

An aerial photograph of a winding road through a dense forest. The road curves through the trees, and a small red car is visible on it. Mist or low clouds fill the valleys between the hills, creating a dramatic and atmospheric scene. The sky is overcast with grey clouds.

Koolstofvoetafdruk Analyse: Methanol uit niet-recyclebaar afval

Maart 2021

Rapport geschreven door Chris van der Zande, Cristina Groian en Niek de Nooijer (G.I.Dynamics)

Foto: Christopher Rusev

Inhoudsopgave

1. Inleiding	3
2. Methanol productie: niet-recyclebaar afval, kool of aardgas	4
2.1. Het doel	4
2.2. De Methodologie.....	5
2.3. Systemanalyse	6
2.3.1. PFM naar Methanol.....	6
2.3.2. Aardgas naar methanol	6
2.3.3. Steenkool naar methanol	7
2.4. De Resultaten	7
3. Afval verwerking: Storten, Verbranden of Methanol	9
3.1. Het doel	9
3.1. System analyse	11
3.1.1. Methanol Productie - Koolstofvoetafdruk	11
3.1.2. Energie Productie/Winning - Koolstofvoetafdruk	11
3.1.3. Afval storten - Koolstofvoetafdruk	12
3.2. De Resultaten	13
4. Stikstof (NOx) emissies: AMA tegenover AVI.....	14
4.1. AVI NOx emissies	14
4.2. AMA NOx emissies	14
4.3. De Resultaten	14
5. Koolstofvoetafdruk waterzuivering varianten AMA.....	15
5.1. Varianten Afvalwaterzuivering	15
5.1.1. Lozing naar oppervlakte water	15
5.1.2. Lozing naar Rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) Westpoort.....	15
5.1.3. Nul vloeistofafvoer plus (ZLD+)	15
5.2. Koolstofvoetafdruk vergelijking afvalwaterzuivering.....	15
6. Conclusies.....	17
Bijlage 1: PFM Analyse.....	18
Bijlage 2: Uitkomst Koolstofvoetafdruk analyse AMA – door Guidehouse	20
Referentie lijst.....	21

1. Inleiding

Advanced Methanol Amsterdam B.V.¹ ('AMA') heeft de intentie om in het Amsterdams westelijk havengebied een fabriek te bouwen voor de productie van methanol uit pellets door middel van vergassingstechnologie. De pellets bestaan uit niet-recyclebaar (b-type) afvalhout en niet-recyclebaar huishoudelijk- en bedrijfsafval (RDF), nader in dit document toegelicht als "PFM" (Pelletized Feedstock Material). Er wordt een ontwerp gemaakt waarbij er jaarlijks 176.000 ton PFM wordt omgezet naar 87.500 ton methanol. Er zijn twee bijproducten; (i) 110.000 ton per jaar groene CO₂ (met een biogene fractie van ongeveer 76%) voor de glastuinbouw en (ii) 22.500 ton per jaar bodem product te gebruiken als cement vulling.

Het doel van dit document is om aan de hand van een analyse de hoeveelheid broeikasgasreductie (gemeten in metrische ton kooldioxide-equivalenten, ton CO₂eq .) die, als gevolg van de productie van methanol inclusief benoemde bijproducten uit afval, behaald kan worden ten opzichte van het meest gangbare gevestigde proces. Methanol wordt nu veelal uit aardgas of steenkool geproduceerd. De methanol van AMA is voornamelijk bedoeld voor brandstofbijmenging om daarmee de milieu-impact van transport en vervoer te verminderen. Deze markt wordt gedreven door Europese richtlijnen (Renewable Energy Directive II "RED II") met nationale regelgeving voor het bijmengen van duurzame brandstoffen. De methanol kan ook gebruikt worden voor het produceren van duurzame chemicaliën en (bio-)plastics.

Voordat de PFM als grondstof bij AMA beschikbaar wordt gesteld, worden de basis materialen gepelletiseerd om deze geschikt te maken voor het vergassingsproces van AMA. Dit is buiten de productielocatie van AMA. De broeikasgasemissies die bij het pelletiseren gegenereerd worden zijn meegenomen in de emissie/product waarde van de PFM.

De meest toegepaste processen voor afvalverwerking zijn (i) afvalverbranding met energiewinning en (ii) storten op het land. Deze manieren van afvalverwerking worden vergeleken met de eerder genoemde omzetting van afval via PFM naar methanol.

Er zal eerst een analyse worden gemaakt van de koolstofvoetafdruk van methanol via de verschillende opties. Daarna zal er een analyse volgen voor de koolstofvoetafdruk voor het verwerken van niet-recyclebare afval op basis van eerder benoemde routes.

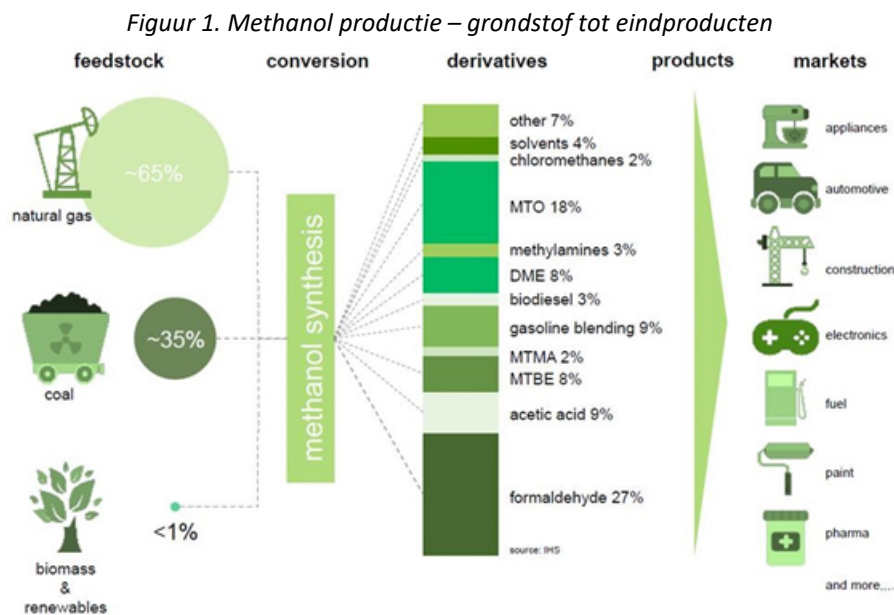
Tevens is er een onafhankelijk koolstofvoetafdruk analyse uitgevoerd door het bedrijf Guidehouse. De resultaten in grafieken zijn meegedeeld in bijlage 2 van deze analyse. Verschillen in de rapportage kunnen ontstaan zijn door toepassing van verschillende methodologie en systeemgrenzen. Desalniettemin resulteert beide koolstofvoetafdruk analyses in een significantie koolstofvoetafdruk besparing.

2. Methanol productie: niet-recyclebaar afval, kool of aardgas

2.1. Het doel

Het doel van deze analyse is om de koolstofvoetafdruk te bepalen van de verschillende routes om methanol te produceren en de potentiële broeikasgasreducties van de methanol productieroute zoals voorgesteld door AMA ten opzichte van de conventionele routes.

Volgens het Methanol Institute (september 2018) wordt 65% van de geproduceerde methanol vervaardigd vanuit aardgas en de resterende 35% vanuit steenkool. Huidige productie van methanol vanuit biomassa of duurzame route is marginaal.



