



AFVALVERWERKING:
CO₂-BOM OF SCHAKEL
IN DE DUURZAME ECONOMIE

TECHNISCHE NOTA

INLEIDING



De stad Antwerpen moet samen met de partnergemeenten waarmee ze intercommunaal opereert, terug de regie in handen nemen van haar afvalbeheer. Binnen ISVAG, IGEAN en Hooge Maey werden de laatste decennia stappen vooruit gezet in het milieuvriendelijker maken van het afvalbeheer. Deze inspanningen lijken nu te slabakken, terwijl de klimaatuitdaging en de problematische luchtvervuiling ons verplichten om een sprong voorwaarts te maken naar een meer duurzame en circulaire economie. Ondanks alle inspanningen blijft de verbrandingsoven van ISVAG vooral een grondstoffen-crematorium waarin waardevolle moleculen en calorieën definitief verloren gaan. Slechts een kwart van de energie in het afval wordt gerecupereerd. We moeten dus eerder spreken van een energie-verlies-centrale in plaats van een energierecuperatie.

Ook de vergistingsinstallatie van IGEAN – waarin het Antwerps GFT-en groenafval wordt omgezet in biogas – produceert enkele stroom en laat de restwarmte in het milieu verloren gaan. Hetzelfde verhaal ook op de Hoogte Maey waar gasmotoren het stortgas omzetten in elektriciteit maar de restwarmte grotendeels onbenut in de atmosfeer lozen.

Antwerpen kan beter. Nieuwe technologie dient zich ook aan voor afval dat niet herbruikbaar of mechanisch recycleerbaar is. Technieken die het afval vergassen en via katalysatoren met de gasvormige bouwstenen terug moleculen samenstellen, maken opgang. De Saoedi's willen dergelijke “waste-to-chemical” technologie op immense schaal toepassen in de Antwerpse haven met ingevoerd plastic afval als grondstof en ammoniak en ureum

als verkoopbaar eindproduct. Zoals we zullen zien, hypothekeert deze technologie op de geplande schaal de verdere ontwikkeling van scheidingsstechnologieën en inzamelsystemen van plastic afval met het oog op mechanische recyclage. Daarnaast leidt de gekozen technologie ook tot een ware CO₂-bom.

Wij stellen voor om beloftevolle nieuwe vergassingstechnologie met hogere koolstofrecyclage op het eigen restafval in te zetten en zodoende de CO₂-uitstoot in Vlaanderen te verminderen in plaats van met miljoenen tonnen te verhogen. Circulaire economie mag niet ten koste gaan van het klimaatbeleid.

Kathleen Van Brempt
fractieleider **sp.a** stad Antwerpen

Weinig circulair aan waste-to-chemicals plant van de Saoedi's

De installatie die de Saoedi's willen bouwen in de Antwerpse haven is omstreden. Er is uiteraard het ethische probleem met de financiering. Het is onduidelijk of en in welke mate de kapitaalkrachtige Saoedische financiers achter het project ook banden hebben met wahabitisch fundamentalistische groepen. Zolang geen duidelijkheid verschaft wordt over de banden van de financiers met het Saoedische regime of met extremistische organisaties is het onverantwoord en gevaarlijk om dergelijke investeerders de vrije baan te geven.

Maar ook de omvang, de gebruikte technologie en de effecten op het klimaatbeleid zijn problematisch. De installatie wil 3,5 miljoen ton plasticafval per jaar verwerken. Dat is meer dan 23 keer de hoeveelheid afval die ISVAG jaarlijks verbrandt en 3,5 keer zoveel dan de hoeveelheid huishoudelijk restafval in Vlaanderen. De vrees bestaat dat ook plastic afval zal worden verwerkt dat perfect mechanisch gerecycleerd kan worden (wat nog altijd veel meer materiaal en energie uitspaart). De installatie zou ook afvalstromen kunnen aantrekken die later via de evoluerende scheidings- en detectietechnieken of via (meer gescheiden) inzamelsystemen alsnog naar mechanische recyclage kunnen toegeleid worden. De installatie van ERS wordt dan voor deze huidige en toekomstige recyclage opties een sta-in-de-weg.

In de studie "The New Plastics Economy – Rethinking the future of plastics" ¹ die deze week werd voorgesteld op het Wereld Economisch Forum wordt een overzicht gegeven van deze nieuwe, beloftevolle scheidings- en markeringsstechnieken (optische scheiding, near-infra red, markeringstechnieken, omkeerbare hechtingen...). De studie stelt duidelijk dat mechanische recyclage sterk te verkiezen is boven chemische recyclage:

"This is the most value-preserving loop. Mechanical recycling keeps polymers intact and hence preserves more value than chemical recycling, where polymers are broken down. Closed-loop mechanical recycling keeps the quality of the materials at a similar level by cycling materials into the same application (e.g. from PET bottle to PET bottle) or into applications requiring materials of similar quality. As such, mechanical closed-loop recycling not only preserves the value of the material, it also maintains the range of possible applications in future, additional loops."

De studie ziet enkel een rol voor chemische recyclage voor "multi-material packaging or materials that have completed their maximum number of cascading cycles". De studie waarschuwt ervoor dat chemische recyclage geen stromen van de mechanische recyclage mag aantrekken: "Given that mechanical recycling is a more value-preserving loop than chemical recycling, requiring significantly less energy, these chemical recycling processes should not compete with mechanical recycling for feedstock."

Als de vergassingsinstallatie plastic afval uit de recyclagecentra houdt in plaats van uit de verbrandingsoven, betekent deze investering een stap achteruit voor het milieu.

Zelfs als de installatie zich kan berken tot laagwaardig gemengd plastic afval en verpakkingsafval opgebouwd uit moeilijk te scheiden meervoudige materialen, dan nog is het de vraag wat er zo circulair aan is. Plastic afval bestaat voor het overgrote deel (zo'n 60 tot 80%) uit koolstofatomen die na vergassing en omzetting naar ammoniak onder de vorm van CO₂ in de atmosfeer terecht komen! Slechts in de ureum-fractie worden de koolstofatomen uit het plastic afval gerecycleerd. En dit in beperkte mate.

Andere waste-to-chemical technologieën slagen er wel in een groot deel van de in het afval aanwezige koolstofatomen te recycleren. In waste-to-methanol processen wordt er bijvoorbeeld 26 tot 60% meer koolstof gerecycleerd (zie kader massabalans).

Koolstofbalans van verschillende waste-to-chemical processen

Waste-to-ammonia/ureum (ERS)

De ERS plant zou jaarlijks zo'n 3,5 miljoen ton kunststofafval verwerken. Daaruit wordt jaarlijks zo'n 645.000 ton ammoniak (NH₃) geproduceerd, naast 1,24 miljoen ton ureum (CH₄N₂O). Enkel in dat ureum wordt dus koolstof "gerecycleerd" (die in klassieke productie van ureum uit fossiele brandstoffen wordt uitgespaard). Rekening houdend met het moleculair gewicht van de verschillende atomen in ureum (waarin koolstof een aandeel heeft van 20%), komt dit neer op 247.500 ton gerecycleerde koolstof. Dfwel: 70 kg koolstof per ton verwerkt afval.

Waste-to-methanol (Enerkem Edmonton Alberta, VärmlandsMethanol AB, Choren Freiburg)

Verschillende waste-to-methanol plants laten productievolumes optekenen variërend van 300 tot 380 liter methanol per ton vergast afval (236 tot 299 kg methanol per ton verwerkt afval). De bovengrens is deze van de plant van Enerkem in Edmonton Alberta, waar huishoudelijk restafval wordt verwerkt. Rekening houdend met het moleculair gewicht van de verschillende atomen in methanol (CH₃OH, waarin koolstof een aandeel heeft van 37,5%), komt dit neer op 88 tot 112 kg koolstof per ton verwerkt afval. Dat is dus 26 tot 60% meer CO₂ recycling.

