vermeld te worden op welk vlak dit is (enkel klimaat, schadecategorieën, grondstofefficiëntie...?). Er kan best duidelijker aangegeven worden waar de conclusies voor de milieukundige analyse op korte termijn (2020-2025) staan.

We gaan dit aanpassen.

3. DATA INVENTARISATIE (LIFE CYCLE INVENTORY ANALYSIS)

ISO vraagt om bij gebruik van data uit publieke bronnen te refereren naar de bron. Voor data die significant zijn voor de conclusies van de studie moet aangegeven worden op welke manier deze werden ingezameld (tijd, datakwaliteit etc.). Wanneer deze niet voldoen aan de data kwaliteitseisen moet dit duidelijk worden vermeld.

Een deel van de geïnventariseerde gegevens zijn vertrouwelijk en kunnen dus niet gereviewd worden (natte scheiding, natte vergisting en mechanische scheiding, thermochemische verwerking). Voor de andere technieken zijn de data voldoende uitgebreid beschreven in hoofdstuk 6 en de bijlages.

Voor de gevoeligheidsanalyse “realisatie van CO₂-afvang en opslag (CCS) en toepassing (CCU)” is het niet volledig duidelijk welke gegevens gebruikt zijn. Er worden verschillende types CO₂-afvang en -toepassing opgesomd, maar deze worden niet verder uitgelegd. Wat wordt hier meegenomen in de analyse? E.g. in het geval van CCS: transport van CO₂ naar opslag, energie nodig voor opslag in oud gasveld? Op welke manier wordt er rekening gehouden met de duur van de opslag? Wat wordt er bedoeld met de efficiëntie? Is dit aandeel afgevangen CO₂ t.o.v. totaal CO₂? Wat betekent een efficiëntie van meer dan 100%? Voor deze zaken is verdere uitleg nodig.

We gaan dit meer toelichten met ook meer bronvermeldingen.

Bij de productie van diesel gaat men uit van de vervanging van de fossiele CO₂-emissies die vrijkomen bij verbranding van diesel. **Betekent dit dat de koolstof in de geproduceerde diesel volledig van biogene oorsprong is?** Of worden de fossiele emissies vervangen door deels fossiel en deels biogeen?

De diesel is deels fossiel en deels biogeen.

Volgens tabel 72 komt een inerte fractie vrij bij droge scheiding. Deze vind ik echter niet terug in Figuur 14, waar de inerte fractie lijkt vrij te komen bij de droge vergisting.

Inert mist in figuur 14. We zullen deze hier toevoegen.

In Tabel 73 is de output veel kleiner dan de input. Wat is de reden hiervoor? Zijn dit emissies van water?

Per ton GFT in ONF:

- 842,70 kg + (130 m³ * 1,21) = 1000 kg

- 830,6 kg + (140 m³ * 1,21) = 1000 kg

De rest van het water dat toegevoegd wordt verdampt.

4. LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT

De interpretatie van de resultaten is soms moeilijk te volgen omdat per route enkel de totaalscore getoond wordt. Een figuur waarbij de impact verder opgesplitst is in procesimpacts en vermeden

impacts door productie van energie en materialen zou hierbij helpen. De vorige versie van het rapport bevatte deze figuren wel, om welke reden zijn deze weggelaten? **Het is aan te raden om voor de belangrijkste resultaten (vergelijking klimaatimpact voor toekomstige en theoretische verwerkroutes) deze figuren toe te voegen.**

In een vergelijking is het lastig om zo'n figuur te gebruiken. De opgesplitste figuren werden eerder weergegeven per route in de bijlage. Dit is weggelaten in deze versie van het rapport omdat het erg veel updating vereist.

Gezien de hoeveelheid commentaar om te verwerken is de inschatting dat het niet lukt om bij belangrijke resultaten een extra figuur toe te voegen. We gaan ons best doen.

Figuren zoals figuur 22, waarin de verschillende milieu-impacts voor verschillende routes naast elkaar gezet worden, zijn niet gemakkelijk te interpreteren. In dit soort figuren is het zeer moeilijk om de hoogte van de balkjes voor éénzelfde milieu-impact met elkaar te vergelijken. Ik zou eerder groeperen per milieu-impact en niet per verwerkroute. Vermits de AVI de referentie is, lijkt het mij logischer dat de impact hiervan op 100% gezet wordt, en de rest t.o.v. de AVI wordt getoond. Misschien helpt het ook om een lijn te trekken op (-)100%?

We kijken hoe we deze figuren leesbaarder kunnen maken.

5. LIFE CYCLE INTERPRETATION

In de conclusies (hoofdstuk 13) wordt vermeld dat deze enkel op de klimaatimpact gebaseerd zijn. **In de rest van dit hoofdstuk kan dit dus ook best zo benoemd worden om verwarring te vermijden (e.g. klimaatvoordeel i.p.v. milieuvoordeel).** Enkel op basis van klimaat kan er immers niet geconcludeerd worden dat een techniek beter is dan een andere.

Dit was bij de vorige versie. Inmiddels hebben we conclusies op completer beeld. We passen dit aan.

Hoe groot moeten de verschillen in de resultaten zijn om als significant beschouwd te worden?

Hiervoor lijkt niet consequent dezelfde regel te worden toegepast. Zo wordt bijvoorbeeld bij de klimaatimpact een verschil van 3% besproken alsof het significant zou zijn ('mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI' heeft een iets hogere klimaatimpact dan complete verbranding van het huisvuil in een conventionele AVI, p.99), terwijl voor vermesting-zoutwater, waar het verschil 21% is, gesteld wordt dat de resultaten zo dicht bij elkaar liggen dat het verschil nauwelijks te zien (p. 103).

We zullen beter opletten op de significantie. In het geval van de 3%, is ondanks het lage percentage verschil, het wel duidelijk dat mechanisch-biologische scheiding, residu naar AVI altijd een hogere klimaatimpact heeft dan verwerking in een conventionele AVI. We voegen toelichting toe hierop en bekijken of voor de andere genoemde percentages dit ook met zekerheid valt te stellen.