

Samenvatting:

Er zijn een aantal depolymerisatie technieken op de markt, die weer te verdelen zijn in verschillende subtechnieken. Een aantal van deze technologieën, o.a. pyrolyse, verhitting van afval, kunnen volgens de opgave van de leveranciers vanuit afval of bioproducten, biobrandstoffen produceren en energie opwekken. De haalbaarheid van deze projecten is echter nog nergens commercieel bewezen.

Wordt gekeken naar een structurele verbetering naar het terugwinnen van afval dan lijkt vergassing een van de meest aangewezen technologieën.

Momenteel zijn er verspreid over de wereld al een aantal vergasserprojecten welke uit vervuilde (bitumen) kolen, petcokes en/of bruinkool Syngas produceren. Met dit Syngas wordt vervolgens een divers aantal chemicaliën geproduceerd. Sinds 2008 is er een grote groei, met name in China, van dit soort gecombineerde vergasser-synthese projecten ontstaan. De reden van deze enorme groei ligt in het feit dat China als een van de eerste regio's last heeft van stijgende grondstof- en energieprijzen door gebrek aan voldoende eigen feedstocks zoals aardgas en olie.

Hoewel er binnen Europa nog een ander prijsregiem voor olie en aardgas geldt, kan het nu al zinvol zijn om afvalstromen om te zetten naar basis chemicaliën via de bovenstaande vergasser-synthese route.

De aantal commercieel bewezen afvalvergassers is nu nog beperkt. Als eenmaal het Syngas is geproduceerd en gezuiverd zullen echter de bovengenoemde synthese routes ook hier kunnen worden toegepast.

Het produceren van chemicaliën uit afval heeft daarbij de volgende voordelen:

- Lagere kostprijs door negatieve waarde grondstoffen
- Minder afval productie (geldt ook voor zwaar verontreinigd afval)
- Minder afhankelijkheid grondstoffen
- Significant positief effect op de CO₂ uitstoot
- Bijproducten zoals energie, slag, zwavel en metaallegeringen hebben een toegevoegde waarde.

Hoewel de verwerking van afval in een vergasser nog niet commercieel bewezen is, is de verwachting dat hier de komende jaren wel verandering in zal komen. De reden hiervoor zijn de vele initiatieven die over de hele wereld zijn of worden opgestart.

Depolymerisatie:

Depolymerisatie is het proces dat materialen, welke uit lange en/of verknoopte ketens bestaan, in kleinere ketens of moleculen splitst. De condities waaronder dit gebeurt zijn afhankelijk van het proces. De onderstaande depolymerisatie technieken, met name het vergassen, zorgen ervoor dat er significant meer afval gerecycled kan worden voor het hergebruik van chemicaliën dan de bekende incinerators met energierugwinning. Het energetische rendement van de depolymerisatie processen is doorgaans hoger dan de conventionele incinerators met energierugwinning. De momentane energierendementen zijn ca. 30 % voor de incinerators ten opzichte van ca. 80 % voor de vergasserprocessen¹ in combinatie met een gasturbine.

De schaalgrootte van de processen zijn zeer divers. Met name de vergassingsprocessen zijn zowel op kleinere schaal, ca. 25.000 t/j, als grote schaal >> 400.000 t/j te vinden.

De depolymerisatie processen zijn in de onderstaande processen te onderscheiden:

¹ Deze waarden kunnen zowel voor de AVI's als voor de vergassers per installatie sterk verschillen door verschillende omgevingsfactoren

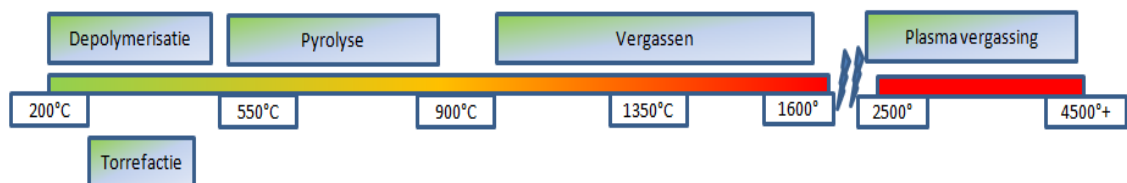
Thermische depolymerisatie:

Het ontleden van polymeren naar kleinere ketens tot C8-C18 door geleidelijke verwarming tot ca. 450°C, dit wordt veelal op kleine schaal in laboratorium of op pilot schaal toegepast. Een grote doorbraak is hier nog niet gevonden. Gezien de vele studies die lopen op dit vlak is er wel de verwachting dat hier in de toekomst een doorbraak zal komen. Het gevormde product is voornamelijk biodiesel. Vooral nog is het grootste probleem de zuiverheid van de aangeboden 'grondstoffen'.

Torrefactie:

Het verkolen van met name bioproducten bij temperaturen van 300-400°C, dit proces wordt normaliter gebruikt als voorbereidingstap voor pyrolyse of vergassers.