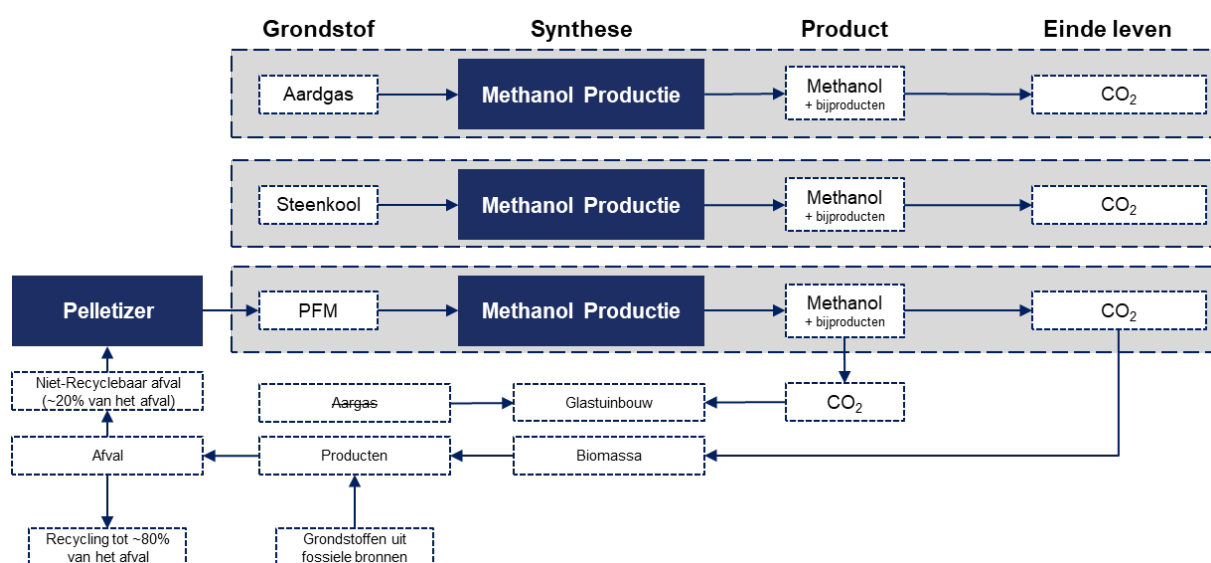
Bron: Methanol Institute, september 2018

Om een realistisch vergelijking te maken tussen de koolstofvoetafdruk van geproduceerde methanol op de markt ten aanzien van methanol geproduceerd door AMA vanuit PFM, zal de koolstofvoetafdruk van methanol uit verschillende grondstoffen worden geïdentificeerd en vergeleken met de methanol koolstofvoetafdruk van AMA.

Het overgrote deel ($\geq 95\%$) van de bij de AMA geproduceerde CO₂ wordt opgevangen, opgeschoond en via een verbinding van de OCAP pijpleiding (CCU) gebruikt in de glastuinbouw. OCAP is ook actief met meerdere projecten om het netwerk van pijpleidingen te koppelen met lege gasvelden voor het afvangen, hergebruiken en opslaan van CO₂ (CCU/CCS). Het doel is om de fossiele CO₂ (geproduceerd door verbranding van aardgas in de glastuinbouw) te vervangen door de groene CO₂ van AMA. De glastuinbouw heeft CO₂ en warmte nodig voor het effectief groeien van planten en bloemen. Traditioneel wordt aardgas gebruikt voor het produceren van deze warmte en CO₂. Door aardgas te vervangen met geïmporteerde (groene) CO₂ en te combineren met geothermische verwarming, kan er een enorme koolstofvoetafdruk reductie worden verwezenlijkt. De productie van groene CO₂ bij AMA in de OCAP kan een besparing verwezenlijken tot 31 miljoen kubieke meter aardgas per jaar besparen. De broeikasgasreducties van vervanging van aardgas in de glastuinbouw en tevens de fossiele koolstoffen die vrijkomen in de processen worden vallen buiten de systeemgrens en zijn niet meegenomen in de analyse.

Figuur 2 hieronder geeft het productie proces van methanol inclusief systeemgrenzen weer.

Figuur 2. Productie proces met focus op methanol



2.2. De Methodologie

De koolstofvoetafdruk van methanol welke geproduceerd wordt door gebruik te maken van PFM, aardgas of steenkolen wordt getoetst door middel van een koolstofvoetafdrukanalyse. Hierbij worden de systeemgrenzen gedefinieerd als wieg tot graf (“cradle-to-grave”). De koolstofvoetafdrukanalyse is uitgevoerd met gebruik van het programma “SimaPro” inclusief de laatste versie van EcolInvent.

Waar relevant worden de fossiele koolstof emissies meegenomen in de analyse. De koolstofvoetafdruk voor elke input wordt op basis van de energie- en massabalansen gekwantificeerd. Op basis van economisch balans wordt de koolstofvoetafdruk gealloceerd naar (i) CO₂ voor de OCAP (13.47%) en (ii) methanol (86.53%).

De koolstof emissies van biogene CO₂ zijn niet meegenomen wegens deze vooraf in de waardeketen worden vastgesteld, en dus van wieg-tot-graf een neutrale bijdrage heeft.

De fossiele koolstofemissies van afval tot het verzamelpunt zijn niet meegenomen. Dit wordt door meerdere onafhankelijke verklaringen en protocollen gedefinieerd is^{14 15}.

Het aandeel van fossiele koolstof in de koolstofvoetafdruk van methanol aan het einde van de levensduur is gelijk aan het aandeel van fossiele koolstof in de afvalstroom. De biogene fractie voor AMA zal gebaseerd zijn op het biogene fractie PFM zoals geproduceerd te worden bij aangewezen pelletizer voor AMA. De biogene fractie analyse van de PFM is bijgevoegd in bijlage 1. Hierbij moet aangegeven worden dat het percentage as (“inert in dry”) volledig naar het bodem product gaat. Dit resulteert in een biogene fractie van 76%.

$$\text{biogene fractie} = \frac{\text{Biomassa \%}}{(\text{Biomassa \%} + \text{Niet-biomassa \%})^*} = \frac{66.22\%}{(66.22\% + 20.90\%)} = 76.01\%$$

* Exclusief het percentage as (“inert in dry”) wat volledig naar het bodem product gaat. Zie bijlage 1: PFM Analyse

2.3. Systemanalyse

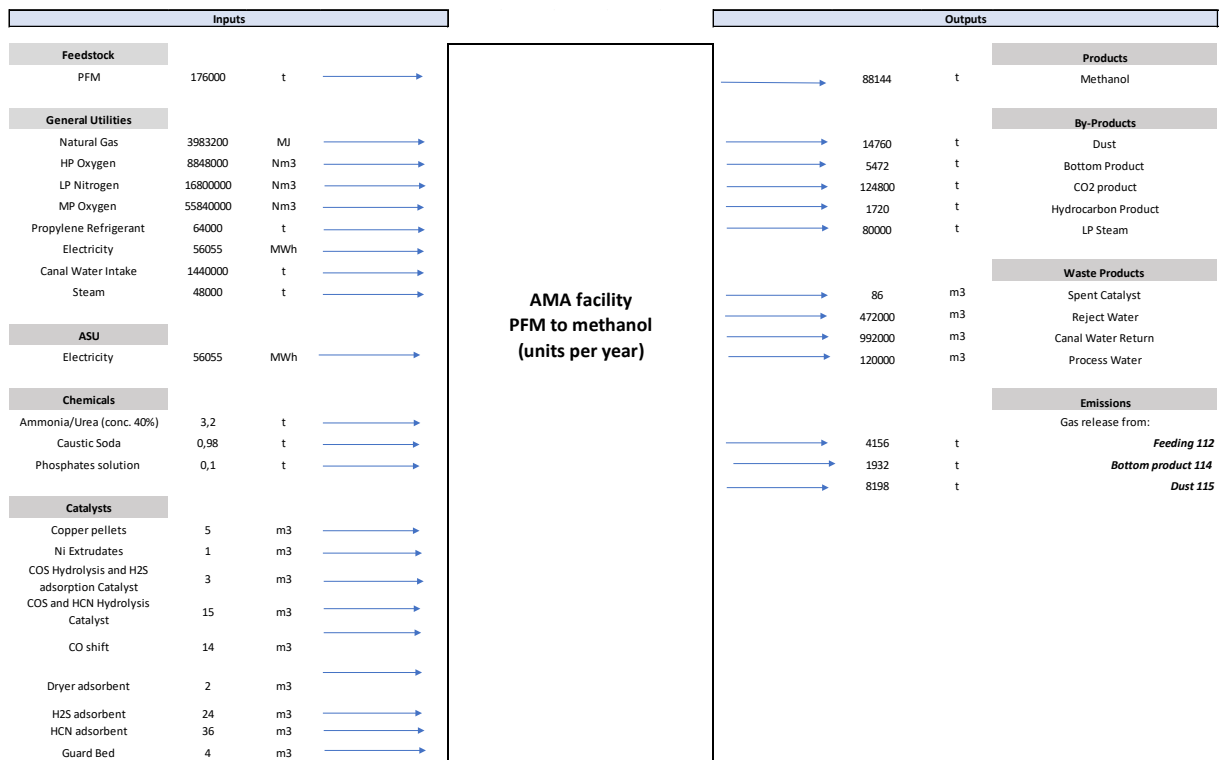
2.3.1. PFM naar Methanol

Figuur 3 hieronder geeft de ingaande en uitgaande stromen bij de productie van methanol vanuit PFM. De koolstofvoetafdrukken vanuit de voorbehandeling van PFM zijn apart berekend en ook meegenomen.