De CO₂ bom van ERS

De beperkte koolstofrecyclage in de ERS plant zorgt, samen met de grote concentratie van koolstof in plastic afval, voor een enorme CO₂ uitstoot. Volgens ERS zou de plant zo'n 4,2 miljoen ton CO₂ per jaar uitstoten. We hebben gezien dat 247.500 ton gerecycleerde koolstof wordt ingebouwd in de geproduceerde ureumkorrels. Die koolstofvastlegging komt overeen met 907.000 ton CO₂ (koolstof heeft in CO₂ een gewichtsperscentage van 27,29%). Blijft over: een CO₂-uitstoot in de atmosfeer van 3,3 miljoen ton. Een deel daarvan (1,4 miljoen ton afgeleid uit het syngas) beweert ERS te kunnen opwerken tot verkoopbare CO₂ voor de voedingsindustrie. Ze hebben het over "available for upgrade to food grade quality". Alleen, voor dergelijke CO₂-stroom zien we niet onmiddellijk afnemers voorhanden. De installatie voor deze opwerking zit ook niet in de plannen of in het voorziene investeringsbudget.

Ook de andere aannames van ERS voor de berekening van de CO₂-uitstoot zijn sterk betwistbaar. De CO₂ uitstoot van afval is sterk afhankelijk van de calorische waarde, de "verbrandingswaarde". ERS gaat uit van een verbrandingswaarde van het verwerkte afval van 15 MJ/kg. Dat lijkt een serieuze onderschatting (deze waarde is afgeleid voor algemeen "Refuse Derived Fuel", een verzamelnaam voor vaak uit huishoudelijk afval afgescheiden brandbaar afval waarin ook andere brandbare fracties zoals textiel, hout, papier en kartonresten... zit). Specifiek voor gemengd plasticafval wordt met veel hogere verbrandingswaarden en een veel hogere koolstofinhoud gerekend. Een uitgebreide studie in opdracht van de Europese Commissie stelt dat: "Plastics usually have a high calorific value [29 to 40 MJ/kg, RDC and Kema 1999, EA 2001]." ² Dat is dus het dubbele. ERS er zich van bewust dat die 15 MJ/kg aan de lage kant is. In een voetnoot van hun "concession tender" stellen ze: "VITO will evaluate the possibility of higher levels of CO₂ production". Bij ons weten is die extra studie van VITO er niet gekomen.

Laat ons er even van uitgaan dat 75% (gewichtsperscentage) van de 3,5 miljoen ton verwerkte plastics bestaat uit koolstof ³ dan komen we op een totaal jaarlijks verwerkt volume aan koolstof van 2,625 miljoen ton koolstof, goed voor 9,6 miljoen ton CO₂ indien alle koolstof tot CO₂ zou worden omgezet. Trekken we daar de 907.000 ton CO₂ van af die wordt vastgelegd in ureum, dan nog zitten we met een reststroom van 8,7 miljoen ton CO₂ die jaarlijks op de ERS site de lucht wordt ingeblazen (in plaats van de 3,3 miljoen ton CO₂ volgens de cijfers van ERS). Met andere woorden, als de ERS-plant in Antwerpen enkel plastic afval als grondstof verwerkt, zal de productie van CO₂ op de site eerder rond de 8 tot 9 miljoen ton per jaar liggen. Als ze slechts 3,3 miljoen ton bedraagt, betekent dit dat er naast plastic afval ook nog fikse hoeveelheden andere afvalstoffen (met veel lagere calorische waarde) aan worden toegevoegd.

Wat betekent deze CO₂ bom voor het Europese en Vlaams klimaatbeleid?

Optie 1 | De CO₂ uitstoot van de site valt onder het Europese emissiehandelsysteem (ETS)

Immers, de productie van ammoniak staat op de limitatieve lijst van activiteiten die volgens de ETS-richtlijn onder de emissiehandel vallen. In dat geval zou de plant in het beste geval gratis uitstootrechten kunnen verkrijgen voor de uitstoot die correspondeert met de benchmark voor ammoniak-productie. Die werd vastgelegd op 1,619 uitstootrecht per ton geproduceerde ammoniak. De uitstoot op de site zal minstens 3,3 miljoen ton CO₂ bedragen voor een totale productie van 645.000 ton ammoniak. Dat is 5,11 ton CO₂ per ton ammoniak.⁴ Dat is drie keer meer dan de "benchmark" ammoniak productie. Dat wil zeggen dat er per ton geproduceerde ammoniak nog 3,5 rechten zullen moeten worden aangekocht, oftewel 2,25 miljoen rechten per jaar. Als de CO₂-prijs op de ETS zich herstelt tot pakweg 25€/ton (de gemiddelde prijs die de Europese Commissie verwacht in de periode 2021-2030 ⁵) betekent dit een jaarlijkse kost van minstens 56 miljoen €. Dat is 34% van de huidige marktwaarde van geproduceerde ammoniak en een 19 % van de marktwaarde van de 1,2 miljoen ton geproduceerde ureumkorrels (die ERS denkt te kunnen exporteren aan 300 miljoen €). De vraag stelt zich in welke mate ERS hiermee heeft rekening gehouden? Is deze investering nog steeds rendabel als deze CO₂ kost wordt ingerekend? En zelfs als dit het geval zou zijn, welke risico's brengt deze enorme CO₂-uitstoot met zich mee voor de externe financierders (die nog 80% van het investeringsbudget moeten ophoesten)?

Optie 2 | De CO₂ uitstoot van de site valt niet onder het ETS

Stel dat men erin slaagt de CO₂-uitstoot volledig of gedeeltelijk buiten het ETS te houden via de argumentatie dat de thermische verwerking van huishoudelijk afval (waar de brandbare grondstofstroom voor de installatie uit zou kunnen worden afgeleid) of ureum-productie kennelijk niet op de Bijlage 1 van de ETS-richtlijn staat. Dan wordt de CO₂-uitstoot niet beprijsd en neemt de economische rentabiliteit van de investering toe. Maar daarmee is deze CO₂ natuurlijk niet weggetoverd. Als ze niet onder het ETS valt, wordt ze tot de non-ETS sectoren gerekend. Ook binnen deze sectoren moet de CO₂-uitstoot sterk worden teruggedrongen. In het kader van de Europese lastenverdeling binnen het 20/20/20 programma (dat binnen de EU tegen 2020 de CO₂ uitstoot met 20% wil terugdringen, het aandeel hernieuwbare energie op 20% wil brengen en de energie-efficiëntie met 20% wil verbeteren) moet ons land de CO₂-uitstoot van haar non-ETS sectoren tegen 2020 met 15% terugdringen ten opzichte van de uitstoot in 2005.

Het fameuze Belgisch klimaatakkoord dat - na jaren onderhandelen - vorige maand het levenslicht zag, heeft deze inspanning verdeeld tussen de verschillende gewesten. Het Vlaams Gewest heeft zich geëngageerd tot een daling van de non-ETS uitstoot met 15,7% tegen 2020 ten opzichte van de uitstoot in 2005 (die toen 45,3 miljoen ton bedroeg). Dat wil zeggen dat het Vlaams Gewest tegen 2020 minstens 7,11 miljoen ton CO₂ minder moet uitstoten. Geen evidente oefening als je weet dat de non-ETS sector sinds 2005 nog is gestegen (zie tabel). Als de uitstoot van de ERS-plant uit de ETS wordt gehouden, komt daar ineens 3,3 tot 8,7 miljoen ton bij! Als het Vlaams Gewest aan haar verplichtingen wil tegemoet komen, zal het dus 50 tot 100% meer inspanning moeten doen en elders in de Vlaamse economie de uitstoot sterker dan gepland moeten terugdringen.

De vraag stelt zich dan ook waarom Vlaanderen jaren moeilijk heeft gedaan over de verdeling van de inspanningen met de andere gewesten, terwijl ze voor dit éne project haar inspanningen minstens met de helft ziet toenemen. Met de import van 3,5 miljoen ton plastic afval (een veelvoud van de totale hoeveelheid huishoudelijk restafval in Vlaanderen) dreigen we bovendien de CO₂-uitstoot van de verwerking ervan te importeren uit andere lidstaten.