Fig. 1: Indicatie temperatuur bereiken van verschillende depolymerisatie technologieën



Pyrolyse:

Ontleding van polymeren en afval door verhitting onder uitsluiting van zuurstof. Afhankelijk van de processen en gewenste eindproducten is het temperatuur bereik 500-800°C. De producten die ontstaan zijn doorgaans gassen, oliën en kool. Overwegend worden deze producten gebruikt voor energie opwek (elektriciteit of stoom) of als vloeibare 'groene' brandstoffen. Andere toepassingen voor de pyrolyse processen zijn in de ontwikkelingsfase. Voorbeelden zijn; kool voor landbouw verrijking, biodiesel als kraker grondstof, etc.

Bedrijven die pyrolysetechnieken op de markt brengen zijn onder andere Wastegen UK^a/Techtrade^b, Mitsui Babcock Energy, Thermoselect^c en PKA.

Vergassen²:

Vergassingsprocessen zorgen ervoor dat verschillende voedingstromen door een partiële verbranding worden ontleed in een (hoofd)mengsel dat Syngas wordt genoemd^d. De samenstelling van het Syngas is afhankelijk van de voedingsstroom maar bestaat doorgaans uit CO en H₂. Het Syngas kan gebruikt worden als energiebron, voor met name toepassing bij gasturbines, maar heeft een hogere economische waarde als basis voor de productie van een aantal chemicaliën. Syngas dat geproduceerd is uit bio-bestanddelen mag worden beschouwd als een Groen gas³. Dit geldt ook naar ratio voor de geproduceerde eindproducten (kunstmest, polymeren, e.d.).

De drie belangrijkste soorten vergassingsprocessen zijn:

² Met vergassen wordt in deze context niet bedoeld het biologisch vergassen van mest of andere biologische producten tot 'groen'-bio-gas maar het thermo-chemisch ontleden van afval naar syngas.

³ Voorbeeld: Huisvuil bestaat uit circa 35% bio afval, 35% van het Syngas geproduceerd uit dit huisvuil kan hierdoor als groen worden beschouwd.

- Vergassing onder atmosferische condities; dit soort vergassing processen is doorgaans te realiseren met een kleinere investering en is daardoor op kleinere schaal te realiseren. De efficiency, toepasbaarheid van de vergassingsproducten en de milieuaspecten van deze technologieën zijn echter beduidend minder dan de hoge druk vergasser processen.
- Vergassen onder hoge druk; bij vergassen vindt onder zeer hoge temperatuurcondities een gecontroleerde partiële verbranding met zuivere zuurstof plaats. Het product dat hierbij vrijkomt bestaat grotendeels uit syngas (CO, H₂-mengsels). Deze processen zijn doorgaans het meest voorkomend en voor bepaalde toepassingen commercieel bewezen.
- Plasma vergassing; bij plasmavergassing wordt het afval verbrand met behulp van een elektrische vlamboog die ter plaatse voor zeer hoge temperaturen zorgt waardoor de verschillende voedingsstromen worden ontleedt in Syngas. Een nadeel van deze technologie is het hoge elektriciteit verbruik. Op dit moment zijn er echter nog geen commerciële plasmaprocessen met een significante positieve energiebalans voorhanden. Alle leveranciers van deze processen beweren een volledig afval aanbod te kunnen verwerken.

Tabel 1: depolymerisatie technologieën

	temperatuur bereik [°C]	grondstoffen	TRL-level	product	Schaalgrootte [KT voeding/j]
Depolymerisatie	200-450	Gesorteerde kunststoffen	3-4	diesel	<< 10
Torrefactie	300-400	bio-afval (hout)	8		
Pyrolyse	500-800	gemengd afval	5-6	gassen, oliën, kool	<40
Atmosferische vergassing	800-1000	gemengd afval	5-6	Vervuild syngas, afval	40
Hoge druk vergassing	1000-1600	gemengd afval, chemisch afval, petcokes, bitumen, bruinkool, etc.	7-8	syngas	200-500
Plasmavergassing	2500>>	gemengd afval, chemisch afval, petcokes, bitumen, bruinkool, etc.	5	syngas	40

Afval:

Momenteel wordt als voeding voor zowel pyrolyse als vergassing processen onder andere gebruik gemaakt van de onderstaande afvalstromen:

- Landbouw en bosbouw afval
- Huishoud en industrieel afval
- De overgebleven fracties van materiaal recycling zoals, autoshreder, elektrische apparaten, banden, gemengde plastic fracties, etc.