Stoom wordt geïmporteerd vanuit AEB. De stoom wordt geproduceerd door de verbranding van afval en heeft een deel biogene fractie. Het aandeel biogeen in het afval is 52% (publicatie Rijkswaterstaat) op basis waarvan wij onze Garanties van Oorsprong krijgen. Het percentage wordt jaarlijks vastgesteld en schommelt al jaren boven de 52% en voor de analyse is 52% aangenomen.

Duurzame elektriciteit (5-6 MW) is direct beschikbaar vanuit een directe kabelverbinding vanuit drie windturbines op de locatie van Zenith. Voor de analyse is 5.5 MW gebruikt als gemiddelde gebruik omdat het werkelijke gebruik afhankelijk is van veel variabelen (o.a. beschikbaarheid op basis van wind). De resterende stroom zal aangeleverd worden via het stroomnetwerk met bijbehorende koolstofvoetafdruk.

Figuur 3. ingaande en uitgaande stromen - PFM naar methanol (in units per jaar)



2.3.2. Aardgas naar methanol

Voor het bepalen van de koolstofvoetafdruk van methanol geproduceerd uit aardgas is er gebruik gemaakt van publieke databanken en vandaar uit een gemiddelde genomen. De “cradle-to-gate” (wieg-tot-poort) koolstofvoetafdrukken die zijn geïdentificeerd variëren tussen 0.5 – 1.1 kg CO₂eq per kg geproduceerde (fossiele) methanol^{1, 2, 18, 19, 20}.

Hierbij moet wel aangegeven worden dat de lagere koolstofvoetafdruk gecreëerd wordt door maximaal gebruik te maken van groene elektriciteit.

Daar tegenover staat dat indien AMA maximaal gebruik maakt van groene elektriciteit, de bijbehorende koolstofvoetafdruk bij productie van methanol uit PFM zelfs slechts 0.17 kg CO₂eq per kg methanol is. Desalniettemin wordt het gemiddelde van aardgas naar methanol genomen omdat dit representatief is voor de huidige markt.

2.3.3. Steenkool naar methanol

Voor het bepalen van de koolstofvoetafdruk van methanol geproduceerd uit steenkool is gebruik gemaakt van publieke databanken en een gemiddelde genomen. De “cradle-to-gate” (wiegtot-poort) koolstofvoetafdruk zijn geïdentificeerd en variëren tussen 2.6 – 3.8 kg CO₂eq per kg geproduceerde methanol^{2 3 4 17}.

In onderzoeken wordt aangegeven dat op basis van CCS er een mogelijkheid is om 55-66% besparing te verkrijgen in de koolstofvoetafdruk³. Dit is een technische mogelijkheid voor een koolstofreductie, maar wordt heden ten dagen nog niet toegepast en is geen reflectie van de huidige marktsituatie.

2.4. De Resultaten

Vanuit publieke data kan worden vastgesteld dat de koolstofvoetafdruk voor methanol vanuit een fossiele koolstof achtergrond 1,4 kg CO₂eq per kg methanol is voor poort tot graf.⁵ De koolstofvoetafdruk bij poort-tot-graf is alleen van toepassing op de fossiele fractie. Voor AMA is dit 24% en voor methanol uit aardgas en steenkool is dit 100%. Dit resulteert in een koolstofvoetafdruk voor geproduceerde methanol uit respectieve grondstoffen zoals weergegeven in tabel 1.

Tabel 1. Koolstofvoetafdruk: Wieg-tot-graf

	PFM naar Methanol	Aardgas naar Methanol	Steenkool naar Methanol
Koolstofvoetafdruk bij productie (wieg tot poort) (kg CO ₂ eq per kg methanol)	0.17* - 0.58	0.50 – 1.10	2.60 – 3.80
Fossiele fractie	24%	100%	100%
Koolstofvoetafdruk bij (poort tot graf) (kg CO ₂ eq per kg methanol)	0.34	1.40	1.40
Koolstofvoetafdruk: Wieg-tot-graf (kg CO₂eq per kg methanol)	0.92	2.20	4.60

* Huidig wordt de hogere koolstofvoetafdruk voor productie bij AMA meegenomen. In het geval van maximaal gebruik van groene stroom, zal er nog een significante koolstofreductie gerealiseerd worden. Deze mogelijkheid direct volledig groene stroom te ontvangen is nog contractueel in ontwikkeling voor AMA ten tijde van het schrijven van dit rapport.

In de huidige marktsituatie is 65% van de methanol geproduceerd uit aardgas en 35% uit steenkool. De gemiddelde koolstofvoetafdruk (wieg-tot-graf) van methanol op basis van de huidige markt resulteert in 3.04 kg CO₂eq per kg methanol.

$$\text{Koolstofvoetafdruk methanol} = \frac{(0.50 + 1.10)}{2} \times 65\% + \frac{(2.60 + 3.80)}{2} \times 35\% + 1.40 = 3.04 \text{ (kg CO}_2\text{eq per kg methanol)}$$

Figuur 4 geeft een vergelijking weer van de koolstofvoetafdruk van methanol geproduceerd door AMA ten opzichte van de fossiele methanol zoals deze nu wordt geproduceerd. De voornaamste emissies worden gecreëerd door gebruik te maken van stroom uit het netwerk wat te herleiden is uit de productie van PFM, zuurstof en stroom voor de AMA faciliteit. Het resterende aandeel aan emissie

ontstaat vanuit het importeren van stoom, wat nodig is voor de productie van PFM en in het AMA proces. De CO₂ emissie van de aangeleverde stoom is voor 52% van biogene oorsprong. Dit is ongeveer 11% van de koolstofvoetafdruk voor het produceren van de advanced methanol. Het overige emissie deel is een combinatie van gebruik / afval producten die ontstaan bij katalysatoren, chemicaliën, afvalwaterbehandeling en directe emissies. Deze overige koolstofemissies hebben relatief weinig invloed op de koolstofvoetafdruk.

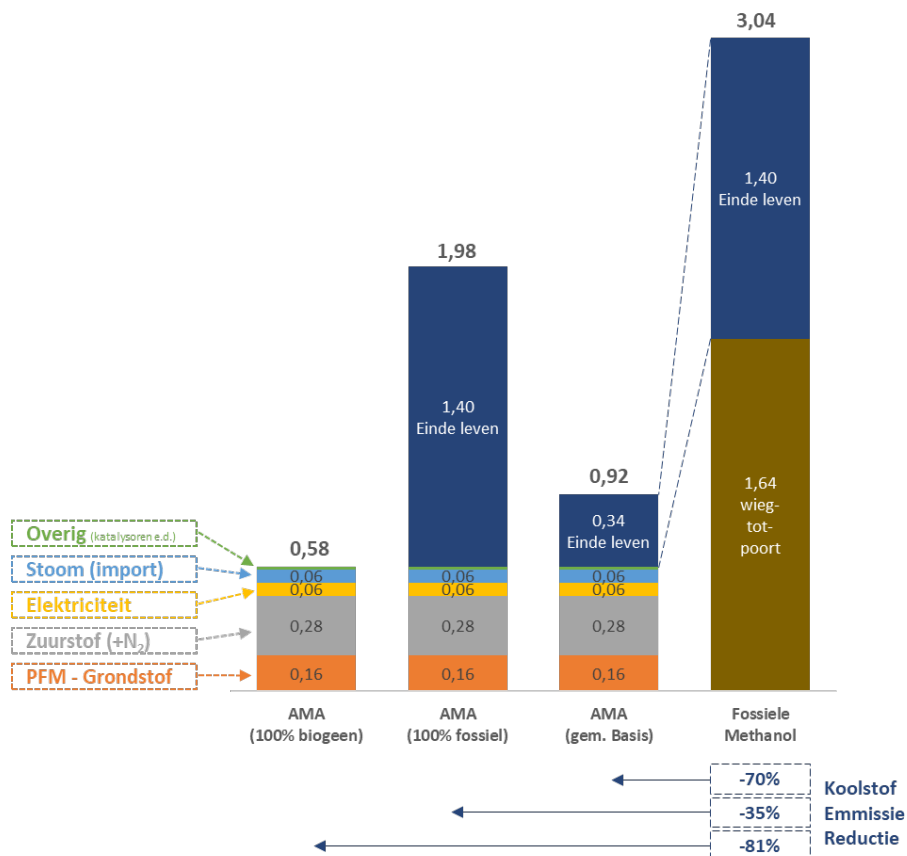
In het geval dat het PFM een 100% fossiele achtergrond heeft (bijvoorbeeld 100% niet-recyclebaar plastics), zal dit resulteren in een koolstofvoetafdruk van 1.98 CO₂eq kg/kg methanol. Deze emissie factor is alsnog 10% lager dan methanol geproduceerd uit aardgas (met een gemiddelde koolstofvoetafdruk van 2.20 CO₂eq kg/kg methanol).