	2005	2010	2015 BAU	2015 BEL	2020 BAU	2020 BEL
Gebouwen	16.885	18.894	14.548	14.504	13.128	13.056
Transport	15.178	16.090	15.652	15.750	15.278	14.945
Landbouw	7.506	7.500	7.758	7.696	7.626	7.561
Industrie	3.711	5.312	5.559	5.559	5.833	5.442
Afval	1.806	1.740	1.649	1.649	1.571	1.571
Energie	230	155	163	163	165	165
Totaal niet-ETS	45.316	49.691	45.330	45.317	43.600	42.733
	100%	109,7%	100%	100%	96,2%	94,3%

Tabel: Prognoses niet-ETS-emissies in het Vlaams Mitigatieplan 2013-2020 (kton CO₂eq)
Bron: Mina-Raad, Oriëntatienota over het multilaterale, Europese en Vlaamse klimaatbeleid,
14 juli 2014

Wat betekent deze CO₂-bom voor het klimaatbeleid van de stad Antwerpen?

In het scenario waarbij de emissies geheel of gedeeltelijk uit het ETS worden gehouden, zitten niet alleen Vlaanderen of België met een probleem maar ook de Stad Antwerpen. De burgemeester heeft immers het burgemeestersconvenant ondertekend waarin de Stad zich ertoe verbindt de CO₂-uitstoot op haar grondgebied tegen 2020 met 20% terug te dringen ten opzichte van 2005. Deze doelstelling werd ook vastgelegd in het Klimaatactieplan van de stad Antwerpen. Tegen 2050 wil Antwerpen zelfs helemaal klimaatneutraal worden. In 2005 werd er 3,4 miljoen ton CO₂ uitgestoten op het Antwerpse grondgebied (exclusief de uitstoot van ETS bedrijven). Als daar nu plots 3,3 miljoen ton zou bijkomen, is de 20% reductiedoelstelling compleet onhaalbaar. In plaats van een reductie met 20% tegen 2020, krijgen we dan een verdubbeling. Burgemeester De Wever kan zijn convenant dan meteen verscheuren.

CO₂-uitstoot heeft consequenties voor het vinden van financiers

Of de CO₂-uitstoot nu onder het ETS valt of niet, vele financiële instellingen en banken houden voor de beoordeling van de (maatschappelijke) rentabiliteit van investeringsprojecten rekening met een “schaduwprijs” voor CO₂ die vaak veel hoger ligt dan de marktprijs binnen het ETS. Zo rekent de Europese Investeringsbank (EIB) in de beoordeling van potentiële investeringsprojecten met een CO₂ prijs die oploopt tot 50 € per ton in 2030 (gecorrigeerd voor inflatie) en oploopt tot 120 € per ton tegen 2050!⁷ Met andere woorden: als de EIB verzocht wordt om een lening te verstrekken aan het ERS-project of om een participatie te nemen, zal zij in haar beoordelingen rekenen met een jaarlijkse CO₂ kost van minstens 165 miljoen ton! Dat is meer dan de helft van de marktwaarde van het geproduceerde ureum.⁸

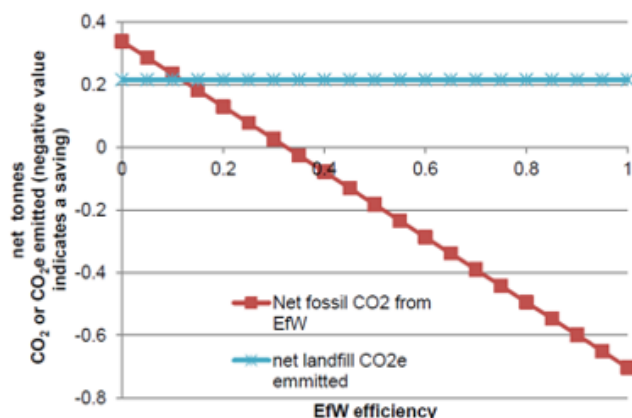
Besluit

Hoe de zaak ook uitdraait (onder ETS of niet), de immense CO₂-uitstoot van de ERS-fabriek -vergelijkbaar met de industriële emissies in Vlaanderen die buiten het emissiehandelssysteem vielen in basisjaar 2005 - stelt ons voor gigantische problemen. Dit op een ogenblik dat het klimaatakkoord van Parijs ons dwingt een versnelling hoger te schakelen in ons klimaatbeleid. De Europese - en dus ook Belgische en Vlaamse - reductiedoelstelling voor 2030 en 2050 zullen nog moeten worden aangescherpt. De huidige Europese doelstellingen [-40% reductie tegen 2030 en -80% tegen 2050] werden immers afgeleid van de langetermijn-doelstelling van 80 tot 95% reducties tegen 2050 die het Intergouvernementeel klimaatpanel (IPCC) nodig achtte voor industrielanden om de opwarming van de aarde tot 2°C boven het pre-industriële niveau te beperken. In COP21 werd echter overeen gekomen om zelfs onder die 2°C te blijven (“well below”) en te streven naar 1,5°C. Dat betekent dat de industrielanden tegen 2050 eerder 95% dan 80% van hun uitstoot moeten terugdringen. Hoe een CO₂-bom als die van ERS in dergelijke aangescherpte doelstellingen een rol kan spelen, is ons een raadsel.

De vraag stelt zich dan waarom VITO - in de studie die jammer genoeg niet openbaar wordt gemaakt - toch nog een milieuwinst voorspiegelt? Dat heeft blijkbaar te maken met de referentiesituatie waarmee wordt vergeleken. VITO gaat ervan uit dat die immense stroom plastic in een scenario zonder investering zou worden verbrand in een verbrandingsoven die enkel elektriciteit produceert. Dergelijke verbrandingsovens halen doorgaans een bedroevend energetisch rendement: slechts een kwart van de energie-inhoud wordt omgezet in nuttige energie. De rest gaat onder de vorm van warmte verloren.

Met andere woorden: de “technologie van de toekomst” die men in Antwerpen wil binnenhalen doorstaat enkel de milieutoets door haar te vergelijken met de “technologie van het verleden”. Er werd niet vergeleken met state-of-the-art verbrandingsinstallaties die naast elektriciteit ook warmte uitkoppelen onder de vorm van warm water of stoom geleverd aan industriële afnemers of benut voor verwarming. Dergelijk verbrandingsinstallaties kunnen een energetisch rendement halen van 85 tot 90%. Zo zal na de realisatie van het stoomnet (Ecluse) rond de verbrandingsinstallaties van Indaver op de linker Schelde-oever in het Antwerpse havengebied, 80 tot 90% van de input-energie worden hergebruikt via de levering van warmte.⁹ Dat dit op vlak van CO₂-emissies enorme verschillen oplevert, zien we in onderstaande grafiek.

Chart 1. Variation in CO₂e emissions from EfW and landfill with EfW plant efficiency for the same tonne of waste



Figuur: netto CO₂-winst uit afvalverbranding (in ton CO₂ per ton verbrand)

Bron: DEFRA, Energy recovery for residual waste: A carbon based modelling approach, February 2014, http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=11918_WR-1910Energyrecoveryforresidualwaste-Acarbonbasedmodellingapproach.pdf