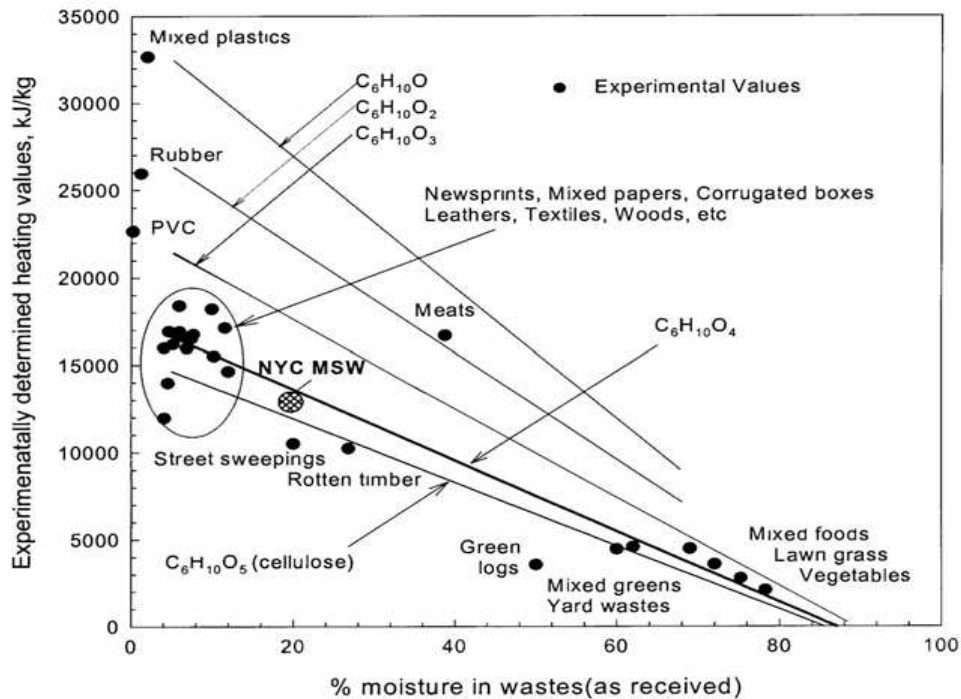
Niet homogene mengsels mogen nog niet voor alle vergassing processen als commercieel bewezen worden beschouwd. Vaak hebben de vergassingsprocessen ook een bepaalde mate van stabiele 'brandstof' nodig, zoals kolen, bruinkool of petcokes. Voordat gekozen wordt voor de meest geschikte vergasser zal er een duidelijke keuze van de te verwerken soorten afval dienen te worden gemaakt. Om het gehele scala aan mogelijke afvalstromen te verruimen kan het zinvol zijn om verschillende vergasser typen cq. processen te combineren.

Het is mogelijk om in vergassers zwaar verontreinigd afval te converteren naar syngas. De schadelijke componenten worden afgebroken of worden verwerkt tot onschadelijke bijproducten, zoals:

- Slag (verglaasd inert materiaal, bruikbaar als vulgranulaat)
- Zwavel (te recyclen voor de chemische industrie)
- Metaal legering (recyclen als metaal grondstof)

Een belangrijk aandachtspunt voor de verwerking van de afval is het zeker stellen van de beschikbaarheid van het afval. Om dit te regelen is een branche overstijgend samenwerkingsverband raadzaam. Hierbij wordt met name gedacht aan branches als de BRBS recycling, BVOR, BMR of andere branches die met verwerkingsmoeilijkheden van afval kampen.

Fig 2: Verbrandingswaarde van verschillende afvalsoorten bij verschillende vochtgehaltenes.



Bron: Gasification: An Alternative Process for Energy Recovery and Disposal of Municipal Solid Wastes, door Alexander Klein, 2002.

Voordelen:

Conversie van afvalstromen naar nieuwe grondstofstromen, geeft de volgende voordelen:

- Alle bestanddelen met een bio-karakter zijn om te zetten naar 'groene' eindproducten.
- Ten opzichte van de conventionele afvalverbranding zal de opgewekte energie (elektriciteit en stoom) een rendement hebben welk ca. 2,5 maal zo hoog ligt (ca. 80 % van de energiewaarde van het afval).
- De totale stroom aan grondstoffen naar de Nederlandse chemie zal met ca. 75 % van het ingezette afval worden verminderd.
- Verlaging kostprijs door goedkopere grondstoffen (afhankelijk van het soort afval, zelfs vaak een negatieve waarde).
- Bijproducten zijn met een positieve waarde te verkopen.
- De Nederlandse CO₂ uitstoot zal uitgaande van het potentieel van ca. 7 MT afval met ca. 11 MT CO₂ dalen. Deze hoeveelheid is gebaseerd op vervanging van de primaire energiedragers door het syngas. In het potentieel van de 7 MT afval zijn niet de industriële afvalstromen verwerkt. Deze stroom bestaat dus grotendeels uit huisvuilstromen.
- Ook zwaar verontreinigd afval kan zonder problemen worden ingezet voor de verwerking naar nieuwe chemicaliën.
Significant minder milieubelasting van vergassers installaties ten opzichte van conventionele verbranding of opslag.

Haalbaarheid en risico's:

Op dit moment zijn er circa 150 aanbieders van pyrolyse en vergassingsprocessen verspreid over de wereld waarvan er een tiental wedijvert om een groot marktaandeel te bemachtigen^e. Bij een aantal van deze processen zijn er nog issues, veelal verschillend van aard, met betrekking tot de betrouwbaarheid van de installaties. De verwerking van kolen (bitumen), petcokes en/of bruinkool

zijn in de meeste gevallen commercieel bewezen. In veel gevallen wordt het geproduceerde syngas gebruikt voor de productie van chemicaliën volgens de waterstof, methanol of Fischer-Tropsch route. Er zijn ook een groot aantal haalbaarheidsstudies naar de commerciële uitvoerbaarheid van zowel pyrolyse als vergasser concepten gedaan waarbij ze gevoed werden met verschillende soorten afval. In bijna alle gevallen zijn deze uitgevoerd aan de hand van afval naar energie concepten. In de meeste gevallen bleken deze studies haalbaar maar de haalbaarheid is sterk afhankelijk van een aantal, deels locale, factoren.