Op basis van de PFM compositie zoals voorzien in het geval van AMA, zal de methanol een koolstofvoetafdruk genereren van 0.92 CO₂eq kg/kg methanol. Dit is een besparing van 70% ten aanzien van het gemiddelde van de huidige markt van fossiele methanol productie.

In het geval dat AMA een 100% biogene grondstof gebruikt (bijvoorbeeld 100% B-type afvalhout) zal de besparing oplopen tot 81% ten op zichten van fossiele methanol productie. AMA heeft de voorkeur om maximaal niet-recyclebaar afval (als zijnde Refused Derived Fuel "RDF") te gebruiken in plaats van B-type afvalhout. De reden hiervoor is dat het volume niet-recyclebaar afval "RDF" een extreem groot volume is wat momenteel geen afzetmarkt heeft en wordt verbrand of gestort.

Gebaseerd op een jaarlijkse productie van 87.500 ton per jaar wordt een koolstofreductie van 185.500 ton CO₂eq gerealiseerd indien de methanol geproduceerd wordt uit niet-recyclebaar afval.

Figuur 4. Koolstofvoetafdruk (CO₂eq kg/kg methanol)



3. Afval verwerking: Storten, Verbranden of Methanol

3.1. Het doel

In dit hoofdstuk zal er een vergelijking worden gemaakt of de vermeden koolstofemissies zoals gepresenteerd in hoofdstuk 2 ook andere voordelen opleveren ten opzichten van de huidige verwerking van 'niet-recyclebaar afval'. De huidige toepassing van niet-recyclebaar afval is landfill (storten) of verbranden waarbij energie wordt teruggewonnen ("Waste-to-Energy").

Afval verwerking: Huidige situatie

Op dit moment wordt het niet-recyclebaar afval voor het overgrote deel weggezet bij afval verbrandingsinstallaties zoals AEB, Amsterdam voor het verbranden plus terugwinning van energie. De kerngetallen van de "Waste-to-Energy" faciliteit van AEB zullen als basis gebruikt worden ⁶. Het rendement van de AEC (Afval Energie Centrale) is 21.3% - 25% en de HRC (Hoge Rendement Centrale) is 30.4% - 30.9%. Deze installatie is boven het gemiddelde Nederlandse rendement ⁷.

Om een juist vergelijking te maken zullen dezelfde capaciteiten toegepast worden voor het leveren van:

1. Methanol (87.500 ton per jaar)
2. Elektriciteit (108.370 MWh per jaar*)
3. Stoom/Warmte (106.780 GJ per jaar*)
4. Afvalverwijdering (176.000 ton per jaar)

* Op basis van de historische getallen van AEB met aanpassing op de hoeveelheid afval.

Figuur 5. Afvalhiërarchie

Niet-recyclebare reststoffen naar methanol: KRA en LAP3

Op basis van de niet-recyclebare reststoffen waaruit pellets geproduceerd wordt, die uiteindelijk worden toegepast om een schone synthesegas naar methanol te produceren, worden respectievelijk minimumstandaarden volgens het LAP3 behaald ('andere nuttige toepassing').

Voor de bepaling of het project AMA onder chemische recycling valt zijn zowel de Kaderrichtlijn Afvalstoffen (KRA) als het Landelijk Afvalplan (LAP3) van belang. Om AMA te toetsen aan de KRA en het LAP3 wordt gekeken naar de voorgenomen activiteit: PFM wordt via vergassing omgezet naar Methanol. Onder de KRA vallen de activiteiten van het project AMA onder R3: Recycling/terugwinning. Onder LAP3 valt de afkadering van AMA onder chemische recycling, mits de methanol ingezet wordt in de chemische industrie. De methanol geproduceerd bij AMA kan worden ingezet als chemisch bouwsteen voor de productie van plastics en als bijmenging als geavanceerd (bio-)brandstof. De applicatie van de uiteindelijke afnemer van de methanol geproduceerd door AMA bepaald in de huidige regelgeving of de methanol bij de categorie 'chemisch recycling' hoort. De inzet van methanol als chemisch bouwsteen voor de productie van plastics is vooral afhankelijk van de inzet en of verplichting van het gebruik van geavanceerde bio-/recyclebare grondstoffen (zoals methanol), waarbij in de huidige situatie sterke aandacht is op de emissiebesparing op de transportindustrie.

Afvalhiërarchie	
a.	Preventie;
b.	voorbereiding voor hergebruik;
c1.	recycling van het oorspronkelijke materiaal in een gelijke of wat betreft de vereiste kwaliteit van het materiaal vergelijkbare toepassing, waaronder ook mechanische recycling en chemische recycling in de vorm van 'monomeer chemische recycling' en 'solvolyse' maar niet als 'chemische recycling via basischemicaliën' (*);
c2.	recycling van het oorspronkelijke materiaal in een niet gelijke of wat betreft de vereiste kwaliteit van het materiaal niet vergelijkbare toepassing en/of chemische recycling via basischemicaliën (*);
d.	andere nuttige toepassing, waaronder energieretrouwwinning;
e1.	verbranden als vorm van verwijdering;
e2.	storten of lozen.

(*) Naast deze vormen van recycling kent het LAP ook nog de term 'voorkeursrecycling'. Dit is een vorm die in het algemeen valt onder c1 of c2 of bestaat uit een combinatie daarvan, maar die in het betreffende sectorplan expliciet als voorkeursrecycling is aangemerkt. Op de consequenties van het aanmerken van een vorm van verwerking als voorkeursrecycling wordt in paragraaf A.4.2.2 en in hoofdstuk D.2 'Minimumstandaard' verder in gegaan.

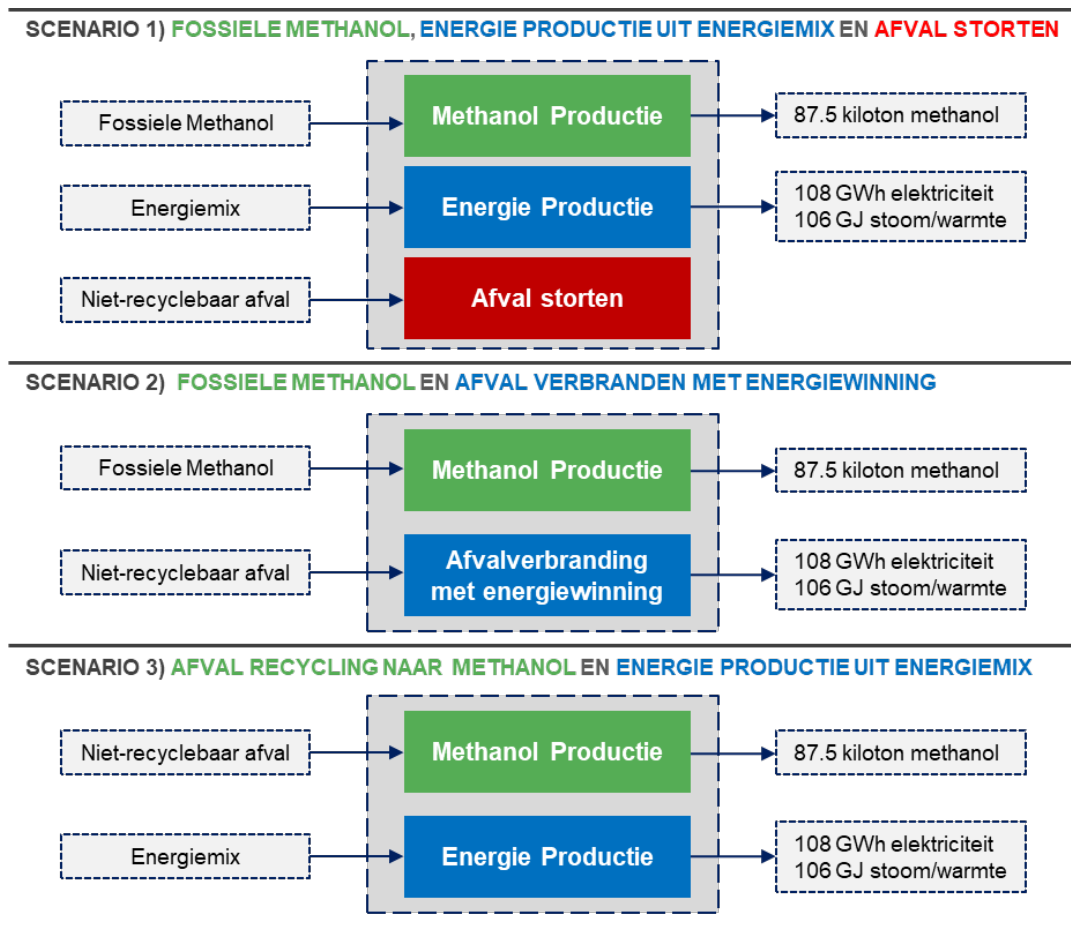
De stappen b, c1, c2 en d vallen samen onder 'nuttige toepassing' en e1 en e2 vallen samen onder 'verwijdering'.