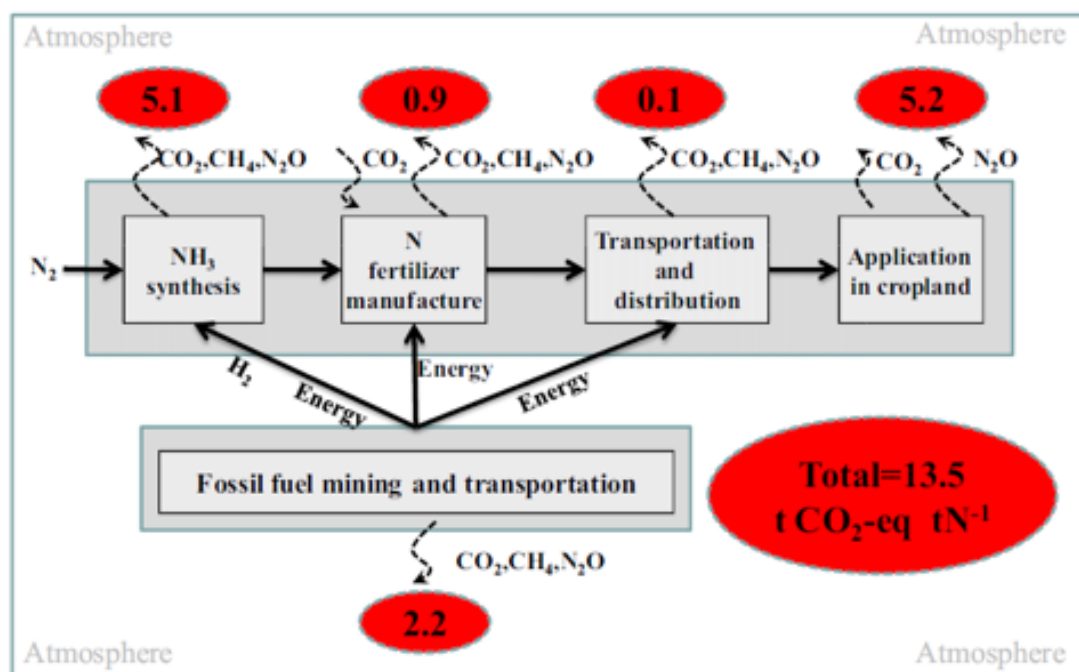
De beoordeling van de milieuwinst van een dergelijk grootschalige investering, moet wat ons betreft gebaseerd worden op een vergelijking met de best presterende alternatieve verwerkingsopties, niet met de slechtste. Trouwens, het gaat hier om hoogcalorisch afval. De twee meest voor de hand liggende installaties die voor de verwerking daarvan in Vlaanderen in aanmerking komen, zijn de werveldbed-oven Sleco op de terreinen van Indaver en de wervelbed-oven van Stora Enso in Langerbrugge. Beiden gaan via een stoomnet hun restwarmte uitkoppelen (Indaver via het project “Ecluse” naar nabijgelegen bedrijven, Stora Enso naar Volvo Car). Ze halen dus een veel beter milieurendement dan dat waaraan werd getoetst.

Niet alleen is het noodzakelijk te vergelijken met de best presterende waste-to-energy installaties, ook met alternatieve waste-to-chemicals technologieën die - zoals hogere uiteengezet voor waste-to-methanol - veel meer CO2 kunnen recycleren.

Broeikasgasuitstoot over de hele keten van ureum zeer zorgwekkend

De studie naar de zogenaamde “milieuwinst” loopt niet alleen mank door de vergelijking met achterhaalde, energievernietigende verbrandingstechnologie, ook de systeemgrenzen waarbinnen de milieueffecten werden berekend, blijven beperkt. Zo werd niet nagegaan wat de impact was op de broeikasgasuitstoot van het geproduceerde ureum eens toegepast als meststof op het veld.

Die impact is nochtans niet te onderschatten. In de studie “New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China” wordt gekeken naar de broeikasgasemissies in alle stadia van de levenscyclus van stikstof-kunstmeststoffen (van de productiefase tot de gebruiksfase) en wordt ook het reductiepotentieel in elke fase in kaart gebracht.



Figuur: Life cycle assessment of GHG emissions from manufacturing and field use of N fertilizer in China and weighted emission factors of main processes (system boundaries are described in the main text). Atmospheric nitrogen (N₂) is combined with hydrogen using energy from fossil fuels. The produced NH₃ is reacted with CO₂, nitric acid, hydrochloric acid, or phosphoric acid to produce different N fertilizer products. These fertilizers are transported by various means before being applied to croplands.

Als we kijken naar de volledige levenscyclusanalyse van de stikstofkunstmeststoffen, dan blijkt de uitstoot in de aanwendingsfase vergelijkbaar met deze in de productiefase (zie figuur).

De vraag stelt zich dan ook of stikstofbemesting met ureum überhaupt wel een goede keuze is voor het klimaat. Zijn er geen andere kunstmestproducten die klimaatvriendelijker zijn?

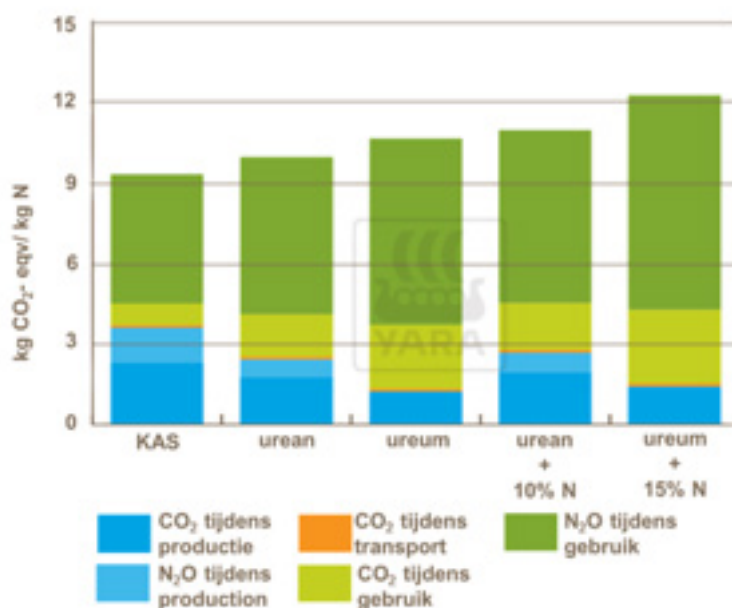
Dat lijkt alvast het geval te zijn voor kunstmest gebaseerd op ammonium nitraat (AN) waar, in tegenstelling tot ureum, geen koolstof in zit. De productie daarvan verloopt alvast veel energie-efficiënter (zie tabel).

Items	Unit	Currently in China	Advanced technology	Best technology
Coal mining CH ₄ recovery	%	20*	35*	60*
Thermal efficiency at coal-fired power plants [†]	%	37–38	41–42	46–48
Energy use in NH ₃ synthesis	GJ t NH ₃ -N ⁻¹	51.3	43.7 [‡]	32.8 [‡]
Energy use in N product manufacturing	Urea	8.9	8.0 [‡]	7.0 [‡]
	AN	3.5	1.6 [‡]	0 [‡]
N ₂ O emission in AN manufacture	kg N ₂ O t HNO ₃ ⁻¹	8.0	1.9 [‡]	0.5 [‡]

*Coal bed methane recovery is reported to be 15–23% in China (14, 15); we take 20% as the average. Recoveries for advanced and best technologies are from a US Environmental Protection Agency publication (16).
[†]Data are from a study by Zhou (17).
[‡]Data are from a report by the International Fertilizer Association (18), with advanced technologies being the world average and the best technologies being those that operate at the highest energy efficiency.

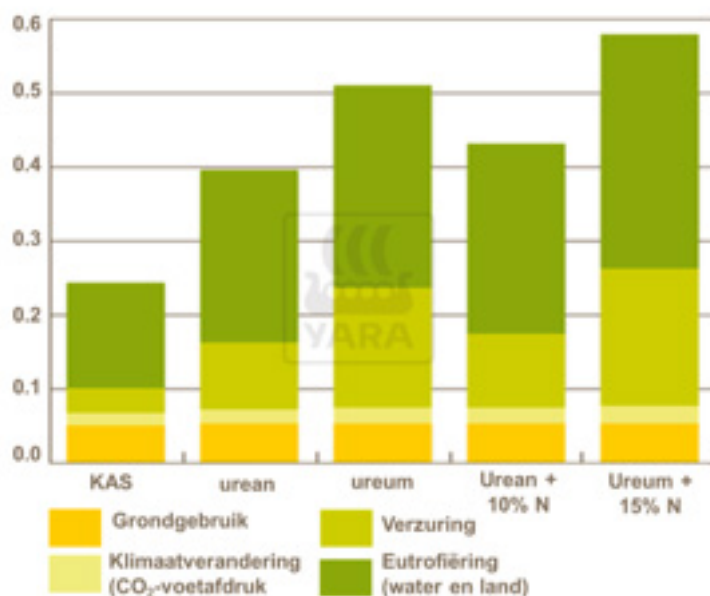
Tabel: Broeikasgasemissies in de productie van stikstof meststoffen

Maar ook in de gebruiksfase stoten andere stikstofkunstmeststoffen (zoals kalkammonsalpeter (KAS)) een pak minder CO₂-uit (zie licht groene balkjes in onderstaande figuur - de veel grotere emissies van lachgas in de donker groene balkjes kunnen met emissiearme onderwerkingstechnieken worden bestreden).