De belangrijkste factoren die de haalbaarheid beïnvloeden zijn:

- Economische waarde van:
 - Energie, inclusief CO₂-prijzen
 - Waarde grondstoffen (bij conversie naar chemicaliën)
 - Marktwaarde afval (negatieve prijs)
- Aanbod afval en flexibiliteit inzake afvalsoorten of alternatieve voedingen
- Logistieke mogelijkheden
- Site integratie (restwarmte benutting, energie (stoom) levering, algemene voorzieningen, directe afzetmarkt voor syngas en bijproducten, eigen afvalverwerking)
- Schaalgrootte
- Samenwerking met partner (investeerder, afvalrecycler, afvalverwerker)

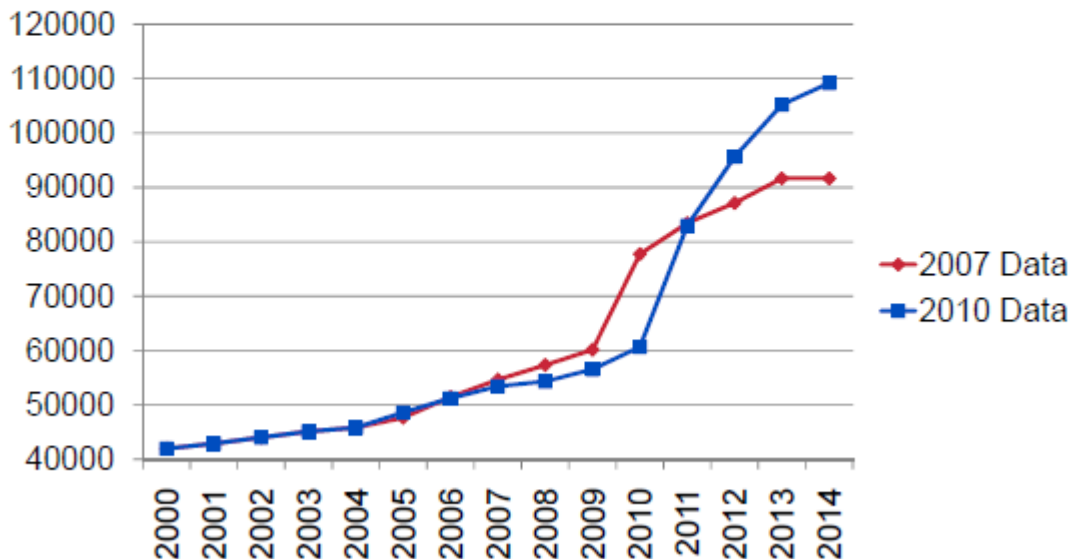
Met de huidige brandstofprijzen lijken vanuit een conservatieve kostenanalyse de vergassing processen slechts marginaal haalbaar te zijn. Deze processen dienen echter in het licht te worden beschouwd van het overheidsbeleid rondom een significante reductie van de CO₂ uitstoot en het recyclen van afval. Als de normale kosten voor afvalverwerking in dit kader worden meegenomen zullen de meeste bovenstaande processen commercieel haalbaar zijn. Een bijkomend voordeel is de kleinere milieubelasting door het afbreken van schadelijke producten bij de benodigde hoge temperaturen.

Door de grote variëteit van oplossingsrichtingen en verschillende omgevingen is het niet mogelijk om een duidelijk kantelpunt voor deze technologieën aan te geven. Dit kantelpunt dient in elke situatie apart te worden bepaald. Locale situaties, zoals geïntegreerdheid van sites, aanwezige infrastructuur, etc., zullen een doorslaggevende rol kunnen spelen.

Fig. 3: Groei vergasser capaciteit.

World Gasification Capacity Growth

(MWth Equivalent)



Bron: Gasifications Technologies Council, 2011.

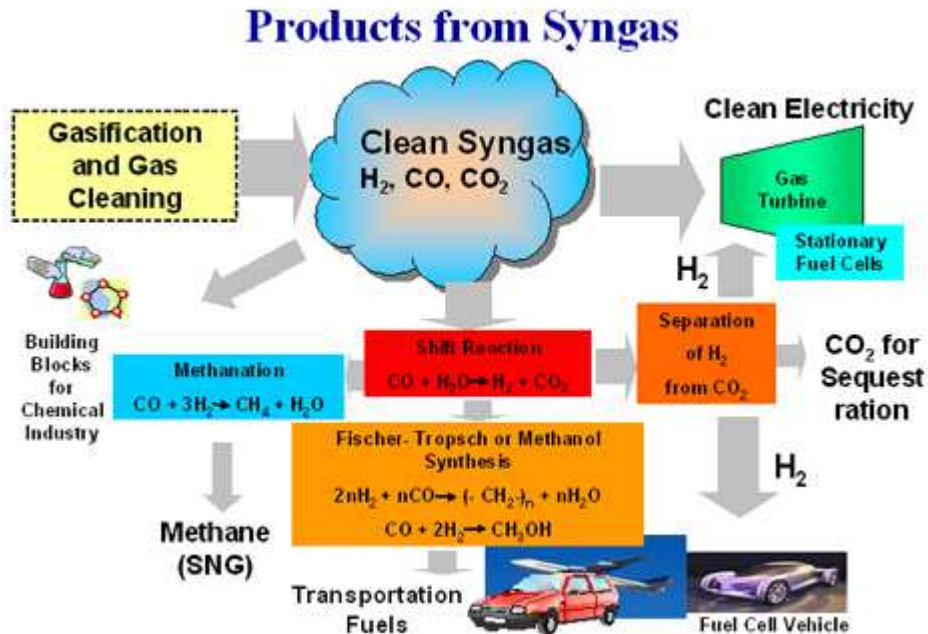
Indien het syngas voornamelijk voor chemische toepassingen wordt gebruikt, in plaats van energie, zal dit leiden tot een significante verbetering van de economische haalbaarheid van de vergasserprojecten.