3.1. Systeem analyse

De capaciteiten voor het produceren van methanol, energie en afvalverwerking zoals benoemd in 3.1. worden vergeleken met drie 'productie' toepassingen. Deze toepassing zijn geïllustreerd in figuur 6 en kunnen samengevat gedefinieerd worden als:

1. **Storten**, energie productie op basis van energie mix en methanol productie emissie zoals huidig toegepast wordt in de markt
2. **Afval verbranding met energie winning** en methanol productie emissie zoals huidig toegepast wordt in de markt
3. **AMA** afval verwerking door productie van methanol en energie productie op basis van energie mix

Figuur 6. Vergelijkingsmodel: Afvalverwerking, methanol en energiewinning



3.1.1. Methanol Productie - Koolstofvoetafdruk

De methanol koolstofvoetafdruk is berekend en gedefinieerd in het vorige hoofdstuk. Voor scenario 1 en scenario 2 (figuur 6) is de relatieve koolstofemissie 3.04 kg CO₂eq per kg methanol, wat resulteert in 266.000 ton CO₂eq per jaar. Voor scenario 3 is de relatieve koolstofemissie 0.92 kg CO₂eq per kg methanol, wat resulteert in 80.500 ton CO₂eq per jaar.

3.1.2. Energie Productie/Winning - Koolstofvoetafdruk

De Nederlandse factoren van het EpE-protocol zijn gebruikt voor de bepaling van de koolstofvoetafdruk voor energie (stroom en warmte)^{8 9 10} vanuit de verschillende bronnen. Hierbij wordt er geïdentificeerd dat de koolstofvoetafdruk voor de energiemix stroom in Nederland 0,59 kg

CO₂eq per kWh is. Tevens is de warmte die gegenereerd wordt in een STEG-centrale centrale gedefinieerd op 35,97 kg/GJ^{8,10}. Dit resulteert voor scenario 1 en 3 (energie productie uit energiemix) in een relatieve koolstofvoetafdruk van 74.555 ton CO₂eq per jaar.

De emissiefactor van een afvalverbrandingsinstallatie met energiewinning is gedefinieerd op 26.49 kg/GJ. Op basis van geproduceerde energie²¹ (in elektriciteit en stoom/warmte) zorgt dit voor een koolstofvoetafdruk van 55.020 ton CO₂eq per jaar. De gedefinieerde koolstofvoetafdruk is getoetst tegen de informatie aangeleverd door AEB⁶. Hierbij is aangegeven dat er 576.5 kiloton CO₂ is uitgestoten, wat op basis van de geleverde stroom en warmte voor 781 kiloton CO₂-emissies zorgt. De relatieve besparing 26.2% in CO₂ emissies zijn nagenoeg gelijk aan de hierboven verschil in koolstofvoetafdruk.

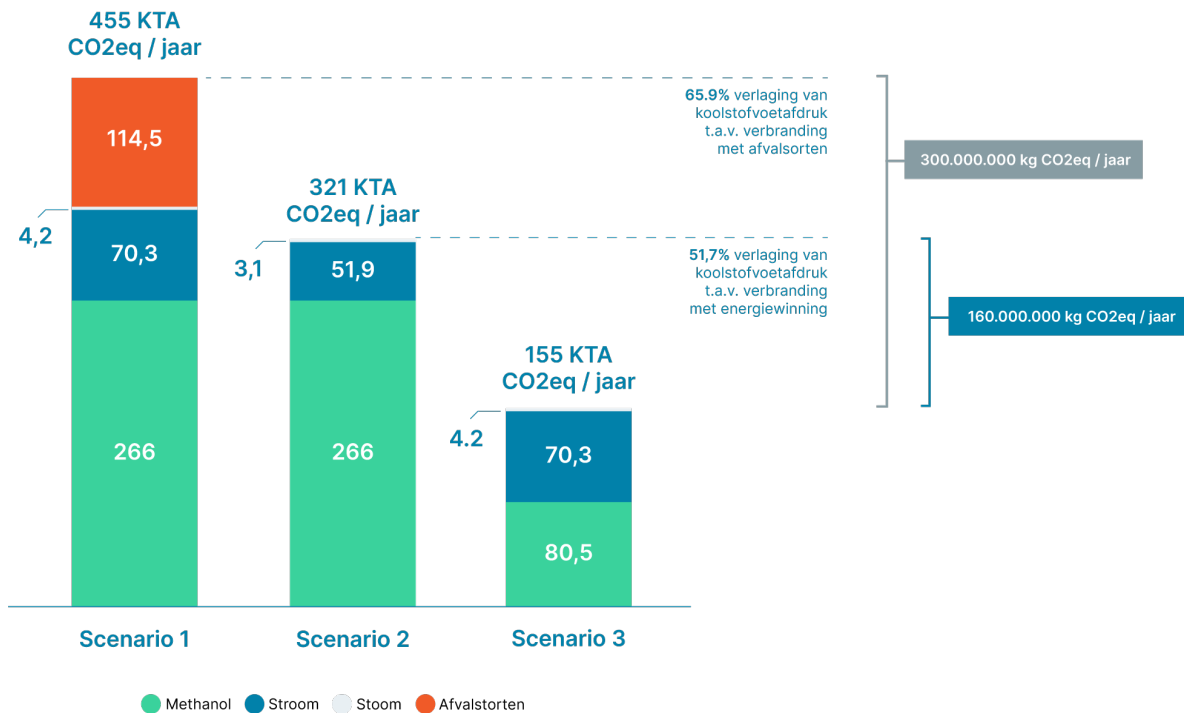
3.1.3. Afval storten - Koolstofvoetafdruk

Meerdere publieke databanken inclusief studies definiëren een koolstofvoetafdruk voor het storten van afval. Omdat de koolstofvoetafdruk erg afhankelijk is van de componenten in het afval, is er een emissie factor tussen 0.5 – 0.8 kg CO₂eq per kg afval na deductie van het biogene fractie wat uit meerdere referenties zijn gekomen specifiek voor RDF^{11,12,22}. Dit resulteert voor scenario 1 in een relatieve gemiddelde koolstofvoetafdruk van 114.400 ton CO₂eq per jaar.

3.2. De Resultaten

De totale koolstofemissie per methode per jaar voor het produceren van 87.5 kiloton methanol, 108 GWh elektriciteit, 107 TJ warmte en het verwerken van 176 kiloton afval is weergegeven in figuur 7.

Figuur 7. Totale koolstofemissies per 'productie' toepassingen



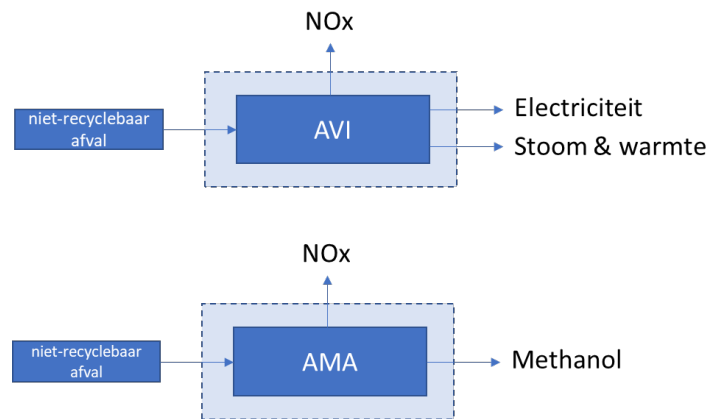
Ondanks dat de energiewinning op basis van verbranding van niet-recyclebaar afval is, resulteert dit in een reductie van emissies ten aanzien van het produceren van energie uit de Nederlands energiemix, en kan er geconcludeerd worden dat er een verdere besparing van ongeveer 50% ontstaat (ongeveer 166 kiloton CO2eq per jaar) wanneer deze grondstof wordt omgezet naar methanol.