Figuur: De CO₂-voetafdruk voor de gehele levenscyclus is 12% lager bij KAS dan bij ureum. Het verschil wordt nog groter, omdat de hoge verliezen bij ureum gecompenseerd moet worden door een hogere N-gift/stikstofgift (+15%).
 Bron: <http://www.yara.nl/gewas-voeding/pure-nutrient/nitraat-meststoffen/milieu/>

Ook de globale milieuoetafdruk van ureum lijkt sterk tegen te vallen. Alternatieve kunstmeststoffen hebben een milieuoetafdruk die de helft lager ligt (zie figuur).



Figuur: Milieuoetafdruk van verschillende stikstof kunstmeststoffen.
Bron: <http://www.yara.nl/gewas-voeding/pure-nutrient/nitraat-meststoffen/milieu/>

Tenslotte willen we er op wijzen dat organische meststoffen (compost) een nog veel lagere milieuoetafdruk hebben. De koolstofatomen die daar in zitten, blijven gebonden, zorgen voor een vruchtbaar bodemleven en een belangrijke koolstofsink. Ook daar zou mee vergeleken moeten worden.

Concluderend kunnen we dus zeggen dat noch de gekozen technologie van ERS (waste-to-ammonia/urea), noch het geproduceerde product de klimaattoets doorstaat.

Chemische recyclagetechnieken kunnen hun plaats hebben in een circulaire economie op voorwaarde dat:

- ze afval aantrekken dat op geen enkele manier (ook niet na toepassing van betere scheidingstechnieken of inzamelsystemen) mechanisch kan worden gerecycleerd;

- ze ook de koolstof uit het afval recycleren (en dus niet hoofdzakelijk de waterstofatomen zoals bij ERS)

- ze een product opleveren dat ook in de toepassingsfase op milieuvlak beter scoort dan de alternatieven.

Aan geen van deze drie voorwaarden lijkt voldaan.

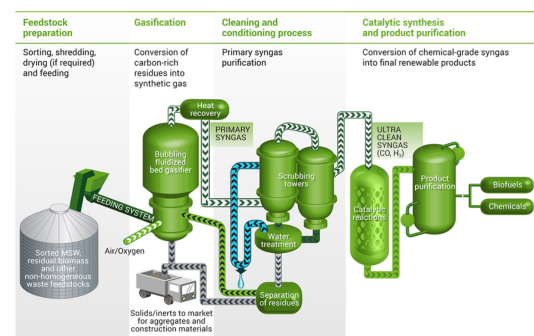
ONS ALTERNATIEF



Antwerps afval gebruiken voor een chemische recyclage naar methanol in plaats van een nieuwe verbrandingsoven op de terreinen van ISVAG. Dit als onderdeel van een heus industrieel ecosysteem rond het product methanol

In plaats van afval aan te trekken dat mogelijk op een andere manier kan worden gerecycleerd, kunnen we ons beter toeleggen op de reststromen waarvan we weten dat ze de recyclage niet in de weg staan. Ons huishoudelijk restafval bijvoorbeeld. Vlaanderen is reeds kampioen in het selectief inzamelen en recycleren van huishoudelijke afvalstoffen. Maar ondanks onze voorloperrol, produceren we nog altijd een aanzienlijke hoeveelheid restafval. Vandaag wordt dat afval verbrand in klassieke verbrandingsovens die zo grondstoffen-crematoria worden. Want, op wat ijzer na, worden er geen moleculen uit het verbrande afval in nieuwe producten ingebouwd. De energie in het afval wordt in de meeste Vlaams verbrandingsovens (in tegenstelling tot deze in Scandinavië, Nederland of Duitsland) enkel omgezet naar elektriciteit. En dat aan een bedroevend laag energetisch rendement van 20-25%.

Nochtans kan ook de huishoudelijke restafvalstroom worden vergast en omgezet naar chemicaliën. Het Canadese bedrijf Enerkem heeft in Edmonton een “biorefinery”-vergassingsinstallatie staan die uit huishoudelijk restafval ethanol en methanol produceert (zie figuur). Vergelijkbare technieken op andere stromen (voornamelijk biomassa) vinden we ook in andere landen terug : Choren in Freiburg (Duitsland), VärmlandsMethanol en Chemrec (Zweden), BioMCN (Nederland)...



Figuur: Productieproces Enerkem

Volgens een levenscyclus-analyse die Enerkem heeft laten uitvoeren (conform de internationale ISO 14064-2 norm), zou de “biorefinery”-technologie van Enerkem ten opzichte van de klassieke verbranding van huishoudelijk restafval 55 tot 63% minder CO₂ uitstoten. Hoewel deze studie slaat op de Canadese situatie en dus niet zomaar kan vertaald worden naar Vlaanderen, geeft dit toch een indicatie.

We kunnen de “vermeden” CO₂-uitstoot in vergelijking met verbranding met stroomproductie ook anders berekenen.

De hoger genoemde waste-to-methanol technologieën produceren dus 236 tot 299 kg methanol per ton verwerkt afval. De CO₂-emissies van de klassieke methanol productie liggen op 0,52 tot 0,84 kg CO₂ per kg methanol indien methanol uit aardgas wordt geproduceerd en 2,8 tot 3,8 kg CO₂ per kg methanol indien steenkool als grondstof wordt gebruikt. Als methanol geproduceerd wordt uit een CO₂-afvalstroom gecombineerd met waterstofgas, geproduceerd door water te splitsen met (een overschot aan) groene stroom, dan komt de uitstoot op 0,8 kg CO₂/kg methanol.

Omdat dat laatste proces vooralsnog te duur is om economisch rendabel te zijn, nemen we voor de berekening van de “vermeden” emissies aan dat onze uit afval geproduceerde methanol deze uit een aardgasbron vervangt.

In dat geval wordt door de alternatieve methanol-productie uit afval, tussen de 200 en de 250 kg CO₂ vermeden per verwerkte ton afval.

In een verbrandingsoven met katalysator in de rookgasreiniging en elektriciteitsproductie (het type technologie dat men wil toepassen voor de nieuwe ISVAG oven) wordt volgens Vrancken et al per ton verwerkt afval netto 475 kWh elektriciteit geproduceerd. Rekening houdend met een CO₂ uitstoot in het gemiddeld Belgische elektriciteitspark van 0,27 kg CO₂ per kWh geproduceerde stroom, komt dat overeen met een vermeden CO₂ uitstoot per ton verwerkt afval van 128 kg CO₂. Een pak minder dan de vermeden CO₂ bij de omzetting van huishoudelijk afval naar methanol.

Dus inderdaad: ook in de Vlaamse context lijkt een chemische recyclage van het huishoudelijk restafval naar methanol een pak meer CO₂ te vermijden dan het klassiek verbranden ervan. De CO₂ winst lijkt zelfs groter dan in de Canadese situatie. Mogelijk omdat de vermeden CO₂ uitstoot in de elektriciteitsproductie door de lage koolstofintensiteit van het Belgisch park veel minder groot uitvalt.