Tabel 2: Processen met Syngas als basisproduct

	TRL level	Proces	Vervolg-producten	Processen
Waterstof	9	Waterstofscheiding en CO-conversie	Ammoniak, ureum, kunstmest	
Methanol	9	Methanol-synthese	Etheen, Propeen, benzines	MTO, MTP, MTG
Vloeibare olefinen, aromaten	9	Fischer-Tropsch	Krakervoe ding	
Energie	9	Gas-, stoomturbine	Elektriciteit, stoom	ruw syngas, afval

Er zijn momenteel enige processen op demonstratieniveau in Europa in werking en enkele op commerciële basis in Japan. Tevens is er vanaf 2000 gedurende een periode van ca. 3 jaar een installatie met een voeding van 75 % afval in operatie geweest die echter om lokale economische redenen is gesloten. Deze installatie maakte uit ca. 300 Kton afval/j methanol en energie (stoom en elektriciteit). De investeringen voor zulke installaties zijn zeer afhankelijk van de locatie. Als globale raming kan gebruik worden gemaakt van een bedrag van ca. 0,15 M€/ (GJ/h-vermogen) aan Syngas productie.

Fig. 4: Beknopt overzicht van een aantal producten uit Syngas.



Bron: NETL, 2012

Er kan nog niet gesproken over een bewezen commerciële technologie. Het wachten is op een grootschalig commercieel voorbeeld waarna de vergasser technologie definitief zal doorbreken. Vergassers welke vanuit (lage kwaliteit) kolen, bruinkool en/of petcokes syngas maken zijn op grote schaal wel commercieel bewezen te noemen. Hierbij dient wel nog de opmerking te worden gemaakt dat veel van de bewezen vergasserstappen voor een significant deel (30-50 %) als bijstook bio-materialen en/of afval kunnen verwerken.

Mogelijk dat er daardoor in de beginfase van de vergassingstechnologie gekozen zal worden voor een gecombineerde installatie voor het omzetten van een combinatie van kolen/bruinkool-e.d. en een hoeveelheid (bio) afval. Door het toepassen van een dergelijke gecombineerde fossiele/afval installatie zal het economisch risico voor een grootschalige installatie worden gemitigeerd.

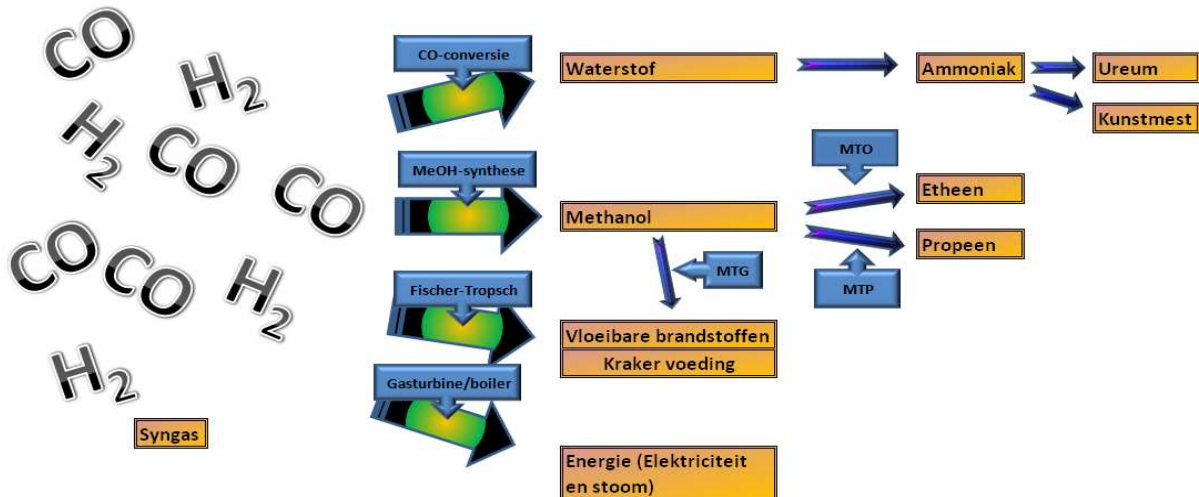
De processen om via vergassingsstappen chemicaliën te maken zijn commercieel bewezen. Met name in Duitsland, Zuid-Afrika en China. China is de laatste jaren bezig met een gigantische uitbreiding van zijn vergassingscapaciteit. Hierbij wordt een gedeelte van de kolenreserves, met name de kolen die als kolen te slecht van kwaliteit zijn, omgezet naar energie, chemicaliën en polymeren. Een aantal chemicaliën die via bewezen commerciële processen^f direct of via een tussenstap uit het syngas kunnen worden gemaakt zijn:

- Waterstof: PSA (Pressure swing absorption),
- Ammoniak: LAC (Linde ammonia concept)^g
- Kunstmest
- Ureum: Stamicarbon^h
- Methanolⁱ - ICI, Lurgi, Mitsubishi, Kellog, Uhde
- Etheen: MTO (methanol to olefins) – UOP (Honeywell), Lurgi^j
- Propreen: MTP (methanol to propylene) – Lurgi of UOP
- Brandstoffen (diesel/benzines): FT (Fischer-Tropsch) of GTL – Shell (Pearl project)^k, Lurgi, DME
- Krakervoedingen: FT (Fischer-Tropsch) of GTL – Shell (Pearl project), Lurgi, DME
- Energie (elektriciteit en/of stoom)^l

Naast China beginnen er steeds meer ontwikkelingen op het gebied van vergassingstechnieken van de grond te komen in Amerika en Australië. Hoewel in de laatste jaren de belangrijkste drijfveer het opwekken van energie was, wordt er meer en meer aandacht gegeven aan de vervanging van grondstoffen door syngas syntheseprocessen.

In het geval van een grote vraag naar waterstof of in het geval van toepassing als brandstof voor verbranding kan tevens op een relatief makkelijke manier CO₂ uit het syngas worden gewonnen. Deze winning is relatief simpel door de afwezigheid van stikstof in het syngas.

Fig. 5: Routing van bewezen producten/processen uit syngas



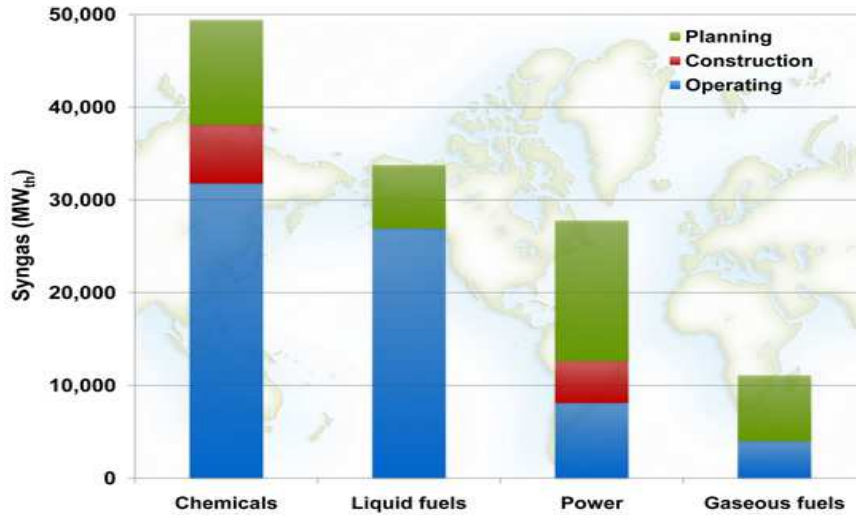
Ontwikkelingen:

Momenteel is er zeer veel onderzoek gaande om de verschillende eerder genoemde depolymerisatie technieken verder te krijgen. Deze onderzoeken zijn niet alleen gericht op de pyrolyse en vergassing maar ook op de conversie stappen en het bedenken van nieuwe producten.

Een aantal van deze technieken zijn al op laboratorium of pilot schaal ontwikkeld. Een aantal ontwikkelingen zijn zelfs op grote commerciële schaal bewezen, met name op het gebied van torrefactie en vergassing. Vele ontwikkelingen zijn op papier zeer lovend maar maken het op commerciële basis (nog) niet waar. Er lijkt op dit moment veel potentie te liggen maar er is nog geen definitieve commerciële doorbraak voor de verwerking van afval via depolymerisatie technieken naar nieuwe chemicaliën waarneembaar.

Op dit moment is de wereldproductie van syngas vrijwel geheel gericht op voedingen van fossiele brandstoffen. Het aandeel biomassa/afval vergassers is nog zeer bescheiden. Hieruit kan wel de conclusie worden getrokken dat de syngas conversiestappen naar eindproducten zo goed als bewezen zijn. De vergassing technologieën gericht op de verwerking van biomassa en afvalverwerking zullen echter volgens de huidige ontwikkelingen pas de komende jaren hun bestaansrecht gaan bewijzen.

Fig. 6: Overzicht over wereld capaciteit van syngas productie (incl. kolen).



Bron: NETL, 2012.

Tabel 3: Overzicht voedingen ten behoeve van Syngas productie.