Op dit moment wordt in veel Europese landen nog steeds een groot deel van het (niet-recyclebaar) afval gestort ("landfill"). De gegenereerde emissie zoals gepresenteerd in figuur 7 is een ruwe schatting omdat hier veel variabele meespelen. Desalniettemin is er een duidelijke emissieverschil zichtbaar.

4. Stikstof (NOx) emissies: AMA tegenover AVI

In dit hoofdstuk zal de verwerkingsmethode van het niet-recyclebaar afval worden vergeleken met betrekking tot NOx emissies. De vergelijking is hier toegespitst op verwerking door middel van een afval verbrandingsinstallatie (AVI) of het omzetten naar methanol. In figuur 8 is het vergelijkingsmodel weergegeven.

Figuur 8. Vergelijkingsmodel NOx



4.1. AVI NOx emissies

Op dit moment wordt het niet-recyclebaar afval voor het overgrote deel weggezet bij een AVI. Bij deze manier van verwerken komt stikstof vrij in de vorm van stikstofoxides. Bij volledige verbranding van het niet-recyclebaar afval en uitgaande van het geldende emissie limiet voor stook installaties in Nederland zou een stikstof emissie optreden van 84 t/jaar voor het verwerken van 176.000 ton niet-recyclebaar afval. Hierbij wordt alleen uitgegaan van de productie van NOx uit het rookgas omdat het lastig is een beeld te krijgen van de NOx emissies die ontstaan door nevenactiviteiten, daarnaast kan worden aangenomen dat deze activiteiten geen significant hoeveelheid stikstof uitstoot produceren zijn ten opzichte de stikstof in het rookgas.

4.2. AMA NOx emissies

Bij het verwerken van niet-recyclebaar afval naar methanol komen vrijwel geen directe stikstofoxide emissies vrij. Echter door nevenactiviteiten van het proces wordt een hoeveelheid van 0.4 t/jaar NOx geëmitteerd. Daarnaast worden bijproducten geproduceerd die wanneer ze gevaloriseerd worden voor hun verbrandingswaarde zouden kunnen lijden tot NOx emissies. Uitgaande van een conservatieve situatie zou dit 12 t/jaar aan NOx uitstoot opleveren.

4.3. De Resultaten

Wanneer de verwerking van niet-recyclebaar afval door AMA wordt vergeleken met het verwerken door verbranding levert dit een reductie van meer dan 99% van de NOx emissies op. Als het verwerken van de bij AMA geproduceerde bijproducten wordt meegenomen geeft dit nog steeds een reductie van 85%. In deze vergelijking is alleen de NOx uitstoot meegenomen. Dit geeft echter nog geen beeld van de stikstofdepositie die hier uit zou resulteren omdat dit sterk afhankelijk is van lokale en specifiek omstandigheden. Daarnaast is in deze vergelijking niet de uitstoot van Ammonia meegenomen die ontstaat bij gebruik van stikstof reducerende technieken die worden toegepast bij AVI's en door AMA. Echter door de proportionaliteit tot NOx in toepassing zou dit geen significant effect hebben op deze vergelijking.

Bij de einde levens toepassing van de methanol door verbranding komt geen NOx vrij. Het bijmengen van methanol in brandstof heeft daarom een verlagend effect op emissies ¹⁶.

5. Koolstofvoetafdruk waterzuivering varianten AMA

AMA heeft een systeemkeuzestudie verricht naar de waterzuivering, hiervoor zijn drie varianten uitgewerkt in het MER. In deze notitie zijn de aanvullingen op de koolstofvoetadruk analyse opgenomen.

5.1. Varianten Afvalwaterzuivering

Voor de waterzuivering zijn verschillende varianten beschouwd:

- Lozing naar het oppervlaktewater (LOW): Eigen zuivering bij AMA en lozing naar het oppervlaktewater.
- Lozing naar de RWZI Westpoort. (LRWZI): Zuivering bij AMA en lozing naar RWZI Westpoort.
- Nul vloeistofafvoer Plus, Zero Liquid Discharge (ZLD+): Maximaal terugwinnen van Proces afvalwater Produceren van een vaste stof die nuttig toegepast kan worden als (Antivries) strooizout.

In elke variant worden stoom, energie en chemicaliën gebruikt, de hoeveelheid hiervan verschilt echter per variant. De hoeveelheid afgas die ontstaat wordt is gelijk voor alle drie de zuiveringen en wordt daarom buiten beschouwing gelaten.

5.1.1. Lozing naar oppervlakte water

In deze variant wordt het procesafvalwater bij AMA volledige gezuiverd en geloosd op het oppervlakte water. Daarnaast wordt ongeveer 50% van het afvalwater teruggewonnen voor hergebruik dit levert een negatieve voetafdruk op omdat er voor dit water geen extra proceswater geproduceerd hoeft te worden.

5.1.2. Lozing naar Rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) Westpoort

In deze variant wordt het procesafvalwater bij AMA volledige gezuiverd en geloosd op het oppervlakte water. Daarnaast wordt ongeveer 50% van het afvalwater teruggewonnen voor hergebruik dit levert een negatieve voetafdruk op omdat er voor dit water geen extra proceswater geproduceerd hoeft te worden. Echter komt er boven op de koolstofvoetafdruk van de AWZI van AMA ook de die van de RWZI om het procesafvalwater verder te behandelen.

5.1.3. Nul vloeistofafvoer plus (ZLD+)

In deze variant wordt het procesafvalwater geconcentreerd en wordt er uit het concentraat een zout geproduceerd. Daarnaast wordt ongeveer 100% van het afvalwater teruggewonnen voor hergebruik dit levert een negatieve koolstofvoetafdruk op omdat er voor dit water geen extra proceswater geproduceerd hoeft te worden. Daarnaast wordt ook zout geproduceerd wat de zout productie elders vervangt, dit levert ook een negatieve koolstofvoetdruk op.

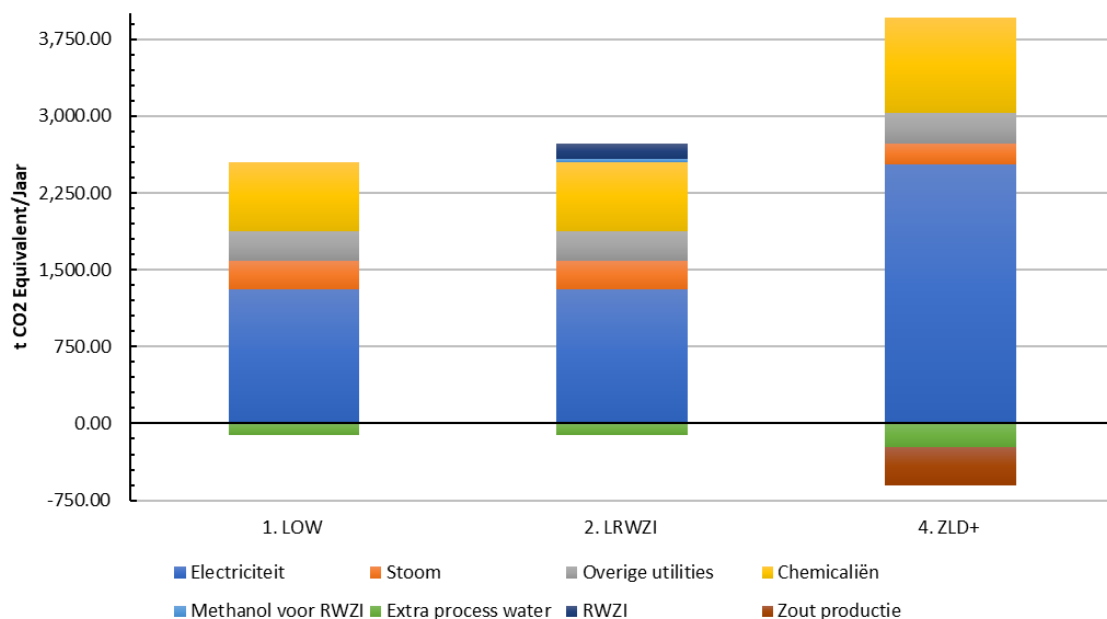
5.2. Koolstofvoetafdruk vergelijking afvalwaterzuivering.