Proactief de zaak in handen nemen in plaats van reactief af te wachten

Het komt er nu op aan om deze beloftevolle nieuwe technologie van de grond te krijgen en te ontwikkelen, samen met onze intercommunales, kennisinstellingen, universiteiten en industriële partners. In plaats van reactief te wachten op investeringen van derden, kunnen we beter zelf actief op zoek gaan naar de juiste investeringen en de juiste technologie om de nog ontbrekende schakels in ons industrieel ecosysteem in te vullen. Professor Jonathan Holslag pleitte daar in de Knack ook voor. Volgens Holslag “dient de Vlaamse overheid af te stappen van haar gemakzuchtige uitverkooppolitiek, die ervan uitgaat dat we onze industrie versterken door vrachten subsidies uit te storten over de automobiellindustrie, eindeloze fiscale gunsten toe te kennen aan de farmagiganten en te lonken naar grote buitenlandse investeerders”. Als technologieën zoals deze van de chemische recycling werkelijk zinvol, ecologisch en rendabel zijn, moeten we ze volgens Holslag zelf kunnen ontwikkelen.

Using waste as feedstock for the chemical industry

Fourteen partners have joined forces to assess the use of waste for the production of chemicals in the Netherlands.

They plan to use technology developed by Canadian company Enerkem to manufacture synthesis gas from domestic and other waste and use it as a feedstock for making products such as methanol and ammonia. The public-private partnership will study the options for setting up Europe's first plant, either in Rotterdam or Delfzijl. The partners will publish the results of the study later this year.

Together, the 14 partners have all the expertise needed to make the initiative a success, from waste collection to conversion to industrial plants and sales.

Other partners involved in the initiative:



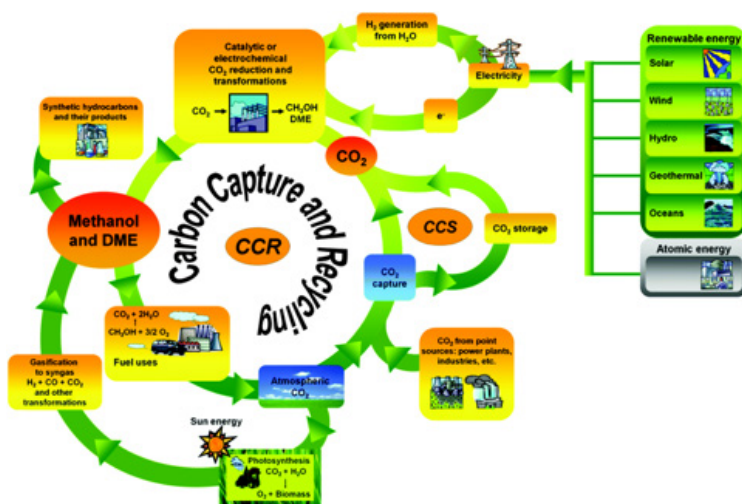
Figuur: Waste-to-chemicals kenniscluster in Nederland.

Dat is ook precies wat onze Noordburen doen. Zij zijn bezig met het opbouwen van een kenniscluster rond chemische recyclage. Veertien partners – waaronder Akzonobel, afvalverwerker Van Gansewinkel, Air Liquide, BioMCN, de Haven van Rotterdam, Groningen Seaports en het genoemde Canadese bedrijf Enerkem – hebben de handen in elkaar geslagen om samen uit te zoeken op welke manier de Enerkem-technologie kan ingezet worden om huishoudelijk en ander afval tot chemicaliën zoals methanol om te zetten. Het Nederlands publiek-private samenwerkingsverband is vastberaden om de eerste Europese plant van deze technologie te bouwen in Rotterdam of Delfzijl.

Waarom kan dit niet in Antwerpen? De milieuvergunning van de verbrandingsoven van de Antwerpse huisvuilintercommunale ISVAG loopt in 2020 af. Een ideaal moment om door te schakelen naar een meer innovatief en duurzaam alternatief. In plaats van een nieuwe (en grotere) installatie te bouwen met de oude technologie van de roosteroven, zou Antwerpen terug kunnen kiezen om voorop te lopen met de bouw van een eerste waste-to-methanol plant in België. Als de verbrandingsoven van ISVAG vervangen wordt door een chemische recyclage-plant met dezelfde verwerkingscapaciteit (150.000 ton per jaar), kan dit leiden tot een daling van de CO₂-uitstoot in Antwerpen van 11.000 tot 18.000 ton per jaar. Dat komt overeen met de jaarlijkse uitstoot van een 5000 tot 8000 wagens!

Vlaamse industriële partners zoals Indaver (wervelbedtechnologie), Umicore (katalysatoren) en kennisinstellingen zoals VITO of -hubs zoals FISCH (Flanders Innovation Hub for Sustainable Chemistry) zijn zeer goed geplaatst om hier mee in te stappen.

Ook de Antwerpse haven is meer dan betrokken partij. De chemiecluster in de Antwerpse haven – die nochtans het leeuwendeel van haar producten exporteert – is netto-invoerder van methanol. Methanol is als het ware een blinde vlek in de productiecluster van de Antwerpse havenchemie. Een waste-to-methanol plant in de Antwerpse haven levert met andere woorden een belangrijke bijdrage aan een verbetering van onze handelsbalans en maakt de Antwerpse chemiecluster minder afhankelijk van buitenlandse productie. Bovendien kan de haven haar periodiek overschot aan groene stroom (of productie van groene stroom om momenten van lage vraag en lage prijzen) gebruiken voor de productie van methanol via de zogenaamde power-to-methanol route waarbij groene stroom gebruikt wordt om water te splitsen en het geproduceerd waterstofgas wordt aangewend om CO₂ uit industriële procesemissies van de havenindustrie vast te leggen in methanol. Dat is een vorm van energieopslag. Op die manier kan een ware “methanol economie” ontstaan waarbij methanol gaandeweg de plaats van fossiele brandstoffen overneemt als transportbrandstof, energieopslag en grondstof voor chemicaliën, zoals beschreven in het boek “Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy” van voormalig Nobelprijswinnaar George Andrew Olah.



Figuur: Methanol als sleutelement in een koolstof recyclage economie

Gebruik van methanol als (scheeps)brandstof

De haven kan ook een belangrijke rol spelen in het gebruik van methanol als alternatieve scheepsbrandstof. Het gebruik van methanol als alternatief voor zware fuel heeft tal van milieuvordelen: energie-efficiënter in het gebruik (waardoor tot 25% minder CO₂), nagenoeg geen uitstoot van zwaveldioxide en fijn stof en 60% minder NO_x uitstoot. Geen overbodige luxe als je weet dat in Antwerpen de Europese luchtkwaliteitsnormen voor fijn stof en stikstofoxiden worden overschreden. Deze lucht helpen opklaren is van extreem groot belang. Niet alleen voor onze volksgezondheid, maar ook voor het vrijwaren van de nodige “milieugebruiksruimte” voor nieuwe investeringen in de Antwerpse haven/maak industrie.

De milieuvordelen van methanol als brandstof zijn vergelijkbaar met deze van LNG, met dien verstande dat de routes voor de productie van methanol heel wat “vergroeningspotentieel” hebben. Methanol kan CO₂-uitstoot vastleggen met een overschot aan groene stroom (via power-to-methanol, de zogenaamde “electrofuel” route) of worden geproduceerd uit tweede generatie biomassa (bio-methanol). In tegenstelling daarmee dreigt LNG “vuiler” te worden. Dit onder meer door het toenemend aandeel van LNG geproduceerd uit schaliegas (dat gaandeweg door de VS onder de vorm van LNG zal worden geëxporteerd) en door de methaan-emissies bij de ontginning, de distributie en het gebruik (de zogenaamde “methane slip”). Bovendien heeft methanol ten opzichte van LNG het voordeel dat de opslag, de logistieke distributie en het gebruik een pak gemakkelijker is omdat methanol onder atmosferische druk vloeibaar is en niet gasvormig.

Niet alleen de productieroutes van methanol hebben een belangrijke reductiepotentieel, ook de aanwendings technologie. Methanol kan ook perfect worden ingezet in brandstofcellen die uit het in methanol ingebouwde waterstof elektriciteit produceren. Het energetisch rendement daarvan is nog beter en de uitstoot nog een pak lager (ook geen uitstoot van stikstofoxiden).