Feedstock		Operating 2010	Under Construction 2010	Planned 2011-2016	Totals
Coal	Syngas Capacity (MW _{th})	36,315	10,857	28,376	75,548
	Gasifiers	201	17	58	276
	Plants	53	11	29	93
Petroleum	Syngas Capacity (MW _{th})	17,938			17,938
	Gasifiers	138			138
	Plants	56			56
Gas	Syngas Capacity (MW _{th})	15,281			15,281
	Gasifiers	59			59
	Plants	23			23
Petcoke	Syngas Capacity (MW _{th})	911		12,027	12,938
	Gasifiers	5		16	21
	Plants	3		6	9
Biomass/Waste	Syngas Capacity (MW _{th})	373		29	402
	Gasifiers	9		2	11
	Plants	9		2	11
Total Syngas Capacity (MW_{th})		70,817	10,857	40,432	122,106
Total Gasifiers		412	17	76	505
Total Plants		144	11	37	192

Bron: NETL, 2012

Politiek:

Er ligt een belangrijke rol bij de politiek om het verwerken van afval met een hoog rendement te stimuleren. Een belangrijke rol hierin speelt de beschikbaarheid van het afval dat nu grotendeels in AVI's wordt verwerkt. Het is belangrijk dat er een, naar de toekomst gericht, solide ontwikkeling en investeringsklimaat komt voor het omzetten van afval naar nieuwe grondstoffen.

Ter stimulering dienen er door de politiek duidelijke aanpassingen te worden doorgevoerd die leiden tot het versoepelen van wetgeving ten aanzien van de verwerking van afval tot bruikbare basischemicaliën of brandstoffen.

De politiek kan een extra stimulans geven door de uit afval geproduceerde basis chemicaliën als groene producten te kwalificeren. De redenering hierachter is dat het extra rendement van ca. 50 % ten opzichte van de huidige beste verwerking van afval, geheel nieuwe basisproducten maakt.

Andere voordelen om deze technologie verder binnen Nederland te ontwikkelen zijn:

- Er is binnen Nederland al een uitgebreide infrastructuur die het (inter) nationale afval naar de betreffende plaatsen kan vervoeren.
- Nederland heeft tevens een uitgebreid net van (inter)nationale afvalverwerking
- Er is aanwezigheid van kennis expertise en de mogelijkheden voor het integreren met bestaande chemische processen
- Door het binnenhalen van afval kan er een boost worden gegeven aan de maak industrie aangezien sorteren van afval leidt tot 'urban'-mining.

Referenties Processen:

Zowel voor het vergassen als de verwerking tot basis chemicaliën zijn een groot aantal processen op de markt. Hieronder zijn een aantal voorbeelden van dit soort processen te vinden. Het is onmogelijk om algemeen aan te geven welk proces het beste is. De keuze is erg afhankelijk van de aard van de grondstoffen, de gewenste eindproducten en de lokale omstandigheden als locatie, infra, en integratie mogelijkheden. Bij de keuze dient een holistische afweging te worden gemaakt aangezien nu, en naar verwachting ook de komende jaren, een vergasser niet is te motiveren op een simpele afweging. Indien er meerdere aspecten worden meegenomen zoals de afvalverwerking van bepaalde producten, het voorkomen van chemisch afval, het opwerken van bijproducten en energie integratie kan hier een positieve business case uitkomen.

Ook zal een combinatie van bedrijven uit andere dan de chemische branche (bijvoorbeeld de breek en recycling branche) een positief effect op de business case opleveren.

Vergassingsprocessen:

Kleinschalig:

Enerkem^m

Ener-G (alleen energie opwek)ⁿ

Zegen^o

Emery^p

Grote schaal:

Het hart van de vergasserprocessen is de vergasser en de condities die daarin optreden. Hieronder zijn een aantal willekeurige vergassers weergegeven. Hoewel slechts enkele van deze processen hoofdzakelijk afval en/of bio-materialen kunnen verwerken kan het grootste deel wel een significante hoeveelheid afval en/of bio materialen als bijvoeding omzetten tot syngas.

Siemens^q

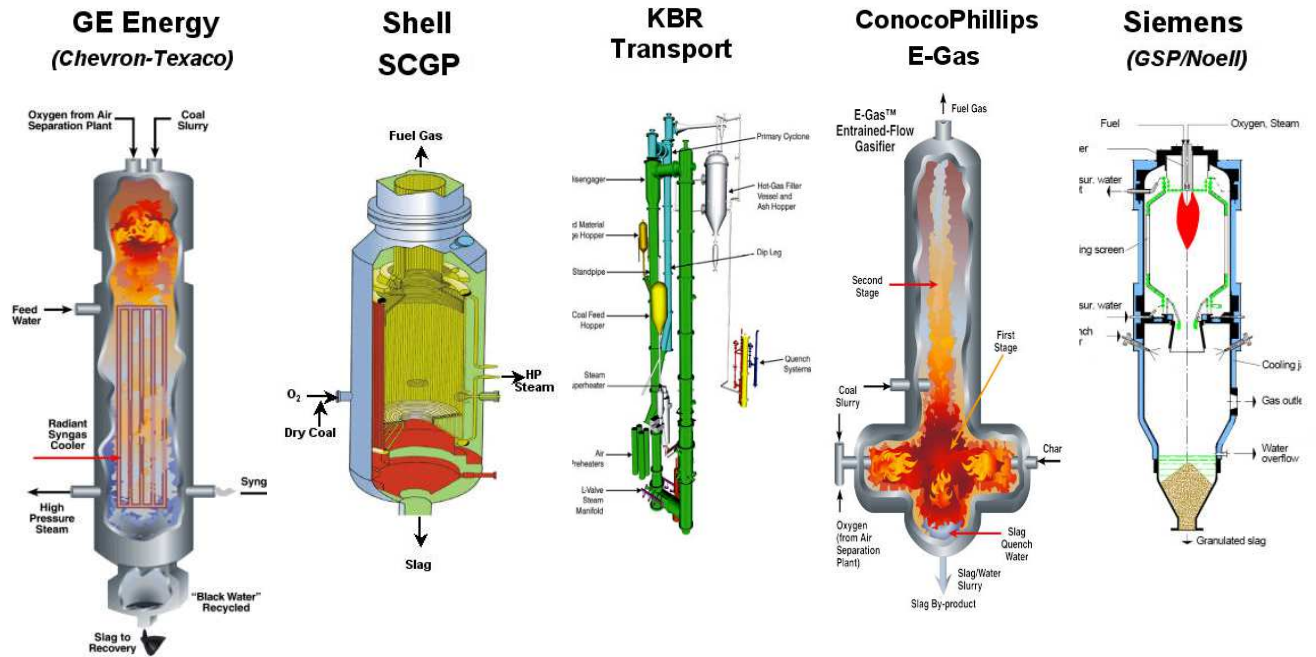
GE Energy (voorheen Chevron-Texaco ontwerp)^r