Het elektriciteitsgebruik is in alle drie de varianten verantwoordelijk voor het grootste deel van de koolstofvoetafdruk. Het gebruik van elektriciteit is voor de ZLD+ variant groter vanwege de extra energie die in het verdampen van het water en produceren van het zout product gaat zitten. Daarna is het gebruik van chemicaliën voor een groot deel verantwoordelijk voor de koolstofvoet afdruk van de varianten, deze is vrijwel gelijk. Het gebruik van stoom en andere 'utilities' is ook bijna het zelfde voor de varianten. Wanneer rekening gehouden wordt met de negatieve voetafdruk van water hergebruik en zout productie geven de varianten de volgende resultaten:

- Lozing naar oppervlaktewater (LOW): 2.4 kilo ton CO2 equivalent per jaar
- Lozing naar RWZI Westpoort (LRWZI): 2.6 kilo ton CO2 equivalent per jaar
- Lozing Naar oppervlaktewater (LOW): 3.4 kilo ton CO2 equivalent per jaar

In deze vergelijking is het transport van het zout niet opgenomen. De verwachting is dat dit een additionele negatieve voetafdruk zou opleveren voor de ZLD+ variant. Dit omdat AMA het zout per elektrische vrachtwagen zal transporteren levert dit ten opzichte van de huidige situatie een reductie in CO2 emissies op omdat het zout nu meestal vanuit het buitenland geïmporteerd wordt.

De koolstofvoet afdruk van de waterzuivering varianten zijn met elkaar vergeleken. Hierbij geeft de lozing naar het oppervlakte water variant de laagste koolstofvoetafdruk met 2432 ton CO2 equivalent per jaar en de ZLD+ variant met 3352 ton CO2 equivalent per jaar de hoogste. Dit is respectievelijk 3% en 4.1% van de totale CO2 uitstoot van de methanol productie. Tussen de varianten kan 920 ton CO2 equivalent per jaar emissiereductie plaats vinden. Dit is echter minder dan 0.6% van de totale reductie die productie van methanol door AMA oplevert.



6. Conclusies

De uitgevoerde analyse over de koolstofvoetafdruk zowel in hoofdstuk 2 als hoofdstuk 3 bevestigt een significante reductie van de koolstofemissie. Deze koolstofemissiereductie kan respectievelijk oplopen van 166 tot 300 kiloton CO₂eq per jaar.

Deze significante reductie heeft wel een aantal variabelen die invloed kunnen hebben op het uiteindelijke resultaat. De twee belangrijkste variabelen zijn:

1. **Het gebruikmaken van duurzame stroom.** Zoals aangegeven heeft het gebruikmaken van duurzame stroom een significant positief effect op de productie van methanol. In het geval van AMA is er een mogelijkheid om de koolstofvoetafdruk bij de productie van methanol te verlagen met 0.41 kg CO₂eq per kg methanol.
2. **De biogene fractie.** In het geval van een hoge biogene fractie zal de koolstofvoetafdruk van methanol bij einde leven significant lager zijn. Desalniettemin is het van belang dat het huidige 'niet-recyclebare' afval relatief 'moeilijk' te verwerken is. Om deze reden is er een voorkeur om deze grondstof te gebruiken. Tevens zal in het geval van volledige fossiele grondstof er alsnog een koolstofemissie reductie ontstaan ten aanzien van de huidige markt.

In combinatie met een significante vermindering van de CO₂-uitstoot en het verbeteren van NO_x-reducties ten opzichte van afvalverbranding met energierterugwinning, biedt vergassing een voordeel over de minimumstandaarden voor afvalverwerking. De inzet van methanol als chemisch bouwsteen voor de productie van plastics is vooral afhankelijk van de inzet en of verplichting van het gebruik van geavanceerde bio-/recyclebare grondstoffen. In de huidige situatie is vanuit de Europese Unie en de Nederlandse overheid sterke aandacht op de emissiebesparing op de transportindustrie, aangezien het wegvervoer bijna twee derde van de totale vervoeremissies uitmaakt. Tevens is de verwachting dat er vanuit de Nederlandse overheid op langere termijn ook verplichting voor het bijmengen van geavanceerde bio- en/of recyclebare grondstoffen (chemische bouwstenen) in de productie van plastics (zoals op dit moment wordt gedaan op de brandstofmarkt). Het schone synthesesgas naar methanol uit niet-recyclebare reststoffen kan dienen als chemisch bouwsteen in de productie van plastics en andere nuttige eindproducten, zodat er een werkelijke chemische recycling zal plaatsvinden. Dit loopt in lijn met de elektrificatie van de transportindustrie naar 2050.

Desalniettemin scoort de toepassing binnen AMA beter dan de minimumstandaarden, en aangenomen kan worden dat de toepassing gelijk of zelfs beter scoort dan de hoger gelegen referentie, wat een afwijking van de afvalhiërarchie rechtvaardigt.

Bijlage 1: PFM Analyse



INCOLAB SERVICES B.V.

COMMODITY SAMPLERS AND ANALYTICAL CHEMISTS

Cert.no.: 2009006.2/1
Page: 1 of 2

To whom it may concern

Office and Laboratory

Röntgenstraat 3
3261 LK Oud-Beijerland
P.O. Box 1561
3260 BB Oud-Beijerland
The Netherlands

T +31 (0)186 610 355
E inco.nl@incolab.com
www.incolab.com
Chamber of Commerce:
Rotterdam No. 23058073

Certificate of Assay

SUBMITTED SAMPLE INFORMATION

Material : SRF plastic
Sampling date : 27 Februari 2020
Mark : Paro Amst

Report date : 11 September 2020
Our ref. : 2009006.2
Received from : Paro
Sample received: 9 September 2020
Sample size : 0.3 kg
Visual size : 0-30 mm

Parameter	Basis	Result	Unit	Method	
Sample preparation				EN 15413	Q
Total moisture	as received	8.6	%	CEN/TS 15414-1	Q
Ash	dry	12.9	%	EN 15403	Q
	as received	11.8	%		Q
Volatile matter	dry	76.9	%	EN 15402	
	as received	70.3	%		
Gross Calorific Value (Qv)	dry	22.43	MJ/kg	EN 15400	Q
		5357	kcal/kg		Q
	as received	20.50	MJ/kg		Q
		4897	kcal/kg		Q
Net Calorific Value (Qp)	as received	18.89	MJ/kg		Q
		4512	kcal/kg		Q
Sulfur	dry	0.42	%	in-house	Q
	as received	0.38	%		Q
Chlorine	dry	0.414	%	in-house	Q
	as received	0.378	%		Q
Fluorine	dry	0.008	%	in-house	Q
	as received	0.007	%		Q
Ultimate analysis					
Carbon	dry	52.2	%	EN 15407	Q
	as received	47.7	%		Q
Hydrogen	dry	7.13	%	EN 15407	Q
	as received	6.52	%		Q
Nitrogen	dry	0.74	%	EN 15407	Q
	as received	0.68	%		Q
Oxygen	dry	26.3	%	ISO 16993	Q
	as received	24.0	%		Q
Preliminary emission factor		92.5	t CO ₂ /TJ	Directive 2003/87/EC	Q
*Emission factor		31.2	t CO ₂ /TJ	Directive 2003/87/EC	Q
Bulk density		535	kg/m ³	CEN/TS 15401	
Mechanical durability		92.0	%	CEN/TS 15639	



Parameter	Basis	Result	Unit	Method	
Ash fusibility (reducing atmosphere)				CEN/TS 15404	
Shrinkage starting temperature (SST)		1 145	°C		
Deformation temperature (DT)		1 205	°C		
Hemisphere temperature (HT)		1 230	°C		
Flow temperature (FT)		1 240	°C		
Ash fusibility (oxidizing atmosphere)				CEN/TS 15404	
Shrinkage starting temperature (SST)		1 200	°C		
Deformation temperature (DT)		1 215	°C		
Hemisphere temperature (HT)		1 230	°C		
Flow temperature (FT)		1 245	°C		
*Biomass content				EN-15440	Q
Biomass content in dry		66.22	%		Q
Non-biomass content in dry		20.90	%		Q
Inert in dry		12.88	%		Q

*Biomass content is determined by the selective dissolution method. False results can be given if a sample contains over 10% by weight of natural and/or synthetic rubber residues or 5% by weight of the following components: solid fossil fuels, charcoal, plastics, oil or fat, wool, viscose, silicon rubber, nylon, polyurethane or other polymers containing molecular amino groups.

The sample was visually checked. The amount of plastics may have been above 5%. Additional research may be required to obtain more precise results.