De Zweeds rederij Stena Line (een van de grootste ferry rederijen ter wereld) heeft ondertussen een van haar schepen omgebouwd van zware fuel tot dual fuel waarbij ook (en vooral) met methanol kan worden gevaren. Stena Line plant nu de ombouw van haar volledige vloot.

Waarom zou het Havenbedrijf Antwerpen hier niet volgen? Het havenbedrijf zelf heeft een belangrijke eigen vloot aan sleepboten en baggerboten. Die stoten heel wat CO₂, fijn stof en stikstofoxiden uit. Alle sleepboten samen bijvoorbeeld, verbruikten in 2012 ongeveer 6.000 ton gasolie, wat overeenkomt met een uitstoot van ongeveer 15.600.000 kg CO₂ (de uitstoot van een kleine 7000 wagens).¹⁹

Door methanol als alternatieve motorbrandstof te gebruiken in de vloot van het havenbedrijf (sleepdienst, baggerdienst, kraandienst) wordt nog eens extra CO₂, fijn stof en NO_x vermeden. Bovendien kunnen methanol tankfaciliteiten worden aangeboden aan de scheep- en binnenvaart en aan het vrachttransport over de weg.

Maar het Havenbedrijf moet dus het goede voorbeeld geven. Een eerste mooie aanleiding daartoe is de geplande bouw van een nieuwe baggerschip. Laat ons daar het eerste methanol-schip van de Benelux van maken! En laat ons meteen onderzoeken in welke mate de bestaande sleep- en baggervloot geretrofit kan worden naar dual fuel boten die op methanol kunnen draaien.

Conclusie

Hoger stelden we dat chemische recyclagetechnieken hun plaats kunnen hebben in een circulaire economie op voorwaarde dat:

- ze afval verwerken dat op geen enkele manier (ook niet na toepassing van betere scheidingstechnieken of inzamelsystemen) mechanisch kan worden gerecycleerd;
- ze ook de koolstof uit het afval recycleren (en dus niet hoofdzakelijk de waterstofatomen zoals bij ERS);
- ze een product opleveren dat ook in de toepassingsfase op milieuvlak beter scoort dan de alternatieven.

Met de chemische recyclage van het Antwerps huishoudelijk restafval op een site in de Antwerpse haven (als alternatief voor een nieuwe en grotere verbrandingsoven op de terreinen van ISVAG) en de opbouw van een ware methanol-cluster (waarbij methanol ook als scheepsbrandstof wordt gebruikt in de eigen havenvloot), lijken deze drie cumulatieve voorwaarden vervuld. Op deze manier kunnen we zelf de regie over de chemische recyclage in handen nemen en veel meer spin-offs realiseren. Met de opbouw van dergelijk stedelijk-industrieel ecosysteem dringen we de uitstoot van onze CO₂ flink terug (in plaats van ze explosief te laten toenemen zoals het geval zou zijn met de Saoedische investering), bouwen we een innovatievoorsprong op en verminderen we de vervuilende uitstoot van stikstofoxiden en fijn stof.

Meer halen uit ons organisch-biologisch afval

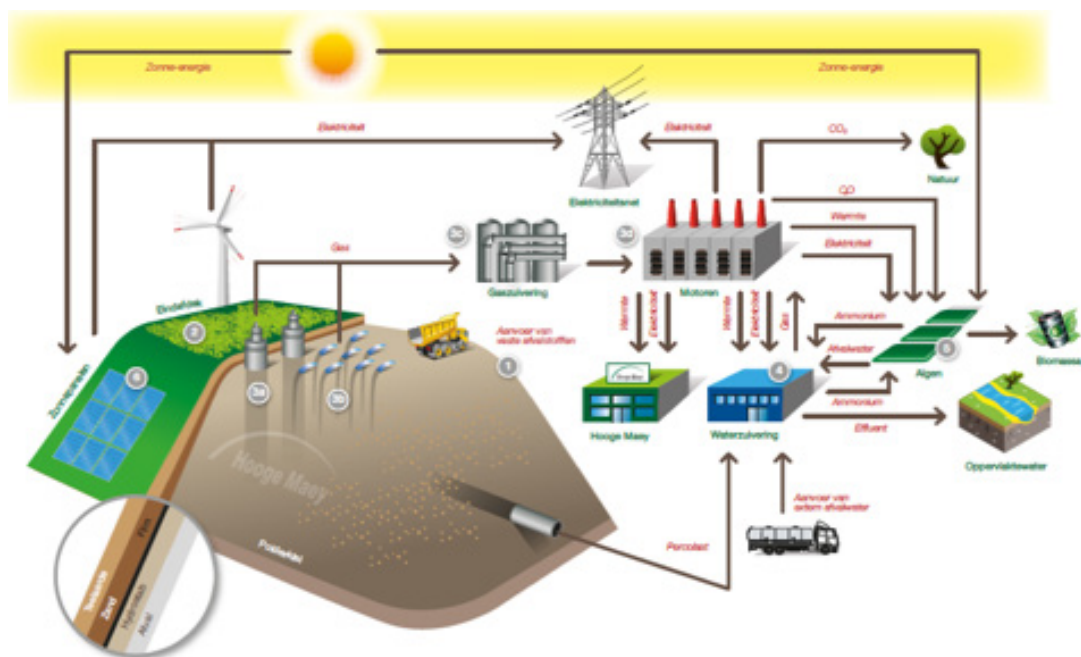
Ook de manier waarop Antwerpen met haar GFT afval en met het in het verleden gestort afval omgaat, kan beter.

Het Antwerps GFT wordt vergist in de vergistingsinstallaties van de intercommunale IGEAN in Brecht. In deze installaties wordt jaarlijks zo'n 65.000 ton organisch afval microbiëel afgebroken tot biogas dat in een biogasmotor wordt omgezet in elektriciteit. Ook hier gaat warmte verloren.

Indien naast elektriciteit ook nuttige warmte wordt geleverd, kan een flinke extra CO₂-winst worden geboekt. Volgens een Nederlandse studie levert een vergisting, gecombineerd met enkel elektriciteitsproductie een CO₂ besparing op van 189 kg per verwerkte ton GFT (vermeden kunststof, vermeden klassieke stroomproductie). Een vergister die naast elektriciteit ook warmte levert, vermijdt 223 kg CO₂ per ton GFT. De verschillen in Vlaanderen zullen wellicht meer uitgesproken zijn omdat onze elektriciteitsproductie minder koolstofintensief is dan deze in Nederland (waardoor elektriciteitsproductie uit biogas tot minder vermeden emissies leidt).