BGL^s

E-Gen (Conoco Phillips)^t

Foster Wheeler (voornamelijk energie productie)^u
 Shenha Group Corporation
 Linde 'Choren Carbo-V' process^v
 Shell^w
 Uhde – HTW (fluidized bed vergassing) en Prenflo^x (entrained-flow vergassing)

Fig. 7: Enkele verschillende type reactoren



Bron: Internet: NETL, GTC e.a.

Plasma vergassing:

Westinghouse^y
 Tetronics^z
 Advance Plasma Power^{aa}

Referenties:

- ^a Wastegen Pyrolyse: <http://www.wastegen.com/template.htm>
- ^b Techtrade Pyrolyse: <http://www.ufg.de/index.html>
- ^c Thermostelect pyrolyse: <http://www.thermostelect.com/index.cfm>
- ^d NETL Advanced Gasification Program and FBC Update : http://www.the-atc.org/events/cleanenergy/pdf/TuesdayMorningBallroom2&3/BreaultRonald_2008CleanEnergy.pdf
- ^e Juniper-Factsheet Pyrolysis&Gasification: http://www.biomassinnovation.ca/pdf/factsheet_Juniper_Pyrolysis&Gasification.pdf
- ^f NETL, startpagina vergassing: <http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/gasifipedia/6-apps/index.html>
- ^g Ammonia production Linde: http://www.linde-engineering.com/en/process_plants/hydrogen_and_synthesis_gas_plants/gas_products/ammonia/index.html
- ^h Stamicarbon ureum proces: <http://www.stamicarbon.com/mega-plant-concept>
- ⁱ Methanol omzettingen naar verschillende producten: <http://www.ics.trieste.it/media/139813/df6496.pdf>
- ^j Lurgi, presentatie MTO en MTP: http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/images/veranstaltungen/Neue_Biokraftstoffe2010/Wurzel.pdf
- ^k Shell, Pearl project
- ^l Gasification Technologies for SOFC applications: http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/07/SECA_Workshop/pdf/Gasification%20Technology%20Option%20-%20Ronald%20Schoff.%20EPRI.pdf
- ^m Enerkem website: <http://enerkem.com/en/home.html>
- ⁿ Ener-G website: <http://www.energ.co.uk>
- ^o Zegen website: <http://www.ze-gen.com>
- ^p Emery website: <http://www.emeryenergy.com>
- ^q Siemens website to gasification: <http://www.energy.siemens.com/hq/en/power-generation/fuel-gasifier/>
- ^r GE gasification developments: http://ge.geglobalresearch.com/blog/developing-dry-feed-technology-for-coal-gasification/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=developing-dry-feed-technology-for-coal-gasification
- ^s BGL status paper: http://www.gl-group.com/pdf/BGL_Gasifier_DS.pdf
- ^t E-Gen; It is all in the process, documentatie: <http://www.phillips66.com/EN/tech/e-gas/Documents/E-GasProcessSNG.pdf>
- ^u Foster-Wheeler website: <http://www.fwc.com>
- ^v Linde Choren vergassingsproces: http://www.the-linde-group.com/en/corporate_responsibility/engineering_division/biomass/biofuels/gasification_of_biomass.html
- ^w Shell gasification licensing, website: http://www.shell.com/home/content/globalsolutions/gasification_licensing/
- ^x Uhde-Prenflo documentatie: http://www.uhde.eu/fileadmin/documents/brochures/uhde_brochures_pdf_en_11.pdf
- ^y Westinghouse website: <http://www.westinghouse-plasma.com>
- ^z Tetronics presentatie plasma technologie: http://www.uhde.eu/fileadmin/documents/brochures/uhde_brochures_pdf_en_11.pdf
- ^{aa} Advance Plasma Power website: <http://advancedplasmamapower.com/>