Q: Analysis accredited by RvA 1050

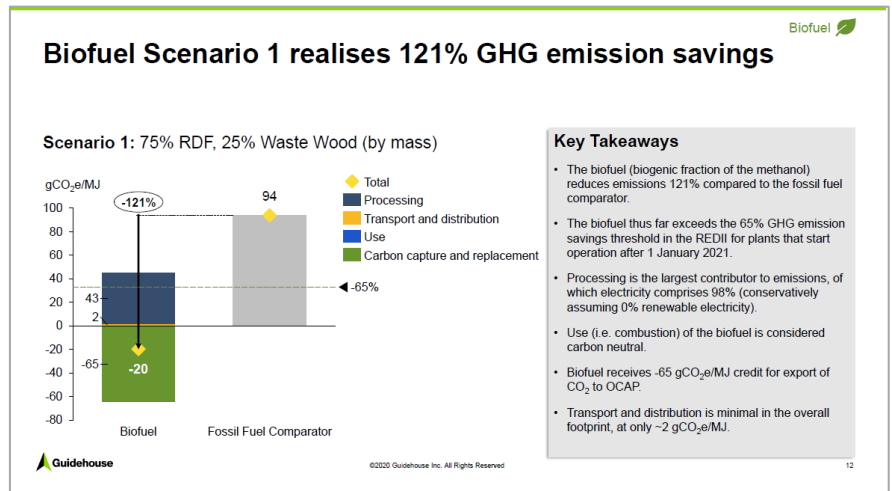
For and on behalf of
INCOLAB SERVICES B.V.
Kevin van Osme
Assistant Laboratory Manager

Details regarding measurement uncertainty and methods of analysis will be provided upon request. This certificate may only be reproduced in full. Findings are based on the sample as submitted. All activities are subject to our conditions filed at the District Court of Rotterdam.

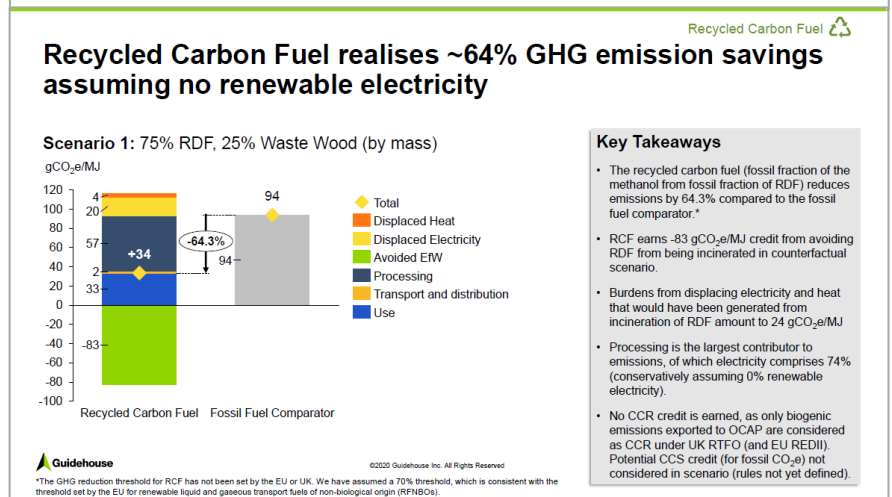
Bijlage 2: Uitkomst Koolstofvoetafdruk analyse AMA – door Guidehouse

Onderstaande illustraties zijn de uitkomst van een onafhankelijk onderzoek uitgevoerd door Guidehouse. Verschillen in de rapportage kunnen ontstaan zijn door toepassing van verschillende methodologie / toepassing. Desalniettemin resulteert beide koolstofvoetafdruk analyses in een significantie koolstofvoetafdruk besparing.

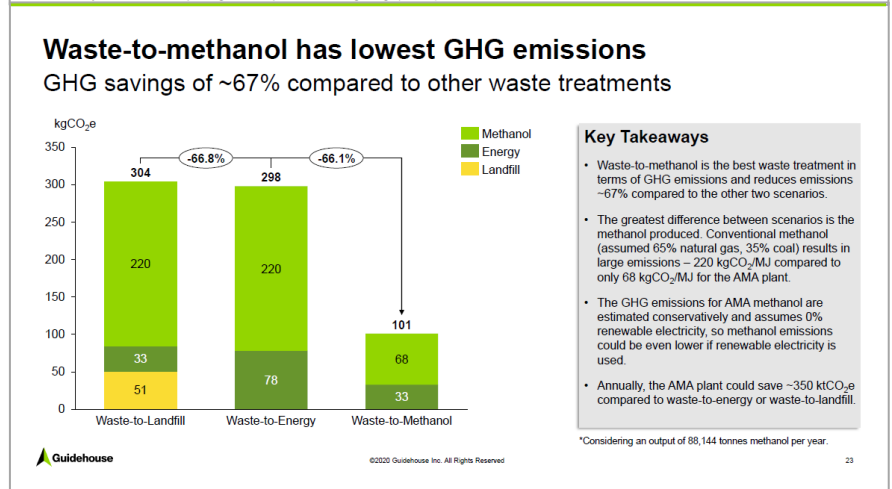
Deel 1: Analyse op biogenische fractie van methanol voor toepassing als biobrandstof (volgens methodologie RED-II):



Deel 2: Analyse op de niet biogenische fractie van methanol voor toepassing als “recycled carbon fuel” en op basis van de laatste methodologie van de RTFO richting RED-II:



Deel 3: Koolstofvoetafdruk vergelijking voor verwerking van afval met soortgelijke opties zoals gepresenteerd in deze koolstofvoetafdruk analyse:



Referentie lijst

- [1] Trudewind CA, Schreiber A, Haumann D (2014) Photocatalytic methanol and methane production using captured CO₂ from coal-fired power plants. Part I—a Life Cycle Assessment.
- [2] Raili Kajaste*, Markku Hurme and Pekka Oinas (2018) Methanol-Managing greenhouse gas emissions in the production chain by optimizing the resource base
- [3] Zhen Qin, Guofu Zhai, Xiaomei Wu, Yunsong Yu (2016) Carbon footprint evaluation of coal-to-methanol chain with the hierarchical attribution management and life cycle assessment
- [4] Matzen M, Alhajji M, Demirel Y (2015) Chemical storage of wind energy by renewable methanol production: Feasibility analysis using a multi-criteria decision matrix.
- [5] Ramboll (2019), Identification and analysis of promising carbon capture and utilization technologies, including their regulatory aspects
- [6] AEB (2017), Jaarverslag 2017
- [7] Hugo Gastkemper, Joost Buntsma (2015) Huishoudelijke voedselresten in de afvalwaterketen
- [8] B.L. (Benno) Schepers, T. (Thijs) Scholten (2016) Ketenemissies warmtelevering Directe en indirecte CO₂-emissies van warmtetechnieken
- [9] <https://www.co2emissiefactoren.nl/lijt-emissiefactoren/>
- [10] CBS (2018), Rendementen en CO₂-emissie elektriciteitsproductie 2017
- [11] EcoInvent, GHG emission Landfill
- [12] CoLA (2016), Comparative Greenhouse Gas Emissions Analysis of Alternative Scenarios for Waste Treatment and/or Disposal
- [13] Landelijk afvalbeheerplan 2017-2029 (2020) – versie 2 maart 2021
- [14] <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/polluter-pays-principle>
- [15] EPD (Environmental Product Declaration)
- [16] EIBIP (European Inland Barging Innovation Platform) <https://eibip.eu/publication/methanol-fuel/>
- [17] SimaPro Methanol {ZA}| synthetic fuel production, from coal, high temperature Fisher-Tropsch operations | APOS, S (NewZealand)
- [18] SimaPro Methanol {GLO}| production This dataset represents the production of 1 kg of methanol from natural gas. (Global)
- [19] Anna Śliwińska, Dorota Burchart-Korol, Adam Smoliński, Environmental life cycle assessment of methanol and electricity co-production system based on coal gasification technology, Science of The Total Environment, Volume 574,2017,Pages 1571-1579,ISSN 0048-9697,
- [20] PEHNT, M. Life-cycle analysis of fuel cell system components. Handbook of Fuel Cells, 2010.
- [21] SimaPro Electricity, for reuse in municipal waste incineration only {NL}| electricity, from municipal waste incineration to generic market for electricity, medium voltage (Netherlands)
- [22] SimaPro MSW deposition, landfill incl. landfill gas utilisation and leachate treatment, AT,DE,IT,LU,NL,SE,CH mix EU-27 (Netherlands)
- [23] CE_Delft_190156_Chemische_recycling_afvalbeleid_DEF update 2020, December 2019