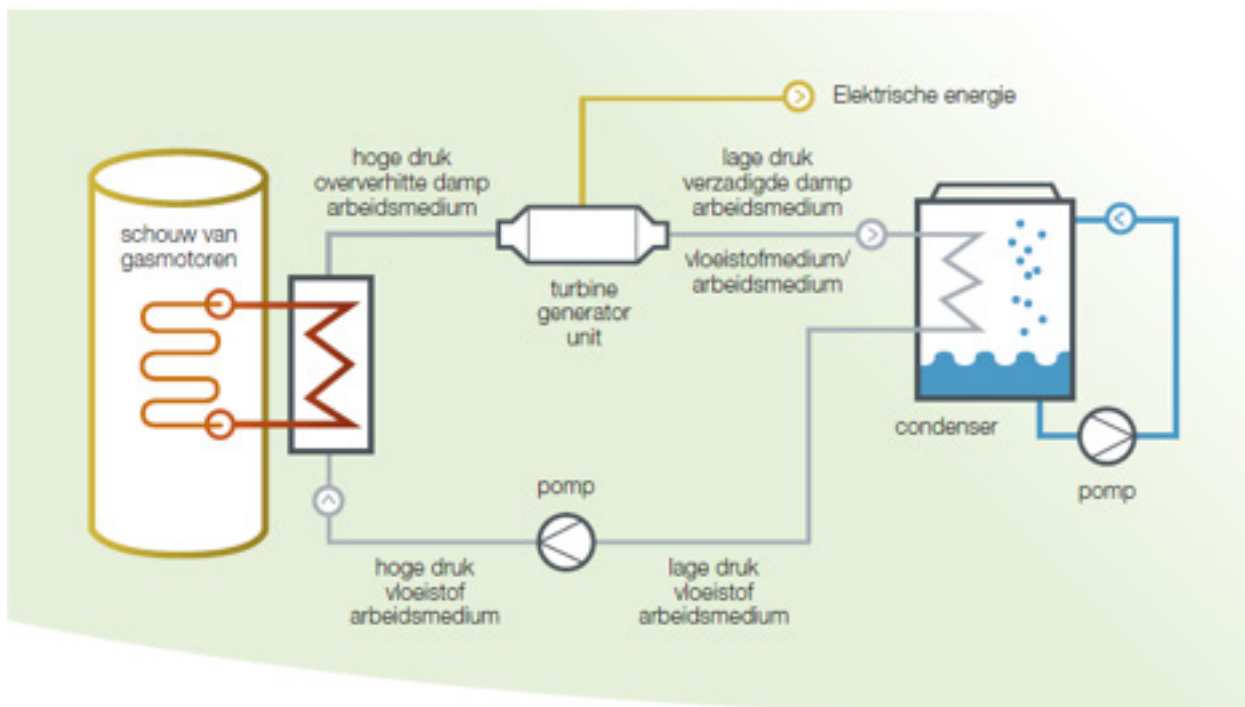
Maar zelfs met de Nederlandse aannames, kunnen we ervan uitgaan dat de vervanging van de IGEAN installaties door de bouw van een 65.000 ton vergistingsinstallatie in de Antwerpse haven met naast elektriciteitsproductie ook warmtelevering een extra CO₂ vermindering realiseert van 2.200 ton per jaar! Daarbovenop komt nog de enorme besparing aan transportkilometers.

Ook de warmte van de gasmotoren die het stortgas uit de Hooge Maey omzetten in elektriciteit, kan beter worden gevaloriseerd, iets waar de intercommunale trouwens zelf werk van wil maken.



Figuur: Elektriciteits- en warmteleveringen door stortplaats Hooge Maey

De intercommunale denkt onder meer aan de bouw van een ORC-installatie (Organic Rankine Cycle) om de (seizoensgebonden) overschotten aan warmte om te zetten in elektriciteit (zie figuur).



Figuur: ORC. Met behulp van de Organic Rankine Cycle kan elektriciteit worden opgewekt uit laagwaardige warmte.
Bron: Rapport 2014 van de Intercommunale Vereniging Hooge Maey

Alleen, de stortgasproductie uit de stortplaats Hooge Maey neemt jaar op jaar af. Op een bepaald moment is het stort “uitgegist”. Enkel een ORC bouwen voor het warmteoverschot van de gasmotoren van de stortplaats is dus niet echt rendabel.

Vandaar ons voorstel om de restwarmte van de gasmotoren op de stortplaats te bundelen met de restwarmte van de nieuwe vergistingsinstallatie en deze aan te sluiten op het geplande warmtenet tussen Indaver en Ekeren/Luchtbal. Aan dit warmtenet kan dan een ORC installatie worden aangesloten om de (seizoensgebonden) warmteoverschotten om te zetten in elektriciteit. In deze cluster van restwarmte en groene warmte krijgt de ORC de rol van scharrelkip die de restcalorieën verwerkt tot elektriciteit.

Samengevat

Antwerpen kan veel meer waarde halen uit haar afvalstromen. Door het restafval chemisch te recycleren tot methanol (ISVAG), het GFT afval om te zetten in elektriciteit én warmte (IGEAN) en de seizoensgebonden warmteoverschotten van stortplaats en GFT-vergisting (Hooge Maey en IGEAN) om te zetten in elektriciteit, kunnen veel meer energie en grondstoffen worden uitgespaard dan vandaag. Alternatieven voor de bestaande installaties van ISVAG en IGEAN kunnen jaarlijks 13.000 tot 20.000 ton CO₂ uitstoot vermijden. De geproduceerde methanol kan nog veel meer uitstoot vermijden als ze op termijn wordt ingezet in brandstofcellen.

Naast een verminderde CO₂ uitstoot, zorgen deze investeringen ook voor het opbouwen van een kennisvoorsprong, het versterken en verduurzamen van de bestaande havenchemiecluster en voor een verminderde uitstoot van vervuilende stoffen.

It's a waste to waste our waste. Zo laten we nu werk maken van een écht circulaire economie onder eigen regie.

BRONNEN

¹ World Economic Forum, Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company, The New Plastics Economy – Rethinking the future of plastics (2016, <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>).

² European Commission, 2003. Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives. European Commission, 2005. Eurostat; <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/rdf.pdf>

Cijfer dat voor plastics uit huishoudelijk afval gehanteerd wordt in: Astonopoulos, Karagiannidis, Kalogirou, 2010, Estimation of Municipal Solid Waste Heating Value in Greece in the Frame of Formulating Appropriate Scenario's on Waste Treatment.

³ Besluit van de Commissie van 27 april 2011 tot vaststelling van een voor de hele Unie geldende overgangsregeling voor de geharmoniseerde kosteloze toewijzing van emissierechten overeenkomstig artikel 10 bis van Richtlijn 2003/87/EG van het Europees Parlement en de Raad (Kennisgeving geschied onder nummer C(2011) 2772)

⁴ Carbon Pulse, EIB proposes to extend shadow CO2 price to 2050, keep climate spending ratio, <http://carbon-pulse.com/7699/>

⁵ Prijs Ammonia: 254 euro (275 dollar) per ton Free on Board, (<http://www.icis.com/resources/news/2015/12/28/9956097/outlook-16-global-fertilizer-demand-set-to-rebound-in-2016-ifa/>)

⁶ In de “Concession Tender” van ERS staat: “The Antwerp Waste-to-Chemical recycling plant will produce approximately 1,2 million tons of “Green” Urea, with an export value of over 300 million € per year”.

⁷ Bron: <http://www.ecluse.be/nl/milieuwinst/energie-efficient/>

⁸ Zhang et al, 2012, New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China, <http://www.pnas.org/content/110/21/8375>

⁹ IEA-ETSAP and IRENA ©, 2013. Production of Bio-methanol , Technology Brief IO

¹⁰ Gershman et al., 2013. Gasification of Non-Recycled Plastics from Municipal Solid Waste in the United States, The American Chemistry Council

¹¹ Matzen et al, 2015. Technoeconomics and Sustainability of Renewable Methanol and Ammonia Productions Using Wind Power-based Hydrogen, Advanced Chemical Engineering, Volume 5, Issue 3.

¹² DECHEMA/IEA/ICCA, 2013. Energy and GHG Reductions in the Chemical Industry via Catalytic Processes. ANNEX-ES

¹³ IEA-ETSAP and IRENA ©, 2013. Production of Bio-methanol , Technology Brief IOB

¹⁴ Matzen et al, 2015. Technoeconomics and Sustainability of Renewable Methanol and Ammonia Productions Using Wind Power-based Hydrogen, Advanced Chemical Engineering, Volume 5, Issue 3.

¹⁶ Vrancken et al., 2001. Vergelijking van verwerkingsscenario's voor restfractie van HHA en niet-specifiek categorie II bedrijfsafval. Eindrapport, VITO

¹⁷ “Waarom zetten we die Saudische fabriek in Antwerpen niet zelf”, Knack van 12 december 2015, <http://www.knack.be/nieuws/belgie/waarom-zetten-we-die-saudische-fabriek-in-antwerpen-niet-zelf/article-opinion-634271.html>

¹⁸ Bron: <http://news.stenaline.co.uk/pressreleases/stena-line-launches-the-world-s-first-methanol-ferry-1137516>

¹⁹ Bron: <http://www.portofantwerp.com/nl/antwerpen-als-landlordhaven>

